

ВЕКТОР НАУКИ

Тольяттинского государственного университета

Основан в 2008 г.

№ 3 (41)
2017

16+

Ежеквартальный
научный журнал

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»

Главный редактор:

Криштал Михаил Михайлович, д.ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора по общим вопросам:

Коротелев Александр Алексеевич, д.п.н.

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Машиностроение и машиноведение»:

Шайкин Александр Петрович, д.т.н., профессор

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Металлургия и материаловедение»:

Мерсон Дмитрий Львович, д.ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Химическая технология»:

Остапенко Геннадий Иванович, д.х.н., профессор

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Социологические науки»:

Иванова Татьяна Николаевна, д.соц.н., доцент

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Языкознание»:

Тараносова Галина Николаевна, д.п.н., профессор

Муранова Екатерина Валентиновна – ответственный секретарь

Входит в систему «Российский индекс научного цитирования» и перечень российских рецензируемых научных журналов.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-36741 от 1 июля 2009 г.).

Компьютерная верстка:
Н.А. Никитенко

Технический редактор:
Н.А. Никитенко

Адрес редакции: 445020,
Самарская обл., г. Тольятти,
ул. Белорусская, 14
Тел./факс: (8482) 54-63-64
vektornaukitgu@yandex.ru
<http://www.tltsu.ru>

Подписано в печать 29.09.2017.
Выход в свет 05.12.2017.
Формат 60×84 1/8.
Печать оперативная.
Усл. п. л. 19,4.
Тираж 50 экз. Заказ 3-453-17.
Цена свободная.

Издательство Тольяттинского
государственного университета
445020, г. Тольятти,
ул. Белорусская, 14

СВЕДЕНИЯ О ЧЛЕНАХ РЕДКОЛЛЕГИИ

Главный редактор

Кристал Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, ректор Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по общим вопросам

Коростелев Александр Алексеевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Педагогика и методики преподавания» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Машиностроение и машиноведение»

Шайкин Александр Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетические машины и системы управления» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Металлургия и материаловедение»

Мерсон Дмитрий Львович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института перспективных технологий Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Химическая технология»

Остапенко Геннадий Иванович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия, химические процессы и технологии» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Социологические науки»

Иванова Татьяна Николаевна, доктор социологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Социология» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Языкознание»

Тараносова Галина Николаевна, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры «Русский язык и литература» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Редколлегия:

Андреюшкина Татьяна Николаевна, доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры «Теория и практика перевода» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Бакалова Зинаида Николаевна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры «Русский язык, культура речи и методика их преподавания» Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Борисова Елена Борисовна, доктор филологических наук, профессор кафедры английской филологии и межкультурной коммуникации Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Бочкарев Петр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Саратов, Россия).

Бржозовский Борис Максович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Саратов, Россия).

Буранок Олег Михайлович, доктор филологических наук, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой русской, зарубежной литературы и методики преподавания литературы Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Верещака Анатолий Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» (Москва, Россия).

Виноградов Алексей Юрьевич, доктор технических наук, замдиректора по научной работе Научно-исследовательского института перспективных технологий Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Гаврюшин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Москва, Россия).

Глезер Александр Маркович, доктор физико-математических наук, профессор, директор института металловедения и физики металлов имени Г.В. Курдюмова ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт имени И.П. Бардина» (Москва, Россия).

Горбунов Юрий Иванович, доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры «Теория и практика перевода» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Готлиб Анна Семеновна, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Методология социологических и маркетинговых исследований» Самарского государственного университета (Самара, Россия).

Денисенко Александр Федорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные станочные и инструментальные системы» Самарского государственного технического университета (Самара, Россия).

Звоновский Владимир Борисович, доктор социологических наук, директор Самарской региональной общественной организации «Фонд социальных исследований» (Самара, Россия).

Иванян Елена Павловна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры «Русский язык, культура речи и методика их преподавания» Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Казakov Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургические технологии» института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (Санкт-Петербург, Россия).

Карпов Михаил Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией Института физики твердого тела Российской академии наук (Черноголовка, Россия).

Кострова Ольга Андреевна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры немецкого языка Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Кудря Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металловедения и физики прочности Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (Москва, Россия).

Кузьминский Анатолий Иванович, член-корреспондент НАПН Украины, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры педагогики высшей школы и образовательного менеджмента Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого (Черкассы, Украина).

Кулинич Марина Александровна, доктор культурологии, профессор кафедры английской филологии и межкультурной коммуникации Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Ларшин Василий Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Одесского национального политехнического университета (Одесса, Украина).

Лодатко Евгений Александрович, доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры педагогики высшей школы и образовательного менеджмента Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого (Черкассы, Украина).

Макаров Алексей Викторович, доктор технических наук, заведующий отделом материаловедения и лабораторией механических свойств Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия).

Морозова Алевтина Николаевна, доктор филологических наук, заведующий кафедрой английского языка и методики преподавания иностранных языков Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Морозова Ирина Станиславовна, доктор психологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей психологии и психологии развития Кемеровского государственного университета (Кемерово, Россия).

Наймарк Олег Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией «Физические основы прочности» Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (Пермь, Россия).

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», декан факультета машиностроения и автомобильного транспорта Самарского государственного технического университета (Самара, Россия).

Орлова Людмила Викторовна, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление персоналом» Самарской академии государственного и муниципального управления (Самара, Россия).

Пилинский Александр Вениаминович, кандидат технических наук, доцент, MSME (Master of Science in Mechanical Engineering), менеджер компании «Реймер Металс Корпорейшн» (Лос-Анджелес, США).

Плахова Ольга Александровна, доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры «Теория и методика преподавания иностранных языков и культур» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Романов Алексей Евгеньевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник сектора теории твердого тела Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, заведующий кафедрой светодиодных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург, Россия).

Рубаник Василий Васильевич, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, доцент Института технической акустики Национальной академии наук Беларуси (Витебск, Беларусь).

Старобинский Рудольф Натанович, доктор технических наук, профессор, научный консультант инженерного бюро «Prof. Starobinski. Silencers. Consulting and Engineering» (Гамбург, Германия).

Табаков Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Ульяновского государственного технического университета (Ульяновск, Россия).

Тарский Юрий Иванович, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Социология и социальная политика» Поволжского института управления имени П.А. Столыпина (Саратов, Россия).

Тарская Ольга Юрьевна, доктор социологических наук, доцент, профессор кафедры «Социология и социальная политика» Поволжского института управления имени П.А. Столыпина (Саратов, Россия).

Худобин Леонид Викторович, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Ульяновского государственного технического университета (Ульяновск, Россия).

Шиняева Ольга Викторовна, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Политология, социология и связь с общественностью» Ульяновского государственного технического университета (Ульяновск, Россия).

Шишков Владимир Александрович, доктор технических наук, начальник технического отдела ООО «Рекар» (Тольятти, Россия).

Щербакова Галина Ивановна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры «Журналистика» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Эстрин Юрий Захарович, кандидат физико-математических наук, доктор естественных наук (Германия), почетный доктор РАН, профессор кафедры материаловедения Университета имени Монаша (Мельбурн, Австралия).

Явон Снежана Владимировна, доктор социологических наук, доцент, доцент кафедры «Социальные технологии» Поволжского государственного университета сервиса (Тольятти, Россия).

Ярыгин Анатолий Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Очередная VIII школа «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи (далее – Школа) прошла в г. Тольятти с 3 по 12 сентября 2017 года. Школа была посвящена вопросам фундаментального материаловедения, анализу микро- и макроструктуры, особое внимание было уделено проблемам магниевых сплавов, объемных наноматериалов и других перспективных конструкционных материалов специального назначения. Отдельное место заняла тематика, посвященная поведению материалов в условиях воздействия различных полей, в том числе усталостному разрушению, водородному охрупчиванию и коррозионной повреждаемости.

В период работы Школы известными российскими и зарубежными специалистами в области физического материаловедения были прочитаны лекции, а также заслушаны отобранные Программным комитетом доклады молодых ученых. Все участники Школы имели возможность представить свои материалы в форме устных и стендовых докладов.

Основные направления работы Школы:

- фундаментальные вопросы материаловедения;
- перспективные материалы, в том числе магниевые сплавы;
- вопросы прочности и пластичности конструкционных материалов, в том числе наноматериалов;
- современные методы исследования и анализа микро- и макроструктуры;
- влияние внешней обработки и воздействий (модификация, наплавка, облучение и т. п.) на структуру и свойства материалов.

В рамках работы Школы для ее участников ведущими специалистами Тольяттинского государственного университета были организованы мастер-классы по применению уникального исследовательского оборудования, имеющегося в распоряжении Научно-исследовательского института прогрессивных технологий, для решения задач в области физического материаловедения.

В рамках Школы проводился конкурс на лучшую научную работу среди молодых ученых, чей возраст на момент проведения Школы не превышал 35 лет, на который из десятков городов России, а также из Белоруссии было представлено почти 70 работ. Научный уровень большинства конкурсных работ оказался настолько высоким, что оргкомитет Школы рекомендовал авторам опубликовать их в журнале «Вектор науки Тольяттинского государственного университета», предварительно доработав под требования журнала. В данном выпуске журнала опубликована часть этих работ, остальные будут опубликованы в следующих выпусках.

Сопредседатель оргкомитета Школы, профессор Д.Л. Мерсон

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РОСТА НИТЕВИДНЫХ МИКРОКРИСТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ СЕРЕБРА К.К. Абдугаффарова, М.В. Дорогов, Э.Х. Айфантис.....	11
ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РЕЛЬЕФ – ОТРАЖЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ НИКЕЛЯ Е.А. Алфёрова, Д.В. Лычагин.....	17
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛЛОТРОПНЫМИ МОДИФИКАЦИЯМИ УГЛЕРОДА Н.И. Веткасов, А.И. Капустин, В.В. Сапунов.....	24
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЛЯ РЕЗАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ М.В. Вилкина.....	35
ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ Л.С. Горужева, Э.С. Горкунов, С.М. Задворкин, А.В. Макаров.....	40
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТЮНИНГА В.Г. Доронкин, Н.В. Колачева.....	47
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И АТТЕСТАЦИЯ ПРОНИЦАЕМЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ ИЗ СПЛАВОВ Ti-Nb-Zr МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ А.М. Казакбиев, А.А. Коробкова, В.А. Шереметьев, С.М. Дубинский, С.Д. Прокошкин.....	53
ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РОСТА ТРЕЩИН В ВЯЗКО-УПРУГОЙ СРЕДЕ С РАЗВИТОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ В.А. Калачев, П.Е. Панфилов, Д.В. Зайцев.....	59
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ β-СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti-Nb МЕХАНИЧЕСКИМ СПЛАВЛЕНИЕМ В ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ Ж.Г. Ковалевская, М.А. Химич, М.А. Корчагин, Ю.П. Шаркеев.....	65
СТРУКТУРА И ТЕКСТУРА МАГНИЯ ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ Д.А. Комкова, А.Ю. Волков.....	70
ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННОГО СПЛАВА Cu-8at.%Pd А.Е. Костина, А.Ю. Волков.....	76

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ А.В. Назарьев, П.Ю. Бочкарев.....	84
ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА КИНЕТИКУ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ TiNi В.В. Непомнящая, В.В. Рубаник.....	90
ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ TiNi ПРОВОЛОКИ НА ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКУЮ ЭДС В.В. Рубаник (мл.), А.В. Лесота.....	97
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕЙ ФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ, УПРОЧНЕНИЕ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ АУСТЕНИТНОЙ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ П.А. Скорынина, А.В. Макаров, А.С. Юровских, А.Л. Осинцева.....	103
ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ	
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТЕРАТУРНОГО ЗООНИМА В КАЧЕСТВЕ ПРАГМАТОНИМА-ГЛОБАЛИЗМА (НА МАТЕРИАЛЕ РЕКЛАМНОЙ КАМПАНИИ ТОРГОВОЙ МАРКИ <i>NAFNAF</i>) О.А. Васильева.....	113
ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ПЕРЕВОДА К.А. Касаткина.....	119
НАРУШЕНИЕ МАКСИМЫ КОЛИЧЕСТВА КАК ПРЕПЯТСТВИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДИСКУРСА СОГЛАСОВАНИЯ О.А. Крапивкина.....	124
РЕАЛИЗАЦИЯ КОММУНИКАТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА ПРИ ПЕРЕВОДЕ ТЕКСТОВ ПРЕСС-РЕЛИЗОВ О.В. Мурдускина, Н.В. Аниськина.....	129
КОНЦЕПТЫ «САД» И «ПУСТЫНЯ» В РОМАНАХ ФРЭНКА ГЕРБЕРТА СЕРИИ «ДЮНА» Т.Г. Никитина.....	134
ПРИЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРАЗЕОЛОГИЗМОВ В РАССКАЗАХ А.П. ЧЕХОВА: ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ М.Г. Соколова.....	141
ОБЩЕСТВЕННО-ПОЛИТИЧЕСКИЕ РЕАЛИИ В ПОВЕСТЯХ Р. ВАН ГУЛИКА “THE CHINESE MAZE MURDERS”, “THE CHINESE BELL MURDERS” И ИХ ПЕРЕВОДАХ НА КИТАЙСКИЙ И РУССКИЙ ЯЗЫКИ С.М. Старцева.....	147
СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И.В. Цветкова.....	152
НАШИ АВТОРЫ.....	158

CONTENT

TECHNICAL SCIENCES

SPECIAL ASPECTS OF FORMATION AND GROWTH OF WHISKERS IN THE PROCESS OF SILVER ELECTROPLATING

K.K. Abdugaffarova, M.V. Dorogov, E.C. Aifantis.....11

DURING PLASTIC DEFORMATION OF SINGLE CRYSTALS

E.A. Alfyorova, D.V. Lychagin.....17

THE STUDY OF THE PROCESS OF MECHANICAL ALLOYING OF ALUMINUM BY NANO-DIMENSIONAL ALLOTROPIC MODIFICATIONS OF CARBON

N.I. Vetkasov, A.I. Kapustin, V.V. Sapunov.....24

THE APPLYING OF HIGH-PERFORMANCE MACHINING METHOD FOR CUTTING OF STRUCTURAL STEELS

M.V. Vilkina.....35

THE INFLUENCE OF INTENSIVE PLASTIC DEFORMATION ON THE STRUCTURE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-CARBON STEEL

L.S. Goruleva, E.S. Gorkunov, S.M. Zadvorkin, A.V. Makarov.....40

MATHEMATICAL MODELING OF CAR TUNING

V.G. Doronkin, N.V. Kolacheva47

THE TECHNOLOGY OF PRODUCING AND CERTIFICATION OF Ti-Nb-Zr ALLOYS PERMEABLE FOAM MATERIALS OF MEDICAL PURPOSE

A.M. Kazakbiev, A.A. Korobkova, V.A. Sheremetyev,
S.M. Dubinskiy, S.D. Prokoshkin.....53

REGARDING THE SPECIAL ASPECTS OF CRACKS GROWTH IN A VISCO-ELASTIC MATERIAL WITH THE EXTENDED HIERARCHIC STRUCTURE

V.A. Kalachev, P.E. Panfilov, D.V. Zaytsev.....59

SPECIAL ASPECTS OF FORMATION OF Ti-Nb SYSTEM β -ALLOYS BY THE MECHANICAL ALLOYING IN A HIGH-ENERGY BALL MILL

Zh.G. Kovalevskaya, M.A. Khimich, M.A. Korchagin, Yu.P. Sharkeev.....65

MAGNESIUM STRUCTURE AND TEXTURE AFTER THE LOW-TEMPERATURE MEGAPLASTIC DEFORMATION

D.A. Komkova, A.Yu. Volkov.....70

THE INFLUENCE OF PROLONGED ANNEALING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE DEFORMED Cu-8at.%Pd ALLOY

A.E. Kostina, A.Yu. Volkov.....76

ENGINEERING SUPPORT OF PRODUCTION OF HIGH-ACCURACY COMPONENT ASSEMBLIES

A.V. Nazaryev, P.Yu. Bochkarev.....84

THE INFLUENCE OF ULTRASONIC MECHANICAL ACTIVATION ON CRYSTALLIZATION KINETICS AND MARTENSITIC TRANSFORMATIONS OF TiNi-BASED AMORPHOUS ALLOYS

V.V. Niapomniashchaya, V.V. Rubanik.....90

THE INFLUENCE OF PLASTIC DEFORMATION OF TiNi WIRE ON THE THERMOKINETIC EMF V.V. Rubanik Jr., A.V. Lesota.....	97
THE INFLUENCE OF TEMPERATURE OF NANOSTRUCTURING FRICTIONAL TREATMENT ON THE STRUCTURAL-PHASE STATE, HARDENING AND SURFACE QUALITY OF AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STEEL P.A. Skorynina, A.V. Makarov, A.S. Yurovskikh, A.L. Osintseva.....	103
HUMANITIES	
SPECIAL ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF LITERARY ZOONYM AS A GLOBAL PRAGMATONYM (THROUGH THE MATERIAL OF THE ADVERTIZING CAMPAIGN OF NAFNAF TRADE MARK) O.A. Vasilieva.....	113
EQUIVALENCY AS THE BASIC CRITERIA FOR TRANSLATION QUALITY K.A. Kasatkina.....	119
VIOLATION OF QUANTITY MAXIM AS AN OBSTACLE FOR DISCOURSE OF CONCORD O.A. Krapivkina.....	124
IMPLEMENTATION OF THE COMMUNICATIVE-FUNCTIONAL APPROACH TO THE TRANSLATION OF PRESS RELEASES O.V. Murduskina, N.V. Aniskina.....	129
CONCEPTS “GARDEN” AND “DESERT” IN “DUNE” SERIAL NOVELS BY FRANK HERBERT T.G. Nikitina.....	134
THE METHODS OF TRANSFORMATION OF PHRASEOLOGICAL UNITS IN THE STORIES OF ANTON CHEKHOV: LINGUISTIC AND CULTURAL ANALYSIS M.G. Sokolova.....	141
SOCIAL AND POLITICAL REALIA IN R. VAN GULIK’S DETECTIVE STORIES “THE CHINESE MAZE MURDERS”, “THE CHINESE BELL MURDERS” AND IN THEIR TRANSLATIONS INTO CHINESE AND RUSSIAN S.M. Startseva.....	147
SOCIAL ASPECTS OF URBAN REDEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE GROWTH I.V. Tsvetkova.....	152
OUR AUTHORS.....	158

**ТЕХНИЧЕСКИЕ
НАУКИ**

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РОСТА НИТЕВИДНЫХ МИКРОКРИСТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ СЕРЕБРА

© 2017

К.К. Абдугаффарова, инженер НИО-5 Научно-исследовательского института прогрессивных технологий

М.В. Дорогов, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

Э.Х. Айфантис, PhD,

заведующий отделом НИО-5 Научно-исследовательского института прогрессивных технологий
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: электроосаждение серебра; нитевидные микрокристаллы; морфология; пентагональная симметрия; несплошности структуры.

Аннотация: В последнее время большое внимание уделяется синтезу и изучению характеристик металлических нано- и микрочастиц (в том числе благородных), ввиду особых свойств, связанных с размерными эффектами таких частиц. В то же время доказано, что особые свойства проявляются не только в частицах нанодиапазона, но и в частицах с определенной формой или в материалах с высокой плотностью дефектной структуры. Так, к примеру, важной характеристикой каталитических частиц является наличие наибольшего количества граней (111) как наиболее каталитически активных. К перспективным задачам относится получение материалов с новыми и/или улучшенными физико-химическими свойствами, которые имеют широкую практическую значимость.

Ранее были получены одномерные металлические структуры с диаметром от нескольких нанометров до нескольких микрон с длиной, порой достигающей несколько миллиметров на металлических покрытиях. Статья посвящена анализу экспериментальных фактов, связанных с особенностями морфологии и роста нитевидных микрокристаллов (НМК) серебра, полученных методом электроосаждения. Электроосаждение осуществляли по двух-электродной схеме. Исследование морфологии полученных микрокристаллов серебра проводили с помощью сканирующей электронной микроскопии JEOL JCM6000.

Выявлен диапазон плотности тока, при котором получают нитевидные микрокристаллы серебра. Показаны такие особенности роста серебряных НМК, как закругленные вершины в виде крючка, пентагональная огранка, отсутствие заостренных вершин, трещин и несплошности. Также на серебряных нитевидных микрокристаллах наблюдаются ступени роста. Указаны возможные области применения, например в микроскопии в качестве кантилеров, зондов, щупов.

ВВЕДЕНИЕ

Важным в ряду ГЦК-металлов является серебро. На сегодняшний день серебро – весьма многообещающий материал для изучения. Связано это с многочисленными возможностями его практического применения. К примеру, наночастицы оксида серебра Ag_2O – достаточно известный материал, который хорошо зарекомендовал себя в области каталитического окисления [1], в качестве топливных [2] и фотогальванических элементов [3].

Известно, что серебряные нанопроволоки обладают оптической прозрачностью, хорошей электропроводностью и механической гибкостью; эти характеристики наиболее благоприятны для многих современных устройств, таких как сенсорные панели, светоизлучающие диоды, жидкокристаллические дисплеи, солнечные элементы и пр. [4–6]. В нитевидных кристаллах отмечается высокий модуль упругости и прочности, высокая температура плавления; в отличие от поликристаллических волокон, не могут идти процессы рекристаллизации, обычно вызывающие резкое падение прочности при высоких температурах [7].

Ввиду своих особенных свойств, наиболее интересны частицы серебра малой формы. Их можно получить различными способами, такими как: термическое разложение технически чистого серебра в атмосфере инертного газа [8–10], синтез частиц из растворов [11–13], использование золь-гель методов [14], с помощью лазерной десорбции/ионизации [15], методом электроосаждения [16–17] и др.

Ранее были получены серебряные микро- и наночастицы с различной морфологией: одномерные структуры в виде вискерсов толщиной несколько нанометров до нескольких микрон в длину [18], нанокристаллы с пентагональной симметрий в виде икосаэдров [19] и декаэдров [20], крестообразные [21], в виде идеальных кубов [21] и др. Однако для разработки эффективной технологии получения той или иной структуры необходимо понимание их механизмов роста. Наиболее популярными механизмами роста нитевидных кристаллов являются: дислокационный механизм, теории рекристаллизации, механизм внешних напряжений, механизм внутренних напряжений, дислокационный механизм, механизм пар – жидкость – кристалл.

Так как свойства и, следовательно, область применения сильно зависят от морфологии и размера частиц, то важной проблемой становится выявление закономерностей и технологических режимов получения частиц с заданной формой и структурой. Наиболее предпочтительным методом получения частиц является электроосаждение. Известно, что строение, форма и размер ГЦК-кристаллов определяются особенностью процессов тепло- и массообмена, протекающих в островках роста, образующихся на начальных стадиях электрокристаллизации металлов [22]. Процесс электроосаждения можно контролировать, варьируя ряд технологических параметров (плотность тока, перенапряжение на катоде, время осаждения и пр.), в результате получая частицы необходимой формы. К преимуществам

процесса электроосаждения относится простота технологии, требующей низких денежных и временных затрат.

Цель работы – выявление влияния параметров электроосаждения на морфологию микрокристаллов серебра.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Электроосаждение проводили на потенциостате Elins типа ПИ-50-Pro с использованием специального программного обеспечения. Для осаждения серебра использовали гальваностатический (плотность тока $j=2-50 \text{ A/m}^2$) и потенциостатический (перенапряжение $\eta=40-100 \text{ мВ}$) режимы по двухэлектродной схеме. В качестве подложки была выбрана механически полированная нержавеющая сталь 12Х18Н9Т с нанесенным на нее методом ионно-плазменного напыления покрытием из нитрида титана, размерами $10 \times 8 \text{ мм}$. Анод выполнен в форме пластины $20 \times 5 \times 40 \text{ мм}$ из серебра марки Ср99.9. Электролит содержал 35 г/л азотнокислого серебра AgNO_3 , 150 г/л сернокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Реактивы использовали марки ч. д. а.

Исследование особенностей морфологии полученных микрокристаллов серебра проводили на сканирующем электронном микроскопе JEOL JCM6000.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе [16] по осаждению серебра из раствора азотнокислого серебряного электролита на подложку из нержавеющей стали показано, что при плотностях тока $j=10-20 \text{ A/m}^2$ происходит образование нитевидных микрокристаллов, выросших по слоевому механизму. Исходя из этих данных, нами был выбран гальваностатический режим электроосаждения и исследован диапазон токов $j=2-44 \text{ A/m}^2$ с шагом 2 A/m^2 .

На рис. 1 показаны серебряные покрытия и нитевидные микрокристаллы, полученные при электроосаждении в гальваностатическом режиме. При плотности тока в диапазоне $2-8 \text{ A/m}^2$ со временем осаждения от 2 до 4 ч образование нитевидных структур не было обнаружено, в то же время вся поверхность подложки покрывается плотной пленкой ГЦК-кристаллов (рис. 1 а).

При плотности тока $j=10 \text{ A/m}^2$ и времени осаждения 2 ч большая часть подложки зарастает кристаллами с образованием сплошного покрытия, однако в отдельных участках наблюдаются «выбросы» в виде нитевидных кристаллов толщиной не более 80 мкм и длиной несколько сотен мкм (рис. 1 б).

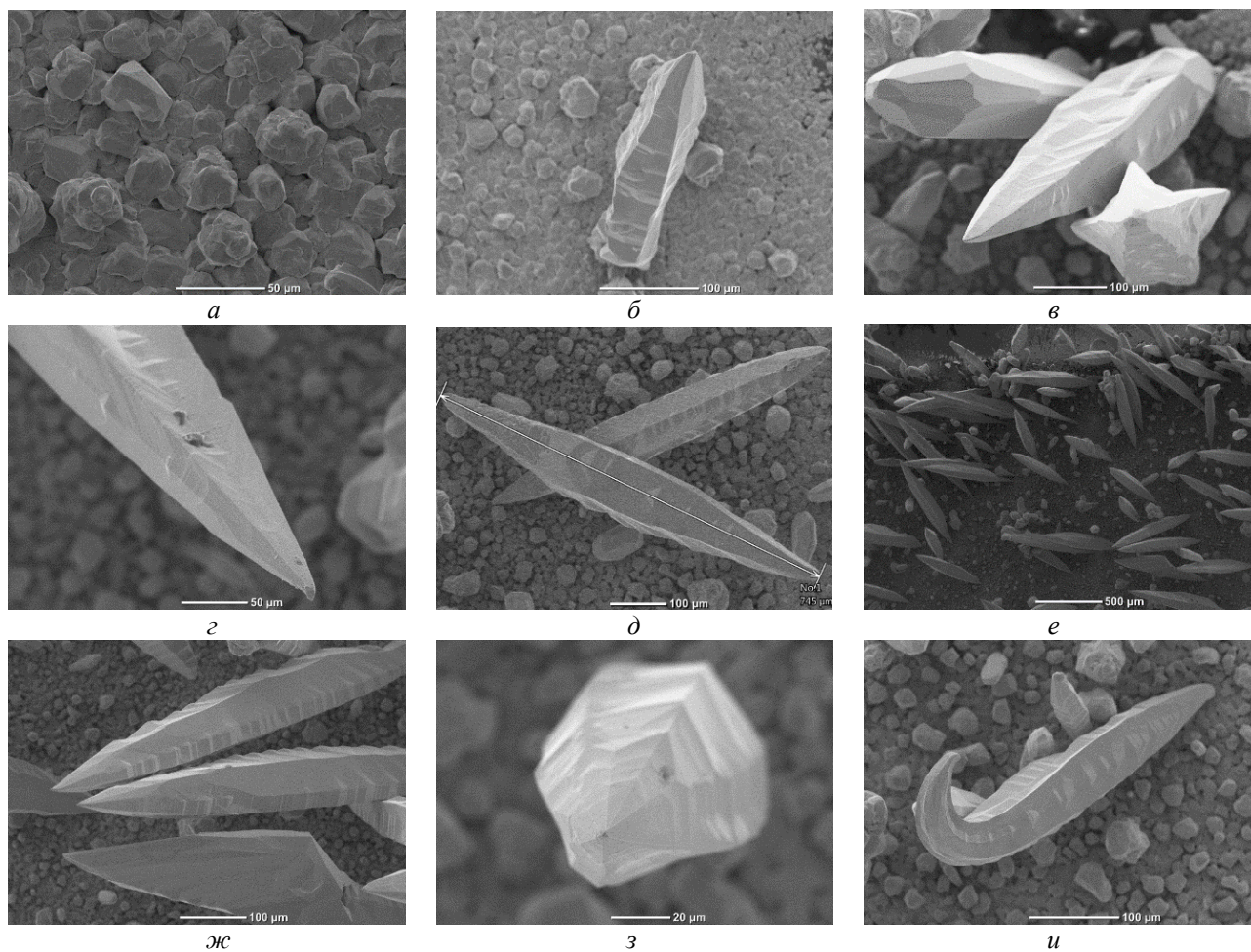


Рис. 1. Серебряные покрытия и нитевидные микрокристаллы, полученные при электроосаждении в гальваностатическом режиме: а – $j=2 \text{ A/m}^2$ и $t=3,5 \text{ ч}$; б – $j=10 \text{ A/m}^2$ и $t=2 \text{ ч}$; в – $j=20 \text{ A/m}^2$ и $t=4 \text{ ч}$; г – $j=24 \text{ A/m}^2$ и $t=3 \text{ ч}$; д – $j=26 \text{ A/m}^2$ и $t=3 \text{ ч}$; е, ж – $j=40 \text{ A/m}^2$ и $t=1,5 \text{ ч}$; з – $j=38 \text{ A/m}^2$ и $t=1,5 \text{ ч}$; и – $j=36 \text{ A/m}^2$ и $t=1,5 \text{ ч}$

С повышением плотности тока до $j=20-26 \text{ A/m}^2$ количество «выбросов» в виде нитевидных кристаллов в образце повышается (рис. 1 в, 1 г, 1 д) и наблюдается пентагональная огранка.

При дальнейшем повышении плотности тока до $j=32-42 \text{ A/m}^2$ происходит образование «леса» нитевидных кристаллов (рис. 1 е, 1 ж, 1 з, 1 и). Длина некоторых кристаллов достигает 1,5 мм при средней толщине 100 мкм.

Общим для всех нитевидных микрокристаллов является наличие заостренной вершины и ступеней роста, что свидетельствует об осевом (спиральном) или слоевом механизме роста.

К особенностям некоторых кристаллов можно отнести: отверстия/полости (рис. 2 а, 2 б), трещины и несплошности вдоль кристалла (рис. 2 в, 2 г), отсутствие заостренного конца (рис. 2 д), закругления кончика в виде крючка (рис. 2 е, 2 ж), пентагональную огранку (рис. 2 з, 2 и).

При плотностях тока выше $j=44 \text{ A/m}^2$ и времени осаждения более 1 ч в процессе электроосаждения про-

исходило отслоение кристаллов от подложки в электролит с последующим выпадением в осадок.

В гальваностатическом режиме при росте частиц на подложке увеличивается площадь поверхности, из-за чего локальная плотность тока изменяется, а значит, изменяется локальная скорость массопереноса. В потенциостатическом же режиме при увеличении поверхностной площади происходит изменение тока, но локальная плотность тока остается постоянной, как и скорость роста. Естественно, кинетика роста в гальваностатическом и потенциостатическом режимах разная. Однако подобные структуры нами были получены и в потенциостатическом режиме (рис. 3), причем диапазон, при котором растут такие кристаллы, довольно узкий: $\eta=55-75 \text{ мВ}$ и $t=2-3 \text{ ч}$. Экспериментально показано, что максимальное количество нитевидных кристаллов, полученных в потенциостатическом режиме, оказалось примерно таким, как в гальваностатическом режиме с плотностью тока до 10 A/m^2 , т. е. значительно меньше, чем при плотности тока в районе $j=35-40 \text{ A/m}^2$. При этом значительно большая часть кристаллов отчетливо имеет пентагональную симметрию.

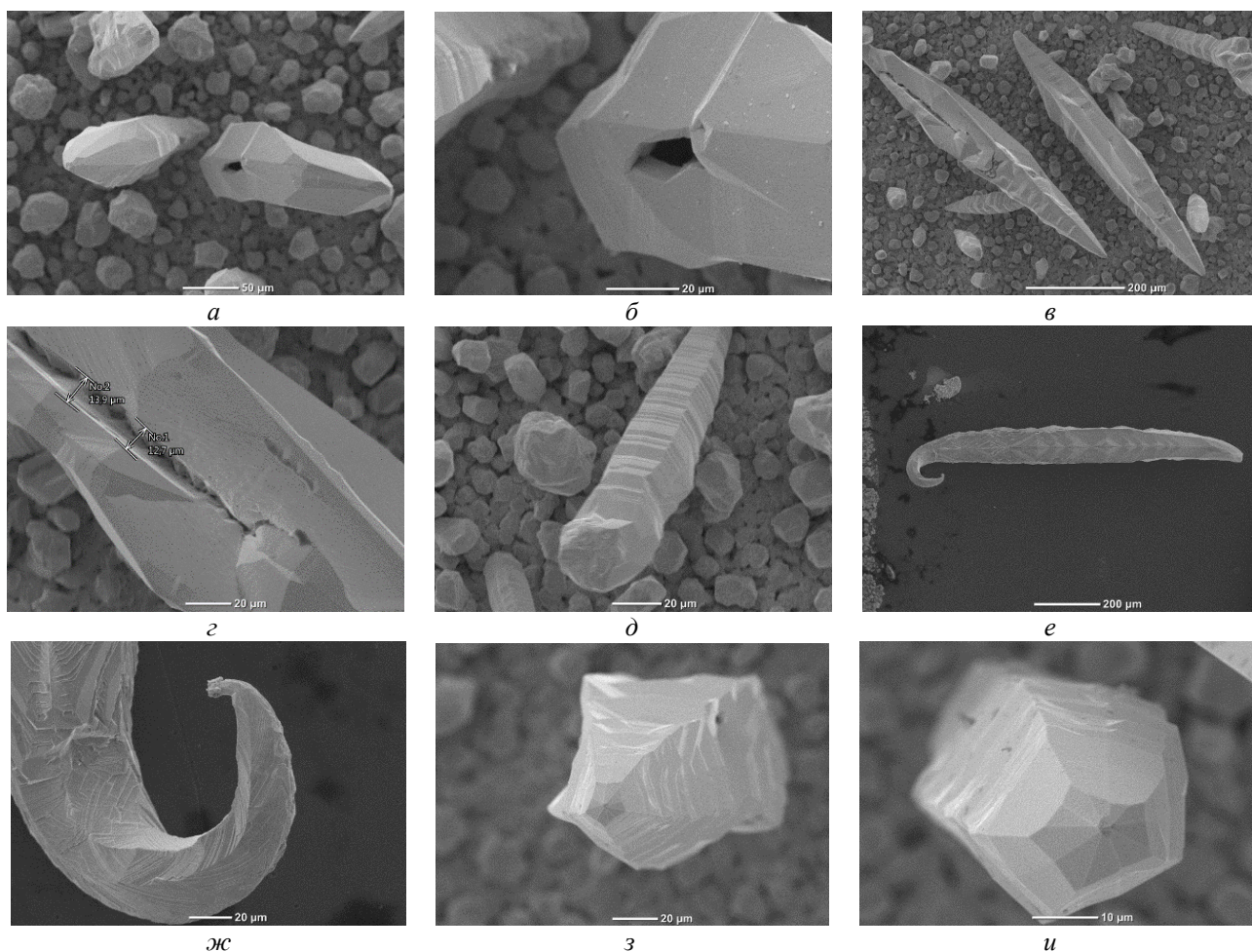


Рис. 2. Особенности в нитевидных микрокристаллах, сформировавшихся при электроосаждении серебра в гальваностатическом режиме:

а, б – $j=36 \text{ A/m}^2$ и $t=1,5 \text{ ч}$; в–д – $j=32 \text{ A/m}^2$ и $t=3 \text{ ч}$;
е–ж – $j=26 \text{ A/m}^2$ и $t=3 \text{ ч}$; з – $j=38 \text{ A/m}^2$ и $t=1,5 \text{ ч}$; и – $j=42 \text{ A/m}^2$ и $t=1 \text{ ч}$

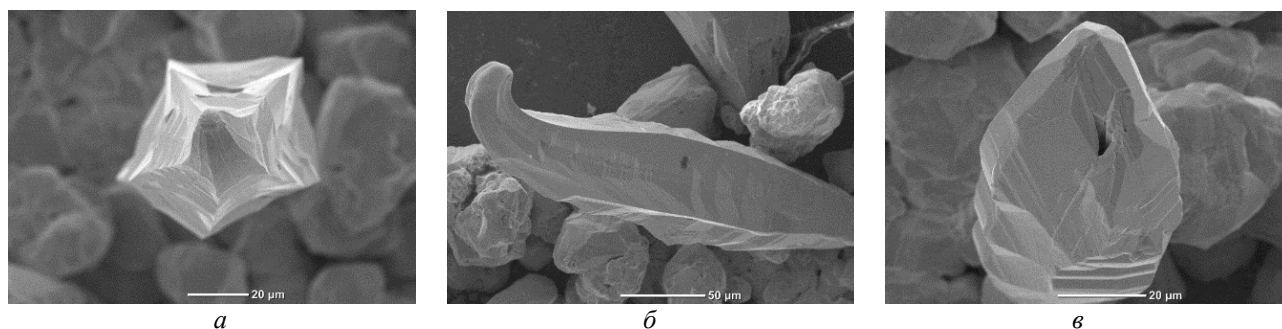


Рис. 3. Особенности в нитевидных микрокристаллах, сформировавшихся при электроосаждении серебра в потенциостатическом режиме: $\eta=60$ мВ и $t=2$ ч

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

По результатам исследования можно рекомендовать следующий режим получения серебряных нитевидных микрокристаллов на подложке из нержавеющей стали 12Х18Н9Т с нанесенным на нее методом ионно-плазменного напыления покрытия из нитрида титана: электроосаждение в гальваностатическом режиме с плотностью тока $j=36\text{--}40$ А/м² и временем осаждения $t=1,5$ ч.

К особенностям серебряных нитевидных микрокристаллов можно отнести: отверстия, трещины и несплошности вдоль кристалла, отсутствие заостренного конца, закругления кончика в виде крючка, пентагональную огранку.

Предполагаемый механизм роста серебряных нитевидных микрокристаллов – осевой (спиральный) или слоевой, на что указывают наблюдаемые ступени роста.

Полученные структуры могут являться затравкой для создания материалов с экстремально высокой плотностью дефектной структуры, которая будет задавать уникальные свойства в микро- и наномасштабе, а также могут послужить для выращивания уже готовых изделий в виде щупов, игл, кантилеверов, крючков и пр.

С физической точки зрения подобные материалы являются интересными объектами для исследования их поведения в температурных полях и при механических нагрузках. Наличие высокоэнергетических дефектов: дисклинаций, оборванных границ, множества двойников – приводит к изменению свойств материалов, что является актуальной темой в механохимии и становится предметом дальнейшего исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации, постановление № 220, в ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», договор № 14.Z50.31.0039.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang W., Zhao Q., Dong J., Li J. A novel silver oxides oxygen evolving catalyst for water splitting // International journal of hydrogen energy. 2011. Vol. 36. № 13. P. 7374–7380.
2. Sanli E., Uysal B.Z., Aksu M.L. The oxidation of NaBH₄ on electrochemically treated silver electrodes //

International journal of hydrogen energy. 2008. Vol. 33. № 8. P. 2097–2104.

3. Ida Y., Watase S., Shinagawa T., Watanabe M., Chigane M., Inaba M., Tasaka A., Izaki M. Direct electrodeposition of 1.46 eV band gap silver (I) oxide semiconductor films by electrogenerated acid // Chemistry of Materials. 2008. Vol. 20. № 4. P. 1254–1256.
4. Langley D., Giusti G., Mayousse C., Celle C., Bellet D., Simonat J.P. Flexible transparent conductive materials based on silver nanowire networks: a review // Nanotechnology. 2013. Vol. 24. № 45. P. 452001.
5. Sannicolo T., Lagrange M., Cabos A., Celle C., Simonato J.-P., Bellet D. Metallic nanowire-based transparent electrodes for next generation flexible devices: a review // Small. 2016. Vol. 12. № 44. P. 6052–6075.
6. Liu C.-H., Yu X. Silver nanowire-based transparent, flexible, and conductive thin film // Nanoscale Research Letters. 2011. Vol. 6. № 1. P. X1–8.
7. Zhang Q., Zhang K., Xu D., Yang G., Huang H., Nie F., Liu C., Yang S. CuO nanostructures: synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications // Progress in Materials Science. 2014. Vol. 60. № 1. P. 208–237.
8. Reinhard D., Hall B.D., Ugarte R. Structures of free ultrafine silver particles, studied by electron diffraction: observation of large icosahedra // Atoms, molecules and clusters. 1993. № 26. P. 76–78.
9. Baletto F., Mottet C., Ferrando R. Microscopic mechanisms of the growth of metastable silver icosahedra // Physical review B: condensed matter and materials physics. 2001. Vol. 63. № 15. P. 1554081–1554810.
10. Grocholl L., Wang J., Gillan E.G. Synthesis of sub-micron silver and silver sulfide particles via solvothermal silver azide decomposition // Materials research bulletin. 2003. Vol. 38. № 2. P. 213–220.
11. Zhang Q., Lee J.Y., Xie J. Monodisperse icosahedral Ag, Au, and Pd nanoparticles: size control strategy and superlattice formation // ACS NANO. 2009. Vol. 3. № 1. P. 139–148.
12. Baletto F., Ferrando R. Island adsorption and adatom diffusion on 3D non-crystalline silver nanoclusters // Elsevier Science Publishing Company. 2001. Vol. 490. № 3. P. 361–375.
13. Tsuji M., Kumagai H., Hikino S., Yoon S.H., Ogino M., Matsuo R., Kim T. Stepwise growth of decahedral and icosahedral silver nanocrystals in DMF // Crystal growth and design. 2010. Vol. 10. № 1. P. 296–301.

14. Бутенко А.Н., Семченко Г.Д., Русинов А.И., Рябков Ю.И. Золь-гель процесс при разработке алюмосиликатного носителя серебряного катализатора // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 1-2. С. 23–30.
 15. Rashidzadeh H., Guo B. Generation of large gas-phase silver cluster ions by laser desorption/ionization of silver-containing salts // Chemical physics letters. 1999. Vol. 310. № 5-6. P. 466–470.
 16. Ясников И.С., Цыбускина И.И. Морфологические особенности строения микрокристаллов серебра электролитического происхождения // Журнал технической физики. 2008. Т. 78. № 11. С. 130–133.
 17. Викарчук А.А. Нанообъекты, наноматериалы и микропродукты из них, полученные методом электроосаждения металла // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2009. № 1. С. 7–15.
 18. Umalas M., Vlassov S., Polyakov B., Dorogin L.M., Saar R., Kink I., Löhms R., Löhms A., Romanov A.E. Electron beam induced growth of silver nanowhiskers // Journal of Crystal Growth. 2015. Vol. 410. P. 63–68.
 19. Silly F., Castell M.R. Growth of Ag icosahedral nanocrystals on a SrTiO₃(001) support // Applied Physics Letters. 2005. Vol. 87. № 21. P. 1–3.
 20. Lan Y.K., Su C.H., Sun W.H., Su A.C. Nucleation of decahedral Ag nanocrystals // RSC Advances. 2014. Vol. 4. № 4. P. 13768–13773.
 21. Mettel G., Siddhanta S., Narayana C., Kulkarni G.U. Nanocrystalline Ag microflowers as a versatile SERS Platform // RSC Advances. 2014. Vol. 6. № 13. P. 7480–7488.
 22. Викарчук А.А., Ясников И.С. Структурообразование в наночастицах и микрокристаллах с пентагональной симметрией, формирующихся при электрокристаллизации металлов. Тольятти: ТГУ, 2006. 206 с.
- REFERENCES**
1. Wang W., Zhao Q., Dong J., Li J. A novel silver oxides oxygen evolving catalyst for water splitting. *International journal of hydrogen energy*, 2011, vol. 36, no. 13, pp. 7374–7380.
 2. Sanli E., Uysal B.Z., Aksu M.L. The oxidation of NaBH₄ on electrochemically treated silver electrodes. *International journal of hydrogen energy*, 2008, vol. 33, no. 8, pp. 2097–2104.
 3. Ida Y., Watase S., Shinagawa T., Watanabe M., Chigane M., Inaba M., Tasaka A., Izaki M. Direct electrodeposition of 1.46 eV band gap silver (I) oxide semiconductor films by electrogenerated acid. *Chemistry of Materials*, 2008, vol. 20, no. 4, pp. 1254–1256.
 4. Langley D., Giusti G., Mayousse C., Celle C., Bellet D., Simonat J.P. Flexible transparent conductive materials based on silver nanowire networks: a review. *Nanotechnology*, 2013, vol. 24, no. 45, p. 452001.
 5. Sannicolo T., Lagrange M., Cabos A., Celle C., Simonato J.-P., Bellet D. Metallic nanowire-based transparent electrodes for next generation flexible devices: a review. *Small*, 2016, vol. 12, no. 44, pp. 6052–6075.
 6. Liu C.-H., Yu X. Silver nanowire-based transparent, flexible, and conductive thin film. *Nanoscale Research Letters*, 2011, vol. 6, no. 1, pp. X1–8.
 7. Zhang Q., Zhang K., Xu D., Yang G., Huang H., Nie F., Liu C., Yang S. CuO nanostructures: synthesis, characterization, growth mechanisms, fundamental properties, and applications. *Progress in Materials Science*, 2014, vol. 60, no. 1, pp. 208–237.
 8. Reinhard D., Hall B.D., Ugarte R. Structures of free ultrafine silver particles, studied by electron diffraction: observation of large icosahedra. *Atoms, molecules and clusters*, 1993, no. 26, pp. 76–78.
 9. Baletto F., Mottet C., Ferrando R. Microscopic mechanisms of the growth of metastable silver icosahedra. *Physical review B: condensed matter and materials physics*, 2001, vol. 63, no. 15, pp. 1554081–1554810.
 10. Grocholl L., Wang J., Gillan E.G. Synthesis of sub-micron silver and silver sulfide particles via solvothermal silver azide decomposition. *Materials research bulletin*, 2003, vol. 38, no. 2, pp. 213–220.
 11. Zhang Q., Lee J.Y., Xie J. Monodisperse icosahedral Ag, Au, and Pd nanoparticles: size control strategy and superlattice formation. *ACS NANO*, 2009, vol. 3, no. 1, pp. 139–148.
 12. Baletto F., Ferrando R. Island adsorption and adatom diffusion on 3D non-crystalline silver nanoclusters. *Elsevier Science Publishing Company*, 2001, vol. 490, no. 3, pp. 361–375.
 13. Tsuji M., Kumagae H., Hikino S., Yoon S.H., Ogino M., Matsuo R., Kim T. Stepwise growth of decahedral and icosahedral silver nanocrystals in DMF. *Crystal growth and design*, 2010, vol. 10, no. 1, pp. 296–301.
 14. Butenko A.N., Semchenko G.D., Rusinov A.I., Ryabkov Yu.I. Zol-gel process at development of silica-alumina transmitter of silver catalyst. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika*, 2011, no. 1-2, pp. 23–30.
 15. Rashidzadeh H., Guo B. Generation of large gas-phase silver cluster ions by laser desorption/ionization of silver-containing salts. *Chemical physics letters*, 1999, vol. 310, no. 5-6, pp. 466–470.
 16. Yasnikov I.S., Tsybuskina I.I. Morphology of silver single crystals obtained by electrodeposition. *Technical Physics. The Russian journal of applied physics*, 2008, vol. 53, no. 11, pp. 1515–1518.
 17. Vikarchuk A.A. Nanoobjects, nanomaterials and microproducts based on them, made by the method of electrodeposition of a metal. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 1, pp. 7–15.
 18. Umalas M., Vlassov S., Polyakov B., Dorogin L.M., Saar R., Kink I., Löhms R., Löhms A., Romanov A.E. Electron beam induced growth of silver nanowhiskers. *Journal of Crystal Growth*, 2015, vol. 410, pp. 63–68.
 19. Silly F., Castell M.R. Growth of Ag icosahedral nanocrystals on a SrTiO₃(001) support. *Applied Physics Letters*, 2005, vol. 87, no. 21, pp. 1–3.
 20. Lan Y.K., Su C.H., Sun W.H., Su A.C. Nucleation of decahedral Ag nanocrystals. *RSC Advances*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 13768–13773.
 21. Mettel G., Siddhanta S., Narayana C., Kulkarni G.U. Nanocrystalline Ag microflowers as a versatile SERS Platform. *RSC Advances*, 2014, vol. 6, no. 13, pp. 7480–7488.
 22. Vikarchuk A.A., Yasnikov I.S. *Strukturoobrazovanie v nanochastitsakh i mikrokrystallakh s pentagonalnoy simmetriey, formiruyushchikhsya pri elektrokristallizatsii metallov* [Structurization in nanoparticles and microcrystals with pentagonal symmetry formed during electrocrystallization metals]. Togliatti, TGU Publ., 2006. 206 p.

FEATURES OF FORMATION AND GROWTH OF THE NEDLE-LIKE MICROCRYSTALS IN THE SILVER ELECTRODEPOSITION PROCESS

K.K. Abdugaffarova, engineer of Research Department NIO-5, Research Institute of Progressive Technologies
M.V. Dorogov, PhD (Physics and Mathematics),
associate professor of Chair “Nanotechnologies, materials science and mechanics”
E.C. Aifantis, PhD, Head of Research Department NIO-5, Research Institute of Progressive Technologies
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: silver electrodeposition; needle-like; morphology; pentagonal symmetry; structure discontinuity.

Abstract: Recently, much attention is paid to the synthesis and the study of characteristics of metal nano- and microparticles (including noble ones) since they have specific properties associated with the size effect of such particles. At the same time, it is proved that the specific properties are manifested both in the nanoscale particles and in the particles of a definite form or in the materials with the high density of the defect structure. For instance, an important characteristic of catalytic particles is the existence of the maximal number of planes (111) as the most catalytically active. The producing of the materials with new and/or improved physical-and-chemical properties having wide practical significance is the long-term objective. Formerly, one-dimensional metallic structures with the diameter from several nanometers to several microns, the length of which achieved several millimeters were obtained on the metallic coatings. This paper covers the analysis of the experimental facts associated with the features of the morphology and the growth of silver needle-like microcrystals produced using the electrodeposition method. The electrodeposition was carried out according to the two-electrode scheme. The morphology of the produced silver microcrystals was studied by the scanning electron microscopy JEOL JCM6000. The authors determined the range of electric current density at which the silver needle-like microcrystals are produced and specified such features of silver needle-like microcrystals growth as the round tips in the form of a hook, pentagonal facet, the absence of sharp tips, cracks, and discontinuities. Moreover, on the silver needle-like microcrystals, the growth steps are observed. The authors specified possible areas of application, for example, in microscopy, as the cantilevers and probes.

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ РЕЛЬЕФ – ОТРАЖЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ НИКЕЛЯ

© 2017

Е.А. Алфёрова, кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники Института кибернетики
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск (Россия)
Д.В. Лычагин, доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой минералогии и геохимии
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск (Россия)

Ключевые слова: деформационный рельеф; EBSD-анализ; монокристалл; самоорганизация следов сдвига; дислокационная структура.

Аннотация: Несмотря на то, что деформационный рельеф находится в фокусе металлофизиков уже не одно десятилетие, до сих пор существует множество нерешенных вопросов, связанных с механизмами и целью его формирования. Кроме того, развитие приборной базы позволяет проводить более детальные экспериментальные исследования на недоступном ранее уровне. Одной из наиболее актуальных проблем при пластической деформации металлов является разрушение кристалла, которое обусловлено формированием мест с высокой локализацией деформации. Опираясь на деформационный рельеф, многие исследователи анализируют состояние материала с точки зрения сохранения целостности кристалла. Настоящая работа направлена на установление способов формирования структурных элементов деформационного рельефа различного типа (следы сдвига, мезо- и макрополосы, гофрированные структуры) и выявление роли каждого типа рельефа в повышении или снижении локальной деформации. В работе были проведены экспериментальные исследования по деформации сжатием ГЦК-монокристаллов никеля различной кристаллографической ориентации и последующее изучение деформационного рельефа. Для анализа рельефа применяли оптическую микроскопию, конфокальную лазерную сканирующую микроскопию, метод дифракции отраженных электронов, для обработки результатов использовали статистический и фрактальный анализ.

Определены способы формирования структурных элементов деформационного рельефа (следов сдвига, мезо- и макрополос, гофрированных структур), выделены их общие и отличительные черты.

Установлена цель самоорганизации следов сдвига в элементы рельефа более крупного масштабного уровня (пачки следов, мезо- и макрополосы). Выявлены способы самоорганизации следов сдвига на микро- и мезоуровне.

ВВЕДЕНИЕ

Деформационный рельеф является источником информации о внутренних процессах. Он появляется на поли- и монокристаллах при различных способах нагружения и первоначально проявляет себя в виде тонких линий скольжения. Более ста лет назад Розенхайн и Эвинг обнаружили, что эти линии представляют собой ступеньки на поверхности, появляющиеся благодаря микроскопическому сдвигу вдоль кристаллографических плоскостей. Однако тот факт, что пластическая деформация реализуется не только с помощью трансляционного механизма, но и совместно с ротационным, был высказан еще в начале XX в. Р. Хоникомбом [1], А.Ф. Иоффе [2], Е. Шмидом и В. Боасом [3], В.Д. Кузнецовым [4] и др. Некоторое время спустя о переориентации кристаллической решетки при увеличении степени деформации сообщили С. Мадер и А. Зегер [5], а после и другие исследователи.

Благодаря развитию дифракционных методов удалось достоверно установить, что сдвиговая деформация в определенных условиях сопровождается переориентацией кристаллической решетки. На сегодняшний день очевидно, что трансляционные и ротационные механизмы деформации тесно взаимосвязаны. Переориентация локальных областей более характерна для высоких степеней пластической деформации и высокой плотности дислокаций. На начальных стадиях деформации изменение формы кристалла происходит за счет дислокационного скольжения.

Наиболее явным структурным элементом деформационного рельефа, сформированным трансляционным механизмом, является след скольжения или след сдвига. С началом пластической деформации следы сдвига наблюдаются при различных условиях нагружения. След сдвига состоит из пачки следов скольжения. В реальных экспериментах на поверхностях кристаллов можно наблюдать не только следы сдвига, но и более сложный деформационный рельеф [6–8], в частности пачки следов сдвига, мезо- и макрополосы, гофрированные (складчатые структуры) и др. Всю совокупность элементов деформационного рельефа мы предлагаем называть структурными элементами деформационного рельефа (СЭДР). При таком разнообразии деформационного рельефа возникает вопрос о том, какой тип СЭДР наиболее благоприятен с точки зрения сохранения целостности кристалла при нагружении, т. е. какой тип рельефа способствует более однородному протеканию деформации. Рассмотрение неоднородности деформации в моно- и поликристаллах на основании деформационного рельефа проводится во многих работах [9–11]. Благодаря такому анализу идентифицируются места как однородного, так и неоднородного протекания деформации.

Таким образом, на сегодняшний день понятно, что ротационные и трансляционные механизмы имеют место при пластической деформации металлов. Однако до конца не ясно, каким образом они функционируют и формируют различные типы деформационного рельефа.

Кроме того, остаются нерешенными вопросы, касающиеся цели формирования СЭДР различного типа.

Цель настоящей работы – установление закономерностей развития трансляционной и ротационной составляющей при формировании деформационного рельефа различного типа и установление роли каждого типа рельефа в сохранении целостности кристалла при деформации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был выбран монокристаллический никель (чистота 99,99 %) с ориентацией осей сжатия в углах стандартного стереографического треугольника. При исследовании монокристаллов благодаря отсутствию зерен, границ зерен, известной кристаллографической ориентации возможно установление фундаментальных закономерностей пластической деформации.

Деформацию сжатием проводили на испытательной машине Instron ElektroPuls E10000, скорость $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Картину деформационного рельефа исследовали на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Olympus LEXT OLS4100. Размер сканированного участка в каждом отдельном случае составлял $0,066 \text{ мм}^2$ ($0,256 \times 0,256 \text{ мм}$). Разрешение по глубине – $0,06 \text{ мкм}$. Для определения величины разориентации локальных областей применялась EBSD-приставка к микроскопу Tescan Vega II LMU. Ниже обсуждаются результаты, полученные с участков в центре грани образца для исключения приторцевых эффектов. Описанные результаты получены для величины деформации от 16 до 22 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При пластической деформации ГЦК-монокристаллов сжатием характерными структурными элементами деформационного рельефа являются следы скольжения, мезо-, макрополосы деформации и гофрирование (складчатые структуры) различного типа. Тип СЭДР зависит от кристаллографии образца [12].

Очевидным элементом рельефа, образующимся посредством сдвига в плоскости скольжения, является след скольжения. Несколько следов скольжения образуют след сдвига, который можно наблюдать при оптическом увеличении. В некоторых случаях для таких материалов, как твердые растворы с ближним атомным порядком и сплавы с невысоким значением энергии дефекта упаковки, а также для определенных кристаллографических ориентаций, например $\{001\} \{001\}$ для никеля, может наблюдаться группирование следов сдвига в пачки, благодаря которым осуществляется

макроскопическое формоизменение кристалла. Для монокристаллов с осью сжатия $[110]$ характерно формирование мезополос деформации. Макрополосы наблюдаются в $[111]$ -монокристаллах, их размеры сопоставимы с размерами образца. Для этой же ориентации характерно формирование гофрированных (складчатых) структур различной морфологии. Варианты их классификации по различным признакам приведены в работах [8; 11]. На рис. 1 показаны отдельные СЭДР, характерные для никеля, по оптическим снимкам видно, что они имеют различную морфологию. Далее проанализируем их более детально. На рис. 1 г показан только один морфологический тип гофра.

Все рассмотренные способы изменения формы поверхности в процессе пластической деформации монокристаллов связаны с формированием квазипериодического профиля поверхности посредством следов сдвига, пачек следов, мезо- и макрополос деформации и гофров (складок) различного типа. В широком смысле можно сказать, что все структурные элементы деформационного рельефа подобны гофру, так как образованы чередованием выступов и впадин, т. е. изгибом поверхности без нарушения сплошности материала. При исследовании деформационного рельефа при помощи конфокальной микроскопии для всех типов СЭДР было обнаружено наличие ступенек на профиле поверхности (рис. 2).

Величина сдвига в следах составляет порядка $0,07\text{--}0,13 \text{ мкм}$, в мезополосе – $1,9\text{--}3,8 \text{ мкм}$; при этом величина сдвига в следах, образующих мезополосу, – $0,08\text{--}0,3 \text{ мкм}$, величина сдвига в следах, образующих макрополосу, – $0,100\text{--}1,300 \text{ мкм}$. Различие в величине сдвига обусловлено степенью развития того или иного элемента рельефа, а следовательно, количеством вышедших на поверхность следов скольжения. В ранних работах установлено, что в чистых ГЦК-металлах (алюминий, медь, никель) величина сдвига в следе скольжения соответствует выходу $15\text{--}32$ дислокаций на поверхность [1; 13; 14]. Оценки величины сдвига, изложенные в работе [15], показывают, что высота ступеньки на поверхности коррелирует с количеством дислокаций, генерируемых источником до его остановки. Как показано выше, величина сдвига в более крупном структурном элементе деформационного рельефа «набирается» благодаря сдвигу в отдельных следах. Аналогичный способ образования больших деформационных ступенек в результате последовательного суммирования элементарных ступенек описан в работе [16].

Анализ полученных экспериментальных результатов и результатов, описанных в литературе, позволяет говорить о наличии предельных значений величины сдвига, которые характерны для разных СЭДР.

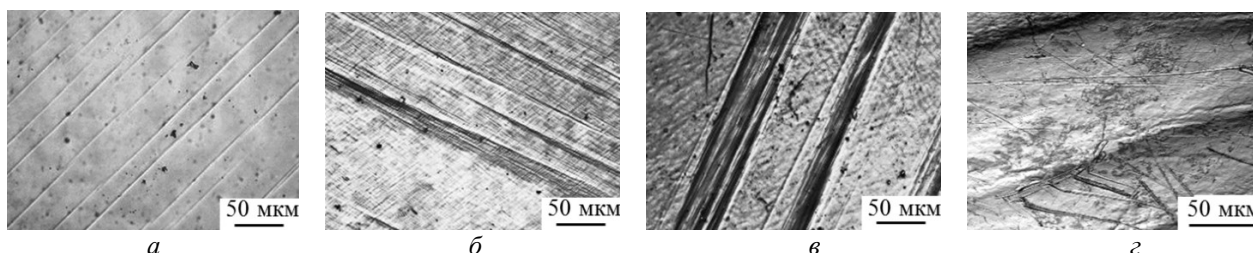


Рис. 1. СЭДР: следы сдвига (а), мезополосы (б), макрополосы (в), гофрированные структуры (г)

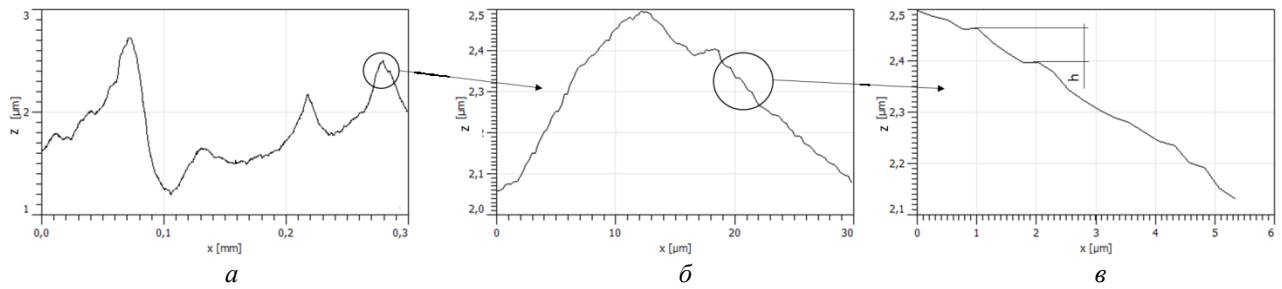


Рис. 2. Профиль поверхности перпендикулярно мезополосам (а), увеличенное изображение (б–в), h ступенька сдвига

В работе был проведен EBSD-анализ для областей, занятых различными СЭДР. Установлено, что при формировании следов сдвига и мезополос деформация обеспечивается посредством октаэдрического скольжения в рассмотренных степенях деформации, разориентации не наблюдались. В случае формирования макрополос дополнительно к механизму дислокационного скольжения обнаруживается присутствие ротационной компоненты, которое подтверждают данные EBSD-анализа, полученные с поверхности образца (рис. 3 б, 3 в, 3 г). Формирование гофрированных (складчатых) структур обеспечивается скольжением и переориентацией как на поверхности (рис. 3 д, 3 е, 3 ж), так и в объеме кристалла [8].

Для более детального исследования закономерностей переориентации локальных областей в зоне формирования гофрированной структуры был проведен EBSD-анализ с грани, перпендикулярной к грани, занятой гофрированной структурой (рис. 4).

Далее приводится описание результатов для области, занятой гофрированными структурами, попадающими в зону макровогнутости образца. Данная зона формируется при деформации образца сжатием и обусловлена кристаллографией [111] ГЦК монокристаллов.

При величине деформации 16 % области переориентации в зоне формирования гофрированных структур распространяются от поверхности вглубь на величину порядка 680 мкм. Более ярко полосы переориентации проявляются у поверхности образца на глубине до 350–380 мкм. У поверхности кристалла можно наблюдать углы разориентации более 15°, однако наибольшее количество границ имеют разориентацию порядка 2–8°. При продвижении вглубь образца доля границ с величиной разориентации более 2° постепенно снижается.

Сопоставление углов разориентации с параметрами дислокационной структуры показывает, что во внутренней области кристалла величина разориентации обеспечивается благодаря развитию ячеистой субструктуры, характерной для никеля при рассматриваемой степени деформации [17; 18]. При этом у поверхности образца разориентация происходит за счет поворота кристаллической решетки.

Расстояние между переориентированными полосами у поверхности кристалла составляет 40–85 мкм, на глубине 700 мкм от поверхности значение увеличивается до 70–115 мкм. Это свидетельствует о том, что в поверхностном слое деформационные процессы протекают более интенсивно.

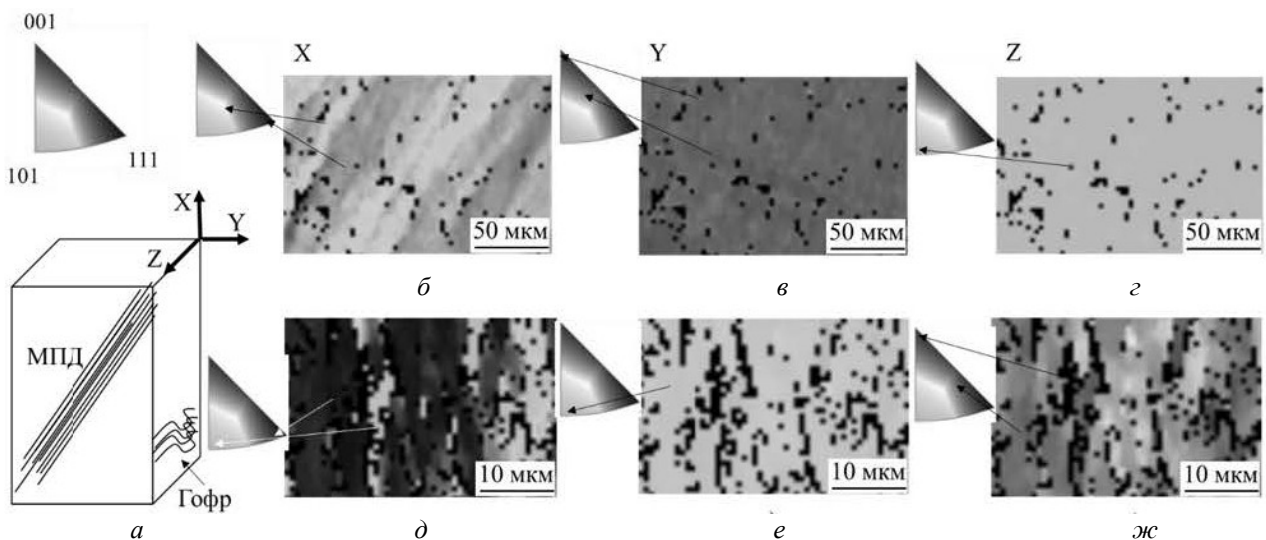


Рис. 3. Картина разориентации относительно осей: схема и стереографический треугольник (а); макрополоса на боковой грани (110) (б–г); гофр на боковой грани (112) (д–ж); деформация 16 %; стрелками указаны переориентированные области и соответствующие им направления переориентации

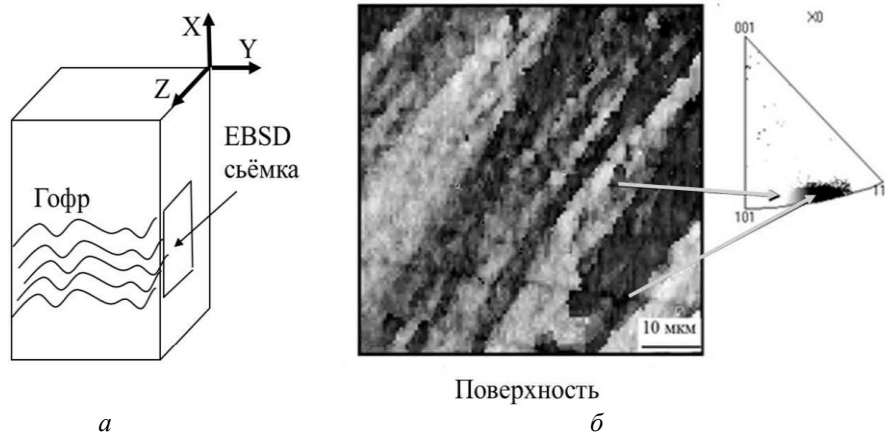


Рис. 4. EBSD-анализ: схема съемки (а), картина разориентации в области формирования гофра (б); деформация 16 %; стрелками указаны переориентированные области и соответствующие им направления переориентации

Отметим, что в [111]-монокристаллах октаэдрические плоскости не имеют свободного выхода на поверхности кристалла, они ограничены пунсонами испытательной машины. Следовательно, возникают обратные напряжения, которых нет при формировании следов сдвига, пачек следов и мезополос. Такие затрудненные условия для сдвига способствуют тому, что для сохранения целостности кристалла необходимо подключение дополнительного способа деформации (переориентация локальных объемов) с более ранних степеней деформации.

Квазипериодический профиль поверхности, формирующийся благодаря чередованию выступов и впадин, характерен для всех случаев деформационного рельефа. Каждая впадина представляет собой зону отрицательной кривизны, следовательно, в ней появляются добавочные сжимающие напряжения σ_a . Используя соотношение механики, оценить дополнительное сжимающее напряжение σ_a можно по формуле

$$\sigma_a = \sigma_0 \cdot w,$$

где σ_0 – напряжение в образце;

$$w = (1 + 2 \cdot (a/r)^{-1/2});$$

a – глубина впадины профиля;

r – радиус кривизны профиля.

Коэффициент w в формуле по факту является коэффициентом повышения локального напряжения в зоне формирования впадины [19].

В работе был проведен оценочный расчет коэффициента w для СЭДР различного типа рельефа, результаты представлены в таблице 1.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что процесс формирования СЭДР более крупного масштаба (пачки, мезополосы, макрополосы и гофры) способствует снижению дополнительного напряжения σ_a в локальной области на мезо- и макроуровне по сравнению с отдельными следами сдвига. Следовательно, можно говорить о самоорганизации процесса пластической деформации, которая отражается в формирующемся рельефе и направлена на сохранение целостности кристалла при деформации. Кроме того, для определения размера зоны с самосогласованной дефор-

мацией была рассмотрена автокорреляционная функция для каждого типа деформационного рельефа. Автокорреляционная функция в данном случае анализирует значения высоты в соседних точках поверхности. Она позволяет оценить взаимодействие локальных областей кристалла, разделенных некоторыми интервалами. Радиус корреляции r_k , определяемый по указанной функции, обнаруживает размер зоны с самосогласованной деформацией. Полученные результаты сведены в таблице 1. Наибольший размер области со взаимосогласованной деформацией характерен для мезополос и макрополос.

Таблица 1. Значение коэффициента w и радиуса корреляции r_k для различных СЭДР, никель, интервал деформации 18–22 %

Тип СЭДР	w	r_k , мкм	H_1	H_2
Следы сдвига	8,2	37±9	0,060	0,250
Пачки следов сдвига	4,7	36±1	0,050	0,078
Мезополосы	3,3	42±8	0,033	0,062
Макрополосы	6,3	43±5	0,091	0,263
Гофр*	1,6	18±1	0,012	0,049

* Приведены данные только для одного морфологического типа гофрированной структуры.

Для обнаружения масштабно-инвариантных закономерностей процесса пластической деформации был использован фрактальный анализ деформационного рельефа на основе корреляционной функции высота – высота $H(r)$ [20; 21]:

$$H(r) = \langle [Z(r^2) - Z(r^2 - r)]^2 \rangle,$$

где $Z(r)$ – функция высоты поверхности по всем парам точек, отстоящим друг от друга на фиксированное расстояние r ; скобки указывают на усреднение по всем парам точек.

Из графика функции $H(r)$ в логарифмических по наклону начального участка кривой был определен пока-

затель Хёрста (H) для всех типов деформационного рельефа (см. таблицу 1). Длина корреляции L определяется проекцией линейного участка на ось абсцисс.

Анализ результатов показал, что на корреляционной длине L_1 процесс носит антиперсистентный характер. Система имеет ярко выраженную тенденцию к сохранению среднего значения высоты рельефа. Корреляционная длина L_1 для всех СЭДР составляет до 1,5–3 мкм. Сравнение L_1 с параметрами дислокационной структуры, полученными авторами, а также с данными приведенными в литературе [17; 18], позволяет сказать, что взаимосогласованность деформации на этом масштабе осуществляется благодаря самоорганизации дислокационной структуры. Значения длины корреляции L_2 составляет несколько десятков микрометров. Ее сравнение с характерными геометрическими размерами рассмотренных СЭДР, приведенными в работе [12], свидетельствует о том, что корреляционная длина L_2 во всех случаях соизмерима с размерами мезопачек плоскостей сдвига. Таким образом, речь идет о самоорганизации пластической деформации на мезоуровне. Однако здесь стоит напомнить о размере зоны сканирования 0,066 мм², который накладывает ограничения на возможность определения более крупного масштаба самоорганизации пластической деформации.

Вместе с тем видно, что значение индекса Хёрста H_2 принимает различные значения для различных типов элементов рельефа (см. таблицу 1). Таким образом, тенденция к самоорганизации на мезоуровне прослеживается во всех случаях, но для мезополос и складок рассмотренного типа она выражена несколько сильнее, чем для следов и макрополос.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Определена величина сдвига в структурных элементах деформационного рельефа различного типа. Показано, что величина сдвига в элементе деформационного рельефа более крупного масштабного уровня набирается за счет последовательного суммирования элементарных сдвигов в следах.

Установлено, что следы сдвига и мезополосы в исследованном интервале деформации формируются благодаря дислокационному скольжению, для формирования макрополос дополнительно задействуется приповерхностная разориентация локальных областей, а для гофрирования также и разориентация внутри кристалла.

Благодаря комплексу использованных методов показано, что самоорганизация структурных элементов деформационного рельефа различного типа происходит с целью диссипации приложенного напряжения и сохранения целостности кристалла при деформации. Для снижения локальных напряжений на мезо- и макроуровне следы сдвига стремятся к самоорганизации в СЭДР следующего масштабного уровня (пачки следов, мезо- и макрополосы, гофр).

С использованием статистической обработки параметров деформационного рельефа на основе показателя Хёрста выявлено, что на микроуровне самоорганизация осуществляется за счет дислокационной структуры, на мезоуровне – за счет коррелированного сдвига в параллельных плоскостях скольжения.

Полученные результаты могут быть полезны ученым, работающим в области физики твердого тела,

а также при моделировании поведения отдельных зерен поликристаллического агрегата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60007 мол а дк.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Honeycombe R. The Plastic Deformation of Metals. London: Edward Arnold, 1984. 406 p.
2. Ioffe A.F. Physics of crystals. Leningrad: GIZ, 1929. 192 p.
3. Шмид Е., Боас В. Пластичность кристаллов в особенности металлических. Ленинград: Редакция технико-теоретической литературы, 1938. 316 с.
4. Кузнецов В.Д. Физика твердого тела. Томск: Красное знамя, 1941. 771 с.
5. Mader S., Seeger A. Untersuchung des gleitlinien bildes kubisch flächenzentrierter einkristalle // Acta met. 1960. Vol. 8. P. 513–522.
6. Khoddam S. Surface wrinkling of the twinning induced plasticity steel during the tensile and torsion tests // Mater. Des. Elsevier. 2014. Vol. 60. P. 146–152.
7. Lychagin D.V., Alfyorova E.A. Folding in FCC metal single crystals under compression // Phys. Solid State. 2015. Vol. 57. № 10. P. 2034–2038.
8. Lychagin D.V. Strain-induced folding on [111] copper single crystals under uniaxial compression // Appl. Surf. Sci. Elsevier B.V. 2016. Vol. 371. P. 547–561.
9. Magid K.R. Mapping mesoscale heterogeneity in the plastic deformation of a copper single crystal // Philos. Mag. 2009. Vol. 89. № 1. P. 77–107.
10. Wang X.G. A dedicated DIC methodology for characterizing plastic deformation in single crystals // Exp. Mech. 2016. Vol. 56. № 7. P. 1155–1167.
11. Lychagin D.V., Alfyorova E.A., Starenchenko V.A. Effect of crystallographic states on the development of macrobands and deformation inhomogeneity in [111] nickel single crystals // Phys. Mesomech. 2011. Vol. 14. № 1-2. P. 66–78.
12. Лычагин Д.В., Старенченко В.А., Соловьева Ю.В. Классификация и масштабная иерархия структурных элементов деформации ГЦК-монокристаллов // Физическая мезомеханика. 2005. Vol. 8. № 6. P. 67–77.
13. Taoka T., Sacata H. The effect of ordering on slip patterns // Acta met. 1957. Vol. 5. P. 61–63.
14. Ambrosi P., Schwink ChPias C. Slip line length of copper single crystals oriented along [100] and [111] // Scr. met. 1978. Vol. 12. P. 303–308.
15. Малыгин Г.А. Механизм образования деформационных ступенек нанометрических размеров на поверхности пластически деформируемых кристаллов // Физика твердого тела. 2001. Vol. 43. № 2. P. 248–253.
16. Веттегрень В.И., Рахимов С.Ш., Светлов В.Н. Изучение динамики субмикродфектор на поверхности нагруженного молибдена при помощи туннельного профилометра // Физика твердого тела. 1996. Т. 38. № 4. С. 1142–1148.

17. Малыгин Г.А. Процессы самоорганизации дислокаций и пластичность кристаллов // Успехи физических наук. 1999. Т. 169. № 9. С. 979–1010.
18. Конева Н.А. Классификация, эволюция и самоорганизация дислокационных структур в металлах и сплавах // Сорровский образовательный журнал. 1996. № 6. С. 99–107.
19. Мороз Л.С. Механика и физика деформаций и разрушения материалов. Ленинград: Машиностроение, 1984. 224 с.
20. Yang H.-N. Sampling-induced hidden cycles in correlated random rough surfaces // Phys. Rev. B. 1997. Vol. 56. № 7. P. 4224–4232.
21. Pelliccione M., Lu T.-M. Evolution of Thin Film Morphology. Modeling and Simulations. New York: Springer, 2008. 206 p.
10. Wang X.G. A dedicated DIC methodology for characterizing plastic deformation in single crystals. *Exp. Mech.*, 2016, vol. 56, no. 7, pp. 1155–1167.
11. Lychagin D.V., Alfyorova E.A., Starenchenko V.A. Effect of crystallographic states on the development of macrobands and deformation inhomogeneity in [111] nickel single crystals. *Phys. Mesomech.*, 2011, vol. 14, no. 1-2, pp. 66–78.
12. Lychagin D.V., Starenchenko V.A., Solov'eva Yu.V. Classification and scale hierarchy of structural elements in compression-strained FCC single crystals. *Physical mesomechanics*, 2006, vol. 9, no. 1-2, pp. 63–72.
13. Taoka T., Sacata H. The effect of ordering on slip patterns. *Acta met.*, 1957, vol. 5, pp. 61–63.
14. Ambrosi P., Schwink ChPias C. Slip line length of copper single crystals oriented along [100] and [111]. *Scr. met.*, 1978, vol. 12, pp. 303–308.
15. Malygin G.A. Mechanism of the formation of deformation steps of nanometric sizes at the surface of plastically deformed crystals. *Physics of the solid state*, 2001, vol. 43, no. 2, pp. 257–262.
16. Vettegren V.I., Rakhimov S.Sh., Svetlov V.N. Tunneling profilometer study of the dynamics of submicrodefects on the surface of loaded molybdenum. *Physics of the solid state*, 1996, vol. 38, no. 4, pp. 632–635.
17. Malygin G.A. Dislocation self-organization processes and crystals plasticity. *Physics-uspekhi*, 1999, vol. 42, no. 9, pp. 887–916.
18. Koneva N.A. Classification, evolution and self-organization of dislocation structures in metals and alloys. *Sorovskiy obrazovatelnyy zhurnal*, 1996, no. 6, pp. 99–107.
19. Moroz L.S. *Mekhanika i fizika deformatsiy i razrusheniya materialov* [Mechanics and physics of deformation and destruction]. Ленинград, Mashinostroenie Publ., 1984. 224 p.
20. Yang H.-N. Sampling-induced hidden cycles in correlated random rough surfaces. *Phys. Rev. B*, 1997, vol. 56, no. 7, pp. 4224–4232.
21. Pelliccione M., Lu T.-M. *Evolution of Thin Film Morphology. Modeling and Simulations*. New York, Springer Publ., 2008. 206 p.

REFERENCES

1. Honeycombe R. *The Plastic Deformation of Metals*. London, Edward Arnold Publ., 1984. 406 p.
2. Ioffe A.F. *Physics of crystals*. Ленинград, GIZ Publ., 1929. 192 p.
3. Schmid E., Boas V. *Plastichnost kristallov v osobennosti metallicheskih* [The plasticity of crystals, especially metal ones]. Ленинград, Redaktsiya tekhniko-teoreticheskoy literatury Publ., 1938. 316 p.
4. Kuznetsov V.D. *Fizika tverdogo tela* [Solid body physics]. Tomsk, Krasnoe znamya Publ., 1941. 771 p.
5. Mader S., Seeger A. Untersuchung des gleitlinien bildes kubisch flächenzentrierter einkristalle. *Acta met.*, 1960, vol. 8, pp. 513–522.
6. Khoddam S. Surface wrinkling of the twinning induced plasticity steel during the tensile and torsion tests. *Mater. Des. Elsevier*, 2014, vol. 60, pp. 146–152.
7. Lychagin D.V., Alfyorova E.A. Folding in FCC metal single crystals under compression. *Phys. Solid State*, 2015, vol. 57, no. 10, pp. 2034–2038.
8. Lychagin D.V. Strain-induced folding on [111] copper single crystals under uniaxial compression. *Appl. Surf. Sci. Elsevier B.V.*, 2016, vol. 371, pp. 547–561.
9. Magid K.R. Mapping mesoscale heterogeneity in the plastic deformation of a copper single crystal. *Philos. Mag.*, 2009, vol. 89, no. 1, pp. 77–107.

**DEFORMATION RELIEF IS THE REFLECTION OF INTERNAL PROCESSES
DURING PLASTIC DEFORMATION OF SINGLE CRYSTALS**

© 2017

E.A. Alfeyorova, PhD (Physics and Mathematics),
assistant professor of Chair of Mechanical Engineering and Industrial Robotics of Institute of Cybernetics
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk (Russia)
D.V. Lychagin, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,
Head of Chair of Mineralogy and Geochemistry
National Research Tomsk State University, Tomsk (Russia)

Keywords: deformation relief; EBSD analysis; single crystal; self-organization of slip tracks; dislocation structure.

Abstract: In spite of the fact that the deformation relief is the case study of the scientists of physics of metals for several decades, there are a large number of issues associated with the mechanisms and the objective of its formation. Moreover, the development of the instrumental base allows carrying out the detailed experimental studies at the better than ever level. One of the most relevant issues during plastic deformation of metals is the destruction of a crystal that is caused by the formation of areas with the high allocation of deformation. Basing on the deformation relief, many researchers analyze the state of a material from the point of view of preserving the crystal integrity. This study is aimed to determine the methods of formation of structural elements of deformation relief of various types (slip traces, meso- and macrobands, and corrugated surface) and to identify the role of each type of relief in the increase and decrease of local deformation. The authors carried out the experimental study on the compressive deformation of FCC nickel single crystals of different crystallographic orientation and the further study of the deformation relief. To analyze the relief, the authors used optical microscopy, confocal laser scanning microscopy, and the reflection electron diffraction method; to process the results, the statistical and fractal analysis was used.

The study determined the methods of formation of structural elements of the deformational relief (slip traces, meso- and macrobands, and corrugated surface), specified their common and distinctive features.

The paper sets the objective of self-organization of traces of slip into the relief elements of a larger scale level (band of slip tracks, meso- and macrobands) and identifies the methods of self-organization of slip traces at the micro- and mesolevel.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОГО ЛЕГИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛЛОТРОПНЫМИ МОДИФИКАЦИЯМИ УГЛЕРОДА

© 2017

Н.И. Веткасов, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения»

А.И. Капустин, заведующий лабораторией

В.В. Сапунов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»

Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск (Россия)

Ключевые слова: композиционный материал; алюминий; аморфный углерод; графит; углеродные нанотрубки; механическое легирование; композиционные гранулы; область когерентного рассеивания.

Аннотация: В основу технологии синтеза дисперсно-упрочненных композитов положено применение процесса механического легирования (МЛ) порошковых материалов. МЛ позволяет создавать активные состояния в твердом теле матричного материала, которые являются центрами физического и химического взаимодействия между фазами компонентов порошковых композиций. В статье приведен обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных исследованию процесса МЛ алюминиевого порошка различными формами углерода. Разработана базовая технология МЛ матричного порошка алюминия марки ПАД-1 техническим углеродом марки К 354. Исследованы процессы МЛ порошка алюминия графитом и углеродными нанотрубками (УНТ), как в части разработанных режимов МЛ, так и в части обеспечения высоких физико-механических характеристик синтезируемых в процессе МЛ порошка алюминия композиционных гранул, являющихся полуфабрикатом для получения композиционных материалов (КМ). Определены основные стадии формирования порошковых композиций на основе алюминия в процессе МЛ алюминиевого порошка аллотропными модификациями углерода. Показаны результаты анализа поэтапного изменения морфологии (поэтапной эволюции) обрабатываемых порошковых смесей матричного материала и легирующей добавки в процессе формирования композиционных гранул с требуемыми физико-механическими параметрами.

Представлены результаты рентгенофазового анализа композиционных гранул, легированных техническим углеродом К 354 и графитом ГЛ-1, на разных стадиях их формирования и обработки, отражающие достижения требуемой трансформации их внутренней структуры и фазового состава.

Проанализированы особенности протекания процесса МЛ алюминиевого порошка марки ПАД-1 одностенными углеродными нанотрубками марки TUBALL. Обоснована необходимость поиска методов и технологий предварительной (непосредственно перед процессом МЛ) гомогенизации обрабатываемой смеси ПАД1-TUBALL.

ВВЕДЕНИЕ

Новые композиционные дисперсно-упрочненные материалы являются важным направлением современного развития техники. В частности, все большее применение находят композиционные материалы этого класса на основе алюминия [1–3]. Они имеют благоприятное сочетание эксплуатационных свойств: конструкционных, антикоррозионных и др. [4–6].

В основу технологии синтеза дисперсно-упрочненных композитов положено применение процесса механического легирования (МЛ) порошковых материалов. МЛ позволяет создавать активные состояния в твердом теле матричного материала, которые являются центрами физического и химического межфазного взаимодействия компонентов порошковых композиций [7–9].

Получение порошковой композиции для последующего формирования композитных наноструктурированных материалов $Al-Al_4C_3$, $Al-Al_4C_3-Al_2O_3$, $Al-C$, $Al-CNT$ – перспективных материалов для применения в авиастроении и машиностроении – является актуальной задачей, поскольку композит обладает уникальными свойствами, недостижимыми при других методах производства [10–12].

Известно, что эффективность МЛ в первую очередь определяется равномерностью дисперсии наноразмерных частиц углерода в алюминиевой матрице [13–15]. При этом повторная деформация, холодная сварка и фрагментация частиц во время процесса МЛ вызывают изменение морфологии в углеродных наполнителях

и могут даже привести к их полному разрушению в случае использования жестких режимов легирования. В частности, углеродные нанотрубки (УНТ) могут быть преобразованы в короткие и открытые трубки из-за локально генерируемого высокого давления от соударений между шарами в механическом реакторе [13; 16]. Кроме этого, в процессе МЛ могут образовываться аморфные, а также разрушенные трубчатые структуры [17]. В других исследованиях утверждается, что холодная сварка частиц алюминиевой матрицы вокруг УНТ защищает их от повреждений [18]. В работе [19] отмечается, что карбидные наноструктуры преимущественно формируются в местах структурного беспорядка, нанодетектов и открытых концов многостенных углеродных нанотрубок. Сообщается, что реакция между поврежденными УНТ и алюминием может происходить при более низкой температуре в процессе МЛ [20]. В ряде публикаций приводится информация о влиянии таких параметров, как продолжительность процесса МЛ [21], интенсивность легирования [22], атмосфера процесса [23] и размер исходного порошка алюминия [13], на степень повреждения УНТ в процессе МЛ.

К настоящему времени рядом исследователей уже получены образцы композитных материалов с удовлетворительными физико-техническими характеристиками на основе применения различных методов МЛ и консолидации порошковой композиции $Al-C$. Однако эти работы были выполнены без достаточно глубокого анализа трансформации формы и физико-механического

состояния исходных порошков и порошковых композиций непосредственно в процессе МЛ. Также не определены условия и режимы достижения параметров легированных алюминиевых порошков, обеспечение и воспроизводимость физико-механических свойств которых является необходимым условием получения готового композита с требуемыми физико-механическими свойствами.

В настоящей статье представлены результаты исследований процесса МЛ порошка алюминия марки ПАД-1 углеродом трех аллотропных модификаций – техническим углеродом марки К 354, графитом серебристым литейным марки ГЛ-1 и одностенными углеродными нанотрубками TUBALL, реализованного по разработанной авторами базовой технологии МЛ. Исследования выполняли с целью поиска путей эффективного синтеза композиционных гранул с заданными физико-механическими характеристиками, в частности, решали задачу разработки процессов МЛ алюминия техническим углеродом, графитом, а также одностенными УНТ с обеспечением прироста предела прочности не ниже чем на 60 % относительно материала алюминиевой матрицы.

Под композиционными гранулами понимаются гранулы, формирующиеся в результате многократной холодной сварки частиц матричного алюминиевого порошка в процессе его МЛ углеродом.

Описаны подходы к осуществлению процесса МЛ, обеспечивающего синтез композиционных гранул с дисперсно-упрочненной структурой, обладающих физико-механическими характеристиками, обеспечение которых является необходимым и достаточным условием для успешного применения этих композиционных гранул в качестве полуфабрикатов для изготовления готовых металлматричных композитов системы Al–C с заданными прочностными свойствами.

При этом следует иметь в виду, что качественный КМ из композиционных гранул с заданными свойствами может быть получен только при условии оптимизации всех последующих операций их компактирования, термомеханической и термической обработки.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения экспериментальных образцов композиционных гранул использовали следующие исходные материалы: порошок алюминиевый первичный дисперсный марки ПАД-1 (СТО22436138-006-2006), порошок углерода технического К 354 (ГОСТ 7885), графит кристаллический литейный ГЛ-1 (ГОСТ 5279), одностенные углеродные нанотрубки TUBALL 01RW01 (ТУ 2166-001-91735575-2014).

Алюминиевый порошок предварительно просеивали через сито с размером ячейки 30 мкм. Гранулированный порошок аморфного углерода подвергали предварительному измельчению в механическом реакторе (МР) в течение 10 мин с целью разрушения гранул и агломератов. Модельные порошковые композиции (шихты) (таблица 1) для получения композиционных гранул приготавливали с использованием высокоточных весов ВЛ-210.

Процесс легирования проводили в МР оригинальной конструкции, которая включает два внутренних виброэлемента, закрепленных на единой горизонтальной оси, создающих вибросиловые воздействия на шаровые помольные тела в двух взаимно перпендикулярных направлениях с фазовым сдвигом 30°. Кроме этого, в рабочей камере установлены специальные элементы конструкции, образующие внутренние конические поверхности с различными углами при вершине с двух сторон рабочей камеры. Углы при вершине определяли эмпирическим путем. Данные элементы выполняли функцию поворота плоскости вибрации с формированием встречно направленных потоков шаров, чем достигается увеличение интенсивности механического истирания и «холодной сварки». МР оснащен устройством отбора проб шихты (пробоотборником) и помольных тел, позволяющим проводить анализ шихты и величины плакирующего слоя на помольных телах в любой момент времени процесса МЛ.

Морфологию и размер частиц порошка ПАД-1 и композиционных гранул оценивали с помощью сканирующего электронного микроскопа PHENOM Pro X и цифрового микроскопа Dino-Lite AM4112PT. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3М в Cu-излучении, при этом по уширению дифракционных линий определяли размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) композиционных гранул [24; 25]. Размер ОКР, как правило, отождествляют со средним размером кристаллитов. При этом размер ОКР обычно несколько ниже результатов определения размера кристаллитов с помощью электронной микроскопии, поскольку ОКР соответствует внутренней (упорядоченной) области кристаллитов и не включает сильно искаженные границы [26; 27].

Микротвердость измеряли при помощи твердомера Tukon 1102 Micro Vickers методом Виккерса. Нагрузку индентора варьировали в диапазоне от 10 до 100 г. Время выдержки составляло 10 с. Микротвердость, а также рентгенофазную и рентгеноструктурную характеристики композиционных гранул и порошка ПАД-1 измеряли до термообработки в составе моноблоков (диаметр 15 мм, высота 5 мм), полученных омоноличиванием порошка

Таблица 1. Рецептуры модельных порошковых композиций (шихты) и получаемых из них композиционных гранул

Обозначение модельных порошковых композиций	Материал основной фракции	Доля наполнителей, масс. %			Обозначение композиционных гранул
		К 354	ГЛ-1	TUBALL	
ПК1	ПАД-1 СТО22436138-006-2006	5	–	–	КГ1
ПК2		–	5	–	КГ2
ПК3		–	–	1	КГ3
ПК4*		–	–	–	–

*Образец ПК4 представляет собой исходный порошок ПАД-1.

и гранул эпоксидной смолы, а после термообработки – как в составе моноблоков, так и в составе компактов (диаметр 21 мм, высота 7 мм), полученных холодным прессованием при давлении 600 МПа.

Анализ полноты внедрения технического углерода и графита в матрицу алюминиевого порошка оценивали по содержанию свободного углерода в шихте после исследуемой стадии легирования. Для этого применяли оригинальную экспресс-методику обнаружения свободного углерода в шихте [28]. Заметим, что эту авторскую методику применяли при мониторинге полноты усвоения легирующего элемента матричным алюминием в процессе МЛ техническим углеродом и графитом, а в случае легирования УНТ – для оценки сохранности (отсутствия аморфотизации) УНТ в процессе формирования композиционных гранул при МЛ.

Базовую технологию МЛ отработывали на рецептуре ПК1 (см. таблицу 1). При этом варьировали режимы, отличающиеся соотношением массы шаров и порошка, временем легирования, частотой вращения вибратора, конструктивными элементами МР, атмосферой, в которой выполняли процесс. Впоследствии базовая технология была адаптирована для каждой отдельной рецептуры.

При адаптации разработанной базовой технологии при применении в качестве легирующих элементов графита или углеродных нанотрубок достаточно было уточнить ее в части определения (корректировки) длительности каждой из двух ее основных стадий и, соответственно, общей длительности процесса МЛ.

Разработанная базовая технология МЛ матричного порошка ПАД-1 техническим углеродом К354 имела следующие параметры (при ее реализации с применением авторской конструкции двухвибраторного МР): число оборотов вибратора – 600 об/мин (с применением реверса через каждые 30 мин); мелющие тела – шары из стали ШХ15 диаметром 10 мм; массовое соотношение шаров и шихты – 55:1. В ходе процесса производили периодический поворот (по часовой, а затем против часовой стрелки) рабочей камеры вокруг оси через каждые 15 мин на угол 90°. Длительность первой стадии процесса МЛ составила 60 мин, общая длительность процесса – 150 мин. Обработку производили в воздушной среде.

Образцы композиционных гранул и компактов из них выборочно подвергали термообработке в воздушной среде на двух режимах. Первый режим (Т1) предусматривал нагрев брикетов до температуры 400 °С и выдержку 30 часов при этой температуре, второй (Т2) – нагрев до температуры 530 °С и выдержку 3 часа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовали эффективность технологии, разработанной на основе предложенной авторами концепции двухстадийного протекания процесса легирования алюминиевой матрицы углеродом, согласно которой любой процесс МЛ в системе Al-C проходит в две основные стадии. В ходе исследования процесса МЛ матричного алюминия углеродом подтвердилась двухстадийность его протекания и необходимость правильного определения длительности каждой стадии при применении в качестве легирующих элементов различных форм углерода.

Установлено, что на первой стадии происходит «усвоение» матричным материалом легирующей добавки. Вначале наблюдается измельчение порошка исходной

шихты с уменьшением ее насыпной массы, а затем укрупнение (в результате соединения холодной сваркой частиц деформируемого исходного матричного алюминиевого порошка с захватом легирующего материала и образованием композиционных гранул), как правило, до достижения насыпной плотности, близкой к исходному значению плотности обрабатываемой шихты (рис. 1). В этот же период происходит уменьшение концентрации легирующего углерода в шихте в связи с его переходом в массив начинающих формироваться композиционных гранул (рис. 2). Химический состав и структура композиционных гранул на этой стадии еще не стабилизированы. Легирующий компонент распределяется равномерно по объему композиционных гранул. В проводимых исследованиях критерием завершения этой стадии принят уровень свободного углерода в шихте не более 0,1 % от общей массы шихты.

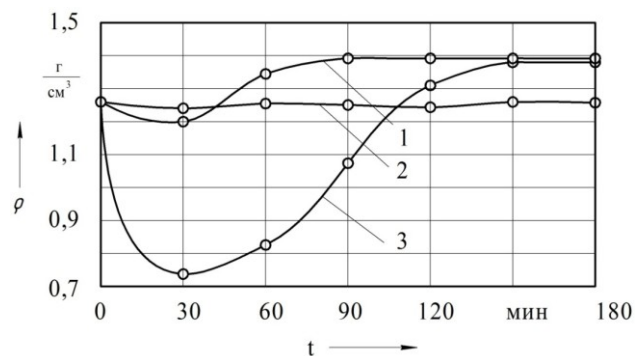


Рис. 1. Изменение насыпной плотности шихты в процессе МЛ:

1 – образец ПК1; 2 – образец ПК3;
3 – образец ПК2 (см. таблицу 1)

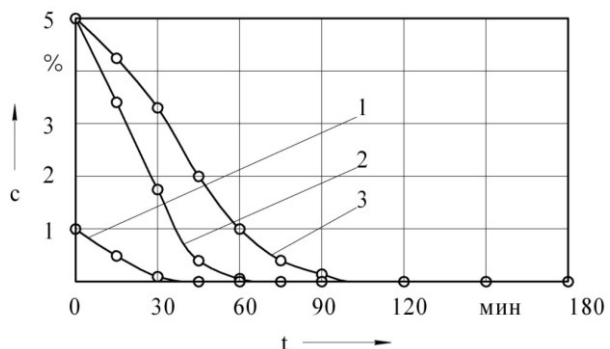


Рис. 2. Изменение концентрации свободного углеродного наполнителя в шихте при МЛ:

1 – образец ПК3; 2 – образец ПК1;
3 – образец ПК2 (см. таблицу 1)

На этой стадии также происходит формирование плакирующего слоя на помольных телах и внутренних поверхностях МР, близкого по составу композиционным гранулам.

На второй стадии, в так называемом установившемся режиме МЛ, происходит активное окончательное формирование внутренней структуры композиционных

гранул, уже полностью «усвоивших» легирующий углерод, с некоторым изменением их формы и, соответственно, гранулометрического состава. Процессы второй стадии МЛ проходят в условиях сформировавшегося плакирующего слоя, который находится в состоянии равновесного массообмена с обрабатываемыми композиционными гранулами. На этой стадии происходит определенный разогрев смеси, помольных тел и элементов конструкции МР. Растет количество дефектов решетки матричного материала, активизируются процессы холодной сварки, интенсивно происходит образование зон твердого раствора Al(C), пронизывающих матрицу композиционных гранул и являющихся зародышами образования упрочняющей фазы карбида алюминия. Микротвердость композиционных гранул нарастает по линейному закону, достигая установившегося максимума (таблица 2).

Исходя из полученных значений микротвердости композиционных гранул, произвели оценочные расчеты предела текучести КМ, изготавливаемого из этих гранул. Прогнозируемый предел текучести КМ при растяжении σ_T рассчитывали с использованием соотношения [29; 30]

$$\sigma_T = HV/(3,0 \pm 0,1),$$

где HV – микротвердость, МПа.

Это выражение авторы [29; 30] рекомендуют именно для КМ на основе алюминия, изготовленных из композиционных гранул, полученных методом МЛ.

Критерием завершенности второй стадии и процесса МЛ в целом являлось достижение микротвердости композиционных гранул максимального установившегося значения.

Результаты исследований показали, что вид аллотропной формы наноразмерного углеродного наполнителя оказывает существенное влияние на интенсивность процесса МЛ и гранулометрический состав син-

тезируемых композиционных гранул (таблица 3). Так, при обработке порошковых композиций из алюминиевого порошка с размером частиц не более 30 мкм с содержанием аморфного углерода и графита в количестве 5 % (образцы ПК1 и ПК2) практически не происходит образование композиционных гранул (КГ1, КГ2) размером более 700 мкм на всем протяжении процесса. При этом в ходе МЛ порошковой композиции ПК2 формируются композиционные гранулы (КГ2) меньших размеров. При обработке порошковой композиции с содержанием УНТ в количестве 1 % (образец ПК3) уже через один час после начала процесса МЛ происходит интенсивное образование композиционных гранул (КГ3) размером более 700 мкм (см. таблицу 3).

Исследования специфики протекания процесса МЛ алюминиевого порошка марки ПАД-1 одностенными углеродными нанотрубками TUBALL в реализованных в рамках настоящей работы базовых режимах легирования техническим углеродом и графитом показали, что имеет место интенсивная конгломерация порошковой смеси с образованием крупных композиционных гранул с ярко выраженными линиями раздела между более мелкими гранулами, входящими в их состав. Полученные композиционные гранулы, хотя и имеют микротвердость в три раза выше, чем легируемый матричный алюминиевый порошок, однако уступают микротвердости гранул, полученных легированием техническим углеродом и графитом, в 1,3 и 1,1 раза соответственно (см. таблицу 2). Это, вероятно, является следствием неравномерного объемного распределения нанотрубок в обрабатываемой порошковой композиции, приводящего к некоторому ухудшению качества холодной сварки в процессе формирования готовых композиционных гранул из более мелких в местах скопления нанотрубок.

В связи с этим возникает необходимость решения задачи разработки эффективной технологии предварительной гомогенизации смеси порошка алюминия и УНТ перед МЛ.

Таблица 2. Физико-механические свойства композиционных гранул

Обозначение композиционных гранул и компактов	Режим термообработки	Микротвердость, МПа	Предел текучести при растяжении, МПа	Плотность получаемого компакта, г/см ³
КГ1	–	1025	342	2,4
КГ1Т2	Т2	1086	362	
КГ2	–	856	285	
КГ2Т2	Т2	893	298	
КГ3	–	756	252	
КГ3Т2	Т2	778	260	
ПК4	–	254	85	

Примечание: до термообработки микротвердость композиционных гранул (КГ1, КГ2, КГ3) и порошка ПАД-1 (ПК4) измеряли в составе моноблоков, омоноличенных эпоксидной смолой, а после – в составе компактов (КГ1Т2, КГ2Т2, КГ3Т2), полученных холодным прессованием гранул при давлении 600 МПа и прошедших термообработку в режиме Т2.

Таблица 3. Фракционное распределение (гранулометрический состав) композиционных гранул после МЛ

Обозначение композиционных гранул	Гранулометрический состав, масс. %			
	0–63 мкм	63–140 мкм	140–700 мкм	>700 мкм
КГ1	2,2	27,8	68,1	1,9
КГ2	18,6	40,7	40,2	0,5
КГ3	–	1,4	79,0	19,6

Анализ трансформации морфологии и размеров исходного порошка (рис. 3) и композиционных гранул (рис. 4, рис. 5) непосредственно в процессе МЛ проводили на различных этапах процесса МЛ. На первых этапах процесса МЛ наблюдается измельчение компонентов, затем образование частиц чешуйчатой формы (рис. 4 а, 4 б, 5 а, 5 б), сопровождающееся снижением насыпной плотности обрабатываемой шихты. В про-

цессе многократной холодной сварки частиц с образованием композиционных гранул происходит их объемное увеличение и уплотнение с одновременным увеличением насыпной плотности (рис. 4 в, 4 г, 5 в, 5 г, 5 д).

Сравнительный анализ морфологии готовых композиционных гранул после завершения процессов МЛ показал следующее. На поверхности композиционных гранул, легированных техническим углеродом и графитом,

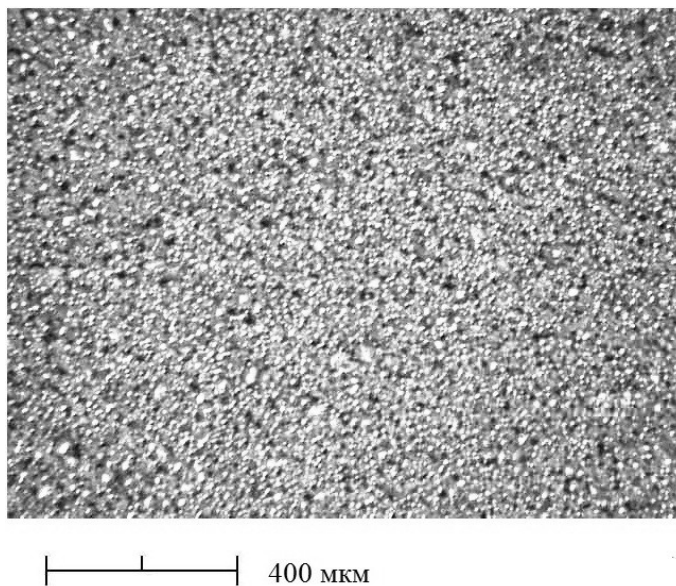


Рис. 3. Исходный порошок алюминия ПАД-1 (ПК4)

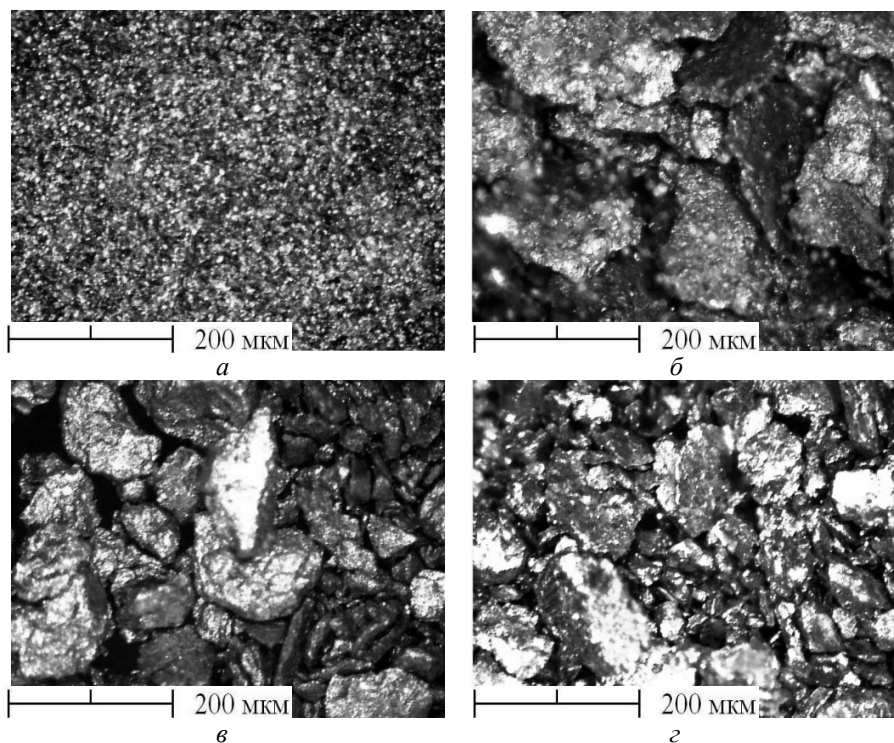


Рис. 4. Формирование композиционных гранул КГ1 на различных этапах МЛ (x400):
а-г – образцы шихты после 30, 60, 90, 120 мин обработки соответственно

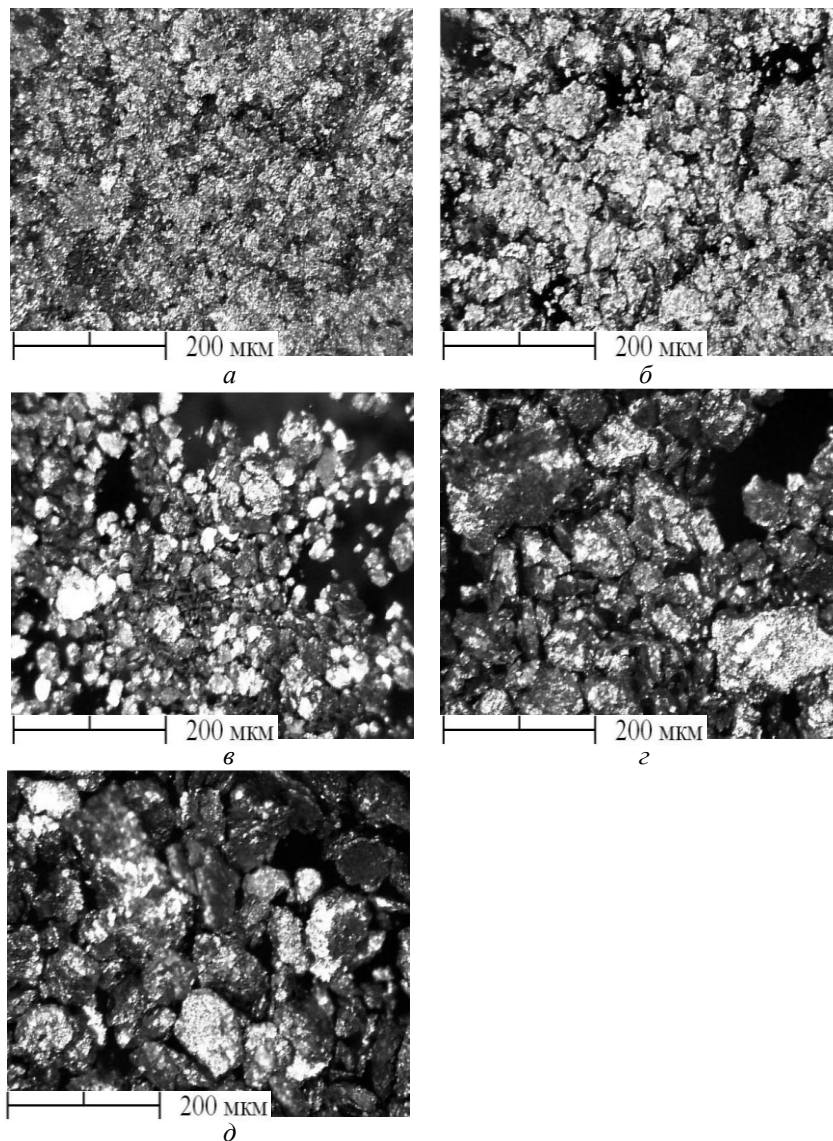


Рис. 5. Формирование композиционных гранул КГ2 на различных этапах МЛ (x400):
а–д – образцы шихты после 30, 60, 90, 120, 150 мин обработки соответственно

хорошо видно, что они состоят из более мелких гранул, постепенно формировавшихся в процессе МЛ и прочно сваренных между собой. Более наглядно это демонстрируется на образцах КГ1, легированных техническим углеродом (рис. 6 а). При этом композиционные гранулы, полученные при легировании графитом (см. таблицу 3), отличаются меньшими общими размерами и состоят из меньших составляющих композиционных частиц (рис. 6 б). Это можно объяснить влиянием антифрикционных свойств графита и меньшей интенсивностью процесса холодной сварки.

На поверхности готовых композиционных гранул, полученных при использовании в качестве легирующего элемента УНТ и отличающихся преобладанием в гранулометрическом составе крупных гранул (см. таблицу 3), образующихся в результате интенсивной конгломерации порошковой смеси, имеют место отчетливые границы раздела между более мелкими композиционными гранулами, не соединенными холодной сваркой в единое прочное целое (рис. 6 в, 6 г).

Рентгенофазовый анализ скомпактированных композиционных гранул, выполненный с целью оценки полученных структурных и фазовых параметров, дал следующие результаты (см. рис. 7).

Дифрактограммы исходного порошка ПАД-1, а также образцов, скомпактированных из композиционных гранул, легированных техническим углеродом (образцы КГ1), не прошедших термическую обработку, содержат только рефлексы, соответствующие дифрактограмме исходного порошка алюминия.

Дифрактограмма образца, легированного аморфным углеродом после термообработки по режиму Т1 (образец КГ1Т1), выполненная при уменьшении шага сканирования в пять раз ($0,02^\circ$), выявила слабые рефлексы (на рис. 7 а, на линии 2, выполненной с шагом $0,1^\circ$, не показаны), характерные для карбида алюминия и свидетельствующие о появлении зародышей химического соединения.

После термообработки по режиму Т2 (образец КГ1Т2, рис. 7 а, линия 3) интенсивность данных рефлексов

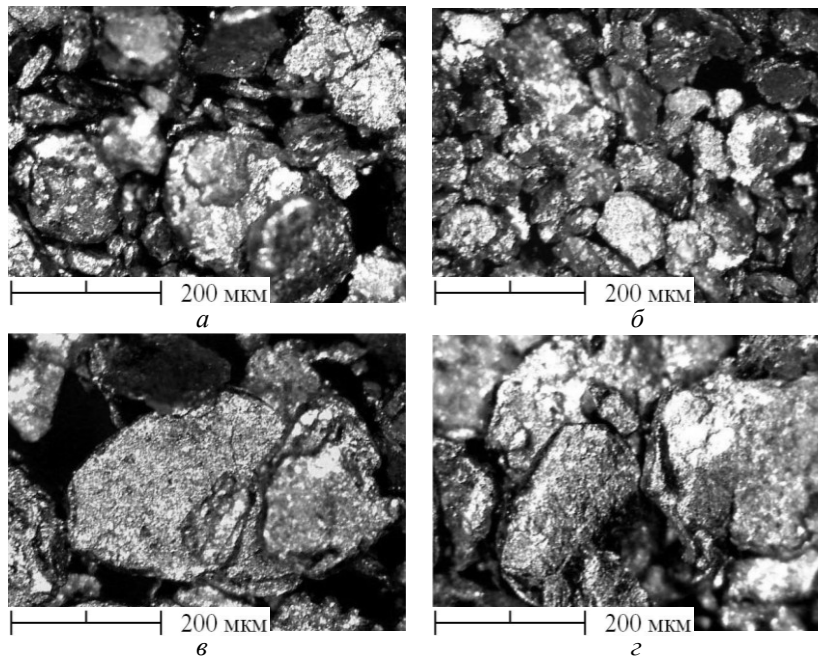


Рис. 6. Композиционные гранулы после завершения МЛ (x400):
а – образец КГ1; б – КГ2; в, г – образцы КГ3

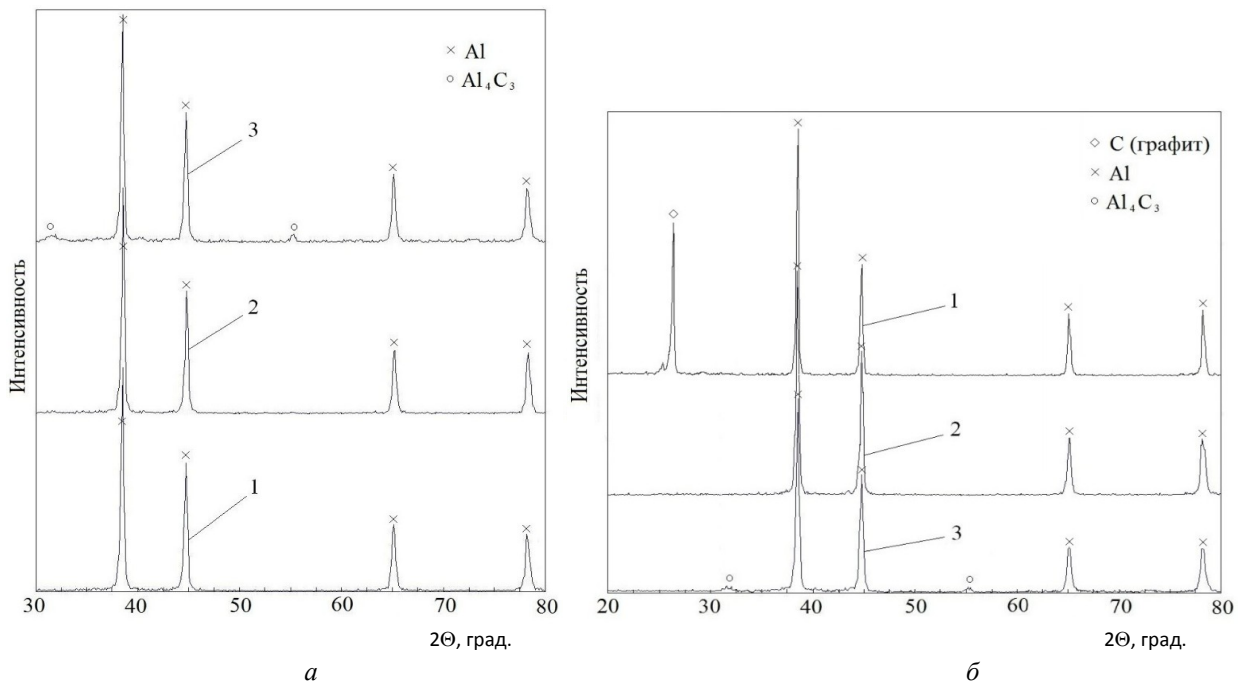


Рис. 7. Дифрактограммы образцов, скомпактированных из механически легированных композиционных гранул:
а – с содержанием аморфного углерода 5 % (1 – образец КГ1; 2 – образец КГ1Т1; 3 – образец КГ1Т2);
б – с содержанием графита 5 %: (1 – образец ПК2; 2 – образец КГ2; 3 – образец КГ2Т2)

существенно увеличивалась, что свидетельствует, в частности, о выводе из твердого раствора части аморфного углерода и его участии в образовании упрочняющих фаз карбида алюминия. Атомы освобожденного углерода, согласно принятым представлениям [31; 32], начинают участвовать как в укрупнении уже образовавшихся частиц карбида алюминия, так и в образовании новых частиц карбидов, что приводит к увеличению

их количества в объеме композиционных гранул. Во время термообработки происходит рост уже имевшихся «зародышей» карбидов алюминия, которые возникли в результате синтеза композиционных гранул в процессе МЛ, а также образование и рост новых карбидов Al_4C_3 [5].

Анализ дифрактограмм образцов, содержащих графит, показал следующее.

На дифрактограмме образца, скомпактированного из исследуемой шихты, содержащей 5 % графита, до проведения процесса МЛ присутствовала четкая линия графита (рис. 7 б, линия 1).

На дифрактограмме образца, скомпактированного из композиционных гранул, полученных после МЛ, линия графита отсутствует (рис. 7 б, линия 2).

На дифрактограмме этого же компакта после термической обработки по режиму Т2 зафиксированы рефлексы Al_4C_3 , что указывает на практически полную аморфотизацию графита в процессе МЛ с формированием аморфной фазы углерода, участвующего в образовании карбида алюминия в композиционных гранулах (рис. 7 б, линия 3).

На дифрактограммах композиционных гранул с УНТ отмечено отсутствие рефлексов карбида алюминия как непосредственно после МЛ, так и после термической обработки по режиму Т2, что свидетельствует о сохранности нанотрубок (отсутствии или незначительной их аморфотизации при легировании в исследованном процессе МЛ). При этом, как и в композиционных гранулах с техническим углеродом и графитом, было зарегистрировано увеличение ширины рентгеновской линии $\beta 111$, по сравнению с ее шириной для исходного матричного порошка ПАД-1, свидетельствующее об уменьшении размеров ОКР. Принимая в качестве характеристики наноразмерной структуры композиционных гранул, получаемых в результате МЛ, размеры ОКР, которые определялись по ширине дифракционных линий [24; 25], установили, что формирование внутренней структуры композиционных гранул сопровождается уменьшением размеров ОКР, а именно средние размеры ОКР уменьшились с 93,4 нм у исходного порошка ПАД-1 до 34,4 нм у гранул, легированных техническим углеродом К 354, до 22,1 нм – у гранул, легированных графитом ГЛ-1, и до 39,5 нм – у гранул, легированных УНТ TUBALL.

ВЫВОДЫ

1. Разработана технология МЛ алюминиевого порошка ПАД-1, обеспечивающая получение композиционных гранул с микротвердостью, превышающей микротвердость исходного порошка не менее чем в 4 раза при легировании техническим углеродом, в 3,5 раза – при легировании графитом и в 3 раза – при легировании УНТ.

2. Подтверждена предложенная авторами концепция двухстадийности протекания процесса МЛ. На первой стадии происходит усвоение углерода алюминием, на второй – формирование внутренней нанокристаллитной структуры композиционных гранул.

3. Доказана возможность применения в качестве легирующего элемента графита кристаллического, при этом процесс должен происходить практически до полной аморфотизации графита с образованием упрочняющей фазы карбида алюминия.

4. Применение в качестве легирующего элемента УНТ требует обязательной предварительной гомогенизации смеси «матричный порошок – УНТ» непосредственно перед операцией МЛ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-43-732150 р_офи_м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ostovan F., Matori K.A., Toozandehjani M., Oskoueian A., Yusoff H.M., Yunus R., Ariff A.M., Quah H.J., Lim W.F. Effects of CNTs content and milling time on mechanical behavior of MWCNT-reinforced aluminum nanocomposites // *Materials Chemistry and Physics*. 2015. Vol. 166. P. 160–166.
- Anantha Prasad M.G., Bandekar N. Study of Microstructure and Mechanical Behavior of Aluminum/Garnet/Carbon Hybrid Metal Matrix Composites (HMMCs) Fabricated by Chill Casting Method // *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2015. Vol. 03. № 03. P. 3–11.
- Susniak M., Karwan-Baczewska J., Dutkiewicz J., Actis Grande M., Rosso M. An experimental study of aluminum alloy matrix composite reinforced sic made by hot pressing method // *Archives of Metallurgy and Materials*. 2015. Vol. 60. P. 1523–1527.
- Narayanan S.S., Manickavasaham G., Moorthy S. Experimental Investigation of Aluminium alloy with MWCNT Composite to increase the technical Properties by Stir Casting Method // *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2015. Vol. 12. Ver. II. P. 30–34.
- Шалунов Е.П., Шведов М.А., Архипов И.В. Синтез дисперсоидов при реакционном механическом легировании порошкового алюминия углеродом // *Вестник Чувашского университета*. 2014. № 2. С. 165–172.
- Bradbury C.R., Gomon J.K., Kollo L., Kwon H., Leparoux M. Hardness of Multi Wall Carbon Nanotubes reinforced aluminium matrix composites // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 585. P. 362–367.
- Peng T., Chang I. Mechanical alloying of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum composite powder // *Powder Technology*. 2014. Vol. 266. P. 7–15.
- Бунаков Н.А., Голованов В.Н., Козлов Д.В., Потапов С.Н., Климов Е.С. Получение композитного материала из алюминия с углеродными нанотрубками методами порошковой металлургии // *Физико-математические методы и информационные технологии в естествознании, технике и гуманитарных науках: сборник материалов международного научного e-симпозиума*. Киров: МЦНИП, 2015. С. 25–37.
- Типикина И.И., Кузьмич Ю.В., Котов С.А., Колесникова И.Г., Ганин С.В. Микронапряжения в механически легированном сплаве AL-15 мас. % (NI-LN) // *Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья баренц-региона в технологии строительных и технических материалов: материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием*. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2013. С. 169–170.
- Raviathul B.M., Srivastava V.C., Mukhopadhyay N.K. Microstructural characteristics and mechanical properties of carbon nanotube reinforced aluminum alloy composites produced by ball milling // *Materials & Design*. 2014. Vol. 64. P. 542–549.
- Каралин А.Н., Шалунов Е.П., Петров Н.П. Объемный наноструктурный материал на основе алюминия для ортопедии и травматологии // *Здравоохранение Чувашии*. 2009. № 3. С. 8–12.
- Кузьмич Ю.В., Колесникова И.Г., Серба В.И., Фрейдин Б.М. Механическое легирование. М.: Наука, 2005. 213 с.

13. Zhu X., Zhao Y.G., Wu M., Wang H.Y., Jiang Q.C. Effect of Initial Aluminum Alloy Particle Size on the Damage of Carbon Nanotubes during Ball Milling // *Materials*. 2016. Vol. 9. № 3. P. 3–18.
14. Choi H., Shin J., Min B., Park J., Bae D. Reinforcing effects of carbon nanotubes in structural aluminum matrix nanocomposites // *Journal of Materials Research*. 2011. Vol. 24. P. 2610–2616.
15. Yang C., Zong Y., Zheng Z., Shan D. Experimental and theoretical investigation on the compressive behavior of aluminum borate whisker reinforced 2024Al composites // *Materials Characterization*. 2014. Vol. 96. P. 84–92.
16. Hassan M.T.Z., Esawi A.M.K., Metwalli S. Effect of carbon nanotube damage on the mechanical properties of aluminum-carbon nanotube composites // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 607. P. 215–222.
17. Yoo S.J., Han S.H., Kim W.J. Strength and strain hardening of aluminum matrix composites with randomly dispersed nanometer-length fragmented carbon nanotubes // *Scr. Mater.* 2013. Vol. 68. P. 711–714.
18. Wang L., Choi H., Myoung J.M., Lee W. Mechanical alloying of multi-walled carbon nanotubes and aluminum powders for the preparation of carbon/metal composites // *Carbon*. 2009. Vol. 47. P. 3427–3433.
19. Ci L., Ryu Z., Jin P.N.Y., Rühle M. Investigation of the interfacial reaction between multi-walled carbon nanotubes and aluminum // *Acta. Mater.* 2006. Vol. 54. P. 5367–5375.
20. Nayan N., Murty S.V.S.N., Sharma S.C., Kumar K.S., Sinha P.P. Calorimetric study on mechanically milled aluminum and multiwall carbon nanotube composites // *Materials Characterization*. 2011. Vol. 62. P. 1087–1093.
21. Kukovec A., Kanyo T., Konya Z., Kiricsi I. Long-time low-impact ballmilling of multi-wall carbon nanotubes // *Carbon*. 2005. Vol. 43. P. 994–1000.
22. Tucho W.M., Mauroy H., Walmsley J.C., Deledda S., Holmestad R., Hauback B.C. The effects of ball milling intensity on morphology of multiwall carbon nanotubes // *Scr. Mater.* 2010. Vol. 63. P. 637–640.
23. Nam H.R., Kim Y.J., Yang S.S., Ahn J.H. Ball-Milling of Graphite and Multi-Wall Carbon Nanotubes // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2014. Vol. 14. P. 9103–9107.
24. Ягодкин Ю.Д., Добаткин С.В. Применение электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа для определения размеров структурных элементов в нанокристаллических материалах (обзор) // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2007. Т. 73. № 1. С. 38–49.
25. Пушаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. М.: Геоинформмак, 2000. 293 с.
26. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Наука–Физматлит, 2007. 416 с.
27. Гусев А.И., Курлов А.С. Аттестация нанокристаллических материалов по размеру частиц (зерен) // *Металлофизика и новейшие технологии*. 2008. Т. 30. № 5. С. 679–694.
28. Веткасов Н.И., Капустин А.И., Сапунов В.В. Экспериментальное исследование процесса механического легирования алюминия техническим углеродом // *Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 4 ч. Ч. 2. Уфа: АЭТЕРНА, 2017. С. 18–21.*
29. Кузьмич Ю.В., Фрейдин Б.М., Колесникова И.Г., Серба В.И., Калинин В.Т., Пахомовский Я.А. Механически легированный сплав Al-Ni-Ln // *Перспективные материалы*. 2008. № 1. С. 39–45.
30. Hawk J.A., Franck R.E., Wilsdorf H.G.F. Yield Stress as Determined from Hardness Measurements for Mechanically Alloyed Aluminum Base Alloys // *Metallurgical Transactions A*. 1988. Vol. 19A. P. 2363–2366.
31. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. М.: Физматгиз, 1955. 755 с.
32. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Metallurgia, 1979. 639 с.

REFERENCES

1. Ostovan F., Matori K.A., Toozandehjani M., Oskoueian A., Yusoff H.M., Yunus R., Ariff A.M., Quah H.J., Lim W.F. Effects of CNTs content and milling time on mechanical behavior of MWCNT-reinforced aluminum nanocomposites. *Materials Chemistry and Physics*, 2015, vol. 166, pp. 160–166.
2. Anantha Prasad M.G., Bandekar N. Study of Microstructure and Mechanical Behavior of Aluminum/Garnet/Carbon Hybrid Metal Matrix Composites (HMMCs) Fabricated by Chill Casting Method. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2015, vol. 03, no. 03, pp. 3–11.
3. Susniak M., Karwan-Baczewska J., Dutkiewicz J., Actis Grande M., Rosso M. An experimental study of aluminum alloy matrix composite reinforced sic made by hot pressing method. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2015, vol. 60, pp. 1523–1527.
4. Narayanan S.S., Manickavasaham G., Moorthy S. Experimental Investigation of Aluminium alloy with MWCNT Composite to increase the technical Properties by Stir Casting Method. *IOSRI Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2015, vol. 12, ver. II, pp. 30–34.
5. Shalunov E.P., Shvedov M.A., Arkhipov I.V. Synthesis of dispersoides at the reactionary mechanical alloying of powder aluminium carbon. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2014, no. 2, pp. 165–172.
6. Bradbury C.R., Gomon J.K., Kollo L., Kwon H., Leparoux M. Hardness of Multi Wall Carbon Nanotubes reinforced aluminium matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, vol. 585, pp. 362–367.
7. Peng T., Chang I. Mechanical alloying of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum composite powder. *Powder Technology*, 2014, vol. 266, pp. 7–15.
8. Bunakov N.A., Golovanov V.N., Kozlov D.V., Potapov S.N., Klimov E.S. Obtaining a composite material of aluminum and carbon nanotubes by powder metallurgy method. *Fiziko-matematicheskie metody i informatsionnye tekhnologii v estestvoznanii, tekhnike i gumanitarnykh naukakh: sbornik materialov mezhdunarodnogo nauchnogo e-simpoziuma*. Kirov, MTsNIP Publ., 2015, pp. 25–37.
9. Tipikina I.I., Kuzmich Yu.V., Kotov S.A., Kolesnikova I.G., Ganin S.V. Microstresses in mechanically doped AL-15 mas.% (NI-LN) alloy. *Problemy ratsionalnogo ispolzovaniya prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya barents-regiona v tekhnologii stroitelnykh i tekhnicheskikh materialov: materialy V Vserossiyskoy nauchnoy*

- konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Apatity, Kolskiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2013, pp. 169–170.*
10. Raviathul B.M., Srivastava V.C., Mukhopadhyay N.K. Microstructural characteristics and mechanical properties of carbon nanotube reinforced aluminum alloy composites produced by ball milling. *Materials & Design*, 2014, vol. 64, pp. 542–549.
 11. Karalin A.N., Shalunov E.P., Petrov N.P. Bulk nanostructured aluminum-based material for orthopedics and traumatology. *Zdravookhranenie Chuvashii*, 2009, no. 3, pp. 8–12.
 12. Kuzmich Yu.V., Kolesnikova I.G., Serba V.I., Freydin B.M. *Mekhanicheskoe legirovanie* [Mechanical alloying]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 213 p.
 13. Zhu X., Zhao Y.G., Wu M., Wang H.Y., Jiang Q.C. Effect of Initial Aluminum Alloy Particle Size on the Damage of Carbon Nanotubes during Ball Milling. *Materials*, 2016, vol. 9, no. 3, pp. 3–18.
 14. Choi H., Shin J., Min B., Park J., Bae D. Reinforcing effects of carbon nanotubes in structural aluminum matrix nanocomposites. *Journal of Materials Research*, 2011, vol. 24, pp. 2610–2616.
 15. Yang C., Zong Y., Zheng Z., Shan D. Experimental and theoretical investigation on the compressive behavior of aluminum borate whisker reinforced 2024Al composites. *Materials Characterization*, 2014, vol. 96, pp. 84–92.
 16. Hassan M.T.Z., Esawi A.M.K., Metwalli S. Effect of carbon nanotube damage on the mechanical properties of aluminum-carbon nanotube composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, vol. 607, pp. 215–222.
 17. Yoo S.J., Han S.H., Kim W.J. Strength and strain hardening of aluminum matrix composites with randomly dispersed nanometer-length fragmented carbon nanotubes. *Scr. Mater.*, 2013, vol. 68, pp. 711–714.
 18. Wang L., Choi H., Myoung J.M., Lee W. Mechanical alloying of multi-walled carbon nanotubes and aluminum powders for the preparation of carbon/metal composites. *Carbon*, 2009, vol. 47, pp. 3427–3433.
 19. Ci L., Ryu Z., Jin P.N.Y., Rühle M. Investigation of the interfacial reaction between multi-walled carbon nanotubes and aluminum. *Acta. Mater.*, 2006, vol. 54, pp. 5367–5375.
 20. Nayan N., Murty S.V.S.N., Sharma S.C., Kumar K.S., Sinha P.P. Calorimetric study on mechanically milled aluminum and multiwall carbon nanotube composites. *Materials Characterization*, 2011, vol. 62, pp. 1087–1093.
 21. Kukovecz A., Kanyo T., Konya Z., Kiricsi I. Long-time low-impact ballmilling of multi-wall carbon nanotubes. *Carbon*, 2005, vol. 43, pp. 994–1000.
 22. Tucho W.M., Mauroy H., Walmsley J.C., Deledda S., Holmestad R., Hauback B.C. The effects of ball milling intensity on morphology of multiwall carbon nanotubes. *Scr. Mater.*, 2010, vol. 63, pp. 637–640.
 23. Nam H.R., Kim Y.J., Yang S.S., Ahn J.H. Ball-Milling of Graphite and Multi-Wall Carbon Nanotubes. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2014, vol. 14, pp. 9103–9107.
 24. Yagodkin Yu.D., Dobatkin S.V. Application of electron microscopy and X-ray diffraction analysis for determination of nano-crystal materials structure elements sizes (Review). *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2007, vol. 73, no. 1, pp. 38–49.
 25. Pushcharovskiy D.Yu. *Rentgenografiya mineralov* [Mineral radiography]. Moscow, Geoinformmak Publ., 2000. 293 p.
 26. Gusev A.I. *Nanomaterialy, nanostruktury, nanotechnologii* [Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies]. Moscow, Nauka-Fizmatlit Publ., 2007. 416 p.
 27. Gusev A.I., Kurlov A.S. Characterization of Nanocrystalline Materials by the Size of Particles (Grains). *Metallofizika i noveyshie tekhnologii*, 2008, vol. 30, no. 5, pp. 679–694.
 28. Vetkasov N.I., Kapustin A.I., Sapunov V.V. Experimental study of the process of mechanical alloying of aluminum with technical carbon. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty razvitiya nauchnoy mysli v sovremennoy mire: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa, AETERNA Publ., 2017, pp. 18–21.
 29. Kuzmich Yu.V., Freydin B.M., Kolesnikova I.G., Serba V.I., Kalinnikov V.T., Pakhomovskiy Ya.A. Mechanically doped Al-Ni-Ln alloy. *Perspektivnye materialy*, 2008, no. 1, pp. 39–45.
 30. Hawk J.A., Franck R.E., Wilsdorf H.G.F. Yield Stress as Determined from Hardness Measurements for Mechanically Alloyed Aluminum Base Alloys. *Metallurgical Transactions A*, 1988, vol. 19A, pp. 2363–2366.
 31. Vol A.E. *Stroenie i svoystva dvoynnykh metallicheskih sistem* [Structure and Properties of Binary Metal Systems]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1955. 755 p.
 32. Mondolfo L.F. *Struktura i svoystva alyuminievykh splavov* [Aluminium Alloys: Structure and Properties]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979. 639 p.

**THE STUDY OF THE PROCESS OF MECHANICAL ALLOYING OF ALUMINUM
BY NANO-DIMENSIONAL ALLOTROPIC MODIFICATIONS OF CARBON**

© 2017

N.I. Vetkasov, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Mechanical engineering technology”

A.I. Kapustin, head of laboratory

V.V. Sapunov, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Mechanical engineering technology”

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk (Russia)

Keywords: composite material; aluminum; amorphous carbon; graphite; carbon nanotubes; mechanical alloying; composite pellets; coherent scattering area.

Abstract: The technology of synthesis of dispersed-hardened composites is based on the use of the process of mechanical alloying (MA) of powder materials. Mechanical alloying allows creating the active states in a matrix material solid body that are the centers of physical and chemical interaction between the phases of the powder compositions components. The paper gives the overview of Russian and foreign publications dealing with the study of the MA process of aluminum powder with various forms of carbon. The authors developed the basic MA technology of PAD-1 aluminum matrix powder with K 354 technical carbon. The processes of aluminum powder MA with graphite and CNTs, both in the part of the developed MA regimes and in the part of providing high physical and mechanical characteristics of synthesized composite pellets being a semi-finished product for producing composite materials (CM), were studied. The authors determined the main stages of formation of aluminum-based powder compositions in the process of MA of aluminum powder with allotropic carbon modifications. The paper shows the results of the analysis of phased change (phased evolution) of the morphology of the processed powder mixtures of a matrix material and an alloying additive during the formation of composite pellets with the required physical and mechanical parameters.

The results of X-ray diffraction analysis of the composite pellets alloyed with K 354 technical carbon and GL-1 graphite at different stages of their formation and processing showing the achievement of the required transformation of their internal structure and phase composition are presented.

The authors analyzed special aspects of the process of mechanical alloying of PAD-1 aluminum powder with the TUBALL single-wall carbon nanotubes and justified the necessity of searching for methods and technologies of preliminary (just before the MA process) homogenization of the PAD1-TUBALL processed mixture.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДЛЯ РЕЗАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

© 2017

М.В. Вилкина, аспирант, инженер кафедры «Технология и производство артиллерийского вооружения»
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург (Россия)

Ключевые слова: резание металлов; высокоскоростное фрезерование; высокопроизводительное фрезерование; повышение производительности.

Аннотация: Внедрение высокоскоростного фрезерования (ВСФ) позволяет сократить машинное время, повысить удельную объемную производительность резания, а также достичь ряда преимуществ, в конечном итоге положительно влияющих на экономическую эффективность данного метода. Однако для реализации этой технологии на практике требуется соблюдение целого комплекса мер и требований к технологической системе. В частности, широкое применение этой технологии останавливает необходимость наличия дорогостоящего оборудования – специализированных станков с ЧПУ (числовым программным управлением).

Исследование ВСФ на практике привело к появлению разновидности этого вида обработки – высокопроизводительного фрезерования (ВПФ). Отличительными особенностями ВПФ являются уменьшенные (по сравнению с ВСФ) частоты вращения шпинделя (скорости резания) и увеличенные объемы снимаемого при резании материала (глубина и ширина резания). Целью исследований являлось изучение возможности применения ВПФ для обработки стали на неспециализированном оборудовании с ЧПУ, широко применимом для традиционного фрезерования. При подготовке и проведении работы учитывались: механические свойства обрабатываемого материала; жесткость системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь); характеристики станка; материал, покрытие и геометрия инструмента. Фиксировалась температура в зоне резания, температура заготовки и инструмента.

Выявлены следующие обязательные параметры процесса: гладкие, касательно сопряженные траектории движения инструмента; угол спирали фрезы; угол контакта фрезы с материалом. Расчет машинного времени и объемной производительности резания выявил преимущество использования ВПФ по сравнению с традиционным фрезерованием. Выявлены показатели процесса, благоприятно влияющие на износ инструмента. Также рассмотрены ограничители процесса внедрения ВПФ на практике.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря активному наращиванию программного функционала и технических возможностей обрабатывающих центров с ЧПУ (числовым программным управлением), а также развитию инструментального производства и программного обеспечения для расчета управляющей информации для оборудования с ЧПУ (САМ – Computer Aided Machining) стала возможной реализация на практике теоретических прогнозов, сделанных в области резания металлов еще в начале XX века. Одной из таких практически освоенных идей сегодня считают явление скоростного резания металлов, первые упоминания о котором в литературных источниках относят к 40-м годам XX века [1; 2]. Суть предположения сводилась к тому, что при повышении скорости резания силы резания понижаются, так же как и теплопередача от стружки к инструменту.

Сегодня исследователи выделяют следующие преимущества высокоскоростного фрезерования (ВСФ) [3]: 1) значительное сокращение основного машинного времени; 2) повышение удельной объемной производительности резания на 30 %; 3) увеличение скорости подачи в 5–10 раз; 4) возможное уменьшение силы резания более чем на 30 %; 5) возможность обработки в условиях отсутствия вибраций геометрически сложных деталей; 6) возможность чистовой обработки резанием (качество поверхности почти соответствует качеству шлифования, непрерывная обработка за счет отвода технологического тепла преимущественно через стружку).

Эффект ВСФ обуславливается структурными изменениями материала (из-за пластических деформаций,

осуществляемых с большой скоростью) в месте отрыва стружки. При повышении скорости деформаций силы резания первоначально растут, а потом, с достижением определенной температуры в зоне образования стружки, начинают существенно снижаться. Время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой так мало, а скорость отрыва стружки столь высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, а заготовка и инструмент просто не успевают нагреваться [4]. Поэтому считается, что ВСФ базируется на определенном сокращении количества тепла, возникающего при обработке резанием, и резком перераспределении этого тепла между элементами СПИД – станком, приспособлением, инструментом, деталью – и удаляемой стружкой [5].

Для успешного достижения вышеописанного эффекта немаловажен процесс контроля стружкообразования. Помимо скорости деформации важна и геометрия стружки, а именно ее толщина [6]. При традиционном фрезеровании выделяют глубину и ширину реза, величина их при расчете траектории принимается постоянной и измеряется, как правило, относительно диаметра фрезы. Например, для конструктивных сталей, резание которых осуществлялось в рассматриваемом исследовании, ширина реза варьируется в зависимости от глубины прохода от 20 до 60 % от диаметра фрезы, глубина прохода при этом будет составлять от 1 до 0,2 диаметров. В этом контексте ВСФ характеризуется малой глубиной съема металла – это всегда десятые доли от диаметра фрезы, но ширина реза при этом существенна и приближена к 100 % от диаметра фрезы [7].

Однако на практике для ВСФ требуется соблюдение целого комплекса мер и требований к технологической системе [8]. В частности, широкое применение этой технологии останавливает необходимость наличия дорогостоящего оборудования – специализированных станков с ЧПУ [9]. Одной из важнейших характеристик этого оборудования является скоростной шпиндель (от 20 000 об/мин). Стандартный шпиндель, устанавливаемый на фрезерных станках с ЧПУ общего назначения, имеет максимальную скорость 10 000–12 000 об/мин [10].

На стыке традиционного и высокоскоростного подходов к процессу фрезерования относительно недавно появилась технология высокопроизводительного фрезерования (ВПФ) [11]. ВПФ создает условия, при которых механические и тепловые воздействия на инструмент оказываются постоянными, образуется тонкая стружка и обеспечиваются повышенные скорость и глубина резания (до 4 диаметров). Данные характеристики достигаются использованием специализированных траекторий перемещения инструмента в металле. ВПФ характеризуется увеличенной объемной производительностью резания и низкой энергоемкостью, т. е. сниженными требованиями к скорости и жесткости шпинделя фрезерного станка с ЧПУ [12].

При ВПФ, в отличие от ВСФ, на переднем плане стоит оптимизация объемной производительности резания – количества стружки, производимого за единицу времени, с целью сокращения основного машинного времени [13]. Причиной повышения производительности при ВПФ является использование эффективной длины кромки инструмента, в результате глубина резания может достигать до 4 диаметров фрезы [14]. В основе расчетов режимов и условий резания лежит положение о сохранении постоянства толщины стружки [15].

Для расчета траектории перемещения инструмента используют понятие средней толщины стружки, она задается в виде неизменяющегося параметра, а ширина контакта фрезы с материалом (угол контакта) (рис. 1), в отличие от традиционной фрезерной обработки, становится переменной. Значение толщины стружки используется САМ-системой или ЧПУ станка для вычисления оптимальной траектории движения фрезы и управления ей, чем обеспечивается максимальный эффект обработки [16].

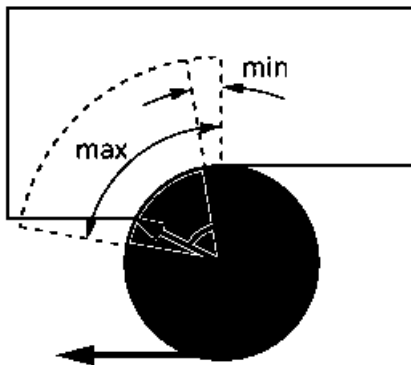


Рис. 1. Изменение ширины контакта фрезы

При работе эффективной длиной кромки фрезы скорости резания и подачи снижаются, при этом снижаются и требования к технологической системе в целом, что позволяет успешно применять ВПФ на неспециализированном оборудовании. Величина подачи во многом определяется количеством режущих кромок, а скорость резания зависит от применяемого инструментального материала. Главным условием обеспечения требуемых величин подачи и, соответственно, максимальной объемной производительности резания, а также сокращения времени обработки является использование высокопроизводительных твердосплавных фрез. За счет исключительной жесткости, которая делает возможной высокую подачу на оборот, данный инструмент соответствует нагрузкам, имеющим место при высокопроизводительном резании [17].

Цель исследования – изучение возможности применения ВПФ для обработки стали на неспециализированном оборудовании с ЧПУ, широко применяемом для традиционного фрезерования. В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований ВПФ нескольких видов сталей в контексте сравнения с параметрами ВСФ и традиционных методов фрезерования.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи использовалась неспециализированная технологическая система. Параметры элементов технологической системы отражены в таблице 1.

Методика эксперимента заключалась в применении на неспециализированной технологической системе предварительно рассчитанных режимов резания и траектории движения инструмента, фиксации состояния технологической системы во время эксперимента и последующем расчете объемной производительности резания.

В расчетах режимов резания учитывались особенности выбранной технологической системы. Для расчетов использовались рекомендуемые значения углов контакта для твердосплавных фрез [18], а также рекомендации по выбору скорости резания от производителя фрезы [19]. Закрепление инструмента происходило в цанговый патрон, глубина резания превышала 2 диаметра фрезы. Для предотвращения вытягивания фрезы из-за невозможности компенсировать осевую силу резания скорость резания была снижена на 25–30 %. Примененные режимы резания показаны в таблице 2.

В процессе обработки фиксировалось состояние технологической системы: температуры, однородность стружки (размер и цвет), износ покрытия и геометрии фрезы. Для данного исследования было принято положение, справедливое для ВСФ при обработке данной группы сталей, о нежелательности использования смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), которые могут привести к сокращению стойкости инструмента [20]. Во время резания были зафиксированы колебания температуры в зоне резания, а также температура инструмента и заготовки после резания. Измерения осуществлялись инфракрасным пирометром СЕМ DT-8863 481691.

Для каждого исследуемого материала фиксировалось машинное время, далее был рассчитан удаленный объем металла и вычислена объемная производительность резания.

Таблица 1. Параметры элементов технологической системы во время исследования

Элементы технологической системы	Характеристики	
Станок	Модель	AWEA AF-1000
	Система ЧПУ	Fanuc 0i
	Тип шпинделя	Шпиндель с прямым приводом
	Тип конуса шпинделя	BT40
	Мощность шпинделя	7,5/11 кВт
	Максимальная скорость вращения шпинделя	10 000 об/мин
Инструмент	Диаметр фрезы	12 мм
	Количество зубьев	6
	Длина режущей части	26 мм
	Угол подъема стружечной канавки	41 град.
	Материал фрезы	Твердый сплав
	Покрытие	Ti-NAMITE-X
Патрон	не специальный, цанговый, с нормальной точностью	
Заготовка 1	Материал	Сталь 40X
	Предел прочности на растяжение, σ_b	655 МПа
	Габариты	Лист 260×70×95 мм
	Закрепление	Тиски станочные
	Глубина закрепления	10 мм
Заготовка 2	Материал	Сталь 10
	Предел прочности на растяжение, σ_b	429 МПа
	Габариты	Круг $\phi 130 \times 50$ мм
	Закрепление	Патрон 3-кулачковый
	Глубина закрепления	15 мм

Таблица 2. Принятые режимы резания

Название параметра		Сталь 40X	Сталь 10
Глубина резания, мм		26	26
Толщина стружки, мм		0,063	0,058
Угол контакта	max	30	38
	min	15	22
Скорость резания, м/мин		148	168
Среднее значение скорости вращения шпинделя, об/мин		3 900	4 500
Среднее значение подачи, мм/мин		2 500	2 100

Таблица 3. Количественные результаты исследования

Название параметра		Сталь 40X	Сталь 10
Удаленный объем материала, мм ³		473	365
Затраченное машинное время, сек		1 170	732
Объемная производительность резания, мм ³ /сек		0,4	0,5
Средняя температура, °C	в зоне резания	150	195
	инструмента	30	30
	заготовки	40	60

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Количественные результаты исследования, а также зафиксированные температуры приведены в таблице 3.

Для оценки объемной производительности резания ВПФ был проведен ее расчет для традиционной фрезерной обработки, характерной для данной неспециализированной технологической системы. При расчете времени обработки с параметрами из таблицы 2 для

традиционной фрезерной траектории с постоянным значением глубины резания и рекомендуемыми поставщиком инструмента режимами резания для стали 10 были получены значения для объемной производительности резания (таблица 4).

Расчетное значение затраченного на траекторию машинного времени получено из САМ-системы. Таким образом, можно прогнозировать снижение объемной производительности резания для стандартной техноло-

гии фрезерования, где подача и глубина/ширина резания остаются постоянными для всех проходов, практически в 2 раза.

Таблица 4. Расчет параметров для стандартной траектории

Название параметра	Сталь 10
Глубина резания, мм	6 (0,5D*)
ширина резания, мм	4,8 (0,4D)
Скорость резания, м/мин	160
Значение подачи, мм/мин	900
Удаленный объем материала, мм ³	365
Затраченное машинное время, сек	1 380
Объемная производительность резания, мм ³ /сек	0,26

*D – диаметр фрезы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Высокопроизводительное фрезерование, в отличие от ВСФ, можно успешно применять на неспециализированном оборудовании, достигая существенного сокращения машинного времени. При этом экономическая эффективность достигается в том числе и за счет снижения требований к элементам технологической системы. Возможность сократить использование СОТС представляет экономический и экологический интерес: как показало исследование, для рассматриваемой группы сталей было достигнуто постоянство температуры в зоне резания, что благоприятно сказывается на состоянии кромки фрезы и, как следствие, износе. Проведенные измерения температуры в зоне резания, инструмента и заготовки после резания указывают на схожесть механизма теплопередачи и теплового баланса ВПФ и ВСФ. Эффективное использование фрезы по всей длине ее режущей части также можно отнести к условиям, благоприятным для повышения стойкости инструмента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из ключевых элементов и в то же время одним из ограничителей процесса внедрения ВПФ являются специфические требования к режущему инструменту. Для ВПФ используются цельные твердосплавные фрезы с диаметром, меньшим или равным 20 мм. Для удаления действительно больших объемов металла большая производительность достигается применением корпусных фрез с пластинками. Поэтому при подготовке технологического процесса сегодня следует проанализировать как возможности имеющегося оборудования, так и геометрию изделия с точки зрения применения той или иной технологии резания, а возможно, и их комбинации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грудов П.П. Скоростное резание // Скоростные методы обработки металлов: доклады и тезисы докладов на Московской конференции по скоростным методам обработки металлов. М.: Машгиз, 1949. С. 239–269.
2. Щеголев А.В. Современное состояние скоростного фрезерования // ЛОНИТОМАШ. М.: Машгиз, 1948. С. 52–64.

3. Forssell P. Tool and method advances for efficient manufacturing, C-2940:139 US/01 AB. New York: Sandvik Coromant, 2012. 23 p.
4. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. 2003. № 4. С. 1–8.
5. Machining and Machine-tools / ed. J. Paulo Davim. New York: Woodhead Publishing Limited, 2013. 280 p.
6. Выявление пиковой производительности при высокоскоростной обработке: технический обзор // Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2010. С. 1–11.
7. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика. 2002. № 11. С. 10–17.
8. High speed machining (HSM) – the effective way of modern cutting // International Workshop CA Systems And Technologies Forum. San Francisco: Moscone Center, 2012. P. 72–79.
9. Звонцов И.Ф., Иванов К.М., Серебренникий П.П. Подготовка управляющих программ для оборудования с ЧПУ. СПб.: БГТУ, 2016. 251 с.
10. Canter N. The tribological challenges of high-speed machining // Tribology & Lubrication Technology Magazine. 2007. Vol. 3. P. 29–36.
11. Danielson S., Georgeou T., Teo A. High Performance Machining: A Practical Approach to High Speed Machining // American Society for Engineering Education. 2008. Vol. 6. P. 1–11.
12. Dashchenko A. Manufacturing Technologies for Machines of the Future. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 280 p.
13. Blau P. Flushing Strategies for High Performance, Efficient and Environmentally Friendly Cutting // 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing. USA: Elsevier, 2015. P. 361–366.
14. HPC for improved efficiency on standard machine tools by using new fluid-driven spindles // Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Innovative Solutions. Berlin: Universitätsverlag der TU, 2013. P. 241–246.
15. Жаропрочные сплавы: руководство по применению Sandvik Coromant, AB Sandvikens Tryckeri. М.: Сандвик, 2010. 132 с.
16. GARANT ToolScout: справочник по резанию. СПб.: Хоффман, 2015. 653 с.
17. High Performance Cutting (HPC) in the New Era of Digital Manufacturing // Procedia CIRP. 2016. Vol. 46. P. 1–6.
18. Основной каталог 2015/2016 // Hoffmann Group. URL: hoffmann-group.com/RU/ru/horu/service/downloads/blaetterkatalog.
19. Инструментальный каталог SGS T-CARB // Интертулмаш: промышленное оборудование. URL: itmash.ru/ftpgetfile.php?id=293&module=files2014.
20. Resource and Energy Efficiency in Machining Using High Performance and Hybrid Processes // Rrocedia CIRP: 5th CIRP Conference on High Performance Cutting. 2012. Vol. 1. P. 3–15.

REFERENCES

1. Grudov P.P. Speed Cutting. *Skorostnye metody obrabotki metallov: doklady i tezisy докладов на Moskovskoy konferentsii po skorostnym metodam*

- obrabotki metallov*. Moscow, Mashgiz Publ., 1949, pp. 239–269.
2. Shchegolev A.V. The current status of speed milling, col. *LONITOMASH*. Moscow, Mashgiz Publ., 1948, pp. 52–64.
 3. Forssell P. *Tool and method advances for efficient manufacturing, C-2940:139 US/01 AB*. New York, Sandvik Coromant Publ., 2012. 23 p.
 4. Stepanov A. High Speed milling at present-day production. *CAD/CAM/CAE Observer*, 2003, no. 4, pp. 1–8.
 5. Davim J.P., ed. *Machining and Machine-tools*. New York, Woodhead Publ., 2013. 280 p.
 6. Exposure of High Speed Machining peak capacity. Technology overview. *Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.*, 2010, pp. 1–11.
 7. Vittington K., Vlasov V. High Speed Machining. *SAPR i grafika*, 2002, no. 11, pp. 10–17.
 8. High speed machining (HSM) – the effective way of modern cutting. *International Workshop CA Systems And Technologies Forum*. San Francisco, Moscone Center Publ., 2012, pp. 72–79.
 9. Zvontsov I.F., Ivanov K.M., Serebrenitskiy P.P. *Podgotovka upravlyayushchikh programm dlya oborudovaniya s ChPU* [Preparation of code for CNC machines]. Sankt Petersburg, BGTU Publ., 2016. 251 p.
 10. Canter N. The tribological challenges of high-speed machining. *Tribology & Lubrication Technology Magazine*, 2007, vol. 3, pp. 29–36.
 11. Danielson S., Georgeou T., Teo A. High Performance Machining: A Practical Approach to High Speed Machining. *American Society for Engineering Education*, 2008, vol. 6, pp. 1–11.
 12. Dashchenko A. *Manufacturing Technologies for Machines of the Future*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2003. 280 p.
 13. Blau P. Flushing Strategies for High Performance, Efficient and Environmentally Friendly Cutting. *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing*. USA, Elsevier Publ., 2015, pp. 361–366.
 14. HPC for improved efficiency on standard machine tools by using new fluid-driven spindles. *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Innovative Solutions*. Berlin, Universitätsverlag der TU Publ., 2013, pp. 241–246.
 15. *Zharoprochnye splavy: rukovodstvo po primeneniyu Sandvik Coromant, AB Sandvikens Tryckeri* [Heat resistant super alloys: Application guide Sandvik Coromant, AB Sandvikens Tryckeri]. Moscow, Sandvik Publ., 2010. 132 p.
 16. *GARANT ToolScout: spravochnik po rezaniyu* [GARANT ToolScout: Metalworking guide]. Sankt Petersburg, Khoffman Publ., 2015. 653 p.
 17. High Performance Cutting (HPC) in the New Era of Digital Manufacturing. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 46, pp. 1–6.
 18. Basic Catalog 2015/2016. *Hoffmann Group*. URL: hoffmann-group.com/RU/ru/horu/service/downloads/blatterkatalog.
 19. Tools catalog SGS T-CARB. *Intertulmash: promyshlennoe oborudovanie*. URL: itmash.ru/ftpgetfile.php?id=293&module=files2014.
 20. Resource and Energy Efficiency in Machining Using High Performance and Hybrid Processes. *Procedia CIRP: 5th CIRP Conference on High Performance Cutting*, 2012, vol. 1, pp. 3–15.

THE APPLYING OF HIGH-PERFORMANCE MACHINING METHOD FOR CUTTING OF STRUCTURAL STEELS

© 2017

M.V. Vilkina, postgraduate student,
engineer of Chair “Process and manufacturing engineering of artillery equipment”
Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg (Russia)

Keywords: metal cutting; high-speed machining; high-performance machining; improving productivity level.

Abstract: The implementation of high-speed machining (HSM) allows minimizing the processing time, raising the specific volume cutting efficiency, and achieving the range of advantages having a positive effect on the economic efficiency of this method. However, to implement this technology in practice, it is necessary to follow the set of measures and requirements to the manufacturing system. In particular, the wide use of HSM negates the necessity of having the expensive equipment – specialized CNC machines (computerized numerical control machines).

The research of HSM in practice resulted in the modifications of this type of processing – high-performance machining (HPM). The distinctive features of HPM are the reduced (as compared with HSM) spindle rotational speed (cutting speed) and the increased volumes of removed material (the depth and width of cutting). The goal of the research is the study of feasibility to apply HPM for cutting of structural steel using undedicated CNC machines widely used for traditional milling. When preparing and carrying out the research, the author took into account the mechanical properties of process material; MDTP (machine-device-tool-part) system stiffness; machine technical data; material, coating, and geometry of a cutting tool. The temperature in the cutting area and the work material and cutting tool temperature were recorded as well. The study determined the following mandatory parameters of the process: smooth, tangentially costate trajectories of a tool; angle of cutter spiral; cutter engagement angle. The calculation of cutting time and cutting specific volume showed the advantage of HPM as compared to the traditional CNC milling. The process parameters having a positive impact on tool wear are determined and the parameters constraining the process of HPM implementation are considered.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

© 2017

Л.С. Горюлева, младший научный сотрудник

Э.С. Горкунов, доктор технических наук, академик РАН, главный научный сотрудник

С.М. Задворкин, кандидат физико-математических наук,
заведующий лабораторией технической диагностики

Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

А.В. Макаров, доктор технических наук, старший научный сотрудник,
заведующий отделом материаловедения и лабораторией механических свойств

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева

Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова: высокоуглеродистая сталь; гидроэкструзия; микроструктура; механические свойства; магнитные свойства.

Аннотация: Метод гидроэкструзии, как один из видов интенсивного деформационного воздействия, является эффективным средством улучшения механических свойств металлов и сплавов. Улучшение механических свойств происходит в основном за счет диспергирования структуры и увеличения плотности дислокаций. Большое количество работ посвящено влиянию деформирования на структуру и механические свойства металлов и сплавов. Однако в литературе гораздо меньше внимания уделено изучению физических характеристик материала, упрочненных с помощью интенсивного деформационного воздействия. Подобные исследования необходимы для разработки неразрушающих физических методов диагностики состояния таких материалов. Проведены исследования структуры высокоуглеродистой стали методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, механические испытания на растяжение и ряд магнитных измерений. Показано, что экструдирование приводит к диспергированию структуры высокоуглеродистой стали У8А. При экструдировании в ферритной составляющей перлитной структуры стали происходит формирование ячеистых, фрагментированных и субмикроструктурных структур в условиях протекания динамического возврата, непрерывной динамической и постдинамической рекристаллизации, обуславливающих уменьшение плотности дислокаций в теле зерна при истинной деформации более 1,62. Прочностные характеристики стали У8А с ростом истинной деформации изменяются монотонно: временное сопротивление увеличивается в 2 раза, а условный предел текучести – в 3,6 раза. Установлено, что на прочностные характеристики превалирующее влияние оказывает дисперсность структуры, а плотность дислокаций играет второстепенную роль. В отличие от механических характеристик коэрцитивная сила, максимальная магнитная проницаемость, остаточная индукция и скорость распространения упругих волн более чувствительны к изменению плотности дислокаций.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее распространение получает такой путь улучшения комплекса эксплуатационных свойств материалов, как интенсивное деформационное воздействие (ИДВ) [1; 2]. При этом повышение прочностных характеристик происходит в основном за счет диспергирования структуры и повышения плотности дислокаций [3]. Отличительной особенностью такого метода ИДВ, как гидроэкструзия (гидропрессование), является возможность обработки хрупких материалов (в частности, высокоуглеродистых сталей) в широком диапазоне деформаций [4]. Кроме того, такой способ деформирования препятствует образованию трещин в обрабатываемом материале.

Влиянию деформирования на структуру и механические свойства чистых металлов и сплавов, в том числе таких широко распространенных материалов, как стали, посвящено большое количество работ [5–7]. Однако в литературе гораздо меньше внимания уделено изучению физических характеристик материалов, упрочненных с помощью ИДВ. Подобные исследования необходимы для разработки неразрушающих физических методов диагностики состояния таких материалов.

В настоящей работе с целью определения влияния параметров структуры на физико-механические свойства были проведены электронно-микроскопические исследования структуры и определен ряд физических и механических характеристик образцов стали У8А, подвергнутых гидроэкструзии при комнатной температуре на различные степени деформации.

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служила горячекатаная прутковая сталь У8А (0,8 масс. % С) диаметром 18 мм. Гидроэкструзию прутков в состоянии поставки проводили при комнатной температуре по маршруту $\varnothing 18 \rightarrow \varnothing 12 \rightarrow \varnothing 10 \rightarrow \varnothing 8 \rightarrow \varnothing 6$ мм. Это обеспечило получение четырех экструдатов с истинной деформацией $e=0,81; 1,17; 1,62; 2,19$. Истинную деформацию рассчитывали по формуле [8]:

$$e = 2 \ln(D_0/D_i), \quad (1)$$

где D_0 – диаметр прутка в исходном состоянии;
 D_i – диаметр прутка после i -го прохода прессования.

Деформирование экструзией начинали при комнатной температуре, однако в процессе деформирования,

возможно, происходило повышение температуры, которое, согласно расчетам, не превышало 200 °С.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) экструдатов проводили на дифрактометре SHIMADZU XRD 7000 с использованием K_{α} -излучения хромового анода. Методом моментов [9] по линии (211) α -фазы определяли размеры областей когерентного рассеяния (ОКР).

Исследование микроструктуры стали У8А в исходном состоянии и после экструдирования на поперечных и продольных шлифах выполняли методом дифракции обратнорассеянных электронов (EBSD) на электронном сканирующем микроскопе MIRA 3LMH с шагом сканирования 100 нм. Считали, что малоугловые границы (МУГ) имеют разориентировку меньше 15°, большеугловые границы (БУГ) – больше 15° [10; 11]. Кроме того, исследование структуры осуществляли с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM-200CX методом тонких фольг, которые вырезали поперек направления прессования. Плотность дислокаций рассчитывали по формуле [12]:

$$d = 2Nn/Lt, \quad (2)$$

где N – увеличение;

n – количество пересечений секущих с линиями дислокаций;

L – длина секущих, см;

t – толщина фольги, см.

Механические свойства (временное сопротивление σ_b , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ и относительное удлинение после разрыва δ) стали в исходном состоянии и после гидроэкструзии определяли на пятикратных цилиндрических образцах с головками на универсальной испытательной машине INSTRON 8801. Погрешность определения механических характеристик не превышала 5 %.

Магнитные характеристики образцов (коэрцитивную силу H_c , максимальную магнитную проницаемость μ_{\max} , остаточную магнитную индукцию B_r) определяли из предельных петель магнитного гистерезиса на магнитно-измерительном комплексе Remagraph C-500. Погрешность определения магнитных характеристик не превышала 3 %.

С применением анализатора магнитных шумов Баркгаузена (МШБ) MICROSCAN 600 определяли среднеквадратичное значение напряжения МШБ (U) и число скачков Баркгаузена (N) при частоте перемагничивания 115 Гц в пакете из 10 циклов. Погрешность определения параметров МШБ не превышала 5 %.

С помощью двойного электромагнитно-акустического преобразования (ЭМАП) по резонансной методике с использованием проходных датчиков определяли скорость распространения упругих волн V . При этом погрешность определения скорости распространения упругих волн не превышала 2 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены типичные ориентационные EBSD-карты микроструктуры стали У8А в исходном состоянии. Сталь в исходном состоянии имеет структуру зернистого перлита со средним размером зерен примерно 20 мкм. Анализ спектра углов разориентировок

границ свидетельствует о развитой субзеренной структуре материала в исходном состоянии.

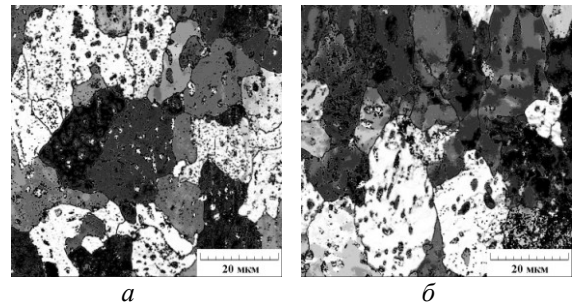


Рис. 1. Ориентационные EBSD-карты микроструктуры стали У8А в исходном состоянии: а) поперечное сечение; б) продольное сечение

Из рис. 2, где представлены EBSD-карты, полученные с продольных шлифов образцов после экструдирования, видно, что с увеличением истинной деформации происходит измельчение структурных элементов. Отметим, что при степени деформации более 1,62 в структуре наблюдается некоторое количество неравноосных зерен.

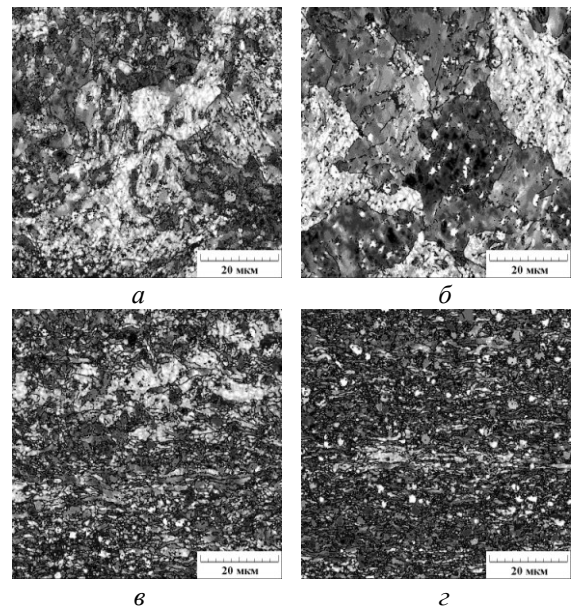


Рис. 2. EBSD-карты микроструктуры стали У8А после гидроэкструзии (продольное сечение): а) при $e=0,81$; б) $e=1,17$; в) $e=1,62$; з) $e=2,19$

На рис. 3 в качестве примера приведены распределения границ зерен и субзерен по углам разориентировки в стали У8А в исходном состоянии и в экструдатах $\varnothing 8$ мм и $\varnothing 6$ мм. Видно, что с увеличением истинной деформации растет общее число границ (БУГ + МУГ), что свидетельствует об уменьшении размера структурных элементов. При этом после последнего этапа деформирования доля малоугловых границ составила около 45 % как в продольном, так и в поперечном

направлении, что значительно меньше доли МУГ в структуре исследованной стали в исходном состоянии.

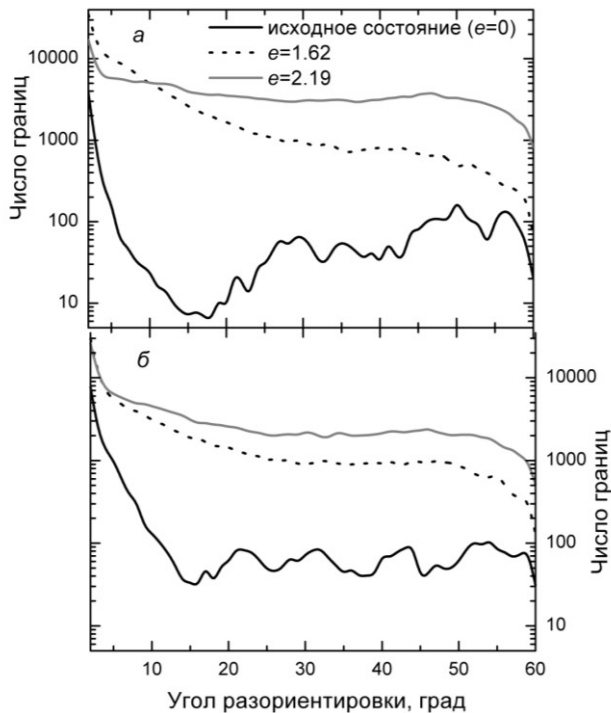


Рис. 3. Распределение границ по углам разориентировок в стали У8А, подвергнутой гидроэкструзии: а) поперечное сечение; б) продольное сечение

Зависимость плотности большеугловых и малоугловых границ от истинной деформации приведена на рис. 4. Видно, что существует однозначная зависимость плотности БУГ от истинной деформации на всем интервале изменения деформации. Причем плотность БУГ в осевом направлении возрастает примерно в 30 раз, а в поперечном сечении – в 60 раз. Соответственно, во столько же раз уменьшается и средний размер зерна: на последнем этапе деформирования он составил в продольном направлении 500 нм, в поперечном – 350 нм.

В таблице 1 представлены значения среднего размера областей когерентного рассеяния. Как видно, с увеличением истинной деформации до $\epsilon=1,62$ размер ОКР уменьшается. Однако при последнем проходе экструдирования ($\varnothing 8 \rightarrow \varnothing 6$ мм) средний размер ОКР возрастает, что может свидетельствовать об освобождении тела зерна (субзерна) от дефектов.

Просвечивающая электронная микроскопия показала (см. рис. 5), что исходная структура исследованной стали состоит из крупных зерен феррита и включений цементита округлой и вытянутой формы (рис. 5 а). Дислокационная структура в зернах феррита имеет ячеисто-сетчатую и сетчатую субструктуру с размерами ячеек около 500 нм с плотными скоплениями на границах раздела фаз феррит – цементит и границах зерен феррита. Плотность дислокаций равна примерно $3 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

При увеличении истинной деформации до 1,62 происходит дробление ферритных зерен с формированием фрагментов размером 100–300 нм (рис. 5 б, 5 в). Дальнейшая деформация развивается посредством возник-

новения и относительных разворотов ячеек развитой дислокационной структуры. Границы ячеек представляют собой сложные дислокационные скопления, а тело самого фрагмента (ячейки) практически свободно от дислокаций. На рис. 5 в наблюдаются также отдельные ограниченные зерна с границами, имеющими полосчатый контраст, что свидетельствует об их совершенстве. Это указывает на процессы динамического возврата [13] и начальные стадии процесса динамической рекристаллизации [14; 15]. Плотность дислокаций при $\epsilon=1,62$ возросла до $8 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

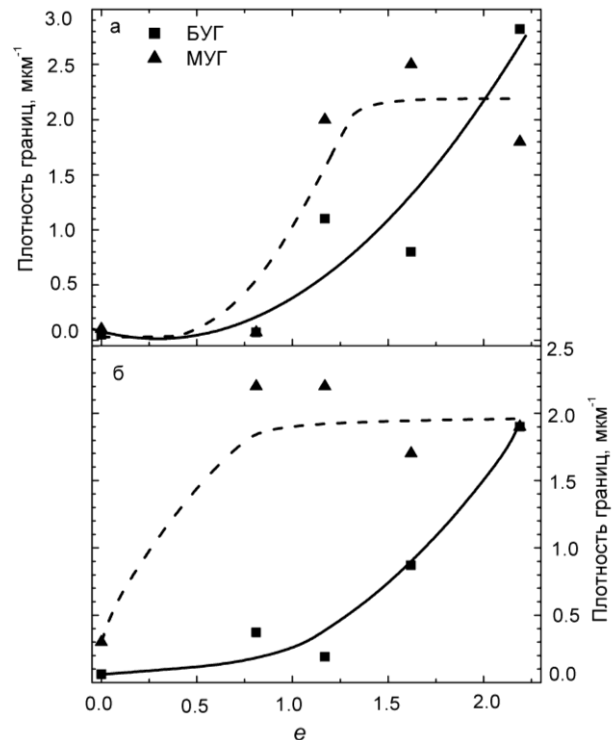


Рис. 4. Изменение плотности границ структурных элементов с увеличением истинной деформации: а) поперечное сечение; б) продольное сечение

Рис. 5 г, 5 д показывают, что при увеличении истинной деформации до 2,19 происходит дальнейшее диспергирование структуры феррита с формированием более совершенных зерен с плотностью дислокаций около $4 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Данный факт подтверждается увеличением размера ОКР. Наблюдаются также структурные элементы с выраженным полосчатым контрастом границ. Это свидетельствует об интенсивном развитии процессов непрерывной динамической рекристаллизации [16–18], которая является характерным механизмом формирования новых зерен в материалах с высокой энергией дефектов упаковки [19]. Непрерывная динамическая рекристаллизация развивается в результате постепенной трансформации субзеренной структуры динамического возврата в зеренную по мере увеличения общей степени деформации.

На рис. 6 приведены зависимости физических характеристик исследованных образцов от истинной деформации. Определяющую роль в формировании уровня физических характеристик стали У8А, подвергнутой

Таблица 1. Механические свойства стали У8А, подвергнутой ИДВ методом гидроэкструзии

Истинная деформация	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Размер ОКР, нм
0 (Ø18 мм)	590	325	14,0	240
0,81 (Ø12 мм)	940	860	1,5	120
1,17 (Ø10 мм)	1050	960	1,2	110
1,62 (Ø8 мм)	1170	1120	0,9	100
2,19 (Ø6 мм)	1330	1170	1,2	170

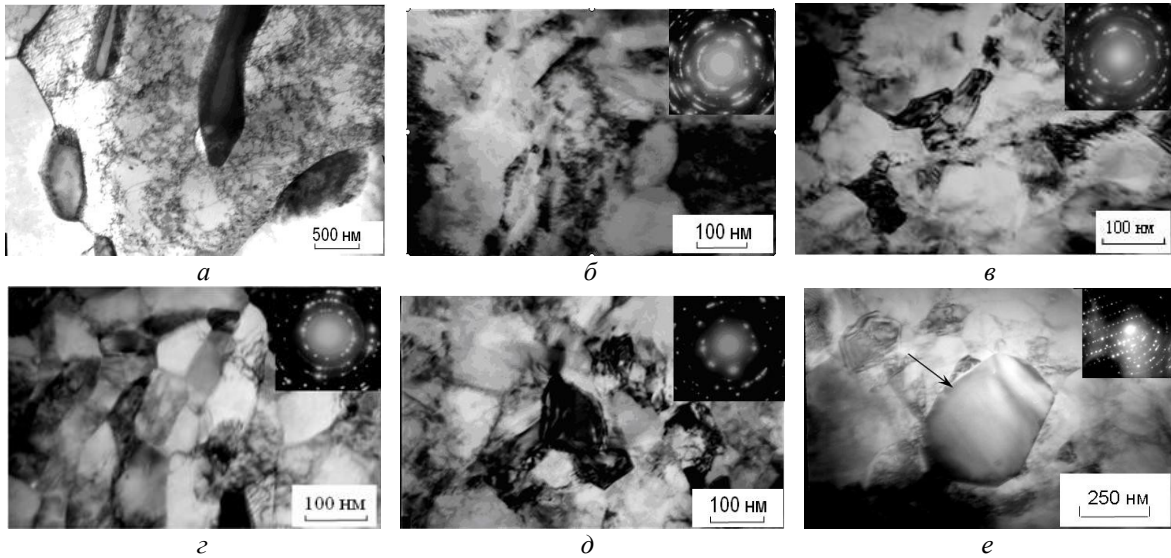


Рис. 5. Структура стали У8 в исходном состоянии (а) и после гидроэкструзии прутка до диаметра 8 мм (б, в) и 6 мм (г-е): светлопольные изображения

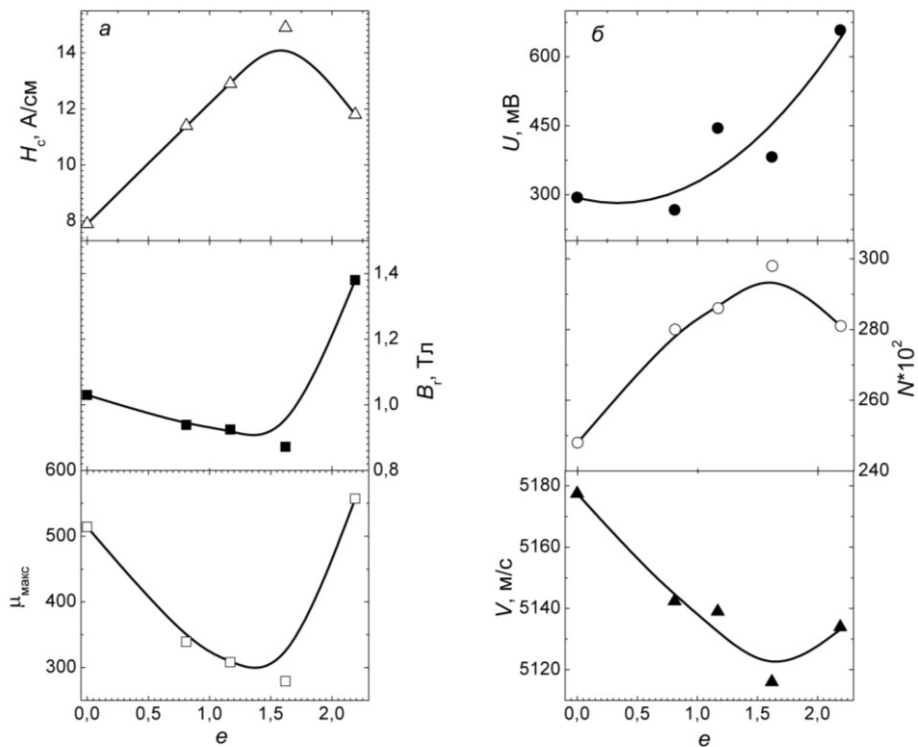


Рис. 6. Зависимости магнитных характеристик и скорости распространения упругих волн от степени пластической деформации экструдированной стали У8А

гидроэкструзии, играют такие параметры структуры, как плотность свободных дислокаций и дисперсность структурных элементов. Видно, что такие параметры, как H_c , N , μ_{\max} , B_T и V , изменяются с экстремумом. Измельчение зеренной и субзеренной структур должно приводить к монотонному изменению исследуемых физических параметров со степенью деформации. Единственным структурным параметром, который изменяется немонотонно с ростом степени деформации, является плотность свободных дислокаций. Максимум плотности свободных дислокаций наблюдается при степени деформации $e=1,62$, что соответствует положению экстремумов на зависимостях $H_c(e)$, $N(e)$, $\mu_{\max}(e)$, $B_T(e)$ и $V(e)$. Это можно объяснить тем, что уменьшение плотности дислокаций на последнем этапе экструдирования сопровождается облегчением процессов перемагничивания [20]. Поэтому можно сделать вывод о том, что такие параметры, как H_c , N , μ_{\max} , B_T и V , более чувствительны к изменению плотности свободных дислокаций, чем к изменению дисперсности структуры экструдированной стали У8А. Из всех исследованных физических параметров только среднеквадратичное значение напряжения МШБ U изменяется монотонно во всем интервале изменения деформации. При увеличении степени деформации с 0 до 1,62 вследствие диспергирования структуры и увеличения плотности свободных дислокаций, т. е. при возрастании количества препятствий на пути доменных границ при намагничивании, среднеквадратичное напряжение МШБ возрастает, так что генерируемая за один скачок ЭДС остается примерно постоянной. На последнем этапе экструдирования величина U возрастает больше, чем за все предыдущие стадии деформирования. Это можно объяснить двукратным снижением плотности свободных дислокаций. Таким образом, тело зерна освобождается от дефектов, увеличивается расстояние, преодолеваемое доменной стенкой от препятствия до препятствия, и скорость движения доменных границ, а соответственно, и генерируемая ЭДС.

Механические характеристики исследованных образцов приведены в таблице 1. Прочностные характеристики стали У8А с ростом степени деформации изменяются монотонно: временное сопротивление увеличилось в 1,5 раза, а условный предел текучести – в 2,6 раза уже при первом проходе экструдирования, а при последующих проходах происходит дальнейший их рост. Поскольку прочностные характеристики изменяются монотонно с ростом степени деформации, то можно сделать вывод, что на прочностные характеристики оказывает преобладающее влияние дисперсность структуры, а плотность дислокаций играет второстепенную роль.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Показано, что с увеличением истинной деформации при гидроэкструзии происходит измельчение структурных элементов высокоуглеродистой стали У8А: с увеличением истинной деформации до 2,19 средний размер зерна уменьшается на два порядка. Под действием инициированной гидроэкструзией деформации развиваются процессы динамического возврата и непрерывной динамической рекристаллизации, сопровождающиеся уменьшением плотности дислокаций.

Экструдирование приводит к монотонному росту временного сопротивления и условного предела текучести стали У8А в 2 и 3,6 раза соответственно.

Установлено, что такие параметры, как коэрцитивная сила, число скачков МШБ, максимальная магнитная проницаемость, остаточная индукция и скорость распространения упругих волн, более чувствительны к изменению плотности дислокаций, чем к диспергированию структуры экструдированной стали У8А.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-38-00586, а также в рамках государственного задания по темам № 01201354598 и № 01201463331.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korshunov L.G., Chernenko N.L., Korznikov A.V. Effect of the severe plastic deformation and aging temperature on the strengthening, structure, and wear resistance of a beryllium bronze // *The physics of metals and metallography*. 2011. Vol. 111. № 4. P. 395–402.
2. Rusakova A.V., Lubenets S.V., Fomenko L.S., Zabrodin P.A. low-temperature micromechanical properties of annealed and hydrostatically extruded Al-3.8 at.% Li alloy // *Low temperature physics*. 2014. Vol. 40. № 3. P. 255–262.
3. Volkov A.Y., Antonova O.V., Kamenetskii B.I., Klyukin I.V., Komkova D.A., Antonov B.D. Production, structure, texture, and mechanical properties of severely deformed magnesium // *The physics of metals and metallography*. 2016. Vol. 117. № 5. P. 518–528.
4. Береснев Б.И., Трушин Е.В. Процесс гидроэкструзии. М.: Наука, 1976. 200 с.
5. Gorkunov E.S., Zadvorkin S.M., Goruleva L.S., Tueva E.A., Veselov I.N., Yakovleva S.P., Makharova S.N., Mordovskoi P.G. The effect of equal channel angular pressing on the mechanical and magnetic properties of 09G2S steel // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. 2012. Vol. 48. № 10. P. 568–575.
6. Topolski K., Garbacz H., Pachla W. Progress in hydrostatic extrusion of titanium // *Journal of materials science*. 2013. Vol. 48. № 13. P. 4543–4548.
7. Давыдова Л.С., Петров Ю.Н., Береснев Б.И. Влияние гидроэкструзии на структуру и свойства арможелеза и стали У8 // *Физика металлов и материаловедение*. 1977. Т. 43. № 2. С. 412–418.
8. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1984. 144 с.
9. Русаков А.А. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат, 1977. 480 с.
10. Rollett A. Recrystallization and Related Annealing Phenomena. USA: Elsevier Ltd., 2004. 628 p.
11. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: МИСИС, 2005. 432 с.
12. Чернявский К.С. Стереология в материаловедении. М.: Металлургия, 1977. 279 с.
13. Ryan N.D., McQueen H.J. Dynamic Softening Mechanisms in 304 Austenitic Stainless Steel // *Canadian Metall. Quart.* 1990. Vol. 29. P. 147–162.

14. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. М.: Металлургия, 1984. 263 с.
15. Humphreys F.J., Hatherly M. Recrystallization and Related Annealing Phenomena. Oxford: Pergamon Press, 1996. 497 p.
16. Belyakov A., Kaibyshev R., Sakai T. New grain formation during warm deformation of ferritic stainless steel // Metall. Mater. Trans. 1998. Vol. 29A. P. 161–167.
17. Narayana Murty S.V.S., Torizuka S., Nagai K. Microstructural evolution during simple heavy warm compression of a low carbon steel: development of a processing map // Mater. Sci. Eng. 2005. Vol. A 410–411. P. 319–323.
18. Tsuzaki K., Xiaoxu H., Maki T. Mechanism of Dynamic Continuous Recrystallization during Superplastic Deformation in a Microduplex Stainless Steel // Acta Mater. 1996. Vol. 44. P. 4491–4499.
19. Belyakov A., Miura H., Sakai T. New grain formation during warm deformation of materials with high and low SFE // Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials. TMS, 1997. P. 257–263.
20. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. М.: Наука, 1993. 252 с.
6. Topolski K., Garbacz H., Pachla W. Progress in hydrostatic extrusion of titanium. *Journal of materials science*, 2013, vol. 48, no. 13, pp. 4543–4548.
7. Davydova L.S., Petrov Yu.N., Beresnev B.I. Influence of hydroextrusion on structure and property of armco-iron and steel U8. *Fizika metallov i metallovedenie*, 1977, vol. 43, no. 2, pp. 412–418.
8. Bogatov A.A., Mizhiritskiy O.I., Smirnov S.V. *Resurs plastichnosti metallov pri obrabotke davleniem* [Resource of metal ductility at pressure treatment]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 144 p.
9. Rusakov A.A. *Rentgenografiya metallov* [Radiometallography]. Moscow, Atomizdat Publ., 1977. 480 p.
10. Rollett A. *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*. USA, Elsevier Ltd. Publ., 2004. 628 p.
11. Gorelik S.S., Dobatkin S.V., Kaputkina L.M. *Rekristalizatsiya metallov i spлавov* [Recrystallization of metals and alloys]. Moscow, MISIS Publ., 2005. 432 p.
12. Chernyavskiy K.S. *Stereologiya v metallovedenii* [Stereology in Metallurgy]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 279 p.
13. Ryan N.D., McQueen H.J. Dynamic Softening Mechanisms in 304 Austenitic Stainless Steel. *Canadian Metall. Quart.*, 1990, vol. 29, pp. 147–162.
14. Kaybyshev O.A. *Sverkhplastichnost promyshlennykh spлавov* [Superplasticity of industrial alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 263 p.
15. Humphreys F.J., Hatherly M. *Recrystallization and Related Annealing Phenomena*. Oxford, Pergamon Press Publ., 1996. 497 p.
16. Belyakov A., Kaibyshev R., Sakai T. New grain formation during warm deformation of ferritic stainless steel. *Metall. Mater. Trans.*, 1998, vol. 29A, pp. 161–167.
17. Narayana Murty S.V.S., Torizuka S., Nagai K. Microstructural evolution during simple heavy warm compression of a low carbon steel: development of a processing map. *Mater. Sci. Eng.*, 2005, vol. A 410–411, pp. 319–323.
18. Tsuzaki K., Xiaoxu H., Maki T. Mechanism of Dynamic Continuous Recrystallization during Superplastic Deformation in a Microduplex Stainless Steel. *Acta Mater*, 1996, vol. 44, pp. 4491–4499.
19. Belyakov A., Miura H., Sakai T. New grain formation during warm deformation of materials with high and low SFE. *Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials. TMS*, 1997, pp. 257–263.
20. Mikheev M.N., Gorkunov E.S. *Magnitnye metody strukturnogo analiza i nerazrushayushchego kontrolya* [Magnetic methods of structural analysis and non-destructive testing]. Moscow, Nauka Publ., 1993. 252 p.

REFERENCES

1. Korshunov L.G., Chernenko N.L., Korznikov A.V. Effect of the severe plastic deformation and aging temperature on the strengthening, structure, and wear resistance of a beryllium bronze. *The physics of metals and metallography*, 2011, vol. 111, no. 4, pp. 395–402.
2. Rusakova A.V., Lubenets S.V., Fomenko L.S., Zabrodin P.A. low-temperature micromechanical properties of annealed and hydrostatically extruded Al-3.8 at.% Li alloy. *Low temperature physics*, 2014, vol. 40, no. 3, pp. 255–262.
3. Volkov A.Y., Antonova O.V., Kamenetskii B.I., Klyukin I.V., Komkova D.A., Antonov B.D. Production, structure, texture, and mechanical properties of severely deformed magnesium. *The physics of metals and metallography*, 2016, vol. 117, no. 5, pp. 518–528.
4. Beresnev B.I., Trushin E.V. *Protsess gidroekstruzii* [Hydrostatic extrusion process]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 200 p.
5. Gorkunov E.S., Zadvorkin S.M., Goruleva L.S., Tueva E.A., Veselov I.N., Yakovleva S.P., Makharova S.N., Mordovskoi P.G. The effect of equal channel angular pressing on the mechanical and magnetic properties of 09G2S steel. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2012, vol. 48, no. 10, pp. 568–575.

THE INFLUENCE OF INTENSIVE PLASTIC DEFORMATION ON THE STRUCTURE AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH-CARBON STEEL

© 2017

L.S. Goruleva, junior researcher

E.S. Gorkunov, Doctor of Sciences (Engineering), RAS academician, chief researcher

S.M. Zadvorkin, PhD (Physics and Mathematics), Head of laboratory of technical diagnostics
Institute of Engineering Science of Ural Branch of the Russian Academy Sciences, Yekaterinburg (Russia)

A.V. Makarov, Doctor of Sciences (Engineering), chief researcher,

Head of department of material science and mechanical properties laboratory

M.N. Miheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Institute of Engineering Science of Ural Branch of Russian Academy Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Yekaterinburg (Russia)

Keywords: high-carbon steel; hydrostatic extrusion; microstructure; mechanical properties; magnetic properties.

Abstract: The hydrostatic extrusion method as a type of intensive plastic deformation is an effective way to improve the mechanical properties of metals and alloys. The improvement of mechanical properties is generally a result of the structure dispersing and the increase of dislocation density. A large number of works consider the influence of deformation on the structure and mechanical properties of metals and alloys. However, literature pays far less attention to the study of physical characteristics of a material strengthened by means of intensive plastic deformation. Such investigations are necessary to develop nondestructive physical methods of diagnostics of such materials state. The authors carried out the study of high-carbon steel structure using the methods of scanning and transmission electron microscopy and performed mechanical tensile tests and a number of magnetic measurements. It is shown that the extruding causes the dispersing of U8A high-carbon steel structure. When extruding, the cellular, fragmented and submicrocrystalline structures are formed in ferrite constituent of steel perlitic structure in the conditions of dynamic recovery, continuous dynamic and post-dynamic recrystallization, causing the dislocation density reduction in a grain body under the true strain more than 1.62. With the growth of true strain, strength characteristics of U8A steel change monotonically: ultimate resistance increases twice, and conventional yield strength – by 3.6 times. It is established that the structure dispersion exerts the prevalent influence on strength characteristics, and the dislocation density plays the minor role. Unlike the mechanical characteristics, the coercive force, the maximum magnetic permeability, the residual induction and the elastic waves propagation speed are more sensitive to the dislocation density changes.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТЮНИНГА

© 2017

В.Г. Доронкин, старший преподаватель кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

Н.В. Колачева, кандидат педагогических наук, доцент,

доцент кафедры «Управление промышленной и экологической безопасностью»

Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: безопасность транспорта; математическое моделирование; модернизация; тюнинг; экология; энергоэффективность автомобиля.

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы и перспективы модернизации автомобилей в процессе эксплуатации, обоснована необходимость моделирования процесса автомобильного тюнинга. Актуальность темы исследования обусловлена важностью повышения энергоэффективности, ресурсосбережения и охраны окружающей среды при эксплуатации автомобилей. Одним из решений комплекса задач является модернизация автомобиля в процессе тюнинга.

Дается обзор основных факторов, которые следует учитывать при моделировании процесса модернизации транспортных средств на примере тюнинга легкового автомобиля, при этом описан тюнинг как один из видов технического воздействия на автомобиль в период эксплуатации. Предлагается концепция построения математической модели автомобильного тюнинга с учетом проблем экологичности и безопасности автомобиля. Формализация основных свойств автомобиля проведена с применением методик квалиметрии на основе дерева свойств.

Анализируются различные подходы к выбору принципа оптимальности для многокритериальных задач. В разработанной математической модели вектор свойств автомобиля оценивается одновременно по множеству критериев на основании принципа Парето-оптимальности. Для нахождения оптимального множества используются методы его сужения: задание нижних границ критериев, субоптимизация, лексикографическая оптимизация и расчет обобщенного критерия. Для оценки результата тюнинга предлагается применять обобщенный критерий, представляющий взвешенную сумму частных критериев.

Разработанная математическая модель показывает оценку изменения автомобиля в процессе тюнинга по различным критериям и позволяет рассчитать эффективность тюнинга как с точки зрения потребительских свойств, так и с позиций улучшения степени экологичности, энергоэффективности и безопасности автомобиля. Программный продукт на основе предложенной математической модели даст возможность производить предварительный анализ возможных мероприятий по модернизации автомобиля.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие процесса автомобилизации в РФ, как и во всем мире, ставит перед специалистами автомобильной отрасли новые задачи. В частности, в настоящее время большое значение приобретают проблемы повышения энергоэффективности машин, а также вопросы ресурсосбережения при эксплуатации автомобилей. Кроме этого, несомненную важность имеет доработка автомобилей с целью повышения безопасности движения [1, с. 278], а также для решения задач охраны окружающей среды [2, с. 41]. С учетом того, что 2017 объявлен Годом экологии, эти вопросы приобретают особую актуальность. Вариантом решения комплекса данных проблем является улучшение соответствующих характеристик автомобиля и, в частности, его плановой модернизации в процессе эксплуатации, то есть тюнинга. В связи с этим существует необходимость разработки математической модели тюнинга, которая может использоваться для решения таких задач, как: 1) расчет экономической эффективности тюнинга; 2) оценка изменения уровня энергоэффективности автомобиля при его модернизации; 3) контроль уровня безопасности при модернизации автомобиля; 4) оценка изменения степени экологичности автомобиля при модернизации; 5) контроль уровня надежности автомобиля после тюнинга; 6) сохранение ресурса автомобиля после тюнинга.

Так как автомобиль является частью системы ВАДС «водитель – автомобиль – дорога – среда», то его свойства проявляются во взаимодействии с элементами этой

системы. При изменении конструкции автомобиля должны учитываться дорожные, транспортные и природно-климатические условия эксплуатации и их влияние на различные свойства автомобилей [3, с. 7].

Практика автосервиса уже выявила основные типовые схемы тюнинга. Это следующие виды работ: доработка механической части двигателя; модернизация электрических систем двигателя; чип-тюнинг; модернизация трансмиссии; выбор и замена шин и колес; модернизация подвески; доработка тормозных систем и рулевого управления; внешний тюнинг автомобиля; модернизация светотехники; доработка рабочего места водителя; тюнинг салона; модернизация автомобильной аудиосистемы; установка дополнительных охранных систем [4, с. 86].

Тюнинг автомобиля производится с целью изменения его потребительских свойств. В самом общем случае потребительские свойства характеризуют автомобиль как товар длительного пользования. Важнейшие из них – это цена автомобиля, затраты на его эксплуатацию, остаточная стоимость, удобство эксплуатации, красивый и современный внешний вид. Отмечается, что не все показатели легко оценить путем использования традиционных методик расчета экономической эффективности [5, с. 141]. Например, установка легкосплавных колес с улучшенными шинами повышает динамику, изменяет управляемость и плавность хода, снижает шум, а также может улучшить внешний вид. Однако если первые четыре свойства по имеющимся методикам

можно подсчитать с заданной точностью, то оценка внешнего вида достаточно субъективна и требует экспертных оценок.

При рассмотрении автомобиля как товара было принято традиционное с точки зрения маркетинга товаров деление его потребительских параметров на две группы: «жесткие» и «мягкие». Первая группа применяется для оценки функций товара и связанных с ними характеристик, заданных конструктивными принципами изделия. Например, к «жестким» параметрам относятся технические, экономические, нормативные. «Мягкие» параметры характеризуют эстетические свойства товара. В настоящее время рынок заполнен разнообразными товарами, в том числе и автомобилями, у которых «жесткие» параметры близки либо тождественны, поэтому резко возрастает роль «мягких» параметров, придающих товару своеобразие и привлекательность [6, с. 2109].

Вместе с тем многолетние исследования выделяют в автомобиле, в отличие от других объектов, такие группы свойств, которые важны для него именно как для транспортного средства. Это эксплуатационные свойства, надежность и безопасность [7, с. 144]. Все они давно и подробно изучены и описаны в отраслевой литературе. Эксплуатационные свойства автомобиля характеризуют его как средство передвижения, к ним относятся: тяговая динамичность, тормозная динамичность, топливная экономичность, устойчивость, управляемость, проходимость, плавность хода. Эти показатели автомобиля еще в 20–30-х гг. XX в. выделил Е.А. Чудаков, экспериментально исследуя вопросы движения автомобиля [8, с. 89]. Отметим, что основные теоретические положения получили свое обобщение и развитие в его книге «Теория автомобиля», впервые вышедшей в 1935 г. и впоследствии неоднократно повторно издававшейся.

Требования надежности и безопасности определяются техническими регламентами и другими нормативами; они должны обязательно учитываться при конструировании и модернизации автомобиля, а также контролироваться при его эксплуатации. Базовые требования безопасности к автомобилю перечислены в приложениях Технического регламента о безопасности колесных транспортных средств [9, с. 15–35].

Целью настоящей работы является разработка математической модели, позволяющей рассчитать эффективность тюнинга автомобиля с точки зрения его потребительских свойств, а также с позиций улучшения степени экологичности, энергоэффективности и безопасности автомобиля.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для учета различных видов тюнинга формализованы основные свойства автомобиля. С целью их математического описания применены подходы и методики квалиметрии [10, с. 430]. В частности, разработано дерево свойств автомобиля, представленное в таблице 1.

Кроме перечисленных подходов и стандартов, которые применялись при разработке модели тюнинга, учитывались математические модели, предназначенные для расчета автомобиля при его проектировании, в частности динамическая модель взаимодействия его узлов и агрегатов, описывающая автомобиль как механическую систему [11, с. 12].

Для построения математической модели, описывающей процесс тюнинга, рассмотрим два исправных автомобиля, не требующих ремонта, одной и той же комплектации. Один автомобиль обозначим O , он соответствует технической документации производителя и имеет определенный набор свойств. Вторым аналогичным автомобилем, модифицированным после проведенного тюнинга, обозначим M , он получил уже новый набор свойств. Математически это можно представить как два многомерных вектора: исходный $O(a_1; b_1; c_1; \dots)$ и результирующий $M(a_2; b_2; c_2; \dots)$, где $(a; b; c \dots)$ – измерители свойств автомобиля. Процесс технического воздействия, в результате которого меняются свойства автомобиля, обозначим вектором T (рис. 1).

Таблица 1. Дерево основных свойств автомобиля

Свойства автомобиля	Потребительские	Размерно-грузовые свойства
		Цена
		Расходы на эксплуатацию
		Эстетичность
		Эргономичность
	Эксплуатационные	Тяговая динамичность
		Тормозная динамичность
		Топливная экономичность
		Устойчивость
		Управляемость
		Прочность
		Плавность хода
	Надежность	Безотказность
		Долговечность
		Ремонтопригодность
		Сохраняемость
Безопасность	Активная	
	Пассивная	
	Послеаварийная	
	Экологическая	

Отметим, что вектор T существует в нескольких множествах, например, кроме описанного множества свойств автомобиля, где он равен разнице изменений потребительских свойств автомобиля $(\Delta a; \Delta b; \Delta c; \dots)$, его также можно задать во множестве конструктивных изменений автомобиля либо во множестве технологических воздействий на автомобиль. Следует учитывать, что результатом тюнинга могут быть две группы потребительских свойств. Первая – основная группа свойств, изменение которых является собственно целью конкретного набора работ. Вторую группу составляют свойства, изменение которых стало дополнительным, производным результатом модернизации. При этом, моделируя результаты тюнинга, свойства автомобиля можно разделить на три разновидности: 1) потребительские свойства, изменение которых можно точно рассчитать по имеющимся методикам исходя из вида выполненных работ; 2) «мягкие» свойства, изменение которых либо нельзя просчитать по существующим методикам, либо невозможно оценить однозначно; 3) ограничительные свойства, предельные параметры которых задаются нормативами и являются обязательными к соблюдению.

Эффективность процесса автомобильного тюнинга предлагается оценивать согласно следующей математической модели. Характеристики объектов моделирования представлены в виде матрицы исходных свойств O , строки которой представляют совокупность векторов информации о технических свойствах различных автомобилей и их модификаций (таблица 2).

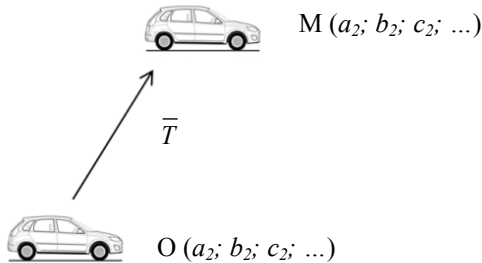


Рис. 1. Вектор автомобильного тюнинга

Процессы технического воздействия отражаются матрицей T , размером m строк и n столбцов, содержащей множество векторов исследуемых изменений свойств автомобилей, соответствующих начальной матрице O . В результате сложения данных матриц получается матрица M , позволяющая оценить эффективность тюнинга как с точки зрения потребительских свойств, так и с позиций улучшения степени экологичности, энергоэффективности и безопасности автомобиля. Схема алгоритма, используемого для анализа набора свойств, представлена на рис. 2.

Таблица 2. Матрица технических характеристик автомобиля

№	1	2	...	j	...	n
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2i}	...	a_{2n}
...
i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{in}
...
m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}

В рассматриваемой модели наборы свойств, описываемые матрицей M , оцениваются одновременно по множеству критериев на основании принципа Парето-оптимальности [12, с. 214]. Трудность решения подобных задач заключается в эффекте несравнимости исходов. Когда исходы оцениваются по двум несопоставимым критериям, причем исход a_1 лучше исхода a_2 по первому критерию, но хуже по второму, то исходы a_1 и a_2 несравнимы между собой. Такая неопределенность следует из противоречивости целей исследования и решается следующими методами.

Допустим, $y_i = \{f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in}\}$ – вектор оценок по критериям $j=1, 2, \dots, n$. Тогда матрица, соответствующая множеству векторов y_i различных исходов $i=1, 2, \dots, m$, включает упорядоченные наборы оценок:

$$Y = \{y_i\} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{pmatrix}.$$

Сравнение исходов выполняется на основании векторных оценок y_i . Далее необходимо сформулировать единый принцип оптимальности, но для данной многокритериальной задачи это не представляется возможным. Для любых двух исходов a_1 и a_2 всегда найдутся такие два критерия j_1 и j_2 , что исход a_1 окажется лучше, чем a_2 , по критерию j_1 , но хуже по j_2 . Если нет информации об относительной важности критериев j_1 и j_2 , то выбор между a_1 и a_2 производится исходя из следующих соображений. Можно найти множество оптимальных исходов, а выбор из них осуществить исходя из конкретной ситуации, на основании экспертных оценок.

В разработанной математической модели предлагается производить сужение множества оптимальных исходов на основании задания дополнительной информации [13, с. 152]. Так, в процессе исследования обозначаются нижние границы критериев. Тогда информация об оптимальном исходе имеет вид

$$f_j(a^*) \geq \gamma_j \quad (j=1, 2, \dots, n),$$

где γ_j – нижняя граница по j -му критерию. При указании нижних границ критериев лучшим считается такой Парето-оптимальный исход, для которого оценка по каждому из критериев $j=1, 2, \dots, n$ не ниже величины γ_j . При субоптимизации выделяется один из критериев, а по всем остальным указываются нижние границы. Задача многокритериальной оптимизации превращается в задачу обычной оптимизации. В процедуре лексикографической оптимизации упорядочивают критерии по их относительной важности. Отбирают исходы, которые имеют максимальную оценку по критерию, стоящему на первом месте по значимости. Потом из критериев, имеющих максимальную оценку по первому критерию, отбирают исходы, максимальные по второму критерию, и т. д. В данном случае первый по важности критерий доминирует над остальными.

Обобщенным критерием для разработанной модели является функция, показывающая полезность набора оценок исходов по всем критериям:

$$\varphi(y)_i = \varphi(f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in}), i=1, 2, \dots, m.$$

В рассматриваемом алгоритме по каждому допустимому исходу $a \in D$ вычисляется оценка его значимости:

$$\varphi(a) = \varphi(f_1(a), f_2(a), \dots, f_n(a)).$$

Задание обобщенного критерия превращает задачу многокритериальной оптимизации в задачу однокритериальной

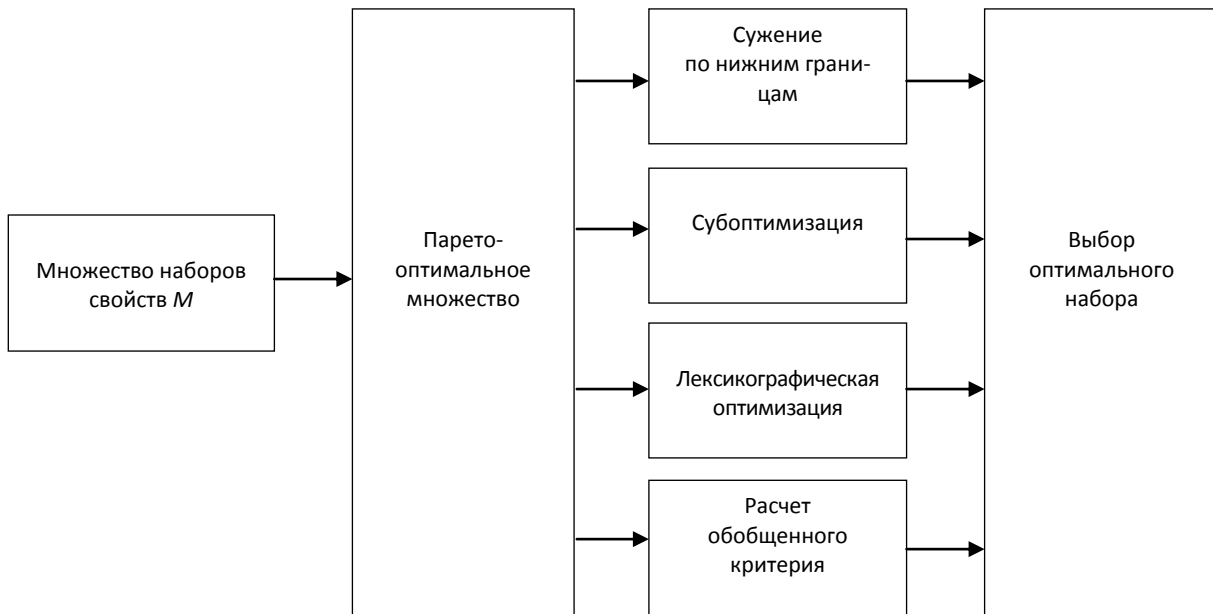


Рис. 2. Алгоритм оценки процесса тюнинга

оптимизации с целевой функцией φ . Для оценки результата тюнинга предлагается использовать обобщенный критерий, представляющий взвешенную сумму частных критериев:

$$\begin{aligned} \varphi(y_i) &= \alpha_1 f_{i1} + \alpha_2 f_{i2} + \dots + \alpha_n f_{in} = \left(i = \overline{1, m} \right) = \\ &= \sum_{j=1}^n \alpha_j f_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (1)$$

где $\alpha_j \geq 0$, $j = 1, 2, \dots, n$ – коэффициенты, выражающие значимость j -го критерия. Если векторная оценка $y_i^* = (f_{i1}^{(a^*)}, f_{i2}^{(a^*)}, \dots, f_{in}^{(a^*)})$ исхода $a^* \in Q$ доставляет максимум целевой функции (1), где все $\alpha_j > 0$, то векторная оценка y_i^* является Парето-оптимальной на множестве Q . Чтобы найти значение обобщенного критерия для каждого варианта, рассчитывается величина каждого критерия в процентах относительно максимума, а затем вычисляется взвешенная сумма (1) по каждому варианту.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Относительно недавно тюнинг не рассматривался как самостоятельное техническое воздействие на автомобиль, о чем свидетельствует отсутствие его как термина в «Положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [14]. В настоящее время, несмотря на отсутствие методических и учебных материалов, автомобильный тюнинг уже введен в федеральные образовательные стандарты [15, с. 23].

Автомобиль модернизируют, как правило, именно для улучшения эксплуатационных свойств, которые характеризуют его как средство передвижения. Наиболее важным, как с точки зрения эффективности использования транспортного средства, так и с точки зрения капитальных и организационных затрат на тюнинг, яв-

ляется улучшение динамики автомобиля, которую можно охарактеризовать следующими параметрами: хорошей динамикой разгона, то есть максимально возможным ускорением на прямой; эффективным замедлением при необходимости снизить скорость или остановиться; максимальной скоростью на прямом участке; увеличением скорости прохождения поворотов.

Предложенная модель позволяет комплексно описать все виды и направления автомобильного тюнинга, например подготовку к спортивным соревнованиям серийных автомобилей. Стоит отметить, что спортивный тюнинг в России развивается много десятилетий, в частности, как доводка ходовой части [16, с. 27].

Предложенная математическая модель может быть использована для оценки эффективности внешнего тюнинга автомобиля (аэродинамического обвеса) [17, с. 221], так как на динамику автомобиля большое влияние оказывает доработка двигателя, в том числе увеличение рабочего объема двигателя и применение наддува [18, с. 35–37]. Особое значение для полноприводного автомобиля имеет модернизация трансмиссии [19, с. 11]. Для всех автомобилей актуальна установка охранных сигнализаций [20, с. 112].

Для определения значений указанных характеристик используют три группы методов: экспертные, неэкспертные и гибридные [21, с. 70]. При экспертных методах для определения значений числовых характеристик используются заключения экспертов. Неэкспертные методы применяются согласно регламентированным базам данных. Гибридные методы являются комбинированными, смешанными.

Следует отметить, что в автомобильном тюнинге основную трудность представляет оценка внешнего вида. В частности, в работе [22, с. 148] описаны этапы оценки эстетического уровня автомобиля, где предлагается оценку эстетического уровня проводить на двух стадиях: целостной и комплексной.

ВЫВОДЫ

Разработанная математическая модель тюнинга позволяет не только оценить его с экономической точки зрения, но и получать обобщенную оценку изменения автомобиля в процессе тюнинга по критериям энергоэффективности, безопасности и степени экологичности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Схематизация и моделирование процесса тюнинга в значительной степени упрощают прогнозирование его результатов. Авторы предполагают продолжить исследования в данном направлении разработкой на основе предложенной математической модели и апробацией программного продукта, который даст возможность производить предварительный анализ возможных мероприятий по модернизации автомобиля с учетом экологических последствий, вопросов безопасности, сохранения ресурса автомобиля и показателей его надежности.

Статья подготовлена в рамках работы над исследовательским проектом «К 50-летию ВАЗа: Влияние автомобилизации на социально-экономическое развитие Поволжья», поддержанным грантом Российского гуманитарного научного фонда № 16-12-63003 по результатам регионального конкурса «Волжские земли в истории и культуре России – 2016, Самарская область».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Andria G., Attivissimo F., Di Nisio A., Lanzolla A.M.L., Pellegrino A. Development of an automotive data acquisition platform for analysis of driving behavior // *Measurement*. 2016. Vol. 93. P. 278–287.
- Chauhan B., Jain A., Chaturvedi T., Saini S. A User Interactive and Assistive Fleet Management and Eco-Driving System // 2015 Ieee Region 10 Symposium. Tensymp, 2015. P. 41–44.
- Вахламов В.К. Автомобили: конструкция и эксплуатационные свойства. М.: Академия, 2009. 480 с.
- Доронкин В.Г. Тюнинг как инновационный способ повышения энергоэффективности автомобиля // Проблемы развития предприятий: теория и практика: материалы 15-й Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Самар. гос. экон. ун-та. Ч. 2. Самара: Самар. гос. экон. ун-т, 2016. С. 85–87.
- Доронкин В.Г., Кудинова Г.Э., Курилова А.А. К вопросу эффективности автомобильного тюнинга // *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2016. Т. 5. № 4. С. 140–143.
- Зозуля Д.М. Маркетинг как философия преобразования бизнеса // *Научно-методический электронный журнал Концепт*. 2014. Т. 20. С. 2106–2110.
- Калачев С.Л. Товароведение и экспертиза транспортных средств личного пользования. М.: Дашков и К°, 2012. 312 с.
- Чудаков Е.А. Теория автомобиля. М.: Машгиз, 1950. 343 с.
- РФ. Технический регламент о безопасности колёсных транспортных средств: утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 10 сентября 2009 г. № 720.
- Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its origins, errors and misconceptions // *Benchmarking: An International Journal*. 2011. Vol. 18. № 3. P. 428–444.

- Молибошко Л.А. Компьютерные модели автомобилей. Минск: Новое знание, 2012. 295 с.
- Kido H., Ohsawa Y., Nitta K. Paretian argumentation frameworks for Pareto optimal arguments // *Journal of Logic and Computation*. 2017. Vol. 27. P. 213–225.
- Ngo T.N., Hayek N. Necessary conditions of Pareto optimality for multiobjective optimal control problems under constraints // *Optimization*. 2017. Vol. 66. P. 149–177.
- Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта: утверждено приказом Министерства авт. транспорта РСФСР от 20.09.1984. М.: Транспорт, 1986. 114 с.
- РФ. ФГОС СПО по специальности 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта: утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 апреля 2014 г. № 383.
- Сингуринди Э.Г. Подготовка автомобиля к соревнованиям. М.: ДОСААФ, 1976. 80 с.
- Скрипник И. Тюнинг автомобиля своими руками. М.: АСТ, 2011. 288 с.
- Степанов В.Н. Тюнинг автомобильных двигателей. СПб.: Алфамер Паблишинг, 2000. 82 с.
- Струков С.А. Ремонт и модернизация ВАЗ-2131 Нива. СПб.: Алфамер Паблишинг, 2011. 304 с.
- Тюнинг «Самары». Иллюстрированное руководство. М.: Книжное издательство «За рулем», 2007. 136 с.
- Azgaldov G.G., Kostin A.V., Alvaro E. Padilla Omiste. The ABC of Qualimetry: The Toolkit for measuring immeasurable. Ridero: ParaType, Inc., 2015. 167 p.
- Кузнецов В.Г., Терещенко О.А., Леинова Ю.О. Основы эргономики. Гомель: БелГУТ, 2013. 157 с.

REFERENCES

- Andria G., Attivissimo F., Di Nisio A., Lanzolla A.M.L., Pellegrino A. Development of an automotive data acquisition platform for analysis of driving behavior. *Measurement*, 2016, vol. 93, pp. 278–287.
- Chauhan B., Jain A., Chaturvedi T., Saini S. A User Interactive and Assistive Fleet Management and Eco-Driving System. *2015 Ieee Region 10 Symposium. Tensymp*, 2015, pp. 41–44.
- Vakhlamov V.K. *Avtomobili: konstruksiya i ekspluatatsionnye svoystva* [Vehicles: design and performance properties]. Moscow, Akademiya Publ., 2009. 480 p.
- Doronkin V.G. Tuning as an innovative method of the vehicle energy efficiency improvement. *Problemy razvitiya predpriyatij: teoriya i praktika: materialy 15-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashch. 85-letiyu Samar. gos. ekon. un-ta*. Samara, Samar. gos. ekon. un-t Publ., 2016. Ch. 2, pp. 85–87.
- Doronkin V.G., Kudinova G.E., Kurilova A.A. To question the effectiveness of automobile tuning. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie*, 2016, vol. 5, no. 4, pp. 140–143.
- Zozulya D.M. Marketing as the business transformation philosophy. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal Kontsept*, 2014, vol. 20, pp. 2106–2110.
- Kalachev S.L. *Tovarovedenie i ekspertiza transportnykh sredstv lichnogo polzovaniya* [Merchandizing and private vehicles inspection]. Moscow, Dashkov i K° Publ., 2012. 312 p.

8. Chudakov E.A. *Teoriya avtomobilya* [Theory of vehicle]. Moscow, Mashgiz Publ., 1950. 343 p.
9. RF. Technical Regulation for wheeled vehicles safety: approved by Regulation of the Government of the Russian Federation dated the 10th of September 2009 № 720. (In Russ.)
10. Azgaldov G., Kostin A. Applied Qualimetry: Its origins, errors and misconceptions. *Benchmarking: An International Journal*, 2011, vol. 18, no. 3, pp. 428–444.
11. Moliboshko L.A. *Kompyuternye modeli avtomobilya* [Computer models of cars]. Minsk, Novoe znanie Publ., 2012. 295 p.
12. Kido H., Ohsawa Y., Nitta K. Paretian argumentation frameworks for Pareto optimal arguments. *Journal of Logic and Computation*, 2017, vol. 27, pp. 213–225.
13. Ngo T.N., Hayek N. Necessary conditions of Pareto optimality for multiobjective optimal control problems under constraints. *Optimization*, 2017, vol. 66, pp. 149–177.
14. *Polozhenie o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte podvizhnogo sostava avtomobilnogo transporta: utverzhdeno prikazom Ministerstva avt. transporta RSFSR ot 20.09.1984* [Regulation on maintenance and technical repairs of road transport vehicles: approved by the order of the Ministry of Motor Transport of the RSFSR dtd. 20.09.1984]. Moscow, Transport Publ., 1986. 114 p.
15. RF. FSES SPE in specialty 23.02.03 Maintenance and technical repairs of motor transport: approved by the order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dtd. 22.04.2014 № 383. (In Russ.)
16. Singurindi E.G. *Podgotovka avtomobilya k sorevnovaniyam* [Preparation of a car for the competitions]. Moscow, DOSAAF Publ., 1976. 80 p.
17. Skripnik I. *Tyuning avtomobilya svoimi rukami* [Car tuning with own hands]. Moscow, AST Publ., 2011. 288 p.
18. Stepanov V.N. *Tyuning avtomobilnykh dvigateley* [Tuning of car engines]. Sankt Petersburg, Alfamer Publ., 2000. 82 p.
19. Strukov S.A. *Remont i modernizatsiya VAZ-2131 Niva* [Repairs and upgrades of VAZ-2131 Niva car]. Sankt Petersburg, Alfamer Publ., 2011. 304 p.
20. *Tyuning "Samara". Illyustrirovannoe rukovodstvo* [Tuning of "Samara" car. Illustrated manual]. Moscow, Knizhnoe izdatelstvo "Za Rulem" Publ., 2007. 136 p.
21. Azgaldov G.G., Kostin A.V., Alvaro E. Padilla Omiste. *The ABC of Qualimetry: The Toolkit for measuring immeasurable*. Ridero, ParaType, Inc. Publ., 2015. 167 p.
22. Kuznetsov V.G., Tereshchenko O.A., Leinova Yu.O. *Osnovy ergonomiki* [Basics of ergonomics]. Gomel', BelGUT Publ., 2013. 157 p.

MATHEMATICAL MODELING OF CAR TUNING

© 2017

V.G. Doronkin, senior teacher of Chair "Design and Operation of Cars"
N.V. Kolacheva, PhD (Pedagogy), Associate Professor,
 assistant professor of Chair "Management of industrial and ecological safety"
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: transport safety; mathematical modeling; modernization; tuning; ecology; vehicle energy efficiency.

Abstract: The paper considers the issues and prospects of modernization of cars within the operation process, proves the necessity of car tuning process simulation. The relevance of the topic is determined by the importance of improvement of energy efficiency, resource economy and environment protection when operating vehicles. Car modernization during the tuning process is one of the solutions of task complex.

The authors give the review of key factors that should be taken into account when modeling the process of vehicles modernization based on the example of passenger car tuning. Tuning is described as one of the types of technological impact on a car during its operation. The authors proposed a concept of the car tuning mathematical model creation taking into account the issues of ecological properties and safety of a car. Car basic properties formalization is implemented using the qualimetry techniques based on a properties tree.

The paper analyzes various approaches to the selection of optimality principle for multicriterion problems. In the developed mathematical model, the car properties vector is assessed according to many criteria at the same time using the Pareto-optimality principle. To find the optimal set, the methods of its contraction are used: setting the criteria lower bounds, suboptimization, lexicographic optimization, and generalized criterion calculation. To assess tuning result, the authors propose applying a generalized criterion representing the subtests weighted sum.

The developed mathematical model shows the evaluation of car changes in the process of tuning according to various criteria and allows calculating tuning efficiency both in terms of consumer properties and the enhanced ecological properties, energy efficiency and safety of a car. The software developed on the base of proposed mathematical model will give an opportunity to make a preliminary analysis of possible activities on a car modernization.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И АТТЕСТАЦИЯ ПРОНИЦАЕМЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ ИЗ СПЛАВОВ Ti-Nb-Zr МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© 2017

А.М. Казакбиев, аспирант

А.А. Коробкова, аспирант

В.А. Шереметьев, кандидат технических наук, научный сотрудник

С.М. Дубинский, кандидат технических наук, доцент

С.Д. Прокошкин, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва (Россия)

Ключевые слова: титановые сплавы; медицинские сплавы; биосовместимость; пеноматериалы; проницаемость; морфология пор.

Аннотация: К перспективным сплавам для использования в качестве материала внутрикостных имплантатов предъявляются требования высокой биохимической и биомеханической совместимости. Это означает в том числе комплекс свойств, обеспечивающих ускоренное вживление имплантата в костную ткань, его надежную фиксацию и предотвращение последующего отторжения. Благоприятное механическое поведение может быть обеспечено за счет схожести механических параметров имплантата и костной ткани. Костная ткань проявляет механический гистерезис при деформации. Среди металлических материалов подобным поведением при деформации обладает сверхупругий сплав с памятью формы Ti-20,8Nb-5,5Zr (в ат. %). Однако относительно высокий модуль Юнга этого сплава в недостаточной степени обеспечивает его биомеханическую совместимость. Благодаря созданию пористой структуры удается радикально уменьшить модуль Юнга. Для этого из слитка данного состава был изготовлен порошок со сферичными частицами размером менее 50 мкм. Далее металлический порошок равномерно перемешали с порообразователем – порошком полиметилметакрилата (ПММА) в виде сферичных частиц размером не более 250 мкм. Смесь порошков подвергали двухстороннему прессованию и последующему пиролизу. В процессе пиролиза полимерный компонент разлагался на газообразные компоненты. В результате пиролиза получали полупродукт из металлического порошка с порами. Для укрепления связи между металлическими частицами проводили спекание. Варьируя объемную долю порообразователя, задавали конечную пористость в образцах.

Установлено, что задаваемая пористость близка к получаемой пористости. При этом наблюдается равномерное распределение пор по объему. При увеличении пористости отмечается снижение модуля Юнга, повышение коэффициента проницаемости, снижение прочностных характеристик. При этом рассчитанные механические характеристики образцов различной пористости лежат в допустимых пределах биомеханической совместимости.

ВВЕДЕНИЕ

Безникелевые медицинские сплавы системы Ti-Nb-Zr относятся к наиболее перспективным металлическим материалам для изготовления медицинских имплантатов [1; 2]. Интерес к этим сплавам вызывает уникальное сочетание их высокой биохимической и биомеханической совместимости: низкое значение модуля Юнга (40–60 ГПа), сверхупругое поведение, близкое к поведению костной ткани, присутствие в составе сплава только биосовместимых компонентов. Используемые в настоящее время сплавы на основе титана обладают гораздо более высоким значением модуля Юнга (100–110 ГПа) по сравнению с костной тканью (1–30 ГПа). Это обуславливает различие в механическом поведении костной ткани и материала имплантата, что может приводить к повреждению костной ткани и возможной потере контакта кость-имплантат. Модуль Юнга перспективного сплава Ti-20,8Nb-5,5Zr, претерпевающего мартенситное превращение $\beta \rightarrow \alpha''$, составляет около 30 ГПа [3]. Это значение лежит у верхней границы диапазона модуля Юнга для костной ткани. Поэтому важной задачей является снижение жесткости готового продукта, что может быть обеспечено созданием пористой структуры образца. Более того, такая структура материала будет способствовать ускоренному врастанию костной ткани вглубь имплантата, что приведет к его надежной внутрикостной фиксации.

Важной особенностью пеноматериалов является структура пор. В более ранних работах [4; 5] сказано о значимости соединений между порами, способствующих проникновению жидкостей, важных для посева клеток и доставки питательных веществ для роста костной ткани. Размер взаимосвязанных пор от 100 до 600 мкм способствует проникновению костной ткани вглубь пористой структуры [6; 7]. Пеноматериал должен обладать высокой пористостью, близкой к пористости губчатой костной ткани (40–80 %), высокой проницаемостью для проникновения биологических жидкостей, клеток и микроэлементов, способствующих формированию костной ткани [8; 9]. Сведения о получении пористой структуры сплавов Ti-Nb-Zr в литературе отсутствуют.

Цель работы – разработка технологии получения металлических пеноматериалов из сплавов Ti-Nb-Zr с регулируемой пористостью, высокой проницаемостью, близким к костной ткани модулем Юнга.

В качестве технологии изготовления проницаемых металлических пеноматериалов был выбран метод удаляемого порообразователя. Одной из стадий данного метода является удаление порообразователя: материал порообразователя должен быть полностью удален из объема образца. В работах [10; 11] в качестве порообразователя выбран карбамид, растворимый в полярных растворителях, и полиметилметакрилат. Эта технология

относится к порошковой металлургии и находит широкое применение для получения металлических медицинских материалов, в том числе и из сверхупругих сплавов [12; 13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из выплавленного слитка сплава Ti-20,8Nb-5,5Zr (в ат. %) методом диспергирования индукционно расплавляемого электрода газовым потоком был получен порошок со сферической формой частиц размером до 150 мкм. В качестве удаляемого порообразователя выбран полиметилметакрилат (ПММА). Этот материал в процессе пиролиза, разлагаясь на газообразные компоненты, полностью покидает объем образца [14; 15] и формирует проницаемую пористую структуру пеноматериала. Процесс получения проницаемых металлических пеноматериалов методом удаляемого порообразователя включает 5 основных этапов [11].

1. *Просеивание.* Для отсева использовали просеивающую машину RETSCH AS 400 control. Используя сита, выделяли требуемую фракцию как для металлического (<50 мкм), так и для полимерного (<250 мкм) порошков.

2. *Перемешивание.* Важным этапом в создании пеноматериала является равномерное перемешивание металлического порошка и порообразователя. Вследствие различия плотностей этих материалов классические способы перемешивания оказались непригодными, приводили к расслоению компонентов. В качестве емкости для перемешивания разработан и предложен цилиндр с функциональными вставками по внутренним стенкам (рис. 1). Цилиндр приводился во вращение электродвигателем со скоростью 80 об/мин, угол наклона оси цилиндра к горизонтальной плоскости составлял 40°.

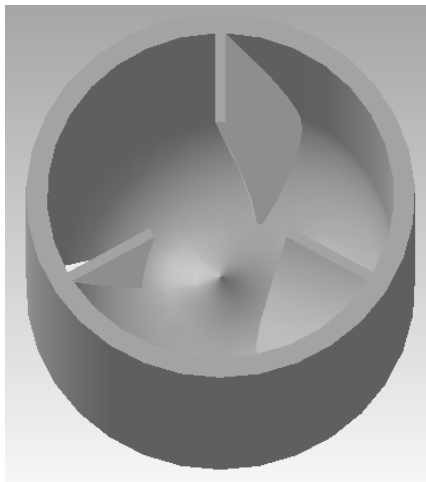


Рис. 1. Емкость для перемешивания с внутренними вставками

3. *Прессование.* Используемое оборудование – гидравлический пресс PLC Hydraulic Press Machine с максимальной нагрузкой 10 т. После получения равномерной смеси порошков ее засыпали в пресс-форму. Давление, необходимое для прессования смеси полимерного и металлического порошков, должно быть не более

200 МПа. Компактирование по схеме прессования с плавающей матрицей позволяет получать заготовки с соотношением высоты к диаметру до 2:1. Получение образцов таких размеров является актуальной задачей для проведения механических испытаний.

4. *Пиролиз.* Из-за высокой активности сплава данный этап проводили в вакуумной печи СШВЛ, где в качестве нагревателей используется вольфрам, величина вакуума не менее 10^{-3} торр. Используя литературные данные, выбрали температуру, при которой ПММА мономерируется, полностью переходя в газообразное состояние, – 450 °С [14; 15]. Процесс проводили в 2 ступени: нагрев до 200 °С со скоростью 10 °С/мин; далее скорость нагрева изменяется до 2 °С/мин, а температура в камере поднимается до 450 °С. После этого – выдержка в течение 2 часов и охлаждение в печи. Это приводит к менее активному разложению полимера, снижает выброс объемов газа, предотвращая разрушение образца в процессе пиролиза. При использовании двухступенчатого нагрева риск разрушения образцов снижается.

5. *Спекание.* Для упрочнения связи между частицами необходимо провести спекание. Был выбран следующий режим спекания: величина вакуума не менее 10^{-4} торр, температура 1400 °С, выдержка 3 часа, охлаждение в печи.

Для графического анализа пористой структуры изображения, полученные с помощью микроскопа, переводили в бинарное отображение с помощью программного пакета Image Expert Pro. При этом для изображений подбирается коэффициент бинаризации, не приводящий к существенному сдвигу границы между металлической основой и порами на фотографии. На рис. 2 показан шлиф пеноматериала с пористостью 50 % и его двухцветное отображение.

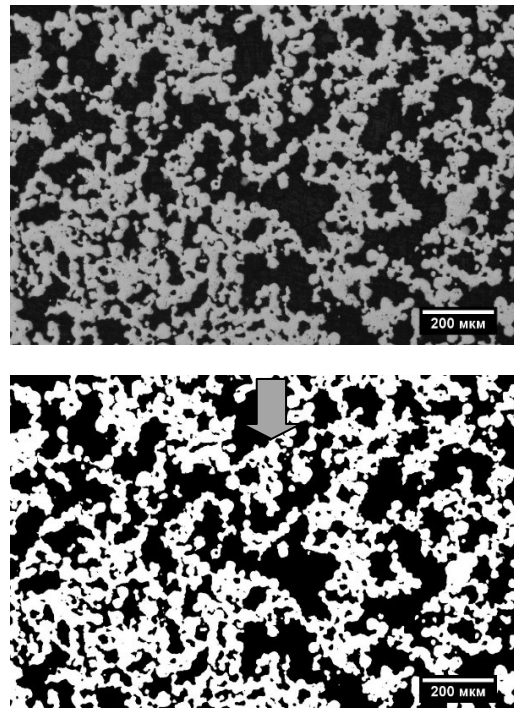


Рис. 2. Перевод в бинарное отображение изображения поверхности шлифованного пеноматериала, где черное – поры, белое – металл

Для измерения пористости были применено два способа: графический метод по микрофотографии и метод гидростатического взвешивания. Для измерения графическим методом образец заполняли эпоксидной смолой, чтобы избежать заваливания пор при последующей полировке, получали шлиф. С помощью металлографического микроскопа получали фотографии пористой структуры. Согласно принципу Кавальери [16], соотношения объемов, находящихся между параллельными плоскостями, соответствуют соотношениям площадей сечений этих объемов параллельными плоскостями. Иными словами, по отношению площадей пор и металла, входящих в структуру образца, можно определить пористость образца. В качестве другого способа определения пористости использовали метод гидростатического взвешивания. Суть метода основана на взвешивании образца в трех различных состояниях: на воздухе в сухом состоянии, в воде, на воздухе наполненным водой. Пористость (P_n) вычисляли по формуле

$$P_n = \frac{m_M - m_c}{m_M - m_{вод}} \cdot 100\%,$$

где m_M – это масса образца на воздухе, наполненного водой, г;

m_c – масса сухого образца на воздухе, г;

$m_{вод}$ – масса пористого образца в воде, г.

Важной характеристикой металлических пеноматериалов медицинского назначения является коэффициент проницаемости. Известно, что для различных участков костной ткани человека характерен коэффициент проницаемости из диапазона $1 \cdot 10^{-9}$ – $8 \cdot 10^{-11}$ м² [17]. Для определения проницаемости полученных пеноматериалов использовали методику, описанную в [18], согласно стандарту ISO4022.

Эмпирическим методом были определены массы компонентов, используемых при перемешивании, для по-

лучения заданного значения пористости, данные приведены в таблице 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате измерения пористости полученных образцов металлических пеноматериалов оказалось, что заданная пористость при перемешивании, т. е. объем порообразователя, сопоставима с полученной пористостью, измеренной методом гидростатического взвешивания. Это подтверждает график на рис. 3, где Образец 30, Образец 40 и Образец 50 – образцы с использованной в процессе компактирования объемной долей порообразователя 30 %, 40 % и 50 % соответственно.

Для определения равномерности распределения пор (следствие равномерного перемешивания порообразователя) из цилиндрического пеноматериала с пористостью 47 % и размерами 15×15 мм вырезан центральный участок (рис. 4 а). Из полученной пластины был изготовлен шлиф. Полученную поверхность условно разделили на 9 областей и получили 9 снимков с каждой области (рис. 4 б). На каждом снимке определяли пористость. Результаты измерения пористости по снимкам указаны на рис. 5. Разброс значений пористости в каждом снимке составляет не более 6 % от среднего значения пористости всей пластины. Это свидетельствует об удовлетворительном уровне перемешивания металлического и полимерного порошков.

Определенные с использованием стандарта ISO4022 значения проницаемости занесены в таблицу 2. Полученные образцы подвергали циклическим испытаниям на сжатие на испытательной машине *Instron 5966* с постепенным увеличением деформации на 2 % в каждом цикле вплоть до $\epsilon=50$ % или до разрушения образца. По полученным диаграммам деформации-разгрузки устанавливали механические характеристики пеноматериалов (условный предел текучести, модуль Юнга и максимальную нагрузку на сжатие). Характеристики пеноматериалов, определенные в этой работе, приведены в таблице 2.

Таблица 1. Массы смешиваемых компонентов для получения заданных значений пористости

№	Сплав	Задаваемая пористость, %	Масса ПММА ($\varnothing < 250$ мкм), г	Масса TNZ ($\varnothing < 50$ мкм), г
1	Ti-20,8Nb-5,5Zr (в ат. %)	30	6,06	59
2		40	9,12	59
3		50	11,21	59

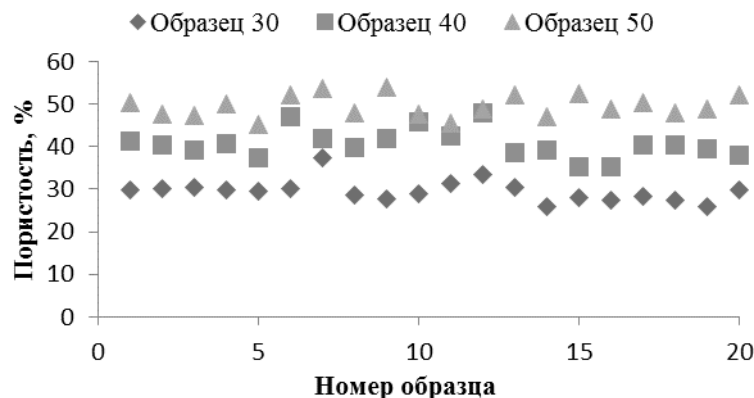


Рис. 3. Измеренная пористость образцов с объемной долей использованного порообразователя 30, 40 и 50 %

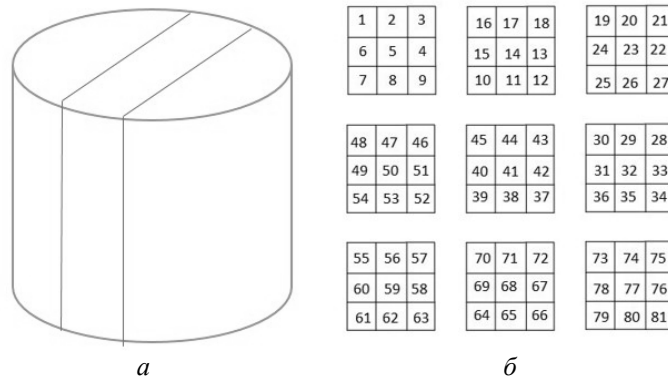


Рис. 4. Схема резки цилиндра для получения пластины (а), схема фотографирования поверхности полученной пластины (б)

43	42	44	41	43	41	44	45	45
42	45	47	44	42	41	41	47	45
47	48	47	46	43	44	43	46	49
47	49	47	47	46	43	45	46	46
47	48	45	47	46	46	46	50	46
48	52	50	52	52	50	50	46	46
49	49	49	49	51	49	45	45	45
44	48	53	54	50	46	44	46	49
48	51	51	50	52	48	48	50	45

Рис. 5. Карта распределения значений пористости (%) по поверхности шлифа

Таблица 2. Характеристики полученных пеноматериалов

	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Пористость металлографическим методом, %	26	40	45
Пористость по методу Архимеда, %	24	38	44
Коэффициент проницаемости, $\cdot 10^{-11} \text{ м}^2$	0,2	12,2	14,9
Условный предел текучести, МПа	397	170	137
Модуль Юнга, ГПа	21	16	9
Максимальная нагрузка на сжатие, МПа	770	349	281

По результатам проведенных испытаний показано, что при увеличении пористости существенно возрастает проницаемость, достигая значений для костной ткани. Величина модуля Юнга пеноматериалов с пористостью от 24 до 44 % меняется от 9 до 21 ГПа, что соответствует требованиям биомеханической совместимости с костной тканью. Прочностные характеристики снижаются с увеличением пористости, но остаются на достаточно высоком уровне, значительно выше, чем у костной ткани, предел прочности кортикальной кости человека лежит в диапазоне 90–130 МПа [19; 20].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В данной работе при изготовлении пеноматериалов с пористостью в диапазоне от 25 до 50 % был использован метод удаляемого порообразователя. Показано, что, варьируя объемную долю порообразователя, можно

регулировать требуемую пористость в образцах. Во всех образцах наблюдается равномерное распределение пор по объему, что связано с равномерным перемешиванием компонентов в процессе изготовления. Изменения механических характеристик напрямую зависят от величины пористости. Так, при увеличении значения пористости модуль Юнга снижается в 2,5 раза, вместе с тем снижаются и прочностные характеристики, но их значения остаются на уровне, превосходящем значения прочности для костной ткани.

Авторы выражают благодарность Владимиру Браиловскому за участие и ценные консультации при выполнении данной работы.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miyazaki S., Kim H. Y., Hosoda H. Development and characterization of Ni-free Ti-base shape memory and superelastic alloys // *Materials Science and Engineering A*. 2006. Vol. 438-440. № Spec. iss. P. 18–24.
2. Brailovski V., Prokoshkin S., Gauthier M., Inaekyan K., Dubinskiy S., Petrzhhik M., Filonov M. Bulk and porous metastable beta Ti–Nb–Zr(Ta) alloys for biomedical applications // *Materials Science and Engineering C*. 2011. Vol. 31. № 3. P. 643–657.
3. Dubinskiy S., Prokoshkin S., Brailovski V., Inaekyan K., Korotitskiy A. In situ X-ray diffraction strain-controlled study of Ti–Nb–Zr and Ti–Nb–Ta shape memory alloys: crystal lattice and transformation features // *Materials Characterization*. 2014. Vol. 88. P. 127–142.
4. Singh R., Lee P.D., Lindley T.C., Dashwood R.J., Ferrie E., Imwinkelried T. Characterization of the structure and permeability of titanium foams for spinal fusion devices // *Acta biomaterialia*. 2009. Vol. 5. № 1. P. 477–487.
5. Vasconcellos L.M.R. de, Leite D.D., Nascimento F.O., Vasconcellos L.G.O. de, Graca M.L., Carvalho Y.R., Cairo C.A. Porous titanium for biomedical applications: an experimental study on rabbits // *Medicina oral patologia oral y cirugia bucal*. 2010. Vol. 15. № 2. P. E407–E412.
6. Lewis G. Properties of open-cell porous metals and alloys for orthopedic applications // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2013. Vol. 24. № 10. P. 2293–2325.
7. Bansiddhi A., Dunand D.C. Shape-memory NiTi foams produced by replication of NaCl space-holders // *Acta biomaterialia*. 2008. Vol. 4. № 6. P. 1996–2007.
8. Vasconcellos L.M.R., Oliveira M.V., Graca M.L.A., Vasconcellos L.G.O., Cairo C.A.A., Carvalho Y.R. Design of dental implants, influence on the osteogenesis and fixation // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2008. Vol. 19. № 8. P. 2851–2857.
9. Otsuki B., Takemoto M., Fujibayashi S., Neo M., Kokubo T., Nakamura T. Pore throat size and connectivity determine bone and tissue ingrowth into porous implants: three-dimensional micro-CT based structural analyses of porous bioactive titanium implants // *Biomaterials*. 2006. Vol. 27. № 35. P. 5892–5900.
10. Niu W., Bai C., Qiu G., Wang Q. Processing and properties of porous titanium using space holder technique // *Materials Science and Engineering A*. 2009. Vol. 506. № 1-2. P. 148–151.
11. Rivard J., Brailovski V., Dubinskiy S., Prokoshkin S. Fabrication, morphology and mechanical properties of Ti and metastable Ti-based alloy foams for biomedical applications // *Materials Science and Engineering C*. 2014. Vol. 45. P. 421–433.
12. Köhl M., Habijan T., Bram M., Buchkremer H.P., Stöver D., Köller M. Powder metallurgical near-net-shape fabrication of porous NiTi shape memory alloys for use as long-term implants by the combination of the metal injection molding process with the space-holder technique // *Advanced Engineering Materials*. 2009. Vol. 11. № 12. P. 959–968.
13. Wang X., Li Y., Xiong J., Hodgson P.D., Wen C. Porous TiNbZr alloy scaffolds for biomedical applications // *Acta biomaterialia*. 2009. Vol. 5. № 9. P. 3616–3624.
14. Мадорский С.Л. Термическое разложение органических полимеров. М.: Мир, 1967. 328 с.
15. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров. М.: Химия, 1989. 192 с.
16. Eves H. Two surprising theorems on Cavalieri congruence // *The College Mathematics Journal*. 1991. Vol. 22. № 2. P. 118–124.
17. Syahrom A., Abdul Kadir M.R., Harun M.N., Öchsner A. Permeability study of cancellous bone and its idealised structures // *Medical engineering and physics*. 2015. Vol. 37. № 1. P. 77–86.
18. Шереметьев В.А., Дубинский С.М., Икбаль М.А., Коробкова А.А., Казакбиев А.М., Прокошкин С.Д., Браиловский В. Влияние динамического химического протравливания на параметры пористой структуры пеноматериала из сверхупругого сплава Ti–Nb–Zr медицинского назначения // *Деформация и разрушение материалов*. 2017. № 3. С. 28–32.
19. Keaveny T.M., Morgan E.F., Yeh O.C. Bone mechanics // *Standard handbook of biomedical engineering and design*. New York: McGRAW-HILL, 2004. P. 8/7–8/12.
20. Currey J.D. The structure and mechanics of bone // *Journal of Materials Science*. 2012. Vol. 47. № 1. P. 41–54.

REFERENCES

1. Miyazaki S., Kim H. Y., Hosoda H. Development and characterization of Ni-free Ti-base shape memory and superelastic alloys. *Materials Science and Engineering A*, 2006, vol. 438-440, no. Spec. iss, pp. 18–24.
2. Brailovski V., Prokoshkin S., Gauthier M., Inaekyan K., Dubinskiy S., Petrzhhik M., Filonov M. Bulk and porous metastable beta Ti–Nb–Zr(Ta) alloys for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C*, 2011, vol. 31, no. 3, pp. 643–657.
3. Dubinskiy S., Prokoshkin S., Brailovski V., Inaekyan K., Korotitskiy A. In situ X-ray diffraction strain-controlled study of Ti–Nb–Zr and Ti–Nb–Ta shape memory alloys: crystal lattice and transformation features. *Materials Characterization*, 2014, vol. 88, pp. 127–142.
4. Singh R., Lee P.D., Lindley T.C., Dashwood R.J., Ferrie E., Imwinkelried T. Characterization of the structure and permeability of titanium foams for spinal fusion devices. *Acta biomaterialia*, 2009, vol. 5, no. 1, pp. 477–487.
5. Vasconcellos L.M.R. de, Leite D.D., Nascimento F.O., Vasconcellos L.G.O. de, Graca M.L., Carvalho Y.R., Cairo C.A. Porous titanium for biomedical applications: an experimental study on rabbits. *Medicina oral patologia oral y cirugia buccal*, 2010, vol. 15, no. 2, pp. E407–E412.
6. Lewis G. Properties of open-cell porous metals and alloys for orthopedic applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2013, vol. 24, no. 10, pp. 2293–2325.
7. Bansiddhi A., Dunand D.C. Shape-memory NiTi foams produced by replication of NaCl space-holders. *Acta biomaterialia*, 2008, vol. 4, no. 6, pp. 1996–2007.
8. Vasconcellos L.M.R., Oliveira M.V., Graca M.L.A., Vasconcellos L.G.O., Cairo C.A.A., Carvalho Y.R. Design of dental implants, influence on the osteogenesis and fixation. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2008, vol. 19, no. 8, pp. 2851–2857.

9. Otsuki B., Takemoto M., Fujibayashi S., Neo M., Kokubo T., Nakamura T. Pore throat size and connectivity determine bone and tissue ingrowth into porous implants: three-dimensional micro-CT based structural analyses of porous bioactive titanium implants. *Bio-materials*, 2006, vol. 27, no. 35, pp. 5892–5900.
10. Niu W., Bai C., Qiu G., Wang Q. Processing and properties of porous titanium using space holder technique. *Materials Science and Engineering A*, 2009, vol. 506, no. 1-2, pp. 148–151.
11. Rivard J., Brailovski V., Dubinskiy S., Prokoshkin S. Fabrication, morphology and mechanical properties of Ti and metastable Ti-based alloy foams for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C*, 2014, vol. 45, pp. 421–433.
12. Köhl M., Habijan T., Bram M., Buchkremer H.P., Stöver D., Köller M. Powder metallurgical near-net-shape fabrication of porous NiTi shape memory alloys for use as long-term implants by the combination of the metal injection molding process with the space-holder technique. *Advanced Engineering Materials*, 2009, vol. 11, no. 12, pp. 959–968.
13. Wang X., Li Y., Xiong J., Hodgson P.D., Wen C. Porous TiNbZr alloy scaffolds for biomedical applications. *Acta biomaterialia*, 2009, vol. 5, no. 9, pp. 3616–3624.
14. Madorsky S.L. *Termicheskoe razlozhenie organicheskikh polimerov* [Thermal degradation of organic polymers]. Moscow, Mir Publ., 1967. 328 p.
15. Bryk M.T. *Destruktsiya napolnennykh polimerov* [Destruction of filled polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 192 p.
16. Eves H. Two surprising theorems on Cavalieri congruence. *The College Mathematics Journal*, 1991, vol. 22, no. 2, pp. 118–124.
17. Syahrom A., Abdul Kadir M.R., Harun M.N., Öchsner A. Permeability study of cancellous bone and its idealised structures. *Medical engineering and physics*, 2015, vol. 37, no. 1, pp. 77–86.
18. Sheremetyev V.A., Dubinskiy S.M., Ikbal M.A., Korobkova A.A., Kazakbiyev A.M., Prokoshkin S.D., Brailovskiy V. Influence of dynamic chemical etching on parameters of porous structure of superelastic Ti-Nb-Zr foam-material for medical purposes. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2017, no. 3, pp. 28–32.
19. Keaveny T.M., Morgan E.F., Yeh O.C. Bone mechanics. *Standard handbook of biomedical engineering and design*. New York, McGRAW-HILL, 2004, pp. 8/7–8/12.
20. Currey J.D. The structure and mechanics of bone. *Journal of Materials Science*, 2012, vol. 47, no. 1, pp. 41–54.

THE TECHNOLOGY OF PRODUCING AND CERTIFICATION OF Ti-Nb-Zr ALLOYS PERMEABLE FOAM MATERIALS OF MEDICAL PURPOSE

© 2017

A.M. Kazakbiev, postgraduate student

A.A. Korobkova, postgraduate student

V.A. Sheremetyev, PhD (Engineering), researcher

S.M. Dubinskiy, PhD (Engineering), Associate Professor

S.D. Prokoshkin, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, chief researcher
National University of Science and Technology "MISIS", Moscow (Russia)

Keywords: titanium alloys; medical alloys; biocompatibility; metal foams; permeability; morphology of pores.

Abstract: High requirements for biochemical and biomechanical compatibility are applied to the promising alloys to be used as materials for intraosseous implants. Among other things, it involves a number of properties ensuring the accelerated and smooth process of implantation into the bone tissue, as well as its reliable fixation and prevention of implant rejection. Favorable mechanical behavior can be achieved due to the similarity of mechanical properties of an implant and the bone tissue. During the deformation, the bone tissue manifests the mechanical hysteresis. Among the metallic materials, superelastic shape memory Ti-20.8Nb-5.5Zr (in at. %) alloy demonstrates the similar mechanical behavior. However, the higher Young's modulus of this alloy ensures its biomechanical compatibility insufficiently. Due to the creation of a porous structure, it is possible to decrease radically Young's modulus. For this purpose, a powder with spherical particles of less than 50 μm in size was produced from the ingot of this composition. Then the powder was uniformly mixed with the blowing agent – the polymethylmethacrylate powder (PMMA) in the form of spherical particles no greater than 250 μm. The mixture of powders was subjected to the double-action compacting and subsequent pyrolysis. In the pyrolysis process, the polymer component was decomposed into gaseous components. As the result of pyrolysis, a porous semi-product was produced from the metallic powder with pores. To strengthen metal particles bonds, the sintering was performed. The final porosity was achieved in the samples by varying the volume ratio of the blowing agent.

It is established that the pre-defined porosity is close to the resulting porosity and the pores are distributed homogeneously within the volume. When increasing the porosity, Young's modulus decreases, the permeability coefficient increases, and the strength characteristics decrease. At the same time, the calculated mechanical characteristics of samples of various porosities remain within the permissible limits of biomechanical compatibility.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РОСТА ТРЕЩИН В ВЯЗКО-УПРУГОЙ СРЕДЕ С РАЗВИТОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

© 2017

В.А. Калачев, студент-магистрант Института естественных наук и математики

П.Е. Панфилов, доктор физико-математических наук, профессор,

старший научный сотрудник Института естественных наук и математики

Д.В. Зайцев, доктор физико-математических наук, доцент Института естественных наук и математики
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова: горные породы; малогабаритные образцы; диаметрально сжатие; механические свойства; трещины; эффект Ребиндера.

Аннотация: Изучение физических механизмов разрушения горных пород позволяет получать информацию, необходимую при разработке новых технологий добычи и переработки полезных ископаемых. Также такие знания дают возможность оценить влияние внешних факторов, например воды, на прочностные характеристики горных выработок и сооружений, в том числе и подземных, в реальных условиях. В работе изучается деформационное поведение и особенности разрушения малогабаритных образцов, вырезанных из модельных вязко-упругих материалов – горных пород (углистого кварцита, серпентинита и искусственного песчаника) при диаметрально сжатии – непрямом растяжении. Лабораторные исследования и последующее моделирование структуры и свойств горных пород, выполненные на малогабаритных образцах, дают возможность решить поставленную задачу, не привлекая дорогостоящее испытательное оборудование и не нарушая целостности образцов. В ходе исследования были изготовлены малогабаритные образцы в форме цилиндров из модельных вязко-упругих материалов. Оценены механические свойства образцов углистого кварцита, серпентинита и искусственного песчаника в исходном состоянии и после суточной выдержки в воде. Показано влияние воды на изменение типа деформационного поведения образцов. Выполнено картирование боковых поверхностей образцов, и составлены топограммы рабочих поверхностей до и после испытаний. На их базе проведен металлографический анализ геометрических характеристик трещин на макро- и микроскопическом уровне. Выдвинуто предположение, что изменение типа деформационного поведения горных пород, а также снижение прочностных свойств исследуемых образцов горных пород под влиянием воды объясняется механизмами эффекта Ребиндера.

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что жидкая среда может кардинально изменить характер деформационного поведения твердого тела [1; 2]. Например, под влиянием воды происходит снижение прочностных свойств горных пород, что используется в горном деле [3–5]. По экспериментальным данным работы [6] при деформировании «сухих» образцов гранита разрушение развивается по двухстадийному механизму: дисперсное накопление дефектов, локализация и развитие, как правило, единственного очага, а для водонасыщенных наблюдается хаотичное разрушение во всем объеме образца и высокая поврежденность материала. Прочностные свойства водонасыщенных образцов, по сравнению с «сухими», были снижены в 1,5–2 раза. Также хорошо известны технологии разрыхления прочных горных пород при помощи специальных эмульсий, когда в шурфы вместе со взрывчаткой закачиваются жидкие поверхностно активные вещества [7–9]. При этом важно иметь достоверную информацию о механических характеристиках и механизмах релаксации напряжений в материале при таких условиях [10–12]. Главный вопрос заключается в том, каким образом жидкость влияет на развитие трещин в лабораторных образцах под действием механической нагрузки. Данный вопрос оказался недостаточно изученным [13; 14]. Возможно, основной причиной этого является невозможность провести испытание и микроскопию трещин в процессе нагружения на одном образце. Применение же малогабаритных лабораторных образцов (линейные размеры порядка нескольких миллиметров) позволит проводить механические испыта-

ния и металлографическую аттестацию горных пород на одних и тех же образцах, не нарушая их целостности [15–17].

Полученные результаты показывают, что использование малогабаритных лабораторных образцов позволяет получать детальную информацию о деформационном поведении горных пород без привлечения дорогостоящей крупногабаритной испытательной техники и проводить исследования структуры образцов, не нарушая их целостности [18–20].

Цель работы – исследование влияния присутствия воды в породе на изменение механических свойств и характер развития трещин в условиях диаметрально сжатия (непрямого растяжения) малогабаритных образцов углистого кварцита, серпентинита и искусственного песчаника.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве модельных материалов были выбраны следующие горные породы: углистый кварцит, серпентинит и искусственный песчаник. Образцы из кварцита и серпентинита изготавливали в форме таблеток диаметром 6 мм и толщиной 3 мм, а из песчаника – диаметром 10 мм и толщиной 5 мм. Заготовки для образцов высверливали полым алмазным сверлом из плоскопараллельных пластин толщиной около 10 мм при водном орошении. Далее цилиндрические заготовки разрезали на таблетки при помощи малогабаритной алмазной пилы под водным орошением. Рабочие поверхности образцов шлифовывали до плоскопараллельного состояния на заточном алмазном диске с водной смазкой.

Механические испытания по схеме диаметального сжатия (непрямого растяжения, бразильского теста) проводили на разрывной машине Shimadzu AG-50K XD (скорость перемещения траверсы 0,1 мм/мин) на воздухе. Нагружение образца останавливали после появления на деформационной кривой резкого изгиба, означающего зарождение опасной трещины. Для каждого модельного материала было испытано две группы образцов по десять штук в каждой. Первая группа состояла из образцов, выдержанных в водопроводной воде в течение суток, тогда как образцы второй, контрольной, не подвергались вымачиванию. Каждый из вымоченных образцов извлекался из воды непосредственно перед испытанием на разрывной машине, не успевая высохнуть после суточной выдержки. Результаты испытаний обрабатывали при помощи пакета программ Trapezium компании Shimadzu.

Рабочие поверхности образцов до и после испытаний исследовали с помощью оптического сканера высокого разрешения Epson Perfection V750 Pro (увеличение $\times 10$) и металлографического микроскопа МИМ-8М, оснащенного цифровой камерой высокого разрешения Canon D60 (увеличение $\times 100$). Из полученных на микроскопе изображений составляли топограммы рабочих поверхностей образцов. По топограммам определяли форму, длину и ширину трещин, а также их количество. Результаты измерений обрабатывали при помощи стандартной процедуры обработки данных. В качестве статистических характеристик были выбраны среднеарифметическое значение и стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Для каждого образца были построены кривые «деформация – напряжение». В качестве примера на рис. 1 показаны деформационные кривые образцов из песчаника. Представлена лишь часть кривых, поскольку этого достаточно, чтобы показать степень разброса значений механических свойств исследуемых образцов. Характер же хода кривых был одинаков для всех горных пород, независимо от того, выдерживали материал в воде или нет. Во всех случаях деформация, которую выдерживали образцы до начала разрушения, составляла порядка или менее 1 %. Можно сделать заключение, что под действием растягивающей нагрузки образцы вели себя как хрупкий материал, независимо от того, были ли они выдержаны в воде или нет. Различие было лишь в таких количественных характеристиках, как предел прочности и деформация до разрушения. Данные по механическим свойствам изученных горных пород приведены в таблице 1. Видно, что прочностные свойства модельных горных пород снизились после суточной выдержки в воде.

Испытания показали, что «сухие» образцы кварцита распадаются на части под нагрузкой, тогда как образцы серпентинита и песчаника, которые также не вымачивались, сохраняют целостность при нагружении. Это указывает на то, что при приложении растягивающей нагрузки в материале действуют два конкурирующих механизма релаксации напряжений: зарождение – рост трещины и деформация (обратимая и необратимая).

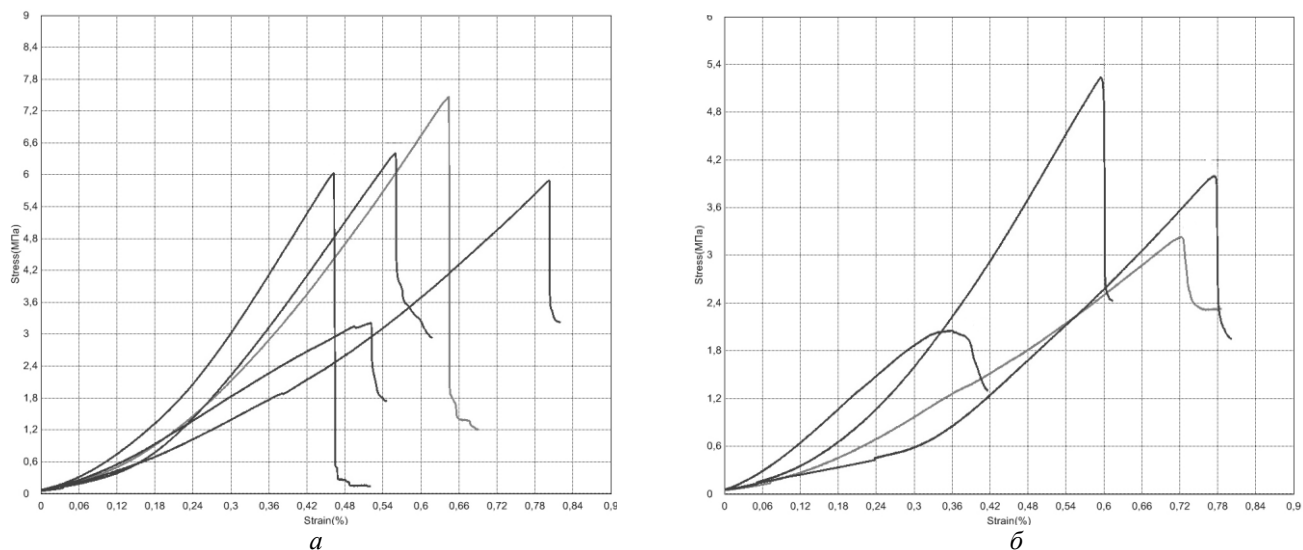


Рис. 1. Деформационные кривые исходных (а) и вымоченных в воде (б) образцов песчаника при диаметральном сжатии

Таблица 1. Механические свойства модельных материалов

Параметр	Углистый кварцит		Серпентинит		Искусственный песчаник	
	воздух	вода	воздух	вода	воздух	вода
σ_B , МПа	32 \pm 10	25 \pm 12	23 \pm 5	18 \pm 3	6 \pm 2	4 \pm 1
δ , %	1,3 \pm 0,3	0,9 \pm 0,2	1,3 \pm 0,3	0,9 \pm 0,0	0,6 \pm 0,1	0,6 \pm 0,2

Как и все горные породы, серпентинит не способен к макроскопической необратимой деформации, поэтому конкурирующим с разрушением механизмом будет обратимая (упругая) деформация. Из-за высокой пористости песчаника нельзя игнорировать вклад необратимой деформации в релаксацию приложенных напряжений, поскольку при нагружении часть пор может схлопываться. В кварците же основным механизмом релаксации напряжений является растрескивание, тогда как вклад деформации можно считать незначительным.

Несмотря на снижение предела прочности и деформации до разрушения образцов после выдержки в воде, образцы кварцита распались на части только в 50 % случаях, в то время как образцы серпентинита и песчаника сохраняли свою целостность. Это означает, что в серпентините и песчанике продолжают действовать оба механизма релаксации напряжений – растрескивание и деформация, тогда как в кварците с зарождением и развитием трещин начинает конкурировать деформация.

На рис. 2 и рис. 3 представлено растрескивание на макро- и микроуровне исходных и выдержанных в воде образцов песчаника и серпентинита. Исследование трещин на рабочей поверхности образцов показало, что

их вершины были острыми, независимо от того, из какого материала были вырезаны образцы, а траектории трещин располагались вдоль оси приложения нагрузки. В таблице 2 приведены параметры растрескивания исходных и выдержанных в воде образцов модельных материалов при диаметральном сжатии. Образцы были условно разделены на три участка, на каждом из которых подсчитывалась длина и ширина образовавшихся трещин. Из данных таблицы 2 видно, что длина магистральной трещины зависела от того, подвергался образец вымачиванию или нет. В «сухих» образцах она сравнима с диаметром, а в выдержанных в воде была меньше. При изучении трещин на микроскопическом уровне было обнаружено, что магистральная трещина состоит из нескольких линзообразных мелких трещин, имеющих тенденцию к слиянию (см. рис. 2 и рис. 3). Следует отметить, что угол раскрытия большинства трещин был 10–15°, но встречались и трещины, вершины которых имели значительно меньший угол раскрытия. Ширина же трещин в «сухих» образцах была в два-три раза больше, чем в выдержанных в воде (см. таблицу 2). Если на пути магистральной трещины встречалось включение, то это могло приводить к отклонению трещины от исходной траектории.

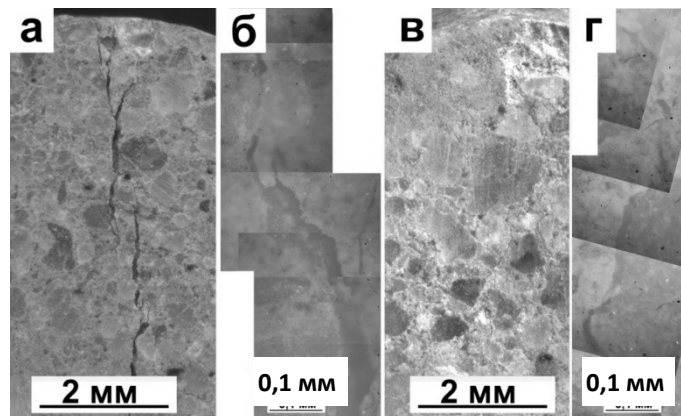


Рис. 2. Разрушение исходного (а, б) и выдержанного в воде (в, г) искусственного песчаника на макроуровне (а, в) и на микроуровне (б, г)

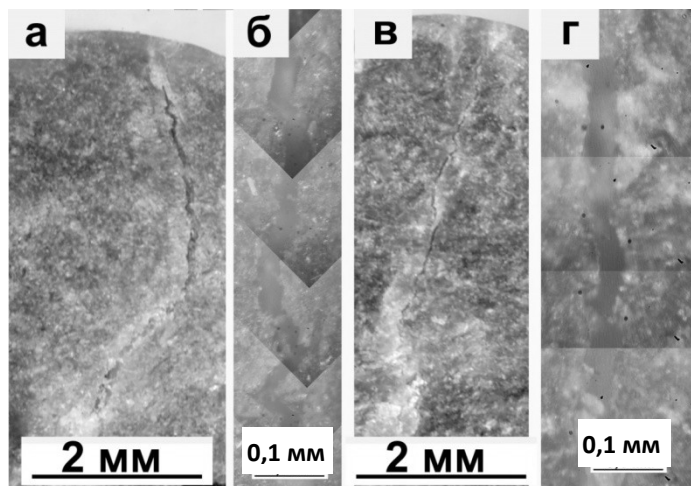


Рис. 3. Разрушение исходного (а, б) и выдержанного в воде (в, г) серпентинита на макроуровне (а, в) и на микроуровне (б, г)

Таблица 2. Растрескивание модельных материалов

Параметр образца		Углистый кварцит		Серпентинит		Искусственный песчаник	
		вода		воздух	вода	воздух	вода
Диаметр образца, мм		6	6	6	6	10	10
Общая длина магистральной трещины, мм		3,98±0,12	4,18±0,04	3,86±0,16	3,42±0,07	8,20±0,24	7,21±0,07
Количество трещин, шт		2	6	3	4	3	14
Длина трещин в отдельной части образца, мм	Левый край	2,09±0,01	0,30±0,03	1,92±0,07	0,48±0,03	2,17±0,15	0,56±0,04
	Центр	–	1,72±0,04	0,88±0,24	1,79±0,08	5,33±0,27	0,07±0,02
	Правый край	1,89±0,15	0,16±0,01	0,43±0,09	0,13±0,04	0,70±0,08	1,17±0,09
Ширина трещин в отдельной части образца, мм	Левый край	0,03±0,02	0,01±0,00	0,04±0,01	0,03±0,01	0,04±0,04	0,02±0,01
	Центр	–	0,01±0,00	0,03±0,01	0,04±0,01	0,10±0,04	0,01±0,00
	Правый край	0,03±0,01	0,01±0,00	0,03±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ деформационного поведения образцов подтверждает, что независимо от происхождения горной породы при приложении растягивающей нагрузки она ведет себя как хрупкий материал. Присутствие в породе воды приводит к снижению прочностных свойств образцов, но не меняет типа деформационного поведения. Данные по трещинам на макроскопическом уровне согласуются с заключением о хрупком характере их разрушения: у магистральных трещин острые вершины и прямолинейный профиль. Анализ разрушения на микроскопическом уровне показал, что магистральная трещина возникает в результате слияния нескольких линзообразных трещин, часть которых имеет затупленные вершины, а их ширина зависит от наличия воды в породе. Этот факт указывает на то, что магистральная трещина в действительности не является хрупкой. Описанный характер разрушения указывает на существование в образцах двух механизмов релаксации упругой энергии: роста трещин и упругой деформации. Поэтому механизм деформации изученных образцов на микроуровне можно охарактеризовать как вязко-упругий. Снижение предела прочности и деформации до разрушения, а также уменьшение ширины трещин под действием воды связано с уменьшением удельной свободной поверхностной энергии образцов вследствие физической адсорбции молекул жидкости на возникающих свежих поверхностях подрастающих трещин (поверхностно-активное действие жидкости), что является проявлением эффекта Ребиндера [1; 2].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Показано, что на макроскопическом уровне образцы изученных горных пород при приложении растягивающей нагрузки демонстрируют хрупкое поведение, а на микроскопическом уровне – вязко-упругое. Влияние воды на деформационное поведение образцов может быть объяснено эффектом Ребиндера. Механизм влияния жидкости на особенности роста трещин на макро- и микроскопическом уровне требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 15-19-10007. Авторы благодарят Алексея Николаевича Кочанова (ИПКОН РАН, Москва) и Юрия Аршавиновича Костандова (Крымский

федеральный университет, Симферополь) за обсуждение результатов.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Евсеев В.Д. Природа эффекта Ребиндера при разрушении горных пород // Нефтяное хозяйство. 2011. № 11. С. 38–40.
- Евсеев В.Д. О возможности использования эффекта Ребиндера при бурении скважин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2010. Т. 317. № 1. С. 165–169.
- Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК, 2005. 252 с.
- Протосеня А.Г. Предельное состояние насыщенных горных пород и прогноз устойчивости добывающих скважин // Нефтяное хозяйство. 2015. № 2. С. 23–27.
- Долгий И.Е., Николаев Н.И. Сопротивление горных пород разрушению при бурении скважин // Записки горного института. 2016. Т. 221. С. 655–660.
- Куксенко В.С., Дамаскинская Е.Е., Кадомцев А.Г. Характер разрушения гранита при различных условиях деформирования // Физика Земли. 2011. № 10. С. 25–31.
- Гоголин В.А. Деформационные и прочностные характеристики хрупких горных пород при сжатии // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 3. С. 3–8.
- Ставрогин А.Н., Тарасов Б.Г. Экспериментальная физика и механика горных пород. СПб.: Наука, 2001. 343 с.
- Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (Физика горных пород). М.: Нефть и газ, 2004. 368 с.
- Anders M.H., Laubach S.E., Scholz C.H. Microfractures: A review // Journal of Structural Geology. 2014. Vol. 69. Part B. P. 377–394.
- Briševac Z., Kujundžić T. Models to estimate Brazilian indirect tensile strength of limestone in saturated state // Rudarsko-geološko-naftni zbornik. 2016. P. 59–67. DOI: 10.17794/rgn.2016.2.5.

12. Ron H. Vernon: A practical guide to Rock Microstructure. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 579 p.
13. Макклиток Ф., Аргон А.С. Деформация и разрушение материалов. М.: ЕЭ Медиа, 2012. 501 с.
14. Argon A.S. Strengthening mechanisms in crystal plasticity. Oxford: Oxford University press, 2008. 425 p.
15. Briševac Z., Kujundžić T., Čajić S. Current Cognition of Rock Tensile Strength Testing By Brazilian Test // The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin. 2015. P. 101–111. DOI: 10.17794/rgn.2015.2.2.
16. Silberschmidt V.G., Silberschmidt V.V. Analysis of Cracking in Rock Salt // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2000. Vol. 33. № 1. P. 53–70.
17. Briševac Z., Kujundžić T. Models to estimate the Brazilian indirect tensile strength of limestone in saturated state // The Mining-Geology Petroleum Engineering Bulletin. 2016. P. 59–67.
18. Зайцев Д.В., Кочанов А.Н., Пантелеев И.А., Панфилов П.Е. О влиянии масштабного фактора при испытаниях на прочность образцов горных пород // Известия РАН. Серия физическая. 2017. Т. 81. № 3. С. 366–369.
19. Зайцев Д.В., Кочанов А.Н., Токтогулов Ш.Ж., Пантелеев И.А., Панфилов П.Е. Влияние масштабного эффекта и неоднородности горных пород при определении их прочностных свойств // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 11. С. 208–215.
20. Сухонос С.И. Масштабный эффект – неразгаданная угроза. М.: Новый Центр, 2001. 68 с.
21. Evseev V.D. The nature of the Rehbinder's effect at rocks destruction. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2011, no. 11, pp. 38–40.
22. Evseev V.D. On the possibility of using the Rehbinder effect when drilling wells. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 165–169.
23. Adushkin V.V., Turuntaev S.B. *Tekhnogennyye protsessy v zemnoy kore (opasnosti i katastrofy)* [Technogenic processes in the Earth's crust (dangers and catastrophes)]. Moscow, INEK Publ., 2005. 252 p.
24. Protosenya A.G. Limit state of fluid saturated rocks and stability assessment of oil and gas boreholes. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2015, no. 2, pp. 23–27.
25. Dolgy I.E., Nikolaev N.I. Resistance of rocks to crushing during well drilling. *Zapiski gornogo instituta*, 2016, vol. 221, pp. 655–660.
26. Kuksenko V.S., Damaskinskaya E.E., Kadomtsev A.G. Fracture of granite under various strain conditions. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2011, vol. 47, no. 10, pp. 879–885.
27. Gogolin V.A. Deformation and strength characteristics brittle rock under compression. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, no. 3, pp. 3–8.
28. Stavrogin A.N., Tarasov B.G. *Ekspperimentalnaya fizika i mekhanika gornyykh porod* [Experimental physics and mechanics of rocks]. Sankt Petersburg, Nauka Publ., 2001. 343 p.
29. Dobrynin V.M., Vendelshteyn B.Yu., Kozhevnikov D.A. *Petrofizika (Fizika gornyykh porod)* [Petrophysics (Physics of Rocks)]. Moscow, Neft i gaz Publ., 2004. 368 p.
30. Anders M.H., Laubach S.E., Scholz C.H. Microfractures: A review. *Journal of Structural Geology*, 2014, vol. 69, part B, pp. 377–394.
31. Briševac Z., Kujundžić T. Models to estimate Brazilian indirect tensile strength of limestone in saturated state. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 2016, pp. 59–67. DOI: 10.17794/rgn.2016.2.5.
32. Ron H. Vernon: A practical guide to Rock Microstructure. Cambridge, Cambridge University Press, 2004. 579 p.
33. McClintock F., Argon A.S. *Deformatsiya i razrushenie materialov* [Mechanical behavior of materials]. Moscow, EE Media Publ., 2012. 501 p.
34. Argon A.S. *Strengthening mechanisms in crystal plasticity*. Oxford, Oxford University press, 2008. 425 p.
35. Briševac Z., Kujundžić T., Čajić S. Current Cognition of Rock Tensile Strength Testing By Brazilian Test. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 2015, pp. 101–111. DOI: 10.17794/rgn.2015.2.2.
36. Silberschmidt V.G., Silberschmidt V.V. Analysis of Cracking in Rock Salt. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2000, vol. 33, no. 1, pp. 53–70.
37. Briševac Z., Kujundžić T. Models to estimate the Brazilian indirect tensile strength of limestone in saturated state. *The Mining-Geology Petroleum Engineering Bulletin*, 2016, pp. 59–67.
38. Zaytsev D.V., Panfilov P.Y., Kochanov A.N., Panteleev I.A. Influence of the scale effect in testing the strength of rock samples. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2017, vol. 81, no. 3, pp. 337–340.
39. Zaytsev D.V., Kochanov A.N., Toktogulov Sh.Zh., Panteleev I.A., Panfilov P.E. Influence of scale effect and heterogeneity of rocks to determine their strength. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulletin*, 2016, no. 11, pp. 208–215.
40. Sukhonos S.I. *Masshtabniy effekt – nerazgadannaya ugroza* [Scale effect – unsolved threat]. Moscow, Noviy Tsent Publ., 2001. 68 p.

REFERENCES

1. Evseev V.D. The nature of the Rehbinder's effect at rocks destruction. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2011, no. 11, pp. 38–40.
2. Evseev V.D. On the possibility of using the Rehbinder effect when drilling wells. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 165–169.
3. Adushkin V.V., Turuntaev S.B. *Tekhnogennyye protsessy v zemnoy kore (opasnosti i katastrofy)* [Technogenic processes in the Earth's crust (dangers and catastrophes)]. Moscow, INEK Publ., 2005. 252 p.
4. Protosenya A.G. Limit state of fluid saturated rocks and stability assessment of oil and gas boreholes. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2015, no. 2, pp. 23–27.
5. Dolgy I.E., Nikolaev N.I. Resistance of rocks to crushing during well drilling. *Zapiski gornogo instituta*, 2016, vol. 221, pp. 655–660.
6. Kuksenko V.S., Damaskinskaya E.E., Kadomtsev A.G. Fracture of granite under various strain conditions.

**REGARDING THE SPECIAL ASPECTS OF CRACKS GROWTH IN A VISCO-ELASTIC MATERIAL
WITH THE EXTENDED HIERARCHIC STRUCTURE**

© 2017

V.A. Kalachev, graduate student of Institute of Natural Sciences and Mathematics

P.E. Panfilov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,
senior researcher of Institute of Natural Sciences and Mathematics

D.V. Zaytsev, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics),
assistant professor of Institute of Natural Sciences and Mathematics

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (Russia)

Keywords: rock materials; small-size specimens; diametral compression; mechanical properties; cracks; Reh binder effect.

Abstract: The study of physical mechanisms of rock materials destruction allows obtaining the information necessary for the development of new technologies for mining and processing of minerals. Furthermore, such knowledge makes it possible to assess in real-life conditions the influence of external factors, for example, water, on the strength characteristics of mine workings and constructions, including the underground ones. The authors study the deformation behavior and special aspects of the destruction of small-sized specimens cut from the model viscoelastic materials – rock materials (carbonaceous quartzite, serpentinite, and artificial sandstone) under the diametrical compression – indirect stretching. Laboratory studies and subsequent modeling of the structure and properties of rock materials performed on small-sized specimens make it possible to solve the task not attracting the expensive test equipment and without violating the integrity of the specimens. During the study, small-sized specimens in the form of cylinders were produced from model viscoelastic materials. The mechanical properties of carbonaceous quartzite, serpentinite, and artificial sandstone specimens were estimated in the initial state and after a 24-hour water soak test. The study showed the influence of water on the change of a type of the specimens' deformation behavior. The authors mapped the specimens' side surfaces and created the topograms of the working surfaces before and after the tests. Based on them, the metallographic analysis of the geometric characteristics of cracks was performed at the macro- and microscopic levels. It was suggested that the change of a type of deformation behavior of rock materials, as well as the decrease in the strength properties of test rock materials specimens under the influence of water, are explained by the Reh binder effect mechanisms.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ β -СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti-Nb МЕХАНИЧЕСКИМ СПЛАВЛЕНИЕМ В ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

© 2017

Ж.Г. Ковалевская, кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер, доцент

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск (Россия)
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск (Россия)*

М.А. Химич, инженер, аспирант

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск (Россия)
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск (Россия)*

М.А. Корчагин, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник

*Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск (Россия)
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск (Россия)*

Ю.П. Шаркеев, доктор физико-математических наук, профессор,

заведующий лабораторией физики наноструктурных биокомпозитов, профессор

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск (Россия)
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск (Россия)*

Ключевые слова: механическое сплавление; шаровая мельница; β -сплав Ti-Nb; медицинские имплантаты.

Аннотация: На основе исследований методами растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного микроанализа, рентгеноструктурного анализа строения и фазового состава порошков системы Ti-Nb, полученных механическим смешиванием и сплавлением компонентов в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице АГО-2С, а также справочных данных об их физических и механических свойствах разработана феноменологическая модель взаимодействия Ti и Nb в процессе механического сплавления. Порошки смешивались в соотношениях Ti-40 мас. % Nb и Ti-45 мас. % Nb в течение 5, 10, 15, 20 и 25 минут в водоохлаждаемой камере мельницы.

В зависимости от времени обработки, форма, размер, морфология поверхности частиц и фазовый состав порошков меняются. При изменении времени смешивания от 5 до 20 минут формируются частицы, размер которых меняется в интервале 2–100 мкм. При 25 минутах смешивания порошок измельчается. В процессе смешивания и сплавления формируется механокомпозит, состоящий из зерен двух фаз – пересыщенного твердого раствора α -Ti и β -TiNb. При смешивании в течение 20 минут порошка Ti-40 мас. % Nb компоненты полностью растворяются друг в друге, и формируется одна неравновесная фаза – β -TiNb. При перемешивании порошка Ti-45 мас. % Nb однофазное состояние достигается за 15 минут. Предложенная феноменологическая модель процесса механического сплавления Ti и Nb предполагает два этапа взаимодействия исходных компонент и формирования метастабильного твердого раствора β -TiNb. Получение механическим сплавлением однофазных сплавов системы Ti-Nb, а также понимание закономерностей их образования расширяет возможности применения данных материалов для производства медицинских имплантатов.

ВВЕДЕНИЕ

Механическое сплавление в высокоэнергетических шаровых мельницах является разновидностью твердофазного механохимического синтеза. В основе лежит процесс взаимодействия частиц порошка исходных компонентов сплава между собой, с движущимися рабочими телами и внутренними стенками емкости мельницы, приводящий к нагреву, пластической деформации исходных частиц, их измельчению, перемешиванию, свариванию и образованию в итоге новых частиц сплава [1–4]. Объем запасенной энергии и полнота протекания процесса сплавления зависят от заданных технологических характеристик шаровой мельницы и выбранного режима ее работы [5].

В работе механическое сплавление исследуемых порошков проводилось в планетарной шаровой мельнице АГО-2С лаборатории химического материаловедения Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск). Шаровая мельница АГО-2С – один из немногих механоактиваторов, в котором процесс сплавления идет быстро – в течение 10 минут, заканчиваясь полным перемешиванием и соединением компонентов [5].

В качестве компонентов применялись чистые порошки Ti и Nb, при сплавлении формирующие одно-

фазные β -сплавы, используемые в биомедицине [6–8]. Их физико-механические характеристики, прежде всего низкий модуль упругости и биоинертные свойства, определяют применение β -сплавов в производстве медицинских имплантатов [9]. Получение таких сплавов на основе порошков Ti и Nb в планетарных шаровых мельницах исследовалось в ряде работ [10–13]. Однако процессы взаимодействия исходных компонент и дальнейшего формирования однофазного сплава в них рассмотрены не были.

Цель представленной работы – получение в планетарной шаровой мельнице β -сплавов системы Ti-Nb, исследование их строения и разработка феноменологической модели взаимодействия Ti и Nb в процессе механического сплавления.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения сплава использовались порошки технически чистого титана и ниобия. Порошок Ti состоял из α -фазы – низкотемпературной модификации Ti с ГПУ кристаллической решеткой [14]. Порошок ниобия состоял из β -фазы с ОЦК кристаллической решеткой, характерной для равновесного состояния технически чистого Nb [14]. Компоненты смешивались в двух

пропорциях: к титану добавлялось 40 (Ti-40Nb) и 45 % ниобия (Ti-45Nb). Здесь и далее указывается массовый процент компонентов.

Механическое смешивание осуществлялось в планетарной шаровой мельнице АГО-2С с водяным охлаждением в защитной атмосфере аргона с центробежным ускорением шаров 400 м/с^2 . В качестве агента, контролирующего процесс, использовался этиловый спирт. Время смешивания выбиралось с учетом имеющихся данных о механической активации технически чистого Nb и составило от 5 до 25 минут [15; 16].

Исследование морфологии, структуры, элементного состава получаемых порошков проводилось методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) и энергодисперсионного микроанализа (ЭДМА) на микроскопах SEM 515 и LEO EVO 50. Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН-7 в монохроматическом $\text{CoK}\alpha$ -излучении в ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН (г. Томск), ЦКП «Лаборатория электронной микроскопии» НГТУ (г. Новосибирск), ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе механического смешивания порошки Ti и 40 % Nb взаимодействуют между собой, формируя агломераты, размер и форма которых зависит от времени обработки (рис. 1).

В интервале времени смешивания от 5 до 20 минут формируются частицы с размером от 2 до 100 мкм и бимодальным распределением размера частиц. Первый пик приходится на интервал от 20 до 40 мкм, второй – от 70 до 90 мкм. Это показывает, что процесс дробления и агломерации частиц окончательно не уравнивается [14].

При малом времени смешивания – 5 минут – преобладает процесс интенсивной пластической деформации и «затираания» частиц Ti и Nb друг в друга с формированием объединенных частиц чешуйчатой формы (рис. 1 а). По данным ЭДМА и РСА, в процессе смешивания формируется механокомпозит, состоящий из зерен двух фаз – пересыщенного твердого раствора α -Ti и β -TiNb [14]. Уширение пиков указывает одновременно на микрораскажение решетки фаз и уменьшение размера кристаллитов.

Дальнейшее увеличение времени смешивания от 10 до 20 минут приводит к агломерации порошка (рис. 1 б).

Частицы порошка образуются за счет соединения все большего числа деформированных фрагментов частиц исходных компонентов. Степень пластической деформации до момента разрушения агломератов определяется условиями протекания процесса деформации. При механической активации в шаровой мельнице создаются условия интенсивной пластической деформации, сопровождающейся релаксационными процессами диффузионного и сдвигового типа [5]. Процесс агломерации начинает преобладать над процессом разрушения. Как следствие, с увеличением времени обработки увеличивается средний размер получившихся частиц порошка (рис. 2) и наблюдается налипание порошкового материала к стенкам барабана.

По данным РСА, одновременно происходит диспергирование микроструктурных элементов и увеличение доли β -фазы. При времени активации 20 минут рентгеноструктурно наблюдается полное растворение компонентов друг в друге с формированием сплава с одной неравновесной фазой β -TiNb.

Самые значительные изменения по форме и размеру получаемого порошка связаны со временем смешивания 25 минут. Порошок измельчается (рис. 1 в). Нивелируется бимодальный характер распределения размера частиц. Одновременно снижается разброс гранулометрического состава (рис. 2). Происходит уравнивание процесса агломерации и дробления частиц порошка. Процесс механического сплавления входит в стадию равновесия.

Увеличение в составе сплава доли Nb до 45 % принципиально не изменяет характера формирования порошка. В исследованном диапазоне времени смешивания от 10 до 20 минут наблюдается увеличение среднего размера частиц, что обусловлено преобладанием процесса агломерации над процессом разрушения. За время активирования 20 минут, как и в сплаве Ti-40Nb, частицы не достигают сбалансированного размера.

При механическом сплавлении порошка Ti-45Nb рентгеноструктурно однофазное состояние сплава достигается за 15 минут. Следовательно, при увеличении в смешиваемых порошках доли Nb процесс формирования однофазного сплава происходит раньше.

На основе проведенных исследований и справочных характеристик компонентов была разработана феноменологическая модель взаимодействия Ti и Nb в процессе

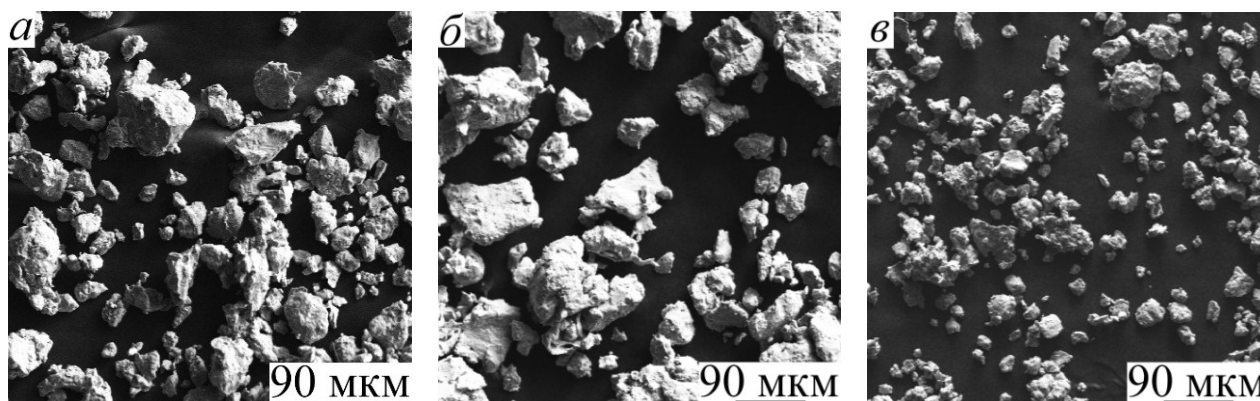


Рис. 1. РЭМ изображение порошка Ti-40Nb после механического сплавления в течение 5 (а), 15 (б), 25 (в) минут

механического сплавления. При создании феноменологической модели механического сплавления авторы опирались на работы П.Ю. Бутягина, Е.П. Елсукова и И.В. Повстугара, в которых представлена модель формирования двойных сплавов на основе Fe с широкой группой легирующих компонентов [17; 18]. В основе взаимодействия компонентов и их реакционной способности в процессе механического сплавления лежит величина их предела текучести, отражающая пластические свойства. Авторы указывают, что соотношение механических свойств компонентов оказывается не менее важным для процесса фазообразования, чем такие параметры, как соотношение размеров атомов и энтальпия смешения, определяющие величину взаимной диффузии и задающие условия формирования твердых растворов и интерметаллидов [5].

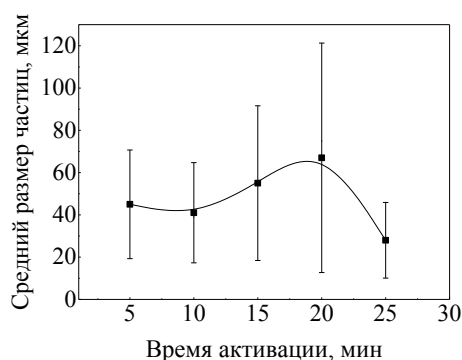


Рис. 2. Средний размер частиц порошка Ti-40Nb, в зависимости от времени механического сплавления

Сравнивая все вышеприведенные параметры и показатели компонентов исследуемого сплава, можно констатировать известный факт, что Ti и Nb имеют одинаковый атомный радиус, близкие друг другу модули упругости и предел текучести. Энтальпия смешения в системе Ti-Nb составляет +2 кДж/моль. Следовательно, при образовании сплава атомы, имеющие сродство по атомному радиусу и значению модуля упругости, будут легко заменять в кристаллической решетке друг друга без значительных локальных искажений. При этом оба компонента будут одновременно растворимыми и растворяющимися. Можно предположить, что проникновение атомов Ti в решетку β -Nb будет предпочтительней, так как у Ti существует такая же модификация кристаллической решетки. В любом случае растворимость обоих компонентов в решетке другого при механической активации может значительно превышать равновесную, соответствующую диаграмме состояния [19].

Близкие значения предела текучести компонентов дают основание предположить, что при интенсивной пластической деформации в условиях механической активации будет осуществляться одновременная деструкция части кристаллитов обоих компонентов с синхронным проникновением их освободившихся атомов в решетку друг друга [20].

Процесс механического сплавления порошка β -сплава Ti-Nb можно представить следующим образом. На первом этапе сплавления, после механического

помола, интенсивно деформированный материал представляет собой активированные наноразмерные фрагменты α -Ti и β -Nb с общими границами. В этот момент на границе наночастиц происходит поатомное растворение двух компонентов сплава друг в друге до возможных равновесных концентраций. При растворении Ti в Nb это 48 % Ti, при растворении Nb в Ti – 5 % Nb [19]. В результате на первом этапе сплавления часть наноразмерных фрагментов механокомпозита превращается в общий твердый раствор β -TiNb, а часть – в твердый раствор Nb в α -Ti.

На втором этапе сплавления дальнейшая активация приводит к переходу от равновесного состояния кристаллической решетки к метастабильному. За счет этого продолжается растворение Nb в α -Ti, что приводит к обратному полиморфному превращению α -Ti в метастабильный β -TiNb с неравновесной концентрацией Ti. В ранее образовавшихся зернах β -TiNb содержание Ti увеличивается до неравновесной концентрации 55 или 60 %, в зависимости от его содержания в сплавленном порошке. Формирование метастабильных фаз в процессе механического сплавления более предпочтительно, потому что они имеют более низкий барьер энергии активации зарождения, чем стабильные равновесные фазы. В результате на втором этапе сплавления все наноразмерные фрагменты структуры приобретают однофазное состояние – метастабильный твердый раствор β -TiNb.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Механическим смешиванием в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице получены β -сплавы Ti-40Nb и Ti-45Nb. Разработана феноменологическая модель взаимодействия компонентов сплава при их механическом смешивании и сплавлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получение механическим сплавлением однофазных сплавов системы Ti-Nb, а также понимание закономерностей их образования расширяет возможности применения данных материалов в аддитивных технологиях для дизайна, разработки и производства медицинских имплантатов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 15-19-00191.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Suryanarayana C. Mechanical alloying and Milling // Progress in Materials Science. 2001. Vol. 46. P. 1–184.
2. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // Успехи химии. 2006. Т. 75. № 3. С. 203–216.
3. Бутягин П.Ю. Проблемы и перспективы развития механохимии // Успехи химии. 1994. Т. 63. № 12. С. 1031–1043.
4. Кузьмич Ю.В., Колесникова И.Т., Серба В.И., Фрейдин Б.М. Механическое легирование. М.: Наука, 2005. 213 с.

5. Григорьева Т.Ф., Барина А.П., Ляхов Н.З. Механохимический синтез в металлических системах. Новосибирск: Параллель, 2008. 309 с.
6. Zhuravleva K., Scudino S., Khoshkhoo M.S., Gebert A., Calin M., Schultz L., Eckert J. Mechanical Alloying of β -Type Ti-Nb for Biomedical Applications // *Advanced Engineering Materials*. 2013. Vol. 15. № 4. P. 262–268.
7. Dutkiewicz J., Maziarz W., Jaworska L. Structure of nanocrystalline structure Ti-base alloys obtained by mechanical alloying and ultra-high pressure sintering // *Reviews on Advanced Materials Science*. 2008. Vol. 18. P. 264–268.
8. Mohammed M.T., Khan Z.A., Siddiquee A.N. Beta Titanium Alloys: The Lowest Elastic Modulus for Biomedical Applications: A Review // *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*. 2014. Vol. 8. P. 820–825.
9. Ozaki T., Matsumoto H., Watanabe S., Hanada S. Beta Ti Alloys with Low Young's Modulus // *Materials Transactions*. 2004. Vol. 45. P. 2776–2779.
10. Maziarz W., Lejkowska M., Mchalski A., Dutkiewicz J. Transmission electron microscopy of microstructure of Ti-Nb and Ti-Ta alloys after ball milling at hot consolidation // *Journal of microscopy*. 2006. Vol. 224. P. 42–45.
11. Giffoni Y.A., Ramos E.C.T., Sandim H.R.Z., Pacheco M.T.T., Silva G., Ramos A.S. Structural evaluation of mechanically alloyed Ti-Nb powders // *Materials Science Forum*. 2008. Vol. 591-593. P. 141–146.
12. Giffoni Y.A., Ramos E.C.T., Sandim H.R.Z., Pacheco M.T.T., Silva G., Ramos A.S. Preparation of Ti-40Nb powders by high-energy milling // *Materials Science Forum*. 2005. Vol. 498-499. P. 146–151.
13. Zhuravleva K., Bönisch M., Scudino S., Calin M., Schultz L., Eckert J., Gebert A. Phase transformations in ball-milled Ti-40Nb and Ti-45Nb powders upon quenching from the β -phase region // *Powder Technology*. 2014. Vol. 253. P. 166–171.
14. Ковалевская Ж.Г., Шаркеев Ю.П., Корчагин М.А., Химич М.А., Ибрагимов Е.А., Сапрыкин А.А., Батаев В.А. Исследование строения порошкового сплава Ti-40Nb, полученного механической активацией // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2016. № 4. С. 34–42.
15. Ditenberg I.A., Tyumentsev A.N., Denisov K.I., Korchagin M.A. Peculiarities of the formation of high-defect states in mechanocomposites and powders of niobium and aluminum under severe deformation in planetary ball mills // *Physical Mesomechanics*. 2013. Vol. 16. P. 84–92.
16. Дитенберг И.А., Денисов К.И., Тюменцев А.Н., Корчагин М.А., Корзников А.В. Особенности микроstructures и упрочнения Nb после механической активации и последующей консолидации кручением под давлением // *Известия ВУЗов. Физика*. 2014. Т. 57. № 7. С. 68–75.
17. Елсуков Е.П., Дорофеев Г.А. Механическое сплавление бинарных систем Fe-M (M = C, Si, Ge, Sn). Кинетика, термодинамика и механизм атомного перемешивания // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2002. Т. 10. № 1-2. С. 59–68.
18. Бутягин П.Ю., Повстугар И.В. О реакционной способности твердых тел в процессах механохимического синтеза // *Доклады академии наук*. 2004. Т. 398. № 5. С. 635–638.
19. Moffat D.L., Kattner U.R. The Stable and Metastable Ti-Nb Phase Diagrams // *Metallurgical Transactions A*. 1988. Vol. 19A. P. 2389–2397.
20. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. Физические величины. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.

REFERENCES

1. Suryanarayana C. Mechanical alloying and Milling. *Progress in Materials Science*, 2001, vol. 46, pp. 1–184.
2. Boldyrev V.V. Mechanochemistry and mechanical activation of solids. *Russian Chemical Reviews*, 2006, vol. 75, no. 3, pp. 177–189.
3. Butyagin P.Yu. Problems and perspectives of mechanochemistry development. *Uspekhi khimii*, 1994, vol. 63, no. 12, pp. 1031–1043.
4. Kuzmich Yu.V., Kolesnikova I.T., Serba V.I., Freydin B.M. *Mekhanicheskoe legirovanie* [Mechanical alloying]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 213 p.
5. Grigoreva T.F., Barinova A.P., Lyakhov N.Z. *Mekhanokhimicheskiiy sintez v metallicheskih sistemakh* [Mechanochemical synthesis in metallic systems]. Novosibirsk, Parallel Publ., 2008. 309 p.
6. Zhuravleva K., Scudino S., Khoshkhoo M.S., Gebert A., Calin M., Schultz L., Eckert J. Mechanical Alloying of β -Type Ti-Nb for Biomedical Applications. *Advanced Engineering Materials*, 2013, vol. 15, no. 4, pp. 262–268.
7. Dutkiewicz J., Maziarz W., Jaworska L. Structure of nanocrystalline structure Ti-base alloys obtained by mechanical alloying and ultra-high pressure sintering. *Reviews on Advanced Materials Science*, 2008, vol. 18, pp. 264–268.
8. Mohammed M.T., Khan Z.A., Siddiquee A.N. Beta Titanium Alloys: The Lowest Elastic Modulus for Biomedical Applications: A Review. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 2014, vol. 8, pp. 820–825.
9. Ozaki T., Matsumoto H., Watanabe S., Hanada S. Beta Ti Alloys with Low Young's Modulus. *Materials Transactions*, 2004, vol. 45, pp. 2776–2779.
10. Maziarz W., Lejkowska M., Mchalski A., Dutkiewicz J. Transmission electron microscopy of microstructure of Ti-Nb and Ti-Ta alloys after ball milling at hot consolidation. *Journal of microscopy*, 2006, vol. 224, pp. 42–45.
11. Giffoni Y.A., Ramos E.C.T., Sandim H.R.Z., Pacheco M.T.T., Silva G., Ramos A.S. Structural evaluation of mechanically alloyed Ti-Nb powders. *Materials Science Forum*, 2008, vol. 591-593, pp. 141–146.
12. Giffoni Y.A., Ramos E.C.T., Sandim H.R.Z., Pacheco M.T.T., Silva G., Ramos A.S. Preparation of Ti-40Nb powders by high-energy milling. *Materials Science Forum*, 2005, vol. 498-499, pp. 146–151.
13. Zhuravleva K., Bönisch M., Scudino S., Calin M., Schultz L., Eckert J., Gebert A. Phase transformations in ball-milled Ti-40Nb and Ti-45Nb powders upon quenching from the β -phase region. *Powder Technology*, 2014, vol. 253, pp. 166–171.
14. Kovalevskaya Zh.G., Sharkeev Yu.P., Korchagin M.A., Khimich M.A., Ibragimov E.A., Saprykin A.A., Bataev V.A. Investigation of the structure of Ti-40Nb powder alloy

- obtained with mechanical activation. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 2016, no. 4, pp. 34–42.
15. Ditenberg I.A., Tyumentsev A.N., Denisov K.I., Korchagin M.A. Peculiarities of the formation of high-defect states in mechanocomposites and powders of niobium and aluminum under severe deformation in planetary ball mills. *Physical Mesomechanics*, 2013, vol. 16, pp. 84–92.
 16. Ditenberg I.A., Denisov K.I., Tyumentsev A.N., Korchagin M.A., Korznikov A.V. Features of microstructure and hardening of Nb after mechanical activation and subsequent consolidation by torsion under pressure. *Russian Physics Journal*, 2014, vol. 57, no. 7, pp. 937–944.
 17. Elskov E.P., Dorofeev G.A. Mechanical alloying of binary Fe-M (M = C, Si, Ge, Sn) systems. Kinetics, thermodynamics and mechanism of atomic mixing. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2002, vol. 10, no. 1-2, pp. 59–68.
 18. Butyagin P.Yu., Povstugar I.V. About reactivity of solids in the processes of mechanochemical synthesis. *Doklady Chemistry*, 2004, vol. 398, no. 4-6, pp. 196–199.
 19. Moffat D.L., Kattner U.R. The Stable and Metastable Ti-Nb Phase Diagrams. *Metallurgical Transactions A*, 1988, vol. 19A, pp. 2389–2397.
 20. Grigoreva I.S., Meylikhova E.Z. *Fizicheskie velichiny* [Physical values]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 1232 p.

SPECIAL ASPECTS OF FORMATION OF Ti-Nb SYSTEM β -ALLOYS BY THE MECHANICAL ALLOYING IN A HIGH-ENERGY BALL MILL

© 2017

Zh.G. Kovalevskaya, PhD (Engineering), Associate Professor, leading engineer, assistant professor
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk (Russia)
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk (Russia)

M.A. Khimich, engineer, postgraduate student
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk (Russia)
National Research Tomsk State University, Tomsk (Russia)

M.A. Korchagin, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, leading researcher
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk (Russia)
National Research Tomsk State University, Tomsk (Russia)

Yu.P. Sharkeev, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,
Head of Laboratory of physics of nanostructured biocomposites, professor
Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk (Russia)
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk (Russia)

Keywords: mechanical alloying; ball mill; Ti-Nb β -alloy; medical implants.

Abstract: Using the scanning electron microscopy, energy-dispersive microanalysis, and the X-ray diffraction analysis methods, the authors studied the structure and phase composition of Ti-Nb system powders produced in the result of mechanical mixing and alloying of components in the AGO-2C high-energy planetary ball mill. Based on this study and the study of reference data about physical and mechanical properties of these powders, the authors developed the phenomenological model of Ti and Nb interaction in the process of mechanical alloying. The powders were mixed in the ratios of Ti-40 mas % Nb and Ti-45 mas % Nb during 5, 10, 15, 20 and 25 minutes in the mill water-cooled vial. Depending on the treatment time, the shape, size, particles surface morphology, and the powders phase composition are changed. When changing the mixing time from 5 to 20 minutes, the particles are formed, which size varies in the range of 2–100 μm . When mixing during 25 minutes, the powder is granulated. In the process of mixing and alloying, the mechanocomposite consisting of two phases' grains – the supersaturated solid solution of α -Ti and β -TiNb is formed. When mixing during 20 minutes, Ti-40 mas % Nb alloy components dissolved completely into each other and one β -TiNb non-equilibrium phase is formed. When mixing Ti-45 mas % Nb powder, the single-phase state is achieved in 15 minutes. The proposed phenomenological model of the process of Ti and Nb mechanical alloying involves two stages of initial components interaction and the β -TiNb metastable solid solution formation. Producing of Ti-Nb system single-phase alloys using mechanical alloying and understanding the principles of their formation expands the feasibility of application of these materials for the production of medical implants.

СТРУКТУРА И ТЕКСТУРА МАГНИЯ ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

© 2017

Д.А. Комкова, аспирант, ведущий инженер лаборатории прочности
А.Ю. Волков, доктор технических наук, заведующий лабораторией прочности
Институт физики металлов имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова: магний; пластическая деформация; мегапластическая деформация; микроструктура; механические свойства.

Аннотация: Магний и его сплавы относятся к наиболее легким металлическим конструкционным материалам, однако возможности применения магниевых сплавов на сегодняшний день сильно ограничены из-за плохой обрабатываемости и низкой пластичности при низких температурах, что связано со сложной кристаллической структурой магния и ограниченным числом активных систем скольжения. Существенно улучшить механические свойства материала можно за счет создания мелкозернистой структуры методами мегапластической деформации.

В работе с помощью метода сканирующей электронной микроскопии, EBSD-анализа и испытаний на растяжение были исследованы структура, текстура и механические свойства магниевых пластин и фольг толщиной 1 мм и 120 мкм соответственно, полученных в результате мегапластической деформации методами поперечного выдавливания (первый этап) и дальнейшей прокатки (второй этап) при комнатной температуре и при температуре около $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Суммарная истинная деформация после двух этапов составила $\epsilon \sim 6,0$.

В результате деформации произошло существенное измельчение исходного размера зерна: от 7 мм до 4,5 мкм. Во всех образцах наблюдается формирование бимодальной структуры, в которой крупные зерна окружены более мелкими. Основная роль в измельчении зерна отводится процессам фрагментации и непрерывной динамической рекристаллизации. С увеличением степени деформации отмечается усиление текстуры базиса (0001). Не было обнаружено следов интенсивного двойникования, которое является одним из основных деформационных механизмов в магнии. Испытания на растяжение показали, что для 120-мкм фольги удалось достичь некоторого улучшения пластических свойств по сравнению с 1-мм пластиной.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своим уникальным свойствам, таким как малая плотность, превосходная удельная жесткость, прочность и высокая экологическая безопасность, магний и его сплавы обладают большим потенциалом для применения в различных отраслях промышленности. Использование магниевых сплавов в значительной степени может способствовать облегчению общей конструкции транспортных средств, экономии энергии, а также созданию новых более энергоемких источников тока – магниевых батарей [1; 2].

Однако пластичность магния и его сплавов при комнатной и более низких температурах чрезвычайно мала, поэтому данные материалы с трудом поддаются технологическим обработкам. Этот недостаток связан с особенностями строения кристаллической решетки магния: как и все металлы с гексагональной плотноупакованной решеткой, магний не обладает достаточным количеством независимых систем скольжения. Чаще всего деформация происходит по базисной плоскости (0001), в результате чего формируется базисная текстура (0001), которая препятствует дальнейшей обработке без последующего разрушения [1–5].

Уменьшение зерна в магнии до субмикронного размера может привести к улучшению механических свойств. Достичь существенного измельчения структуры можно за счет применения методов мегапластической деформации (МПД).

Обработка магния и его сплавов методами пластической деформации, как правило, проводится при высоких температурах (200–400 °C) [6–10], что позволяет активировать небазисные системы скольжения. Однако

минимальный размер зерна, полученный после деформации методом равноканального углового прессования (РКУП), по результатам большого количества работ [11–13] составляет не менее 2 мкм. Снижение размера зерна до субмикронного уровня невозможно, так как температура деформации выше температуры рекристаллизации и приводит к значительному росту зерна. Деформация магния и его сплавов при температурах ниже 100–200 °C зачастую приводит к разрушению материала. К примеру, в работах [14–16] представлены результаты деформации магния различными методами при температурах ниже 150 °C, в результате чего исследуемые образцы разрушились или растрескались.

В Институте физики металлов УрО РАН в лаборатории прочности разработана технология поперечного выдавливания магния при комнатной температуре с последующей прокаткой. Данный метод позволяет получить магниевые пластины и фольги толщиной от 1 мм до нескольких микрометров. Цель работы – изучение структуры, текстуры и механических свойств тонкой пластины и фольг магния, полученных в результате мегапластической деформации методами поперечного выдавливания и последующей прокатки при комнатной и более низкой температурах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходного материала использовался технически чистый литой магний марки МГ-90 (99,98 %) со столбчатой структурой. Средняя длина зерна составляла 7,7 мм, ширина – 2,4 мм (рис. 1). Из центральной части слитка вдоль оси зерна была вырезана цилиндрическая заготовка диаметром 40 мм и высотой 50 мм.

Мегапластическая деформация заготовки осуществлялась в несколько этапов: поперечное выдавливание и прокатка. На первом этапе заготовка помещалась в специальный контейнер (рис. 2 а), в нижней части которого расположена щель, через которую под действием приложенной нагрузки магний истекает в виде пластины толщиной 1 мм (рис. 2 б). Деформация осуществлялась при комнатной температуре и за один проход составила $\epsilon \sim 3,9$. Величина прикладываемой нагрузки – 1,2 ГПа.

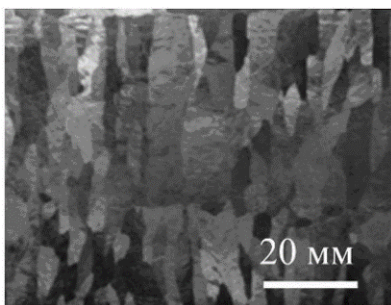


Рис. 1. Макроструктура магниевого слитка

Полученные 1-мм пластины были затем прокатаны при комнатной температуре и при температуре $-100\text{ }^\circ\text{C}$ до фольги толщиной 120 мкм. При прокатке деформация заготовки увеличилась до $\epsilon \sim 6,0$. На описанную методику изготовления магниевых фольг методом поперечного выдавливания и последующей прокатки разработан и получен патент РФ [17].

Для исследования микроструктуры и текстуры была использована сканирующая электронная микроскопия (СЭМ, микроскоп QUANTA 200 FEI с детектором для проведения EBSD-анализа).

При подготовке образцов к СЭМ и EBSD-анализу поверхности пластин были сначала механически отшлифованы, а затем отполированы до зеркального блеска с помощью алмазной пасты и фетра. Для электрополировки использовался раствор 95 % метилового спирта и 5 % азотной кислоты. Рабочее напряжение – около 5 В при температуре $-10\text{ }^\circ\text{C}$. 120-мкм фольги сразу подвергались электрополировке без предварительной механической обработки.

Механические испытания на растяжение выполнялись при комнатной температуре на испытательной машине Instron. Испытаниям подвергались пластина толщиной 1 мм и фольга 120-мкм, полученная при комнатной температуре. Общая длина образца для проведения испытаний составляла 150 мм, длина рабочей части – 50 мм, ширина – 10 мм. Скорость растяжения – 0,2 мм/мин (относительная скорость растяжения – $0,7 \cdot 10^{-4}\text{ сек}^{-1}$). Для получения достоверных результатов испытывалось не менее 5 образцов на точку.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Микроструктуры и гистограммы распределения зерен по размерам для 1-мм пластины и 120-мкм фольг, полученных в результате прокатки 1-мм пластин при комнатной температуре и температуре $-100\text{ }^\circ\text{C}$, представлены на рис. 3. Для всех образцов стоит отметить формирование неоднородной структуры, в которой крупные зерна с криволинейными границами соседствуют с участками более мелких. На рис. 3 а можно увидеть пример структуры типа «ожерелье»: рекристаллизованное зерно порядка 15 мкм окружено кристаллитами с размерами от 1 до 5 мкм. Для 1-мм пластины средний размер зерен составил 7 мкм, наименьший – 500 нм. Такое существенное измельчение структуры по сравнению с исходной крупнозернистой структурой слитка может быть связано с процессами фрагментации и динамической рекристаллизации в процессе деформации магния [2–4].

После прокатки при комнатной температуре 1-мм пластины до фольги 120-мкм происходит дальнейшее измельчение зеренной структуры (рис. 3 б, 3 д). Средний размер зерна оказался равен 4,8 мкм. Несмотря на высокую долю зерен с размерами до 2 мкм, наблюдается увеличение доли зерен с размерами более 10 мкм. Такой эффект, вероятно, вызван локальным разогревом пластины в области прокатки.

В результате низкотемпературной прокатки 1-мм пластины до фольги (рис. 3 в, 3 е) средний размер зерна уменьшился до 4,2 мкм. Однако, как и в предыдущем образце, здесь наблюдается формирование большого количества зерен с размерами, превышающими 10 мкм.

Подробные результаты EBSD-исследований для пластины и фольг приведены на рис. 4. На EBSD-картах микроструктуры зерна окрашены в соответствии с их кристаллографической ориентацией (цветовой код

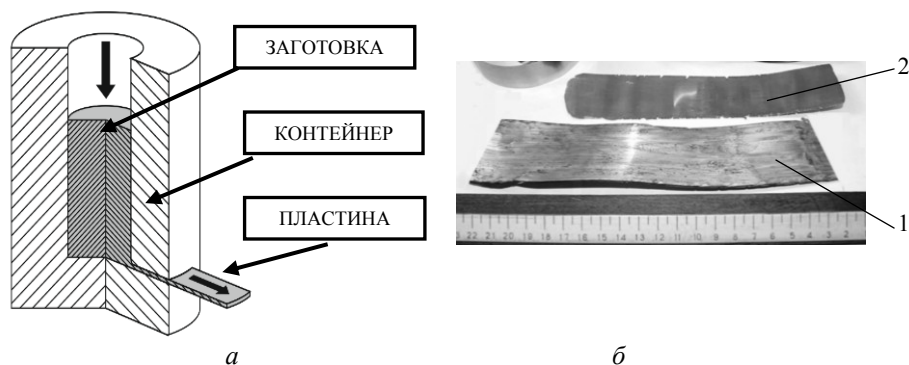


Рис. 2. Мегапластическая деформация магния: а – схема метода поперечного выдавливания; б – полученные в результате 1-мм пластина (1) и 120-мкм фольга (2)

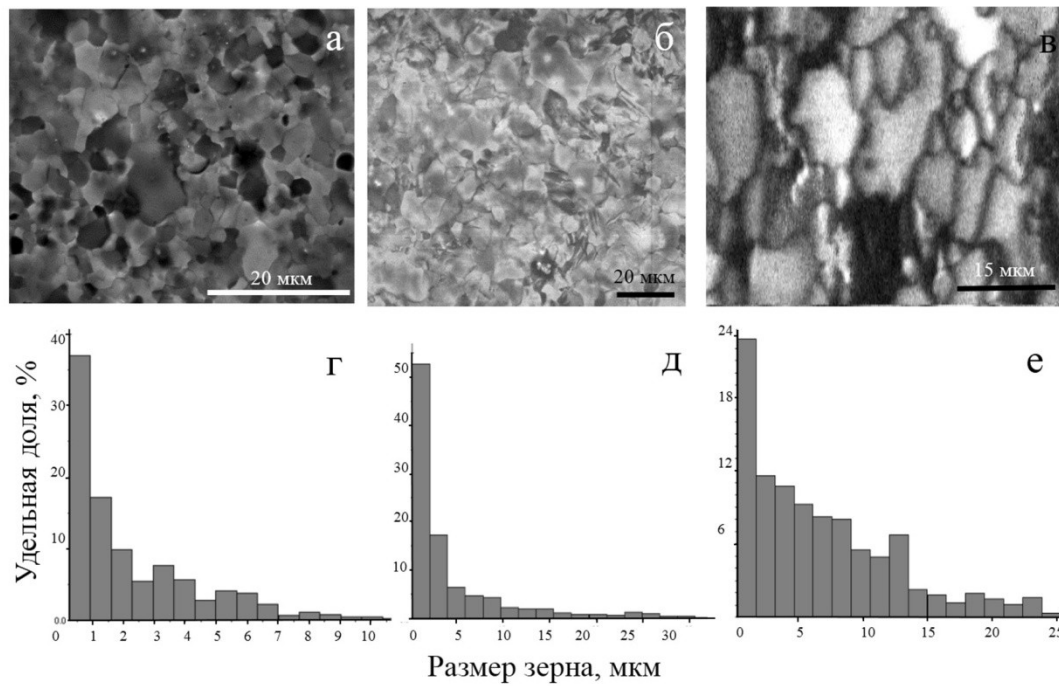


Рис. 3. Микроструктура 1-мм пластины (а), 120-мкм фольги, полученной прокаткой при комнатной температуре (б), 120-мкм фольги, полученной при температуре $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в), и гистограммы распределения зерен по размерам в 1-мм пластине (г), 120-мкм фольге при комнатной температуре (д), 120-мкм фольге при температуре $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (е)

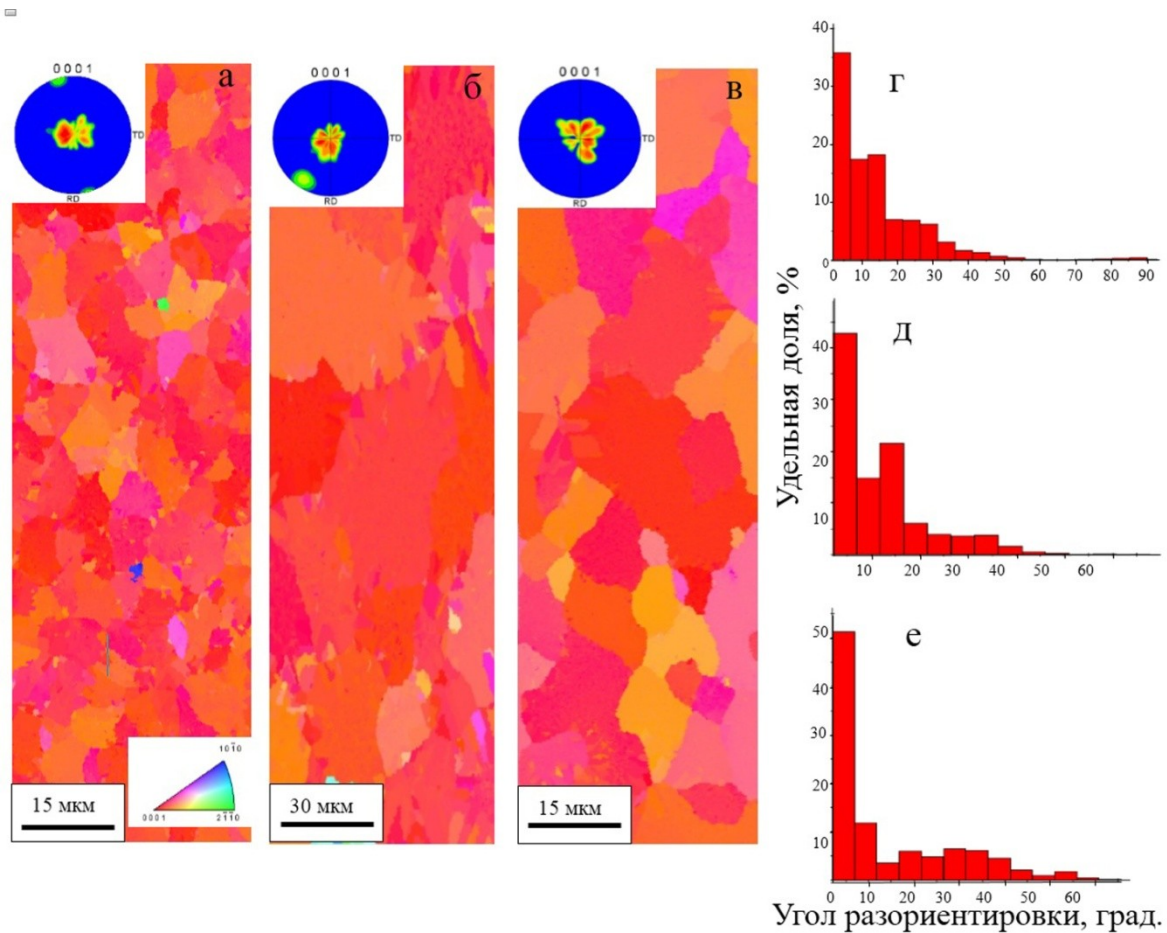


Рис. 4. EBSD-карты микроструктуры, полюсные фигуры (0001) и распределение углов разориентировок границ: а, г – 1-мм пластина; б, д – 120-мкм фольга при комнатной температуре; в, е – 120-мкм фольга при температуре $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$

ориентировок расположен на рис. 4 а в правом нижнем углу). В правом верхнем углу карт в виде вставок представлены полюсные фигуры (0001) (ПФ).

Во всех образцах отмечается образование текстуры базиса (0001), о чем свидетельствует преобладание красного цвета в ориентационных картах. Однако после прокатки текстура становится более ярко выраженной. Сравнение ПФ (0001) на рис. 4 а с ПФ, представленными в литературе [18], показывает, что текстура магния после поперечного выдавливания схожа с текстурой образца после РКУП по маршруту А. ПФ (0001) тонких фольг размыты преимущественно вдоль направления прокатки RD, что соответствует формированию текстуры прокатки.

На рис. 4 г, 4 д и 4 е показаны гистограммы распределения углов разориентировок границ. Для всех образцов наблюдается высокая доля малоугловых границ, что может говорить о присутствии субструктуры, образующейся в результате сильных деформационных воздействий. На гистограмме для фольги 120 мкм, полученной в результате низкотемпературной прокатки, присутствует небольшой пик в диапазоне 30–40°. Известно [19; 20], что такой угол разориентации границ может соответствовать двойному двойникованию $\{10\bar{1}1\} - \{10\bar{1}2\} (38^\circ < 11\bar{2}0 \rangle$. Стоит отметить, что следов активного двойникования по результатам СЭМ и EBSD-анализа практически не обнаружено.

В работе были проведены механические испытания на растяжение 1-мм пластины и фольги 120 мкм, полученной при комнатной температуре. При проведении механических испытаний на растяжение был выявлен разброс в значениях удлинения и пределов прочности образцов. При этом пределы текучести всех образцов практически совпадали (разброс внутри групп составил $\pm 3\%$). Этот результат предположительно связан с тем, что, как правило, на пластические свойства сильное влияние оказывает качество образцов, подготовленных для испытаний. В процессе изготовления на кромках образцов могут появиться микротрещины, невидимые глазу, но тем не менее оказывающие серьезное влияние на поведение материала при растяжении. Поэтому в данной работе приведены результаты испытаний пластины и фольги, которые продемонстрировали максимальное удлинение.

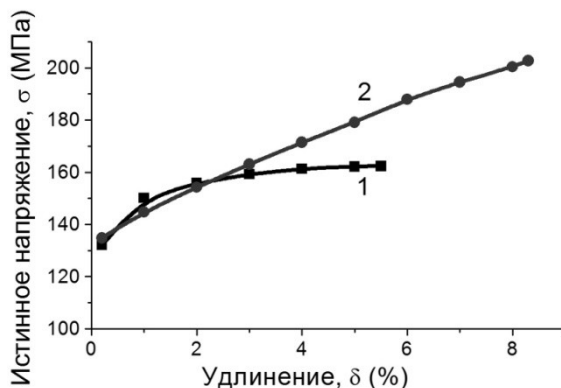


Рис. 5. Диаграммы растяжения пластины 1 мм (1) и фольги 120 мкм (2), полученные при скорости растяжения $7 \cdot 10^{-4}$ сек $^{-1}$

Диаграммы растяжения образцов представлены на рис. 5. Можно заметить явное отличие в наклоне кривых. Такая разница демонстрирует различия в текстуре образцов. Кривая 2 типична для образцов магния, полученных прокаткой при комнатной температуре, в результате чего они приобретают острую текстуру базиса, или иначе текстуру прокатки. Кривая 1 соответствует образцу, который не обладает ярко выраженной текстурой. По результатам испытаний предел текучести пластины составляет 132 МПа. Дополнительная деформация прокаткой до толщины 120 мкм приводит к значению 135 МПа. Предел прочности фольги (202 МПа) выше, чем у пластины (162 МПа), фольга также демонстрирует более высокое удлинение до разрыва (8,3 % против 5,5 % соответственно). Подобные значения для магния в литературе отмечаются достаточно часто, в среднем удлинение при растяжении при комнатной температуре составляет 5–8 % [7].

ВЫВОДЫ

В результате применения многоэтапного метода МПД, который включает в себя поперечное выдавливание и последующую прокатку, удалось достичь высоких степеней деформации (суммарно $\epsilon \sim 6$). Уже после первого этапа деформации происходит существенное измельчение исходной структуры от нескольких миллиметров до десятков микрон, что может быть связано с процессами фрагментации и динамической рекристаллизации. Дальнейшая прокатка пластины при комнатной температуре до фольги толщиной 120 мкм приводит к уменьшению среднего размера зерна и формированию более острой текстуры базиса по сравнению с пластиной. При изучении микроструктуры образцов не наблюдается следов активного двойникования, которое наряду с базисным скольжением является важным механизмом при деформации магния и его сплавов. Механические свойства образцов остались в пределах известных из литературы данных.

Изучение структуры и текстуры образцов проводилось в ОЭМ ЦКП УрО РАН. Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Деформация», № 01201463327) и при поддержке УрО РАН (проект № 15-17-2-11).

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эмли Е.Ф. Основы технологии производства и обработки магниевых сплавов. М.: Металлургия, 1972. 192 с.
2. Langdon T.G. Twenty-five years of ultrafine-grained materials: Achieving exceptional properties through grain refinement // Acta Materialia. 2013. Vol. 61. P. 7035–7059.
3. Кайбышев Р.О., Ситдииков О.Ш. Структурные изменения в процессе пластической деформации чистого магния // Физика металлов и металловедение. 1992. № 6. С. 103–113.
4. Кайбышев Р.О., Ситдииков О.Ш., Галиев А.М. Механизмы пластической деформации магния. I. Деформационное поведение крупнозернистого магния //

- Физика металлов и металловедение. 1995. Т. 80. № 3. С. 174–184.
5. Biswas S., Dhinwal S.S., Suwas S. Roomtemperature equal channel angular extrusion of pure magnesium // *Acta Materialia*. 2010. Vol. 58. P. 3247–3261.
 6. Martin E., Mishra R.K., Jonas J.J., Czerwinski Fr. Deformation structures and recrystallization in magnesium alloys // *Magnesium alloys – Design, processing and properties*. InTech. 2011. P. 22–42.
 7. Zarandi F., Yue St., Czerwinski Fr. Magnesium sheet: challenges and opportunities // *Magnesium alloys – Design, processing and properties*. InTech. 2011. P. 298–317.
 8. Нугманов Д.Р., Исламгалиев Р.К. Структура и механические свойства сплава АМ60В после равноканального углового прессования и прокатки // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2011. № 1. С. 8–14.
 9. Нугманов Д.Р., Ситдииков О.Ш., Маркушев М.В. Эволюция микроструктуры магниевго сплава МА14 в процессе всесторонней изотермическойковки // *Письма о материалах*. 2011. Т. 1. № 4. С. 213–216.
 10. Нугманов Д.Р., Ситдииков О.Ш., Маркушев М.В. Структура магниевго сплава МА14 после всесторонней изотермическойковки и последующей изотермической прокатки // *Физика металлов и металловедение*. 2015. Т. 116. № 10. С. 1047–1055.
 11. Agnew S.R., Horton J.A., Lillo T.M., Brown D.W. Enhanced ductility in strongly textured magnesium produced by equal channel angular processing // *Scripta Material*. 2004. Vol. 20. P. 377–382.
 12. Agnew S.R., Mehrotra P., Lillo T.M. Texture evolution of five wrought magnesium alloys during route a equal channel angular extrusion: experiments and simulations // *Acta Materialia*. 2005. Vol. 53. P. 3135–3146.
 13. Agnew S.R., Mehrotra P., Lillo T.M. Crystallographic texture evolution of three wrought magnesium alloys during equal channel angular extrusion // *Material Science and Engineering A*. 2005. Vol. 408. P. 72–85.
 14. Swiostek J., Goken J., Letzig D., Kainer K.U. Hydrostatic extrusion of commercial magnesium alloys at 100°C and its influence on grain refinement and mechanical properties // *Materials Science and Engineering A*. 2006. Vol. 424. P. 223–229.
 15. Tork N.B., Pardis N., Ebrahimi R. Investigation on the feasibility of room temperature plastic deformation of pure magnesium by simple shear extrusion process // *Material Science and Engineering A*. 2013. Vol. 560. P. 34–39.
 16. Kitahara H., Maruno F., Tsushida M., Ando S. Deformation behavior of Mg single crystals during a single ECAP pass at room temperature // *Materials Science and Engineering A*. 2014. Vol. 590. P. 274–280.
 17. Каменецкий Б.И., Соколов А.Л., Волков А.Ю., Антонова О.В., Ключкин И.В. Способ изготовления фольги из магния: патент РФ № 2563077, 2014.
 18. Satyam S., Gottstein G., Kumar R. Evolution of crystallographic texture during equal channel angular extrusion (ECAE) and its effects on secondary processing of magnesium // *Materials Science and Engineering A*. 2007. Vol. 471. P. 1–14.
 19. Qin H., Zhang X., Dong Q. Microstructure and texture evolution for dynamic plastic deformed pure magnesium during isothermal annealing // *Materials Science and Engineering A*. 2015. Vol. 626. P. 94–101.
 20. Al-Samman T., Molodov K.D., Molodov D.A., Gottstein G., Suwas S. Softening and dynamic recrystallization in magnesium single crystals during c-axis compression // *Acta Materialia*. 2012. Vol. 60. P. 537–545.

REFERENCES

1. Emli E.F. *Osnovy tekhnologii proizvodstva i obrabotki magnievyykh splavov* [The basics of production engineering and magnesium alloys processing]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 192 p.
2. Langdon T.G. Twenty-five years of ultrafine-grained materials: Achieving exceptional properties through grain refinement. *Acta Materialia*, 2013, vol. 61, pp. 7035–7059.
3. Kaybyshev R.O., Sitdikov O.Sh. Structural changes during plastical deformation of pure magnesium. *Fizika metallov i metallovedenie*, 1992, no. 6, pp. 103–114.
4. Kaybyshev R.O., Sitdikov O.Sh., Galiev A.M. Mechanisms of plastic deformation of magnesium. Communication I. Deformation behaviour of coarse-grain magnesium. *Fizika metallov i metallovedenie*, 1995, vol. 80, no. 3, pp. 174–184.
5. Biswas S., Dhinwal S.S., Suwas S. Roomtemperature equal channel angular extrusion of pure magnesium. *Acta Materialia*, 2010, vol. 58, pp. 3247–3261.
6. Martin E., Mishra R.K., Jonas J.J., Czerwinski Fr. Deformation structures and recrystallization in magnesium alloys. *Magnesium alloys – Design, processing and properties*. InTech, 2011, pp. 22–42.
7. Zarandi F., Yue St., Czerwinski Fr. Magnesium sheet: challenges and opportunities. *Magnesium alloys – Design, processing and properties*. InTech, 2011, pp. 298–317.
8. Nugmanov D.R., Islamgaliev R.K. Structure and mechanical properties of magnesium alloy AM60V after equal-channel angular pressing and rolling. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2011, vol. 667, no. 1, pp. 8–14.
9. Nugmanov D.R., Sitdikov O.Sh., Markushev M.V. Microstructure evolution in MA14 magnesium alloy under multi-step isothermal forging. *Pisma o materialakh*, 2011, vol. 1, no. 4, pp. 213–216.
10. Nugmanov D.R., Sitdikov O.Sh., Markushev M.V. Structure of magnesium alloy MA14 after multistep isothermal forging and subsequent isothermal rolling. *The physics of metals and metallography*, 2015, vol. 116, no. 10, pp. 993–1001.
11. Agnew S.R., Horton J.A., Lillo T.M., Brown D.W. Enhanced ductility in strongly textured magnesium produced by equal channel angular processing. *Scripta Material*, 2004, vol. 20, pp. 377–382.
12. Agnew S.R., Mehrotra P., Lillo T.M. Texture evolution of five wrought magnesium alloys during route a equal channel angular extrusion: experiments and simulations. *Acta Materialia*, 2005, vol. 53, pp. 3135–3146.
13. Agnew S.R., Mehrotra P., Lillo T.M. Crystallographic texture evolution of three wrought magnesium alloys during equal channel angular extrusion. *Material Science and Engineering A*, 2005, vol. 408, pp. 72–85.

14. Swiostek J., Goken J., Letzig D., Kainer K.U. Hydrostatic extrusion of commercial magnesium alloys at 100°C and its influence on grain refinement and mechanical properties. *Materials Science and Engineering A*, 2006, vol. 424, pp. 223–229.
15. Tork N.B., Pardis N., Ebrahimi R. Investigation on the feasibility of room temperature plastic deformation of pure magnesium by simple shear extrusion process. *Material Science and Engineering A*, 2013, vol. 560, pp. 34–39.
16. Kitahara H., Maruno F., Tsushida M., Ando S. Deformation behavior of Mg single crystals during a single ECAP pass at room temperature. *Materials Science and Engineering A*, 2014, vol. 590, pp. 274–280.
17. Kamenetskiy B.I., Sokolov A.L., Volkov A.Yu., Antonova O.V., Klyukin I.V. *Sposob izgotovleniya folgi iz magniya* [Methods of production of magnesium foil], patent RF no. 2563077, 2014.
18. Satyam S., Gottstein G., Kumar R. Evolution of crystallographic texture during equal channel angular extrusion (ECAE) and its effects on secondary processing of magnesium. *Materials Science and Engineering A*, 2007, vol. 471, pp. 1–14.
19. Qin H., Zhang X., Dong Q. Microstructure and texture evolution for dynamic plastic deformed pure magnesium during isothermal annealing. *Materials Science and Engineering A*, 2015, vol. 626, pp. 94–101.
20. Al-Samman T., Molodov K.D., Molodov D.A., Gottstein G., Suwas S. Softening and dynamic recrystallization in magnesium single crystals during c-axis compression. *Acta Materialia*, 2012, vol. 60, pp. 537–545.

MAGNESIUM STRUCTURE AND TEXTURE AFTER THE LOW-TEMPERATURE MEGAPLASTIC DEFORMATION

© 2017

D.A. Komkova, postgraduate student, leading engineer of Laboratory of strength
A.Yu. Volkov, Doctor of Sciences (Engineering), Head of Laboratory of strength

M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Keywords: magnesium; plastic deformation; megaplastic deformation; microstructure; mechanical properties.

Abstract: Magnesium and its alloys belong to the lightest metal structural materials. However, at the moment, the application of magnesium alloys is limited due to their poor workability and low ductility at low temperatures that is caused by the crystalline structure of magnesium and the limited number of active slip systems. The mechanical properties of the material can be improved significantly by means of creation of the fine-grained structure using the megaplastic deformation methods.

The authors used the scanning electron microscopy method, EBSD-analysis and tensile tests to study the structure, texture and mechanical properties of 1-mm magnesium plates and 120- μm magnesium foils produced in the result of megaplastic deformation using the transverse extrusion method (the first stage) and further rolling (the second stage) at room temperature and at the temperature of about -100°C . Total true strain after two stages was $\epsilon \sim 6.0$.

In the result of deformation, the original grain size was significantly reduced from 7 mm to 4.5 μm . All samples demonstrated the formation of the bimodal structure where the large grains are surrounded by smaller ones. The processes of fragmentation and continuous dynamic recrystallization play the main role in the grain refinement. With the increase of deformation degree, the basis texture (0001) strengthens. The authors did not find any traces of the intense twinning, which is one of the main deformation mechanisms in magnesium. Tensile tests showed the improvement of plastic properties of 120- μm foil compared to a 1-mm plate.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНЫХ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННОГО СПЛАВА Cu-8ат.%Pd

© 2017

А.Е. Костина, магистрант, инженер-исследователь лаборатории прочности
А.Ю. Волков, доктор технических наук, заведующий лабораторией прочности
Институт физики металлов имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова: сплавы медь – палладий; фазовые превращения; сверхструктура $L1_2$; структурные методы исследования; критическая температура упорядочения.

Аннотация: Обнаружен недостаток литературных источников по структуре и физико-механическим свойствам сплавов меди с содержанием палладия менее 10 ат. %. Выяснено, что в «медном углу» общепринятой фазовой диаграммы системы медь – палладий температурно-концентрационная граница между разупорядоченной ГЦК-фазой и упорядоченной по типу $L1_2$ фазой проведена без соответствующей экспериментальной поддержки. В то же время эти сплавы представляют интерес в качестве основы для разработки высокопрочных проводящих материалов.

В работе проведено изучение эволюции структуры, микротвердости и удельного электросопротивления в процессе длительных отжигов сплава Cu-8ат.%Pd. Обнаружено повышение микротвердости и удельного электросопротивления предварительно деформированных образцов после термообработок при 250 и 300 °С. Показано, что длительный низкотемпературный отжиг сплава с медленным охлаждением приводит к росту его удельного электросопротивления. Сделано заключение, что все обнаруженные аномалии свойств объясняются образованием зародышей упорядоченной $L1_2$ фазы в деформированной матрице. Полученные результаты подтверждают, что предварительная деформация значительно ускоряет процессы атомного упорядочения. Однако скорость атомного упорядочения чрезвычайно низка: для обнаружения новой фазы структурными методами требуется проведение низкотемпературных отжигов в течение нескольких месяцев.

По результатам исследования сделан вывод, что критическая температура фазового превращения порядок→беспорядок в исследуемом сплаве составляет приблизительно 340 °С. Поскольку на общепринятой фазовой диаграмме Cu-Pd температурная граница фазового превращения для сплава исследованной концентрации проведена при 400 °С, также сделан вывод, что «медный угол» на фазовой диаграмме нуждается в уточнении.

ВВЕДЕНИЕ

Медь и ее сплавы традиционно используются в электротехнике и приборостроении в качестве проводниковых материалов [1]. Для повышения прочностных свойств медных проводников применяются разные подходы: дисперсионное твердение [2], введение упрочняющих наноразмерных оксидов, карбидов или нанотрубок [3], создание металлических многожильных композитов [4] и т. д. Обязательным условием всех этих способов упрочнения является сохранение основной функциональной характеристики проводника – высокой электропроводности.

Ранее нами было предложено рассмотреть в качестве проводящей матрицы сплавы Cu-Pd с содержанием палладия менее 6 ат. % [5]. Такие сплавы характеризуются относительно высокой электропроводностью и повышенной коррозионной стойкостью. Однако структура и физико-механические свойства сплавов меди с содержанием палладия менее 10 ат. % ранее практически не исследовались. К примеру, на общепринятой фазовой диаграмме (рис. 1) на левой границе раздела «беспорядок – порядок» (разупорядоченный α -твердый раствор – сверхструктура типа $L1_2$) отсутствуют экспериментальные точки [6]. Между тем доменные границы, формирующиеся в ходе атомного упорядочения по типу $L1_2$, служат весьма эффективным тормозом для движения дислокаций, что будет способствовать повышению механических свойств. Поэтому создание тройного сплава Cu-Pd-Ag с малым содержанием палладия и выделение в упорядоченной медно-палладиевой матрице фазы на основе серебра может привести к получению высоко-

прочного проводникового материала. Ранее аналогичный подход уже был апробирован нами на сплавах Cu-Pd-Ag с более высоким содержанием палладия [7].

Для решения этой задачи необходимо провести более подробное изучение структуры и свойств упорядочивающихся по типу $L1_2$ сплавов Cu-Pd, содержание палладия в которых не превышает 10 ат. %. Результатом такого исследования может быть уточнение «медного угла» фазовой диаграммы системы Cu-Pd. К примеру, на фазовой диаграмме сплав с содержанием 8 ат. % палладия помещен в двухфазную область (беспорядок + порядок). Однако кинетика атомного упорядочения в нем не исследована, температурные интервалы превращения неизвестны.

Цель работы – выяснение кинетики атомного упорядочения и уточнение температурной границы фазового превращения беспорядок→порядок в сплаве медь – палладий с содержанием палладия 8 ат. %.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выплавка сплава производилась из меди и палладия чистотой 99,98 % в вакууме не хуже 10^{-2} Па методом двойного перепада в разливкой в графитовый тигель. По результатам рентгеновского микроанализа на приборе Superprobe JCHA-733 (ускоряющее напряжение 25 кВ, ток зонда 50 нА), полученный сплав содержит 8 ат.% палладия.

Слиток диаметром 5 мм гомогенизировался в течение 3 часов при температуре 850 °С с последующей закалкой в воду. Затем слиток подвергался деформации без промежуточных отжигов до получения образцов

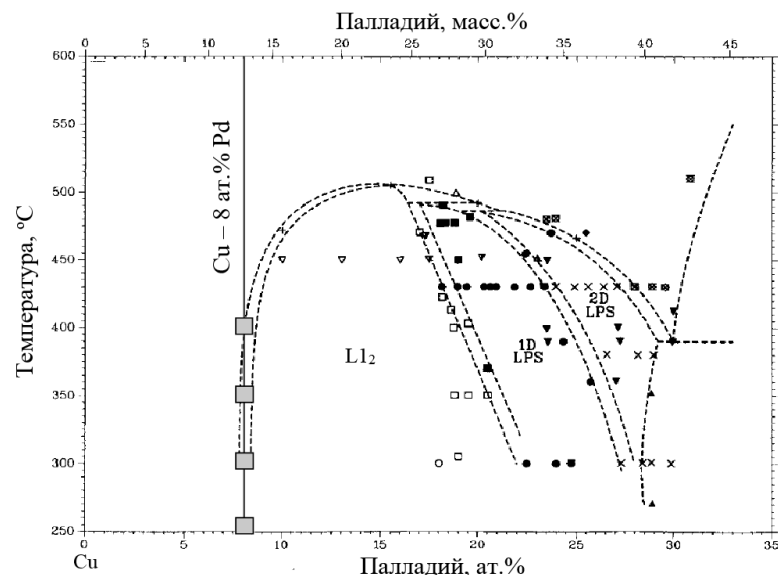


Рис. 1. Участок фазовой диаграммы сплавов системы Cu-Pd [6].
Вертикальной линией показан состав исследуемого сплава.
Символами □ обозначены температуры обработки

требуемого размера. Для проведения дифрактометрических исследований и измерений микротвердости использовались пластины, полученные прокаткой слитка до толщины 0,2 мм ($\epsilon \approx 3,5$). Из тонкой фольги толщиной 0,1 мм ($\epsilon \approx 4,4$) изготавливались образцы для просвечивающей электронной микроскопии. Кроме того, для измерений удельного электросопротивления сплава на различных стадиях формирования структуры использовались проволоочные образцы, полученные волочением до \varnothing 0,22 мм ($\epsilon \approx 7,1$).

Для изучения процессов перестройки структуры и эволюции свойств проводились длительные отжики в интервале температур от 200 до 400 °С (с шагом в 50°) с последующим охлаждением в воде. Для получения максимально упорядоченного состояния использовалась длительная термообработка, которая состояла в ступенчатом охлаждении сплава от 300 °С через 50°, с выдержкой на каждой ступени по 2 недели. Все термообработки выполнялись в вакуумированных кварцевых или стеклянных ампулах.

Для проведения рентгеноструктурного анализа (РСА) использовался дифрактометр DMAX 2200 фирмы Rigaku. Резистометрические исследования проводились на компьютеризированной установке в специальной ячейке с использованием четырехконтактного метода при постоянном токе 20 мА. Измерение удельного электросопротивления (ρ) проводилось как при комнатной температуре, так и при нагреве и охлаждении со скоростью 120 град/час. Погрешность измерений удельного электросопротивления составляла $\Delta\rho = \pm 0,04 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для изучения эволюции структуры сплава Cu-8ат.%Pd в ходе атомного упорядочения были взяты образцы в двух исходных состояниях: закаленном после отжига в течение 1 часа при температуре 800 °С и сильно деформированном. Из результатов рентгеноструктурного анализа (рис. 2) следует, что сплав в этих со-

стояниях имеет ГЦК-решетку, т. е. является разупорядоченным. В закаленном сплаве практически не содержится напряжений, поэтому рентгеновские пики острые и с высокой интенсивностью (дифрактограмма 1 на рис. 2). По данным сканирующей электронной микроскопии, средний размер зерна в сплаве после отжига и закалки составляет 30 ± 5 мкм. На дифрактограмме 2, полученной с образца деформированного сплава, наблюдается значительное уширение рентгеновских пиков по сравнению с закаленным состоянием. Это вызвано существенным измельчением структурных элементов и увеличением микроискажений в структуре материала в результате интенсивной деформации ($\epsilon \approx 3,5$). Нами была проведена оценка среднего размера областей когерентного рассеяния (d_0) в деформированном сплаве по методу Вильямсона – Холла [8]. Согласно проведенным расчетам, $d_0 \approx 50 \pm 5$ нм.

Ранее было установлено, что предварительная ИПД приводит к ускорению формирования упорядоченной по типу $L1_2$ структуры в сплавах медь – палладий вблизи стехиометрии Cu_3Pd [9]. Это подтвердили и наши исследования: зародышей упорядоченной фазы в образцах закаленного сплава не было зафиксировано даже после длительных (в течение 3,5 месяцев) отжигов [10]. Поэтому далее в основном описаны структура и свойства после отжигов исходно деформированного сплава.

Очевидно, что при отжиге деформированного материала проходят процессы рекристаллизации. В этом случае можно ожидать снижения микротвердости с повышением температуры обработки или при увеличении времени отжига [11].

Действительно, в ходе обработки в температурном интервале 300–400 °С наблюдается постоянное снижение микротвердости (рис. 3). Разброс значений микротвердости в ходе измерений не превышал 5 %. Обращает на себя внимание ход зависимости при температуре 250 °С (кривая 2 на рис. 3), когда после некоторого снижения на начальном этапе обработки микротвердость

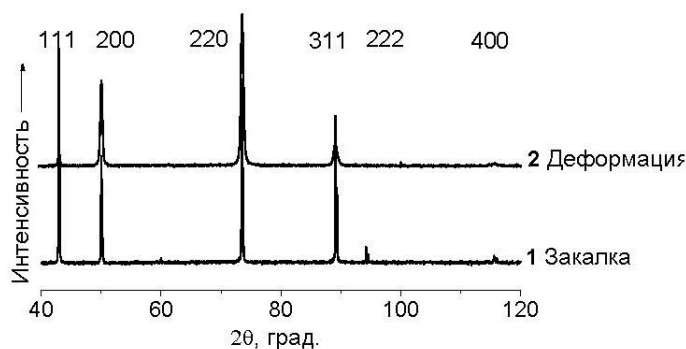


Рис. 2. Дифрактограммы закаленного (1) и сильно деформированного (2) образцов сплава Cu-8at.%Pd

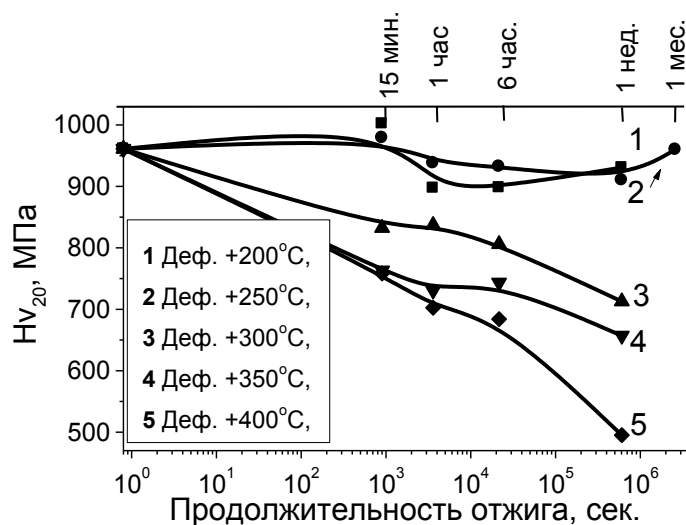


Рис. 3. Изменение микротвердости в ходе отжигов предварительно деформированных образцов исследуемого сплава

начинает возрастать. Этот эффект сохраняется даже после увеличения длительности термообработки до 1 месяца. Повышение микротвердости в результате отжига деформированного сплава является аномалией, однако найти объяснение этому явлению без проведения дополнительных микроструктурных исследований затруднительно.

Исходя из фазовой диаграммы (рис. 1), можно предположить, что такая аномальная зависимость микротвердости вызвана формированием зародышей упорядоченной по типу $L1_2$ фазы в ходе отжигов исходно деформированного сплава. Однако проведенный нами рентгеноструктурный анализ образцов не обнаружил дополнительных пиков. Можно предположить, что объем зародышей новой фазы слишком мал, поэтому чувствительность РСА-методики не позволяет зафиксировать этот слабый сигнал. В то же время известно, что начальные стадии атомного упорядочения хорошо выявляются резистометрическими методами [12].

На рис. 4 представлены графики изменения удельного электросопротивления в ходе отжигов образцов деформированного сплава Cu-8at.%Pd. Обработки небольшой продолжительности при температурах 350 и 400 °C сначала приводят к росту электросопротивления. Однако затем электросопротивление сплава от

продолжительности отжигов практически не зависит (кривые 4 и 5 на рис. 4). В ходе выдержки при минимальной температуре 200 °C наблюдается очень слабое увеличение электросопротивления (кривая 1 на рис. 4). В свою очередь, при температуре 250 °C происходит непрерывный рост электросопротивления, который не заканчивается даже после 1 месяца термообработки (кривая 2 на рис. 4). Отметим, что отжиг образцов сплава при температуре 300 °C также сопровождается значительным повышением удельного электросопротивления (кривая 3 на рис. 4).

Таким образом, как при измерении микротвердости, так и в ходе резистометрических экспериментов нами были зафиксированы эффекты, природа которых остается неясной. Однако изучение микроструктуры образцов не выявило образования каких-либо новых фаз. Для выяснения структурного состояния, которое формируется в исследуемом сплаве в результате низкотемпературных отжигов, была проведена термообработка большой продолжительности. Она заключалась в медленном ступенчатом охлаждении предварительно деформированного сплава: образец выдерживался в течение 2 недель при температуре 300 °C, затем охлаждался до 250 °C и вновь выдерживался 2 недели. Выбор именно этих температур обусловлен тем, что в данном

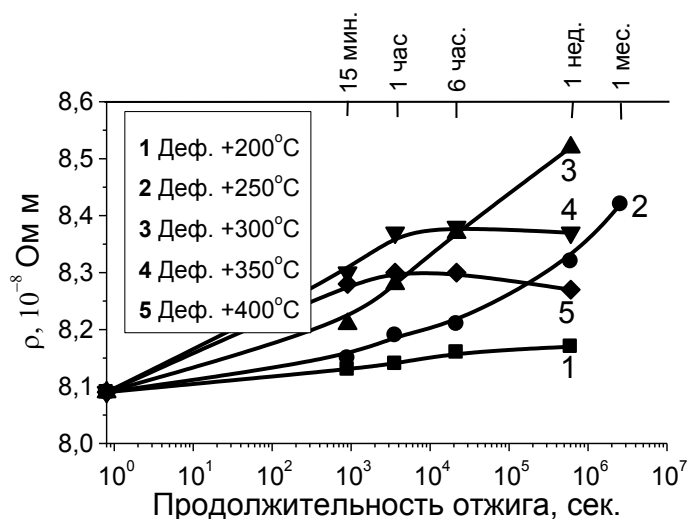


Рис. 4. Зависимость удельного электросопротивления деформированного сплава от продолжительности термообработки

интервале наблюдается аномальный характер свойств на рис. 3 и рис. 4. Та же процедура повторялась при температурах 200 и 150 °С, после чего образец остывал вместе с печью. Таким образом, длительность термообработки превысила 2 месяца. Исходя из полученных результатов, отжиги сплава при температурах ниже 200 °С уже не представляют интереса с точки зрения формирования в нем новой фазы. Однако при таком медленном охлаждении в предварительно деформированном образце была сформирована максимально равновесная структура.

Температурная зависимость электросопротивления сплава Cu-8ат.%Pd после длительного охлаждения от 300 °С представлена на рис. 5. В исходном состоянии (т. е. после длительного отжига с медленным ступенчатым охлаждением) сплав имеет самое высокое удельное электросопротивление, достигнутое в ходе наших исследований: $\rho=8,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

Нагрев вызывает пропорциональное повышение электросопротивления, что нарушается при температу-

ре немного ниже 350 °С. В интервале температур 340–380 °С электросопротивление сплава практически не изменяется. При дальнейшем нагреве скорость роста электросопротивления возвращается на прежний уровень. При охлаждении каких-либо особенностей не наблюдается: снижение электросопротивления происходит с постоянной скоростью.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как уже упоминалось выше, в ходе данного исследования нами постоянно проводилось изучение образцов с привлечением прямых структурных методов: РСА, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Однако даже после длительных термообработок никаких следов образования зародышей упорядоченной фазы в образцах исходно деформированного сплава Cu-8Pd обнаружено не было. В то же время применение структурно-чувствительных методик (измерение микротвердости и резистометрия) привело к получению большого объема дополнительной информации.

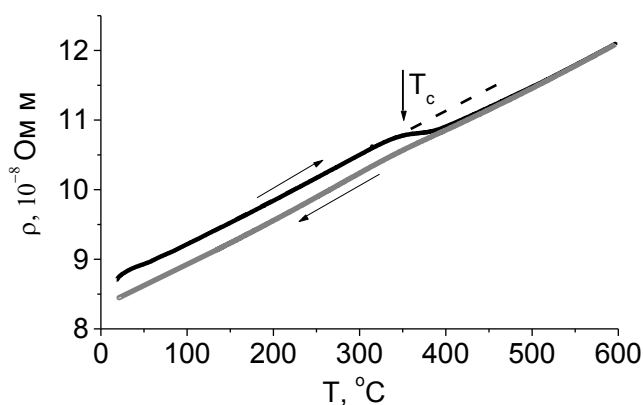


Рис. 5. Температурная зависимость электросопротивления при нагреве и охлаждении образца сплава Cu-8ат.%Pd, который был получен длительной термообработкой со ступенчатым охлаждением от 300 °С. Вертикальная стрелка – наша оценка критической температуры упорядочения (T_c) исследуемого сплава

Очевидно, что эти результаты не дают прямого ответа на вопрос: какова природа повышения микротвердости и электрического сопротивления образцов исследуемого сплава в ходе длительных отжигов при температурах 250 и 300 °С. Однако, исходя из совокупности экспериментальных данных и опираясь на фазовую диаграмму (рис. 1), можно с большой уверенностью трактовать все полученные результаты как свидетельство формирования в разупорядоченной матрице исследуемого сплава зародышей новой, упорядоченной по типу $L1_2$ фазы.

К примеру, все описанные выше аномалии были обнаружены исключительно в предварительно деформированных образцах. Отжиги сплава, находящегося в закаленном состоянии, не привели к обнаружению каких-либо следов новой фазы. Это хорошо укладывается в существующие представления о различии скоростей атомного упорядочения в зависимости от исходного состояния образцов (закаленного или деформированного) [13]. Действительно, при отжиге сильно деформированного упорядочивающегося сплава одновременно протекают две твердотельные реакции: рекристаллизация и фазовое превращение. Как было показано ранее на сплавах с различным типом сверхструктур, при совмещении рекристаллизации и атомного упорядочения эти процессы взаимно ускоряют друг друга [14; 15].

Однако измерением микротвердости в процессе отжигов хорошо выявляется только один процесс – рекристаллизация. К примеру, на рис. 3 можно видеть, что в интервале температур 300–400 °С падение микротвердости на промежуточном этапе отжигов несколько замедляется, что проявляется в виде четко выраженной ступеньки. Согласно [16], такая ступенька наблюдается на стадии окончания первичной рекристаллизации, после которой начинается собирательная рекристаллизация. Таким образом, из хода зависимостей 3–5 на рис. 3 можно сделать вывод, что микроструктура деформированного сплава в процессе длительных отжигов при температурах выше 300 °С постоянно эволюционирует, проходя через различные стадии рекристаллизационных процессов. В свою очередь, отсутствие снижения (или даже некоторое повышение) микротвердости сплава при температурах 200–250 °С (кривые 1–2 на рис. 3) не означает, что рекристаллизационные процессы в исследуемом сплаве практически не развиваются. Очевидно, что в данном температурном интервале в сплаве осуществляется несколько реакций, конкурирующее влияние которых проявляется в аномальном повышении микротвердости в результате отжига деформированного образца.

Формированием в сплаве мелкодисперсных зародышей новой фазы можно хорошо объяснить все полученные результаты. Действительно, возникновение в матрице значительных упругих напряжений вследствие различий в параметрах кристаллических решеток между новой (упорядоченной) и исходной (разупорядоченной) фазами обязательно приведет к повышению микротвердости (рис. 3). Однако рост микротвердости в ходе отжигов наблюдается только при температуре 250 °С. В то же время температурная граница фазового превращения беспорядок→порядок на фазовой диаграмме проходит вблизи 400 °С. Таким образом, возникает вопрос: или предложенное объяснение ошибочно, или фазовая диаграмма требует уточнений.

Резистометрический метод исследования давно и активно применяется при изучении так называемой «тонкой структуры» сплавов, т. е. начальных стадий процессов атомного упорядочения или распада [17]. Действительно, формирование в объеме исследуемого материала наноразмерных выделений любой природы приведет к дополнительному рассеянию электронов проводимости на этих дефектах [3; 17; 18], поэтому возникновение в сплавах зародышей новых фаз или выделение дисперсных частиц вызывает рост электросопротивления. Более того, даже процесс закалки может повлиять на электросопротивление, поскольку от скорости и температуры охлаждения сильно зависит кинетика образования кластеров ближнего порядка [19]. Представленные на рис. 4 графики отражают сложное и разнообразное влияние различных вкладов в уровень электрических свойств исследуемого сплава.

К примеру, можно ожидать, что отжиг приведет к снижению электросопротивления деформированного образца вследствие уменьшения количества различного рода дефектов в материале. Однако на рис. 4 хорошо видно, что все термообработки вызывают возрастание электросопротивления образцов. Этот эффект нельзя рассматривать как аномалию: закалка фиксирует вызванные тепловыми колебаниями искажения решетки, что и вызывает возрастание электросопротивления. В итоге чем выше температура закалки, тем большим будет значение удельного электросопротивления. Фактически, таким образом проявляется температурный коэффициент электросопротивления (ТКЭС) материала.

Рассмотренные выше особенности влияния закалки на электросопротивление относятся исключительно к чистым металлам. Эволюция электрических свойств при термообработке сплавов объясняется значительно более сложными процессами. К примеру, на рис. 4 хорошо видно, что удельное электросопротивление исследуемого сплава после закалки от температуры 350 °С несколько выше, чем у образца, закаленного от 400 °С. Этот результат, совершенно нетипичный для чистых металлов, хорошо известен для упорядочивающихся сплавов и говорит о формировании сильного ближнего порядка в закаленном материале. Скорость образования кластеров ближнего порядка увеличивается при приближении температуры закалки к температурной границе фазового превращения, что приводит к росту электросопротивления сплава [17; 19]. Однако ближний порядок формируется в упорядочивающемся сплаве только при закалке от температур, превышающих критическую температуру упорядочения (T_c). Согласно фазовой диаграмме, температурная граница фазового превращения в исследуемом сплаве находится около 400 °С (рис. 1), но из сопоставления графиков 3–5 на рис. 4 можно сделать вывод о том, что температура этого перехода лежит ниже 350 °С.

Особенностью сплавов системы медь – палладий является некоторое повышение удельного электросопротивления в ходе формирования упорядоченной по типу $L1_2$ структуры [20]. Это было убедительно показано еще в первых исследовательских работах, посвященных изучению системы медь – палладий вблизи стехиометрии Cu_3Pd [21; 22]. Проведенный нами литературный поиск не выявил литературных источников, посвященных изучению сплава $Cu-8at.\%Pd$. Приведенные

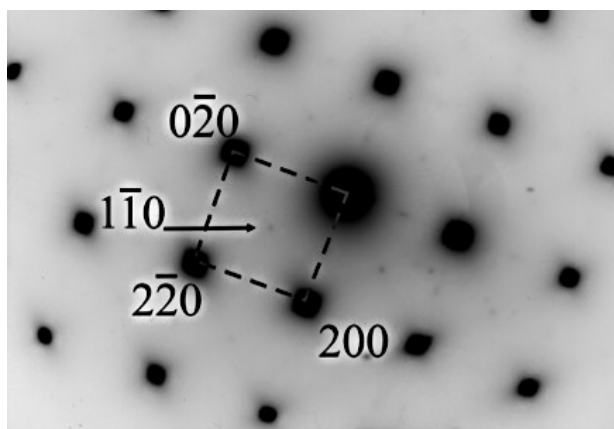


Рис. 6. Микродифракция с участка образца сплава Cu-8at.\%Pd , который был отожжен при температуре $250\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3,5 месяцев; ось зоны $[100]$

на рис. 4 результаты хорошо укладываются в существующие представления: повышение электросопротивления исследуемого сплава в ходе низкотемпературных отжигов вызвано формированием упорядоченной фазы. Однако эти результаты вновь ставят под сомнение существующую фазовую диаграмму: аномальный рост электросопротивления в сплаве наблюдается при температуре $300\text{ }^\circ\text{C}$ или ниже (кривые 1–3 на рис. 4).

Ранее в работе [23] при исследовании сплавов Cu-12at.\%Pd и Cu-13at.\%Pd , а также в работе [24] на сплаве Cu-18at.\%Pd было показано, что для определения температурной границы фазового превращения порядок→беспорядок можно использовать результаты резистометрических исследований, полученные при нагреве и охлаждении. Представленные в этих работах температурные зависимости весьма напоминают полученный нами результат (рис. 5): после нагрева до определенной температуры скорость роста электросопротивления снижается, и на графике наблюдается ступенька. Температура отклонения зависимости электросопротивления от прямолинейного хода в работах [21–24] однозначно трактуется как критическая температура упорядочения (T_c).

Для облегчения визуального определения отклонения температурной зависимости на рис. 5 от прямолинейности, на ее продолжении нами проведена пунктирная линия. При этом хорошо видно, что снижение скорости роста электросопротивления начинается при температуре приблизительно $340\text{ }^\circ\text{C}$. Проведенный эксперимент не может дать точную температуру превращения: для начала реакции требуется небольшой перегрев, поэтому результат может быть уточнен, к примеру, путем резкого снижения скорости нагрева. Однако очевидно, что на фазовой диаграмме температурная граница фазового превращения порядок→беспорядок в исследуемом сплаве не может находиться выше этой температуры.

Выше мы пришли к выводу, что причиной роста микротвердости и удельного электросопротивления является формирование в исследуемом сплаве зародышей упорядоченной фазы. Однако все наши попытки обнаружить эту фазу прямыми методами на исследованных выше образцах успеха не имели. Подтвердить формирование зародышей упорядоченной фазы в предварительно деформированном сплаве удалось только после длительного отжига при температуре $250\text{ }^\circ\text{C}$

в течение 3,5 месяцев. Соответствующая микродифракция, на которой имеются сверхструктурные отражения, представлена на рис. 6. Таким образом, применение косвенной структурно-чувствительной методики (резистометрия) позволило обнаружить формирование новой фазы значительно раньше, чем удалось наблюдать ее микроскопическим путем.

ВЫВОДЫ

1. Критическая температура упорядочения (T_c) исследуемого сплава Cu-8at.\%Pd составляет приблизительно $340\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Скорость атомного упорядочения в сплаве Cu-8at.\%Pd чрезвычайно низка, для формирования упорядоченной структуры требуется проведение многомесячных отжигов.

3. Предварительная пластическая деформация значительно ускоряет фазовое превращение беспорядок→порядок в исследуемом сплаве.

4. Использование косвенных, структурно-чувствительных методов позволяет обнаружить формирование зародышей новой фазы на более ранних стадиях, чем удается наблюдать их прямыми методами.

5. «Медный угол» общепринятой фазовой диаграммы медь – палладий нуждается в уточнении.

Изучение структуры образцов проводилось в ОЭМ ЦКП УрО РАН. Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Деформация», № 01201463327) и при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-33-00446_мол_а).

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.
- Sitarama R.K., Subramanya S.V., Kauffmann A., Hegedus Z., Gubicza J., Peterlechner M., Freudemberger J., Wilde G. High strength and ductile ultrafine-grained Cu-Ag alloy through bimodal grain size, dislocation density and solute distribution // *Acta Materialia*. 2013. Vol. 61. № 1. P. 228–238.

3. Wang H., Zhang Z., Zhang H., Hu Z., Li S., Cheng X. Novel synthesizing and characterization of copper matrix composites reinforced with carbon nanotubes // *Materials Science and Engineering A*. 2017. Vol. 696. P. 80–89.
4. Sandim H.R.Z., Sandim M.J.R., Bernardi H.H., Lins J.F.C., Raabe D. Annealing effects on the microstructure and texture of a multifilamentary Cu-Nb composite wire // *Scripta Materialia*. 2004. Vol. 51. № 11. P. 1099–1104.
5. Волков А.Ю., Новикова О.С., Костина А.Е., Антонов Б.Д. Изменение электрических и механических свойств меди при легировании палладием // *Физика металлов и металловедение*. 2016. Т. 117. № 9. С. 977–986.
6. Subramanian P.R., Laughlin D.E. Cu-Pd (Copper-Palladium) // *Journal of Phase Equilibria*. 1991. Vol. 12. № 2. P. 231–243.
7. Volkov A.Yu. Improvements to the microstructure and physical properties of Pd-Cu-Ag alloys // *Platinum Metals Review*. 2004. Vol. 48. № 1. P. 3–12.
8. Williamson G.K., Hall W.H. X-ray line broadening from fcc aluminum and wolfram // *Acta Metallurgica*. 1953. Vol. 1. № 1. P. 22–31.
9. Буйнова Л.Н., Гохфельд Н.В., Коуров Н.И., Пилюгин В.П., Пушин В.Г. Особенности формирования наноструктурного состояния в атомноупорядоченных медно-палладиевых сплавах, подвергнутых интенсивной деформации кручением // *Деформация и разрушение материалов*. 2009. № 10. С. 24–29.
10. Волков А.Ю., Костина А.Е., Волкова Е.Г., Новикова О.С., Антонов Б.Д. Микроструктура и физико-механические свойства сплава Cu-8at.%Pd // *Физика металлов и металловедение*. В печати.
11. Новикова О.С., Волков А.Ю., Антонов Б.Д. Структура и физико-механические свойства сплава Cu-49at.%Pd на различных этапах A1-B2 фазового превращения // *Деформация и разрушение материалов*. 2016. № 10. С. 15–21.
12. Volkov A.Yu., Novikova O.S., Antonov B.D. The kinetics of ordering in an aquiatomic CuPd alloy: A resistometric study // *Journal of alloys and compounds*. 2013. Vol. 581. P. 625–631.
13. Greenberg B.A., Kruglikov N.A., Rodionova L.A., Volkov A.Yu., Grokhovskaya L.G., Gushcin G.M., Sakhanskaya I.N. Optimized Mechanical Properties of Ordered Noble Metal Alloys // *Platinum Metals Review*. 2003. Vol. 47. № 2. P. 46–58.
14. Гринберг Б.А., Горностырев Ю.Н. Наследование дислокационной структуры и рекристаллизация упорядоченных сплавов. I. Сверхструктура L1₂ // *Физика металлов и металловедение*. 1985. Т. 60. № 1. С. 150–160.
15. Гринберг Б.А., Горностырев Ю.Н. Наследование дислокационной структуры и рекристаллизация упорядоченных сплавов. II. Сверхструктуры L1₀ B2 // *Физика металлов и металловедение*. 1985. Т. 60. № 1. С. 161–170.
16. Sun L., Bai J., Yin L., Gan Y., Xue F., Chu C., Yan J., Wan X., Ding H., Zhou G. Effect of annealing on the microstructures and properties of cold drawn Mg alloy wires // *Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. A645. P. 181–187.
17. Тонкая структура и свойства твердых растворов: сб. статей / под ред. В. Кеснера. М.: Металлургия, 1968. 223 с.
18. Исламгалиев Р.К., Нестеров К.М., Валиев Р.З. Структура, прочность и электропроводность медного сплава системы Cu-Cr, подвергнутого интенсивной пластической деформации // *Физика металлов и металловедение*. 2015. Т. 116. № 2. С. 219–228.
19. Pfeiler W. Investigation of short-range order by electrical resistivity measurement // *Acta Metallurgica*. 1988. Vol. 36. № 9. P. 2417–2434.
20. Савицкий Е.М., Полякова В.П., Тылкина М.А. Сплавы палладия. М.: Наука, 1967. 215 с.
21. Svensson B. Magnetische Suszeptibilität und elektrischer Widerstand der Mischkristallreihen PdAg und PdCu // *Annalen der Physik*. 1932. В. 14. № 5. S. 699–711.
22. Taylor R. Transformation in the copper-palladium alloys // *Journal of the Institute of Metals*. 1934. Vol. 54. № 1. P. 255–272.
23. Mitsui K. Change in electrical resistivity during continuous heating of Cu₃Pd alloys quenched from various temperatures // *Philosophical Magazine B*. 2001. Vol. 81. № 4. P. 433–449.
24. Mitsui K., Takahashi M. Electrical resistivity change during continuous heating in Cu-18at.%Pd alloys quenched from various temperatures // *Scripta Materialia*. 1998. Vol. 38. № 9. P. 1435–1441.

REFERENCES

1. Osintsev O.E., Fedorov V.N. *Med' i mednye splavy* [Copper and copper alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 336 p.
2. Sitarama R.K., Subramanya S.V., Kauffmann A., Hegedus Z., Gubicza J., Peterlechner M., Freudenberger J., Wilde G. High strength and ductile ultrafine-grained Cu-Ag alloy through bimodal grain size, dislocation density and solute distribution. *Acta Materialia*, 2013, vol. 61, no. 1, pp. 228–238.
3. Wang H., Zhang Z., Zhang H., Hu Z., Li S., Cheng X. Novel synthesizing and characterization of copper matrix composites reinforced with carbon nanotubes. *Materials Science and Engineering A*, 2017, vol. 696, pp. 80–89.
4. Sandim H.R.Z., Sandim M.J.R., Bernardi H.H., Lins J.F.C., Raabe D. Annealing effects on the microstructure and texture of a multifilamentary Cu-Nb composite wire. *Scripta Materialia*, 2004, vol. 51, no. 11, pp. 1099–1104.
5. Volkov A.Yu., Novikova O.S., Kostina A.E., Antonov B.D. Effect of alloying with palladium on the electrical and mechanical properties of copper. *The physics of metals and metallography*, 2016, vol. 117, no. 9, pp. 945–954.
6. Subramanian P.R., Laughlin D.E. Cu-Pd (Copper-Palladium). *Journal of Phase Equilibria*, 1991, vol. 12, no. 2, pp. 231–243.
7. Volkov A.Yu. Improvements to the microstructure and physical properties of Pd-Cu-Ag alloys. *Platinum Metals Review*, 2004, vol. 48, no. 1, pp. 3–12.
8. Williamson G.K., Hall W.H. X-ray line broadening from fcc aluminum and wolfram. *Acta Metallurgica*, 1953, vol. 1, no. 1, pp. 22–31.

9. Buynova L.N., Gokhfeld N.V., Kourov N.I., Pilyugin V.P., Pushin V.G. Formation of the nanostructured state in atomically ordered copper-palladium alloys subjected to severe deformation by torsion. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2009, no. 10, pp. 24–29.
10. Volkov A.Yu., Kostina A.E., Volkova E.G., Novikova O.S., Antonov B.D. Microstructure and physical-mechanical properties of Cu-8at.%Pd alloy. *The physics of metals and metallography*, in print.
11. Novikova O.S., Volkov A.Yu., Antonov B.D. Structure and physical-mechanical properties of Cu-49at.%Pd alloy at different stages of A1—B2 phase transformation. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2016, no. 10, pp. 15–21.
12. Volkov A.Yu., Novikova O.S., Antonov B.D. The kinetics of ordering in an aquiatomic CuPd alloy: A resistometric study. *Journal of alloys and compounds*, 2013, vol. 581, pp. 625–631.
13. Greenberg B.A., Kruglikov N.A., Rodionova L.A., Volkov A.Yu., Grokhovskaya L.G., Gushcin G.M., Sakhanskaya I.N. Optimized Mechanical Properties of Ordered Noble Metal Alloys. *Platinum Metals Review*, 2003, vol. 47, no. 2, pp. 46–58.
14. Grinberg B.A., Gornostyrev Yu.N. Inheritance of the dislocation structure and the recrystallization of ordered alloys. I. Superstructure L₁₂. *The physics of metals and metallography*, 1985, vol. 60, no. 1, pp. 139–148.
15. Grinberg B.A., Gornostyrev Yu.N. Inheritance of the dislocation structure and the recrystallization of ordered alloys. II. Superstructures B2 and L₁₀. *The physics of metals and metallography*, 1985, vol. 60, no. 1, pp. 149–157.
16. Sun L., Bai J., Yin L., Gan Y., Xue F., Chu C., Yan J., Wan X., Ding H., Zhou G. Effect of annealing on the microstructures and properties of cold drawn Mg alloy wires. *Materials Science and Engineering*, 2015, vol. A645, pp. 181–187.
17. Kesner V., ed. *Tonkaya struktura i svoystva tverdykh rastvorov*. Sbornik statey [Thin structure and properties of solid solutions]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 223 p.
18. Islamgaliev R.K., Nesterov K.M., Valiev R.Z. Structure, strength, and electric conductivity of a Cu-Cr copper-based alloy subjected to severe plastic deformation. *Materials Science and Engineering*, 2015, vol. 116, no. 2, pp. 209–218.
19. Pfeiler W. Investigation of short-range order by electrical resistivity measurement. *Acta Metallurgica*, 1988, vol. 36, no. 9, pp. 2417–2434.
20. Savitsky E.M., Polyakova V.P., Tylkina M.A. *Splavy palladiya* [Palladium alloys]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 215 p.
21. Svensson B. Magnetische Suszeptibilität und elektrischer Widerstand der Mischkristallreihen PdAg und PdCu. *Annalen der Physik*, 1932, B. 14, no. 5, S. 699–711.
22. Taylor R. Transformation in the copper-palladium alloys. *Journal of the Institute of Metals*, 1934, vol. 54, no. 1, pp. 255–272.
23. Mitsui K. Change in electrical resistivity during continuous heating of Cu₃Pd alloys quenched from various temperatures. *Philosophical Magazine B*, 2001, vol. 81, no. 4, pp. 433–449.
24. Mitsui K., Takahashi M. Electrical resistivity change during continuous heating in Cu-18at.%Pd alloys quenched from various temperatures. *Scripta Materialia*, 1998, vol. 38, no. 9, pp. 1435–1441.

THE INFLUENCE OF PROLONGED ANNEALING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE DEFORMED Cu-8at.%Pd ALLOY

© 2017

A.E. Kostina, graduate student, research engineer of Strength Laboratory
A.Yu. Volkov, PhD (Engineering), Head of Strength Laboratory

M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Keywords: copper-palladium alloys; phase transformations; L₁₂-type superstructure; structural method of study; critical temperature of ordering.

Abstract: The authors discovered the lack of literature sources on the structure and mechanical-and-physical properties of copper alloys with the palladium content of less than 10 at. %. It is determined that in the “copper corner” of the common Cu-Pd phase diagram, the temperature-concentration boundary between the disordered FCC-phase and the ordered L₁₂-type phase was drawn without the relevant experimental support. At the same time, these alloys are attractive as the basis for the development of high-strength conductive materials.

The authors studied the evolution of the structure, microhardness, and specific electrical resistivity in the process of prolonged annealing of the Cu-8at.%Pd alloy. The increase of microhardness and specific electrical resistivity of pre-deformed samples after thermal processing at 250 °C and 300 °C was detected. It is shown, that the prolonged low-temperature annealing of the alloy with slow cooling leads to the increase of its specific electrical resistivity. The authors conclude that all the observed anomalies of properties are explained by the formation of the ordered L₁₂ phase nuclei in the deformed matrix. The results of the study confirm that the preliminary deformation accelerates significantly the processes of atomic ordering. However, the rate of atomic ordering is extremely low: to determine a new phase using the structural methods, the low-temperature annealing for several months is necessary.

Based on the results of the study, it was concluded that the critical temperature of the order-disorder phase transformation in the alloy under the study is approximately 340 °C. Since the temperature boundary of phase transformation for the alloy of tested concentration was drawn on the common Cu-Pd phase diagram at 400 °C, the authors concluded as well, that the “copper angle” on phase diagram needs to be refined.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ

© 2017

А.В. Назарьев, аспирант кафедры «Технология машиностроения»

П.Ю. Бочкарев, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Технология машиностроения»

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов (Россия)

Ключевые слова: сборочное производство; комплекс проектных процедур; высокоточные изделия; граф размеров; граф сопряжения элементов сборочной единицы; граф технологического процесса.

Аннотация: В настоящее время вопрос совершенствования изготовления высокоточных узлов приобретает первостепенное значение, так как данные изделия характеризуются жесткими, постоянно возрастающими требованиями к точности и качеству изготовления. Это приводит к возникновению проблемы достижения заданных эксплуатационных характеристик таких изделий. На сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы, отсутствует наиболее приближенная к реальным требованиям концепция системы в целом. Именно поэтому необходимо проведение исследований по созданию комплексного подхода, обеспечивающего эффективное выполнение сборки высокоточных изделий. В статье формируется структура комплексного подхода (комплекса проектных процедур), который основывается на установлении связи между технологической подготовкой обрабатывающего и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия. Также в статье выбираются и анализируются математические модели и подходы для реализации комплекса (математическая модель представления и анализа деталей и сборок, исходными данными для которой являются полученные графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров; подход для автоматизации расчета технологических размерных цепей, исходными данными для которого являются граф технологического процесса и размерные цепи). Реализация данного комплексного подхода в системе автоматизированного планирования технологических процессов позволяет учитывать реально складывающуюся производственную ситуацию и выбирать рациональные технологические процессы обработки деталей с учетом требований сборки, что, в свою очередь, приводит к повышению точности и качества, снижению трудоемкости, времени изготовления и себестоимости высокоточных изделий, а также к сокращению времени и трудоемкости при технологической подготовке производства.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перед машиностроительным производством стоит задача выпуска в короткий срок небольшими партиями изделий высокой функциональной точности. При традиционных методах изготовления заданная точность достигается усложнением технологического оборудования и использованием информационных и измерительных технологий. Однако в настоящее время функциональная точность высокоточных изделий (приборов и машин) превзошла точность обрабатывающего и сборочного оборудования почти на порядок. Это привело к возникновению проблемы достижения заданных точности и качества изготовления высокоточных изделий [1]. Данная проблема решается в основном затратными способами в виде многочисленных доработок, переборок и уточнения конструкции. Кроме того, значительные трудности, особенно на этапе сборочного производства, создает влияние непознанных и неуправляемых причин, вызывающее непрогнозируемый разброс заданных эксплуатационных характеристик [2–4].

Существующие методы достижения точности сборки не являются универсальными и зависят от типа производства и конструктивных особенностей изготавливаемых изделий. Например, метод селективной сборки обеспечивает требуемое качество сборки изделий из деталей, точность изготовления которых значительно меньше заданной функциональной. Данный метод обеспечивает низкую себестоимость изготовления изделия, но эффективен только в крупносерийном и массовом производствах. Кроме того, при сборке высоко-

точных изделий в основном не предусматривается возможность использования методов селективной сборки, индивидуальной пригонки и регулирования. Значительно чаще применяются производственные приемы достижения точности (доводочные работы). Это негативно сказывается на длительности и стоимости сборочного цикла.

Основными требованиями эффективного функционирования машиностроительных предприятий являются сжатые сроки (соответственно выбранному типу производства и такту выпуска при массовом производстве) и высокое качество технологической подготовки производства (ТПП). Именно поэтому необходимо проведение исследований по созданию комплексного подхода к решению существующих задач в машиностроении, особенно в области сборки высокоточных изделий [3; 4].

Целью статьи является формирование структуры комплексного подхода, обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между ТПП обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий, с учетом требований, заложенных при проектировании изделия, а также выбор и анализ решений для его реализации. Научная новизна данной работы заключается в том, что на сегодняшний день наблюдаются разрозненные решения отдельных задач этой проблемы: повышения качества и точности собираемых изделий, снижения затрат на материалы, внедрения ресурсосберегающих технологий и т. п. [2; 5; 6]. Отсутствует отвечающая реальным требованиям концепция системы в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предлагается подход (комплекс проектных процедур), который основывается на установлении связи между технологической подготовкой обрабатываемого и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия [7; 8]. В общем виде связь представлена на рис. 1. Данный подход позволит в зависимости от складывающейся производственной ситуации выбирать оптимальные технологические процессы обработки элементов, учитывающие требования последующей сборки, что, в свою очередь, позволит снизить трудоемкость, время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, а также сократить время и трудоемкость при ТПП.

Структура комплекса включает в себя следующие процедуры: анализ требований к сборке высокоточных изделий; анализ возможных технологических процессов обработки деталей, входящих в высокоточные изделия; выбор на основе анализа рациональных технологических процессов. Структура комплекса в общем виде приведена на рис. 2.

Анализ исходных данных и разработка рациональных технологических процессов в системе автоматизированного планирования технологических процессов (САПЛ-ТП) [9–11] включают в себя несколько этапов.

На начальных этапах проводится конструкторский размерный анализ сборочного изделия и деталей, задействованных в сборке, и технологический размерный анализ множества возможных вариантов технологических процессов, разработанных в САПЛ-ТП. Исходными данными для проведения конструкторского размерного анализа являются: конструкторская документация на сборочное изделие; конструкторская документация на детали, задействованные в сборке.

На основе исходных данных проводится конструкторский размерный анализ сборочного изделия и деталей, участвующих в сборке. В ходе него определяются критичные требования сборки и детали, участвующие в этих требованиях.

Размерные связи машиностроительных деталей (сборочных изделий) представляются графом, вершины которого обозначают элементарные поверхности, а ребра – размерные связи между ними. В результате конструкторского размерного анализа формируются графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров. Для автоматизации этапа применена математическая модель представления и анализа деталей и сборок, исходными данными для которой являются полученные графы сопряжений сборочной единицы и графы размеров [12–14].

Проектирование технологических процессов в настоящее время невозможно без участия технологов. Это приводит к субъективному подходу при принятии решений на стадии ТПП и, как следствие, к снижению показателей эффективности работы производственных систем при реализации технологических процессов. Кроме того, разработка технологических процессов неавтоматизированными методами в условиях многономенклатурного производства позволяет анализировать ограниченное число вариантов на отдельных этапах проектирования. Следствием этого становится потеря качества технологических решений и увеличение сроков ТПП. Одним из подходов, позволяющих автоматизировать ТПП, является САПЛ-ТП. Данная система позволяет обеспечивать параллельное проектирование технологических процессов для заданной группы деталей в рассматриваемый период времени с учетом реально складывающейся производственной ситуации [9–11].

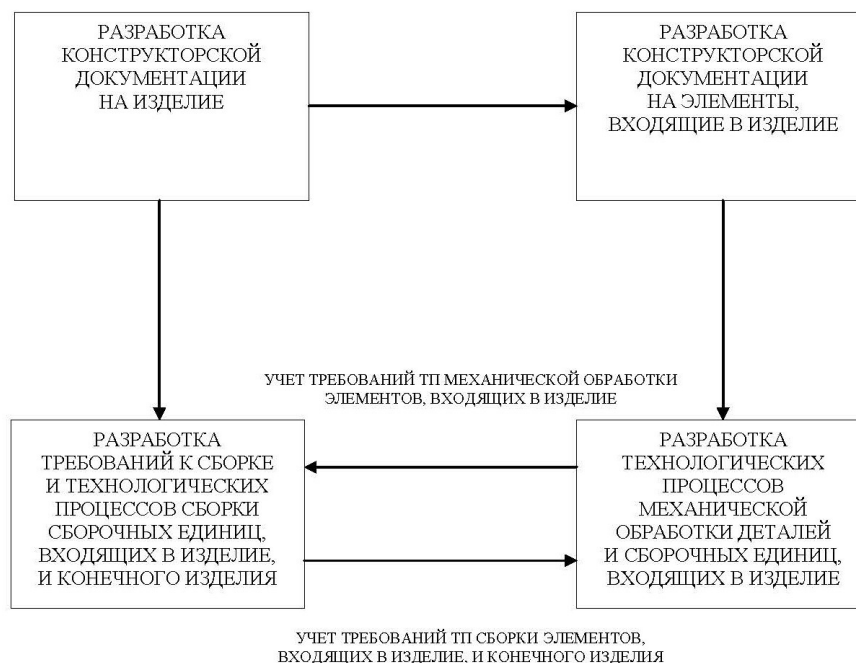


Рис. 1. Связь между технологической подготовкой обрабатываемого и сборочного производств с учетом требований, заложенных при проектировании изделия

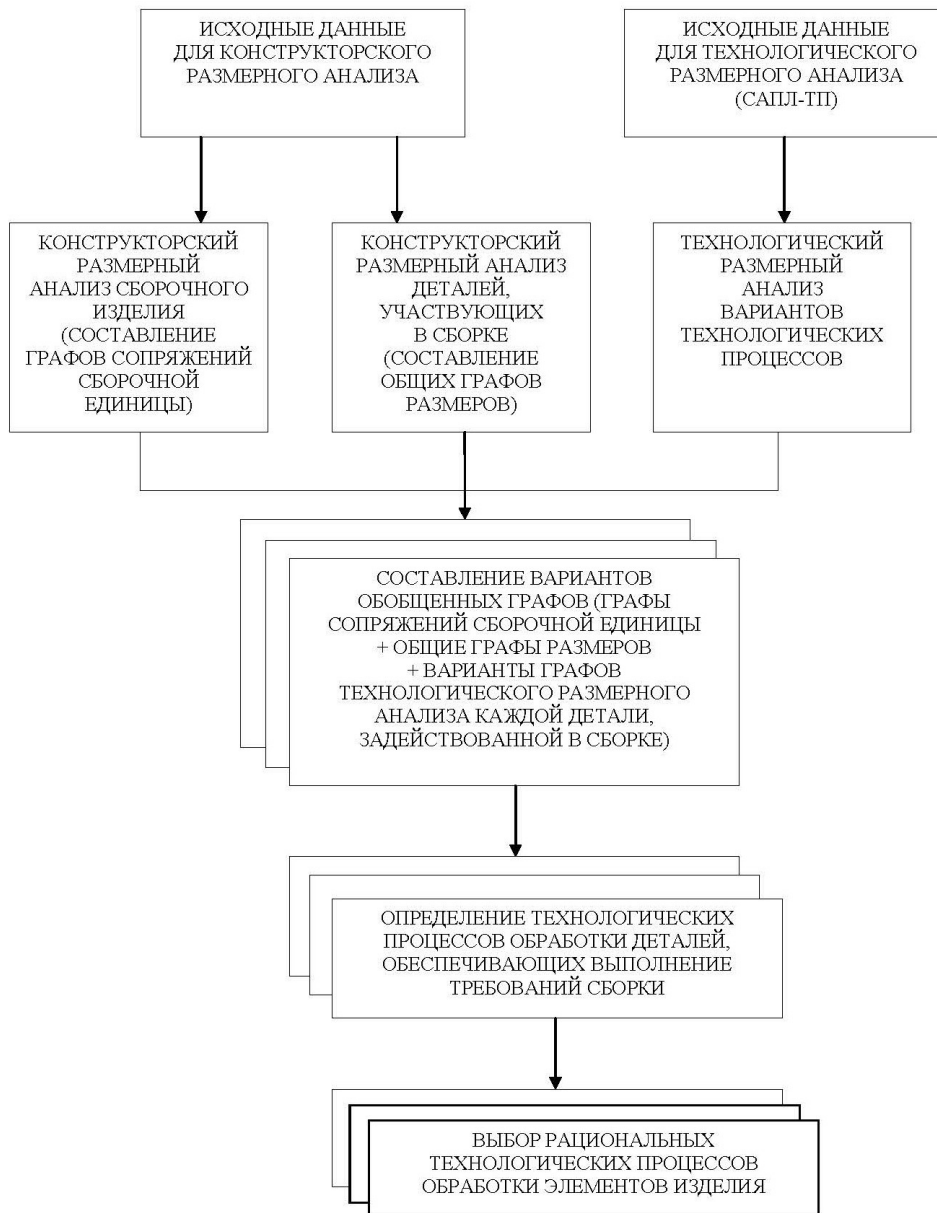


Рис. 2. Структура комплекса проектных процедур

Исходными данными для технологического размерного анализа является множество вариантов технологических процессов изготовления деталей, задействованных в сборке, полученное в САПР-ТП.

Технологический размерный анализ заключается в построении графов возможных технологических процессов изготовления деталей. Граф представляет собой совмещение двух деревьев: производного и исходного. Производное дерево отображает технологические размеры, исходное дерево – конструкторские размеры и размеры припусков. Таким образом, граф технологического процесса позволяет в закодированной форме представить геометрическую структуру технологического процесса обработки и является его математической моделью. Применение таких математических моделей позволит выбирать технологические процессы обработки элементов, в наибольшей степени удовлетворяющие требованиям по точности изготовления и требованиям сборки изделия [15–17].

На рис. 3 а, 3 б представлены размерные схемы (радиальное направление) двух вариантов технологических процессов для детали «Ось» и их расчет на точность с применением теории графов (A – конструкторские размеры, T – технологические размеры, Z – размер исходной заготовки, Z – припуски на механическую обработку).

Для автоматизации расчета технологических размерных цепей использован подход, исходными данными для которого являются граф технологического процесса и размерные цепи. В нем используются две матрицы: номинальных размеров и допусков. Можно выделить следующие преимущества данного подхода:

- отсутствует необходимость выявления увеличивающих и уменьшающих звеньев отдельных размерных цепей и составления уравнений расчета;
- для выполнения необходимых расчетов номинальных размеров и их допусков требуется составить только две матрицы смежности (матрицу допусков и матрицу номинальных размеров) и размерную цепь;

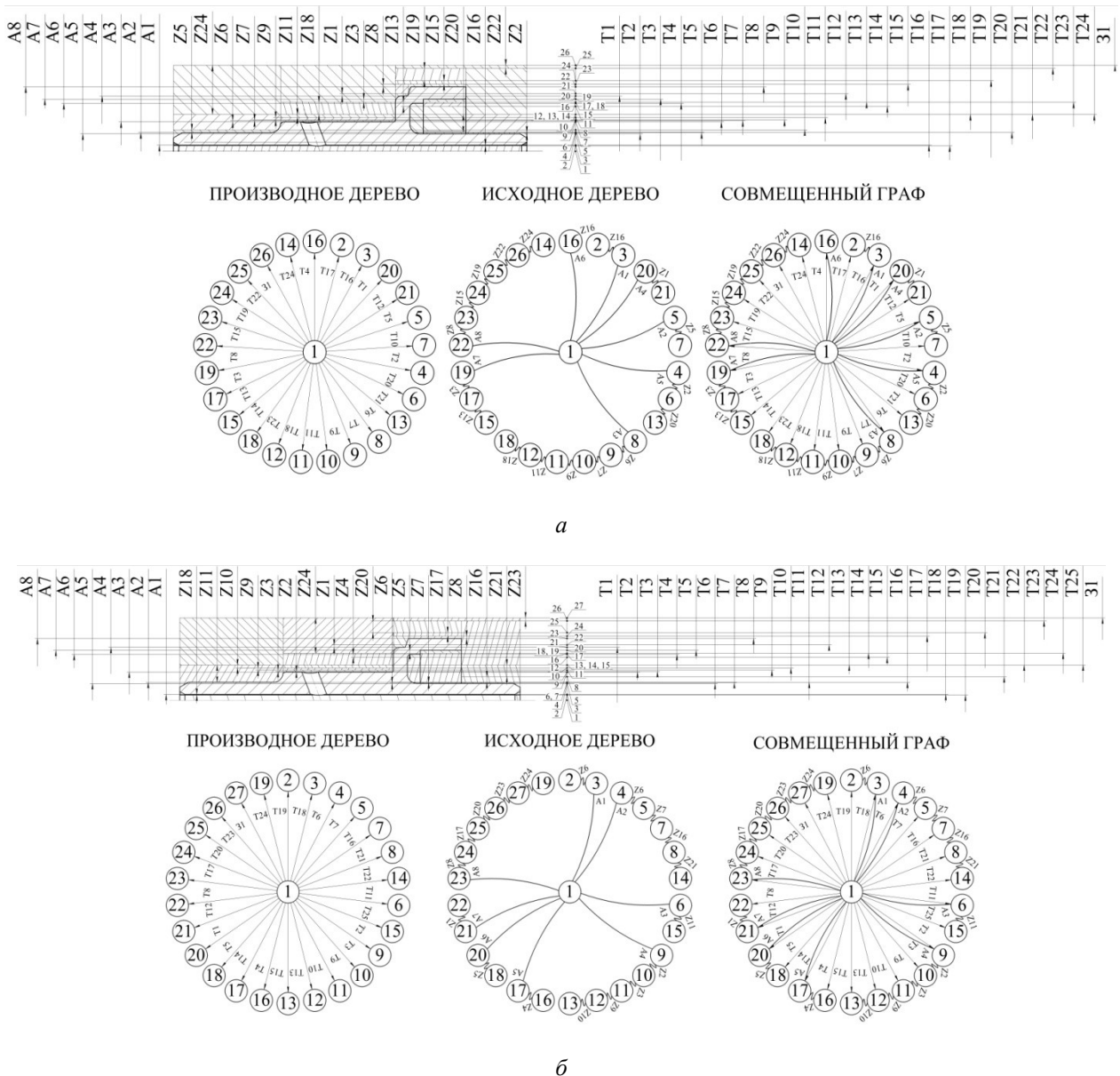


Рис. 3. Размерная схема и расчет на точность для технологического процесса № 1 (а) и технологического процесса № 2 (б) детали «Ось»

– при реализации алгоритма не требуется особая нумерация поверхностей;

– алгоритм позволяет автоматизировать расчеты цепей отклонения формы и расположения;

– алгоритм может быть применен для размерного анализа технологических процессов как деталей типа «тело вращения», так и более сложных изделий [18–20].

На заключительном этапе выбирается множество технологических процессов изготовления деталей, удовлетворяющих требованиям сборки (точность и качество изготовления, собираемость изделий). Среди них определяется вариант рационального технологического процесса с учетом складывающейся производственной ситуации. Выбор варианта рационального технологического процесса осуществляется по следующим критериям: время реализации технологического процесса; количество операций технологического процесса; производственные мощности предприятия (наличный парк станков, технологическая оснастка, средства измерения

и прочие условия, при которых должна осуществляться обработка детали); себестоимость изготовления детали; стоимость реализации; норма прибыли.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Представлена структура и проанализированы возможные решения реализации комплекса проектных процедур, обеспечивающего эффективное выполнение сборочных операций на основе связи между ТПП обрабатывающего и сборочного производств высокоточных изделий, с учетом требований, заложенных при проектировании изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация данного подхода в САПР-ТП является актуальной, так как комплекс проектных процедур позволит учитывать реально складывающуюся производственную ситуацию и выбирать рациональные технологические процессы обработки деталей с учетом требований

сборки, что позволит снизить трудоемкость, время изготовления и себестоимость, повысить качество и точность высокоточных изделий, а также сократить время и трудоемкость при ТПП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А.Н. Проблемы теоретического обеспечения сборки высокотехнологических изделий // *Инструмент и технологии*. 2004. № 21-22. С. 122–124.
2. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 684 с.
3. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2005. 736 с.
4. Падун Б.С. Взаимодействие процессов механического и сборочного производства // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2014. Т. 57. № 8. С. 12–15.
5. Суслов А.Г. Технология машиностроения. М.: Кнорус, 2013. 336 с.
6. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2014. Т. 57. № 8. С. 7–11.
7. Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Обеспечение эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий машиностроения и приборостроения // *Научноёмкие технологии в машиностроении*. 2016. Т. 1. № 12. С. 28–34.
8. Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю. Организация эффективного выполнения сборочных операций высокоточных изделий авиационно-космической техники // *Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева*. 2017. № 1. С. 227–235.
9. Бочкарев П.Ю., Шалунов В.В., Бокова Л.Г. Проектирование технологических операций механообработки в системе планирования технологических процессов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2009. Т. 3. № 1. С. 46–54.
10. Иванов А.А., Бочкарев П.Ю. Формализация описания и метода поиска оптимальной реализации технологических процессов механообработки в системе планирования технологических процессов // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2015. Т. 3. № 1. С. 76–85.
11. Разманов И.А., Митин С.Г. Обоснование системы показателей для оценки уровня проектных решений различных этапах подготовки многономенклатурных производств // *Новая наука: проблемы и перспективы*. 2016. № 2-1. С. 180–183.
12. Гречников Ф.В., Глустенко С.Ф. Проектирование технологических процессов сборки по критериям точности // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва*. 2011. № 3-4. С. 38–43.
13. Гречников Ф.В., Глустенко С.Ф. Обеспечение точности и взаимозаменяемости в технологических автоматизированных системах производства летательных аппаратов // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13. № 4-1. С. 202–208.
14. Гречников Ф.В., Глустенко С.Ф. Теория формализованного описания математических моделей сборки агрегатов летательных аппаратов // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2011. № 3-4. С. 30–37.
15. Матвеев В.В., Тверской М.М., Бойков Ф.И. Размерный анализ технологических процессов. М.: Машиностроение, 1982. 264 с.
16. Мордвинов Б.С. Исследование геометрических структур с применением теории графов // *Известия вузов. Машиностроение*. 1965. № 3. С. 111–118.
17. Харари Ф. Теория графов. М.: Машиностроение, 2003. 296 с.
18. Масыгин В.Б., Головченко С.Г. Метод расчета линейных технологических размеров на основе матричного представления графа // *Омский научный вестник. Серия: Приборы, машины и технологии*. 2003. № 3. С. 75–78.
19. Thimm G., Britton G.A., Fok S.C. A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning. Part 1: Designing to process planning // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2004. Vol. 24. P. 261–271.
20. Мухомозов А.В. Алгоритм модуля автоматизированного расчета технологических размерных цепей // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2015. Т. 15. № 3. С. 48–55.

REFERENCES

1. Semenov A.N. The issues of theoretical provision of high-technology goods assembling. *Instrument i technologii*, 2004, no. 21-22, pp. 122–124.
2. Suslov A.G., Dalskiy A.M. *Nauchnye osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Scientific bases of technology of mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2002. 684 p.
3. Bazrov B.M. *Osnovy tekhnologii mashinostroeniya* [Fundamentals of mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 736 p.
4. Padun B.S. Interaction of processes of machining and assembling works. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priboroostroenie*, 2014, vol. 57, no. 8, pp. 12–15.
5. Suslov A.G. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Mechanical engineering technology]. Moscow, Knorus Publ., 2013. 336 p.
6. Kulikov D.D., Padun B.S., Yablochnikov E.I. Perspectives of automation of technological reproduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priboroostroenie*, 2014, vol. 57, no. 8, pp. 7–11.
7. Nazarev A.V., Bochkarev P.Yu. Assurance of efficient assembly operations carrying out of products of mechanical engineering and instrument making. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2016, vol. 1, no. 12, pp. 28–34.
8. Nazarev A.V., Bochkarev P.Yu. Architecture of assembly operations effective implementation for aerospace engineering high-precision workpieces. *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Soloveva*, 2017, no. 1, pp. 227–235.
9. Bochkarev P.Yu., Shalunov V.V., Bokova L.G. Machining technological operations designing within the system of technological operations planning. *Vestnik*

- Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 3, no. 1, pp. 46–54.
10. Ivanov A.A., Bochkarev P.Yu. Formalizing the description and methods for optimization of mechanical treatment technologies within the system of planning technological processes. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 76–85.
 11. Razmanov I.A., Mitin S.G. The justification for the system of parameters to evaluate the level of design decisions at various stages of preparation of multiproduct manufacture. *Novaya nauka: problemy i perspektivy*, 2016, no. 2-1, pp. 180–183.
 12. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Designing the assembly processes upon the precision criterion. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroleva*, 2011, no. 3-4, pp. 38–43.
 13. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Maintenance of accuracy and interchangeability in the technological automated systems of manufacture of flying machines. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2011, vol. 13, no. 4-1, pp. 202–208.
 14. Grechnikov F.V., Tlustenko S.F. Theory representations mathematical models and sequences of performance of technological operators of assemblage of planes. *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie*, 2011, no. 3-4, pp. 30–37.
 15. Matveev V.V., Tverskoy M.M., Boykov F.I. *Razmernyy analiz tekhnologicheskikh protsessov* [Tolerance analysis of technological process]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 264 p.
 16. Mordvinov B.S. The study of geometric structures using the graph theory. *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie*, 1965, no. 3, pp. 111–118.
 17. Kharari F. *Teoriya grafov* [Graph theory]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 296 p.
 18. Masyagin V.B., Golovchenko S.G. The method of calculating the linear machining dimensions using the graph's matrix representation. *Omskiy nauchnyy vestnik. Seriya: Pribory, mashiny i tekhnologii*, 2003, no. 3, pp. 75–78.
 19. Thimm G., Britton G.A., Fok S.C. A graph theoretic approach linking design dimensioning and process planning. Part 1: Designing to process planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2004, vol. 24, pp. 261–271.
 20. Mukholzoev A.V. The algorithm for automated calculation of technological dimensional chains. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 48–55.

ENGINEERING SUPPORT OF PRODUCTION OF HIGH-ACCURACY COMPONENT ASSEMBLIES

© 2017

A.V. Nazaryev, postgraduate student of Chair “Mechanical engineering”
P.Yu. Bochkarev, Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor, professor of Chair “Mechanical engineering”
Gagarin Yu.A. Saratov State Technical University, Saratov (Russia)

Keywords: assembly factory; design procedures complex; high-accuracy products; dimensions graph; graph of conjugation of assembly unit components; engineering process graph.

Abstract: Currently, the issue of improving the production of high-accuracy assembly units takes the center stage since these products are characterized by rigid, increasingly stringent requirements for accuracy and quality of manufacture. This leads to the problem of achieving specified operational characteristics of such products. Today, there are some isolated solutions to the individual tasks of this problem, and there is no any closest to real requirements concept of the system as a whole. For this reason, it is necessary to carry out the research to create the integrated approach ensuring the efficient assembly of high-accuracy products. The paper forms the structure of integrated approach (the complex of design procedures) based on the establishing the relation between the processing and assembling factories pre-production engineering with respect to the requirements specified during the product designing. The paper also selects and analyzes the mathematical models and approaches for implementing the complex (the mathematical model for the representation and analysis of the parts and assemblies the initial data for which are the obtained graphs of conjugations of assembly unit components and the dimensions graphs; the approach to automate the process dimension chains the initial data for which are the engineering process graph and the dimension chains). The implementation of this integrated approach within the system of automated manufacturing planning allows taking into account the actual manufacturing situation and selecting reasonable engineering procedures of the parts processing with respect to the assembly requirements that, in its turn, leads to the accuracy and quality improvement, labor saving, the production time reduction, and the high-accuracy products cost reduction, and causes time reduction and labor saving during the pre-production engineering.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА КИНЕТИКУ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ TiNi

© 2017

В.В. Непомнящая, аспирант*В.В. Рубаник*, доктор технических наук,

профессор кафедры «Физика и техническая механика»

Витебский государственный технологический университет, Витебск (Беларусь)

Ключевые слова: ультразвуковая механоактивация; аморфные сплавы; сплавы с памятью формы.

Аннотация: Влияние ультразвуковой механоактивации на аморфные сплавы остается практически неизученным. Влияние ультразвука на кристаллизацию аморфных лент сплавов на основе TiNi, формирование их структуры и свойств до настоящего времени не было исследовано. В кристаллическом состоянии аморфные сплавы на основе TiNi испытывают термоупругие мартенситные превращения, которые являются основой для проявления необычных механических свойств – эффектов памяти формы. Аморфные сплавы с памятью формы являются наиболее перспективными материалами, которые после кристаллизации испытывают термоупругие мартенситные превращения. Такие материалы используют как основу для создания кристаллических материалов с заданными параметрами кристаллической структуры или для получения аморфно-кристаллических композитов. Целью работы являлось исследование влияния ультразвуковой механоактивации на кинетику кристаллизации и мартенситные превращения аморфного сплава с памятью формы методом дифференциально сканирующей калориметрии. Ультразвуковая механоактивация была проведена двумя способами: в волноводе продольных ультразвуковых колебаний и в ультразвуковой наковальне. В первом способе ультразвуковой механоактивации аморфная лента была закреплена в волноводе продольных колебаний и подвергнута ультразвуковому облучению различной длительности. Для инициирования ультразвуковых колебаний использован ультразвуковой низкочастотный диспергатор УЗДН-2Т частотой 22 кГц. Во втором способе аморфная лента располагается горизонтально, а вертикально расположенный волновод воздействует контактным способом. Такой способ применяется для поверхностного упрочнения металлов и сплавов. Для инициирования ультразвуковых колебаний использован ультразвуковой генератор УЗГ 1-1. В качестве объекта исследований были выбраны аморфные ленты состава $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$. Калориметрические измерения проводились с использованием дифференциально сканирующего калориметра Mettler Toledo 822e. Полученные данные показали, что после проведения ультразвуковой механоактивации температуры и энергии кристаллизации и мартенситных превращений изменяются, что может свидетельствовать об уменьшении размера зерна кристаллической фазы.

ВВЕДЕНИЕ

Эффект механоактивации выявлен довольно давно [1; 2]. Как правило, под механической обработкой понимают высокоинтенсивное перемешивание в мельницах [3; 4], однако в последнее время в качестве механической обработки рассматривают и воздействие механических колебаний различной частоты. В большей степени это относится к ультразвуковым колебаниям (ультразвуковая механоактивация).

Впервые влияние ультразвуковых колебаний на изменение структуры твердых тел было обнаружено при кристаллизации металлов и сплавов из жидкого состояния. Введение ультразвуковых колебаний (УЗК) в расплав позволяет уменьшить размер образующихся кристаллических зерен за счет увеличения количества зародышей, предотвратить образование дендритной структуры, существенно уменьшить разброс зерен по размерам [5]. Кроме этого, ультразвуковое воздействие влияет на образование вторичных фаз и их распределение по объему сплава, т. е. позволяет получить более однородную структуру материала, что существенно улучшает как физические, так и механические свойства металла [6–8].

В качестве объектов для механоактивации было опробовано большое количество различных веществ: от металлов (для получения сплавов различного состава – эффект механолегирования [9]) до минералов (для увеличения степени извлечения ценного компонента [10]).

Однако влияние ультразвуковой механоактивации на аморфные сплавы с памятью формы оказывается практически неизученным.

Цель работы – исследование влияния ультразвуковой механоактивации на кинетику кристаллизации и мартенситные превращения аморфного сплава с памятью формы методом дифференциально сканирующей калориметрии.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ультразвуковая механоактивация была проведена двумя способами: в волноводе продольных ультразвуковых колебаний и в ультразвуковой наковальне.

Ультразвуковую механоактивацию аморфных лент проводили при комнатной температуре 25 °С, которая находится ниже температур структурной релаксации материала. Материал подвергался воздействию ультразвуковых колебаний амплитудой 10 мкм частотой 22 кГц. Длительность ультразвукового воздействия в волноводе продольных ультразвуковых колебаний составляла 12 и 30 мин (рис. 1 а). Ультразвуковое выглаживание в наковальне производилось путем удара твердосплавного наконечника, закрепленного на торце излучателя, по поверхности образца с частотой 20 кГц (рис. 1 б).

Аморфные ленты были изготовлены из сверхчистых металлов с шестикратной переплавкой в дуговой печи в атмосфере аргона. Полученные слитки расплавлялись

в кварцевом тигле в атмосфере гелия и экструдировались через узкое сопло в тигле на поверхность быстро вращающегося медного диска. Скорость охлаждения при закалке составляла 10^6 К/с. Тонкие ленты имели толщину 40 мкм и ширину 1,5–2 мм. Состав лент приведен в таблице 1.



Рис. 1. Обработка аморфных лент:
а) в разрезном волноводе
продольных ультразвуковых колебаний;
б) в ультразвуковой наковальне

Таблица 1. Химический состав аморфной ленты

Содержание элементов в ат. %		
Ti	Ni	Cu
50	25	25

В кристаллическом состоянии аморфные ленты сплавов испытывают термоупругие мартенситные превращения, которые являются основой для проявления необычных механических свойств – эффектов памяти формы [11; 12]. Параметры мартенситных переходов зависят от кристаллической структуры сплава, химического состава и размера зерен [13; 14].

Далее были проведены исследования влияния ультразвуковой механоактивации на параметры кристаллизации и мартенситных переходов в закристаллизованных образцах методом дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК). Дифференциальная сканирующая калориметрия относится к термоаналитическим методам, которые служат для исследования химических реакций, фазовых и других физико-химических превращений, происходящих под влиянием тепла в химических соединениях или (в случае многокомпонентных систем) между отдельными соединениями [15]. ДСК позволяет определить кинетические параметры про-

цесса кристаллизации аморфных сплавов: температуры кристаллизации, энтальпию реакции, эффективные энергии активации стадий процесса [16]. Калориметрические измерения проводились с использованием дифференциально сканирующего калориметра Mettler Toledo 822e.

Исследования кинетики кристаллизации аморфных образцов проводили в камере дифференциально сканирующего калориметра Mettler Toledo 822e. Образцы массой 1–3 мг помещали в камеру и нагревали в интервале температур 25–500 °С с постоянной скоростью 10 К/мин, при этом на калориметрических кривых регистрировали пик выделения тепла, по которому определяли температуры (ошибка определения температуры составила 1 °С) и теплоту кристаллизации (ошибка измерения тепла, выделяющегося при кристаллизации, не превосходила 5 % от измеряемой величины) (рис. 2 а).

После кристаллизации аморфные материалы испытывают термоупругие мартенситные превращения [17]. Для того чтобы определить параметры фазовых переходов, образцы после кристаллизации охлаждали и нагревали в интервале температур от 100 до –100 °С, при этом на калориметрических кривых регистрировали два пика выделения тепла, по которым определяли температуры и энергии обратного и прямого перехода (рис. 2 б).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 представлены калориметрические кривые, полученные при нагреве аморфных сплавов $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ с различной ультразвуковой обработкой. Видно, что при нагреве на калориметрических кривых в интервале температур 450–460 °С наблюдается пик выделения тепла, который соответствует кристаллизации сплава. Кристаллизация аморфных металлических сплавов является термически активируемым процессом [18]. Основные параметры кристаллизации аморфных сплавов: температура ее начала и температуры выпадения кристаллических фаз – являются кинетическими величинами. Они зависят от ряда факторов: состава сплавов, его «термической истории», способа получения, скорости нагрева образца и т. д. [19; 20].

При воздействии ультразвуковой наковальни параметры пика кристаллизации меняются: температура начала кристаллизации увеличивается, а энергия кристаллизации уменьшается. По калориметрическим кривым, представленным на рис. 3, были определены температуры и теплота кристаллизации, значения которых представлены в таблице 2.

Видно, что температуры и теплота процесса кристаллизации различаются, что связано с различной обработкой ультразвуком. Ленты кристаллизуются в кубическую В2 фазу, при этом никаких вторичных фаз, помимо фазы TiNi, обнаружено не было. Это указывает на то, что аморфные сплавы претерпевают полиморфную кристаллизацию, следовательно, в процессе кристаллизации химический состав аморфной и кристаллической фаз не меняется и остается одинаковым на всех этапах кристаллизации. Данные, представленные в таблице 2, указывают на то, что после обработки аморфных лент в волноводе продольных ультразвуковых колебаний температуры и энергия кристаллизации возрастают. После проведения обработки в ультразвуковой наковальне

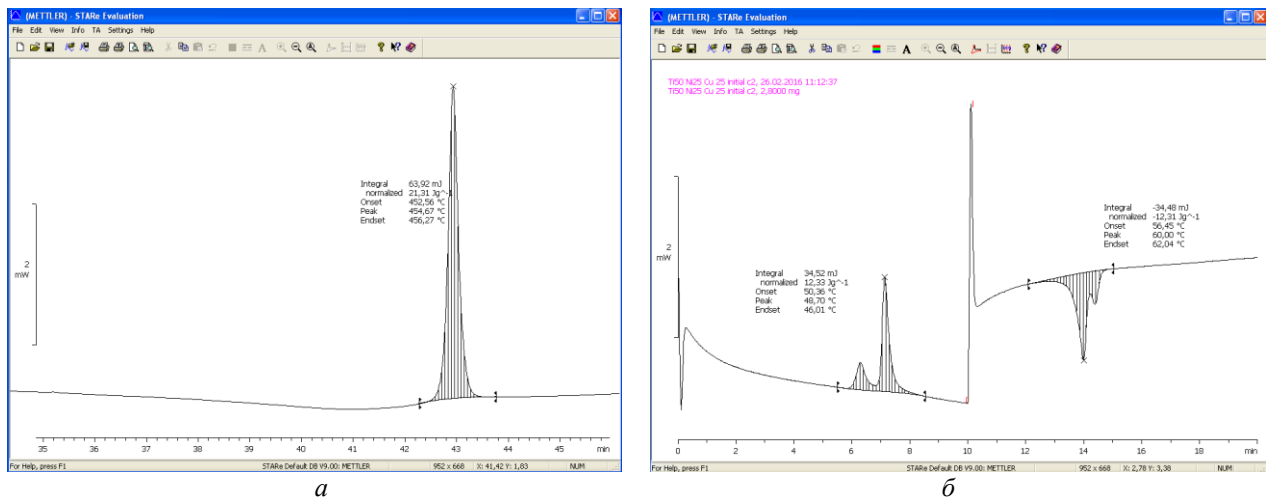


Рис. 2. ДСК кривые аморфного сплава: а) после кристаллизации; б) после охлаждения и нагрева

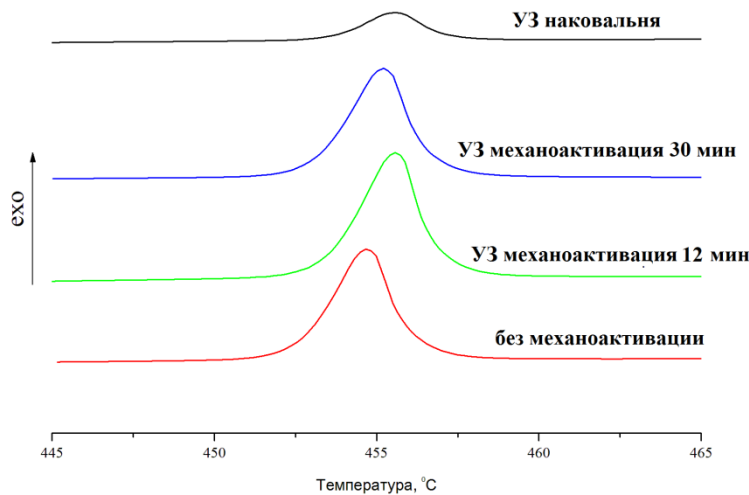


Рис. 3. Калориметрические кривые, полученные при нагреве аморфного сплава $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$

Таблица 2. Температуры и теплота кристаллизации

Тип обработки	Кристаллизация			
	$T_{п}, ^\circ C$	$T_{п}, ^\circ C$	$T_{к}, ^\circ C$	$E, Дж/г$
Без обработки	452	454	456	21,8
Волновод, 12 мин	453	455	457	23
Волновод, 30 мин	453	455	457	24
УЗ наковальня	454	456	458	22,5

видно, что температуры кристаллизации увеличиваются, энергия кристаллизации, наоборот, уменьшается (рис. 4).

Для того чтобы установить, могут ли сплавы после ультразвуковой механоактивации претерпевать мартенситные переходы, а также для того чтобы определить параметры фазовых переходов, образцы после кристаллизации охлаждали и нагревали в интервале температур от 100 до $-100\text{ }^\circ C$, полученные калориметрические кривые представлены на рис. 5.

Видно, что на калориметрических кривых, полученных при охлаждении, наблюдается пик выделения теп-

ла, что связано с реализацией прямого мартенситного перехода из кубической $B2$ фазы в моноклинную $B19'$, а при нагревании – пик поглощения тепла, обусловленный обратным переходом. Следует отметить, что в образцах без обработки и образцах, подвергнутых ультразвуковой механоактивации в волноводе продольных колебаний, наблюдается двухстадийность процесса мартенситных превращений. Это, возможно, свидетельствует о том, что в сплаве присутствует бимодальное распределение по размеру зерна, т. е. наряду с нанокристаллами могут присутствовать кристаллы более

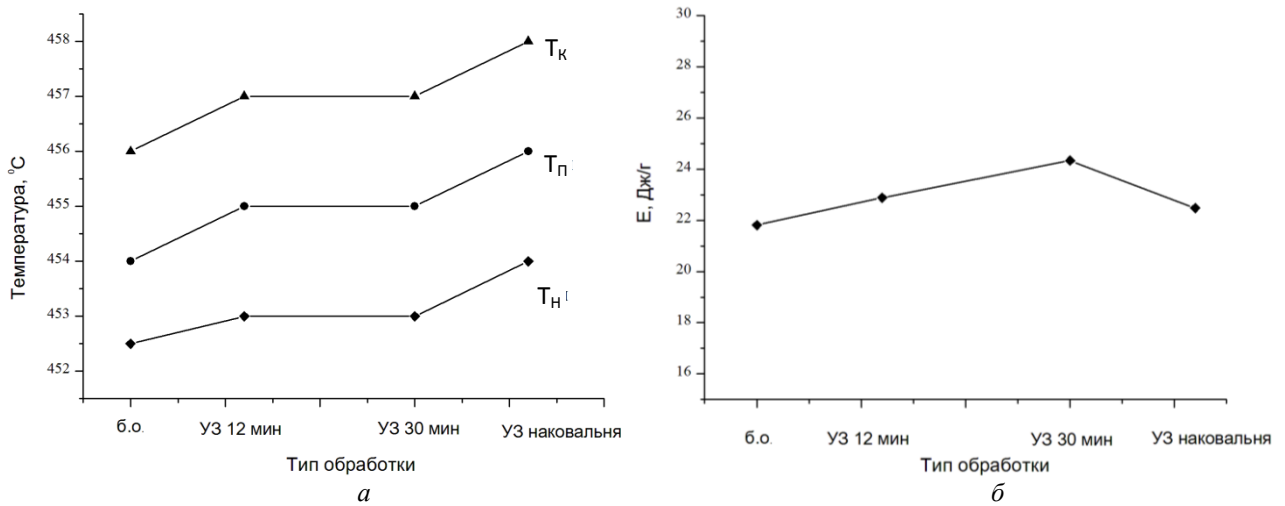


Рис. 4. Зависимости температур (а) и энергии (б) кристаллизации от воздействия ультразвуковой механоактивации

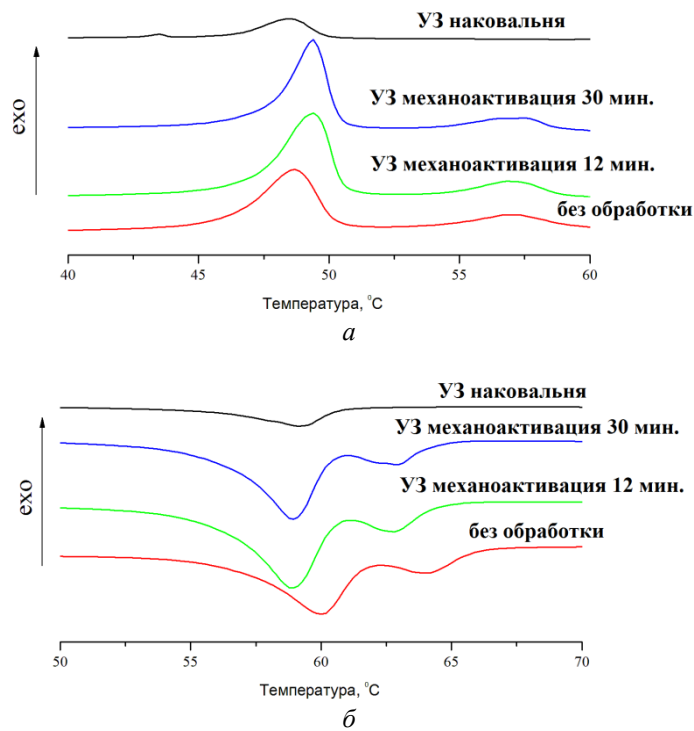


Рис. 5. Калориметрические кривые мартенситных превращений аморфного сплава $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ при охлаждении (а) и нагревании (б)

крупного размера. После ультразвукового выглаживания в наковальне двухстадийность процесса исчезает.

По калориметрическим кривым были определены температуры мартенситных пиков и тепловые эффекты, вычисленные как площади под соответствующими калориметрическими пиками. Данные представлены в таблице 3 и на рис. 6.

Таким образом, полученные результаты показали, что ультразвуковая наковальня понижает температуру начала кристаллизации аморфного сплава, расширяет температурный интервал кристаллизации, уменьшает теплоту, которая выделяется при кристаллизации. Кроме того, ультразвуковая механоактивация оказывает

влияние и на параметры термоупругих мартенситных переходов, температуры и теплота которых понижаются.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования влияния ультразвуковой механоактивации на кинетику кристаллизации и мартенситные превращения аморфного сплава $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ методом дифференциально сканирующей калориметрии показали, что ультразвуковая механоактивация влияет на параметры кристаллизации и мартенситные переходы. Температуры и энергии кристаллизации увеличиваются после обработки аморфных лент в волноводе продольных колебаний. После обработки аморфных

Таблица 3. Влияние ультразвуковой механоактивации на параметры мартенситных переходов

Тип обработки	$M_{Н_2}$, °C	$M_{К_2}$, °C	$A_{Н_2}$, °C	$A_{К_2}$, °C	$E_{пр}$, Дж/г	$E_{обр}$, Дж/г
Без обработки	50	46	56,5	62	11,5	11,2
Волновод, 12 мин	50	47	56	60	12,0	11,9
Волновод, 30 мин	50	47	56	60	12,3	12,8
УЗ наковальня	49	46	55	60	9,0	10,3

Примечания: $M_{Н_2}$, $M_{К_2}$ – температуры начала и окончания прямого мартенситного превращения; $A_{Н_2}$, $A_{К_2}$ – температуры начала и окончания обратного мартенситного превращения; $E_{пр}$ – тепло, которое выделилось при прямом переходе; $E_{обр}$ – тепло, которое поглотилось при обратном превращении.

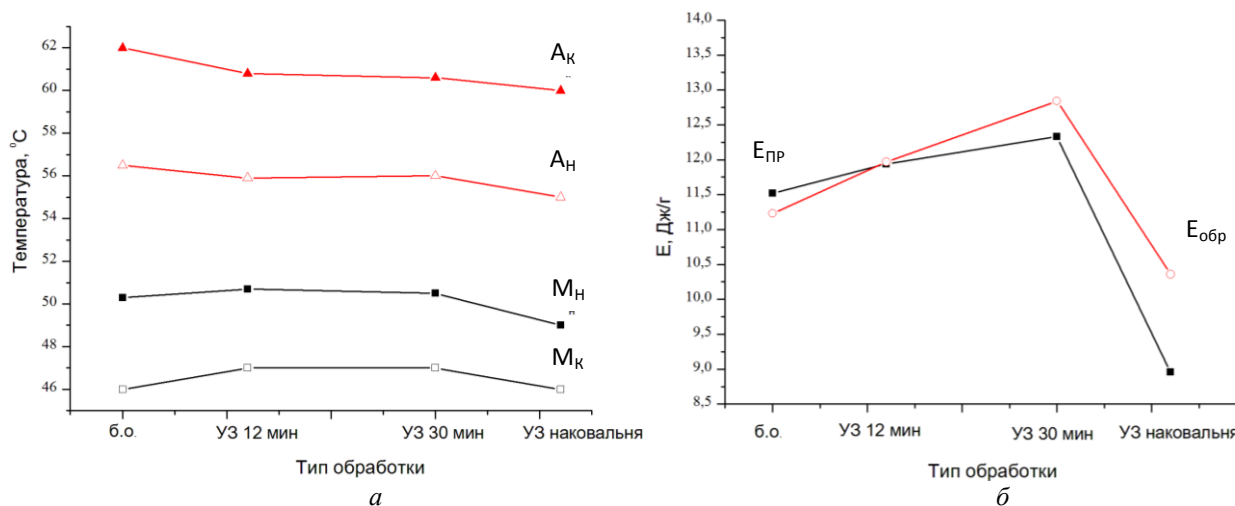


Рис. 6. Зависимости температур мартенситных превращений (а) и энергий (б), выделившихся при прямом и обратном превращениях

лент в ультразвуковой наковальне температуры кристаллизации увеличиваются, а энергия уменьшается. Исследование мартенситных превращений показало, что обработка в ультразвуковой наковальне приводит к уменьшению характеристических температур и величины тепловых эффектов, что может свидетельствовать об уменьшении размера зерна кристаллической фазы.

Работа выполнена при поддержке гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Т16Р-203.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Meyer K. Physikalisch-chemische Kristallographie. Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1968. 337 S.
- Хайнике Г. Трибохимия. М.: Мир, 1987. 584 с.
- Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. 2-е изд. Новосибирск: Наука, 1986. 305 с.
- Baláz P., Godočíková E., Kril'ová L., Lobotka P., Gock E. Preparation of nanocrystalline minerals by high-energy milling // Material Science and Engineering A. 2004. Vol. 386. № 1-2. P. 442–446.
- Клубович В.В., Кулак М.М., Хина Б.Б. Ультразвук в процессах самораспространяющегося вы-
- сокотемпературного синтеза. Минск: БНТУ, 2006. 279 с.
- Эскин Г.И. Обработка и контроль качества цветных металлов ультразвуком. М.: Металлургия, 1992. 124 с.
- Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении / под общ. ред. О.В. Абрамова. М.: Янус-К, 2006. 688 с.
- Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. М.: Новые технологии, 2004. 784 с.
- Zhang D.L. Processing of advanced materials using high-energy mechanical milling // Progress in Materials Science. 2004. Vol. 49. № 3-4. P. 537–560.
- Медведев А.С. Выщелачивание и способы его интенсификации. М.: МИСИС, 2005. 239 с.
- Материалы с эффектом памяти формы. Т. 2. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1998. 374 с.
- Лихачев В.А. Эффект памяти формы // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 3. С. 107–114.
- Сплавы никелида титана с памятью формы. Ч. 1. Структура, фазовые превращения и свойства / под ред. В.Г. Пушина. Екатеринбург: Уро РАН, 2006. 438 с.
- Ильин А.А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах. М.: Наука, 1994. 304 с.
- Уэндланд У. Термические методы анализа. М.: Мир, 1978. 528 с.
- Tunick M.H., Smith P.W., Holsinger V.H. Detection of recombined butter by DSC // Journal of Thermal Analysis. 1997. Vol. 49. № 2. P. 795–799.

17. Ооцука К., Симидзу К., Судзуки Ю. Сплавы с эффектом памяти формы. М.: Металлургия, 1990. 224 с.
18. Чен Х.С. Структурная релаксация в металлических стеклах // Аморфные металлические сплавы. М.: Металлургия, 1987. С. 52–74.
19. Boswell P.G. The effect of thermal history on the crystallization kinetics of a liquid-quenched metallic glass – Part 1 // *Journal of Materials Science*. 1980. Vol. 15. № 8. P. 1926–1938.
20. Шестак Я. Теория термического анализа. М.: Мир, 1987. 500 с.
8. Efimov V.A., Eldarkhanov A.S. *Tekhnologii sovremennoy metallurgii* [Technologies of modern metallurgy]. Moscow, Novye tekhnologii Publ., 2004. 784 p.
9. Zhang D.L. Processing of advanced materials using high-energy mechanical milling. *Progress in Materials Science*, 2004, vol. 49, no. 3-4, pp. 537–560.
10. Medvedev A.S. *Vyshchelachivanie i sposoby ego intensifikatsii* [Leaching and ways of its intensification]. Moscow, MISIS Publ., 2005. 239 p.
11. *Materialy s efektom pamyati formy* [Materials with shape memory effect]. Sankt Petersburg, NIIKh SPbGU Publ., 1998. Vol. 2, 374 p.
12. Likhachev V.A. Shape memory effect. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal*, 1997, no. 3, pp. 107–114.
13. Pushin V.G., ed. *Splavy nikelida titana s pamyat'yu formy. Ch. 1. Struktura, fazovye prevrashcheniya i svoystva* [Titanium nickelide alloys with shape memory effect. P. 1. Structure, phase transformations and properties]. Ekaterinburg, Uro RAN Publ., 2006. 438 p.
14. Ilyin A.A. *Mekhanizm i kinetika fazovykh i strukturnykh prevrashcheniy v titanovykh splavakh* [Mechanism and kinetics of phase and structural transformations in titanium alloys]. Moscow, Nauka Publ., 1994. 304 p.
15. Wendlandt W. *Termicheskie metody analiza* [Thermal methods of analysis]. Moscow, Mir Publ., 1978. 528 p.
16. Tunick M.H., Smith P.W., Holsinger V.H. Detection of recombined butter by DSC. *Journal of Thermal Analysis*, 1997, vol. 49, no. 2, pp. 795–799.
17. Ootsuka K., Simidzu K., Sudzuki Yu. *Splavy s efektom pamyati formy* [Alloys with shape memory effect]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 224 p.
18. Chen Kh.C. Structural relaxation in metallic glasses. *Amorfnye metallicheskie splavy*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987, pp. 52–74.
19. Boswell P.G. The effect of thermal history on the crystallization kinetics of a liquid-quenched metallic glass – Part 1. *Journal of Materials Science*, 1980, vol. 15, no. 8, pp. 1926–1938.
20. Shestak Ya. *Teoriya termicheskogo analiza* [Theory of thermal analysis]. Moscow, Mir Publ., 1987. 500 p.

REFERENCES

1. Meyer K. *Physikalisch-chemische Kristallographie*. Leipzig, Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, 1968. 337 S.
2. Khaynike G. *Tribokhimiya* [Tribochemistry]. Moscow, Mir Publ., 1987. 584 p.
3. Avvakumov E.G. *Mekhanicheskie metody aktivatsii khimicheskikh protsessov* [Mechanical methods of activation of chemical processes]. 2nd ed. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 305 p.
4. Baláz P., Godočiková E., Kril'ová L., Lobotka P., Gock E. Preparation of nanocrystalline minerals by high-energy milling. *Material Science and Engineering A*, 2004, vol. 386, no. 1-2, pp. 442–446.
5. Klubovich V.V., Kulak M.M., Khina B.B. *Ultrazvuk v protsessakh samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza* [Ultrasound in the processes of self-propagating high-temperature synthesis]. Minsk, BNTU Publ., 2006. 279 p.
6. Eskin G.I. *Obrabotka i control kachestva tsvetnykh metallov ultrazvukom* [Ultrasonic processing and quality control of non-ferrous metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1992. 124 p.
7. Abramov O.V., ed. *Moshchniy ultrazvuk v metallurgii i mashinostroenii* [Strong ultrasound in metallurgy and mechanical engineering]. Moscow, Yanus-K Publ., 2006. 688 p.

THE INFLUENCE OF ULTRASONIC MECHANICAL ACTIVATION ON CRYSTALLIZATION KINETICS AND MARTENSITIC TRANSFORMATIONS OF TiNi-BASED AMORPHOUS ALLOYS

© 2017

V.V. Niapomniashchaya, postgraduate student
V.V. Rubanik, Doctor of Sciences (Engineering),
professor of Chair “Physics and engineering mechanics”
Vitebsk State Technological University, Vitebsk (Belarus)

Keywords: ultrasonic mechanical activation; amorphous alloys; shape memory alloys (SMA).

Abstract: The influence of ultrasonic mechanical activation on the amorphous alloys is practically unstudied. The influence of ultrasound on crystallization of TiNi-based amorphous alloy ribbons, their structure and properties formation has not been investigated up to the present moment. Being in the crystalline state, TiNi-based amorphous alloys experience the thermoelastic martensitic transformations, which are the basis for manifestation of unusual mechanical properties – shape memory effect. Amorphous shape memory alloys are the advanced materials that experience thermoelastic martensitic transformations after crystallization. Such materials are used as the basis for the creation of crystalline materials with the specified parameters of crystalline structure or for producing the amorphous and crystalline composites. The goal of this work is the study of ultrasonic mechanical activation influence on the crystallization kinetics and martensitic transformations of an amorphous shape memory alloy using the differential scanning calorimetry (DSC) method. The ultrasonic mechanical activation was carried out using two methods: in the waveguide of longitudinal ultrasonic vibrations and in the ultrasonic anvil. During the first method of the ultrasound mechanical activation, the amorphous ribbon was fixed in the waveguide of longitudinal vibrations and experienced ultrasonic irradiation of various durations. To initiate ultrasonic vibrations, the authors used the UZDN-2T ultrasonic low-frequency dispergator with the frequency of 22 kHz. During the second method, the amorphous ribbon is placed horizontally and the vertically placed waveguide is applied using contact process. Such method is used for the surface strengthening of metals and alloys. To initiate the ultrasonic vibrations, the authors used the UZG 1-1 ultrasonic generator. $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ amorphous ribbons were selected as a subject of the study. Calorimetric measurements were carried out using the Mettler Toledo 822e differential scanning calorimeter. The obtained data showed that in the result of ultrasonic mechanical activation, temperatures and energies of crystallization and martensitic transformations change that can be the evidence of size reduction of a crystalline phase grain.

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ TiNi ПРОВОЛОКИ НА ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКУЮ ЭДС

© 2017

В.В. Рубаник (мл.), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
А.В. Лесота, младший научный сотрудник

Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси, Витебск (Беларусь)

Ключевые слова: TiNi сплавы; термокинетическая ЭДС; прямое превращение; пластическая деформация.

Аннотация: Возникновение термокинетической электродвижущей силы (ЭДС) в сплавах никелида титана возможно при перемещении как участка нагрева вдоль протяженного TiNi образца, так и локального участка охлаждения. При этом нагрев в локальной зоне проводника обуславливает обратный фазовый переход ($T \geq A_n$), а охлаждение – прямой ($T \leq M_n$).

Ранее экспериментально установлено, что величина наводимой термокинетической ЭДС возрастает при перемещении зоны охлаждения через локально деформированный участок, причем увеличение ЭДС зависит от величины деформации TiNi образца. Необходимо отметить, что физическая природа данного явления до конца не изучена.

В работе предложена физическая модель, согласно которой термокинетическая ЭДС инициируется в результате возникновения разности потенциалов на участках с прямым и обратным фазовым превращениями, возникающими при движении зоны охлаждения вдоль TiNi сплава. При прохождении участком охлаждения деформированной зоны на границах зоны деформации возникает ЭДС, которая обусловлена разностью коэффициентов термоЭДС деформированного и недеформированного участков TiNi образца, а также воздействием температуры. Получены математические выражения, позволяющие рассчитать изменение величины термокинетической ЭДС при прохождении пластически деформированного участка. Данные выражения подтверждают, что с увеличением величины пластической деформации (длина деформированного участка 6 см) увеличивается изменение термокинетической ЭДС.

Результаты расчетов изменения термокинетической ЭДС при прохождении участком охлаждения через зону деформации в сплавах TiNi хорошо согласуются с экспериментальными данными и могут служить основой при разработке способов и методов контроля однородности протяженных TiNi изделий.

ВВЕДЕНИЕ

К классическим термоэлектрическим явлениям относятся эффекты Пельтье, Зеебека, Томсона, основанные на возникновении термоЭДС между твердыми телами с различными электрическими свойствами при наличии градиента температуры. К термоэлектрическим явлениям в однородных материалах можно отнести эффекты Бенедикса и термокинетической ЭДС. Термокинетическая ЭДС возникает при перемещении локальной зоны температурного воздействия вдоль однородного проводника, при этом обязательным условием возникновения такого рода термоЭДС является реализация фазового превращения в этой зоне [1–4], например в результате инициирования аллотропных фазовых превращений в железе при температуре 700–800 °С [1; 2]. В ряде материалов фазовые превращения могут протекать при значительно более низких температурах, например в сплавах, обладающих эффектом памяти формы. При реализации термоупругих фазовых превращений инициирование ЭДС в этом случае возможно как при перемещении участка нагрева по проводнику [3], так и при перемещении локального участка охлаждения [4]. При этом нагрев в локальной зоне проводника инициирует обратный фазовый переход ($T \geq A_k$), а охлаждение – прямой ($T \leq M_k$). Ранее экспериментально установлено, что величина наводимой ЭДС возрастает при перемещении зоны охлаждения через локально деформированный участок и зависит от величины деформации [5]. Необходимо отметить, что физическая природа данного явления до конца не изучена.

Цель работы – выявление аналитической зависимости между величиной пластической деформации и значением термокинетической ЭДС в сплавах никелида титана.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе перемещения участка охлаждения ($T < M_k$) с постоянной скоростью вдоль протяженного TiNi образца (изначально находящегося в аустенитном фазовом состоянии) по обе стороны от участка охлаждения будут протекать фазовые превращения. На переднем фронте в результате охлаждения происходит прямое фазовое превращение, на заднем фронте в результате нагрева охлажденного участка – обратное фазовое превращение.

На участках с фазовыми превращениями возникает контактная разность потенциалов, обусловленная взаимодействием аустенитной и мартенситной фаз с различным значением плотности электронных состояний на уровне Ферми [6]. Таким образом, при движении зоны охлаждения вдоль проволоочного TiNi образца на участках с прямым и обратным фазовыми превращениями за счет возникновения контактной разницы потенциалов между аустенитом и мартенситом будет возникать термоЭДС. Величина возникающей термоЭДС на участках с прямым и обратным фазовым превращением будет различна, в связи с разными значениями температур мартенситных переходов этих превращений [7; 8]. Таким образом, величина термокинетической ЭДС, возникающая в результате движения участка охлаждения ($T < M_k$) вдоль TiNi образца, равна разнице

значений термоЭДС, возникающих на участках с прямым и обратным фазовыми переходами.

Для расчета величины термокинетической ЭДС (E) предложена следующая формула:

$$E(t, T_{\min}) = \int_{x=0}^{x=x_0+vt} \left[\left(\frac{\partial S_{\text{пр.}}(T(x,t))}{\partial x} \right) \cdot (T(x,t) - T^0) \right] dx - \int_{x=x_0+vt}^x \left[\left(\frac{\partial S_{\text{обр.}}(T(x,t))}{\partial x} \right) \cdot (T(x,t) - T^0) \cdot \gamma_{\text{пр.}}(T_{\min}) \right] dx, \quad (1)$$

где x_0 – координата источника охлаждения в начальный момент времени;

t – время;

$T(x,t)$ – температура проволочного образца в точке с координатой x в момент времени t ;

v – скорость движения участка охлаждения;

T^0 – температура проволочного TiNi образца в невозмущенном состоянии;

$S_{\text{пр.}}, S_{\text{обр.}}$ – коэффициент термоЭДС при прямом и обратном переходе;

$\gamma_{\text{обр.}}$ – доля мартенсита при обратном фазовом превращении;

T_{\min} – минимальная температура в зоне охлаждения.

Так как ЭДС возникает при охлаждении (нагреве) места контакта двух разнородных металлов, то при движении зоны охлаждения с температурой выше температуры начала прямого фазового перехода ($T \geq M_n$) термоЭДС в проволочном образце возникать не будет (так как весь образец находится в аустенитном состоянии). При движении зоны охлаждения вдоль проволочного образца TiNi с температурой ниже температуры окончания прямого фазового перехода ($T < M_s$) участок охлаждения будет находиться в мартенситном фазовом состоянии (учитывая, что охлаждение протяженного TiNi образца осуществляется мгновенно), при этом уменьшение температуры охлаждения будет влиять только на градиент температур данного участка. При уменьшении градиента температур будет увеличиваться ЭДС, возникающая в результате эффекта Бенедикса [9–11]. Так как величина данной ЭДС в сплавах TiNi при температуре ± 100 °C незначительна (<150 мкВ) [12], ее значением можно пренебречь.

При мартенситном превращении доля мартенситной фазы оказывается однозначной функцией температуры и не зависит от скорости охлаждения в широком интервале значений этих скоростей [13], т. е. величина термокинетической ЭДС не зависит от скорости движения зоны охлаждения.

Для расчета величины термокинетической ЭДС по формуле (1) необходимо знать распределение температуры вдоль TiNi образца при движении зоны охлаждения. При численном расчете данного распределения учитывается следующее:

– движение источника охлаждения вдоль проволочного образца происходит с постоянной скоростью;

– перенос тепловой энергии по длине образца осуществляется посредством теплопроводности;

– осуществляется конвекционный теплообмен с окружающей средой.

С учетом изложенной выше модели распределение температуры по длине образца будет описываться сле-

дующим неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка в частных производных:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) - Q(x + v_0 t) - b(T - T^W); \quad (2)$$

с начальными и краевыми условиями:

$$T(x, 0) = T_0, \quad 0 \leq x \leq x_f;$$

$$T(0, t) = T(x_f, t) = T_0, \quad t > 0,$$

где T – температура проволочного образца;

x – текущая координата вдоль оси проволоки;

c, ρ – удельная теплоемкость и плотность образца соответственно;

λ – теплопроводность;

$$b = \frac{ph}{S},$$

где p, S – периметр и площадь поперечного сечения проволоки соответственно;

b – коэффициент теплообмена с окружающей средой;

h – коэффициент теплопередачи;

T^W – температура окружающей среды.

Для описания зависимости доли мартенсита от температуры T при прямом ($A \rightarrow M$) и обратном ($M \rightarrow A$) мартенситных превращениях используем косинусные модельные функции Лианга – Роджерса [14]:

$$\gamma_{\text{пр.}}(T) = \frac{1}{2} [\cos(a_M(T - M_f)) + 1], \quad M_f < T < M_s, \quad (3)$$

$$\gamma_{\text{обр.}}(T) = \frac{1}{2} [\cos(a_A(T - A_s)) + 1], \quad A_s < T < A_f, \quad (4)$$

где величины a_M и a_A обозначают выражения, связанные с температурными константами:

$$a_M = \pi / (M_s - M_f),$$

$$a_A = \pi / (A_f - A_s).$$

Для нахождения величины коэффициента термоЭДС в гетерофазных системах применима формула [15]:

$$S(T) = \frac{(R(T)\sigma(T) - R_2\sigma_2)(S_1 - S_2) + S_2(R\sigma_1 - R_2\sigma_2)}{R_1\sigma_1 - R_2\sigma_2}, \quad (5)$$

где температура определена на участках:

$M_k \leq T \leq M_n$ – для прямого фазового перехода;

$A_n \leq T \leq A_k$ – для обратного фазового перехода.

В данной модели обобщенное удельное электрическое сопротивление R и теплопроводность σ рассматриваются как нормализованная сумма фазовых вкладов [16; 17]:

$$R = \sum N_i R_i j_i(R) / \sum N_i j_i(R), \quad (6)$$

$$\sigma = \sum N_i \sigma_i j_i(\sigma) / \sum N_i j_i(\sigma),$$

где сумма концентраций фаз N_i равна 1 и конфигурационные параметры $j_i(R)$ и $j_i(\sigma)$ вдоль электрических (тепловых) токов имеют вид:

$$j_i(\sigma) = \frac{3\sigma}{A\sigma + (3-A) \cdot \sigma_i}, \quad (7)$$

$$j_i(R) = \frac{3R}{AR + (3-A) \cdot R_i}.$$

Параметр A равен 0, 3 или 1, согласуется со случаями параллельного и последовательного электрического соединения или со случаем сферических включений соответственно.

Если в локальной области образца температура охлаждения не достигает M_k , т.е. область охлаждения находится в двухфазном состоянии, то на участке прямого фазового перехода величина термоЭДС зависит от температуры охлаждения, а термоЭДС, возникающая на участке обратного фазового перехода ($M \rightarrow A$), – от доли мартенсита, образованного при прямом переходе. Зависимость термокинетической ЭДС от температуры охлаждения, рассчитанная по формулам (1)–(7), представлена на рис. 1. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными [4].

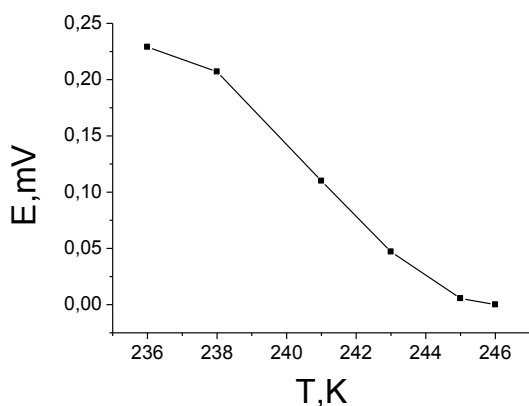


Рис. 1. Рассчитанная зависимость термокинетической ЭДС от температуры охлаждения для проволоочного TiNi образца

По результатам анализа выражений (1)–(7), полученных при расчете величины термокинетической ЭДС, возникающей в никелиде титана при прямом фазовом превращении, было выдвинуто предположение, что на деформированных участках проволоочного TiNi образца значение термокинетической ЭДС будет изменяться. Данное изменение вызвано тем, что на участке деформации появляются различного рода дефекты, которые существенно влияют на значение коэффициента термоЭДС.

Для расчета изменения величины термокинетической ЭДС в зоне деформации предложена модель, согласно которой при прохождении участком охлаждения деформированной зоны на границах зоны деформации возникает ЭДС, которая обусловлена разностью коэф-

фициентов термоЭДС деформированного и недеформированного участков TiNi образца, а также воздействием температуры (рис. 2).

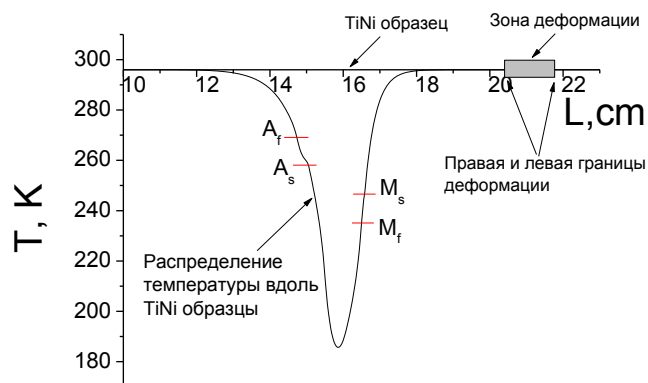


Рис. 2. Распределение температуры вдоль проволоочного TiNi образца, содержащего зону деформации

Согласно предложенной модели, изменение величины термокинетической ЭДС (ΔE) при прохождении участком охлаждения зоны деформирования можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta E = \int_{t_0}^t \left[(S_1(T(x_L, t)) - S_2)(T(x_L, t)) - \left[- (S_1(T(x_r, t)) - S_2)(T(x_r, t)) \right] \right] dt, \quad (8)$$

где x_l – координата левой границы зоны деформации; x_r – координата правой границы зоны деформации; $S_1(T(x_L, t))$ – коэффициент термоЭДС проволоочного TiNi образца в координате x_L в момент времени t ; S_2 – коэффициент термоЭДС деформированного участка проволоочного образца.

Необходимо отметить, что $S_1(T(x_L, t))$ является функцией температуры и существенно изменяется на участках фазовых переходов, S_2 на участках фазовых переходов принимаем постоянным.

Так как изменение коэффициента термоЭДС зависит от количества дефектов проволоочного образца [18; 19], логично предположить, что, задавая разную по величине пластическую деформацию, можно влиять на коэффициент термоЭДС и, как следствие, на величину термокинетической ЭДС в зоне деформации.

В соответствии с данным предположением по формуле (8) рассчитана зависимость изменения значения термокинетической ЭДС от величины пластической деформации. При расчете длина зоны деформации составляла половину проволоочного TiNi образца, также учитывалось влияние величины ЭДС, возникающей на участке обратного фазового перехода, так как при достижении минимальной температуры участка деформации дополнительный вклад в изменение ЭДС будет вносить участок с обратным фазовым превращением.

На рис. 3 представлены расчетные и экспериментальные [20] зависимости изменения величины термокинетической ЭДС от величины деформации (относительная

деформация при волочении) в зоне перехода между деформированным и отожженным участком проволоочного TiNi образца.

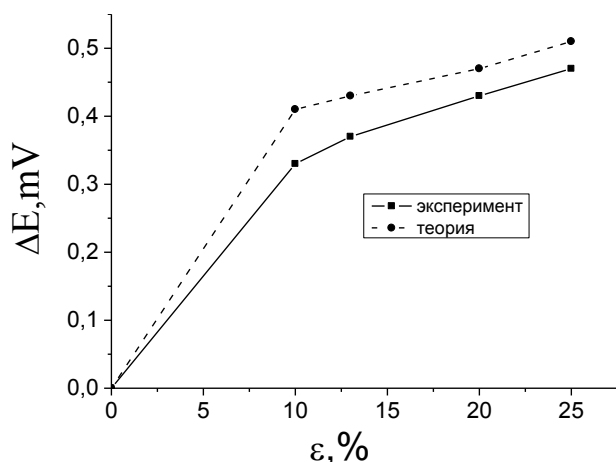


Рис. 3. Зависимость изменения термокинетической ЭДС от величины пластической деформации волочением (теория, эксперимент)

Видно, что с ростом величины относительной деформации деформированного участка (длина деформированного участка 6 см) увеличивается изменение термокинетической ЭДС. Теоретические исследования хорошо согласуются с экспериментальными данными.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Полученные выражения позволяют рассчитать значение термокинетической ЭДС при прямом фазовом переходе, а также влияние пластической деформации на изменение наводимой термокинетической ЭДС. Установлено, что при прямом фазовом переходе термокинетическая ЭДС возникает при температуре охлаждения меньше M_n и увеличивается до M_k , дальнейшее уменьшение температуры на величину ЭДС не влияет.

Получены выражения, позволяющие рассчитать влияние предварительной пластической деформации TiNi образца на величину термокинетической ЭДС.

Выявлено, что изменение величины термокинетической ЭДС при прохождении деформированного участка зависит от количества дефектов в зоне деформации, которые, в свою очередь, влияют на величину коэффициента термоЭДС TiNi образца. Таким образом, задавая разную по величине пластическую деформацию, можно влиять на коэффициент термоЭДС и, как следствие, на величину термокинетической ЭДС в зоне деформации.

Результаты расчетов изменения термокинетической ЭДС при прохождении участком охлаждения через зону деформации в сплавах TiNi хорошо согласуются с экспериментальными данными и могут служить основой при разработке способов и методов контроля однородности протяженных TiNi изделий.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фурмаков Е.Ф. Электрический ток, вызванный движением поверхности раздела фаз в металле // Фундаментальные проблемы естествознания. 1999. Вып. 21. С. 377–378.
2. Фурмаков Е.Ф. Датчик термокинетической ЭДС // Крым 2004: сб. тезисов одиннадцатой Междунар. конф. М., 2004. С. 11–12.
3. Рубаник В.В., Лесота А.В., Рубаник В.В. мл. Расчет термокинетической ЭДС при обратном фазовом переходе в никелиде титана // Письма о материалах. 2017. Т. 7. № 2. С. 96–100.
4. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Лесота А.В. Термоэлектрические явления при прямом фазовом превращении в TiNi сплаве // Приборостроение-2015: материалы 8-й междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. Минск, 2015. С. 24–26.
5. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Лесота А.В. Контроль деформационного состояния протяженных TiNi изделий с помощью термокинетической ЭДС // Физическое материаловедение: VII Междунар. школа с элементами научной школы для молодежи: сб. конкурсных докладов. Тольятти, 2016. С. 237–242.
6. Кулькова С.Е., Валуйский Д.В., Смолин И.Ю. Изменения электронной структуры при B2–B190 маргениситном превращении в никелиде титана // Физика твердого тела. 2001. Т. 43. № 4. С. 706–713.
7. Matsumoto H. Enhancement of a peak in electrical resistivity of NiTi alloy in early stage of transformation cycles // Journal of alloys and compounds. 2004. Vol. 364. № 1-2. P. 132–136.
8. Ramachandran B., Tang R.C., Chang P.C., Kuo Y.K., Chien C., Wu S.K. Cu-substitution effect on thermoelectric properties of the TiNi-based shape memory alloys // Journal of applied physics. 2013. Vol. 113. № 20. P. 203702.
9. Anatyshuk L.I., Bulat L.P. Thermoelectric phenomena under large temperature gradients // Thermoelectrics Handbook: macro to nano-structured materials. New York: CRC Press, 2005. P. 3–11.
10. Golestaneh A.A. Martensitic phase transformation in shape-memory alloys // International Conference on Martensitic Transformation. Cambridge, 1979. P. 679–692.
11. Benedicks C. Tetziger. Stand grundlegenden Keuntrisse der Thermoelektrizität // Erg. Exact. Naturwiss. 1929. Bd. 8. P. 26–67.
12. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Петрова-Буркина О.А. Проявление термоэлектрических явлений в NiTi // Влияние электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов. Новокузнецк, 2011. С. 60–65.
13. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения. Томск: МИЦ, 2006. 286 с.
14. Liang C., Rogers C.A. One-dimensional thermomechanical constitutive relations for shape memory materials // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. 1990. Vol. 1. № 2. P. 207–234.
15. Shchennikov V.V., Ovsyannikov S.V., Vorontsov G.V. Investigations of multiphase states in vicinity of pressure-induced phase transitions // Physica Status Solidi (b). 2004. Vol. 241. № 14. P. 3203–3209.

16. Shchennikov V.V., Ovsyannikov S.V., Derevskov A.Y., Shchennikov V.V. Jr. Automated portable high-pressure setup for study of phase transitions in solids // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2006. Vol. 67. № 9-10. P. 2203–2209.
17. Ovsyannikov S.V., Shchennikov V.V., Komarovskii I.A., Vorontsov G.V., Korobeynikov I.V., Shchennikov V.V. Jr. Electrical and mechanical properties of multi-phase systems under external impacts // *Proceedings of the SPIE*. 2011. Vol. 7978. Id. 79781W.
18. Лухвич А.А. Влияние дефектов на электрические свойства металлов. Минск: Наука и техника, 1976. 99 с.
19. Лухвич А.А., Каролик А.С., Шарандо В.И. Структурная зависимость термоэлектрических свойств и неразрушающий контроль. Минск: Наука и техника, 1990. 192 с.
20. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Лесота А.В. Термоэлектрические явления в деформированном сплаве TiNi // Прочность неоднородных структур ПРОСТ-2016: материалы 8-й Евразийской науч.-практ. конф. М., 2016. С. 59–61.
1. Furmakov E.F. Electric current induced by the motion of phase interface in a metal. *Fundamentalnye problemy estestvoznaniya*, 1999, no. 21, pp. 377–378.
2. Furmakov E.F. Thermokinetic EMF sensor. *Sbornik tezisov odinnadsatoy Mezhdunar. konf. "Krym 2004"*. Moscow, 2004, pp. 11–12.
3. Rubanik V.V., Lesota A.V., Rubanik V.V. Jr. Calculation of the thermokinetic EMF during a reverse phase transformation in TiNi alloys. *Letters on materials*, 2017, vol. 7, no. 2, pp. 96–100.
4. Rubanik V.V., Rubanik V.V. Jr., Lesota A.V. Thermoelectric phenomena during the direct phase transformation in a TiNi alloy. *Materialy 8 mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. "Priborostroenie-2015"*. Minsk, 2015, vol. 1, pp. 24–26.
5. Rubanik V.V., Rubanik V.V. Jr., Lesota A.V. Control of the state of strain of extended TiNi goods using the thermokinetic EMF. *VII Mezhdunar. shkola s elementami nauchnoy shkoly dlya molodezhi "Fizicheskoe materialovedenie"*. Togliatti, 2016, pp. 237–242.
6. Kulkova S.E., Lалуjsky D.V., Smolin I.Yu. Changes in the electronic structure upon the B2-B19' martensitic transformation in titanium-nickel. *Physics of the solid state*, 2001, vol. 43, no. 4, pp. 737–745.
7. Matsumoto H. Enhancement of a peak in electrical resistivity of NiTi alloy in early stage of transformation cycles. *Journal of alloys and compounds*, 2004, vol. 364, no. 1-2, pp. 132–136.
8. Ramachandran B., Tang R.C., Chang P.C., Kuo Y.K., Chien C., Wu S.K. Cu-substitution effect on thermoelectric properties of the TiNi-based shape memory alloys. *Journal of applied physics*, 2013, vol. 113, no. 20, p. 203702.
9. Anatyshuk L.I., Bulat L.P. Thermoelectric phenomena under large temperature gradients. *Thermoelectrics Handbook: macro to nano-structured materials*. New York, CRC Press, 2005, pp. 3–11.
10. Golestaneh A.A. Martensitic phase transformation in shape-memory alloys. *International Conference on Martensitic Transformation*. Cambridge, 1979, pp. 679–692.
11. Benedicks C. Tetziger. Stand grundlegenden Keuntrisse der Thermoelektrizität. *Erg. Exact. Naturwiss*, 1929, bd. 8, pp. 26–67.
12. Rubanik V.V., Rubanik V.V. Jr., Petrova-Burkina O.A. Thermoelastic phenomena manifestation in NiTi. *Vliyanie elektromagnitnykh poley na plastichnost i prochnost materialov*. Novokuznetsk, 2011, pp. 60–65.
13. Gyunter V.E., Khodorenko V.N. *Nikelid titana. Meditsinskiy material novogo pokoleniya* [Nickel titanium. Medical material of the new generation]. Tomsk, MITs Publ., 2006. 286 p.
14. Liang C., Rogers C.A. One-dimensional thermomechanical constitutive relations for shape memory materials. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 1990, vol. 1, no. 2, pp. 207–234.
15. Shchennikov V.V., Ovsyannikov S.V., Vorontsov G.V. Investigations of multiphase states in vicinity of pressure-induced phase transitions. *Physica Status Solidi (b)*, 2004, vol. 241, no. 14, pp. 3203–3209.
16. Shchennikov V.V., Ovsyannikov S.V., Derevskov A.Y., Shchennikov V.V. Jr. Automated portable high-pressure setup for study of phase transitions in solids. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2006, vol. 67, no. 9-10, pp. 2203–2209.
17. Ovsyannikov S.V., Shchennikov V.V., Komarovskii I.A., Vorontsov G.V., Korobeynikov I.V., Shchennikov V.V. Jr. Electrical and mechanical properties of multi-phase systems under external impacts. *Proceedings of the SPIE*, 2011, vol. 7978, id. 79781W.
18. Likhvich A.A. *Vliyanie defektov na elektricheskie svoystva metallov* [The influence of defects on the electric properties of metals]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 99 p.
19. Likhvich A.A., Karolik A.S., Sharando V.I. *Strukturnaya zavisimost termoelektricheskikh svoystv i nerazrushayushchiy kontrol* [Structure dependence of thermoelectric properties and nondestructive control]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990. 192 p.
20. Rubanik V.V., Rubanik V.V. Jr., Lesota A.V. Thermoelectric phenomena in deformed TiNi alloy. *Materialy 8 Evraziyskoy nauch.-prakt. konf. "Prochnost neodnorodnykh struktur PROST-2016"*. Moscow, 2016, pp. 59–61.

THE INFLUENCE OF PLASTIC DEFORMATION OF TiNi WIRE
ON THE THERMOKINETIC EMF

© 2017

V.V. Rubanik Jr., PhD (Physics and Mathematics), senior researcher

A.V. Lesota, junior researcher

Institute of Technical Acoustics of National Academy of Sciences of Belarus, Vitebsk (Belarus)

Keywords: TiNi alloys; thermokinetic EMF; direct phase transformation; plastic deformation.

Abstract: The initiation of thermokinetic EMF in titanium nickelide alloys is possible when shifting both the heating zone along the extended TiNi sample and the locally cooled zone. In this case, heating in the conductor local zone causes the reverse phase transformation ($T \geq A_s$), and cooling causes the direct phase transformation ($T \leq M_s$).

Previously, it was experimentally proved that the value of induced EMF increases when shifting the cooling zone through the locally deformed area, and the EMF increase depends on the deformation of TiNi sample. It should be noted that the physical nature of this phenomenon is not entirely investigated.

The paper suggests a physical model, according to which the thermokinetic EMF is initiated in the result of the difference of potentials in the areas with direct and reverse phase transformations occurring when shifting the cooling zones along TiNi alloy. When the cooling area passes the deformed zone, the EMF, caused both by the difference of thermo-EMF ratios of the deformed and non-deformed areas of TiNi sample and thermal effect, arises at the boundaries of deformation zones. Mathematical expressions allowing the calculation of thermokinetic EMF value change when passing a plastically deformed area were obtained. These expressions prove that thermokinetic EMF increases with the plastic deformation increase (the length of the deformed area is 6 cm).

The results of calculation of thermokinetic EMF change, when the cooling zone passes through the deformation zone in the TiNi alloys, fit the experimental data and can be used when developing methods of control of the extended TiNi products' homogeneity.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕЙ ФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ, УПРОЧНЕНИЕ И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ АУСТЕНИТНОЙ ХРОМОНИКЕЛЕВОЙ СТАЛИ

© 2017

П.А. Скорынина, инженер

Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

А.В. Макаров, доктор технических наук,

заведующий отделом материаловедения и лабораторией механических свойств

Институт физики металлов имени М.Н. Михеева

Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (Россия)

А.С. Юровских, кандидат технических наук, доцент,

заведующий лабораторией электронной микроскопии сверхвысокого разрешения

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (Россия)

А.Л. Осинцева, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)

Ключевые слова: аустенитная нержавеющая сталь; фрикционная обработка; нанокристаллическая структура; мартенсит деформации; качество поверхности.

Аннотация: Применение финишной фрикционной обработки позволяет обеспечить эффективное деформационное упрочнение и повышенную износостойкость в сочетании с высоким качеством обрабатываемой поверхности аустенитных хромоникелевых сталей. Однако поверхностная деформационная обработка может привести к снижению коррозионных свойств, обусловленному наличием α' -мартенсита деформации в поверхностном слое метастабильной аустенитной стали. В настоящей работе с использованием методов просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, измерения микротвердости и оптической профилометрии изучено влияние температуры наноструктурирующей фрикционной обработки скользящим индентором на структуру, фазовый состав, упрочнение и качество поверхности метастабильной аустенитной стали 12X18H10T. Показано, что проведение фрикционной обработки в диапазоне температур от -196 до $+250$ °С обеспечивает близкие уровни упрочнения аустенитной стали, тогда как полнота протекания деформационного мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения в поверхностном слое стали сильно зависит от температуры нагружения. Фрикционная обработка при комнатной и отрицательной температурах формирует качественную поверхность стали 12X18H10T с низкими значениями параметра шероховатости ($Ra=75-120$ нм), а повышенные температуры способствуют развитию схватывания и росту Ra до 180–270 нм. Установлено, что при фрикционной обработке в тонком поверхностном слое стали формируются фрагментированные субмикроструктурные и нанокристаллические структуры α' -мартенсита деформации (при температуре нагружения $T=-196$ °С) и аустенита (при $T=+250$ °С), а также двухфазные мартенситно-аустенитные структуры (при $T=+20$ °С).

ВВЕДЕНИЕ

Фрикционная обработка скользящим индентором позволяет обеспечить эффективное повышение прочностных и трибологических свойств термически неупрочняемых аустенитных хромоникелевых сталей [1; 2]. Значительным преимуществом обработок скользящими инденторами является возможность рассматривать их в качестве финишных, обеспечивающих формирование поверхности с низкой шероховатостью [1; 3; 4] или специальным микрорельефом [5], что является важным для практического применения. Деформационные упрочняющие обработки часто не могут обеспечить высокое качество обработанной поверхности. Например, пескоструйная обработка стали AISI 301 LN формирует достаточно грубую поверхность с высоким значением параметра шероховатости $Ra \sim 1,5$ мкм [6].

В случае метастабильных аустенитных сталей существенную роль в упрочнении играет деформационное мартенситное $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращение [7–9], интенсивность развития которого в сильной степени зависит от условий деформационных обработок [3; 8; 10]. Однако присутствие α' -мартенсита деформации в поверхностном слое может

привести к снижению коррозионных свойств аустенитной стали [8; 11]. Таким образом, важной в научном и практическом отношении является оптимизация условий проведения деформационной обработки по критериям не только эффективного упрочнения и обеспечения высокого качества поверхности (низкая шероховатость, отсутствие очагов адгезионного схватывания и поврежденности поверхности) [4; 8; 12], но и формирования требуемого структурно-фазового состояния поверхностного слоя. Известно [13; 14], что пониженные температуры могут активизировать деформационное превращение, в то время как нагрев ведет к подавлению мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения при деформации в метастабильной Cr-Ni аустенитной стали [15; 16]. Следовательно, актуальным является изучение возможностей управления фазовым составом на поверхности аустенитной стали за счет изменения температуры деформационной обработки.

Цель статьи – изучение влияния температуры фрикционной обработки на упрочнение и структурно-фазовые превращения в поверхностном слое аустенитной стали 12X18H10T, а также качество формируемой поверхности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследовали коррозионностойкую аустенитную сталь 12X18H10T состава (мас. %): 0,10 С; 17,72 Cr; 10,04 Ni; 0,63 Ti; 1,33 Mn; 0,57 Si; 0,23 Mo; 0,06 Co; 0,01 Nb; 0,06 Cu; 0,031 P; 0,014 S; остальное Fe. Образцы размерами 98×38×8,6 мм подвергали закалке от 1050 °С в воде, механическому шлифованию и электролитическому полированию. Фрикционную обработку проводили по ранее выбранному режиму [17]: индентором из синтетического алмаза с радиусом полусферы 3 мм в безокислительной среде аргона при нагрузке на индентор 392 Н, количестве ходов индентора (сканирование) $n=1$. Фрикционное нагружение проводили при температурах в диапазоне от -196 до +250 °С. Отрицательные температуры создавали с использованием жидкого азота. Микротвердость определяли на приборе LEICA VMHT при нагрузке на индентор 0,245 Н, фазовый состав – на рентгеновском дифрактометре SHIMADZUXRD-7000 в CrK_{α} -излучении, тонкую структуру изучали на электронном просвечивающем микроскопе (ТЕМ) JEOL JEM-2100. Шероховатость поверхности образцов после фрикционной обработки изучали на оптическом профилометре Wyko NT-1100; на каждом образце измерения проводили на трех участках поверхности размером 42,5×55,8 мкм. Исследование поверхности стали проводили также с использованием электронного сканирующего микроскопа Tescan VEGA II XMU.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгеновский фазовый анализ поверхности образцов, подвергнутых фрикционной обработке в интервале температур от -196 до +250 °С, показал (рис. 1), что полнота протекания деформационного мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения в поверхностном слое аустенитной стали 12X18H10T в сильной степени зависит от температуры фрикционного нагружения. Так, при температуре нагружения $T=-196$ °С количество α' -мартенсита в поверхностном слое достигает 100 об. %. Прокатка стали 08X18H10T с охлаждением в жидком азоте приводит лишь к образованию 60 об. % мартенсита деформации [18]. Дальнейшее повышение температуры фрикционной обработки ведет к стабилизации аустенита к $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращению, соответственно, количество мартенсита деформации на поверхности непрерывно снижается (рис. 1).

После фрикционного нагружения при $T=+250$ °С количество мартенсита деформации составляет 5 об. %. В работе [19] повышение температуры деформации сжатием до 100 °С приводит к снижению количества образующегося мартенсита деформации с 70 до 10 об. %. Фрикционная обработка в широком интервале температур (от -196 до +250 °С) приводит к интенсивному деформационному упрочнению поверхности исследуемой стали с исходной микротвердостью в закаленном состоянии 220 HV 0,025 (рис. 1). Отмечаются близкие уровни упрочнения стали 555–575 HV 0,025, из чего следует, что сильнодеформированный аустенит близок по уровню твердости мартенситу деформации. Это обусловлено низким содержанием углерода в стали (0,10 мас. % С), недостаточным для эффективного упрочнения мартенситной структуры.

Из данных, приведенных в таблице 1, следует, что в температурном интервале фрикционной обработки от -196 до +250 °С наблюдается непрерывный рост коэффициента трения от $f=0,18$ до $f=0,55$.

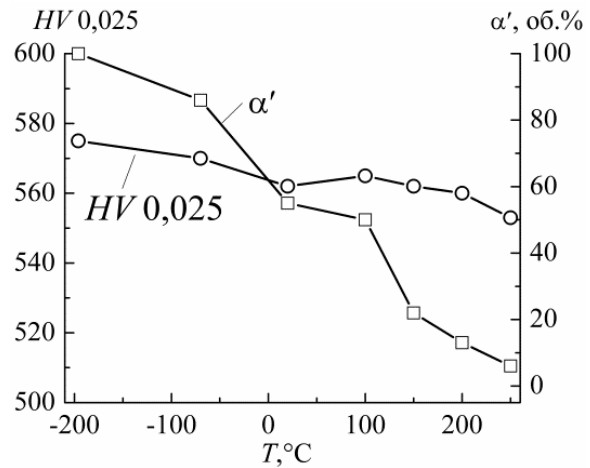


Рис. 1. Влияние температуры фрикционной обработки T на количество мартенсита деформации α' и микротвердость HV 0,025 на поверхности стали 12X18H10T

Фрикционное нагружение при температурах 150–250 °С характеризуется высокими значениями коэффициента трения ($f=0,51-0,55$) вследствие развития на

Таблица 1. Влияние температуры фрикционной обработки T на коэффициент трения f и среднее арифметическое отклонение профиля Ra поверхности стали 12X18H10T

Состояние образца	$T, ^\circ C$	f	Ra, нм
Исходное (электрополированное)	0	–	55–70
	-196	0,18	85–120
Фрикционная обработка	-70	0,23	75–90
	20	0,27	85–100
	100	0,30	140–170
	150	0,51*	180–210
	200	0,53*	190–250
	250	0,55*	215–270

* При фрикционной обработке происходило адгезионное схватывание.

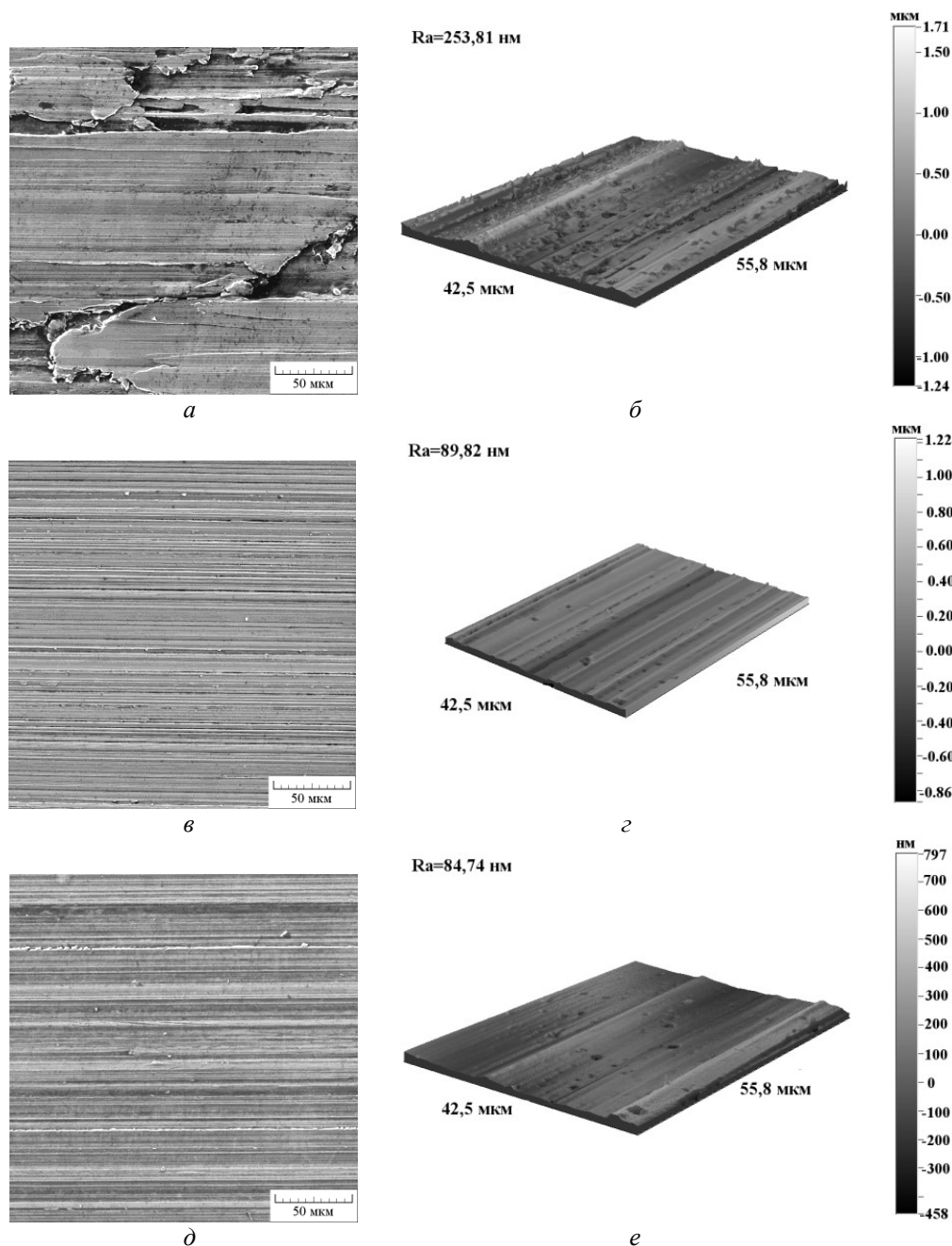


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения (а, в, д) и трехмерные профилограммы (б, г, е) поверхности стали 12Х18Н10Т после фрикционной обработки при температурах нагружения: $T=+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а, б); $T=+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в, г); $T=-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (д, е)

поверхности аустенитной стали процессов схватывания (рис. 2 а), переносом фрагментов стали на поверхность индентора и формированием локальных одноименных пар трения «сталь – сталь». Соответственно, при повышенных температурах нагружения ($T=150\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$) возрастают значения параметра шероховатости Ra до 180–270 нм (см. таблицу 1, рис. 2 б). При этом наблюдается максимальный разброс значений Ra (см. таблицу 1), отражающий неравномерность разрушения поверхностного слоя вследствие возникновения локальных микроочагов схватывания (см. рис. 2 а).

При уменьшении температуры фрикционного нагружения до $T=+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T=-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ поверхность аустенитной стали характеризуется отсутствием микроучаст-

ков схватывания (рис. 2 в, 2 д), а значения параметра шероховатости Ra снижаются до 75–100 нм (см. таблицу 1, рис. 2 г, 2 е). После фрикционной обработки при указанных температурах наблюдается также наименьший разброс значений Ra . Несколько более высокий уровень параметра шероховатости Ra и больший разброс его значений (85–120 нм) после фрикционной обработки при $T=-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ могут быть следствием локализации деформации металла в условиях глубокого холода, а также с возможным влиянием присутствия жидкой технологической среды (жидкого азота) в зоне фрикционного контакта «индентор – сталь».

Методом просвечивающей электронной микроскопии установлено, что исходная структура закаленной

стали представляет собой аустенит с наличием в полидрических зернах отдельных нерасщепленных дислокаций и присутствием на некоторых границах дислокационных скоплений (рис. 3 а). Встречаются также отдельные не растворившиеся при нагреве под закалку частицы карбида титана. Рентгеновский фазовый анализ выявляет в исходной структуре стали 100 об. % γ -фазы (аустенита). В результате проведения фрикционной обработки при температуре нагружения $T=+20\text{ }^\circ\text{C}$ в градиентном поверхностном слое аустенитной стали формируются различные типы структур (рис. 3 б, 3 в, 3 г, 3 д, 3 е). На начальных стадиях деформация развивается скольжением и двойникованием (рис. 3 б). Механическое двойникование способствует фрагментации исходной аустенитной крупнокристаллической структуры и протеканию деформационного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения [20]. При увеличении степени деформации формируются слабо разориентированные ячейки, границы которых представляют собой весьма сложные дислокационные скопления (рис. 3 в), полосовые дислокационные структуры (рис. 3 г) и на последующем этапе – кристаллиты аустенита и мартенсита деформации преимущественно субмикронных размеров (рис. 3 д, 3 е).

Результаты рентгенофазового анализа, рассмотренные выше (см. рис. 1), подтверждаются данными просвечивающей электронной микроскопии (рис. 4). В тонком поверхностном слое аустенитной стали 12X18H10T в процессе фрикционной обработки при температуре нагружения $-196\text{ }^\circ\text{C}$ возникают фрагментированные структуры мартенсита деформации, а при температуре нагружения $+250\text{ }^\circ\text{C}$ – аустенита.

Представленные на рис. 4 б, 4 г темнопольные изображения структуры в мартенситном (110) α и аустенитном (111) γ рефлексах свидетельствуют, что в рассматриваемых сильно разориентированных фрагментированных структурах тонкого поверхностного слоя стали 12X18H10T присутствуют кристаллиты как субмикронных размеров (150–200 нм), так и наноразмеров (менее 100 нм).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Установлено, что полнота протекания деформационного мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения в сильной степени зависит от температуры фрикционного нагружения: количество мартенсита деформации снижается от 100 до 5 об. % при увеличении температуры обработки в диапазоне от -196 до $+250\text{ }^\circ\text{C}$. Однако при указанном изменении температуры фрикционной обработки достигаются близкие уровни деформационного упрочнения стали $555\text{--}575\text{ HV}_{0,025}$.

Фрикционная обработка при комнатной и отрицательных температурах обеспечивает формирование качественной поверхности стали 12X18H10T с низкими значениями параметра шероховатости $Ra=75\text{--}120\text{ нм}$. При повышенных температурах фрикционной обработки (150–250 $^\circ\text{C}$) значения параметра шероховатости поверхности Ra возрастают до 180–270 в связи с развитием на обрабатываемой поверхности аустенитной стали локальных процессов схватывания.

При комнатной температуре фрикционного нагружения в аустенитной структуре поверхностного слоя развиваются процессы механического двойникования,

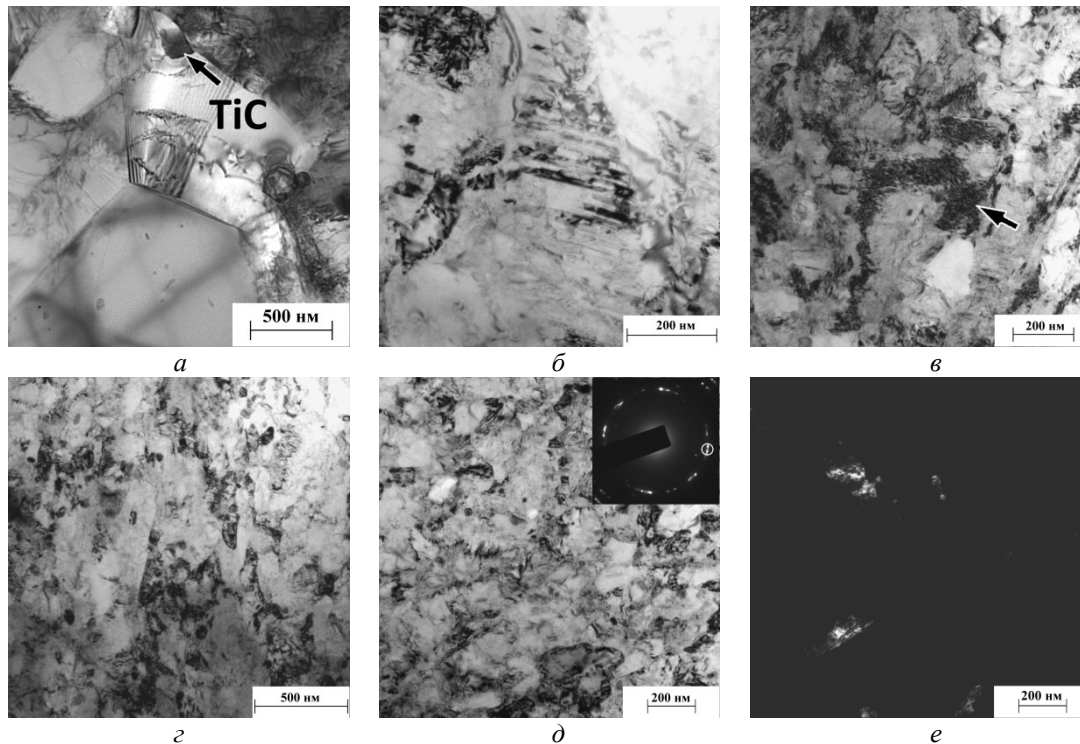


Рис. 3. Структура поверхностного слоя образца из аустенитной стали 12X18H10T в исходном закаленном состоянии (а) и после фрикционной обработки при температуре нагружения $T=+20\text{ }^\circ\text{C}$ (б–е): а–г – светлопольные изображения; д – светлопольное изображение и микродифракция; е – темнопольное изображение в рефлексах (110) α и (111) γ

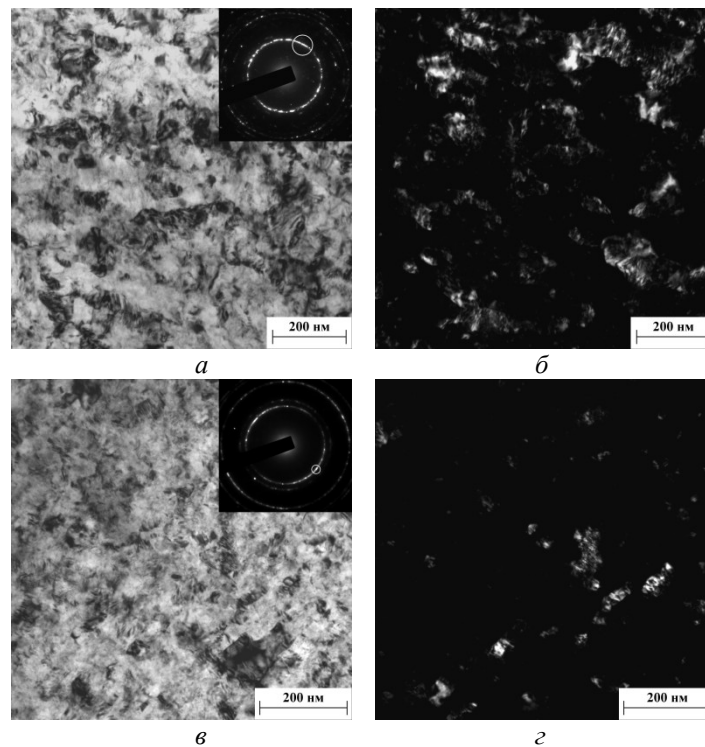


Рис. 4. Структура поверхностного слоя образца из стали 12X18H10T после фрикционной обработки при температурах T нагружения $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а, б) и $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в, г): а, в – светлопольные изображения и микродифракции; б – темнопольное изображение в рефлексе (110) а; г – темнопольное изображение в рефлексе (111)γ

формирования ячеистых и полосовых дислокационных структур, предшествующие появлению высокодисперсных кристаллитов аустенита и мартенсита деформации. После проведения фрикционной обработки при температуре нагружения $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ в поверхностном слое стали установлено формирование фрагментированных субмикроструктур α'-мартенсита деформации. Фрикционная обработка при температуре нагружения $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к формированию фрагментированных аустенитных структур субмикро- и нанокристаллических размеров.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России по темам «Структура» № 01201463331 (проект Комплексной программы УрО РАН № 15-9-12-45) и государственного задания ИМАШ УрО РАН по теме № 01201354598 при поддержке РФФИ, проект № 15-08-07947. Измерение микротвердости, электронная сканирующая микроскопия и профилометрия выполнены в ЦКП «Пластометрия» ИМАШ УрО РАН. Электронная просвечивающая микроскопия реализована на оборудовании Лаборатории структурных методов анализа материалов и наноматериалов ЦКП УрФУ.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Макаров А.В., Скорынина П.А., Осинцева А.Л., Юровских А.С., Саврай Р.А. Повышение трибологических свойств аустенитной стали 12X18H10T наноструктурирующей фрикционной обработкой //

Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2015. № 4. С. 80–92.

- Бараз В.Р., Федоренко О.Н. Особенности фрикционной обработки сталей пружинного класса // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 11. С. 16–19.
- Кузнецов В.П., Макаров А.В., Осинцева А.Л., Юровских А.С., Саврай Р.А., Роговая С.А., Киряков А.Е. Упрочнение и повышение качества поверхности деталей из аустенитной нержавеющей стали алмазным выглаживанием на токарно-фрезерном центре // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 11. С. 16–26.
- Кузнецов В.П., Макаров А.В., Псахье С.Г., Саврай Р.А., Малыгина И.Ю., Давыдова Н.А. Трибологические аспекты наноструктурирующего выглаживания конструкционных сталей // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 17. № 3. С. 14–30.
- Мельников П.А., Пахоменко А.Н., Лукьянов А.А. Математическая модель формирования микрорельефа шейки вала при обработке алмазным выглаживанием // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. № 2. С. 104–111.
- Fargas G., Roa J.J., Mateo A. Effect of shot peening on metastable austenitic stainless steels // Materials Science and Engineering A. 2015. Vol. 641. P. 290–296.
- Бараз В.Р., Картак Б.Р., Минеева О.Н. Особенности фрикционного упрочнения аустенитной стали с нестабильной фазой // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. № 10. С. 20–22.
- Balusamy T., Sankara Narayanan T.S.N., Ravichandran K., Song Park Il., Min Ho Lee. Influence of surface

- mechanical attrition treatment (SMAT) on the corrosion behaviour of AISI 304 stainless steel // *Corrosion science*. 2013. Vol. 74. P. 332–344.
9. Бараз В.Р., Федоренко О.Н. Влияние деформации трением на структуру и свойства метастабильной аустенитной хромоникелевой стали // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 12. С. 15–18.
 10. Unal O., Varol R. Surface severe plastic deformation of AISI 304 via conventional shot peening, severe shot peening and re-peening // *Applied Surface Science*. 2015. Vol. 351. P. 289–295.
 11. Hao Y., Deng B., Zhong C., Jiang Y., Li J. Effect of surface mechanical attrition treatment on corrosion behavior of 316 stainless steel // *Journal of Iron and Steel Research International*. 2009. Vol. 16. P. 68–72.
 12. Sun Y. Sliding wear behavior of surface mechanical attrition treated AISI 304 stainless steel // *Tribology International*. 2013. Vol. 57. P. 67–75.
 13. Коршунов Л.Г., Пушин В.Г., Черненко Н.Л., Макаров В.В. Структурные превращения, упрочнение и износостойкость никелида титана при адгезионном и абразивном изнашивании // *Физика металлов и металловедение*. 2010. Т. 110. № 1. С. 94–105.
 14. Novelli M., Fundenberger J.-J., Bocher P., Grosdidiera T. On the effectiveness of surface severe plastic deformation by shot peening at cryogenic temperature // *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 389. P. 1169–1174.
 15. Sato H., Namba A., Okada M., Watanabe Y. Temperature dependence of reverse transformation induced by shot-peening for SUS 304 austenitic stainless steel // *Materials Today: Proceedings*. 2015. Vol. 2S. P. S707–S710.
 16. Литовченко И.Ю., Тюменцев А.Н., Аккузин С.А., Найден Е.П., Корзников А.В. Особенности мартенситных превращений и эволюция дефектной микроstructures метастабильной аустенитной стали в процессе интенсивной пластической деформации кручением под давлением // *Физика металлов и металловедение*. 2016. Т. 117. № 8. С. 875–884.
 17. Makarov A.V., Skorynina P.A., Yurovskikh A.S., Osintseva A.L. Effect of the technological conditions of frictional treatment on the structure, phase composition and hardening of metastable austenitic steel // *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1785. № 040035. P. 040035-1–040035-4.
 18. Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N., Naiden E.P. The features of microstructure and mechanical properties of austenitic steel after direct and reverse martensitic transformations // *AIP Conference Proceedings*. 2015. Vol. 1683. № 020123. P. 020123-1–020123-4.
 19. Mumtaz K., Takahashi S., Echigoya J., Zhang L.F., Kamada Y., Sato M. Detection of martensite transformation in high temperature compressively deformed austenitic stainless steel by magnetic NDE technique // *Journal of Materials Science*. 2003. Vol. 38. № 14. P. 3037–3050.
 20. Chen A.Y., Ruan H.H., Wang J. The influence of strain rate on the microstructure transition of 304 stainless steel // *Acta Materialia*. 2011. Vol. 59. P. 3697–3709.
- REFERENCES**
1. Makarov A.V., Skorynina P.A., Osintseva A.L., Yurovskikh A.S., Savrai R.A. Improving the tribological properties of austenitic 12Kh18N10T steel by nanostructuring frictional treatment. *Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty)*, 2015, no. 4, pp. 80–92.
 2. Baraz V.R., Fedorenko O.N. Special features of friction treatment of steels of the spring class. *Metal Science and Heat Treatment*, 2016, vol. 57, no. 11, pp. 652–655.
 3. Kuznetsov V.P., Makarov A.V., Osintseva A.L., Yurovskikh A.S., Savrai R.A., Rogovaya S.A., Kiryakov A.E. The increase of strength and surface quality of austenitic stainless steel parts by diamond burnishing on the turning-milling center. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya*, 2011, no. 11, pp. 16–26.
 4. Kuznetsov V.P., Makarov A.V., Psakhe S.G., Savray R.A., Malygina I.Yu., Davydova N.A. Tribological aspects in nanostructuring burnishing of structural steels. *Physical Mesomechanics*, 2014, vol. 17, no. 4, pp. 250–264.
 5. Melnikov P.A., Pakhomenko A.N., Lukyanov A.A. Mathematical model of forming of microrelief of shaft journal while processing by diamond burnishing. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 2, pp. 104–111.
 6. Fargas G., Roa J.J., Mateo A. Effect of shot peening on metastable austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering A*, 2015, vol. 641, pp. 290–296.
 7. Baraz V.R., Kartak B.R., Mineeva O.N. Special features of friction hardening of austenitic steel with unstable γ -phase. *Metal Science and Heat Treatment*, 2011, vol. 52, no. 9-10, pp. 473–475.
 8. Balusamy T., Sankara Narayanan T.S.N., Ravichandran K., Song Park Il., Min Ho Lee. Influence of surface mechanical attrition treatment (SMAT) on the corrosion behaviour of AISI 304 stainless steel. *Corrosion science*, 2013, vol. 74, pp. 332–344.
 9. Baraz V.R., Fedorenko O.N. The influence of friction deformation on structure and properties of austenitic Cr-Ni steel. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2011, no. 12, pp. 15–18.
 10. Unal O., Varol R. Surface severe plastic deformation of AISI 304 via conventional shot peening, severe shot peening and re-peening. *Applied Surface Science*, 2015, vol. 351, pp. 289–295.
 11. Hao Y., Deng B., Zhong C., Jiang Y., Li J. Effect of surface mechanical attrition treatment on corrosion behavior of 316 stainless steel. *Journal of Iron and Steel Research International*, 2009, vol. 16, pp. 68–72.
 12. Sun Y. Sliding wear behavior of surface mechanical attrition treated AISI 304 stainless steel. *Tribology International*, 2013, vol. 57, pp. 67–75.
 13. Korshunov L.G., Pushin V.G., Chernenko N.L., Makarov V.V. Structural transformations, strengthening, and wear resistance of titanium nickelide upon abrasive and adhesive wear. *The Physics of Metals and Metallography*, 2010, vol. 110, no. 1, pp. 91–101.
 14. Novelli M., Fundenberger J.-J., Bocher P., Grosdidiera T. On the effectiveness of surface severe plastic deformation by shot peening at cryogenic temperature. *Applied Surface Science*, 2016, vol. 389, pp. 1169–1174.

15. Sato H., Namba A., Okada M., Watanabe Y. Temperature dependence of reverse transformation induced by shot-peening for SUS 304 austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 2015, vol. 2S, pp. S707–S710.
16. Litovchenko I.Yu., Tyumentsev A.N., Akkuzin S.A., Nayden E.P., Korznikov A.V. Martensitic transformations and the evolution of the defect microstructure of metastable austenitic steel during severe plastic deformation by high-pressure torsion. *The Physics of Metals and Metallography*, 2016, vol. 117, no. 8, pp. 847–856.
17. Makarov A.V., Skorynina P.A., Yurovskikh A.S., Osintseva A.L. Effect of the technological conditions of frictional treatment on the structure, phase composition and hardening of metastable austenitic steel. *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1785, no. 040035, pp. 040035-1–040035-4.
18. Litovchenko I.Yu., Akkuzin S.A., Polekhina N.A., Tyumentsev A.N., Naiden E.P. The features of microstructure and mechanical properties of austenitic steel after direct and reverse martensitic transformations. *AIP Conference Proceedings*, 2015, vol. 1683, no. 020123, pp. 020123-1–020123-4.
19. Mumtaz K., Takahashi S., Echigoya J., Zhang L.F., Kamada Y., Sato M. Detection of martensite transformation in high temperature compressively deformed austenitic stainless steel by magnetic NDE technique. *Journal of Materials Science*, 2003, vol. 38, no. 14, pp. 3037–3050.
20. Chen A.Y., Ruan H.H., Wang J. et al. The influence of strain rate on the microstructure transition of 304 stainless steel. *Acta Materialia*, 2011, vol. 59, pp. 3697–3709.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE OF NANOSTRUCTURING FRICTIONAL TREATMENT ON THE STRUCTURAL-PHASE STATE, HARDENING AND SURFACE QUALITY OF AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STEEL

© 2017

P.A. Skorynina, engineer

Institute of Engineering Science of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)

A.V. Makarov, Doctor of Sciences (Engineering),

Head of Department of Materials Science and Laboratory of Mechanical Properties

M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Institute of Engineering Science of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (Russia)

A.S. Yurovskikh, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Laboratory of super-resolution electronic microscopy

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (Russia)

A.L. Osintseva, PhD (Engineering), senior researcher

Institute of Engineering Science of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)

Keywords: austenitic stainless steel; frictional treatment; nanocrystalline structure; strain-induced martensite; surface quality.

Abstract: The application of finishing frictional treatment provides the effective strain hardening and the increased wear resistance combined with the high quality of austenitic Cr-Ni steels treated surface. However, the surface deformation treatment may cause the corrosion properties decrease because of the presence of strain-induced α' -martensite in the metastable austenitic steel surface layer. In this paper, the authors used the methods of transmission electron microscopy, X-ray diffraction analysis, microhardness testing, and optical profilometry to study the influence of the temperature of nanostructuring frictional treatment with the sliding indenter on the structure, phase composition, hardening and surface quality of 12Kh18N10T metastable austenitic steel. It is shown that frictional treatment in the temperature range from -196 to $+250$ °C provides close levels of austenitic steel hardening when the efficiency of the strain-induced martensitic $\gamma \rightarrow \alpha'$ transformation in the steel surface layer is strongly dependent on the loading temperature. Frictional treatment at the room and subzero temperatures forms the high quality 12Kh18N10T steel surface with the low values of roughness parameter ($Ra=75-120$ nm). The elevated temperatures lead to the seizure and growth of Ra to $180-270$ nm. It is determined that after the frictional treatment, in the thin surface layer of steel, the fragmented submicrocrystalline and nanocrystalline structures of strain-induced α' -martensite (at the loading temperature of $T=-196$ °C) and austenite (at $T=+250$ °C), as well as two-phase martensitic-austenitic structures (at $T=+20$ °C) are formed.

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

**ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИТЕРАТУРНОГО ЗООНИМА
В КАЧЕСТВЕ ПРАГМАТОНИМА-ГЛОБАЛИЗМА
(НА МАТЕРИАЛЕ РЕКЛАМНОЙ КАМПАНИИ ТОРГОВОЙ МАРКИ NAFNAF)**

© 2017

О.А. Васильева, преподаватель

Филиал Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил

«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Сызрань (Россия)

Ключевые слова: прагматоним; прецедентный оним; коммуникативная эмоциональность товарного знака; прагматоним-глобализм; трансонимизация.

Аннотация: Актуальность выбранного для исследования вопроса связана со стремительным развитием современной экономики. Постоянное расширение спектра предлагаемых товаров и услуг приводит предпринимателей к необходимости качественного выделения товара из ряда подобных. В связи с этим становится актуальным изучение процесса номинации в области рекламного и экономического дискурса. В статье рассматривается процесс функционирования ономастической лексики в сфере экономической номинации. Проводится обзор научной литературы, посвященной изучению данной проблемы, анализируется терминологический аппарат для обозначения совокупности имен в этом сегменте ономастики, разграничиваются понятия «прагматоним» и «прагматоним-глобализм». Основой исследования является рекламная кампания торговой марки *NafNaf*. В статье обосновывается термин «прагматоним-глобализм» в отношении указанного бренда; анализируется коммуникативная эмоциональность торгового знака *NafNaf*, его лингвистическая специфика, экспрессивный компонент в семантике прагматонима. Научная новизна работы состоит в исследовании экономической номинации, основанной на использовании вторичной номинации онимов. Автором приводятся аргументы, доказывающие, что выбор названия компании *NafNaf* связан с прецедентным именем (именем героя детской сказки о трех поросятах). Рассматривается процесс вторичной номинации онима, при котором литературный зооним путем трансонимизации становится прагматонимом. Полученные результаты исследования свидетельствуют о богатом потенциале ономастической лексики (литературных зоонимов) при реализации процесса номинации в области экономики. Прецедентная основа бренда *NafNaf* позволяет сделать название запоминающимся, а кроме этого, служит качественной основой для создания рекламных сообщений для потенциального покупателя.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время устойчивый интерес исследователей вызывает ономастическая лексика рекламного дискурса. Речь идет о номинации в сфере производства товаров и услуг. Ученые определяют номинацию «как называние, именованье, присвоение имени, процесс наименования» [1, с. 91], «обозначения» [2, с. 7], отмечают сложность и многогранность этого процесса. А.В. Суперанская считает, что номинация способствует познанию человеком окружающего мира [3, с. 236]. И.И. Исангузина обращает внимание на то, что большую роль играет оценочный компонент, «наличие так называемой избирательной заинтересованности», которая заключается в выделении определенных свойств и качеств предметов [4, с. 990]. Е.Н. Сидоренко подчеркивает, что название дает объекту право на индивидуальность и является интеллектуальной собственностью фирмы или другого объекта деятельности. Акт номинации сопровождается юридической фиксацией названия за определенным объектом. Названия, закрепленные юридически, получают право функционирования среди множества других им подобных объектов. Правильно подобранное название будет отражать специфику деятельности именуемого объекта и эффективно функционировать длительное время среди множества себе подобных [5].

Для обозначения процесса номинации в экономическом пространстве учеными используются различные термины. Отсутствие общепризнанного терминологического обозначения совокупности имен в этой области Т.П. Романова объясняет тем, что «этот многогранный

феномен является объектом изучения разных наук» [6, с. 31]. Первоначально слова, обозначающие экономические объекты, появились в сфере коммерческих и юридических отношений. Названия, под которыми «фирма продает или рекламирует свою продукцию», Г. Чермессон определяет как «торговые марки». Он обращает внимание на то, что в России больше используется термин «торговый знак» [7, с. 20]. Т.П. Романова приводит обзорную характеристику таких терминов, как «бренд», «бренд-нейм», «логотип», «фирменный знак» и др., которые фигурируют в работах маркетологов и рекламистов [6, с. 31]. Учеными-лингвистами используется другой ряд терминов. В «Словаре русской ономастической терминологии» Н.В. Подольская вводит понятия «эргоним» («собственное имя делового объединения людей, в том числе союза, организации, учреждения, корпорации, предприятия, общества, заведения, кружка» [1, с. 166]) и «прагматоним» («номен для обозначения сорта, марки, товарного знака» [1, с. 113]). Проводя сравнительную характеристику этих двух понятий, И.И. Турута обращает внимание на то, что Н.В. Подольская трактует прагматоним не как разряд онимов, а как номен (номенклатурное обозначение) [8]. Под номеном в данном случае понимается слово или словосочетание, имеющее прямую связь с предметом как видом, представляющим собой неопределенное множество идентичных единиц, являющихся объектом какой-либо отрасли науки, техники, производства, искусства [1, с. 161]. В.И. Супрун относит прагматонимы к периферии ономастического пространства («комплекс имен собственных всех разрядов») [9], однако современные

исследователи считают, что данные языковые единицы переместились в ядерную зону ономастического пространства. Этот процесс, по мнению ученых, связан с тем, что номинация становится одной из приоритетных подсистем в области рекламы и маркетинга в изменившейся экономической обстановке [4, с. 991]. Мы считаем, что факт бурного развития экономики, безусловно, актуализирует изучение таких языковых единиц, как прагматонимы, но все же не делает их ядерными элементами ономастического пространства.

Среди работ последних десятилетий существует достаточное количество исследований, посвященных ономастическим единицам, функционирующим в рекламном дискурсе. Ученые используют термин «прагматоним» и уделяют внимание различным аспектам изучения его семантики. О.Е. Яковлева представляет системное описание совокупности прагматонимов как относительно самостоятельного сегмента ономастического пространства; выявляет наиболее продуктивные содержательные мотивемы и способы словообразования, определяет круг тематических групп и рядов в определенных типах [10]. О.С. Фоменко исследует лингвистическую специфику прагматонимов-глобализмов как единиц ономастической лексики [11]. Н.А. Стадильская изучает эмоционально-оценочный и экспрессивный компоненты в семантике прагматонимов [12]. Для обозначения имен собственных в коммерческой сфере И.В. Крюкова вводит общий термин «рекламное имя», которое объединяет следующие группы собственных имен: эргонимы (названия деловых объединений людей), гемеронимы (названия средств массовой информации), геортонимы (названия торжественных мероприятий), порейонимы (названия транспортных средств) и прагматонимы (названия марок товаров) [13, с. 12]. Е.С. Кара-Мурза предлагает термин «коммерческое имя» – «особый функциональный, т. е. речевой класс объектов, который базируется на языковом феномене имен собственных (онимов) и применяется в разных сферах социальной коммуникации (деловой, рекламной, политической) в индивидуальной функции. Она проявляется как пучок функций более конкретных – отличительной и информативной, психологической и рекламной, охранной и гарантийной» [14]. Т.П. Романова считает, что термины «рекламное имя» и «коммерческое имя», или «коммерческое собственное наименование», в настоящее время являются «почти полными синонимами», их различие определяется лишь сферой их функционирования [6, с. 34]. Для обозначения марки товаров и услуг, распространенных по всему миру и рекламируемых в транснациональных масштабах, ученые используют термины «прагматоним-глобализм» [10], «глобальный бренд» [15]. На наш взгляд, понятия «рекламное имя», «коммерческое имя» являются понятиями общими, характеризующими процесс номинации в сфере экономического пространства в целом.

В представленной работе анализируется функционирование языковой единицы *NafNaf*. Данная языковая единица служит именованием корпорации по производству одежды, фирменных магазинов этой корпорации, одежды, выпускаемой под маркой *NafNaf*, т. е. языковая единица объединяет в себе понятия эргонима и прагматонима и может называться «рекламным именем» по терминологии И.В. Крюковой или «коммерческим име-

нем» по терминологии Е.С. Кара-Мурзы. Однако наше внимание сосредоточено на функционировании языковой единицы *NafNaf* в качестве именованной торговой марки, которая известна далеко за пределами страны-производителя, поэтому более точным, на наш взгляд, будет термин «прагматоним-глобализм», предложенный О.С. Фоменко.

Название изучаемой торговой марки необычно: в его основе лежит имя собственное (литературный оним Наф-Наф). Мы наблюдаем процесс «вовлечения собственных имен в процессы вторичной номинации» [16, с. 55] при помощи трансонимизации («переход онима из одного разряда в другой») [1, с. 138]. Е.П. Иванян, давая обзорную характеристику функционирования мезолексов (онимов, занимающих промежуточное положение между нарицательными и собственными именами) и аппелятивов (онимов, перешедших в имена нарицательные), выделяет их основные функции: декоративную, оценочную и эвфемистическую [17, с. 38]. Мезолекс Наф-Наф, выступая в качестве прагматонима, приобретает отличительную, рекламную, информативную функции.

Исследуя языковой материал, связанный с литературными зоонимами Наф-Наф, Ниф-Ниф, Нуф-Нуф, мы обнаружили, что 8,6 % общего количества языковых примеров (более 300) представляют прагматонимы; 44 % из них представлены прагматонимом *NafNaf*. Целью данной работы является определение лингвистических особенностей прагматонима прецедентного типа *NafNaf*, имеющего статус прагматонима-глобализма.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

О.С. Фоменко определяет прагматоним-глобализм как имя собственное для обозначения марки товара или вида предлагаемых услуг, распространенное в транснациональных масштабах по всему миру, прочно закрепленное в языковом сознании различных лингвокультур, обладающее значительным ассоциативным потенциалом по линиям языковых и экстралингвистических знаний. Основываясь на экономических критериях, ученый подчеркивает, что к прагматонимам-глобализмам относятся товарные знаки компаний, которые владеют производственными подразделениями в нескольких странах, иначе говоря, являются транснациональными компаниями (ТНК) [11]. Материалы, представленные в сети Internet, доказывают, что компания *NafNaf* развита во многих странах: «В 1992 году открыт 100-й бутик *NAF NAF* – этот юбилейный магазин занимает площадь 400 кв. м на авеню Терн в Париже. В этом же году марка становится международной, добивается открытия своих представительств в Бельгии, Англии, Испании и Италии» [18]. Компания *NafNaf* сотрудничает с другими транснациональными компаниями: «В 1989 году марка стала настолько популярна во Франции, что стала выпускать для своих поклонниц журнал *NAF NAF*. Он распространялся в бутиках компании и в партнерстве с французским *ELLE*» [11].

Примеры подтверждают, что прагматоним *NafNaf* является прагматонимом-глобализмом. Торговая марка широко развита во Франции, Англии, России, Бельгии, Испании, Италии, осуществляет сотрудничество с другими транснациональными компаниями (*ELLE*), т. е. функционирует в глобальных масштабах.

Вслед за В.В. Красных мы используем термин «прагматоним прецедентного типа». Ученый определяет прагматонимы прецедентного типа как вторично употребленные языковые единицы, в которых качество прецедентности обусловлено их известностью всем представителям национально-лингвокультурного сообщества или большей его части, актуальностью в когнитивном (познавательном и эмоциональном) процессе на уровне постоянной апелляции к ним в речи носителей русского языка [19, с. 44–45]. Из истории бренда, размещенной в сети Internet, логотипов компании, общей концепции становится понятно, что название торговой марки связано с прецедентным онимом *Наф-Наф*: «Откуда возникло такое название? У большинства тут же возникает ассоциация со всеми любимым и известным персонажем сказки "Три поросенка" и это неспроста. Действительно, братья решили увековечить любимого героя и назвали свое детище в его честь» [20, с. 4]. Один из создателей данного бренда объясняет его происхождение в одном из интервью: «"Наф-Нафом" в детстве прозвали моего старшего брата Жерара, он чуть крупнее меня и всегда любил покушать", – посмеиваясь, объясняет Парьянт. Потом, правда, оговаривается: "Все зависит от того, кто из нас дает интервью, – брат рассказывает, что *Наф-Нафом* звали меня. Но если вы посмотрите на меня и брата, то поймете, кто из нас настоящий *Наф-Наф*"» [20]. Подтверждением того, что мотивом для именованной компании послужило именно прецедентное имя сказочного героя, служит рекламная кампания бренда. В первой рекламной кампании *NafNaf* фотографии украшены нарисованными следами поросят, а иногда в кадре присутствует и сам поросенок.

Одна из рекламных фотографий, датированная 1984 годом, демонстрирует комбинезон – талисман данного бренда, а также поросенка, что прямо указывает на прецедентный характер прагматонима. Прагматоним в данном случае реализует свое дономастическое значение, которое является средством выражения мотивированности. Н.Л. Шведова к существенным мотивировочным признакам относит те, которые содержат разнообразные характеристики именуемого объекта, как прямые, так и символические [21]. Обратим внимание, что в 1984 году прагматоним *NAF-NAF* пишется прописными буквами через дефис, сохраняя связь с прецедентным именем. Позже графическое изображение бренда изменилось: его стали писать без дефиса, прописными остаются только начальные буквы редуцированного имени: *NafNaf*.

Если выбор названия компании связан с атрибутами прецедентного имени (внешние признаки, комбинезон), то реклама данной торговой марки строится на реализации коммуникативной эмоциональности торгового знака *NafNaf*. Делается акцент на элегантность, легкость французского стиля одежды, так как именно Франция является родиной торговой марки: «Компания *NafNaf* – французский бренд модной молодежной женской одежды. Большой ассортимент всевозможных блузок, джинсов, женственных платьев и юбок, стильная обувь и яркие аксессуары – все для создания романтического образа» [22]. Задача рекламной кампании мыслится как необходимость подчеркнуть «французскость бренда», привлекая тем самым молодых женщин

и девушек в фирменные магазины *NafNaf*. Более того, в 2011 году изменился логотип марки, к названию компании по производству одежды добавили город, где эта компания появилась: «В новой рекламной кампании бренд изменил свой имидж – теперь героиней *NafNaf* стала сказочная красавица, которая живет в волшебной стране и умеет разговаривать с животными. Изменился и логотип марки – отныне рядом с названием бренда можно увидеть и город его рождения – Париж (*NafNaf Paris*)» [22]. Авторы рекламной кампании связывают французскую марку с французской культурой в целом: «Монмартр, Марк Шагал, Коко Шанель и Париж в модном цвете розовой мечты!». Слоган дополняется текстом: «Розовый цвет – фирменный цвет *NafNaf*, черная кошка – символ Монмартра – самой известной модной творческой улицы Парижа. Летящий образ соблазнительной и загадочной кошки, с одной стороны, показывает невесомость и хрупкость молодой девушки, с другой, отсылает нас во времена Марка Шагала, когда фантазия и безграничное творчество царило на мощных улицах Парижа. Модная шляпка "как у Коко Шанель" подчеркивает безупречный стиль и тонкость, а Эйфелева башня на заднем плане – принадлежность к столице Высокой моды» [22].

Прагматонимы должны нести в своем названии такую положительную коннотацию, которая подтолкнет потенциального покупателя к желаемому для промышленника действию – приобретению товара с его товарным знаком. Г. Чермессон, анализируя механизм действия коммерческого названия, подчеркивает, насколько важно впечатление, производимое названием [7, с. 7]. М.В. Голомидова, перифразируя известное высказывание, обозначает «позитивное восприятие» как «путь к сердцу покупателя», поэтому названия должны нести в себе «рациональные и эмоциональные ценности, понятные и близкие целевой аудитории» [23, с. 334]. Мы уже отмечали, что положительная коннотация прагматонима *NafNaf* связана с прецедентным сказочным текстом, т. е. воспоминанием о детстве. Прецедентное имя отсылает нас к герою сказки – поросенку, который ассоциируется у читателей с миром веселья, детства, но не с миром моды.

Н.А. Стадульская отмечает, что в процессе рекламного сообщения создается коммуникативная эмоциональность товарного знака. Предметом объективации в товарном знаке служит не предметный мир сам по себе, а отношение к нему, отображающее в той или иной форме эмотивную реакцию субъекта оценки на обозначаемый предмет [11]. Именно поэтому рекламная кампания бренда старается создать в рекламных сообщениях яркую эмоциональную оценку, которая связана не с названием марки одежды, а с миром красоты, элегантности, причастны к которому далеко не все. Стать обладателем одежды бренда *NafNaf* возможно, «если ты элегантная стильная молодая особа с утонченными манерами и загадочным взглядом...» Данный слоган создает эмотивную оценку уверенности в себе, избранности, что, безусловно, привлекает молодых женщин. Мысль, озвученная в коротком обращении, развивается в рекламном тексте: «Мы приглашаем всех модниц проявить свой элегантный вкус и фантазию, получив за это скидку на покупку одежды *NafNaf* этой весной. Если ты особенная, с утонченным французским стилем,

неповторимой женственностью и очарованием – загляни в магазин, и тебя обязательно заметят! Сияющий взгляд, модная шляпка или каблук – каждая деталь имеет значение!» [22]. Суть рекламного сообщения заключается в том, чтобы вложить в сознание потенциальных покупательниц положительные эмоции по отношению к качествам женственности, элегантности, особенности каждой из них: «Креативная концепция отражает основные характеристики современной молодой девушки – скрытая нежность, уверенность и, одновременно, ранимость, стремление к прекрасному, романтичность и требовательность. Пусть она школьница или студентка, но в душе она всегда легкая, беззаботная соблазнительница, ищущая романтических приключений, нежности и комплиментов» [22]. Таким образом, положительная эмоциональная оценка самого прагматонима, отсылающего покупателей в мир детства, сказок, дополняется положительной оценкой не менее волнующего мира красоты и моды. Тем не менее некоторые рекламные акции сохраняют связь прагматонима с прецедентным текстом. Героем, представляющим оппозицию поросенку Наф-Нафу в сказке, является волк. В иллюстрированной рекламной кампании *NafNaf* 2014 года сохраняется оппозиция «Наф-Наф – волк», однако волк не выступает в роли угрозы – он является символом мужчины, который восхищается женщиной (Лейтон Мистер) в нарядах *NafNaf* [24].

ВЫВОДЫ

Торговая марка *NafNaf* является прагматонимом-глобализмом. Доказательством этому служит успешная реализация брендовой продукции во многих странах: Франции, Англии, Бельгии, России, Испании, Италии; сотрудничество с другими транснациональными компаниями (*ELLE*), т. е. функционирование в глобальных масштабах. Прагматоним-глобализм *NafNaf* является прагматонимом прецедентного типа. Название бренда реализует свое дономастическое значение, являясь средством выражения мотивированности: изображения поросят в кадрах рекламных кампаний, комбинезон в качестве талисмана компании, истории, объясняющие происхождение бренда. Прецедентный характер прагматонима в совокупности с происхождением бренда создают положительную эмоциональность восприятия торгового знака. С одной стороны, название бренда *NafNaf* отсылает покупателей в мир сказки, детства, что создает положительные эмоции; с другой стороны, содержание рекламных текстов строится на декларации женственности, избранности, необычности потенциальных покупательниц. Можно сделать вывод, что торговая марка *NafNaf*, в основе которой лежит прецедентный оним, занимает значительное место в экономическом пространстве и является одним из самых заметных функционалов рекламного дискурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подольская Н.В. Словарь русской ономастической терминологии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1988. 192 с.
2. Топоров В.Н. О палийской топономастике // Ономастика Востока: исследования и материалы. М.: Наука, 1969. С. 31–50.
3. Суперанская А.В. Общая теория имени собственнo-го. М.: Наука, 1973. 367 с.
4. Исангузина И.И. Прагматонимы в ономастическом пространстве: семантический, лингвокультурологический и синтаксический аспекты (на примере кондитерских изделий) // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 4. С. 990–993.
5. Сидоренко Е.Н. Эргонимы и прагматонимы как объекты интеллектуальной собственности. 2013. URL: eir.pstu.edu/handle/123456789/5926.
6. Романова Т.П. Коммерческое именование как инструмент рекламной коммуникации // Активные процессы в социальной и массовой коммуникации. Ярославль: ЯГПУ, 2014. С. 30–55.
7. Чермэссон Г. Торговая марка: как создать имя, которое принесет миллионы. СПб.: Питер, 1999. 224 с.
8. Турута И.И. Эргонимы и прагматонимы: сходство и отличие // Вестник Днепропетровского университета. 2016. № 11. С. 159–170.
9. Супрун В.И. Ономастическое поле русского языка и его художественно-эстетический потенциал : автореф. дис. ... д-ра филол. наук. Волгоград, 2000. 76 с.
10. Яковлева О.Е. Семиотические типы прагматонимов современного русского языка : автореф. дис. ... канд. филол. наук. Новосибирск, 2006. 21 с.
11. Фоменко О.С. Прагматонимы-глобализмы : автореф. дис. ... канд. филол. наук. Волгоград, 2009. 23 с.
12. Стадильская Н.А. Эмоционально-оценочный и экспрессивный компоненты в семантике прагматонимов // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2007. № 4. С. 36–41.
13. Крюкова И.В. Рекламное имя: от изобретения до прецедентности. Волгоград: Перемена, 2004. 288 с.
14. Кара-Мурза Е.С. Новые времена – новые имена. Коммерческое имя как риторическая и маркетинговая проблема // М.В. Ломоносов и современные стилистика и риторика: сборник статей. М.: Флинта, 2008. С. 282–303.
15. Крюкова И.В. Трансформации глобальных брендов в русской деловой коммуникации // Активные процессы в социальной и массовой коммуникации. Ярославль: ЯГПУ, 2014. С. 55–65.
16. Отин Е.С. Коннотативные онимы и их производные в историко-этимологическом словаре русского языка // Вопросы языкознания. 2003. № 2. С. 55–56.
17. Иванян Е.П. Функции мезолексов и апеллятивов русского языка // Русский язык начала XXI века: История. Теория. Современность: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной столетию со дня рождения доктора филологических наук, профессора Алексея Александровича Дементьева. Самара: ПГСГА, 2010. С. 38–46.
18. Тумовская М. *Naf Naf* // Женская энциклопедия. URL: womanwiki.ru/s/index.php?title=Naf_Naf&action=history.
19. Красных В.В. Этнопсихоллингвистика и лингвокультурология. М.: ГНОЗИС, 2002. 284 с.
20. Торговая марка Наф Наф: учебные материалы. URL: lvbco.narod.ru/02dobro_pojalovat_v_naf-naf.pdf.
21. Шведова Н.Л. Функциональная специфика прагматонимов : автореф. дис. ... канд. филол. наук. Волгоград, 2011. 24 с.

22. Рекламная кампания для компании Naf Naf. Креативная концепция «Французские денечки» // Ad Once: креативное агентство. URL: adonce.ru/portfolio/kreativnaya-koncepciya-francuzskie-denechki.
 23. Голомидова М.В. Вербальные символы СССР в современной коммерческой номинации // Советское прошлое и культура настоящего. В 2 т. Екатеринбург: Уральский ун-т, 2009. Т. 2. С. 332–348.
 24. Лейтон Мистер в главной роли иллюстрированной кампании Naf Naf // Moda: сайт Woman Journal.ru. URL: trendy.wmj.ru/moda/2014/04/07/leyton-mister-v-glavnoy-rol-i-illyustrirovannoy-kampanii-naf-naf.html.
- REFERENCES**
1. Podolskaya N.V. *Slovar russkoy onomasticheskoy terminologii* [The dictionary of Russian onomastic terminology]. 2nd ed. pererab. i dop. Moscow, Nauka Publ., 1988. 192 p.
 2. Toporov V.N. About Pali toponomastics. *Onomastika Vostoka: issledovaniya i materialy*. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 31–50.
 3. Superanskaya A.V. *Obshchaya teoriya imeni sobstvennogo* [The General theory of a proper name]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 367 p.
 4. Isanguzina I.I. Pragmatonyms in onomastic space: semantic, linguoculturology and syntactic aspects (through the example of confectionery products). *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2008, vol. 13, no. 4, pp. 990–993.
 5. Sidorenko E.N. Ergonyms and pragmatonyms as the objects of an intellectual property. 2013. URL: eir.pstu.edu/handle/123456789/5926.
 6. Romanova T.P. Commercial naming as a tool of advertising communication. *Aktivnye protsessy v sotsialnoy i massovoy kommunikatsii*. Yaroslavl', YaGPU Publ., 2014, pp. 30–55.
 7. Chermesson G. *Torgovaya marka: kak sozdat imya, kotoroe prineset milliony* [The name's the thing: creating the perfect name for your company or product]. Sankt Petersburg, Piter Publ., 1999. 224 p.
 8. Turuta I.I. Ergonyms and pragmatonyms: similarity and difference. *Vestnik Dnepropetrovskogo universiteta*, 2016, no. 11, pp. 159–170.
 9. Suprun V.I. *Onomasticheskoe pole russkogo yazyka i ego khudozhestvenno-esteticheskiiy potentsial*. Avtoref. diss. dokt. filol. nauk [Onomastic field of the Russian language and its artistic and aesthetic potential]. Volgograd, 2000. 76 p.
 10. Yakovleva O.E. *Semioticheskie tipy pragmatonimov sovremennogo russkogo yazyka*. Avtoref. diss. kand. filol. nauk [Semiotic types of pragmatonyms of modern Russian language]. Novosibirsk, 2006. 21 p.
 11. Fomenko O.S. *Pragmatonimy-globalizmy*. Avtoref. diss. kand. filol. nauk [Pragmatonyms-globalisms]. Volgograd, 2009. 23 p.
 12. Stadul'skaya N.A. Emotive-evaluative and expressive components in the semantics of pragmatonyms. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2007, no. 4, pp. 36–41.
 13. Kryukova I.V. *Reklamnoe imya: ot izobreteniya do pretsedentnosti* [Advertising name: invention and precedent]. Volgograd, Peremena Publ., 2004. 288 p.
 14. Kara-Murza E.S. Modern times – new names. Commercial name as a rhetorical and marketology issue. *M.V. Lomonosov i sovremennyye stilistika i ritorika: sbornik statey*. Moscow, Flinta Publ., 2008, pp. 282–303.
 15. Kryukova I.V. Transformations of worldwide brands in Russian business communication. *Aktivnye protsessy v sotsialnoy i massovoy kommunikatsii*. Yaroslavl', YaGPU Publ., 2014, pp. 55–65.
 16. Otin E.S. Connotative onyms and their derivatives in a historical dictionary. *Voprosy yazykoznanija*, 2003, no. 2, pp. 55–56.
 17. Ivanyan E.P. Functions of mesonyms and appellatives of the Russian language. *Russkiy yazyk nachala XXI veka: Istoriya. Teoriya. Sovremennost: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy stoletiyu so dnya rozhdeniya doktora filologicheskikh nauk, professora Alekseya Aleksandrovicha Dementeva*. Samara, PGSGA Publ., 2010, pp. 38–46.
 18. Tumovskaya M. Naf Naf. *Zhenskaya entsiklopediya*. URL: womanwiki.ru/s/index.php?title=Naf_Naf&action=history.
 19. Krasnykh V.V. *Etnopsikholingvistika i lingvokulturologiya* [Ethnic psycholinguistics and cultural linguistics]. Moscow, GNOZIS Publ., 2002. 284 p.
 20. Naf Naf Trade Mark: training materials. URL: lvbco.narod.ru/02dobro_pojalovat_v_naf-naf.pdf.
 21. Shvedova N.L. *Funktsionalnaya spetsifika pragmatonimov*. Avtoref. diss. kand. filol. nauk [Functional specificity of pragmatonyms]. Volgograd, 2011. 24 p.
 22. Advertising campaign for the company Naf Naf. Creative concept “French Denechki”. *Ad Once: kreativnoe agentstvo*. URL: adonce.ru/portfolio/kreativnaya-koncepciya-francuzskie-denechki.
 23. Golomidova M.V. Verbal symbols of the USSR in the modern commercial nomination. *Sovetskoe proshloe i kultura nastoyashchego*. Ekaterinburg, Uralskiy un-t Publ., 2009. Vol. 2, pp. 332–348.
 24. Leighton Meester starring the illustrated campaign Naf Naf. *Moda: sayt Woman Journal.ru*. URL: trendy.wmj.ru/moda/2014/04/07/leyton-mister-v-glavnoy-rol-i-illyustrirovannoy-kampanii-naf-naf.html.

**SPECIAL ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF LITERARY ZOONYM AS A GLOBAL PRAGMATONYM
(THROUGH THE MATERIAL OF THE ADVERTISING CAMPAIGN OF NAFNAF TRADE MARK)**

© 2017

O.A. Vasilieva, teacher

*Syzran Branch of Military Educational and Scientific Center of Air Force
“Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin Air Force Academy”, Syzran (Russia)*

Keywords: pragmatonym; precedent onym; communicative emotionality of trademark; global pragmatonym; transonymization.

Abstract: The relevance of the issue under the study is associated with the rapid development of the modern economy. Constant extension of the range of offered goods and services leads the entrepreneurs to the necessity to mark off qualitatively a product from a number of similar ones. In this regard, it becomes relevant to study the process of nomination in the field of advertising and economic discourse. The paper considers the process of functioning of onomastic vocabulary in the sphere of economic nomination. The author gives the review of scientific literature on the study of this problem, analyzes the definitions used to identify the totality of names in this segment of onomastics, and makes a distinction between the concepts of “pragmatonym” and “global pragmatonym”. The basis of the study is the advertising campaign of the *NafNaf* trademark. The paper justifies the term “global pragmatonym” in relation to this brand; analyses the communicative emotiveness of the *NafNaf* trademark, its linguistic specificity, and the expressive component in the pragmatonym’s semantics. The academic novelty of the work is in the study of economic nomination based on the application of secondary nomination of the onyms. The author makes arguments proving that the choice of the name of the company *NafNaf* is connected with the precedent name (the name of one of the characters of children’s fairy tale about three piglets) and considers the process of secondary nomination of the onyms when the literary zoonym becomes a pragmatonym by means of transonymization. The results of the research indicate the large potential of the onomastic vocabulary (literary zoonyms) when implementing the process of nomination in the sphere of economy. The precedent basis of the *NafNaf* brand allows making the name easy to remember and moreover serves as a qualitative basis for creating the advertising messages for a prospective buyer.

ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ КАК ОСНОВНОЙ КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ПЕРЕВОДА

© 2017

К.А. Касаткина, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: эквивалентность; уровни эквивалентности; перевод; письменный перевод; качество перевода; переводческая эквивалентность; коммуникативная эквивалентность; лингвистический подход; текст оригинала; текст перевода.

Аннотация: Актуальность заявленной в статье проблематики обусловлена многообразием существующих в отечественном и зарубежном переводоведении подходов к оценке переводов, а также стремлением выделить наиболее приемлемые в прикладном аспекте критерии качественного перевода, опираясь при этом на ключевые понятия теории перевода, в частности на понятие эквивалентности. Цель статьи – проанализировать существующие в современном переводоведении подходы к определению термина «эквивалентность» и выделить наиболее релевантные положения для достижения качественного перевода с позиций достижения эквивалентности. В статье представлены положения лингвистического, коммуникативного подходов к теории эквивалентности, позволяющие определить степень тождественности текстов оригинала и перевода с учетом решения прагматической задачи. Особое внимание при этом уделяется анализу основных положений теории эквивалентности в работах отечественных и зарубежных лингвистов. Наряду с лингвистическим определением эквивалентности перевода, ранжированием уровней при сопоставлении текстов оригинала и перевода, заявленным в работах В.Н. Комиссарова и Дж. Катфорда, в центре внимания исследования по коммуникативной теории и прагматике О. Каде, Дж. Хаус. Особое внимание в статье уделяется положениям теории коммуникативной эквивалентности З.Д. Львовской. Данный подход предполагает приоритет достижения такого уровня коммуникативной эквивалентности, который позволяет утверждать о степени схожести/эквивалентности не только языковых, но и культурных картин коммуникантов.

На конкретных примерах анализируются случаи достижения оптимальной переводческой эквивалентности в английском, немецком и русском языках. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что положения теории коммуникативной эквивалентности существенно дополняют теорию лингвистических уровней эквивалентности и позволяют расширить спектр возможностей в достижении качественного перевода с учетом различных культурных картин мира коммуникантов. Заключительные выводы, итоги анализа приведенных факторов дают основание говорить о значимости данных положений в прикладном переводоведении, а также дидактическом плане в оценивании профессионального письменного перевода.

ВВЕДЕНИЕ

Наука о переводе, переводоведение, окончательно сформировавшись в XX в. на базе языкознания, продолжает неуклонно развиваться, расширяя границы лингвистического переводоведения и предоставляя возможность для исследования процессов перевода через призму различных научных подходов. При этом в центре внимания переводоведов находятся вопросы, связанные с достижением таких результатов при переводе, которые смогли бы соответствовать всем требованиям прагматического [1, с. 67–73] и культурологического характера [2, с. 181–200].

Проблема качественного перевода представляет собой центральную проблему современного переводоведения, будь то письменный или устный перевод, перевод художественный или информативный, узкоспециализированный, специфичный для какой-либо отрасли науки и производства. Вопросы качества перевода разрабатываются на протяжении ряда лет современными российскими [3; 4] и зарубежными переводоведами [5; 6], преподавателями вузов [7; 8]. Ключевым понятием при этом является понятие «эквивалентность».

Несмотря на исследование проблем определения критериев качества перевода [9; 10], создание нормативной базы прикладного переводоведения [11] и разработку дефиниций ключевых понятий, определяющих качество устного и письменного перевода [12; 13], все еще остается круг вопросов, требующих более детального рассмотрения и представляющих

особую актуальность с позиции прикладного переводоведения.

Целью настоящей статьи стало выявление критериев сопоставления текстов оригинала и перевода с позиции достижения эквивалентности в парадигме различных научных подходов.

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПЕРЕВОДА

Один из основателей лингвистической теории перевода, Дж. Катфорд, рассматривая перевод как «операцию, производимую с языками, или процесс замены текста на одном языке текста на другом языке [14, с. 11], предлагает в качестве критериев сопоставления текстов источника и перевода понятие «переводных эквивалентностей», определяя при этом «переводные эквивалентности как эмпирический феномен», что обнаруживается при сопоставлении текстов языка-источника и языка-цели, а также переводные эквивалентности конкретного ситуативно обусловленного акта перевода [14, с. 55]. Примечательно то, что основным условием достижения переводных эквивалентностей, в зависимости от объема (полный или частичный перевод), уровней перевода (фонологический, графологический, грамматический, лексический), а также ранга перевода (уровень предложений, групп слов), выступают условия, контекстуально обусловленные и зависящие от языка-цели. В случае с достижением текстуальной эквивалентности такие условия, прежде всего, являются социально или культурно обусловленными [14, с. 55–60].

Данные положения пересекаются с понятием формальной и динамической эквивалентности, провозглашенными Ю. Найдой [15, с. 19–21], а также сторонниками культурологического подхода к переводу.

ТЕОРИЯ КОММУНИКАТИВНОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

З.Д. Львовская считает главным требованием к переводу достижение коммуникативной эквивалентности, подчеркивая прежде всего культурно-когнитивную природу данного фактора. При этом коммуникативный подход к переводу как «эквивалентной двуязычной деятельности» предполагает достижение такой эквивалентности, которая обеспечит максимально возможную верность концептуальной программе автора исходного текста, а также позволит тексту оставаться адекватным в новой коммуникативной ситуации, которая создается в принимающей культуре [16, с. 91]. Здесь стоит отметить наличие иного подхода в определении категории «адекватность перевода», которая подчинена категории «эквивалентность», выступая лишь частью общего замысла автора текста. Данные положения вполне соотносятся с положениями теории эквивалентности, изложенными в трудах одного из основоположников коммуникативного подхода к переводу – О. Каде, который считает создание текста-«коммуниканта» условием качественного эквивалентного перевода, т. е. текста, отвечающего требованиям реальной коммуникативной ситуации, включающей и экстралингвистические факторы [10; 11, с. 67–68].

В работах Дж. Хаус понятие «эквивалентность» составляет основу прикладного переводоведения, являясь базисом всего процесса перевода. При этом понятие эквивалентности рассматривается с различных позиций или уровней, где в качестве основных выступают денотативный, коннотативный и прагматический уровни; при этом подчеркивается относительный характер эквивалентности, определяемый целью перевода в конкретной переводческой ситуации. Большое значение для практики перевода имеет описание модели оценки перевода, базирующейся на выделении трех аспектов значения при переводе с одного языка на другой: семантического, прагматического и текстуального. Примечательно то, что отсюда вытекает и определение перевода, данное Дж. Хаус: «перевод есть замена текста на языке-источнике семантически и прагматически эквивалентным текстом на языке перевода. Определяющим требованием к эквивалентности также выступает требование эквивалентной тексту оригинала функции, которое выявляется в ходе комплексного анализа авторского текста, а с другой стороны, текста-транслята в конкретной ситуации [6, с. 70].

В.Н. Комиссаров в своих исследованиях утверждает тот факт, что степень реальной смысловой близости между оригиналом и переводом является переменной величиной, и выделяет пять типов эквивалентных отношений. Это:

1) переводы с наименьшей общностью содержания оригинала, но при этом сохраняется цель коммуникации, выражающая основную функцию высказывания;

2) переводы, в которых смысловая близость к оригиналу не основывается на общности примененных лингвистических средств, но при этом сохраняется

часть содержания оригинала, которая понимается как «ситуация», или то, о чем сообщается в конкретном акте коммуникации [3, с. 70–71];

3) переводы, при сопоставлении которых обнаруживаются, кроме сохранения цели коммуникации, ситуации, также общие понятия для описания ситуации в оригинале, т. е. сохранение части содержания исходного текста в виде «способа описания ситуации» [3, с. 80], при этом можно наблюдать семантическое варьирование различного рода;

4) переводы, обладающие семантической общностью с оригиналом, а также имеющие инвариантные синтаксические структуры [3, с. 87];

5) переводы, обладающие наибольшей степенью смысловой общности в отношении оригинала, при этом в дополнение к предыдущим типам (1–4) наблюдается также максимальная соотнесенность лексического состава, эквивалентность устанавливается на уровне семантики словесных знаков [3, с. 96–97].

Проанализировав существующие подходы к определению понятия «эквивалентность», можно заключить, что подход к определению эквивалентности, исходя из взаимосвязи с коммуникативным характером переводческой деятельности, представляется наиболее актуальным в прикладном аспекте, поскольку позволяет наилучшим образом связать лингвистические факторы (уровни) с коммуникативной ситуацией, которая при переводе всегда имеет относительный характер, обусловленный факторами межкультурного взаимодействия. При этом такая коммуникативная эквивалентность предполагает достижение прагматической эквивалентности текстов исходного и переводимого языков, сохранение концептуального замысла программ автора исходного текста и принятие, приемлемость переводного текста в принимающей культуре [17, с. 74].

ПРИМЕРЫ ПЕРЕВОДЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Особенно наглядно достижение коммуникативной эквивалентности в широком понимании этого явления, обеспечивающего адаптацию переводного текста в иноязычной культуре, демонстрируется при переводе заголовков кинофильмов.

В тех случаях, когда в английском и русском языках имеются эквивалентные смысловые понятия, используется дословный перевод. Например, *“Harry Potter and the Philosopher’s Stone”* – «Гарри Поттер и философский камень»; или *“Sleepy Hollow”* – «Сонная лощина» – прямой перевод, калькирование. Иногда для придания большего соответствия русской языковой и культурной картине мира переводчик прибегает к грамматической замене, причем она также обусловлена достижением прагматической эквивалентности, например *“The King’s Speech”* – «Король говорит!».

Название *“Jumper”*, вероятно, было бы можно перевести как «Джампер», однако это бы не отразило цели, которая заключается в сюжете фильма, поскольку данное понятие обозначает человека с возможностями телепортации, поэтому перевод звучит как «Телепорт». Таким образом, перевод выполнен с сохранением адекватности конкретной ситуации русского зрителя, верности оформления в русской лингвистической традиции и является коммуникативно-эквивалентным. Подобный

пример можно наблюдать при переводе с русского языка на английский названия «Двенадцать стульев», которое было переведено в США как “*Diamonds to Sit on*”; в переводе сохранен основной сюжетный замысел, а также адекватность новой коммуникативной ситуации, где ярко прослеживается приверженность американской тенденции к броским заголовкам-интригам [16, с. 89].

При переводе заглавия романа L. Meacham с английского языка на немецкий (“*The Roses*” – «Розы») переводчик использовал название “*Die Erben von Somerset*” – «Наследники Сомерсета», следуя американской культурной традиции аттрактивности заголовка, а также с целью заинтриговать немецкого читателя сюжетом, поскольку в американской версии названия основной сюжет прослеживается имплицитно, напоминая о войне Алых и Белых роз [18].

В переводе заголовков “*M+q Report*” с немецкого языка на английский часто для достижения желаемой степени эквивалентности, прежде всего прагматической, используются синтаксические трансформации, где на первое место выводится непосредственно основная мысль статьи (например, “*Messeaufritte werden teurer*” – «Участие в ярмарках становится дороже» / “*Higher prices for exhibition appearances*” – «Повышение цены за участие в выставке») [19, с. 5].

Примерами нарушения коммуникативной эквивалентности можно считать переводы заголовков, приведенных в брошюрах музея на Кипре. Хотя государственным языком здесь является греческий, основные заголовки выполнены на английском языке, а затем переведены на немецкий язык (например, “*Imprisoned graves*” – «Тюремные могилы» / “*Gefangene Gräber*” – «Плененные могилы»). Речь идет о захоронениях тюремных заключенных, при этом в немецком варианте не просто нарушается эквивалентность перевода, но и теряется смысл текста. В переводе заголовка “*The magnificent of Tachiarxos*” на русский язык мы видим «Чудный флот Таксархиса». Вероятно, авторы имели в виду «великолепный», «чудесный», в результате мы имеем также неэквивалентный вариант перевода [20; 21].

ВЫВОДЫ

Таким образом, рассмотрев и проанализировав ряд существующих подходов к определению понятия «эквивалентность», можно утверждать, что эквивалентность перевода рассматривается как формальная категория (степень возможного тождества между языковыми структурами), а также как деятельностная категория, переводческая эквивалентность, т. е. тот уровень достижения этого тождества, который возможен благодаря деятельности переводчика. В современном понимании явления эквивалентности более всего выделяются критерии достижения тождества в цели коммуникации, воздействия на рецептора, сохранение концепции автора текста-транслята, а также соответствие культурного фона автора текста-транслята [16]. В дидактическом плане достаточно удобно пользоваться рангами или уровнями сопоставления лингвистических структур текстов оригинала и перевода [10; 13], где четко обозначены степени схожести тех или иных лексических, грамматических и стилистических явлений. Однако следует иметь в виду тот факт, что для достижения более полной картины представления условий достиже-

ния качественного перевода необходимо рассматривать всю совокупность культурно обусловленных явлений, позволяющих устанавливать степень тождества (эквивалентности) не только лингвистических, но и культурных картин мира коммуникантов, участвующих в процессе перевода и оказывающих воздействие на процесс и результат перевода.

Кроме того, рассматривая достижение переводческой эквивалентности как основную предпосылку создания высокопрофессионального качественного перевода, также следует учесть фактор различия между письменным и устным переводом, когда качество перевода измеряется в несколько иных единицах, основной из которых выступает адаптация текстов оригинала и перевода, прежде всего прагматическая.

Результаты проведенного анализа позволяют утверждать, что достижение максимальной эквивалентности при переводе возможно лишь в том случае, если переводчик владеет всеми доступными технологиями, позволяющими достичь такую степень эквивалентности, которая будет отвечать всем ожиданиям автора текста и рецептора перевода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолович Д.И. Словесная механика. Избранное о языке, переводе. М.: Р. Валент, 2013. 400 с.
2. Робинсон Д. Как стать переводчиком: введение в теорию и практику перевода. М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2005. 304 с.
3. Комиссаров В.Н. Лингвистика перевода. М.: ЛИБРОКОМ, 2016. 176 с.
4. Рецкер Я.И. Теория перевода и переводческая практика. Очерки лингвистической теории перевода. М.: Р. Валент, 2007. 244 с.
5. Vermeer H.J. A scopos theory of translation (some arguments for and against). Heidelberg: TEXT von TEXT Verlag, 1996. 137 p.
6. House J. Translation quality assessment. A model revisited. Tübingen: Gunter Narr Verlag, 1997. 207 p.
7. Мурдускина О.В. Проблема перевода терминов в научно-технических текстах на современном этапе // Актуальные проблемы теоретической и прикладной лингвистики и оптимизация преподавания иностранных языков: сборник материалов V международной научной заочной конференции. Тольятти: ТГУ, 2016. С. 114–120.
8. Анохина С.П. Интерпретация как переводческая проблема // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 2. С. 306–308.
9. Виссон Л. Русские проблемы в английской речи. Слова и фразы в контексте двух культур. М.: Р. Валент, 2007. 192 с.
10. Kade O. Die Sprachmittlung als gesellschaftliche Erscheinung und Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung. Leipzig, 1980. 157 p.
11. Комиссаров В.Н. Общая теория перевода. М.: ЧеРо, 1999. 136 с.
12. Чужакин А.П. Прикладная теория устного перевода и переводческой скорописи. М.: Р. Валент, 2003. 232 с.
13. Палажченко П.П. Выступление «Трудности перевода». URL: youtube.com/watch?v=Z5BFWqlEY-A.

14. Катфорд Джон К. Лингвистическая теория перевода: об одном аспекте прикладной лингвистики. М.: Едиториал УРСС, 2004. 208 с.
15. Nida E. *Toward a Science of translating*. Leiden, 1964. 134 p.
16. Львовская З.Д. Современные проблемы перевода. М.: ЛКИ, 2008. 224 с.
17. Никитина Т.Г. Передача модальной семантики в переводе художественного произведения с английского языка на русский // Актуальные проблемы теоретической и прикладной лингвистики и оптимизация преподавания иностранных языков: сборник материалов V международной научной заочной конференции. Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2016. С. 121–127.
18. Meacham L. *Die Erben von Somerset*. München: Page & Turner Verlag, 2010. 638 p.
19. M+A Report. *The International Trade Fair Magazine*. September. 2008. № 6. P. 5–7.
20. Gefangene Gräber. Herausgegeben vom Presse – und Informationsamt, Republik Zypern. 2005. P. 1–7.
21. *Imprisoned Graves*. Printed at the Government Printing Office. Republic of Cyprus. 2002. P. 1–8.
8. Anokhina S.P. Interpretation through translation. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 4, no. 2, pp. 306–308.
9. Visson L. *Russkie problemy v angliyskoy rechi. Slova i frazy v kontekste dvukh kultur* [Russian problems in English speech. Words and phrases in the context of two cultures]. Moscow, R. Valent Publ., 2007. 192 p.
10. Kade O. *Die Sprachmittlung als gesellschaftliche Erscheinung und Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung*. Leipzig, 1980. 157 p.
11. Komissarov V.N. *Obshchaya teoriya perevoda* [General theory of translation]. Moscow, CheRo Publ., 1999. 136 p.
12. Chuzhakin A.P. *Prikladnaya teoriya ustnogo perevoda i perevodcheskoy skoropisi* [Applied theory of interpreting and translation fasthand]. Moscow, R. Valent Publ., 2003. 232 p.
13. Palazhchenko P.R. *Speech «Difficulty of translation»*. URL: youtube.com/watch?v=Z5BFWqIEY-A.
14. Katford Dzhon K. *Lingvisticheskaya teoriya perevoda: Ob odnom aspekte prikladnoy lingvistiki* [A linguistic theory of translation. An essay in applied linguistics]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004. 208 p.
15. Nida E. *Toward a Science of translating*. Leiden, 1964. 134 p.
16. Lvovskaya Z.D. *Sovremennye problemy perevoda* [Modern problems of translation]. Moscow, LKI Publ., 2008. 224 p.
17. Nikitina T.G. The transfer of modal semantics in the translation of an artistic work from English into. *Aktualnye problemy teoreticheskoy i prikladnoy lingvistiki i optimizatsiya prepodavaniya inostrannykh yazykov: sbornik materialov V mezhdunarodnoy nauchnoy zaочноy konferentsii*. Togliatti, TItSu Publ., 2016, pp. 121–127.
18. Meacham L. *Die Erben von Somerset*. München, Page & Turner Verlag Publ., 2010. 638 p.
19. M+A Report. *The International Trade Fair Magazine*. September. 2008. № 6. P. 5–7.
20. Gefangene Gräber. Herausgegeben vom Presse – und Informationsamt. *Republik Zypern*, 2005, pp. 1–7.
21. *Imprisoned Graves*. Printed at the Government Printing Office. *Republic of Cyprus*, 2002, pp. 1–8.

REFERENCES

1. Ermolovich D.I. *Slovesnaya mekhanika. Izbrannoe o yazyke, perevode* [Verbal mechanics. Selected works about language, translation]. Moscow, R. Valent Publ., 2013. 400 p.
2. Robinson D. *Kak stat perevodchikom: vvedenie v teoriyu i praktiku perevoda* [Becoming a translator: an introduction to the theory and practice of translation]. Moscow, KUDITs-OBRAZ Publ., 2005. 304 p.
3. Komissarov V.N. *Lingvistika perevoda* [Linguistics of translation]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2016. 176 p.
4. Retsker Ya.I. *Teoriya perevoda i perevodcheskaya praktika. Ocherki lingvisticheskoy teorii perevoda* [Translation theory and translation practice. Essays on the linguistic theory of translation]. Moscow, R. Valent Publ., 2007. 244 p.
5. Vermeer H.J. *A scopos theory of translation (some arguments for and against)*. Heidelberg, TEXT von TEXT Verlag Publ., 1996. 137 p.
6. House J. *Translation quality assessment. A model revisited*. Tübingen, Gunter Narr Verlag Publ., 1997. 207 p.
7. Murduskina O.V. The problem of translation of terms in scientific and technical texts at the present stage.

EQUIVALENCY AS THE BASIC CRITERIA FOR TRANSLATION QUALITY

© 2017

K.A. Kasatkina, PhD (Pedagogy), assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: equivalency; levels of equivalency; translation; written translation; translation quality; translation equivalency; communicative equivalence; the linguistic approach; the text of the original; the text of translation.

Abstract: Importance of the problems stated in the paper is caused by variety of approaches in Russian and foreign translation theory to grade translations, and by the aspiration to allocate the most comprehensible in applied aspect criteria for high quality translation, relying on the key concepts of translation theory, in particular on equivalency. The basic purpose of paper is to analyze the existing translation approaches to defining the term “equivalency” and to distinguish the most relevant positions for achieving high-quality translation in the aspect of equivalency. The paper presents linguistic and communicative approaches to the theory of the equivalency, which allow defining the degree of similarity between the original and translation texts taking into account a pragmatic aim. Special attention is given to the analysis of the basics of equivalency theory in works of Russian and foreign linguists. Besides linguistic definition of translation equivalency and distinguishing its levels by comparing original and translation text, declared in works of V.N. Komissarov and J. Catford, the research focuses on the communicative theory and pragmatics of O. Kade, J. House. Special attention in the paper is given to the basics of the communicative equivalency theory by Z.D. Lvovskaya. The approach declares priority of achieving such a level of communicative equivalency which allows to record similarity/equivalency of not only linguistic but also cultural images of the interlocutors.

Cases of achieving optimal translation equivalency in English, German and Russian languages are analyzed in practical examples. Results of the analysis show that statements of communicative equivalency theory are a substantial contribution to the theory of linguistic levels of equivalency and enlarge opportunities in achieving high-quality translation in regard to various cultural images of the world. The results of analyzing practical cases lead to the supposition that these theoretical statements are important for practical translation and for didactics in evaluating professional written translation.

НАРУШЕНИЕ МАКСИМЫ КОЛИЧЕСТВА КАК ПРЕПЯТСТВИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДИСКУРСА СОГЛАСОВАНИЯ

© 2017

О.А. Крапивкина, кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск (Россия)

Ключевые слова: юридический дискурс; максима количества; принцип кооперации; дискурс согласования.

Аннотация: Целью статьи является анализ нарушений максимы количества, составляющей принципа кооперации П. Грайса, в результате которых становится невозможным достижение дискурса согласования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью выявления способов повышения эффективности судебной коммуникации, которая предопределяется формой социального взаимодействия коммуникантов. В статье утверждается, что наиболее эффективной формой коммуникации является дискурс согласования, определяемый как незамкнутый процесс речевой деятельности, в ходе которого коммуниканты решают задачи социального взаимодействия, направленные на единение интенциональных горизонтов и поиск общего контекста интерпретации. Готовность говорящего сотрудничать с адресатом, намерение следовать принципу кооперации оказывают влияние на правильность интерпретации иллокутивных интенций и возможность формирования дискурса согласования. Автор анализирует случаи нарушения максимы количества на материале англоязычных и русскоязычных диалогов. Были выявлены такие нарушения, как недостаточность информации, избыточность информации, игнорирование адресатом особенностей коммуникативного багажа адресата. Анализ фактического материала показал, что следование принципу кооперации, в частности соблюдение максимы количества, предполагает направленность адресанта на максимально эффективную передачу информации, а адресата – на ее восприятие. Тогда дискурсивное взаимодействие представляет собой совместную деятельность участников, объединенных общей целью, т. е. дискурс согласования. Автор приходит к выводу, что нарушение максимы количества предопределено разницей интенциональных горизонтов, поскольку участники коммуникации решают различные задачи социального взаимодействия. Нарушение максимы количества способствует развитию коммуникации по сценарию дискурса различий, который может эволюционировать в конфликт, если коммуниканты не будут заинтересованы в достижении поставленной цели.

ВВЕДЕНИЕ

Коммуникационная концепция П. Грайса [1] стала, как отмечает Е.Е. Аникин, настоящим прорывом в решении проблем речевого воздействия на этапе становления антропоцентрической парадигмы [2]. Однако идея об универсальности максим не раз подвергалась критике исследователей [3; 4]. Д. Хаймс утверждает, что в каждом обществе есть свои представления о количестве, качестве, релевантности и манере речи [5]. Р.М. Блакар пришел к выводу, что язык обладает мощнейшим потенциалом вариативной интерпретации действительности. Возможность языковыми средствами дать в корне противоположную оценку одной и той же ситуации (*повстанец– террорист, разведчик – шпион*) создает множество возможностей для речевого воздействия и ущемления прав одной из сторон коммуникации [6]. Р. Лакофф отмечает, что в процессе дискурсивного взаимодействия происходит так называемая «интерпретация» высказываний на основе знаний коммуникантов [7; 8]. Адресат домысливает сказанное говорящим. И от того, насколько благожелательно он настроен по отношению к говорящему, хочет ли с ним сотрудничать в решении каких-либо проблем, в какой мере он намерен следовать разговорным максимам принципа кооперации, в значительной степени зависит, достигнут ли они дискурса согласования (ДС). Данный термин был введен в научный оборот А.М. Каплуненко [9–11]. Под дискурсом согласования мы понимаем незамкнутый процесс речевой деятельности, в ходе которого коммуниканты решают задачи социального взаимодействия, направленные на единение интенциональных горизонтов и поиск общего контекста интерпретации [12; 13].

Целью статьи является анализ случаев нарушения максимы количества принципа кооперации (*Cooperative Principle*) П. Грайса. Принцип, сформулированный исследователем, состоит из четырех постулатов, или конверсационных максим [1]: максима количества, максима качества, максима релевантности и максима манеры. Максима количества, являющаяся предметом исследования, гласит: 1) говори настолько информативно, насколько это требуется (для выполнения текущих целей диалога); 2) не говори больше, чем требуется.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Следование принципу кооперации предполагает направленность адресанта на максимально эффективную передачу информации, а адресата – на ее восприятие. Тогда дискурсивное взаимодействие представляет собой совместную деятельность участников, объединенных общей целью [14]. Формирование ДС возможно только в условиях соблюдения принципа кооперации и возможности для адресата опознать намерение адресанта. Готовность адресанта сотрудничать с адресатом, намерение следовать принципу кооперации существенно влияют на правильность интерпретации иллокутивных намерений адресанта и возможность формирования ДС.

Однако нередко возникают ситуации нарушения максим принципа кооперации П. Грайса, которые препятствуют формированию единого контекста интерпретации. В данной работе мы остановимся на рассмотрении случаев нарушения лишь одной максимы – максимы количества, основные правила которой были сформулированы выше.

Адвокат: Чего Вы хотите – вернуть деньги или строить?

Потерпевший: Конечно, вернуть. Мне все равно кто мне вернет эти деньги!

Адвокат: Я Вас не об этом спрашиваю. Вы хотите вернуть Ваши деньги или продолжить строительство квартиры в кооперативе? (Ручные записи судебного процесса).

Адвокат нарушает максиму количества, предполагая достаточность информации для ее правильной интерпретации. Адвокату не следовало прибегать к эллиптическому вопросу, сохранив его полную структуру – *строить в кооперативе, созданном вкладчиками*. Отсутствие необходимой информации привело к тому, что адресат не распознал интенцию адвоката и в ответе подчеркнул виновность его подзащитных, вызвав эмоционально окрашенную реакцию адвоката, направленную на предотвращение развития мысли потерпевшего. Повторный вопрос адвоката был задан уже без нарушения максимы количества.

Judge: Did you understand Rule 14 when you read it?

Attorney: Uh, I don't recall that one.

Judge: I didn't think so. Rule 14 requires out-of-state unlicensed attorneys to associate local counsel when appearing in my room.

Attorney: Yes, sir.

Judge: Yes, sir, what?

Attorney: Yes, sir; I've heard of that rule (Grisham J. A Time to Kill).

[Судья: Вы знакомы с правилом 14?]

Адвокат: Не припоминаю.

Судья: Я так не думаю. Правило гласит, что адвокат, не имеющий лицензии штата, должен вступить в местную ассоциацию для представления интересов клиента.

Адвокат: Да, сэр.

Судья: Да что?

Адвокат: Да, сэр, я слышал об этом требовании.]

Ответная реплика адресата не позволяет судье сделать вывод о том, знаком ли он с правилом 14, в соответствии с которым адвокат, не имеющий лицензии штата на осуществление адвокатской деятельности, должен вступить в местную адвокатскую ассоциацию для представления интересов клиентов в суде этого штата. Недостаток информации заставляет судью задать уточняющий вопрос.

Как нарушение максимы количества, может рассматриваться и избыточность информации:

Lawyer: Did you marry your wife in 1982?

Defendant: Unfortunately for me, I did.

Lawyer: Unfortunately for her, too (Manual records of courtroom TV show 'Divorce court').

[Адвокат: Вы поженились в 1982 году?]

Ответчик: К сожалению для меня, да.

Адвокат: Как и для Вашей жены.]

Очевидно, что подзащитный предоставляет избыточную информацию, не интересующую адвоката, – о его отношении к браку. Тем не менее последний включается в игру оппонента и добавляет: *“Unfortunately for her”*, указывая на то, что реальной жертвой брачных отношений является не только подзащитный, но и его супруга.

Нарушением максимы количества является также нежелание эксперта выйти за пределы экспертного сообщества с целью формирования ДС:

Адвокат: Если дело будет рассматриваться в особом порядке, вопрос о виновности стоять не будет. То есть Вы вину в совершении преступления, предусмотренного п. «а» ч. 3 ст. 158 УК РФ, должны признать полностью. Судя по вашим объяснениям, проникновения в жилище не было. Отказывайтесь от особого порядка. В общем порядке настаивайте на переквалификации ваших действий (Ручные записи судебного процесса).

Адвокат употребляет юридические термины, которые неизвестны обывателю: *в особом порядке, переквалификация*, – что приводит к коммуникативной неудаче. Эксперт предоставляет информации меньше, чем требуется собеседнику для понимания.

Причинами коммуникативной неудачи вследствие нарушения максимы количества могут быть как неосознанное игнорирование адресантом факта асимметрии знаний, так и намеренное желание продемонстрировать свою принадлежность экспертному сообществу, укрепив тем самым власть в дискурсе:

Клиент: Двое из них отделились и пошли нас бить без каких-либо причин. Мне удалось убежать из двора и вызвать наряд. Наряд приехал, меня и напавшего увезли. В травмпункте сняли побои. Далее в отделении с моих слов записали заявление. Интересно, что делать дальше. Хочу нападавшего наказать.

Адвокат: Действия нападавшего квалифицируются как побои. Получайте в полиции постановление об отказе в возбуждении уголовного дела и обращайтесь с заявлением о привлечении к уголовной ответственности в порядке частного обвинения. Ваше заявление направят по подсудности (Ручные записи судебного процесса).

Эксперт использует юридическую терминологию с целью управления социальным взаимодействием. Использование терминов является демонстрацией позиции власти представителя экспертного сообщества. Стремясь контролировать речевое поведение адресата, эксперт отказывается формировать ДС, провоцируя коммуникативную неудачу, поскольку не все термины в анализируемом фрагменте могут быть верно интерпретированы обывателем. Так, *частное обвинение* – термин, требующий знаний уголовно-процессуального права и предполагающий *деятельность частного лица, пострадавшего от преступления, которая заключается в обращении к мировому судье с требованием о привлечении к уголовной ответственности виновного лица, представлении суду доказательств совершения преступного деяния и поддержании обвинения в суде*. Без обращения к источнику экспертного знания обыватель не может верно интерпретировать совет адвоката. Отмечается нарушение максимы количества, поскольку высказывание не несет достаточной информации для реализации коммуникативной цели – оказания правовой помощи.

Attorney: Now, while the People don't have to prove motive to you, they only have to prove intent, you are entitled to find the absence of motive to be compelling.

Judge: Now you are getting into the law, counselor. Stay away from the law. Tell the jury what you believe the proof will be (Manual records of court proceedings).

[Адвокат: Прокурор не должен доказывать вам наличие мотива, лишь намерение совершить преступление. Вы вправе установить отсутствие мотива.]

Судья: Вы касаетесь вопросов права, советник. Давайте не будем уходить в эту сторону. Объясните присяжным, что вы считаете доказательством.]

Адвокат игнорирует когнитивный багаж обывателя. Описывая процесс принятия решения присяжными заседателями, он оперирует юридическими категориями, на что обращает внимание судья. Осуществляя контроль за ходом дискурсивного взаимодействия, он указывает адвокату на необходимость перейти в ДС – сферу согласованного знания.

Попытка адвоката оставаться в дискурсе экспертно-го сообщества отмечается и в следующем примере:

Свидетель: Мы бы его сразу вывели на чистую воду, этого брачного афериста.

Адвокат: Почему Вы Аморова называете брачным аферистом, откуда такой термин возник? Нет такого официального термина.

Судья: **Какие официальные термины? Мы допрашиваем свидетеля, который изъясняется понятным русским языком** (Ручные записи судебного процесса).

Свидетель, не обладая экспертными знаниями в области уголовного права, характеризует подсудимого с помощью семантически «размытого» знака *брачный аферист*. Адвокат пытается вовлечь оппонента в свой экспертный дискурс и предлагает отказаться от использования концептуальных знаков, однако судья напоминает о необходимости конструирования ДС, поскольку один из коммуникантов является носителем обыденного сознания.

Таким образом, асимметрия знаний нередко используется экспертами как манипулятивный ресурс. Адвокат намеренно отказывается формировать ДС с целью позиционирования себя в качестве эксперта, что оказывает персуазивный эффект на присяжных-обывателей. Это – типичное укрепление власти в дискурсе [15; 16]. В этой ситуации процессуальному оппоненту рекомендуется воспользоваться правом возражения, поскольку в противном случае далее ему будет не просто разрушить сформировавшуюся вокруг противника ауру профессионализма и доверия [17; 18]. Доверие к эксперту детерминировано фоновыми ожиданиями, уверенностью, что он продемонстрирует компетентность в соответствующей области, убежденностью в функциональной точности его высказываний.

В прототипических ситуациях судебной коммуникации, если отказ от юридической терминологии невозможен в том или ином контексте, эксперты могут компенсировать когнитивный пробел с помощью приема объяснения. Любой вербальный контакт есть акт кооперации. Все высказывания продуцируются и понимаются исходя из фоновых знаний контекста, предмета общения и коммуникативных целей. Взаимопонимание – результат совместных усилий собеседников, направленных на согласование индивидуальных точек зрения. Коммуниканты должны предвидеть, какими знаниями обладают их собеседники, возможную асимметрию знаний. Так, если адвокат знает о том, что адресат тоже является профессиональным юристом, ему нет необходимости выходить за пределы юридического поля и интерпретировать, к примеру, терминологическое сочета-

ние объективная сторона преступления, указывая на признаки данного понятия: объективная сторона преступления = преступление + его последствия + связь между ними.

Существуют различные языковые приемы, применение которых позволяет избежать коммуникативной неудачи, являющейся результатом нарушения максимы количества в коммуникации эксперта и обывателя:

Адвокат (клиенту): Совершенно бесполезная инициатива. Упущенную выгоду, то есть то, что Вы могли бы получить и не получили, трудно доказуемо. Предположительные доходы суду не интересны, поскольку, они как могли бы быть, так и могли бы и не быть (Ручные записи судебного процесса).

Judge (to the jury): You issue an indictment, which is a formal charge placed against the accused (Grisham J. A Time to Kill). [Судья (присяжным): Вы вынесете обвинительный вердикт, который представляет собой официальное обвинение подсудимого в совершенном преступлении.]

Предполагая асимметрию знаний, адвокат поясняет юридический термин *упущенная выгода*, а судья дает определение термина *indictment* в знаках ДС. Такой переход помогает достичь перлокутивного эффекта – эффекта речевого воздействия, который подразумевает «непосредственные изменения поведения адресата, или его эмоционального состояния, или его знаний о мире, или его отношения к тем или иным событиям и реалиям этого мира, т. е. изменение его личностного смысла» [19, с. 160]. Наличие перлокутивного эффекта свидетельствует о достижении адресантом коммуникативной цели, целесообразности используемых им речевых средств и стратегий в коммуникативном послании, в котором реализуется воздействие на адресата.

ВЫВОДЫ

Нарушение принципа кооперации предопределено разницей интенциональных горизонтов, поскольку участники коммуникации решают различные задачи социального взаимодействия. И здесь следует не согласиться с некоторыми исследователями [20], которые полагают, что нарушение принципа кооперации происходит исключительно по вине допрашиваемых, а не агентов юридического поля, стремящихся к эффективному коммуникативному взаимодействию.

Нарушение максимы количества (недостаточность информации, избыточность информации, игнорирование асимметрии знаний) способствует развитию коммуникации по сценарию дискурса различий, который может эволюционировать в конфликт, если участники не будут заинтересованы в достижении поставленной цели. В рассмотренных примерах преодолению конфликта и формированию ДС способствует дискурсивная деятельность экспертов, которые осуществляют управление социальным взаимодействием, используя находящиеся в их распоряжении дискурсивные ресурсы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grice H. Logic and Conversation // Syntax and Semantics. 1975. Vol. 3. P. 4–5.
2. Аникин Е.Е. Стратегия сопоставления в рекламе как нарушение принципа «кооперации» // Политическая лингвистика. 2006. № 17. С. 155–162.

3. Keenan E.O. On the universality of conversational postulates // *Language in Society*. 1976. Vol. 5. P. 67–80.
4. Kaufer D.S. Understanding ironic communication // *Journal of Pragmatics*. 1981. Vol. 5. P. 495–510.
5. Hymes D. Models of the interaction of language and social life // *Directions in sociolinguistics: the ethnography of communication*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1986. P. 35–71.
6. Blakar R.M. Language as a means of social power // *Pragmalinguistics*. The Hague-Paris: Mouton, 1979. P. 131–169.
7. Lakoff R.T. Conversational Implicature // *Handbook of Pragmatics*. Amsterdam: John Benjamins, 1995. P. 1–24.
8. Lakoff R.T. Talking power: the politics of language. New York: Cambridge, 1990. 324 p.
9. Каплуненко А.М. Концепт-Понятие-Термин: эволюция семиотических сущностей в контексте дискурсивной практики // *Азиатско-тихоокеанский регион: диалог языков и культур*. Иркутск: Иркутский государственный лингвистический университет, 2007. С. 115–120.
10. Каплуненко А.М. Federal / federalism: от концепта к понятию и термину // *Вестник Иркутского государственного лингвистического университета*. 2012. № 2s. С. 16–21.
11. Каплуненко А.М. Курс дискурса: под флагом Фуко // *Вестник Иркутского государственного лингвистического университета*. 2013. № 4. С. 9–15.
12. Крапивкина О.А. Концепт vs. понятие: феноменологизм vs. конвенционализм // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2016. № 1. С. 95–98.
13. Крапивкина О.А. Опыт анализа дискурсивных практик как форм социального взаимодействия (на материале судебных телешоу) // *Вестник Томского государственного университета*. Филология. 2017. № 46. С. 21–30.
14. Крапивкина О.А. Субъект в условиях юридического дискурса: лингвопрагматический анализ. Иркутск: ИрГТУ, 2015. 153 с.
15. Бурдые П. Власть права: основы социологии юридического поля // *Социальное пространство: поля и практики*. СПб.: Алетейя, 2005. 576 с.
16. Bourdieu P. *Language and Symbolic Power*. Cambridge: Harvard University Press, 1991. 312 p.
17. Tanford A.J. *The trial process: law, tactics and ethics*. New York: LexisNexis, 2009. 445 p.
18. Сафронова Т.С. Особенности суггестивного воздействия во вступительной речи прокуроров (на материале английского языка) // *Филологические науки. Вопросы теории и практики*. 2017. № 6-1. С. 136–141.
19. Петренко В.Ф. *Основы психосемантики*. М.: МГУ, 1997. 480 с.
20. Резуненко М.Ф. Нарушение постулатов принципа кооперации в судебном-процессуальном дискурсе // *Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена*. 2007. Т. 15. № 39. С. 163–166.
2. Anikin E.E. Strategy of comparison in advertising as violation of the Cooperative Principle. *Politicheskaya lingvistika*, 2006, no. 17, pp. 155–162.
3. Keenan E.O. On the universality of conversational postulates. *Language in Society*, 1976, vol. 5, pp. 67–80.
4. Kaufer D.S. Understanding ironic communication. *Journal of Pragmatics*, 1981, vol. 5, pp. 495–510.
5. Hymes D. Models of the interaction of language and social life. *Directions in sociolinguistics: the ethnography of communication*. New York, Holt, Rinehart and Winston Publ., 1986, pp. 35–71.
6. Blakar R.M. Language as a means of social power. *Pragmalinguistics*. The Hague-Paris, Mouton Publ., 1979, pp. 131–169.
7. Lakoff R.T. Conversational Implicature. *Handbook of Pragmatics*. Amsterdam, John Benjamins Publ., 1995, pp. 1–24.
8. Lakoff R.T. Talking power: the politics of language. New York, Cambridge Publ., 1990. 324 p.
9. Kaplunenko A.M. Concept-Notion-Term: evolution of semiotic entities in discourse practices. *Aziatsko-tikhookeanskiy region: dialog yazykov i kultur*. Irkutsk, Irkutskiy gosudarstvennyy lingvisticheskiy universitet Publ., 2007, pp. 115–120.
10. Kaplunenko A.M. From the concept to the term: semiotic evolution of the nomination federal / federalism. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta*, 2012, no. 2s, pp. 16–21.
11. Kaplunenko A.M. The course of discourse: nailing the Foucault colors to the mast of discourse analysis. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta*, 2013, no. 4, pp. 9–15.
12. Krapivkina O.A. Concept vs. notion: phenomenologism vs. conventionalism. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 1, pp. 95–98.
13. Krapivkina O.A. Analysis of discourses as forms of social interaction (A case-study of court shows). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filologiya*, 2017, no. 46, pp. 21–30.
14. Krapivkina O.A. *Subekt v usloviyakh yuridicheskogo diskursa: lingvopragmaticheskiy analiz* [The speaking subject in legal discourse: linguistic and pragmatic analysis]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2015. 153 p.
15. Burde P. Power of law: fundamentals of sociology of the legal field. *Sotsialnoe prostranstvo: polya i praktiki*. Sankt Petersburg, Aleteyya Publ., 2005. 576 p.
16. Bourdieu P. *Language and Symbolic Power*. Cambridge, Harvard University Press Publ., 1991. 312 p.
17. Tanford A.J. *The trial process: law, tactics and ethics*. New York, LexisNexis Publ., 2009. 445 p.
18. Safronova T.S. Specificity of suggestive influence in prosecutor's opening statement (by the material of the English language). *Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki*, 2017, no. 6-1, pp. 136–141.
19. Petrenko V.F. *Osnovy psikhosemantiki* [Fundamentals of psychosemantics]. Moscow, MGU Publ., 1997. 480 p.
20. Rezunenko M.F. Violation of maxims of the Cooperative Principle in courtroom discourse. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena*, 2007, vol. 15, no. 39, pp. 163–166.

REFERENCES

1. Grice H. *Logic and Conversation. Syntax and Semantics*, 1975, vol. 3, pp. 4–5.

VIOLATION OF QUANTITY MAXIM AS AN OBSTACLE FOR DISCOURSE OF CONCORD

© 2017

O.A. Krapivkina, PhD (Philology), assistant professor of Chair of Foreign Languages
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk (Russia)

Keywords: legal discourse, quantity maxim, Cooperative Principle, discourse of concord.

Abstract: The research subject of the paper is violations of a quantity maxim of the Cooperative Principle developed by Paul Grice which result in failure of discourse of concord formation. The Cooperative Principle means that communicative contribution of communicants should correspond to the shared purpose of conversation at each stage of communication. Discourse of concord is an open discourse process aimed at solving social interaction tasks for creating integrated intentional horizons and searching for the shared context of interpretation. Willingness of the speaking subject to collaborate with an addressee, intention to follow the Cooperative Principle impact the adequacy and correctness of interpretation of illocutionary intentions of the speaking subject and formation of discourse of concord. The research object is utterances of legal discourse practices. Research material is Russian and English texts of courtroom dialogues available at websites, manual records of court TV shows, literary works, and lawyer-client dialogues at online legal forums. The author argues that following the Cooperative Principle suggests that the speaking subject aims to transfer information, and the addressee aims to perceive it in an efficient way. In that case, discourse interaction is a cooperative activity of communicants who have a shared purpose, i.e. discourse of concord. Violations of a quantity maxim are due to the differences in intentional horizons, as communicants solve different tasks of social interaction. They contribute to discourse of differences which can evolve into a conflict if the communicants do not aim at achieving specific purposes.

**РЕАЛИЗАЦИЯ КОММУНИКАТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОДХОДА
ПРИ ПЕРЕВОДЕ ТЕКСТОВ ПРЕСС-РЕЛИЗОВ**

© 2017

О.В. Мурдускина, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода»**Н.В. Аниськина**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода»*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

Ключевые слова: теория перевода; скопос-теория; коммуникативно-функциональный подход; стратегия перевода; переводческие операции; коммуникативные функции; пресс-релиз.

Аннотация: Статья посвящена рассмотрению новых концепций и моделей перевода, базирующихся на положениях скопос-теории и коммуникативно-функционального подхода к переводу. Авторами приводятся причины смены парадигм в теории перевода и описываются составляющие коммуникативно-функционального подхода к переводу. В качестве наиболее оптимальной стратегии при переводе пресс-релизов описывается стратегия коммуникативно-равноценного перевода, заключающаяся в создании переводчиком переводного текста, сохраняющего все коммуникативные функции исходного текста. Сложность определения коммуникативного эффекта текстов пресс-релизов связана с тем, что пресс-релиз относится к синкретичному типу текстов, для которого характерны признаки официально-делового, публицистического стилей, а также стиля рекламных текстов. Говорится о практической реализации стратегии коммуникативно-равноценного перевода при переводе текстов пресс-релизов посредством разнообразных переводческих тактик, таких как тактика максимально точной и полной передачи информации, тактика правильного оформления, тактика стилистической адаптации текста и т. д. Приводятся различные примеры использования указанных переводческих тактик через переводческие операции, дается анализ языковых и экстралингвистических причин необходимости использования данных операций. Акцентируется важность соблюдения алгоритма переводческих действий профессиональным переводчиком, что позволит ему достигнуть поставленную заказчиком цель перевода.

Делается вывод о том, что на современном этапе при переводе текста любой жанровой направленности необходимо принимать во внимание не только лингвистические характеристики текста, но и цель перевода, личность автора текста, переводчика и заказчика перевода, а также другие экстралингвистические факторы, которые могут определить стратегию перевода текста.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире перевод является одной из динамично развивающихся отраслей индустрии, которая обеспечивает свободный обмен информацией различного плана в процессе межкультурной коммуникации. Неудивительно, что теория перевода, как академическая дисциплина, насчитывающая чуть более 50 лет, продолжает активно развиваться, что приводит к смене парадигмы концепций и моделей перевода как процесса и деятельности в целом.

Вплоть до недавнего времени в науке о переводе господствовал лингвистический подход к принципам перевода; ученые в основном занимались описанием переводческих трансформаций и сопоставлением текста оригинала и текста перевода на различных языковых уровнях, не учитывая при этом коммуникативную ситуацию, в которой осуществляется перевод. Данный подход, при котором основным объектом переводоведческих исследований является сам текст, носит название текстоцентрический [1].

В 80–90-е гг. XX в. ситуация начала меняться: ученые стали рассматривать перевод в качестве способа обеспечения межъязыковой и межкультурной коммуникации. В связи с этим особое внимание стали уделять культурологическим аспектам перевода, иными словами, стали учитываться особенности коммуникантов, связанные с их принадлежностью к разным языковым коллективам и разным культурам [2]. В дополнение к лингвистическим подходам к переводу все большее распространение получают теории, базирующиеся на коммуникативно-функциональном подходе, в соответствии с которым

при переводе учитываются не только лингвистические характеристики текстов оригинала и перевода, но и экстралингвистические факторы, связанные с: 1) личностными особенностями коммуникантов, а именно автора исходного сообщения, получателя перевода и переводчика; 2) воздействием, которое переводимые тексты оказывают на адресатов; 3) конкретной коммуникативной ситуацией, в которой осуществляется перевод, с учетом цели его осуществления и ожиданий его получателя [3].

Задача переводчика при таком подходе заключается в достижении той цели перевода, которая определяется заказчиком перевода и условиями, в которых осуществляется перевод. При создании переводного текста он уже является не самоцелью, а инструментом межкультурной коммуникации и сохранения коммуникативного воздействия на получателя перевода.

Коммуникативно-функциональный подход к переводу начал разрабатываться учеными европейских школ перевода, например К. Райс и Г. Фермером, которые выделили теорию, известную как скопос-теория. В рамках скопос-теории во главу угла ставится текст перевода, который создается переводчиком с заданной целью в соответствии с потребностями заказчиков текста перевода [4–6].

В.Н. Комиссаров признавал значимость скопос-теории, которая дала толчок к появлению новых направлений исследований переводческой деятельности [7, с. 83]. По мнению Т.Ю. Махортовой, функциональная первостепенность перевода, провозглашенная скопос-теорией, признана в качестве доктрины в подготовке

переводчиков в европейских университетах, а в некоторых странах Европы вошла в стандарт перевода как услуги [8, с. 148]. В российском переводе реализация данного подхода к переводу сейчас активно осуществляется в работах В.В. Сдобникова, который разрабатывает понятия перевода и коммуникативной ситуации с точки зрения коммуникативно-функционального подхода [9], и А.Д. Швейцера, по мнению которого, при переводе прежде всего необходимо соблюдать «установку на передачу коммуникативного эффекта первичного текста, частично модифицируемую различиями между двумя языками, двумя культурами и двумя коммуникативными ситуациями» [10].

В связи с этим меняется парадигма подготовки профессиональных переводчиков на лингвистических отделениях российских университетов, что приводит к необходимости разработки стратегий перевода текстов различного характера в соответствии с коммуникативно-функциональным подходом к переводу как набору практических операций, направленных на осуществление перевода текстов различной направленности [11; 12].

Цель статьи – описание практической реализации стратегии перевода текстов пресс-релизов в рамках коммуникативно-функционального подхода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существует несколько определений стратегии перевода в зависимости от подходов к принципам перевода как процесса и как деятельности. Поскольку коммуникативно-функциональный подход к переводу подразумевает рассмотрение перевода как инструмента реализации предметной деятельности разноязычных коммуникантов в рамках ситуации межъязыковой коммуникации с учетом функций, выполняемых исходным и переводным текстом [13], то возникает необходимость рассмотреть понятие стратегии перевода с этой точки зрения.

Стратегия перевода текста представляет собой программу перевода как деятельности, включающую в себя такие компоненты, как анализ коммуникативной ситуации, формулирование цели перевода, прогнозирование и планирование. По мнению В.В. Сдобникова, «стратегия перевода реализуется путем использования определенного набора переводческих тактик, формируемого с учетом цели перевода, типа переводимого текста и его коммуникативной направленности» [14, с. 12]. Стратегия перевода как своеобразная «дорожная карта перевода», в свою очередь, практически реализуется посредством различных *тактик перевода*. Тактики перевода – система организованных переводческих операций, направленных на достижение цели перевода с учетом избранной стратегии перевода.

Таким образом, согласно коммуникативно-функциональному подходу к переводу, во главу угла прежде всего ставится цель перевода, которая заключается в создании текста, информационное наполнение которого таково, что может служить интересам производственной деятельности получателя и инициатора перевода. При этом необходимо сохранить информационное наполнение текста перевода в максимально возможной степени, цель перевода может модифицироваться параметрами самой коммуникативной ситуации, а также общей установкой переводчику [15, с. 82].

Все вышесказанное относится не только к переводу художественных и публицистических текстов, которые традиционно представляют трудность с точки зрения сохранения всей полноты коммуникативной составляющей текста, но и к переводу специальных текстов, которые зачастую очень специфичны с точки зрения их жанровой принадлежности.

Основной целью перевода специального текста, определенной инициатором перевода, является создание текста на переводящем языке (ПЯ), передающего в максимально полном объеме коммуникативно-релевантную когнитивную информацию, заключенную в тексте на иностранном языке (ИЯ) и необходимую для осуществления получателем или заказчиком перевода его предметной деятельности. Таким образом, очевидно, что при выборе переводческих тактик относительно специального текста необходимо учитывать коммуникативно-релевантную информацию текста, особенности коммуникантов, необходимые для осуществления профессиональной деятельности в условиях межкультурной коммуникации.

В ходе проведенного исследования была проанализирована стратегия перевода специальных текстов, а именно текстов пресс-релизов компаний «Газпром», *Mars* и *Apple*, размещенных на русскоязычных и англоязычных версиях их сайтов. В связи с тем, что перевод текстов пресс-релизов осуществляется, как правило, с целью сохранения коммуникативно-релевантной когнитивной информации, при работе с такими текстами наиболее адекватной в рамках функционально-коммуникативного подхода является стратегия коммуникативно-равноценного перевода – «программа осуществления переводческой деятельности, предусматривающая реализацию коммуникативной интенции автора оригинала в форме создания текста на ПЯ, потенциально способного обеспечивать коммуникативное воздействие на получателя перевода в соответствии с ожиданиями автора оригинала и, соответственно, взаимодействием разноязычных коммуникантов в условиях совместной предметной деятельности» [16].

Реализация указанной выше стратегии, как и любой другой, обеспечивается за счет применения определенных переводческих тактик. Остановимся на них более подробно.

Согласно стратегии коммуникативно-равноценного перевода, прежде всего необходимо более подробно рассмотреть специфику текстов пресс-релизов с точки зрения создаваемого ими коммуникативного эффекта. Любой текст, как известно, обладает коммуникативной функцией или функциями, одна из которых является доминантной. Что касается рассматриваемых в данной работе текстов пресс-релизов, то они относятся к одному из наиболее сложных на сегодняшний день видов PR-текстов.

Существует множество определений пресс-релиза. Д.И. Карпушин и С.А. Чирикова дают следующее определение данного понятия: краткое информационное сообщение, содержащее информацию о том или ином событии в жизни организации, адресованное СМИ и составленное с учетом профессиональной специфики этой отрасли [17, с. 217]. А.Д. Кривоносова считает, что пресс-релиз – это основной жанр PR-текста, несущий предназначенную для прессы актуальную оперативную

информацию о событии, касающемся базисного субъекта PR [18].

Сложность определения коммуникативного эффекта текстов пресс-релизов связана прежде всего с тем, что пресс-релиз относится к синкретичному типу текстов, который вобрал в себя основные признаки официально-делового и публицистического стилей, а также стиля рекламных текстов. В связи с этим текст пресс-релиза обладает: 1) лаконичностью, точностью, конкретностью, четкостью формулировок и стандартизацией (признаки официально-делового стиля); 2) актуальностью проблематики, образностью, остротой и яркостью изложения (признаки публицистического стиля); 3) повышенной метафоричностью, динамичностью, новизной и экспрессивностью (признаки стиля рекламных текстов) [19, с. 121].

Следовательно, становится очевидным, что целью данного типа текстов является не только информирование потенциального читателя пресс-релиза, но и оказание влияния на его отношение к той или иной компании, продукту, событию или мероприятию [20]. Тем не менее основной коммуникативной функцией текстов пресс-релизов является донесение до реципиента информации, т. е. информативная функция. Однако помимо информативной пресс-релиз может также выполнять экспрессивную и аппелятивную коммуникативные функции.

Реализация стратегии коммуникативно-равноценного перевода текстов пресс-релизов обеспечивается за счет применения определенных переводческих тактик. Информативная функция в текстах пресс-релизов выражается за счет высокой плотности когнитивной информации, которая обеспечивает прежде всего точность передаваемой информации. В связи с этим первой тактикой, которую можно выделить при переводе анализируемых текстов пресс-релизов, является тактика максимально точной и полной передачи информации.

Точность в пресс-релизах, во-первых, проявляется в употреблении терминов, относящихся к сфере профессиональной деятельности компании, для передачи значений которых применяются следующие переводческие операции:

– применение межъязыкового соответствия, если оно имеется в переводящем языке: *percent and EPS Growth* – рост доходов на акцию; режим пуска наладки – *commissioning process*; отечественная импортозамещающая продукция – *Russian import-substituting products*;

– создание нового термина при помощи транскрипции/транслитерации, описательного перевода или калькирования, если межъязыковое соответствие в языке перевода отсутствует: *Dry Start* – «сухой запуск».

В связи с тем, что термины, встречающиеся в проанализированных текстах пресс-релизов, относятся преимущественно к общеупотребительным, уже зафиксированным в системе иностранного языка, из этого следует, что для передачи терминов, встречающихся в текстах, в подавляющем большинстве случаев была использована такая переводческая операция, как применение межъязыкового соответствия.

Также точность информации обеспечивается за счет высокой плотности числительных, следовательно, необходимо соблюдать правила оформления цифровой информации, так как ошибки в ее оформлении могут привести реципиента переводного текста в затруднение.

При анализе переводов текстов пресс-релизов были выявлены следующие переводческие операции:

1) изменение порядка следования числа и месяца при записи даты цифрами: 2 июня 2017, 16:00 – *June 2, 2017, 16:00*; 04/20/2017 – *20.04.2017*;

2) замена точки на запятую между целой частью и дробной при переводе финансовой информации с английского языка на русский: *\$42.4 billion* – 42,4 млрд долларов;

3) замена полных обозначений цифровых величин их сокращениями при переводе с английского языка на русский: *between 37.5 percent and 38 percent* – от 37,5 % до 38 %.

Следующая тактика, которая передает когнитивную информацию исходного текста, – тактика эксплицирования подразумеваемой информации, заключающаяся в добавлении при переводе единиц, поясняющих подразумеваемую информацию, которая очевидна для реципиента исходного текста, но непонятна иноязычному реципиенту, или в лексической замене с аналогичной целью: руководство донского региона – *leaders of Rostov Oblast*.

Еще одной примененной тактикой передачи когнитивной информации текстов пресс-релизов являлась тактика правильного оформления информации. Адресат, как правило, привыкает к определенным правилам оформления информации в тексте, нарушение которых может создать затруднения в восприятии текста перевода и не обеспечить то коммуникативное воздействие, на которое рассчитывал автор оригинала. К числу переводческих операций, с помощью которых была реализована данная тактика, относятся:

1) использование или неиспользование кавычек. Необходимо помнить, что в английском языке названия компаний не должны заключаться в кавычки, как это делается в русском языке: ...построены и эксплуатируются газопроводы «Ямал – Европа» и «Северный поток» – *in the construction and operation of the Yamal – Europe and Nord Stream gas pipelines*;

2) употребление или неупотребление родового понятия перед названием организации. При переводе с русского на английский язык родовое понятие, употребление которого свойственно русскому языку, как правило, опускается: *Apple today announced financial results for its fiscal 2017 third quarter ended July 1, 2017* – Сегодня компания **Apple** объявила финансовые показатели за третий квартал 2017 финансового года;

3) замена прописных букв строчными в заголовках, названиях документов и определяемых терминах при переводе с английского языка на русский: Комиссия по вопросам укрепления платежной дисциплины при поставках газа на внутреннем рынке – *Commission on Strengthening Financial Discipline for Domestic Gas Supplies*.

Кроме того, несмотря на то, что основной функцией пресс-релизов является информативная функция, в них также присутствует эмоциональная и аппелятивная функции, которые направлены на оказание воздействия на реципиента, создавая у него положительное отношение к предмету пресс-релиза. В связи с этим при переводе иногда применяется тактика стилистической адаптации текста. Она чаще всего применяется при переводе с английского языка на русский, поскольку стиль

англоязычных пресс-релизов более свободный, не такой нейтральный и сухой. Данная тактика реализуется посредством различных лексических трансформаций: Научно-техническому сотрудничеству «Газпром» и *Uniper исполнилось* четверть века – *Gazprom and Uniper celebrate 25 years of scientific and technical cooperation*.

С целью сохранения эстетической и апеллятивной функций исходного текста переводчику также необходимо придерживаться тактики воспроизведения стилистических особенностей исходного текста, с помощью которой сохраняется потенциал стилистических приемов исходного текста. В рамках данной тактики применяются разнообразные переводческие операции в виде подбора аналогов и других адекватных в данном случае лексических трансформаций: **Мы не намерены останавливаться на достигнутом** в области развития персонала и в будущем рассматриваем возможности сотрудничества с университетами Ростовской области – *As far as the development of our associates is concerned we won't rest on our laurels, we are considering the possibilities of cooperation with the universities in Rostov Oblast*.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проанализировав способы перевода текстов пресс-релизов, можно сделать вывод, что при переводе данного типа текстов специфика коммуникативной ситуации диктует выбор выделяемой в рамках коммуникативно-функционального подхода к переводу стратегии коммуникативно-равноценного перевода, что в результате приводит к созданию функционального аналога исходного текста. Реализация данной стратегии была достигнута при помощи описанных переводческих тактик, которые практически реализуются с помощью разнообразных переводческих операций. В своей практической деятельности профессиональный переводчик должен соблюдать этот алгоритм действий переводческой деятельности, что позволит достичь поставленную заказчиком цель перевода.

Суммируя результаты проведенного исследования, необходимо отметить, что при работе с пресс-релизами важно принимать во внимание не только особенности текста оригинала, но и особенности реципиента переводного текста, связанные с его принадлежностью к иной культуре и языковому коллективу. Благодаря этому переводчик сможет создать текст, при прочтении которого у иноязычного реципиента не возникнет затруднений в его восприятии, следовательно, текст перевода сможет обеспечить коммуникативное воздействие, близкое тому, на которое рассчитывал автор оригинала, создавая свой текст.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева И.С. Введение в переводоведение. СПб.: Филологический факультет СПбГУ, 2004. 352 с.
2. Комиссаров В.Н. Теория перевода (лингвистические аспекты). М.: Высшая школа, 1990. 253 с.
3. Усачева А.Н., Махортова Т.Ю., Попова О.И., Новикова Т.Б. Скопос, интерпретация, когниция: от мультивекторной теории перевода к эффективной практике // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 2: Языкознание. 2015. № 5. С. 46–59.

4. Reiss K. Grundlegung einer allgemeinen Translations-theorie. Tübingen: Niemeyer, 1984. 245 S.
5. García de Toro Cr. Translation Studies: An Overview // *Cadernos de Tradução*. 2007. Vol. 2. № 20. P. 9–42.
6. Vermeer Hans J. A Scopus theory of translation (some arguments for and against). Heidelberg: TEXT von TEXT–Verlag, 1996. 137 p.
7. Комиссаров В.Н. Общая теория перевода: Проблемы переводоведения в освещении зарубежных ученых. М.: ЧеРо, 1999. 136 с.
8. Махортова Т.Ю. Скопос-теория как основа коммуникативно-прагматической концепции перевода // *Язык и культура в эпоху глобализации* : сб. науч. трудов по материалам первой международной научной конференции. Вып. 1. СПб., 2013. Т. 2. С. 147–153.
9. Сдобников В.В. Коммуникативно-функциональный подход к переводу в западном переводоведении // *Известия Волгоградского государственного педагогического университета*. 2010. № 10. С. 53–57.
10. Швейцер А.Д. Теория перевода: статус, проблемы, аспекты. М.: Наука, 1988. 215 с.
11. Касаткина К.А. Социальный подход в формировании специальных переводческих компетенций студентов-лингвистов // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. Серия: Педагогика, психология. 2016. № 3. С. 27–31.
12. Kussmaul P. Training the translator. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 1995. 160 p.
13. Сдобников В.В. Скопос-теория как основа развития коммуникативно-функционального подхода к переводу // *Индустрия перевода*. 2013. № 1. С. 28–32.
14. Сдобников В.В. Коммуникативная ситуация как основа выбора стратегии перевода : дис. ... д-ра филол. наук. Н. Новгород, 2015. 492 с.
15. Аниськина Н.В., Ведерникова Ю.В. К вопросу о дискурсе и языковых аномалиях в переводе // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2017. № 2. С. 82–86.
16. Сдобников В.В. Оценка качества перевода (коммуникативно-функциональный подход). 2-е изд. М.: Флинта, 2015. 112 с.
17. Карпушин Д.И., Чикирова С.А. Пресс-релиз: правила составления. СПб.: Питер, 2007. 224 с.
18. Кривоносов А.Д. PR-текст в системе публичных коммуникаций. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 254 с.
19. Носова Е.А. Пресс-релиз как синкретичный жанр (к постановке проблемы) // *Вестник Новосибирского государственного университета*. Серия: История, филология. 2011. Т. 10. № 6. С. 118–122.
20. Никитина Т.Г. Жанрово-стилистические параметры модальной рамки текстов британских СМИ // *Филологические науки. Вопросы теории и практики*. 2016. № 4-3. С. 124–127.

REFERENCES

1. Alekseeva I.S. *Vvedenie v perevodovedenie* [Introduction to Translation Studies]. Sankt Petersburg, Filologicheskii fakultet SPbGU Publ., 2004. 352 p.
2. Komissarov V.N. *Teoriya perevoda (lingvisticheskie aspekty)* [Theory of translation (linguistic aspects)]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 253 p.

3. Usacheva A.N., Makhortova T.Yu., Popova O.I., Novikova T.B. Skopos, interpretation, cognition: from multivector translation theory to efficient practice. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2. Yazykoznanie*, 2015, no. 5, pp. 46–59.
4. Reiss K. *Grundlegung einer allgemeinen Translationstheorie*. Tübingen, Niemeyer, 1984. 245 S.
5. García de Toro Cr. Translation Studies: An Overview. *Cadernos de Tradução*, 2007, vol. 2, no. 20, pp. 9–42.
6. Vermeer Hans J. *A Skopos theory of translation (some arguments for and against)*. Heidelberg, TEXT von TEXT-Verlag, 1996. 137 p.
7. Komissarov V.N. *Obshchaya teoriya perevoda: Problemy perevodovedeniya v osveshchenii zarubezhnyh uchenykh* [General theory of translation: Translation Problems studied by foreign scientists]. Moscow, CheRo Publ., 1999. 136 p.
8. Makhortova T.Yu. Skopos theory as the basis for communicative and pragmatic concept of translation. *Sbornik nauch. trudov po materialam pervoy mezhdunarodnoy konferentsii "Yazyk k kultura v epokhu globalizatsii"*. Sankt Petersburg, 2013, vyp. 1, vol. 2, pp. 147–153.
9. Sdobnikov V.V. Communicative and functional approach to translation in Western translation studies. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2010, no. 10, pp. 53–57.
10. Shveytser A.D. *Teoriya perevoda: status, problemy, aspekty* [Translation theory: status, problems and aspects]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 215 p.
11. Kasatkina K.A. Social approach to forming special translator's competences of linguistic students. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pedagogika, psikhologiya*, 2016, no. 3, pp. 27–31.
12. Kussmaul P. *Training the translator*. Amsterdam, John Benjamins Publishing Company, 1995. 160 p.
13. Sdobnikov V.V. Skopos theory as the basis for developing communicative and functional approach to translation. *Industriya perevoda*, 2013, no. 1, pp. 28–32.
14. Sdobnikov V.V. *Kommunikativnaya situatsiya kak osnova strategii perevoda*. Diss. kand. filol. nauk [Communicative situation as a basis for choosing a translation strategy]. Nizhny Novgorod, 2015. 492 p.
15. Aniskina N.V., Vedernikova Yu.V. More on discourse and language anomalies as issues of translation studies. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 2, pp. 82–86.
16. Sdobnikov V.V. *Otsenka kachestva perevoda (kommunikativno-funktsionalniy podkhod)* [Grading the translation quality (communicative and functional approach)]. 2nd ed. Moscow, Flinta Publ., 2015. 112 p.
17. Karpushin D.I., Chikirova S.A. *Press-reliz: pravila sostavleniya* [Press release: compilation rules]. Sankt Petersburg, Peter Publ., 2007. 224 p.
18. Krivonosov A.D. *PR-tekst v sisteme publichnykh kommunikatsiy* [PR-text in the system of public communications]. Sankt Petersburg, St. Petersburg State University Publ., 2001. 254 p.
19. Nosova N.A. Press release as a syncretic genre (statement of the problem). *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya, filologiya*, 2011, vol. 10, no. 6, pp. 118–122.
20. Nikitina T.G. Genre and stylistic parameters of modal frame in British media texts. *Filologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki*, 2016, no. 4-3, pp. 124–127.

IMPLEMENTATION OF THE COMMUNICATIVE-FUNCTIONAL APPROACH TO THE TRANSLATION OF PRESS RELEASES

© 2017

O.V. Murduskina, PhD (Linguistics), assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”

N.V. Aniskina, PhD (Pedagogy), assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: theory of translation; skopos-theory; communicative-functional approach; translation strategy; translation operations; communicative functions; press release.

Abstract: The paper discusses new concepts and models of translation, which are based on the Skopos Theory and the Communicative-functional approach to translation. The authors outline the reasons for changing paradigms in the theory of translation and describe the elements of the Communicative-functional approach to translation. The paper concludes that nowadays while translating texts of any type it is necessary to focus both on the linguistic features of the text, the aim of translation, the text author, the translator, and the principal and extralinguistic factors. The paper describes the translation strategy of press releases, which aims at creating communicatively equivalent text. The authors suggest that there is a problem in defining the communicative functions of the studied texts due to the fact that the press release can be characterized as a syncretic type of texts, which obtains features typical for business, mass-media and advertising texts. The paper clarifies implementation of the communicatively equivalent translation strategy while translating press releases via various translation tactics. The paper provides various examples illustrating the practical use of the described translation tactics and translation operations. The authors also emphasize the pragmatic importance of observing the translation algorithm by a professional translator.

КОНЦЕПТЫ «САД» И «ПУСТЫНЯ» В РОМАНАХ ФРЭНКА ГЕРБЕРТА СЕРИИ «ДЮНА»

© 2017

Т.Г. Никитина, кандидат филологических наук,
доцент кафедры «Теория и практика перевода»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: научно-фантастическое произведение; художественный текст; вербализация концепта; модальность; Фрэнк Герберт; концепты «сад» и «пустыня».

Аннотация: Данное исследование опирается на эффективные методы исследования концепта в системе языка, предложенные когнитивистикой. Рассматривается речевая реализация концепта в художественном тексте, обусловленная авторским замыслом, жанровыми и стилевыми характеристиками текста. Актуальность исследования заключается в разработке понятия модальной рамки художественного произведения, что позволило описать вербализацию концепта в системе семантических, формальных и функциональных характеристик. Исследование подтвердило, что научно-фантастические романы Фрэнка Герберта серии «Дюна» характеризуются философской глубиной и сложностью языкового оформления, а концепты «сад» и «пустыня» играют ключевую роль в создании идейно-художественного содержания романов.

В работе представлен анализ реализации данных концептов на различных уровнях художественного текста. Отмечено, что концепт может быть рассмотрен на уровне языковой вербализации, на уровне текста, гипертекста и художественного дискурса; языковая репрезентация концептов осуществляется на фонетическом, лексическом и синтаксическом уровнях. Для анализа реализации концептов в научно-фантастическом произведении Ф. Герберта был выбран лингвостилистический анализ, позволяющий делать отсылки к широкому контексту. Выявлена связующая гипертекстовая функция концепта в художественном тексте для обеспечения диалога писателя и читателя в художественном дискурсе.

Установлено, что культурная составляющая текста романов тесно связана с реализацией концептов. Анализ выявил противопоставление концептов, обеспечивающее принцип читательского выбора. Исследование показало, что писатель моделирует читательское восприятие героев и событий романов путем создания аксиологической модальности. В статье делаются выводы о ценностных экспериментах Ф. Герберта, роли читателя в создании системы ценностей и связи аксиологии с эпистемической и деонтической семантиками.

ВВЕДЕНИЕ

Когнитивная лингвистика уделяет исследованию концепта достаточно много внимания. В настоящее время определены границы концепта [1–3], исследованы различные типы концептов [4; 5], разработана методика его анализа [6; 7]. Одним из направлений в исследовании концепта является изучение его языкового и речевого воплощения. Действительно, концепт как ментальное образование никаким образом не проявил бы себя иначе, как в языке, где он вербализуется в структуре речевых произведений, выполняя необходимые коммуникативные функции. Определяя концепт как феномен, связанный с историческими, социальными и культурными факторами, исследователи отмечают его семантическую емкость, способность к образованию разнообразных словесных оттенков и переносов [8, с. 80–81]. С одной стороны, он является отражением факта действительности, с другой стороны, отражает результаты ментальной деятельности. Важную роль в понимании концепта играет культурологический аспект.

Концепты «пустыня» и «сад» можно найти в различных культурах. Истоки концепта «пустыня» можно найти в культурах Востока, территориально близких к пустыням Малой Азии, Аравийского полуострова и Африки. При этом для кочевых народов жизнь в пустыне воспринимается не так, как она видится представителю западной культуры. Это не существование на грани выживания, но многообразная и богатая во многих аспектах жизнь [9, р. 221]. Однако, благодаря своей многоаспектности (религиозный, философский, эстетический, деятельностный аспекты), концепт «пустыня»

проник во множество современных культур. Современному мироощущению близка попытка примирить свое мироощущение с присутствием губительной угрозы. Кочевые народы, населяющие пустыню, создали веру в то, чего не существует, но что можно представить в своем воображении [10]. Не случайно именно здесь зародились иудаизм, христианство, ислам. Религиозно-философский потенциал пустыни способствовал концептуализации данного понятия. Так, например, в библейских текстах упоминание о пустыне встречается неоднократно, начиная с мифа о сотворении мира и заканчивая искушением Христа в пустыне. Авраам, Моисей, Христос оказываются в пустыне для общения с Богом [11, с. 52]. Внеграницейное понимание пустыни содержится и в исламе.

Концепт «пустыня» не мыслится без другого концепта – «сада». В своем первом и главном значении образ сада воплощает образ созданного богом рая, ограниченного и отделенного от окружающего, недружелюбного человеку пространства. Сад воплощает деятельностное мировоззрение, предполагает возможность материальных изменений окружающей среды, включает признаки безопасности, защищенности, изобилия, довольства, соотносится с жизнью, рукотворением [9, с. 221]. За образом сада стоит христианское видение. Пустыня, напротив, олицетворяет мир испытаний и лишений. Пустыня, в отличие от сада, нерукотворна и обладает нечеловеческим, грандиозным масштабом. Она выводит за пределы обыденного в сферу духовности и интеллекта, в область не столько видимого и очевидного, сколько мистически таинственного, доступного только внутреннему зору [11].

XX век во многом сместил традиционные представления об этих двух концептах, наделил их новыми значениями. В культуре народов современности отражена борьба двух тенденций: десакрализации пустыни, создания рукотворного сада и, напротив, обращение к мистической стороне пустыни, выводящей человека за пределы социума, наталкивающей на размышления о сущности бытия. Если пророки прошлого удалялись в пустыню для поисков истины, то современная культура также проявила интерес к восточным религиям, к практике измененного сознания, обращения к химическим и психотропным средствам. Современным художникам значительно ближе по мироощущению оказывается драматизм пустыни, удаление от жизненного сада [10]. В художественной форме они повторяют путь отшельников в надежде отыскать духовность и истину.

Все эти тенденции современной культуры в полной мере проявляются в творчестве одного из самых значимых художников современности Ф. Герберта. Его серия романов «Дюна» оказала огромное влияние на культуру и литературу XX века и представляет собой обширный материал для исследования концептов «пустыня» и «сад». Применяя экологические знания и экологическое видение в построении идейно-художественного содержания романов, Ф. Герберт поднимает их до философского осмысления, создавая дихотомию «человек – вселенная» [12, р. 67]. Важнейшими элементами художественного мира становятся концепты «сад» и «пустыня».

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данное исследование применяет элементы существующих методик исследования концептов, которые в основном направлены на изучение языковых репрезентантов концептов, в частности, методику компонентного анализа семантики и культурологический подход [13–15]. Однако в рамках данных методик неизученными остаются функциональные возможности концепта, поэтому они дополнены методиками анализа текста. Изучение концепта в художественном произведении Ф. Герберта проведено на основе лингвопоэтического анализа, который позволяет охватить все стороны произведения и обращается к внетекстовому (литературоведческому, библиографическому, культурно-историческому) контексту [16]. Концепт рассматривается через призму его репрезентантов (слов, словосочетаний, а также идей и образов) как важный инструмент создания идейно-художественного содержания текста. Важным компонентом такого анализа является также изучение ритмико-просодических характеристик текста [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Философская глубина романов Ф. Герберта, наполненных концептами, символами, понятиями и терминами, привлекала внимание многих исследователей [18–20]. Однако понятия «пустыня» и «сад» ранее не рассматривались подробно. В романах серии «Дюна» эти концепты занимают центральное место и проявляются на различных уровнях текста.

У концептов «пустыня» и «сад» есть свои репрезентанты в языке. Прежде всего, это лексические единицы с аналогичной семантикой: *desert, garden* (пустыня, сад – здесь и далее перевод автора). Сюда же можно отнести тематическую лексику: *sand, heat, dry, plants, trees, mi-*

mosa, roses (песок, жара, растения, деревья, мимоза, розы). Паремии, репрезентирующие данные концепты, созданы автором в слое псевдоинтертекстуальных эпиграфов, предваряющих главы романов «Дюна»: *You do not beg the sun for mercy* (Солнце не просят о жалости) [21, р. 167], но они не многочисленны.

Речевая репрезентация указанных концептов гораздо шире. Ф. Герберт создает их вербализацию на всех уровнях художественного текста. Фоносемантический уровень репрезентации концепта «пустыня» представлен многочисленными звуковыми повторами, создающими эффект звукоподражания. Они создают звуковой образ пустыни: шуршание песка, шум ветра. Они не только сопровождают изображение пустыни в описаниях, но и подобно эху возникают в тех композиционных фрагментах, которые связаны с темой пустыни. Например, в последней книге серии «Капитул Дюны» повторы шипящих звуков сопровождают Шиану – героиню, нашедшую способ подчинить себе пустынного червя:

“She rides the sandworm of space! She guides through all storms Into the land of gentle winds. Though we sleep by the snake’s den, She guards our dreaming souls. Shunning the desert heat, She hides us in a cool hollow”. (Она едет на черве вселенной! Она направляет его через все бури в земли тихих ветров. Пусть мы спим у логова змея, Она охраняет наш сон, отгоняя дневной жар. Шиана прячет нас в прохладной пещере) [22].

Описание сада включает звукопись текущей воды, передаваемой сочетанием сонорных согласных: *“A low fountain stood there, small with fluted lips. The rhythmic noise was a peeling, spooling arc of water falling thud-a-gallop onto the metal bowl. Every available space in the room was crowded with exotic wet-climate plants”.* (Здесь стоял небольшой низкий фонтан с небольшим отверстием дудочкой. Ритмичный звук оказался плеском прерывистой водяной дуги, со звоном бьющей в металлическую чашу. Все пространство маленькой комнатки было заполнено экзотическими тепличными растениями) [23, р. 71]. Сама лексическая единица *“water”* (вода) подчеркивается благодаря звуковой аттракции звука *“w”*: *Water everywhere ... Water being wasted* (Вода везде... Вода тратится зря) [23, р. 71].

На лексическом уровне концепты представлены различными группами слов, призванных придать концептам черты топоса. В романе «пустыня» и «сад» представлены в виде реалистично описанных мест, где обитают герои романов. Пустыня представлена обширной тематической группой слов, описывающих пейзаж, фауну, этнос пустыни. Многие из них являются авторскими неологизмами: *stillsuit, spice, snorkel, watertube, cris* (фильтрокостюм, спайс, дыхательная трубка, водяная трубка, крис). В описании сада широко используются названия растений: *fern, mimosa, roses, akarso, quince, sondagi, pleniscenta* (папоротник, мимоза, розы, акарзо, айва, сондаги, пленисцента).

Автор создал словарь неологизмов, используемых в романе для обозначения жизни в пустыне ее основных обитателей – фременов. В этот словарь включены бытовые реалии фременской жизни (*windtrap, yali, stillsuit, stilltent, thumper, sietc* – ловушка для ветра, яли, фильтрокостюм, фильтропалатка, колотушка, табор) и реалии, связанные с производством меланжа (*spice driver, spice factory* – перевозчик спайса, фабрика спайса). Герберт

также вводит в текст имитацию иноязычных включений в виде элементов фременского языка (*ya hya chouhada: "long live the fighters!"* – Да здравствуют борцы!; *ya! ya! yawm!:* "now, hear this!" – послушайте!; *soo-soo sook!:* *water-seller's cry on Arrakis* – возглас продавца воды на Арракисе). Неологизмами являются также наименования религиозно-философских понятий фременов (*sayyadina, taqwa, shadout, sihaya*). Многие из этих единиц имеют арабские, египетские или африканские корни, т. е. позаимствованы из языков пустынных народов [24]. Так, например, *tahaddi* является арабским словом, обозначающим вызов, *subakh un nar* – традиционный египетский ответ на приветствие, *ulema* – арабское слово, обозначающее ученых или знающих людей [24].

Концепты «пустыня» и «сад» также представлены словосочетаниями. В анализе словосочетаний следует опираться на понятие синтагмы. Синтагматика словосочетаний, изученная в работах С.Г. Тер-Минасовой, М.В. Вербицкой, А.Н. Морозовой, представлена в единстве лексико-грамматического содержания и просодического оформления [17; 25; 26]. В качестве примера можно привести описание сада в романе "Chapterhouse: Dune": *summer morning, flowers blooming, birds calling, yellow radiance, prune roses, black roses, pruning shears, went snick-snack* (утреннее солнце, распутившиеся цветы, крики птиц, желтое сияние, розовый куст, черные розы, садовые ножницы, щелкают чик-чик). Последовательность синтагм с одинаковым слоговым составом создает ритмический рисунок, обеспечивающий метрическую речь [25]. Такие отрывки текста обеспечивают внимание читателя, именно в них автор сосредотачивает особо значимую информацию. Так, например, в заключительном эпизоде романа, когда главный герой Лето погибает, теряя свою пустынную форму из-за соприкосновения с водой, Ф. Герберт вводит в текст прием метрической речи, воспроизводя поэтический ритм:

*I cannot cry, -/-/ (я не могу плакать)
nor even shout, -/-/ (и даже кричать)
he thought. - / (подумал он)
Tears are no longer possible. /- /- /- /- (плакать нельзя)
They're water. /- /- (слезы – вода)
I'll have water enough in a moment. - - /- /- /- /- (скоро у меня будет много воды)
I can only moan in my grief. - - /- /- /- /- (я лишь могу стонать от горя) [27, р. 414].*

Ритмический эффект создается и благодаря идентичному количеству слогов в последовательно расположенных синтагмах:

There was an old man out there at a distance (11), digging in flowers (4). The garden was protected by buildings on three sides (13). The flowers bore large blossoms-red on the outside but (13), when they unfolded (5), white in the center (5). The old Man's uncovered gray hair was a kind of blossom waving among the floral white and jeweled buds (25). A Fremmen tending flowers in the open! (11) – Там, вдали, стоял старик, копаясь в цветах. Сад был обнесен стеной с трех сторон. Цветы были с большими соцветиями, красными снаружи, но когда распускались, то становились белыми в середине. Непокрытая седая голова Старика была цветком, плывущим среди белых и рубиновых соцветий. Фремен, без утайки ухаживающий за цветами! [27, р. 383].

Ритмический эффект поддерживается также и включением отрывков фременских пустынных песен в повествование: *Day is ended./Visitors gone/Day is ended/In our Sietch./Day is ended./Storm wild sounds./Day is ended./Visitors gone* (День подошел к концу. Гости ушли. День подошел к концу в нашем таборе. День подошел к концу. Буря завывает. День подошел к концу) [28, р. 412]. Ритмизация текста сообщает ему особую патетичность и эмоциональность, настраивая читателя на восприятие информации философского плана. Таким образом, простые описания пустыни и сада приобретают глубокое звучание, обеспечивают понимание дополнительных смысловых нагрузок концептов «пустыня» и «сад». Так, например, репрезентант концепта «пустыня» Шай-Хулуд (пустынный червь) выступает как материальный объект, для его описания Ф. Герберт создает в своем словаре научное описание: *SHAI-HULUD: Sandworm of Arrakis ... Sandworms grow to enormous size (specimens longer than 400 meters have been seen in the deep desert) – ШАИ-ХУЛУД: пустынный червь Арракиса... Пустынные черви вырастают до огромного размера (в глубине пустыни были замечены экземпляры более 400 метров в длину) [23, р. 529].* Шай-Хулуд выступает в различных сюжетных ролях: пустынного животного, религиозного фетиша, материала для генетических экспериментов, надежды человечества. В то же время для подчеркивания его метасемиотической нагрузки Ф. Герберт использует ритм: все описания Шай-Хулуда сопровождаются приемами ритмизации текста. Шай-Хулуд вызывается ритмичным постукиванием и подчиняется ритмичным танцам и песням. Ритмизация является маркером того, что этот репрезентант концепта «пустыня» приобретает в романе дополнительные нагрузки, обретает глубину символа. Этот емкий символ соотнесен с концептом пустыни, а также с понятиями природы, экосистемы, бога, испытания. В последнем романе серии пустынный червь и человек отправляются для создания нового мира, в котором они могут осуществить попытку гармоничного сосуществования: *There appeared to be no stopping the Missionaria in its preparations for our Sheeana. If the giant sandworms developed – Shai-hulud returned! And the Missionaria Protectiva of the Bene Gesserit was ready to launch her onto an unsuspecting humanity prepared for religious adoration. The myth become real... just the way she tried to make that sculpture back there a reality* (Похоже, что ничто не остановит Миссию в ее планах относительно Шианы. Если вырастить гигантского пустынного червя, вернется Шай-Хулуд! И Миссия Протектива Бене Гессерит была готова поместить ее в нецивилизованное человеческое сообщество для религиозного поклонения. Миф станет реальностью... подобно тому, как она пыталась воплотить в реальность ту скульптуру) [22].

Семантика концептов «пустыня» и «сад» достаточно сложна и может быть проанализирована в опоре на внешний контекст романа, прежде всего, на библиографическую составляющую. О'Райли считает, что не просто знания эколога, но широчайшая эрудиция в сферах антропологии, истории, этнографии, философии помогли Ф. Герберту создать динамику движения от идеи к ее культурному моделированию и далее к культурным преобразованиям, которые она может нести [29]. Сад и пустыня – не просто топоры романа, но культурные

модели, воплощенные с научной точностью и множеством подробностей (планеты, народы, обычаи, традиции). Обе модели взаимосвязаны. Прежде всего, они противопоставлены друг другу. Подобно тому, как в языковой картине мира существует дихотомия «пустыня – сад», так же и в романе Ф. Герберта противопоставление и взаимовлияние пустыни и сада проявляется на всех уровнях текста.

На языковом уровне, прежде всего, это противопоставление коннотативно окрашенных лексических единиц, создающих контрастные образы. Сад изображен как воплощение жизни, всего позитивного и прекрасного, что в ней может быть: *the most precious juice of life; life breeds more intensely; to irrigate heavily; birds and insects; bees working the clover; cherries east of them beyond the pasture; seeds and young shoots; planted with loving care; massed greenery* (самый ценный нектар жизни; жизнь расцветает; обильно поливать; птицы и насекомые; пчелы жужжат над клевером; густая зелень). В противоположность этому пустыня изображена как место опасности и смерти, связанное с трудностями и испытаниями: *the storm ... slamming across the side of the 'thopter; a cascade of sand, a dry smell of burned flint* (буря... обрушилась сбоку на вертолет, поток песка, сухой запах раскаленного кремня). В последних романах серии, напротив, сад становится смертельной ловушкой, а пустыня видится как спасение, как желанная цель.

Семантика концептов «пустыня» и «сад» реализуется на текстовом уровне благодаря многочисленным функциям, которые они выполняют в романе. Прежде всего, это место действия, выбираемое автором в соответствии с принципом художественного моделирования действительности. Ф. Герберт, как творец возможных миров, берет за основу популярный образ, несколько гиперболизируя его, и разворачивает события на фоне губительных пустынных бурь, червей, готовых поглотить любое движущееся существо, жары, выжить в которой возможно лишь с помощью особого костюма. В течение серии романов пустыня увлажняется, мелиорируется, превращается в сад, при этом фремены из свободного жизнелюбивого народа превращаются в марионеток. Планета-сад сделала людей слабыми и зависимыми. Последний роман серии заканчивается попыткой вновь отыскать планету-пустыню.

Пустыня и сад являются яркими художественными образами, легко воспринимаемыми благодаря своей универсальности. Ф. Герберт выходит за рамки традиционного понимания сада и пустыни как положительного и отрицательного образов. Жизнь в пустыне кажется опасной лишь для западного восприятия. Для народов, населяющих пустыню, она кажется домом. Ван дер Веен пишет о том, что сад и пустыня могут рассматриваться не только как противопоставление, но и как взаимосвязанные и взаимозаменяемые понятия [9, р. 226–228]. Такой же подход применен Ф. Гербертом к развертыванию семантики концепта в романах «Дюна». Герои романа также противопоставлены друг другу. Герои – сторонники пустынных обычаев противопоставлены героям – сторонникам имперских обычаев, жители пустыни противопоставлены жителям сада, герои с пустой душой – героям с богатым внутренним эмоциональным миром и т. д.

Важной функцией концептов является также создание текстовой модальности. Модальность может быть представлена на уровне высказывания, на уровне предложения. Так, например, в высказывании *“Could have stumbled on an ancient aquifer, sir. Maybe buried under a cap of rock”* (Наверное, наткнулись на старый водосток, господин. Может, скрыт под скалой.) присутствует указание на гипотетичность, семантику настоящего времени, приближенного пространства, положительную оценку, передаваемую уважительным *sir* и упоминанием об источнике воды в контексте описания безводного пространства пустыни [24]. В метатексте скрыта семантика долженствования – *So we had to stop* (И нам пришлось остановиться).

Модальная семантика и семантика концепта сходны в том, что они могут быть культурно обусловлены. Модальная семантика может быть задана, запрограммирована через определенные стереотипы. Так, например, опора на определенные поведенческие стереотипы позволяет идентифицировать оценку одного из героев Харконнена: *Sinewy muscles stood out along his neck and jaw, ready to contort his face into a scowl or a hard smile, depending on circumstances.* – Жилы выступали на его шее и подбородке, превращая лицо в гримасу или лицемерное веселье, в зависимости от обстоятельств (мика, не располагающая к общению); *Yet another failing of his weak younger demibrother* – Еще одна неудача его брата-слабака (отсутствие уважения к близкому родственнику); *The Baron growled, furious with the man for communicating on an unencrypted channel* – Барон нахмурился, злясь на подчиненного, связывающегося с ним по незащищенному каналу (несдержанность в выражении негативных эмоций).

Поскольку концепты опираются на культурно обусловленные стереотипы, понятные для читателя, семантика концептов и модальная семантика часто пересекаются. Так, например, эпистемическая модальность в семантике реальности определяет топонимическую функцию концепта «пустыня», Ф. Герберт использует данный стереотип, изменяя некоторые параметры модальной рамки. Так, например, придавая изображению пустыни реальную окраску, он использует гиперболизацию. Все в пустыне Дюны преувеличено – размер червей, сила пустынных бурь, жестокость коренных обитателей. Алетическая модальность проявляется на композиционном уровне, где пустыня изображена как обладающая значительным потенциалом возможностей для каждого героя романа. Реализованным оказывается только вариант возможного мира эколога Пардота Кинеса. Потенциал пустыни связан с ее экологическим преобразованием, а также с необычными свойствами ее основного продукта – меланжа, дающего человеку способности сверхвосприятия. Деонтическая модальность представлена блоком обязанностей, которые налагает на человека жизнь в пустыне. Основной источник этих долженствований связан со стереотипом выживания.

Важнейшая модальная семантика романа – аксиологическая. Именно она участвует в противопоставлении пустыни и сада. Экспериментируя с традиционным прецедентным представлением о пустыне как негативно окрашенном концепте, Ф. Герберт создает и выражает идейное содержание романов. Благодаря дихотомии

«сад – пустыня» Ф. Герберт выражает свои основные идеи. Прежде всего, это идея осознания опасности экологических экспериментов [20]. Одна из основных идей автора состоит в том, что человек должен жить в гармонии с природой, не его потребности, а потребности экосферы должны определять изменения окружающей среды. Важной идеей является то, что для развития человека не годятся «тепличные» цивилизованные условия общества потребления, воплощенные в образе сада. Напротив, суровое пустынное окружение способствует развитию духовного потенциала. Важнейшей идеей Ф. Герберта является то, что путь человека должен лежать в плоскости духовного совершенствования, ни физическое, ни научно-техническое, ни психологическое развитие не являются достаточными для духовного роста. Так, аксиологическая модальность, определяющая содержание концептов «сад» и «пустыня», подвергается значительному переосмыслению, позволяет автору предложить изменения в системе ценностей (аксиологии). Приоритеты выживания, безопасности, изобилия заменяются приоритетами совершенствования, отваги и аскетизма.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Исследование концептов «сад» и «пустыня» в романах Ф. Герберта показывает, что их речевая репрезентация гораздо шире, нежели языковая. Они реализованы как на уровне языкового оформления, так и на уровне идейно-художественного содержания. Репрезентанты концептов выявлены на фоносемантическом, семантическом и синтагматическом уровне. Вербализация концептов построена на уровне противопоставления. Функциональная нагрузка концептов состоит в выражении идейно-художественного содержания, создания образов и характеристики героев романа. Концепты являются ключевыми инструментами организации содержания не только отдельных романов, но и всего цикла романов в целом, создавая устойчивые гипертекстовые связи. Важной функцией концепта является его модальная функция. Модальное содержание репрезентантов концептов создает характерное модальное оформление. Эпистемическая, алетическая и аксиологическая модальности связаны с рассматриваемыми концептами и идейно-художественным содержанием. Используя культурные стереотипы пустыни и сада, Ф. Герберт подвергает стереотип трансформации, решая художественные и философские задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьянков В.З. Термин «концепт» как элемент терминологической культуры // *Язык как материя смысла: сборник статей в честь академика Н.Ю. Шведовой*. М.: Азбуковник, 2007. С. 606–622.
2. Ангелова М.М. «Концепт» в современной лингвокультурологии // *Актуальные проблемы английской лингвистики и лингводидактики*. 2004. Вып. 3. С. 3–10.
3. Вежбицкая А. Семантические универсалии и описание языка. М.: Языки русской культуры, 1999. 780 с.
4. Lakoff G. Classifiers as a reflection of mind: the experimental, imaginative, and ecological aspects // *Symposium of categorization and noun classification*. Eugene: University of Oregon, 1983. 23 p.
5. Keil F.C. *Concepts, kinds, and cognitive development*. Cambridge: MIT Press, 343 p.
6. Касаткина К.А. Концептуальная картина мира и перевод // *Вестник гуманитарного института ТГУ*. 2010. № 1. С. 83–88.
7. Devitt A.J. Generalizing about genre: new conceptions of an old concept // *College Composition and Communication*. 1993. Vol. 44. № 4. P. 573–586.
8. Рябцева Н.К. *Язык и естественный интеллект*. М.: Academia, 2005. 640 с.
9. Van der Veen M. *Gardens in the Desert // Life on the fringe: living in the southern Egyptian deserts during the roman and early-byzantine periods*. Leiden: CNWS, 1998. P. 221–242.
10. Хромченко С. Образы пустыни и сада в современном искусстве // *Sanat*. 2003. Вып. 3. URL: sanat.orexca.com/ru/kontakty/.
11. Озерский С. «Пустыня» в Священном писании // *Православная община*. 1999. № 51. С. 51–59.
12. Mellamphy N.B. Terra-&-terror ecology: secrets from the Arrakeen underground // *Design Ecologies*. 2013. Vol. 3. № 1. P. 66–91.
13. Опарина О.И. Страх как лингво-психологическая составляющая языковой картины мира // *Язык, сознание, коммуникация*. Вып. 27. М.: МАКС Пресс, 2004. 96 с.
14. Полякова Е.И. Определение концепта на основе лингвокультурологического подхода // *Альманах современной науки и образования*. 2011. № 10. С. 155–156.
15. Слышкин Г.Г. От текста к символу: лингвокультурные концепты в сознании и дискурсе. М.: Academia, 2000. 139 с.
16. Борисова Е.В. Научные предпосылки возникновения метода общелингвистического анализа художественного текста // *Высшее гуманитарное образование XXI века: проблемы и перспективы: материалы десятой международной научно-практической конференции*. Самара: СамГСПУ, 2015. С. 61–65.
17. Морозова А.Н., Караульщикова Ю.В. Модальные синтагмы в англоязычном медиа-тексте: параметры анализа // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки*. 2013. Т. 15. № 2-2. С. 459–466.
18. Evans C.L. *Women of the future: gender, technology, and cyborgs in Frank Herbert's Dune*. Master's thesis. Quebec: Universite Laval, 2016. 163 p.
19. Morton T. *Imperial measures: Dune, ecology and romantic consumerism // Romanticism on the Net*. 2001. № 21. P. 15–21.
20. Pearson B.W. *Friedrich Nitzche goes to space // Dune and Philosophy*. Chicago: Open Court, 2011. P. 189–205.
21. Herbert F. *Dune Messiah*. New York: Ace Books, 1990. 329 p.
22. Herbert F. *Chapterhouse Dune*. New York: Ace Books, 1990. 433 p.
23. Herbert F. *Dune*. New York: Ace Books, 1990. 536 p.
24. Thu K. *Arabic and Islamic themes in Frank Herbert's "Dune", The Baheyeldyn Dynasty*. 2004. URL: baheyeldin.com/literature/arabic-and-islamic-themes-in-frank-herberts-dune.html.

25. Вербицкая М.В., Миндрул О.С. Филологические основы воспроизведения литературно-художественного текста в устной речи // Теория и практика изучения современного английского языка. М.: МГУ, 1985. С. 136–144.
26. Тер-Минасова С.Г. Синтагматика речи: онтология и эвристика. Общая и английская синтагматика составных номинативных групп. М.: URSS, 2009. 200 с.
27. Herbert F. *God emperor of Dune*. New York: Ace Books, 1990. 423 p.
28. Herbert F. *Children of Dune*. New York: Ace Books, 1990. 408 p.
29. O'Reilly T. *Frank Herbert*. New York: Frederick Ungar Publishing, 1981. 279 p.
- REFERENCES**
1. Demyankov V.Z. The term “concept” as an element of terminological culture. *Yazyk kak materiya smysla: sbornik statey v chest akademika N.Yu. Shvedovoy*. Moscow, Azbukovnik Publ., 2007, pp. 606–622.
 2. Angelova M.M. “Concept” in modern linguoculturology. *Aktualnye problemy angliyskoy lingvistiki i lingvodidaktiki*, 2004, vyp. 3, pp. 3–10.
 3. Vezhbitskaya A. *Semanticheskie universalii i opisaniye yazyka* [Semantic universals and description of the language]. Moscow, Yazyki russkoy kultury Publ., 1999. 780 p.
 4. Lakoff G. Classifiers as a reflection of mind: the experimental, imaginative, and ecological aspects. *Symposium of categorization and noun classification*. Eugene, University of Oregon Publ., 1983. 23 p.
 5. Keil F.C. *Concepts, kinds, and cognitive development*. Cambridge, MIT Press Publ., 343 p.
 6. Kasatkina K.A. Conceptual world image and translation. *Vestnik gumanitarnogo instituta TGU*, 2010, no. 1, pp. 83–88.
 7. Devitt A.J. Generalizing about genre: new conceptions of an old concept. *College Composition and Communication*, 1993, vol. 44, no. 4, pp. 573–586.
 8. Ryabtseva N.K. *Yazyk i estestvennyy intellekt* [Language and natural intelligence]. Moscow, Academia Publ., 2005. 640 p.
 9. Van der Veen M. Gardens in the Desert. *Life on the fringe: living in the southern Egyptian deserts during the roman and early-byzantine periods*. Leiden, CNWS Publ., 1998, pp. 221–242.
 10. Khromchenko S. Images of desert and garden in contemporary art. *Sanat*, 2003, vyp. 3. URL: sanat.orexca.com/ru/kontakty/.
 11. Ozerskiy S. “Desert” in the Scriptures. *Pravoslavnyaya obshchina*, 1999, no. 51, pp. 51–59.
 12. Mellamphy N.B. Terra-&-terror ecology: secrets from the Arrakeen underground. *Design Ecologies*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 66–91.
 13. Oparina O.I. Fear as a linguistic-psychological component of the linguistic world image. *Yazyk, soznanie, kommunikatsiya*. Moscow, MAKS Press Publ., 2004. Vyp. 27, 96 p.
 14. Polyakova E.I. Definition of the concept on the basis of linguistic-cultural approach. *Almanakh sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2011, no. 10, pp. 155–156.
 15. Slyshkin G.G. *Ot teksta k simvolyu: lingvokulturnye kontsepty v soznanii i diskurse* [From text to symbol: linguocultural concepts in consciousness and discourse]. Moscow, Academia Publ., 2000. 139 p.
 16. Borisova E.V. Scientific prerequisites for the emergence of the method of general philological analysis of the literary text. *Vysseee gumanitarnoe obrazovanie XXI veka: problemy i perspektivy: materialy desyatoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Samara, SamGSPU Publ., 2015, pp. 61–65.
 17. Morozova A.N., Karaulshchikova Yu.V. Modal syntagms in English media-texts: parameters of analysis. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Sotsialnye, gumanitarnye, mediko-biologicheskie nauki*, 2013, vol. 15, no. 2-2, pp. 459–466.
 18. Evans C.L. *Women of the future: gender, technology, and cyborgs in Frank Herbert's Dune. Master's thesis*. Quebec, Universite Laval Publ., 2016. 163 p.
 19. Morton T. Imperial measures: Dune, ecology and romantic consumerism. *Romanticism on the Net*, 2001, no. 21, pp. 15–21.
 20. Pearson B.W. Friedrich Nitzche goes to space. *Dune and Phylosophy*. Chicago, Open Court Publ., 2011, pp. 189–205.
 21. Herbert F. *Dune Messiah*. New York, Ace Books Publ., 1990. 329 p.
 22. Herbert F. *Chapterhouse Dune*. New York, Ace Books Publ., 1990. 433 p.
 23. Herbert F. *Dune*. New York, Ace Books Publ., 1990. 536 p.
 24. Thu K. Arabic and Islamic themes in Frank Herbert's “Dune”, The Baheyeldyn Dynasty. 2004. URL: baheyeldin.com/literature/arabic-and-islamic-themes-in-frank-herberts-dune.html.
 25. Verbitskaya M.V., Mindrul O.S. Philological basis of rendering literary text in oral speech. *Teoriya i praktika izucheniya sovremennogo angliyskogo yazyka*. Moscow, MGU Publ., 1985, pp. 136–144.
 26. Ter-Minasova S.G. *Sintagmatika rechi: ontologiya i evristika. Obshchaya i angliyskaya sintagmatika sostavnykh nominativnykh grupp* [Syntagmatics of speech: ontology and heuristics. General and English syntagmatics of compound nominative groups]. Moscow, URSS Publ., 2009. 200 p.
 27. Herbert F. *God emperor of Dune*. New York, Ace Books Publ., 1990. 423 p.
 28. Herbert F. *Children of Dune*. New York, Ace Books Publ., 1990. 408 p.
 29. O'Reilly T. *Frank Herbert*. New York, Frederick Ungar Publ., 1981. 279 p.

CONCEPTS “GARDEN” AND “DESERT” IN “DUNE” SERIAL NOVELS BY FRANK HERBERT

© 2017

T.G. Nikitina, PhD (Philology),
assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: science-fiction literature; literary text; verbalization of concept; modality; Frank Herbert; concepts “garden” and “desert”.

Abstract: The study is based on effective methods of cognitive linguistics to study concept in the system of language. Speech realization of the concept in a literary text is examined as determined in its functions by an author’s idea, genre and style of the text. The research is a timely development of a modal framework notion for a work of literature, which enabled to describe verbalization of the concept as a system of semantic, formal and functional characteristics. The study confirmed that science-fiction novels from the series “Dune” by Frank Herbert are characterized by philosophical depth and complexity of language, while the concepts “garden” and “desert” play the key role in creating ideological and esthetic contents of the novels.

The paper contains analyses of the concepts on various levels of the literary text. It is noted that a concept can be examined at the level of language verbalization, at the levels of the text, the hypertext and literary discourse, while concepts are represented on phonetic, lexical and syntactic levels of the language. Concepts in a literary text have a cohesive hypertext function and provide the dialogue of the writer and the reader in literary discourse. The basis of concept realization in F. Herbert’s science-fiction was linguistic and stylistic analysis, referring to the broader context. Research discloses hypertext function of the concept in the literary text to provide communication of the reader and the writer in the literary text.

It is discovered that the cultural component of the text of novels is closely connected with verbalization of concepts. Analyses disclosed opposition of the concepts providing the principle of reader’s choice. The study showed that the writer models reader’s perception of heroes and events of novels by creating axiological modality. The paper brings forth conclusions about F. Herbert’s values experiments, the role of the reader in creating the system of values and the connection of axiology with epistemic and deontic modalities semantics.

**ПРИЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФРАЗЕОЛОГИЗМОВ В РАССКАЗАХ А.П. ЧЕХОВА:
ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ**

© 2017

М.Г. Соколова, кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры «Русский язык, литература и лингвокриминалистика»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: Антон Чехов; фразеологическая картина мира; культурная коннотация фразеологических единиц; приемы творческой трансформации фразеологизмов.

Аннотация: В статье характеризуются фразеологизмы в ранних рассказах А.П. Чехова. Выявлены способы и приемы творческого преобразования фразеологизмов А.П. Чеховым, особенности функционирования фразеологических единиц в художественном тексте, элементы авторской фразеологической картины мира.

Описана национально-культурная коннотация фразеологических образов в пространстве художественных произведений писателя. Национально-культурная коннотация объясняет не только современное денотативное значение фразеологизма, но и механизмы его возникновения и образования.

В соответствии с процедурой лингвокультурологического анализа фразеологизмов в рассказах А.П. Чехова были соотнесены их значения с теми или иными пластами и кодами культуры; вскрыты тропеические механизмы, лежащие в основе образования и восприятия фразеологизма.

Произведенный лингвокультурологический анализ фразеологизмов позволил выявить, что в ранних рассказах А.П. Чехова наиболее часто встречается способ лексического преобразования фразеологизмов. Были выявлены многочисленные функции использования фразеологических выражений в контексте: отражение индивидуальных особенностей речи персонажей; усиление образа фразеологизма и его яркости восприятия за счет внесения дополнительных оттенков в семантику оборота (усиление изобразительных функций); повышение экспрессивно-стилистической окрашенности речи; придание дополнительного юмористического оттенка речи; конкретизация фразеологического образа и его смысла в контексте произведения и др.

Проведенное исследование позволило установить, что фразеологическая картина мира в произведениях писателя выражает обиходно-эмпирический опыт жизни народа, слой бытовой, материальной культуры. Автор использует всем известные фразеологизмы с прозрачной образно-мотивационной основой, однако под пером художника они обновляют свою экспрессивность, становятся ярким средством выражения иронии писателя.

ВВЕДЕНИЕ

Подход к языку как явлению культуры становится определяющим в современной парадигме научного знания. Общие проблемы соотносительности языка и культуры разработаны в трудах ведущих отечественных и зарубежных ученых [1–3]. Так, в исследованиях Б.А. Серебренникова, Е.С. Кубряковой, В.И. Постоваловой, О.А. Корнилова и др. выявлены и описаны механизмы воплощения культуры в языковом знаке, воплощения в языке познавательной деятельности человека, обосновывается понятие языковой картины мира.

Современная фразеологическая наука также обратилась к изучению языковой картины мира. Обоснование подхода к фразеологии как к одному из способов языкового мировидения, как к особой фразеологической картине мира содержится в работах Д.О. Добровольского, В.Н. Телия [4; 5]. В исследованиях М.Л. Ковшовой представлено описание семантики фразеологизма в культурном пространстве народа [6; 7]. По мнению ученого, базовым понятием лингвокультурологического аспекта изучения фразеологии является понятие национально-культурной коннотации, под которой понимается интерпретация образного основания фразеологизма в знаках и смыслах культуры. В квалификационном исследовании Р.Х. Хайруллиной содержится сопоставительное описание фразеологических картин мира русского и башкирского языков [8].

Принципы лингвокультурологического анализа фразеологизмов в лексикографическом аспекте сформулированы в работах В.Н. Телия, В.И. Зимина [9; 10]. Ис-

следование конкретных фрагментов фразеологической системы русского и других языков в лингвокультурологическом аспекте осуществляется в многочисленных научных статьях [11–13]. Однако фразеологический корпус, представленный в произведениях А.П. Чехова, еще не был предметом специального изучения в данном аспекте. Между тем трансформация фразеологического образа, являясь важнейшей особенностью индивидуального стиля писателя, затрагивает не только экспрессивно-оценочную, но и национально-культурную коннотацию общеязыковых фразеологизмов.

В статье предпринята попытка проследить, как национально-культурная коннотация как макрокомпонент целостного значения фразеологизма связана с образно-мотивационным уровнем данного значения. Национально-культурная коннотация позволяет объяснить не только современное денотативное значение фразеологизма, но и механизмы его возникновения и образования. Экспрессивно-оценочная коннотация основана на эмоционально-оценочном восприятии яркого фразеологического образа, на его экспрессивной значимости.

Целью статьи является выявление способов и приемов творческого преобразования фразеологизмов А.П. Чеховым и особенностей их функционирования в художественном тексте, определение элементов авторской фразеологической картины мира.

МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили ранние юмористические рассказы А.П. Чехова, созданные

в период с 1880 по 1886 год, представленные в 1–4 томах полного собрания сочинений писателя [14–17]. Объект исследования – общеязыковые фразеологические единицы, подвергшиеся творческой трансформации с точки зрения семантики, лексико-грамматических свойств.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

А.П. Чехов «относился к словарию, как живописец к своей палитре, как скульптор к мрамору» [18, с. 106]. Чеховский стиль невозможно представить без юмора, иронии, и фразеологизмы являются важным средством юмористической характеристики человека или воссоздаваемой ситуации. Фразеологизмы в художественном тексте в речи автора обеспечивают выразительность, эмотивность, оценочность, а в речи персонажа используются как средство его языковой характеристики.

Рассмотрим примеры, в которых наблюдается намеренное обновление автором лексико-грамматического состава фразеологизма при сохранении семантики и основных черт структуры [19].

«Mesdames, скажите мне откровенно, *приложу руку к сердцу*, нравится вам Тургенев?» («В ландо») [15]. Проанализируем культурную семантику исходного фразеологизма. *Положу руку на сердце* – откровенно, искренне. Выражение связано с жестом прикладывания руки к сердцу, означавшим, что все, что говорится собеседником, идет от чистого сердца [20].

Компонент «сердце» соотносится с антропным кодом культуры, согласно которому *сердце, душа* связываются с представлениями о них как об эмоциональных центрах человека, как о центре его внутреннего мира. Компонент «рука» соотносится с телесным кодом культуры. В составе фразеологизма *рука* выступает символом самого человека, самым активным орудием его деятельности. Образ фразеологизма создается метонимическим отождествлением части и целого (руки и человека), основанным на смежности понятий [9, с. 52].

А.П. Чехов видоизменяет данный фразеологизм путем замены компонента «положу» на «приложу» с целью отражения индивидуальных особенностей речи персонажей. Герой рассказа – иностранец – пытается употребить в речи идиому, но искажает ее, плохо чувствуя русский язык. Происходит ненамеренное и неуместное совпадение данного выражения с другим фразеологизмом – *прикладывать руку*, который означает «принимать участие в чем-либо». Несоответствие между стереотипным и трансформированным выражением, неуместная параномазия создает также комический эффект при описании ситуации.

«Тургенев хороший писатель, я не отрицаю, но не признаю за ним способности творить чудеса, как о нем кричат. Дал будто толчок к самосознанию, какую-то там политическую совесть в русском народе *ущипнул за живое*... Не вижу всего этого... Не понимаю...» («В ландо») [15].

Задеть за живое – 1) затрагивать самолюбие, обижать кого-либо; 2) волновать, заставлять переживать кого-либо. Фразеологизм возник путем сокращения оборота «задеть за живое мясо» (пораниться). Данное выражение означало «пораниться при стрижке ногтей или срезании мозоли» [10]. Образ фразеологизма имеет глубокие корни, восходящие к архетипическому проти-

вопоставлению «живое – мертвое» через компонент «живое». Компонент «*живой*» соотносится с телесным кодом культуры, а компонент «задеть» – с физически-деятельностным кодом. Фразеологизм образован деятельностно-телесной метафорой, уподобляющей душевную боль от уязвленного самолюбия боли телесной, которую человек испытывает при неосторожном прикосновении к живой ране [9, с. 218].

В тексте рассказа А.П. Чехов заменяет один из компонентов фразеологизма другим словом (вместо «задеть» – «ущипнуть») для усиления образа фразеологизма и его восприятия за счет внесения дополнительных оттенков в семантику оборота. *Задеть* предполагает только прикосновение к чему-либо, а *ущипнуть* – сжатие, защемление до боли. Вместе с тем такая физиологическая конкретизация фразеологического образа способствует снижению его эмоционально-оценочного значения, что создает юмористический эффект.

«Наша речка извивалась змейкой, словно зигзаг... Бежала она по полю изгибами, вертикулясами этакими, как поломанная... Когда, бывало, на гору взлезешь и вниз посмотришь, то всю ее, как на ладонке, видать. Днем она как зеркало, а ночью ртутью отливает. По бережку камыш стоит и в воду поглядывает... Красота! Тут камыш, там ивнячок, а там вербы... Так расписывал Никифор Филимоныч, сидя в портерной за столиком и глотая пиво» («Отставной раб») [15].

Как на ладони – о том, что хорошо видно, совершенно ясно. Происхождение оборота связано с гаданием по руке, при котором по характеру линий на ладони предсказывается будущее человека, его внутренний мир и ход жизни [20]. Компонент «ладонь» соотносится с телесным кодом культуры и построен на телесно-деятельностном сравнении, в котором эталоном ясности ситуации, хорошей видимости является ладонь.

В тексте произведения использована уменьшительно-ласкательная форма компонента «ладонь» (окказиональный диминутив), что характеризует речевую манеру героя, который, описывая родные места, использует обилие слов с уменьшительно-ласкательными суффиксами (речка, змейка, бережок, ивнячок).

«Между людьми мы маленькие, бедненькие, а между тем *соль мира есмь*, и богом для полезности отечественной созданы, и всю вселенную поучаем, добро превозносим, зло человеческое поносим...» («Корреспондент») [14].

Соль земли – наиболее активная, творческая сила народа. Выражение из Евангелия, слова Иисуса Христа ученикам: «Вы соль земли» (Матфей, 5:13). Компонент «соль» соотносится с гастрономическим кодом культуры. Символьные значения соли обусловлены ее природными свойствами, многообразным применением. Поскольку соль препятствует гниению пищи, в мифологических представлениях ее считают символом защиты от зла и используют в магических ритуалах. В христианско-религиозном сознании положительный смысл данного символа переносится на нравственное поведение людей и наделяется значением нравственной чистоты, очищения покаянием [21].

Компонент «земля» соотносится с природно-ландшафтным кодом культуры. В составе фразеологизма компонент соотносится с народными религиозными представлениями о земле как о мире людей, предстающем

как вместилище грехов и пороков. Общеязыковой фразеологизм трансформируется в речи персонажа рассказа. Замена компонента «земля» на «мир», употребление старославянской формы глагола «есть» создают повышенную экспрессивно-стилистическую окрашенность речи персонажа, оттенок торжественности. Однако в контексте данного рассказа этот фразеологизм становится средством выражения иронического отношения к герою через характеристику его речевой манеры, для которой свойственно неуместное смешение церковнославянизмов, бытовой и профессиональной публицистичной лексики. Смещение высокого и низкого – один из характерных авторских приемов создания комического.

«Ну, слава богу! – сказал Шестикрылов, входя по прочтении приговора в канцелярию. – Спасибо, что дело так кончилось... *Словно пудов с плеч свалилась тысяча*. Заплатишь ты Гришке 10 рублей и можешь быть покоен» («Интеллигентное бревно») [17].

Как (будто, словно, точно) гора с плеч свалилась – почувствовать полное облегчение. Фразеологизм основан на древнейшем архетипическом противопоставлении «верх – низ», «тяжелый – легкий», которое прочитывается благодаря компоненту «гора». Компонент «гора» соотносится с природно-ландшафтным кодом и символизирует какие-либо тяжелые, обременительные для человека дела, обязанности. Компонент «плечи» соотносится с телесным кодом культуры и символизирует физическую силу, а также самого человека, несущего бремя забот (как часть целого). Фразеологизм образован метафорой, уподобляющей устранение гнетущих забот освобождению от тяжести – горы. За счет компонента «гора» фразеологизм приобретает характер гиперболы [9].

Образная основа данного фразеологизма является стертой, яркость его затухает. С целью ее оживления автор обновляет фразеологизм посредством замены компонента «гора» на «тысяча пудов». В результате усиливается изобразительная функция выражения.

Обратимся к примерам, в которых происходит расширение объема фразеологизма путем добавления в его состав новых компонентов [19].

«Не приехал и через месяц, и через два, через три... Он, разумеется, и не думал о Приклонских, а Маруся ждала и худела от ожидания... *Кошки, не обыкновенные, а с длинными желтыми когтями, скребли ее за сердце* («Цветы запоздалые») [14].

Кошки скребут на душе (на сердце) – состояние щемящей тоски, беспокойства. Компонент фразеологизма «душа» (*сердце*) соотносится с религиозно-антропным кодом культуры. В составе фразеологизма *душа* (*сердце*) символизирует центр внутреннего мира человека, место сосредоточения его чувств. Компонент «кошки» включен в зооморфный код культуры. В представлении многих европейских народов *кошка* символизировала злонравие и коварство, темные силы. Эту негативную семантику образа усиливает компонент «скребут». Фразеологизм образован пространственно-телесной метафорой, уподобляющей эмоциональное состояние человека физическому переживанию от мелких болезненных ран, нанесенных ему [9, с. 335].

Результатом расширения объема фразеологического оборота является усиление его эмоциональной семантики, яркости образа, передающего состояние страха,

смятения и тревоги героини рассказа. Если в исходном выражении образ кошачьих когтей присутствует только в сознании, то в преобразованном варианте он наглядно выражен и подкреплён эпитетами.

«Глядя на него, я вспомнил клопов, Зиночку, свою диагностику, и *не мороз, а целый Ледовитый океан пробежал по моей спине...*» («Ночь перед судом») [16].

Фразеологизм *мороз продирает (дерет, пробегает, подирает) по коже (по спине)* имеет два значения. Первое – очень сильный мороз, очень холодно. Второе метафорическое значение – очень страшно, жутко – закрепились в результате того, что чувство страха часто связывается с ощущением холода [20]. Через компоненты «мороз» и «спина» (кожа) фразеологизм соотносится с природным и телесным кодами культуры.

Расширение объема фразеологизма новыми словами, включение антитезы в структуру оборота оживляет стертый фразеологический образ и способствует более наглядному изображению внутреннего состояния героя.

«Вздумал он за зятя в банковом обществе поручиться... тысячу на тридцать... Зять, известно, знает, шельма, свою пользу и ухом своим собачьим не ведет, а с нашего взяли все тридцать тысяч...» («Осенью») [15].

И ухом не вести – 1) о человеке, не реагирующем на что-либо услышанное; 2) о человеке, ничего не предпринимающем перед лицом опасности. В буквальном смысле – о лошади, которая, заслышав какие-либо подозрительные шорохи, какую-либо опасность поводит ушами [10].

Образ фразеологизма создается зооморфной метафорой, уподобляющей поведение человека поведению животного. Аналогия «животное – человек» является древнейшей в сознании и культуре человека. Включение в состав фразеологизма компонента «собачьим» (ухом) конкретизирует исходный фразеологический образ. Известно, что благодаря особенностям своего строения ухо собаки улавливает звуки в диапазоне, во много раз превышающем человеческие возможности. В контексте рассказа данный фразеологизм очень точно характеризует умения героя быстрее всех увидеть во всех делах выгоду для себя.

«Язык его заиграл на нервах, как на балалайке... После первых же двух-трех фраз его кто-то из публики громко ахнул и вынесли из залы заседания какую-то бледную даму» («Случай из судебной практики») [15].

Играть на нервах – раздражать, нервировать кого-либо чем-либо. Выражение связано с латинским наименованием струны *nervus*. Нервы в организме человека по сходству со струнами музыкальных инструментов были названы тем же словом – *nervus*. Выражение основано на метафоре, уподобляющей раздражающее действие игре на струнах (нервах) [9, с. 469].

Расширение объема фразеологизма за счет использования сравнительной конструкции «как на балалайке» делает более прозрачной внутреннюю форму фразеологизма, поскольку ассоциация с игрой на музыкальных инструментах, возникающая в сознании, здесь представляется во всей наглядности.

«На сытой, лоснящейся физиономии милостивого государя была написана смертельной скука» («Баран и барышня») [15].

На лице написано – сразу заметно, легко определить по внешнему виду. Образ фразеологизма раскрывается

на фоне универсальных представлений о том, что характер человека, род его занятий отражаются на лице человека, а также на бытовых наблюдениях за человеком, чувства которого помимо его воли проявляются на его лице. Фразеологизм основан на метафоре, уподобляющей человека тексту, который можно прочесть [9, с. 414].

В данном примере при использовании фразеологизма наблюдается одновременно замена одного из компонентов (вместо «лицо» – «физиономия») и расширение объема. В результате фразеологизм получает пренебрежительную сниженную экспрессивную оценку, которая подчеркивается словами «сытой», «лоснящейся», характеризующими жизнь героя, полную довольства, однопоборазия.

«Господа, что же это такое? Кто его раздражил? Вы, доктор? Вы, черт вас возьми, вечно *лезете со своим ученым носом* не в свое дело» («Двадцать девятое июня (Рассказ охотника, никогда в цель не попадающего)») [14].

Совать свой нос – вмешиваться не в свое дело; стремиться принимать участие в чужих делах. Выражение основано на наблюдении за поведением животных. Образ фразеологизма восходит к архетипической оппозиции «свой – чужой» через компоненты «*свой нос*». Нос, как выступающая часть лица, воспринимается как граница между внешним и внутренним пространством, как мера максимально допустимой близости объектов. Телесное вмешательство в чужое пространство означает вмешательство в чужие дела и отношения. Фразеологизм основан на метафоре, уподобляющей поведение животного любопытному человеку [9, с. 652].

Перейдем к примеру, в котором наблюдается совмещение семантики компонентов фразеологизма с семантикой других слов контекста [19]. «Назови меня лысым чертом, если только ты *не выйдешь* из этой деревни *с носом!* Извини меня, дочка, но, честное слово, ты сегодня глупа, как пескарь!» («Ненужная победа») [14].

Оставять (оставаться, уходить) с носом – без того, на что рассчитывал, надеялся кто-либо, чего добивался; без самого необходимого. Выражение связано с древним обычаем, согласно которому жених подносил родителям невесты «нос» – приношение, подарок, выкуп. В случае отказа подарок отвергали – жених оставался с носом [10].

Употребление фразеологизма в исходной форме нарушило бы смысл высказывания, так как слова «остаться» и «выйти» являются антонимами.

Рассмотрим примеры трансформации значения фразеологизма в противоположную сторону за счет добавления отрицательной частицы «не».

«А ты, Николай Борисыч, не осуждай меня... *не бросай камня*... Вспомни пальмовского Неклюжева...» («75 000») [15].

Бросать первый камень – осуждать кого-либо, обвинять кого-либо в чем-либо. Выражение восходит к Евангелию (Иоанн, 8: 77). Иисус Христос сказал книжникам и фарисеям, которые привели к нему блудницу: «Кто из вас без греха, первый брось в нее камень». Побивание камнями – один из видов публичной казни осуждаемых в Древней Иудее. В основе образа фразеологизма лежит природно-ландшафтный код культуры, в котором имена окружающих человека природ-

ных объектов наделяются значимыми для культуры смыслами [9, с. 58]. Камень выступает во фразеологизме как орудие агрессии, оружие. Компоненты фразеологизма «бросать, кидать» соотносятся с деятельностным кодом культуры и связаны с агрессивными действиями.

В речи героев произведения данный фразеологизм употребляется с частицей «не», поскольку воспринимается как значимая культурно-ценностная, духовная установка, заповедь, нарушать которую нельзя.

В ранних рассказах А.П. Чехова в основе повествовательной манеры автора лежит голос героя. Произведения писателя в большинстве своем диалогичны. Среди персонажей – представители всех сословий, люди разного интеллектуального уровня. Как правило, это обычные люди из глухой провинции. В связи с этим язык А.П. Чехова прост, автор редко употребляет слова высокого стиля, основу его произведений составляет нейтральная и разговорно-бытовая лексика и фразеология. Фразеологическая картина мира автора представлена преимущественно оборотами, отражающими обиходно-эмпирический опыт русского народа, его материальную, бытовую культуру: наблюдения за животным миром и явлениями природы, деловую и профессиональную практику, хозяйственную деятельность и досуг. Соответственно, компоненты в составе анализируемых фразеологизмов, посредством которых выражается данное национально-культурное содержание, представлены лексемами, обозначающими части тела человека, животных и природные явления, бытовые предметы, действия и жесты человека и т. п.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в ранних рассказах А.П. Чехова наиболее часто встречается способ лексического преобразования фразеологизмов посредством обновления их лексико-грамматического состава при сохранении семантики и основного образа. Индивидуально-авторское преобразование общеизвестных фразеологизмов выполняет многочисленные функции в пространстве художественного текста: отражение индивидуальных особенностей речи персонажей; усиление образа фразеологизма и его яркости восприятия за счет внесения дополнительных оттенков в семантику оборота (усиление изобразительных функций); повышение экспрессивности стилистической окрашенности речи; придание дополнительного юмористического оттенка речи; конкретизация фразеологического образа и его смысла в контексте произведения и др. Национально-культурный компонент значения трансформированных автором фразеологизмов выражает преимущественно обиходно-эмпирический опыт жизни народа, слой бытовой, материальной культуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вежицкая А. Язык. Культура. Познание. М.: Русские словари, 1996. 416 с.
2. Корнилов О.А. Языковые картины мира как производные национальных менталитетов. М.: ЧЕРО, 2003. 327 с.
3. Серебренников Б.А., Кубрякова Е.С., Постовалова В.И. Роль человеческого фактора в языке: язык и картина мира. М.: Наука, 1988. 216 с.

4. Добровольский Д.О. Типология идиом // Фразеология в Машинном фонде русского языка. М.: Наука, 1990. С. 48–66.
5. Телия В.Н. Русская фразеология: Семантический, прагматический и лингвокультурологический аспекты. М.: Языки русской культуры, 1996. 288 с.
6. Ковшова М.Л. Семантика и прагматика фразеологизмов (лингвокультурологический аспект) : автореф. дис. ... д-ра филол. наук. М., 2009. 48 с.
7. Ковшова М.Л. Растительная метафора во фразеологии (лингвокультурологический аспект) // Традиционная культура. 2009. Т. 35. № 3. С. 68–72.
8. Хайруллина Р.Х. Картина мира во фразеологии: от миропонимания к миропониманию. Уфа: БГПУ, 2001. 285 с.
9. Большой фразеологический словарь русского языка. Значение. Употребление. Культурологический комментарий / отв. ред. В.Н. Телия. М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2006. 784 с.
10. Зимин В.И., Спиринов А.С. Пословицы и поговорки русского народа. Большой объяснительный словарь. Ростов н/Д.: Феникс, 2006. 544 с.
11. Капишева Т.Ю. Фразеологическая категоризация в сфере фитонимии русского и немецкого языков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Филология. Журналистика. 2009. № 1. С. 57–62.
12. Асанова А.А. Лингвокультурологический анализ фразеологизмов-фитонимов со значением «глупый» в русском и киргизском языках // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2013. Т. 13. № 9. С. 128–130.
13. Соколова М.Г. О существе фразеологической картины мира в отличие от других картин мира // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2010. № 4. С. 169–173.
14. Чехов А.П. Собрание сочинений: в 15 т. Т. 1. Рассказы, повести, юморески 1880–1882. М.: Кн. Клуб Книговек, 2010. 381 с.
15. Чехов А.П. Полное собрание сочинений: в 30 т. Т. 2. Рассказы, юморески 1883–1884. М.: Наука, 1974. 582 с.
16. Чехов А.П. Полное собрание сочинений: в 30 т. Т. 3. Рассказы, юморески 1884–1885. М.: Наука, 1975. 622 с.
17. Чехов А.П. Полное собрание сочинений: в 30 т. Т. 4. Рассказы, юморески 1885–1886. М.: Наука, 1984. 544 с.
18. Громов М.П. Книга о Чехове. М.: Современник, 1989. 384 с.
19. Шанский Н.М. Лексикология современного русского языка. М.: Просвещение, 1972. 328 с.
20. Бирих А.К., Мокиенко В.М., Степанова Л.И. Русская фразеология. Историко-этимологический словарь. М.: Астрель, 2007. 926 с.
21. Краткая энциклопедия символов. URL: symbolarium.ru.
22. Serebrennikov B.A., Kubryakova E.S., Postovalova V.I. *Rol chelovecheskogo faktora v yazyke: yazyk i kartina mira* [The role of the human factor in the language: language and worldview]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 216 p.
23. Dobrovolskiy D.O. Typology of idioms. *Frazeografiya v Mashinnom fonde russkogo yazyka*. Moscow, Nauka Publ., 1990, pp. 48–66.
24. Teliya V.N. *Russkaya frazeologiya: Semanticheskiy, pragmaticheskiy i lingvokulturologicheskiy aspekty* [Russian phraseology: semantic, pragmatic, and linguocultural aspects]. Moscow, Yazyki russkoy kultury Publ., 1996. 288 p.
25. Kovshova M.L. *Semantika i pragmatika frazeologizmov (lingvokulturologicheskiy aspekt)*. Avtoref. dis. dokt. filol. nauk [Semantics and pragmatics of phraseological units (linguoculturological aspect)]. Moscow, 2009. 48 p.
26. Kovshova M.L. Plant metaphor in phraseology (linguoculturological aspect). *Traditsionnaya kultura*, 2009, vol. 35, no. 3, pp. 68–72.
27. Khayrullina R.Kh. *Kartina mira vo frazeologii: ot mirovideniya k miroponimaniyu* [World picture in phraseology: from viewing the world to understanding the world]. Ufa, BGPU Publ., 2001. 285 p.
28. Teliya V.N., ed. *Bolshoy frazeologicheskiy slovar russkogo yazyka. Znachenie. Upotreblenie. Kulturologicheskiy kommentariy* [Large phraseological dictionary of the Russian language. Meaning. Usage. Culturological comment]. Moscow, AST-PRESS KNIGA Publ., 2006. 784 p.
29. Zimin V.I., Spirin A.S. *Poslovitsy i pogovorki russkogo naroda. Bolshoy obyasnitelnyy slovar* [Proverbs of the Russian people]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2006. 544 p.
30. Kapisheva T.Yu. Phraseological categorization in the plant sphere of the Russian and German languages. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Filologiya. Zhurnalistika*, 2009, no. 1, pp. 57–62.
31. Asanova A.A. Linguoculturological analysis of phraseological units-phytonyms with the meaning “silly” in the Russian and Kirghiz languages. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo slavyanskogo universiteta*, 2013, vol. 13, no. 9, pp. 128–130.
32. Sokolova M.G. About the essence of phraseological universe picture unlike other universe pictures. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 4, pp. 169–173.
33. Chekhov A.P. *Sobranie sochineniy: v 15 t. T. 1. Rasskazy, povesti yumoreski 1880–1882* [Collected works. Stories, novelettes, short humorous stories 1880–1882]. Moscow, Kn. Klub Knigovek Publ., 2010. Vol. 1, 381 p.
34. Chekhov A.P. *Polnoe sobranie sochineniy: v 30 t. T. 2. Rasskazy, yumoreski 1883–1884* [Complete works. Stories, short humorous stories 1883–1884]. Moscow, Nauka Publ., 1974. Vol. 2, 582 p.
35. Chekhov A.P. *Polnoe sobranie sochineniy: v 30 t. T. 3. Rasskazy, yumoreski 1884–1885* [Complete works. Stories, short humorous stories 1884–1885]. Moscow, Nauka Publ., 1975. Vol. 3, 622 p.
36. Chekhov A.P. *Polnoe sobranie sochineniy: v 30 t. T. 4. Rasskazy, yumoreski 1885–1886* [Complete works.

REFERENCES

1. Vezhbitskaya A. *Yazyk. Kultura. Poznanie* [Language. Culture. Knowledge]. Moscow, Russkie slovari Publ., 1996. 416 p.
2. Kornilov O.A. *Yazykovye kartiny mira kak proizvodnyye natsionalnykh mentalitetov* [Linguistic worldviews as the derivatives of national mentalities]. Moscow, ChERo Publ., 1996. 416 p.

- Stories, short humorous stories 1885–1886]. Moscow, Nauka Publ., 1984. Vol. 4, 544 p.
18. Gromov M.P. *Kniga o Chekhove* [Book about Chekhov]. Moscow, Sovremennik Publ., 1989. 384 p.
19. Shanskiy N.M. *Leksikologiya sovremennogo russkogo yazyka* [Lexicology of modern Russian language]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1972. 328 p.
20. Birikh A.K., Mokienko V.M., Stepanova L.I. *Russkaya frazeologiya. Istoriko-etimologicheskii slovar* [Russian phraseology: a historical etymological dictionary]. Moscow, Astrel Publ., 2007. 926 p.
21. Brief encyclopedia of symbols. URL: symbolarium.ru.

**THE METHODS OF TRANSFORMATION OF PHRASEOLOGICAL UNITS
IN THE STORIES OF ANTON CHEKHOV: LINGUISTIC AND CULTURAL ANALYSIS**

© 2017

M.G. Sokolova, PhD (Pedagogy), Associate Professor,
assistant professor of Chair “Russian Language, Literature and Forensic Linguistics”
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: Anton Chekhov; phraseological worldview; cultural connotation of phraseological units; the techniques of creative transformation of phraseological units.

Abstract: The paper gives the characteristics of phraseological units in the early stories of Anton Chekhov and identifies Chekhov’s methods and techniques of creative transformation of phraseological units, the specifics of functioning of phraseological units in the literary text, and the elements of the author’s phraseological worldview.

The author describes national-cultural connotation of phraseological images in the writer’s literary texts. National-cultural connotation explains both the modern denotative meaning of a phraseological unit and the mechanisms of its creation and formation.

According to the procedure of linguistic and cultural analysis of phraseological units in the stories of Anton Chekhov, their meanings were correlated with various cultural layers and codes; trope mechanisms being the basis of formation and perception of a phraseological unit were identified.

The linguistic and cultural analysis of phraseological units allowed identifying that, in the early stories of Anton Chekhov, lexical transformations of phraseological units are the most frequently used method. Multiple functions of use of phraseological expressions were defined: the reflection of individual characteristics of speech of characters; the intensification of a phraseological image and the vividness of its perception by introducing additional shades in the semantics of a phraseological unit (the enhancement of representation functions); the improvement of expressive coloring of speech; giving the additional humorous nuance of speech; the concretization of a phraseological image and its meaning in the context of literary text, etc.

The study allowed discovering that the phraseological worldview in the writer’s works expresses the everyday-empirical experience of living of people, the layer of everyday, material culture. The author uses well-known phraseological units with transparent figurative-motivational basis, but under the writer’s pen, they intensify their expressiveness, become a vivid means of expressing the author’s irony.

**ОБЩЕСТВЕННО-ПОЛИТИЧЕСКИЕ РЕАЛИИ
В ПОВЕСТЯХ Р. ВАН ГУЛИКА “THE CHINESE MAZE MURDERS”, “THE CHINESE BELL MURDERS”
И ИХ ПЕРЕВОДАХ НА КИТАЙСКИЙ И РУССКИЙ ЯЗЫКИ**

© 2017

С.М. Старцева, аспирант, ассистент кафедры контрастивной лингвистики Института иностранных языков
Московский педагогический государственный университет, Москва (Россия)

Ключевые слова: общественно-политические реалии; китайский язык; реалии; перевод реалий; художественное произведение; способы перевода реалий.

Аннотация: Статья посвящена исследованию общественно-политических реалий судебной системы средневекового Китая в детективных повестях Роберта Ханса ван Гулика “*The Chinese Maze Murders*”, “*The Chinese Bell Murders*” и их переводах на китайский и русский языки. В работе проводится сопоставительный анализ оригиналов произведения и их переводов на китайский (“迷宫案”, “铜钟案”) и русский языки («Убийство в лабиринте», «Убийство на улице Полумесяца»). Актуальность исследования обусловлена недостаточной степенью изученности общественно-политических реалий в текстах англоязычных художественных произведений Роберта ван Гулика, отражающих национально-культурную специфику страны, а именно реалий, описывающих судебную систему народов Китая, и способов их передачи на китайский и русский языки. Целью статьи является выявление и обзор лексических единиц, отражающих основные национально-культурные особенности проведения судебного процесса в Китае в средние века в текстах оригинала и перевода на китайский и русский языки, а также способов их передачи с помощью того или иного переводческого приема. Для достижения поставленной цели был произведен анализ англоязычных реалий, описывающих судебную систему Китая, рассмотрены способы их передачи на китайский и русский языки. В результате проведенного исследования было выявлено, что основными способами перевода реалий с английского языка на китайский и русский языки являются такие приемы перевода, как добавление и опущение.

ВВЕДЕНИЕ

Переводоведение как самостоятельная дисциплина появилось относительно недавно. Такие широко известные лингвисты, как В.Н. Комиссаров, Р.К. Миньяр-Белоручев, Л.Л. Нелюбин, Г.Т. Хухуни, Я.И. Рецкер, А.Д. Швейцер, посвятили свои многочисленные статьи и монографии проблемам теории и практики перевода. В настоящее время переводоведение является самостоятельной научной отраслью филологии, имеющей обширную теоретическую базу. Согласно Л.Л. Нелюбину и Г.Х. Хухуни, это «наука о переводе как процессе и как тексте, исследующая проблемы перевода, основные этапы его становления и развития, его теоретические основы, общие и частные, методику и технику процесса перевода, формирование переводческих навыков и умений передачи информации с одного языка на другой в устной и письменной форме» [1, с. 5].

Выбор темы данного исследования обусловлен, прежде всего, недостаточным изучением перевода реалий, описывающих средневековый Китай в английских художественных текстах. Согласно Е.Ю. Пугиной, «проблематика, касающаяся передачи национально-культурной специфики исходного текста, занимает в современном переводоведении одно из ведущих мест» [2, с. 3]. Новизна исследования определяется анализом реалий в детективных повестях Роберта Ханса ван Гулика “*The Chinese Maze Murders*”, “*The Chinese Belle Murders*”, впервые проанализированы способы передачи выявленных реалий с английского на китайский и русский языки.

Р. ван Гулик получил широкую известность благодаря циклу повестей о судьбе Ди. Этого героя автор позаимствовал из китайского детективного романа “狄公案” XVIII в. (автор неизвестен). В своих произведениях Р. ван Гулик старательно соблюдал традиции китайского детектива, главной особенностью которого служили

как минимум три сложные сюжетные линии, не связанные между собой.

В 1957 г. Р. ван Гулик выпустил свою первую детективную повесть “*The Chinese Maze Murders*”, а в 1958 г. еще одно произведение – “*The Chinese Bell Murders*”, которые впоследствии были переведены на китайский и русский языки. Детективы Р. ван Гулика повествуют о правосудии средневекового Китая, в них писатель раскрывает детективные элементы в духе традиционных китайских историй, подчеркивая национально-культурный колорит страны. Взяв за основу *исторические реалии* того времени, автор с глубокой проницательностью описывает общественно-политическую жизнь Китая, в частности судебный процесс.

«Реалии – термин для обозначения слов, называющих элементы быта и культуры, исторической эпохи и социального строя, государственного устройства и фольклора, т. е. специфических особенностей данного народа, страны, чуждых другим народам и странам» [3, с. 6]. Некоторые исследователи (А.В. Федоров, Е.М. Верещагин, В.Г. Костомаров) относят реалии к разряду безэквивалентной лексики, утверждая, что они не подлежат переводу [4, с. 135]. Согласно В.Н. Комиссарову, реалии представляют собой лексику, содержащую фоновую информацию [5, с. 54].

Перевод реалий – часть большой и важной проблемы передачи национального и исторического своеобразия языка [6, с. 188]. Будучи носителями национального и исторического колорита, реалии, как правило, не имеют точных эквивалентов в других языках, следовательно, не могут переводиться как обычные лексемы, требуя особого подхода [7, с. 79].

При классификации реалий известный ученый и лингвист Г.Д. Томахин основывается на экстралингвистическом факторе – тематических (предметных) ассоциациях,

так как основным критерием их выделения является фактор семантический, выявляемый в сопоставлении с лексикосемантической системой другого языка [8, с. 37]. Согласно Г.Д. Томахину, реалии классифицируются по предметному делению: 1) географические реалии: названия объектов географии; названия географических объектов, связанных с человеческой деятельностью; названия эндемиков; 2) этнографические реалии: быт, труд, искусство и культура, этнические объекты, меры и деньги; 3) общественно-политические реалии: органы и носители власти, административно-территориальное устройство, военные реалии, общественно-политическая жизнь.

Целью статьи является выявление и обзор лексических единиц, отражающих основные национально-культурные особенности проведения судебного процесса в Китае в средние века в текстах оригинала и перевода на китайский и русский языки, а также способов их передачи с помощью того или иного переводческого приема.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании осуществляется попытка проанализировать общественно-политические реалии, раскрывающие китайские традиции, на примере повестей *“The Chinese Maze Murders”* [9], *“The Chinese Bell Murders”* [10]; их переводов на китайский язык – “迷宫案” [11], “铜钟案” [12], а также русских переводов – «Убийство в лабиринте» [13] и «Убийство на улице Полумесяца» [14]. Общий объем реалий в произведениях насчитывает 52 единицы. Общий объем выборки в рамках данной статьи составляет 8 реалий из текстов оригинала в сопоставлении с их переводами.

Для достижения цели работы были использованы следующие методы:

- сопоставительный: анализ английских, русских и китайских лексем, отражающих национально-культурный код народов Китая с целью нахождения сходств и различий;
- описательный: инвентаризация слов-реалий;
- количественный: исчисление количества анализируемых лексем в английском, китайском и русском языках;
- сравнительный: выявление сходств и различий при переводе реалий на китайский и русский языки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В силу особенностей детективного жанра, произведения Р. ван Гулика насыщены историческими реалиями, отражающими судебную систему средневекового Китая.

Лексические единицы, отражающие общественно-политические дела, а именно факты, связанные с судом, встречаются уже в названии произведений: *“The Chinese Maze Murders”* и *“The Chinese Bell Murders”*. С точки зрения перевода данные названия не вызывают особых трудностей. На русский язык дословно они будут переводиться как ‘Китайские убийства в лабиринте’ и ‘Китайские убийства под колоколом’. Однако, в силу национально-культурных особенностей Китая, переводчики передали названия на русский язык как ‘Убийство в лабиринте’ и ‘Убийство на улице Полумесяца’. Переводчик С. Морозова использует словосочетание «на улице Полумесяца», передавая полный смысл топонима и раскрывая его содержание. В.С. Виноградов писал:

«В литературном переводе имена собственные не только выполняют функции наименования, называния существа или объекта, но и являются теми немногими словами, сама форма которых указывает на национальную принадлежность наименованного предмета мысли. Таким образом, собственные имена способствуют сохранению в переводе национального колорита оригинала» [15, с. 57]. В китайских вариантах перевода 迷宫案 (*Mí gōng àn*) и 铜钟案 (*Tóng zhōng àn*) названия переводятся буквально: ‘Убийство в лабиринте’ и ‘Убийство под медным колоколом’, тем самым сохраняется смысл оригинала.

Общественно-политические реалии в художественных произведениях Р. ван Гулика представлены в виде описания порядка проведения судебного процесса и назначения меры наказания за преступление. Ярким примером такой реалии служит предложение *“Three beats of the large bronze gong resounded through the tribunal announcing the opening of the afternoon session”*. Русская версия имеет дословный перевод: «Три удара в большой бронзовый колокол разнеслись по судебной управе, оповещая об открытии дневного заседания» [13, с. 209]. В китайском переводе данное предложение передается следующим образом: “三通鼓响, 只见帷帘开 (sān tōnggǔ xiǎng, zhǐ jiàn wéilián kāi chū)” – буквально звучит «прозвучали три удара в барабан...». В данном тексте переводчик использует слово «барабан», тем самым знакомя читателей с обычаями того времени. Традиционно начало судебного процесса в Китае сопровождается тремя ударами в барабан, однако для передачи экспрессивности в художественном произведении автор использует слово «гонг».

Следует также выделить английское предложение *“...the punishment of execution by the process called lingering death...”*. Словосочетание *lingering death* имеет русский перевод ‘медленная смерть’, А. Кабанов переводит данное предложение так: «...Судебным кодексом предписывается казнь, именуемая медленной смертью...» [13, с. 313]. В китайском языке используется эквивалент словосочетанию «медленная смерть» – 凌尺 (*Língchǐ*), именуемый казнью ‘тысячи надрезов’, в полной мере раскрывающий специфику средневекового Китая. Согласно А.А. Лебедевой, «единственный способ наиболее точной передачи содержания текста и авторских коннотаций средствами другого языка – это поиск иноязычных эквивалентов, в наибольшей степени соответствующих культурно-семантическим реалиям оригинала» [16, с. 74]. Линчи – медленная нарезка, казнь за особо тяжелые преступления: предательство или убийство родителей. Казнь использовалась в Китае с 900 г. н. э. вплоть до 1905 г. Человека привязывали к деревянному столбу в общественном месте, затем начинали резать его тело по кусочкам.

Отметим также, что английское предложение *“She shall be scourged and then executed by decapitation. The criminal’s head shall be exposed on the city gate for three days, as a warning example”* в полной мере отражает судебные наказания средневекового Китая. А. Кабанов переводит его на русский язык так: «Она будет подвергнута бичеванию, а затем обезглавлена». Голова преступницы будет выставлена на городских воротах на три дня в назидание другим» [13, с. 390–391].

Этот пример показывает меры наказания, предусмотренные в средневековом Китае, согласно которым преступник, виновный в похищении девушек и преднамеренном убийстве, должен быть приговорен к обезглавливанию. Голова казненного должна быть выставлена на шесте на всеобщее обозрение на три дня, но прежде ему необходимо перетерпеть двадцать ударов плетью. В переводе на китайский язык 斩立决 (*zhǎn lì jué*) – ‘обезглавливание’ и 梟首 (*xiāo shǒu*) – ‘выставлять на шесте голову казненного’ используются для передачи судебного устройства средневекового Китая: “...判处一个斩立决...再梟首城门三日 (*pànchǔ yīgè zhǎnlìjué... zài xiāoshǒu chéngmén sān rì*)”.

Общественно-политические реалии, а именно мера наказания за преступления, выражены в английском предложении: “...*the punishment for seducing an unmarried girl, with her consent to the act so plainly established, is fifty blows with the bamboo, while the punishment for murder is an ignominious death on the execution ground!*”. Переводчик данного произведения на русский язык С. Морозова передает предложение, используя опущение: «...за **свержение девицы**, притом что четко установлено ее согласие, – **пятьдесят ударов бамбуковыми палками**, в то время как **убийство карается позорной казнью**» [14, с. 29]. В данном случае опускается словосочетание *on the execution ground*. Однако для большей экспрессивности переводчик использует лексическую единицу ‘позорная казнь’, передавая тем самым английское выражение *ignominious death*. «Опущение – явление, прямо противоположное добавлению. При переводе опущению подвергаются чаще всего слова, являющиеся семантически избыточными, т. е. выражающие значения, которые могут быть извлечены из текста и без их помощи» [17, с. 169]. Добавления в процессе перевода могут быть вызваны различными причинами. «Одной из них является синтаксическая перестройка структуры предложения при переводе, в ходе которой иногда требуется ввести в предложение те или иные элементы» [18, с. 86]. В аналогичном тексте на китайском языке предложение “他清楚知道诱奸一个女子至多罚打五十板子, 而奸污杀人则须处以极刑, 在万目睽睽的法场上象一条狗一样可耻地死去 (*tā qīngchū zhīdào yòujiān yīgè nǚzǐ zhìduō fá dǎ wǔshí bǎnzi, ér jiānwū shā rén zé xū chùyǐ jíxíng, zài wàn mù kuīkuī de fǎ chǎng shàng xiàng yītiáo gǒu yīyàng kěchǐ de sǐqù*)” включает в себя фразеологическую единицу 象一条狗一样可耻地死去 – буквально ‘как собака умереть постыдной смертью’, которая передает всю глубину наказания за содеянное преступление, совершенное в средневековом Китае.

Особое внимание уделяется переводам фразеологизмов, или чэньюйев, несущих в себе культурный аспект жизни Китая. По определению З.И. Барановой, «чэньюй – это устойчивое фразеологическое сочетание, которое построено по нормам древнекитайского языка, представляет собой семантически монолитное единство с обобщенно-переносным значением, носит экспрессивный характер, функционально является членом предложения» [19, с. 79]. «Фразеологические единицы возникают из свободных словосочетаний, которые в результате долгого и многократного употребления в речи закрепляются в языке как эквиваленты слов в своем пе-

реносном значении» [20, с. 212]. Согласно Т.А. Казаковой, «в некоторых случаях употребление фразеологизма в исходном тексте строится на использовании возможностей национально-культурного колорита, например, для построения художественного или публицистического образа...» [21, с. 133]. При переводе фразеологизма переводчику необходимо передать его смысл и отразить его образность, найдя аналогичное выражение в языке и не упустив при этом из виду стилистическую функцию фразеологизма [22].

Еще одним примером, выражающим реалии, связанные с судебским процессом в Китае, служит предложение: “*The criminal Lin Fan has been found guilty of a crime against the State, for which the law prescribes the extreme penalty in one of its more severe forms. Accordingly the said criminal Lin shall be executed by the process of being quartered alive*”. С. Морозова передает смысл предложения так: «Преступник Линь Фань признан виновным в совершении государственного преступления, за что закон предусматривает исключительную меру наказания в одной из наиболее суровых форм. Посему указанный преступник Линь будет казнен путем четвертования» [14, с. 302]. В тексте китайского языка: “林藩图谋戕害朝廷命官, 属谋逆重罪, 处五牛分尸极刑 (*Lín fān túmóu qiánghài cháotíng mìngguān, shǔ móu nì zhòngzuì, chǔ wǔ niú fēn shī jíxíng*)”. Лексема 分尸 имеет значение ‘четвертование’. Четвертование – разновидность казней, заключающихся в разрывании или расчленении. Специфика четвертования состоит в одновременном воздействии на четыре конечности. В старом Китае данное наказание использовалось для преступников, которые шли против государства и императорской свиты, а также в качестве наказания за убийство родителей.

С точки зрения национально-культурного колорита Китая следует отметить предложение “...*the charge of a crime against the State is the most serious one that can be made, and must be reported by courier directly to the Metropolitan Court*”. С. Морозова передает смысл предложения дословно: «**Нет более серьезного обвинения, чем обвинение в государственном преступлении, и доклад о нем с курьером направляют непосредственно в столичный суд**» [14, с. 288]. В китайском переводе текста: “图谋朝廷命官性命, 便是谋逆, 谋逆该论何罪, 刑典上自有明文, 本堂毋需多说 (*túmóu cháotíng mìngguān xìngmìng, biàn shì móu nì, móu nì gāi lùn hé zuì, xíng diǎn shàng zì yǒu míngwén, běntáng wú xū duō shuō*)” – буквально ‘Замыслы, учиненные против императорской свиты, рассматриваются как преступления и имеют свою статью в уголовном кодексе’. В данном контексте мы видим словосочетание «императорская свита», так как именно император осуществлял законы всего государства.

В средневековом Китае закон гласил: государственная измена, убийство родителей и преступления против государства караются высшей мерой наказания в одной из наиболее суровых форм. Ибо в специальном разделе кодекса говорится, что покушение на должностное лицо при исполнении им служебных обязанностей равносильно преступлению против государства [14, с. 288].

Немаловажно уделить внимание реалиям, описывающим одеяния судьи в средневековом Китае: “...*the judge in*

donning his long official robe of heavy green brocade... carefully adjusted the black judge's cap with the wings of stiffened gauze on his head». В русском переводе: «...судья облачился в длинное судейское платье из тяжелой зеленой парчи... и аккуратно надел черную судейскую шапочку с негнушимися крылышками из кисеи» [14, с. 36]. В средневековом Китае длинное зеленое судейское платье из парчи и черная шапочка являлись традиционным типом одежды для императорского судьи, вершившего законы. В китайском варианте «...服侍狄公穿上深绯色海云捧日官袍...系了玉带, 乌帽皂靴上下齐整 (*fúshì dì gōng chuān shàng shēn fēi sè hǎi yún pěng rì guān páo... xī le yùdài, wū mào zào xié shàngxià qízhěng*)», помимо вышеуказанных реалий, используется прием добавления, с помощью которого вводится еще один предмет одежды судьи – 玉带. В данном случае используются словосочетания 深绯色袍 (*shēnfēi sè páo*) – ‘судейское одеяние пурпурного цвета’, 乌帽 (*wū mào*) – ‘черный головной убор судьи’ и 玉带 (*yùdài*) – ‘яшмовый пояс’, которые являются важнейшей атрибутикой судьи того времени.

ВЫВОДЫ

Детективные повести Р. ван Гулика “*The Chinese Maze Murders*”, “*The Chinese Bell Murders*” и их переводы на китайский (“*迷宫案*”, “*铜钟案*”) и русский («Убийство в лабиринте», «Убийство на улице Полумесяца») языки содержат реалии, передающие общественно-политическую жизнь средневекового Китая. Для передачи смысла текста оригинала переводчики китайского и русского языков чаще всего используют такие приемы перевода, как добавления и опущения, с целью воссоздать культурный колорит средневекового Китая. Кроме того, в переводах некоторых реалий для сохранения авторской коннотации предложения передаются с помощью лексических эквивалентов, сохраняющих точный смысл оригинала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нелюбин Л.Л., Хухуни Г.Т. Наука о переводе (история и теория с древнейших времен до наших дней). М.: Флинта, 2006. 416 с.
2. Пугина Е.Ю. Индийские реалии в англоязычном художественном тексте и проблема их передачи на русский язык (на материале творчества Р. Киплинга): автореф. дис. ... канд. филол. наук. М., 2005. 20 с.
3. Влахов С., Флорин С. Непереводимое в переводе. М.: Международные отношения, 2012. 406 с.
4. Федоров А.В. Введение в теорию перевода. М.: Литература на иностранных языках, 1958. 376 с.
5. Комиссаров В.Н. Слово о переводе (очерк лингвистического учения о переводе). М.: Международные отношения, 1973. 214 с.
6. Голикова Ж.А. Перевод с английского на русский. Минск: Новое знание, 2008. 287 с.
7. Щичко В.Ф. Китайский язык. Теория и практика перевода. М.: Восточная книга, 2010. 224 с.
8. Томахин Г.Д. Реалии-американизмы. М.: Высшая школа, 1988. 239 с.
9. Gulik Robert. The Chinese Maze Murders. URL: royallib.com/read/Gulik_Robert/The_Chinese_Maze_Murders.html.

10. Gulik Robert. The Chinese Bell Murders. URL: royallib.com/read/Gulik_Robert/The_Chinese_Bell_Murders.html.
11. Gulik Robert. The Chinese Maze Murders. URL: kanunu8.com/book3/8161/index.html.
12. Gulik Robert. The Chinese Bell Murders. URL: kanunu8.com/book3/8160/index.html.
13. Гулик Р. ван. Убийство в лабиринте. СПб.: Амфора, 2010. 415 с.
14. Гулик Р. ван. Убийство на улице Полумесяца. СПб.: Амфора, 2009. 319 с.
15. Виноградов В.С. Введение в переводоведение (общие и лексические вопросы). М.: Институт общего среднего образования РАО, 2001. 224 с.
16. Лебедева А.А. Проблема эквивалентности и безэквивалентности лексических единиц при переводе художественных текстов // RHEMA. PEMA. 2013. № 3. С. 74–79.
17. Сомотик Л.Г. Лексика современного русского языка. М.: Флинта, 2012. 510 с.
18. Бархударов Л.С. Язык и перевод. Вопросы общей и частной теории перевода. М.: ЛКИ, 2008. 240 с.
19. Баранова З.И. Моделируемые фразеологизмы в китайском языке // Исследования по китайскому языку. М.: Наука, 1973. С. 79–83.
20. Арнольд И.В. Лексикология современного английского языка. М.: ФЛИНТА, 2012. 376 с.
21. Казакова Т.А. Практические основы перевода. СПб.: Союз, 2002. 319 с.
22. Виноградов В.В. Основные понятия русской фразеологии как лингвистической дисциплины // Лексикология и лексикография. М.: Наука, 1946. С. 140–161.

REFERENCES

1. Nelyubin L.L., Khukhuni G.T. *Nauka o perevode (istoriya i teoriya s drevneyshikh vremen do nashikh dnei)* [Science of translation: history and theory from ancient times to our days]. Moscow, Flinta Publ., 2006. 416 p.
2. Pugina E.Yu. *Indiyskie realii v angloyazychnom khudozhestvennom tekste i problema ikh peredachi na russkiy yazyk (na material tvorchestva R. Kiplinga)*. Avtoref. dis. kand. filol. nauk [Indian realia in the English-language literary text and the issue of their reproduction in the Russian language (on the material of R. Kipling's works)]. Moscow, 2005. 20 p.
3. Vlahov S., Florin S. *Neperevodimoe v perevode* [Untranslatable in translation]. Moscow, Mezhdunarodnye otnosheniya Publ., 2012. 406 p.
4. Fedorov A.V. *Vvedenie v teoriyu perevoda* [Introduction to the theory of translation]. Moscow, Literatura na inostrannykh yazykakh Publ., 1958. 376 p.
5. Komissarov V.N. *Slovo o perevode (ocherk lingvisticheskogo ucheniya o perevode)* [A word about the translation: an essay on the linguistic theory of translation]. Moscow, Mezhdunarodnye otnosheniya Publ., 1973. 214 p.
6. Golikova Zh.A. *Perevod s angliyskogo na russkiy* [Translation from English into Russian]. Minsk, Novoe znanie Publ., 2008. 287 p.
7. Shchichko V.F. *Kitayskiy yazyk. Teoriya i praktika perevoda* [Chinese language. Theory and practice of

- translation]. Moscow, Vostochnaya kniga Publ., 2010. 224 p.
8. Tomakhin G.D. *Realii-amerikanizmy* [Realia-America-nisms]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988. 239 p.
 9. Gulik Robert. The Chinese Maze Murders. URL: royallib.com/read/Gulik_Robert/The_Chinese_Maze_Murders.html.
 10. Gulik Robert. The Chinese Bell Murders. URL: royallib.com/read/Gulik_Robert/The_Chinese_Bell_Murders.html.
 11. Gulik Robert. The Chinese Maze Murders. URL: kanunu8.com/book3/8161/index.html.
 12. Gulik Robert. The Chinese Bell Murders. URL: kanunu8.com/book3/8160/index.html.
 13. Gulik R. van. *Ubiystvo v labirinte* [The Chinese Maze Murders]. Sankt Petersburg, Amfora Publ., 2010. 415 p.
 14. Gulik R. van. *Ubiystvo na ulitse Polumesyatsa* [The Chinese Bell Murders]. Sankt Petersburg, Amfora Publ., 2009. 319 p.
 15. Vinogradov V.S. *Vvedenie v perevodovedenie (obshchie i leksicheskie voprosy)* [Introduction to translatology (general and lexical questions)]. Moscow, Institut obshchego srednego obrazovaniya RAO Publ., 2001. 224 p.
 16. Lebedeva A.A. Problems of finding correct equivalents in law-specific texts translation. *RHEMA. PEMA*, 2013, no. 3, pp. 74–79.
 17. Samotik L.G. *Leksika sovremennogo russkogo yazyka* [Vocabulary of contemporary Russian language]. Moscow, Flinta Publ., 2012. 510 p.
 18. Barkhudarov L.S. *Yazyk i perevod. Voprosy obshchey i chastnoy teorii perevoda* [Language and translation. Issue of general theory and subtheory of translation]. Moscow, LKI Publ., 2008. 240 p.
 19. Baranova Z.I. Modeled phraseological units in Chinese language. *Issledovaniya po kitayskomu yazyku*. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 79–83.
 20. Arnold I.V. *Leksikologiya sovremennogo angliyskogo yazyka* [Lexicology of the modern English language]. Moscow, FLINTA Publ., 2012. 376 p.
 21. Kazakova T.A. *Prakticheskie osnovy perevoda* [Practical basics of translation]. Sankt Petersburg, Soyuz Publ., 2002. 319 p.
 22. Vinogradov V.V. Basic concepts of Russian phraseology as the linguistic discipline. *Leksikologiya i leksikografiya*. Moscow, Nauka Publ., 1946, pp. 140–161.

**SOCIAL AND POLITICAL REALIA IN R. VAN GULIK'S DETECTIVE STORIES
“THE CHINESE MAZE MURDERS”, “THE CHINESE BELL MURDERS”
AND IN THEIR TRANSLATIONS INTO CHINESE AND RUSSIAN**

© 2017

S.M. Startseva, postgraduate student,
assistant of Chair of Contrastive Linguistics of the Institute of Foreign Languages
Moscow State Pedagogical University, Moscow (Russia)

Keywords: social and political realia; the Chinese language; realia; translation of realia; literary works; methods of realia translation.

Abstract: The paper studies the social and political realia which describe peculiarities of the court system of medieval China in Robert Hans van Gulik's detective stories “The Chinese Maze Murders”, “The Chinese Bell Murders” and in their translations into Chinese and Russian. The author makes comparative analysis of the originals and their translations into Chinese (“迷宫案”, “铜钟案”) and into Russian (“Murder in the labyrinth”, “Murder on the Crescent Street”). The socio-political realia have been insufficiently studied, especially those describing the court system of China, as well as the ways of their translation into the Chinese and Russian languages. The purpose of this paper is to identify and review lexical units which reflect the main national and cultural peculiarities of the court system in medieval China in the original texts and their translations into Chinese and Russian, as well as the ways of translation by means of a particular translation method. To achieve this purpose, the author analyzes the English-language realia describing the court system of China and the ways of their transfer to the Chinese and Russian languages. To translate the realia from English into Chinese and Russian such translation techniques are used as adding and omitting.

СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ БЛАГОУСТРОЙСТВА ГОРОДА В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

© 2017

И.В. Цветкова, доктор философских наук, профессор кафедры «История и философия»
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

Ключевые слова: проблемы благоустройства моногорода; проблемы благоустройства Тольятти; восприятие проблем благоустройства; развитие городов; благоустройство; устойчивое развитие; экология города.

Аннотация: Актуальным направлением комплексных научных исследований является изучение проблем благоустройства современных городов. Большое теоретическое и практическое значение имеет создание моделей устойчивого развития городов с учетом критериев благоустройства. Особую актуальность решение этих проблем представляет для моногородов в условиях экономической и социальной нестабильности. В статье выделены теоретические подходы к изучению проблем благоустройства, проанализированы особенности, философского, социально-экономического, управленческого, социологического подходов. В статье подчеркивается необходимость анализа социальных аспектов благоустройства. Они находят воплощение в создании безопасной, комфортной среды проживания с учетом интересов всех групп населения. Обоснован вывод о том, что благоустройство городской среды является важным фактором устойчивого развития.

Теоретические положения послужили методологическим базисом эмпирического исследования. Объектом изучения являются жители крупного промышленного города – Тольятти. В статье выявлена специфика представлений горожан о проблемах благоустройства. В результате анализа установлено, что эти проблемы являются следствием высоких темпов строительства города как крупного промышленного центра. Сделан вывод о том, что недостатки благоустройства Тольятти наглядно демонстрируют нарушение баланса взаимодействия экономической, экологической и социальной подсистемы городской жизни.

Результаты анкетирования свидетельствуют о том, что участники опроса считают необходимым совершенствовать городскую среду с учетом интересов и потребностей различных групп населения. Сделан вывод о том, что недостатки благоустройства городской среды отрицательно влияют на восприятие города его жителями. Это означает, что социально-культурные аспекты благоустройства города выступают важным фактором устойчивого развития.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы современных городов во многом обусловлены тем, что их развитие подчинено интересам крупных корпораций. В постиндустриальном обществе, как отмечает Т.Н. Ковалева, происходит дегуманизация, деэстетизация городского пространства [1, с. 18].

Рост городского населения усложняет проблемы градостроительства в связи с необходимостью рациональных взаимосвязей между социальными, техническими, экологическими подсистемами [2, с. 60].

В современных условиях возникает потребность в создании «экономики экологии» или «экономической экологии». Противоречие между хозяйственной деятельностью человека и природной средой обитания приобрело глобальный характер, это находит проявление в том, что развитие экономики осуществляется с учетом экологических барьеров. Осознание этого противоречия находит выражение в поиске оптимальных управленческих решений по созданию благоприятной среды обитания в условиях города [3, с. 193].

Эффективность мер по обеспечению устойчивого развития как справедливо отмечает Ю.М. Осипов, во многом зависит от организации социального контроля в форме экологического законодательства, экономических стимулов, принуждающих к его неукоснительному выполнению [4, с. 105].

Экологизация городского пространства включает создание комфортной визуальной среды, которая предполагает разнообразие форм и красок, гармоничное сочетание с природным ландшафтом [5, с. 101].

В начале XXI века дизайн среды рассматривают с позиций возможностей рациональной организации

пространства с учетом аксиологических факторов. Гуманизация городской среды формируется на основе возможностей реализации горожанами разнообразных потребностей в общении, занятиях физкультурой, организации досуга, прогулок и т. д. [6].

Городская среда, с позиции горожанина – источник рисков, вызванных противоречивым столкновением социальных, природных и техногенных факторов. Эти проблемы характерны для всех городов мира [7]. Таким образом, обеспечение устойчивого развития обладает глубоким гуманистическим содержанием, которое одновременно предполагает достижение экологического равновесия.

Современные представления о благоустройстве территории базируются на принципах экологизации. Благоустройство территории, включающее развитую транспортную инфраструктуру, современные инженерные коммуникации, рассматривается как важный элемент инвестиционной привлекательности региона [8, с. 28].

Программы благоустройства территории часто рассматривают с позиций управления материальными факторами и человеческими ресурсами. Однако большое значение имеет также сохранение и рациональное использование социально-культурного потенциала территории [9, с. 58]. В современных условиях задачи управления социально-культурным потенциалом территорий связаны не только с интересами местных сообществ, но также предполагают повышение туристской привлекательности региона.

Полифункциональное использование ресурсов территории в современной теории и практике градостроительства рассматривается как наиболее рациональный

способ организации городского пространства. Современные архитекторы при проектировании дворового пространства уделяют внимание критериям экологичности, рационального использования природного ландшафта, органичного встраивания в пространство города [10, с. 114].

Проблемы благоустройства городской среды часто рассматривают с позиций эффективности муниципального управления. При оценке благоустройства городской среды ученые рекомендуют принимать во внимание множество социально-экономических показателей, характеризующих состояние материальной инфраструктуры города [11, с. 3]. Уровень удовлетворенности населения состоянием городской среды является важной характеристикой благоустройства города. Он находит выражение в показателях развития бытовой, социальной, культурной и обслуживающей инфраструктур, а также в качестве жилищно-коммунальных услуг [12, с. 75].

В решении проблем благоустройства территории А.В. Гладов большое внимание уделяет повышению эффективности местного самоуправления. По мнению ученого, необходимо развивать первичные звенья самоуправления на уровне дворов, микрорайонов, чтобы учитывать потребности населения в благоустройстве [13].

В современных условиях существует множество подходов к оценке качества городской среды. Это создает определенные трудности для муниципальных органов в использовании эффективных инструментов управления. В настоящее время получила широкое распространение практика создания различных рейтингов, направленных на сравнение региональных показателей. Данные рейтинги включают различные параметры уровня и качества жизни населения. Как справедливо отмечают Ю.В. Катаева, А.В. Лапин, система показателей, применяемых в рейтингах, не дает возможности оценить качество благоустройства городской среды. Ученые считают необходимым разработать универсальный подход, позволяющий оценивать качество городской среды при помощи интегрального показателя. Интегральный показатель качества городской среды, по мнению исследователей, должен отображать оптимальное сочетание интересов горожан, властных структур, бизнеса [14, с. 37].

Ряд исследователей обращают внимание на необходимость организации городского пространства с учетом потребностей в социализации детей. Н.Э. Ракитина раскрывает практический смысл понятия «доброжелательность» городской среды. По отношению к детям этот термин обозначает создание безопасной, комфортной, доступной среды, обеспечивающей развитие детей в условиях города [15, с. 23].

Понятия, отображающие различные аспекты благоустройства городской территории в настоящее время содержатся в Методических рекомендациях, утвержденных Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2011 № 613 [16]. В широком смысле под благоустройством территории понимают часть материальной культуры, которая предназначена для обеспечения комфортного, безопасного проживания населения. В узком смысле под благоустройством понимают виды деятельности направленные на организацию инфраструктуры, обеспечивающей застройку, озеленение, уборку улиц, транспортное обслуживание, отопление, связь и т. д.

Исторические аспекты становления современного понятия «благоустройство территории» нашли отражение в работе Е.С. Свиридовой, А.М. Закаряна [17, с. 290]. В центре внимания исследователей находятся проблемы озеленения территории. Во многих работах проблемы благоустройства рассматриваются в контексте повышения качества жизни. З.В. Азаренкова среди различных аспектов благоустройства обращает внимание на необходимость рациональной организации работы городского транспорта [18, с. 86].

При рассмотрении социально-экологических параметров городской среды современные ученые выделяют два подхода: стратегический и повседневный. В идеале они не должны противоречить друг другу. Стратегический подход задает направления развития города на длительный период. Подход к городской среде с позиций повседневности предполагает формирование городской среды с учетом потребностей горожан [19, с. 34].

Многие ученые отмечают необходимость синтеза технико-технологического и аксиологического подходов к решению современных экологических проблем. Очевидно, что без внедрения новых технологий невозможно обеспечить рациональное использование и сохранение природных ресурсов. В то же время возрастает необходимость формирования системы ценностей с учетом экологических императивов. Интегративный подход к решению социально-экологических проблем применяется по отношению к благоустройству городских территорий [20, с. 31].

Целью работы является проведение анализа результатов социологического анкетирования населения само-го крупного российского моногорода – Тольятти по проблемам его благоустройства.

ГИПОТЕЗА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

По инициативе мэрии г.о. Тольятти кафедра социологии Тольяттинского государственного университета в феврале 2016 года провела социологическое анкетирование жителей города по проблемам благоустройства городской среды. Анкетирование было направлено на проверку гипотезы о том, что проблемы благоустройства моногорода включают тесно связанные между собой аспекты: экономические, социальные, экологические. При этом восприятие проблем благоустройства зависит от отношения горожан к Тольятти.

В анкетировании приняли участие 587 жителей Тольятти. Анкетирование было проведено по квотной пропорциональной выборке, составленной по полу, возрасту району проживания респондентов. Для обработки и анализа информации использовалась программа статистической обработки информации SPSS-21.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены результаты анализа ответов респондентов на вопрос о проблемах благоустройства Тольятти.

Качество дорожного покрытия оказывает комплексное влияние на состояние городской среды. Плохое состояние дорог находится на первом месте среди проблем благоустройства. Почти все респонденты отмечают этот вариант ответа в своих анкетах. Для жителей крупного промышленного города, многие из которых

Таблица 1. Ответы респондентов на вопрос: «Какие проблемы благоустройства города характерны для Тольятти?» (данные приведены в % по столбцу)

Проблемы благоустройства	В %	Рейтинг
плохое состояние дорог	92	1
мало фонтанов	55	2
грязные, плохо оборудованные пляжи	54	3
мало благоустроенных газонов, клумб	52	4
неудовлетворительное состояние тротуаров	50	5
низкое качество уборки улиц	49	6-7
однообразная архитектура жилых домов	49	6-7
мало достопримечательностей, памятников	47	8
плохое состояние набережной	45	9
неприглядный вид лесных массивов после пожаров	41	10
пыль на улицах	40	11
«бесхозные» пустыри	32	12
грязные фасады домов	28	13
плохо оборудованы места для массовых мероприятий	26	14-15
большое количество тополей, бесхозных плодовых деревьев	26	14-15
однотипный, невыразительный внешний вид учреждений культуры	25	16
использование помещений культурных учреждений в качестве торговых центров	19	17

Примечание: Сумма по столбцам превышает 100 %, так как респонденты могли отметить несколько вариантов ответа.

являются автолюбителями или работают на предприятиях, связанных с автомобилестроением, данная проблема является первостепенной.

При этом неудовлетворительное состояние тротуаров отмечено половина респондентов. Таким образом, качество дорожного полотна для жителей Тольятти отмечают в два раза чаще, чем качество тротуаров. От решения «дорожной проблемы» зависит как возможность мобильного перемещения из одного района в другой, так и состояние личного и общественного автотранспорта. Современное состояние дорог Тольятти не удовлетворяет современным потребностям ни автолюбителей, которые переживают стрессы из-за некачественного покрытия дорог, ожиданий в пробках, ни пешеходов, которые испытывают постоянные неудобства на растрескавшихся тротуарах.

В Тольятти мало архитектурных сооружений, которые являются не только украшением, но и спасением от изнуряющей жары и пыли в теплое время года. Существующие фонтаны редко находятся в рабочем состоянии. Примерно половина опрошенных среди проблем благоустройства Тольятти отмечают недостаточное количество фонтанов, газонов, клумб, плохое оборудование пляжей. Перечисленные проблемы занимают со второго по пятое место в рейтинге проблем.

Чуть менее половины опрошенных выделяют низкое качество уборки улиц. Тольятти нельзя назвать «грязным» городом, большинство улиц имеют относительно благопристойный вид, если на них смотреть из окна автомобиля. Однако современные стандарты уборки, когда улицы не только подметают, но и моют, остается для тольяттинцев несбыточной мечтой.

Примерно половина опрошенных выделяют проблемы, связанные с архитектурой: однообразие, недостаток памятников, достопримечательностей, плохое состояние набережной. Берег Волги является любимым местом отдыха горожан, в особенности, молодежи. Состояние набережной выступает одним из ключевых по-

казателей благоустройства. Перечисленные варианты ответов находятся на шестом – девятом местах рейтинга.

На десятом–одиннадцатом местах среди проблем благоустройства находятся неприглядный вид лесных массивов после пожаров, а также пыль на улицах. Эти варианта ответа отмечены двумя пятими опрошенных. Облака пыли на улицах Тольятти, которые мешают, и дышать, и видеть – типичное явление в сухую ветреную погоду. Лесные пожары уничтожили большую часть лесного массива. Обещания городского руководства восстановить лес воспринимаются многими горожанами скептически.

Треть опрошенных среди проблем городского благоустройства отмечает «бесхозные» пустыри. Этот вариант ответа в рейтинге находится на двенадцатом месте. Они вызывают беспокойство в связи с тем, что не только портят внешний вид города, но являются источником различных опасностей, связанных со стихийными свалками, пристанищами бездомных животных и т. д. Постепенно эта проблема решается за счет того, что свободные участки земли в городе занимают под строительство различных сооружений.

Четверть опрошенных обращают внимание на грязные фасады домов. Эта проблема актуальна для старой части города, в которой застройка осуществлялась в непосредственной близости от проезжей части, она не рассчитана на современный поток автомобилей.

В советские времена проблемы озеленения в Тольятти решали простым и дешевым способом, высаживая на улицах и во дворах тополя. Спустя несколько десятилетий такая стратегия озеленения стала причиной ряда проблем, которые отмечены в четвертой части анкет: липкие почки, тополиный пух, хрупкая древесина. Все это не только загрязняет улицы, но является источником экологической опасности: пух вызывает аллергию, может стать источником пожаров.

Четверть участников опроса считают, что места для массовых городских мероприятий оборудованы плохо.

Примерно такое же количество респондентов отмечает однотипный, невыразительный внешний вид учреждений культуры. В Тольятти большинство учреждений культурной направленности создавались по типовым проектам домов культуры. Функционально они с течением времени изменились, например, стали театрами, но это мало отразилось на их внешнем облике. Проблемы, отмеченные четвертой частью опрошенных, занимают с тринадцатого по шестнадцатое место.

Проблема использования помещений культурных и спортивных учреждений в качестве торговых центров отмечает пятая часть респондентов. Эта позиция находится на семнадцатом месте рейтинга.

В зависимости от ответов на вопрос: «Как Вы относитесь к Тольятти?», – респонденты были разделены на три примерно равные группы. В первую группу вошли респонденты, которым нравится Тольятти. Они составляют 32 % опрошенных. Во вторую группу объединены 38 % участников опроса, которые скорее, положительно относятся к городу. Третья группа включает 30 % респондентов, которые с разной степенью негативизма относятся к Тольятти: «скорее, отрицательно» или «отрицательно».

В таблице 2 представлены данные факторного анализа проблем благоустройства по трем группам респондентов, в зависимости от их отношения к городу. Были получены факторные модели при помощи вращения веримакс, которые объясняют более 50 % дисперсии. По первым двум группам получены модели из пяти факторов, а по третьей – их четырех. В таблице приведены наибольшие значения коэффициентов Пирсона, среди выделенных факторов.

Для респондентов, которым нравится Тольятти, среди проблем благоустройства наиболее значимыми яв-

ляются следующие характеристики: недостаток фонтанов, однотипный, невыразительный внешний вид учреждений культуры, плохо оборудованные пляжи, низкое качество уборки улиц, пыль на улицах. Таким образом, для горожан, которым нравится город, проблемы благоустройства связаны, в первую очередь, с улучшением работы коммунальных служб, а также дизайнеров.

Участники опроса, которые дают менее позитивную оценку отношения к городу «скорее, нравится», считают наиболее значимыми факторами благоустройства: плохое состояние дорог, тротуаров, «бесхозные» пустыри, плохое оборудование мест для массовых мероприятий, грязные фасады домов. Критичное отношение к городу выражается в том, что участники опроса выделяют более сложные проблемы благоустройства, которые требуют значительных инвестиций в решение проблем строительства дорог, озеленения, оборудования публичных пространств.

Респонденты, которым не нравится город, значимыми факторами проблем благоустройства считают: большое количество тополей, неприглядный вид лесных массивов после пожаров, однообразную архитектуру жилых домов, недостаток благоустроенных газонов, клумб, использование помещений культурных учреждений в качестве торговых центров. Негативное отношение к городу связано с комплексом проблем благоустройства, которые невозможно решить в короткие сроки, поскольку они возникли в результате влияния экологических, экономических, социальных условий. Они требуют длительных инвестиционных вложений и кардинальных решений в сфере озеленения, архитектурно-го облика города, улучшения экологии.

Таким образом, отношение представителей трех групп респондентов к проблемам благоустройства

Таблица 2. Результаты факторного анализа трех групп респондентов по оценке проблем благоустройства города (приведены значения коэффициентов Пирсона)

Проблемы благоустройства	Респондентам город нравится	Респондентам город, скорее, нравится	Респондентам город не нравится
плохое состояние дорог	0,505	0,753	0,653
неудовлетворительное состояние тротуаров	0,520	0,609	-0,418
низкое качество уборки улиц	0,651	0,588	0,524
пыль на улицах	0,608	0,385	0,517
мало фонтанов	0,769	0,496	0,608
мало благоустроенных газонов, клумб	0,616	0,497	0,707
однообразная архитектура жилых домов	0,696	0,542	0,715
грязные фасады домов	0,328	0,672	0,638
однотипный, невыразительный внешний вид учреждений культуры	0,755	0,498	0,454
мало достопримечательностей, памятников	0,627	0,680	0,476
плохое состояние набережной	0,692	0,693	0,399
грязные, плохо оборудованные пляжи	0,758	0,588	0,642
плохо оборудованы места для массовых мероприятий	0,529	0,690	0,458
большое количество тополей	0,615	0,626	0,737
«бесхозные» пустыри	0,648	0,731	0,666
неприглядный вид лесных массивов после пожаров	-0,570	0,525	0,707
использование помещений культурных учреждений в качестве торговых центров	0,557	0,662	0,689

определяется различными факторами. При этом наблюдается нарастание сложности проблем, по мере усиления негативизма по отношению к городу.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проблемы благоустройства, которые были рассмотрены на примере Тольятти, типичны для современных российских городов. Представления жителей Тольятти о его благоустройстве связаны с возможностями удобного передвижения в городском пространстве, в первую очередь, на автотранспорте. Проблема пешеходных зон также важна, но в меньшей степени. Жителей города волнует состояние зеленых насаждений, мест отдыха, сохранение лесопарковой зоны, чистота улиц. Большое значение имеет архитектурный облик города, а также состояние социокультурной сферы. Благоустройство городской среды зависит от комплексного решения экологических, экономических и социальных проблем.

Восприятие жителями проблем благоустройства города зависит от отношения к городу. Результаты факторного анализа показывают, что участники опроса, которым не нравится Тольятти, обращают внимание на недостатки благоустройства, которые связаны с историческим формированием города как промышленного центра. Однообразие архитектуры, нецелевое использование учреждений культуры, некачественное озеленение являются следствием того, что город развивался ускоренными темпами. В современных условиях последствия «акселерации» выступают факторами, снижающими стабильность городского развития, поскольку низкое качество благоустройства является одной из причин реализации миграционных планов значительной доли населения.

Жители города, которых Тольятти, в целом, устраивает, обращают внимание на проблемы благоустройства, которые влияют на реализацию функций повседневной жизни. В частности, они отмечают низкое качество дорожного покрытия, плохое состояние тротуаров, наличие бесхозных пустырей.

Участники опроса, которым Тольятти нравится, связывают проблемы благоустройства, в первую очередь, с удовлетворением социально-культурных потребностей. Они отмечают недостаточное количество достопримечательностей, памятников, невыразительное оформление учреждений культуры.

Таким образом, для эффективного решения проблем городского благоустройства необходима реализация долгосрочных стратегий устойчивого развития, которые базируются на рациональном сочетании экономических, экологических, социально-культурных факторов.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ 17-46-630560 р а «Концептуальная инновационная модель социо-эколого-экономической системы Самарского региона».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ковалева Т.Н. Социальные факторы дегуманизации современного городского пространства // Общество: философия, история, культура. 2014. № 2. С. 17–19.
- Скворцова Л.М. Градостроительство в пространственно-временном измерении (философский аспект) // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 59–65.
- Нипа С.С. К вопросу о стимулирующей роли экологического обеспечения социально-экономического развития урбанизированных территорий // Проблемы современной экономики. 2016. № 4. С. 192–194.
- Осипов Ю.М. Экономика и экология // Философия хозяйства. 2014. № 6. С. 102–106.
- Иванов В.А., Колчин Е.А., Конякин Г.Н. Обеспечение комфортной визуальной среды в городе // Научно-исследовательские публикации. 2015. Т. 1. № 2. С. 101–105.
- Гейл Я. Жизнь среди зданий. М.: Альпина Паблишер, 2012. 200 с.
- Гейл Я. Города для людей. М.: Альпина Паблишер, 2012. 263 с.
- Шамсутдинова М.Р. Анализ инвестиционного климата муниципального образования // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2011. № 39. С. 26–31.
- Аль-Фахад А.З.М. Экологические проблемы устойчивого развития и благоустройства городских территорий и способы их решения // Вестник университета (Государственный университет управления). 2017. № 2. С. 57–61.
- Барсукова Н.И., Фомина Э.В. Вопросы типологии жилых дворовых пространств современного города // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 5. С. 110–115.
- Ускова Т.В., Кожевников С.А. Проблемы повышения комфортности проживания населения города // Вопросы территориального развития. 2013. № 9. С. 1–11.
- Зачесов А.А. Проблемы повышения комфортности проживания в крупном городе // Проблемы развития территории. 2015. № 2. С. 73–86.
- Гладов А.В. Озеленение как фактор повышения благоустройства города (на примере городского округа Самары) // Вестник СамГУ. 2015. № 2. С. 207–215.
- Катаева Ю.В., Лапин А.В. Формирование методического подхода к интегральной оценке качества городской среды // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2014. № 2. С. 31–39.
- Ракитина Н.Э. «Доброжелательность» городской среды к детям: экспертные оценки // Общество: социология, психология, педагогика. 2016. № 8. С. 22–24.
- РФ. Министерство регионального развития. Методические рекомендации по разработке норм и правил по благоустройству территорий муниципальных образований: приказ № 613 от 27.12.2011.
- Свиридова Е.С., Закарян А.М. Исторический аспект мероприятий по благоустройству населенных мест // Вестник университета (Государственный университет управления). 2014. № 6. С. 288–291.
- Азаренкова З.В. Транспортная составляющая социальных стандартов качества жизни в градостроительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 4. С. 85–88.
- Хуснутдинова С.Р., Дембич А.А., Закирова Ю.А. Социально-экологические факторы формирования комфортной среды урбанизированных территорий // Географический вестник. 2016. № 4. С. 28–35.
- Егорова Л.Г., Ермолаева П.О., Носкова Е.П. Динамика экологического сознания горожан (на примере г. Казани) // Ученые записки Казанского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2013. Т. 155. № 6. С. 23–33.

REFERENCES

1. Kovaleva T.N. Social factors of dehumanization of the modern urban space. *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kultura*, 2014, no. 2, pp. 17–19.
2. Skvortsova L.M. Urban planning in the spatiotemporal domain (philosophical aspect). *Vestnik MGSU*, 2013, no. 1, pp. 59–65.
3. Nipa S.S. To the issue of the stimulating role of the ecological support to socio-economic development of urbanized territories. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2016, no. 4, pp. 192–194.
4. Osipov Yu.M. Economy and ecology. *Filosofiya khozyaystva*, 2014, no. 6, pp. 102–106.
5. Ivanov V.A., Kolchin E.A., Konyakin G.N. Providing a comfortable visual environment in the city. *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii*, 2015, vol. 1, no. 2, pp. 101–105.
6. Gehl J. *Zhizn sredi zdaniy* [Life between buildings]. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2012. 200 p.
7. Gehl J. *Goroda dlya lyudey* [Cities for people]. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2012. 263 p.
8. Samsutdinova M.R. Analysis of investment climate of municipal formation. *Finansovaya analitika: problemy i resheniya*, 2011, no. 39, pp. 26–31.
9. Al-Fahad A.Z.M. Environmental problems of sustainable development and improvement of urban areas and ways of their decision. *Vestnik universiteta (Gosudarstvennyy universitet upravleniya)*, 2017, no. 2, pp. 57–61.
10. Barsukova N.I., Fomina E.V. Questions of residential courtyard spaces typology of the modern city. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 5, pp. 110–115.
11. Uskova T.V., Kozhevnikova S.A. Problems of increasing comfortable living of the population in the city. *Voprosy territorialnogo razvitiya*, 2013, no. 9, pp. 1–11.
12. Zachesov A.A. The issues to enhance comfortable living conditions in big city. *Problemy razvitiya territorii*, 2015, no. 2, pp. 73–86.
13. Gladov A.V. Greening as a factor in boosting of provision of urban amenities on the example of urban district of Samara. *Vestnik SamGU*, 2015, no. 2, pp. 207–215.
14. Kataeva Yu.V., Lapin A.V. Developing of methodical approach to urban space integrated estimation. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 2014, no. 2, pp. 31–39.
15. Rakitina N.E. Child-friendly urban environment: expert judgment. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika*, 2016, no. 8, pp. 22–24.
16. Order of Ministry of Regional Development of Russia “Methodical recommendations about development of norms and rules about improvement of territories of municipal units” of December 27, 2011 no. 613. (In Russ.).
17. Sviridova E.S., Zakaryan A.M. The historical aspect of measures in improvement of settlements. *Vestnik universiteta (Gosudarstvennyy universitet upravleniya)*, 2014, no. 6, pp. 288–291.
18. Azarenkova Z.V. Transport unit in the social standards of life quality in town planning. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*, 2011, no. 4, pp. 85–88.
19. Khusnutdinova S.R., Dembich A.A., Zakirova Yu.A. Socio-ecological factors of the comfortable environment formation in urban areas. *Geograficheskiy vestnik*, 2016, no. 4, pp. 28–35.
20. Egorova L.G., Ermolaeva P.O., Noskova E.P. Dynamics of citizens' environmental awareness (based on the example of Kazan). *Uchenie zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki*, 2013, vol. 155, no. 6, pp. 23–33.

**SOCIAL ASPECTS OF URBAN REDEVELOPMENT
IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE GROWTH**

© 2017

I.V. Tsvetkova, Doctor of Sciences (Philosophy), professor of Chair “History and philosophy”
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

Keywords: urban development; redevelopment; city population; social problems; sustainable growth; economic factors; urban ecology.

Abstract: The study of the issues of modern cities' redevelopment is the hot topic of complex scientific studies. Many of them are implemented to build the models of sustainable growth. The territory redevelopment is analyzed from the position of social philosophy, culturology, architecture, management theory and practice. The paper emphasizes the theoretical approaches to the study of the issues of redevelopment, analyzes the peculiarities of philosophical, socio-economic, management and sociological approaches. The author determined that, generally, urban redevelopment is considered as the methods of providing a comfortable and safe life of the population. Properly, urban redevelopment is understood as a result of management actions on the organization of the urban infrastructure activity. The author made the conclusion that the criteria of urban redevelopment level are related to the taking into account both the economic and ecological parameters. The paper highlights the necessity to analyze social aspects of redevelopment. They are implemented in the creation of secure, comfortable living environment in the interests of all groups of the population. The author proves the conclusion that the urban environment redevelopment is the important factor of sustainable growth. Theoretical ideas served as the methodological basis for the empirical study. The object under the study is the citizens of Togliatti, a large industrial city. The paper identified the specificity of the citizens' ideas about the urban redevelopment issues. The analysis determined that these issues are the consequence of the high rate of construction of the city as a large industrial center. The author makes the conclusion that the gaps of Togliatti redevelopment are the visual example of disbalance in the interaction of the economic, ecological and social subsystems of urban life. The results of questioning evidence that the respondents to the survey consider necessary to improve urban environment taking into account the interests and needs of different population groups. The author concludes that the gaps in urban environment redevelopment influence negatively the perception of the city by its citizens. It means that social and cultural aspects of urban redevelopment are the important factor of sustainable growth.

НАШИ АВТОРЫ

Абдугаффарова Кристина Камильевна, инженер НИО-5 Научно-исследовательского института прогрессивных технологий.

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 53-94-21

E-mail: a.abdugaffarova@gmail.com

Айфантис Элиас Хараламбос, PhD, заведующий отделом НИО-5 Научно-исследовательского института прогрессивных технологий.

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 53-94-21

E-mail: mom@mom.gen.auth.gr

Алфёрова Екатерина Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технологии машиностроения и промышленной робототехники Института кибернетики.

Адрес: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30.

Тел.: 8 909 547-12-01

E-mail: katerina525@mail.ru

Анискина Наталья Владимировна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

E-mail: aniskinanv@mail.ru

Бочкарев Петр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения».

Адрес: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

E-mail: bpy@sstu.ru

Васильева Оксана Анатольевна, преподаватель.

Адрес: Филиал Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» в г. Сызрани, 446007, Россия, г. Сызрань, ул. Маршала Жукова, 1.

Тел.: 8 927 216-71-30

E-mail: vasiliewa.oksan2014@yandex.ru

Веткасов Николай Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения».

Адрес: Ульяновский государственный технический университет, 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.

Тел.: (8422) 41-82-47

E-mail: nppwt@ulstu.ru

Вилкина Марина Валерьевна, аспирант, инженер кафедры «Технология и производство артиллерийского вооружения».

Адрес: Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1.

Тел.: (951) 662-55-68

E-mail: m.vilkina@mail.ru

Волков Алексей Юрьевич, доктор технических наук, заведующий лабораторией прочности.

Адрес: Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620990, Россия, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18.

Тел.: (343) 374-40-54

E-mail: volkov@imp.uran.ru

Горкунов Эдуард Степанович, доктор технических наук, академик РАН, главный научный сотрудник.

Адрес: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Тел.: (343) 374-47-25

E-mail: ges@imach.uran.ru

Горулева Лариса Сергеевна, младший научный сотрудник.

Адрес: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Тел.: (343) 375-35-87

E-mail: sherlarisa@yandex.ru

Дорогов Максим Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 53-94-21

E-mail: maxim@tltsu.ru

Доронкин Владимир Геннадьевич, старший преподаватель кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 53-92-61

E-mail: motopolis@mail.ru

Дубинский Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент.

Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.

Тел.: (499) 238-81-31

E-mail: sdubinskiy@gmail.com

Задворкин Сергей Михайлович, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией технической диагностики.

Адрес: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Тел.: (343) 375-35-86

E-mail: zadvorkin@imach.uran.ru

Зайцев Дмитрий Викторович, доктор физико-математических наук, доцент Института естественных наук и математики.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620083, Россия, г. Екатеринбург, пр-т Ленина, 51.

Тел.: +7 922 222-94-55

E-mail: dmitry.zaytsev@urfu.ru

Казакбиев Алибек Магарамович, аспирант.

Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.

Тел.: +7 917 542-22-18

E-mail: kazakbiev@yandex.ru

Калачев Василий Александрович, студент-магистрант Института естественных наук и математики.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620083, Россия, г. Екатеринбург, пр-т Ленина, 51.

Тел.: +7 902 587-46-96

E-mail: gelian.fox@gmail.com

Капустин Анатолий Иванович, заведующий лабораторией.

Адрес: Ульяновский государственный технический университет, 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.

Тел.: (8422) 77-81-03

E-mail: antak1949@mail.ru

Касаткина Клара Алексеевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: 8 927 214-81-56

E-mail: k.a.kasatkina@mail.ru

Ковалевская Жанна Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, доцент Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Адрес 1: Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, Россия, г. Томск, пр-т Академический, 2/4.

Адрес 2: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30.

Тел.: +7 906 199-05-77

E-mail: kovalevskaya@ispms.tsc.ru

Колачева Наталья Вениаминовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Высшая математика и математическое моделирование».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 53-91-17

E-mail: ncolacheva@mail.ru

Комкова Дарья Аркадьевна, аспирант, ведущий инженер лаборатории прочности.

Адрес: Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620990, Россия, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18.

Тел.: (343) 374-40-54

E-mail: komkova_d@imp.uran.ru

Коробкова Анастасия Анатольевна, аспирант.

Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.

Тел.: (499) 238-81-31

E-mail: nastyakorobkova@gmail.com

Корчагин Михаил Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник.

Адрес 1: Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук, 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18.

Адрес 2: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 36.

Тел.: +7 913 982-15-61

E-mail: korchag@solid.nsc.ru

Костина Алина Евгеньевна, магистрант, инженер-исследователь лаборатории прочности.

Адрес: Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620990, Россия, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18.

Тел.: (343) 374-40-54

E-mail: kostina_a@imp.uran.ru

Крапивкина Ольга Александровна, кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков.

Адрес: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Тел.: (3952) 40-52-03

E-mail: koa1504@mail.ru

Лесота Анна Викторовна, младший научный сотрудник.

Адрес: Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси, 210023, Беларусь, г. Витебск, пр-т Генерала Людникова, 13.

Тел.: +375 212 55-39-53

E-mail: ita@vitebsk.by

Лычагин Дмитрий Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и геохимии.

Адрес: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 36.

Тел.: 8 952 881-88-00

E-mail: dvl-tomsk@mail.ru

Макаров Алексей Викторович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом материаловедения и лабораторией механических свойств.

Адрес 1: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Адрес 2: Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, 620990, Россия, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18.

Адрес 3: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: (343) 378-36-40

E-mail: avm@imp.uran.ru

Мурдускина Ольга Валериевна, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: 8 906 129-21-60

E-mail: O.Murduskina@tltsu.ru

Назарьев Александр Викторович, аспирант кафедры «Технология машиностроения».

Адрес: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

Тел.: +7 929 770-43-99

E-mail: alex121989@mail.ru

Непомнящая Виктория Викторовна, аспирант.

Адрес: Витебский государственный технологический университет, 210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Тел.: +375 292-17-78-22

E-mail: niapomniashchaya@mail.ru

Никитина Татьяна Германовна, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Теория и практика перевода».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 54-64-44

E-mail: t.g.nikitina.2017@gmail.com

Осинцева Алевтина Леонтьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Адрес: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.

Тел.: (343) 375-35-78

E-mail: lkm@imach.uran.ru

Панфилов Петр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник Института естественных наук и математики.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620083, Россия, г. Екатеринбург, пр-т Ленина, 51.

Тел.: +7 912 260-99-67

E-mail: peter.panfilov@urfu.ru

Прокошкин Сергей Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник.

Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.

Тел.: (499) 238-81-31

E-mail: prokoshkin@tmo.misis.ru

Рубаник Василий Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Физика и техническая механика».

Адрес: Витебский государственный технологический университет, 210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

E-mail: niapomniashchaya@mail.ru

Рубаник Василий Васильевич (мл.), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.

Адрес: Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси, 210023, Беларусь, г. Витебск, пр-т Генерала Людникова, 13.

Тел.: +375 212 55-39-53

E-mail: ita@vitebsk.by

Сапунов Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».
Адрес: Ульяновский государственный технический университет, 432027, Россия, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.
Тел.: (8422) 41-80-16
E-mail: sapunov_vv@mail.ru

Скорынина Полина Андреевна, инженер.
Адрес: Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, 620049, Россия, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34.
Тел.: (343) 375-35-78
E-mail: polina.skorynina@mail.ru

Соколова Марина Геннадьевна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры «Русский язык, литература и лингвокриминалистика».
Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.
E-mail: M.Sokolova@tltsu.ru

Старцева Светлана Михайловна, аспирант, ассистент кафедры контрастивной лингвистики Института иностранных языков.
Адрес: Московский педагогический государственный университет, 119991, Россия, г. Москва, ул. Малая Пироговская, 1/1.
Тел.: 8 926 376-49-47
E-mail: mikl05@mail.ru

Химич Маргарита Андреевна, инженер, аспирант.
Адрес 1: Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, Россия, г. Томск, пр-т Академический, 2/4.
Адрес 2: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 36.
Тел.: +7 952 884-04-25
E-mail: khimich@ispms.tsc.ru

Цветкова Ирина Викторовна, доктор философских наук, профессор кафедры «История и философия».
Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.
Тел.: (8482) 53-91-45
E-mail: aleksandr.kozlov@mail.ru

Шаркеев Юрий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физики наноструктурных биокomпозитов.
Адрес 1: Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, 634055, Россия, г. Томск, пр-т Академический, 2/4.
Адрес 2: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30.
Тел.: +7 913 806-28-14
E-mail: sharkeev@ispms.tsc.ru

Шереметьев Вадим Алексеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник.
Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.
Тел.: (499) 238-81-31
E-mail: vadim.sheremetyev@gmail.com

Юровских Артем Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией электронной микроскопии сверхвысокого разрешения.
Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.
Тел.: (343) 375-46-95
E-mail: artem.yurovskikh@mail.ru

OUR AUTHORS

Abdugaffarova Kristina Kamilievna, engineer of Research Department NIO-5, Research Institute of Progressive Technologies.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-94-21

E-mail: a.abdugaffarova@gmail.com

Aifantis Elias Charalambos, PhD, Head of Research Department NIO-5, Research Institute of Progressive Technologies.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-94-21

E-mail: mom@mom.gen.auth.gr

Alfyorova Ekaterina Aleksandrovna, PhD (Physics and Mathematics), assistant professor of Chair of Mechanical Engineering and Industrial Robotics of Institute of Cybernetics.

Address: National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Prospect, 30.

Tel.: 8 909 547-12-01

E-mail: katerina525@mail.ru

Aniskina Natalya Vladimirovna, PhD (Pedagogy), assistant professor of Chair "Theory and Practice of Translation".

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

E-mail: aniskinanv@mail.ru

Bochkarev Petr Yurievich, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, professor of Chair "Mechanical engineering".

Address: Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, 410054, Russia, Saratov, Politekhnikeskaya Street, 77.

E-mail: bpy@sstu.ru

Dorogov Maksim Vladimirovich, PhD (Physics and Mathematics), assistant professor of Chair "Nanotechnologies, materials science and mechanics".

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-94-21

E-mail: maxim@tltsu.ru

Doronkin Vladimir Gennadievich, senior teacher of Chair "Design and Operation of Cars".

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-92-61

E-mail: motopolis@mail.ru

Dubinskiy Sergey Mikhailovich, PhD (Engineering), Associate Professor.

Address: National University of Science and Technology "MISiS", 119049, Russia, Moscow, Leninskiy Prospect, 4.

Tel.: (499) 238-81-31

E-mail: sdubinskiy@gmail.com

Gorkunov Eduard Stepanovich, Doctor of Sciences (Engineering), RAS academician, chief researcher.

Address: Institute of Engineering Science of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620049, Russia, Yekaterinburg, Komsomolskaya Street, 34.

Tel.: (343) 374-47-25

E-mail: ges@imach.uran.ru

Goruleva Larisa Sergeevna, junior researcher.

Address: Institute of Engineering Science of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620049, Russia, Yekaterinburg, Komsomolskaya Street, 34.

Tel.: (343) 375-35-87

E-mail: sherlarisa@yandex.ru

Kalachev Vasily Aleksandrovich, graduate student of Institute of Natural Sciences and Mathematics.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620083, Russia, Yekaterinburg, Lenin Prospect, 51.

Tel.: +7 902 587-46-96

E-mail: gelian.fox@gmail.com

Kapustin Anatoliy Ivanovich, head of laboratory.

Address: Ulyanovsk State Technical University, 432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets Street, 32.

Tel.: (8422) 77-81-03

E-mail: antak1949@mail.ru

Kasatkina Klara Alekseevna, PhD (Pedagogy), assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: 8 927 214-81-56

E-mail: k.a.kasatkina@mail.ru

Kazakbiev Alibek Magaramovich, postgraduate student.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninskiy Prospect, 4.

Tel.: +7 917 542-22-18

E-mail: kazakbiev@yandex.ru

Khimich Margarita Andreevna, engineer, postgraduate student.

Address 1: Institute of Strength Physics and Materials Sciences of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 634055, Russia, Tomsk, Akademicheskyy Prospekt, 2/4.

Address 2: National Research Tomsk State University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Prospekt, 36.

Tel.: +7 952 884-04-25

E-mail: khimich@ispms.tsc.ru

Kolacheva Natalya Veniaminovna, PhD (Pedagogy), assistant professor of Chair “Advanced Mathematics and Mathematical Modeling”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-91-17

E-mail: ncolacheva@mail.ru

Komkova Darya Arkadijevna, postgraduate student, leading engineer of Laboratory of strength.

Address: M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620990, Russia, Yekaterinburg, S. Kovalevskoy Street, 18.

Tel.: (343) 374-40-54

E-mail: komkova_d@imp.uran.ru

Korchagin Mikhail Alekseevich, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, leading researcher.

Address 1: Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630128, Russia, Novosibirsk, Kutateladze Street, 18.

Address 2: National Research Tomsk State University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Prospekt, 36.

Tel.: +7 913 982-15-61

E-mail: korchag@solid.nsc.ru

Korobkova Anastasia Anatolievna, postgraduate student.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninskiy Prospect, 4.

Tel.: (499) 238-81-31

E-mail: nastyakorobkova@gmail.com

Kostina Alina Evgenievna, graduate student, research engineer of Strength Laboratory.

Address: M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 620990, Russia, Yekaterinburg, S. Kovalevskoy Street, 18.

Tel.: (343) 374-40-54

E-mail: kostina_a@imp.uran.ru

Kovalevskaya Zhanna Gennadijevna, PhD (Engineering), Associate Professor, leading engineer of Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, assistant professor of National Research Tomsk Polytechnic University.

Address 1: Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 634055, Russia, Tomsk, Akademicheskyy Prospekt, 2/4.

Address 2: National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Prospekt, 30.

Tel.: +7 906 199-05-77

E-mail: kovalevskaya@ispms.tsc.ru

Krapivkina Olga Aleksandrovna, PhD (Philology), assistant professor of Chair of Foreign Languages.

Address: Irkutsk National Research Technical University, 664074, Russia, Irkutsk, Lermontov Street, 83.

Tel.: (3952) 40-52-03

E-mail: koal504@mail.ru

Lesota Anna Viktorovna, junior researcher.

Address: Institute of Technical Acoustics of National Academy of Sciences of Belarus, 210023, Belarus, Vitebsk, General Lyudnikov Prospect, 13.
Tel.: +375 212 55-39-53
E-mail: ita@vitebsk.by

Lychagin Dmitriy Vasilievich, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Head of Chair of Mineralogy and Geochemistry.

Address: National Research Tomsk State University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Prospect, 36.
Tel.: 8 952 881-88-00
E-mail: dvl-tomsk@mail.ru

Makarov Aleksey Viktorovich, Doctor of Sciences (Engineering), chief researcher, Head of department of material science and mechanical properties laboratory.

Address 1: Institute of Engineering Science of Ural Branch of the Russian Academy Sciences, 620049, Russia, Yekaterinburg, Komsomolskaya Street, 34.
Address 2: M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620990, Russia, Yekaterinburg, S. Kovalevskoy Street, 18.
Address 3: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Ekaterinburg, Mira Street, 19.
Tel.: (343) 378-36-40
E-mail: avm@imp.uran.ru

Murduskina Olga Valeriyevna, PhD (Linguistics), assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.
Tel.: 8 906 129-21-60
E-mail: O.Murduskina@tltstu.ru

Nazaryev Aleksandr Viktorovich, postgraduate student of Chair “Mechanical engineering”.

Address: Yu.A. Gagarin Saratov State Technical University, 410054, Russia, Saratov, Politekhnicheskaya Street, 77.
Tel.: +7 929 770-43-99
E-mail: alex121989@mail.ru

Niapomniashchaya Viktoria Viktorovna, postgraduate student.

Address: Vitebsk State Technological University, 210038, Belarus, Vitebsk, Moskovsky Prospect, 72.
Tel.: +375 292 17-78-22
E-mail: niapomniashchaya@mail.ru

Nikitina Tatyana Germanovna, PhD (Philology), assistant professor of Chair “Theory and Practice of Translation”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.
Tel.: (8482) 54-64-44
E-mail: t.g.nikitina.2017@gmail.com

Osintseva Alevtina Leontievna, PhD (Engineering), senior researcher.

Address: Institute of Engineering Science of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620049, Russia, Yekaterinburg, Komsomolskaya Street, 34.
Tel.: (343) 375-35-78
E-mail: lkm@imach.uran.ru

Panfilov Petr Evgenievich, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, senior researcher of Institute of Natural Sciences and Mathematics.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620083, Russia, Yekaterinburg, Lenin Prospect, 51.
Tel.: +7 912 260-99-67
E-mail: peter.panfilov@urfu.ru

Prokoshkin Sergey Dmitrievich, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, chief researcher.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninskiy Prospect, 4.
Tel.: (499) 238-81-31
E-mail: prokoshkin@tmo.misis.ru

Rubanik Vasily Vasilievich, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Physics and engineering mechanics”.

Address: Vitebsk State Technological University, 210038, Belarus, Vitebsk, Moskovsky Prospect, 72.
E-mail: niapomniashchaya@mail.ru

Rubanik Vasilii Vasilievich Jr., PhD (Physics and Mathematics), senior researcher.

Address: Institute of Technical Acoustics of National Academy of Sciences of Belarus, 210023, Belarus, Vitebsk, General Lyudnikov Prospect, 13.

Tel.: +375 212 55-39-53

E-mail: ita@vitebsk.by

Sapunov Valeriy Viktorovich, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Mechanical engineering technology”.

Address: Ulyanovsk State Technical University, 432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets Street, 32.

Tel.: (8422) 41-80-16

E-mail: sapunov_vv@mail.ru

Sharkeev Yuriy Petrovich, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, head of Laboratory of physics of nanostructured biocomposites.

Address 1: Institute of Strength Physics and Materials Sciences of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 634055, Russia, Tomsk, Akademichesky Prospect, 2/4.

Address 2: National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Prospect, 30.

Tel.: +7 913 806-28-14

E-mail: sharkeev@ispms.tsc.ru

Sheremetyev Vadim Alekseevich, PhD (Engineering), researcher.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninskiy Prospect, 4.

Tel.: (499) 238-81-31

E-mail: vadim.sheremetyev@gmail.com

Skorynina Polina Andreevna, engineer.

Address: Institute of Engineering Science of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620049, Russia, Yekaterinburg, Komsomolskaya Street, 34.

Tel.: (343) 375-35-78

E-mail: polina.skorynina@mail.ru

Sokolova Marina Gennadievna, PhD (Pedagogy), Associate Professor, assistant professor of Chair “Russian Language, Literature and Forensic Linguistics”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

E-mail: M.Sokolova@tlttsu.ru

Startseva Svetlana Mikhailovna, postgraduate student, assistant of Chair of Contrastive Linguistics of the Institute of Foreign Languages.

Address: Moscow State Pedagogical University, 119991, Russia, Moscow, Malaya Pirogovskaya Street, 1/1.

Tel.: 8 926 376-49-47

E-mail: mikl05@mail.ru

Tsvetkova Irina Viktorovna, Doctor of Sciences (Philosophy), professor of Chair “History and philosophy”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-91-45

E-mail: aleksandr.kozlov@mail.ru

Vasilieva Oksana Anatolievna, teacher.

Address: Syzran Branch of Military Educational and Scientific Center of Air Force “Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin Air Force Academy”, 446007, Russia, Syzran, Marshal Zhukov Street, 1.

Tel.: 8 927 216-71-30

E-mail: vasilieva.oksan2014@yandex.ru

Vetkasov Nikolay Ivanovich, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Mechanical engineering technology”.

Address: Ulyanovsk State Technical University, 432027, Russia, Ulyanovsk, Severny Venets Street, 32.

Tel.: (8422) 41-82-47

E-mail: nppwt@ulstu.ru

Vilkina Marina Valerievna, postgraduate student, engineer of Chair “Process and manufacturing engineering of artillery equipment”.

Address: Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, 190005, Russia, Saint-Petersburg, 1-st Krasnoarmeyskaya Street, 1.

Tel.: (951) 662-55-68

E-mail: m.vilkina@mail.ru

Volkov Aleksey Yurievich, Doctor of Sciences (Engineering), Head of Laboratory of strength.

Address: M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620990, Russia, Yekaterinburg, S. Kovalevskoy Street, 18.

Tel.: (343) 374-40-54

E-mail: volkov@imp.uran.ru

Yurovskikh Artem Sergeevich, PhD (Engineering), Associate Professor, Head of Laboratory of super-resolution electronic microscopy.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Tel.: (343) 375-46-95

E-mail: artem.yurovskikh@mail.ru

Zadvorkin Sergey Mikhailovich, PhD (Physics and Mathematics), Head of laboratory of technical diagnostics.

Address: Institute of Engineering Science of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620049, Russia, Yekaterinburg, Komsomolskaya Street, 34.

Tel.: (343) 375-35-86

E-mail: zadvorkin@imach.uran.ru

Zaytsev Dmitriy Viktorovich, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), assistant professor of Institute of Natural Sciences and Mathematics.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620083, Russia, Yekaterinburg, Lenin Prospect, 51.

Tel.: +7 922 222-94-55

E-mail: dmitry.zaytsev@urfu.ru