

# ВЕКТОР НАУКИ

## Тольяттинского государственного университета

Основан в 2008 г.

№ 1 (43)  
2018

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

Ответственный/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 30.03.2018.

Выход в свет 31.05.2018.

Формат 60×84 1/8.

Печать оперативная.

Усл. п. л. 18,0.

Тираж 50 экз. Заказ 3-191-18.

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 связи 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).

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ И АМОРФНОМ АЛЮМИНИИ</b> Е.В. Гончарова, Р.А. Кончаков, А.С. Макаров, В.А. Хоник, Н.П. Кобелев.....	11
<b>ПОВЕДЕНИЕ СПЕЧЕННОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ</b> А.В. Гурских.....	17
<b>ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ С РАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И НАНОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ</b> А.Г. Денисова, А.А. Викарчук.....	24
<b>ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СВЕРХУПРУГИХ СПЛАВОВ Ti-Nb В МОДЕЛЬНОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ РАСТВОРЕ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ</b> А.А. Коробкова, А.М. Казакбиев, Ю.С. Жукова, С.М. Дубинский, С.Д. Прокошкин, М.Р. Филонов.....	30
<b>ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАНОКЛАСТЕРАМИ СЕРЕБРА</b> В.В. Кувшинов, Б.Л. Крит, Н.В. Морозова, Д.Ю. Кукушкин, А.В. Савкин.....	36
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ</b> А.Ю. Маркадеева, А.В. Ильин, М.А. Гусев.....	43
<b>МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА И ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ</b> С.В. Нескоромный, Ю.В. Панов.....	52
<b>ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАРТЕНСИТА НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ</b> С.М. Никифорова, М.А. Филиппов, Н.Н. Озерец.....	60
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ РАЗНОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ</b> Р.А. Рзаев, А.А. Чуларис, А.С. Досимов, А.А. Наумов, О.Г. Зотов.....	67
<b>ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД И ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА</b> Д.Ю. Федотов, В.А. Федоров, А.В. Яковлев, Т.Н. Плужникова, А.Д. Березнер.....	77

<b>ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА</b> М.А. Филиппов, Г.А. Ягудин, В.В. Легчило, С.Х. Эстемирова.....	83
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА МОРФОЛОГИЮ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЗОНЫ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ АМОРФНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Zr-Cu-Ag-Al</b> А.А. Шлыкова, В.А. Федоров, М.Ф. Гасанов, А.В. Яковлев.....	90
<b>ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ</b> В.В. Шляров, Д.В. Загуляев, В.Е. Громов.....	98
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b>	
<b>СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОЛЯ ЗООНИМОВ С АРХИСЕМОЙ «СВИНЬЯ» В РУССКОМ ДИСКУРСЕ</b> О.А. Васильева.....	107
<b>ПОВСЕДНЕВНОСТЬ СЕЛЬСКИХ ЖИТЕЛЕЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА СТРАНЫ В ПЕРИОД «ПОЗДНЕГО» СОЦИАЛИЗМА</b> А.А. Гринько.....	113
<b>СТИЛИСТИЧЕСКАЯ АДЕКВАТНОСТЬ ПЕРЕВОДОВ МЕТАФОРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ А.И. СОЛЖЕНИЦЫНА «АРХИПЕЛАГ ГУЛАГ» И ЕГО ПЕРЕВОДОВ НА АНГЛИЙСКИЙ (Т. УИТНИ, 1974) И НЕМЕЦКИЙ (А. ПЕТУРНИГ, 1974) ЯЗЫКИ</b> И.А. Курбанов, В.Э. Сало.....	119
<b>ПОНЯТИЕ НОРМЫ И ЕЕ ВАРИАТИВНОСТЬ В ЛИТЕРАТУРНОМ ЯЗЫКЕ (НА МАТЕРИАЛЕ АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО ЯЗЫКА)</b> Э.С. Самедов.....	125
<b>ТИПОЛОГИЯ НАСЕЛЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО УЧАСТИЮ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b> И.В. Цветкова.....	130
<b>ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ СПЕЦИАЛИСТОВ В ПОНИМАНИИ РАБОТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И СТУДЕНТОВ</b> А.И. Щербакова.....	137
<b>НАШИ АВТОРЫ.....</b>	145

---

## CONTENT

### TECHNICAL SCIENCES

#### COMPUTER SIMULATION OF STRUCTURAL DEFECTS IN MONOCRYSTALLINE AND AMORPHOUS ALUMINUM

E.V. Goncharova, R.A. Konchakov, A.S. Makarov,  
V.A. Khonik, N.P. Kobelev.....11

#### THE BEHAVIOR OF SINTERED ALUMINUM BRONZE DURING PRESSURE TREATMENT

A.V. Gurskikh.....17

#### TWO-COMPONENT COATINGS WITH A DEVELOPED SURFACE AND NANOSCALE STRUCTURE

A.G. Denisova, A.A. Vikarchuk.....24

#### THE STUDY OF THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF SUPERLASTIC Ti-Nb ALLOYS IN A MODEL PHYSIOLOGICAL SOLUTION UNDER THE CYCLIC LOADING

A.A. Korobkova, A.M. Kazakbiev, Yu.S. Zhukova,  
S.M. Dubinsky, S.D. Prokoshkin, M.R. Filonov.....30

#### THE POSSIBILITIES OF PHOTOELECTRIC CONVERTERS POWER ASCENSION BY THE MODIFICATION OF THEIR SURFACES BY SILVER NANOCCLUSERS

V.V. Kuvshinov, B.L. Krit, N.V. Morozova,  
D.Yu. Kukushkin, A.V. Savkin.....36

#### THE STUDY OF FRACTURE TOUGHNESS OF HEAT-AFFECTED ZONE OF WELDED JOINTS OF STEELS APPLIED FOR ARCTIC STRUCTURES

A.Yu. Markadeeva, A.V. Ilyin, M.A. Gusev.....43

#### THE TECHNIQUE OF CALCULATING THE PARAMETERS OF THE PROCESS AND SELECTION OF EQUIPMENT FOR HIGH-VOLTAGE CONDENSER WELDING

S.V. Nescoromniy, Yu.V. Panov.....52

#### THE FORMATION OF NANOCRYSTALLINE MARTENSITE ON A WORKING SURFACE OF TOOL STEEL IN THE CASE OF ABRASIVE WEAR

S.M. Nikiforova, M.A. Filippov, N.N. Ozerets.....60

#### THE APPLICATION OF TECHNOLOGICAL METHODS FOR ENHANCING THE STRENGTH OF DISSIMILAR JOINTS PRODUCED BY FRICTION STIR WELDING

R.A. Rzaev, A.A. Chularis, A.S. Dosimov,  
A.A. Naumov, O.G. Zotov.....67

#### THE INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENT AND ELECTRO-IMPULSE IMPACT ON FATIGUE CHARACTERISTICS OF METALLIC GLASS

D.Yu. Fedotov, V.A. Fedorov, A.V. Yakovlev,  
T.N. Pluzhnikova, A.D. Berezner.....77

---

<b>THE INFLUENCE OF THERMAL PROCESSING ON THE STRUCTURE AND WEAR-RESISTANCE OF PERLITE-CLASS STEELS</b> M.A. Filippov, G.A. Yagudin, V.V. Legchilo, S.Kh. Estemirova.....	<b>83</b>
<b>THE STUDY OF INFLUENCE OF MILLISECOND LASER IRRADIATION ON THE MORPHOLOGY AND CRYSTALLIZATION OF A THERMO-ACTIVATION ZONE FOR Zr-Cu-Ag-Al BULK AMORPHOUS ALLOY</b> A.A. Shlykova, V.A. Fedorov, M.F. Gasanov, A.V. Yakovlev.....	<b>90</b>
<b>THE INFLUENCE OF MAGNETIC FIELDS ON THE STRUCTURE AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM</b> V.V. Shlyarov, D.V. Zagulyaev, V.E. Gromov.....	<b>98</b>
<b>HUMANITIES</b>	
<b>STRUCTURING THE FIELD OF ZOONYMS WITH THE “PIG” ARCHISEME IN RUSSIAN DISCOURSE</b> O.A. Vasilieva.....	<b>107</b>
<b>DAILY LIFE OF RURAL RESIDENTS OF THE RUSSIAN FAR EAST IN THE PERIOD OF “LATE” SOCIALISM</b> A.A. Grinko.....	<b>113</b>
<b>STYLISTIC ADEQUACY OF METAPHORICAL ITEMS’ TRANSLATION IN A.I. SOLZHENITSYN’S NOVEL “THE GULAG ARCHIPELAGO” AND ITS TRANSLATIONS INTO ENGLISH (TH. P. WHITNEY, 1974) AND GERMAN (A. PETURNIG, 1974)</b> I.A. Kurbanov, V.E. Salo.....	<b>119</b>
<b>THE CONCEPT OF A NORM AND ITS VARIABILITY IN THE LITERARY LANGUAGE (ON THE BASE OF AZERBAIJANI LANGUAGE)</b> E.S. Samedov.....	<b>125</b>
<b>THE TYPOLOGY OF POPULATION OF SAMARA REGION ACCORDING TO THE PARTICIPATION IN THE ECOLOGICAL ACTIVITY</b> I.V. Tsvetkova.....	<b>130</b>
<b>PROFESSIONAL COMPETENCE OF SPECIALISTS AS IT IS UNDERSTOOD BY EMPLOYEES OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS AND STUDENTS</b> A.I. Shcherbakova.....	<b>137</b>
<b>OUR AUTHORS</b> .....	<b>145</b>





---

**ТЕХНИЧЕСКИЕ  
НАУКИ**

---



## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ И АМОРФНОМ АЛЮМИНИИ

© 2018

**Е.В. Гончарова**, аспирант кафедры общей физики, младший научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов»  
**Р.А. Кончаков**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, старший научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов»  
**А.С. Макаров**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, старший научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов»  
**В.А. Хоник**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики, главный научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов»  
*Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж (Россия)*  
**Н.П. Кобелев**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
*Институт физики твердого тела РАН, Черногловка (Россия)*

**Ключевые слова:** некристаллический алюминий; межузельные дефекты; сдвиговая восприимчивость; межузельная теория.

**Аннотация:** Работа посвящена исследованию микроскопических механизмов плавления металлов и структурной релаксации металлических стекол. Несмотря на обширные усилия и многочисленные важные результаты, полученные в этой области, эта задача не имеет общепринятого окончательного решения. Одним из основных вопросов является микроскопическая природа структурных дефектов в металлических стеклах – наноразмерных областей, которые ответственны за эволюцию их физических свойств при внешнем воздействии. Наиболее перспективную интерпретацию природы таких дефектов дает межузельная теория, предложенная Гранато. Межузельная теория основывается на уникальной гипотезе о межузельном механизме плавления металлов и связывает тепловые эффекты в стекле со сдвиговой упругостью материнского кристалла.

Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование диаэластического эффекта вблизи температуры плавления  $T_m$  кристаллического алюминия послужили убедительным свидетельством лавинообразной генерации межузельных гантелей вблизи  $T_m$ . В настоящей работе было выполнено компьютерное моделирование, направленное на проверку наличия межузельных гантелей (или подобных им атомных структур) в твердом стеклообразном состоянии, полученном закалкой расплава.

Компьютерное моделирование показало, что аморфный алюминий, полученный быстрой закалкой расплава, содержит значительное количество «дефектов», аналогичных по своим свойствам межузельным гантелям в кристаллическом состоянии. Хотя эти «дефекты» не имеют четкой единообразной топологической структуры в отличие от дефектов кристалла, они могут быть однозначно идентифицированы по своим основным свойствам – высокой чувствительности к сдвиговым напряжениям и характерным низкочастотным/высокочастотным особенностям спектра колебательной плотности состояний «дефектных» атомов.

Методами молекулярной динамики и статистики показано, что твердый некристаллический алюминий содержит специфические атомные конфигурации, подобные межузельным гантелям в кристаллическом состоянии, которые можно считать «дефектами» аморфной структуры.

### ВВЕДЕНИЕ

Микроскопические механизмы формирования стеклообразного состояния и релаксационных процессов, происходящих в стеклах, являются центральными вопросами физики некристаллических материалов [1–3]. Перспективный подход к решению этих вопросов дает межузельная теория (далее – МТ) Гранато [4], положившая начало целому ряду исследований. Например, МТ позволила аналитически интерпретировать эмпирические правила плавления Линдемана и Ричарда [5], а также установить связь между температурой плавления и модулем сдвига [6]. Подход, основанный на МТ, предлагает последовательную интерпретацию многочисленных проявлений структурной релаксации в металлических стеклах [7; 8], дает точное описание кинетики экзо-/эндотермических тепловых реакций при структурной релаксации и кристаллизации [9].

Согласно МТ, плавление металлических кристаллов происходит в результате быстрой генерации межузельных гантелей [10; 11], которые сохраняют свою инди-

видуальность в расплаве и стекле, полученном закалкой расплава. В недавней работе [12] путем экспериментального измерения температурной зависимости модуля сдвига монокристаллического алюминия было показано, что вблизи температуры плавления концентрация межузельных гантелей лишь в 2–3 раза меньше концентрации вакансий. Термоактивируемая генерация межузельных гантелей позволяет объяснить существенный нелинейный рост теплоемкости в области предплавления температур, природа которого до настоящего времени не имела однозначной интерпретации [13]. Таким образом, межузельные гантели играют важную роль в механизме плавления металлических одноатомных кристаллов.

Общеизвестно, что межузельные гантели существуют во всех основных кристаллических структурах [14; 15]. Характерным свойством межузельных гантелей является их способность эффективно взаимодействовать с полем внешних напряжений. В результате этого взаимодействия, помимо однородной деформации, возникают

дополнительные деформации, связанные с локальным нарушением симметрии кристалла в области дефектов [16–18]. Аналогично, при наличии однородной деформации в области межузельной гантели возникают неоднородные (индуцированные) напряжения. Неоднородные деформации в кристалле являются обратимыми, в отличие от аморфной системы, где неоднородные деформации вызваны необратимыми перемещениями атомов в области «дефектов».

Идентификация межузельных гантелей в кристаллической структуре не вызывает каких-либо затруднений. В то же время идентификация «дефектов» в некристаллическом веществе является весьма нетривиальной задачей. Решению этой задачи посвящена настоящая работа. Компьютерное моделирование меди показало, что после плавления кристалла межузельные дефекты остаются идентифицируемыми структурными единицами в жидком состоянии и сохраняют основные свойства межузельных гантелей в кристалле [19]. Для идентификации в аморфной структуре атомных конфигураций, подобных межузельным дефектам в кристаллах, использовались основные свойства межузельных гантелей, а именно их высокая чувствительность к сдвиговым напряжениям [5] и особенности спектра колебательной плотности состояний атомов, формирующих межузельную гантель [20].

Цель работы – показать, что аморфный алюминий содержит группы атомов, которые проявляют основные свойства межузельных гантелей в кристалле, то есть имеют высокую сдвиговую восприимчивость и характерные особенности колебательного спектра.

### МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для реализации компьютерной модели алюминия был использован классический молекулярно-динамический пакет LAMMPS [21] с межатомным потенциалом типа EAM (метод погруженного атома) [22]. Модель аморфного алюминия была получена следующим образом. Монокристалл, состоящий из 4000 атомов ( $10 \times 10 \times 10$  трансляций элементарной ячейки), плавился и выдерживался при температуре 2000 К в течение 10 ns. Контроль температуры осуществлялся термостатом Нозе-Гувера (Nose-Hoover) [23; 24], контроль давления производился баростатом Берендсена (Berendsen) [25]. Затем осуществлялось охлаждение до 0 К со скоростью  $10^{13}$  K/s. Интегрирование уравнений движения осуществлялось методом Верле (Verlet) [26; 27], шаг интегрирования по времени был выбран равным 2 fs, что соответствует примерно 0,015 периода колебаний атомов. Минимизация потенциальной энергии системы (структурная релаксация) в результате которой атомы занимали устойчивые положения, производилась методом наискорейшего спуска. Колебательная плотность состояний вычислялась как квадрат модуля Фурье-преобразования автокорреляционной функции скорости атомов  $v(t)$  [28]:

$$VDOS(\omega) = \left| \int e^{-i\omega t} \langle v(t)v(0) \rangle dt \right|^2.$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате моделирования были рассчитаны компоненты тензора диаэластической поляризуемости меж-

узельной гантели и вакансии в монокристаллическом алюминии. Установленная связь тензора диаэластической поляризуемости с основным параметром межузельной теории – сдвиговой восприимчивостью – позволила оценить величину сдвиговой восприимчивости как для межузельной гантели, так и для вакансии. Из усредненных (сдвиговых) компонент матрицы сдвиговой восприимчивости было получено значение сдвиговой восприимчивости  $\beta_i = 26,5$  для межузельной гантели. Этот результат близок к экспериментальному значению  $\beta_i = 27 \pm 2$ , полученному путем анализа измерений модуля сдвига монокристалла алюминия [29].

Расчет диаэластической поляризуемости и сдвиговой восприимчивости монокристалла алюминия был проделан и для вакансии. Компоненты тензора диаэластической поляризуемости оказались приблизительно на порядок меньше, чем для межузельной гантели. Компоненты матрицы сдвиговой восприимчивости для вакансии тоже на порядок меньше, чем для межузельной гантели, что находится в соответствии с результатами работ [16; 30]. Сдвиговые компоненты тензора диаэластической поляризуемости позволяют рассчитать значение сдвиговой восприимчивости, которое согласуется с экспериментальным значением  $\beta_v \approx 2$  для вакансии в алюминии [30]. Таким образом, сравнение сдвиговых компонент матрицы сдвиговой восприимчивости для вакансии и межузельной гантели приводит к выводу о том, что межузельные гантели должны производить на порядок большее уменьшение модуля сдвига в отличие от вакансий, что находится в полном соответствии с экспериментами по алюминию [12; 29; 31] и меди [32; 33].

Для аморфного алюминия была произведена оценка концентрации структурных дефектов. Для этого сравнивались характерные значения тензоров поляризуемости монокристалла с одним дефектом и усредненной интегральной поляризуемости аморфного алюминия. Среднее значение диагональных компонент тензора диаэластической поляризуемости кристаллического алюминия составило  $\langle \alpha^{crystal} \rangle = 0,69 \times 10^3$  GPa, а для аморфного алюминия –  $N^{def} \langle \alpha^{glass} \rangle = 82,0 \times 10^3$  GPa. Тогда концентрацию дефектов в аморфном алюминии можно оценить как

$$c = \frac{N^{def} \langle \alpha^{glass} \rangle}{N \langle \alpha^{crystal} \rangle} \times 100\% \approx 3\%, \quad (1)$$

где  $N$  – число атомов в модельной системе. Кроме того, концентрацию структурных дефектов можно оценить, используя основное уравнение МТ, которое для стеклообразного состояния будет иметь следующий вид

$$G^{glass} = G^{crystal} \exp(-\alpha_g \beta c), \quad (2)$$

где  $G^{glass} = 11,4$  GPa,

$G^{crystal} = 30,5$  GPa,

безразмерная величина  $\alpha_g \approx 1$  и  $\beta = 27$ .

С указанными выше параметрами уравнение (2) дает концентрацию дефектов  $c = 3,7\%$ , что довольно близко к расчету по формуле (1).

Для расчета тензоров диаэластической поляризуемости отдельных структурных дефектов в аморфном алюминии необходимо было сначала эти дефектные области каким-либо образом идентифицировать [16]. Если предположить, что дефекты распределены равномерно по объему модельной системы, то можно оценить характерный размер структурного дефекта. Зная концентрацию дефектов (около 3%), легко вычислить, что на один структурный дефект приходится примерно 33 атома, что соответствует размеру дефекта  $R_{def} \sim 1,2a$ , где постоянная кристаллической решетки алюминия  $a = 4,05 \text{ \AA}$ .

Для монокристаллического и аморфного алюминия были определены локальные тензоры диаэластической податливости отдельной межузельной гантели. Расчеты диаэластической податливости дают принципиальную возможность сравнить локальные характеристики дефектов в кристаллическом и аморфном алюминии. Межузельные дефекты проявляют высокую чувствительность к сдвиговому напряжению. Это означает, что в тензоре диаэластической податливости сдвиговые компоненты должны быть намного больше по абсолютной величине, чем дилатационные компоненты. Действительно, расчеты локальной диаэластической податливости для кристаллического алюминия показали, что среднее значение сдвиговых компонент примерно в 11 раз превышает значение дилатационных компонент.

Для аморфного алюминия наблюдается аналогичная ситуация, т. е. среднее значение сдвиговых компонент в тензорах локальной диаэластической податливости примерно в 11–12 раз больше, чем для дилатационных компонент. Это свидетельствует о том, что соответствующие локальные области в стекле (дефекты) обладают повышенной сдвиговой чувствительностью.

Было показано, что колебательные спектры дефектных атомов в аморфном алюминии имеют те же характерные особенности, что и атомы, образующие межузельную гантель в кристалле. На рисунке 1 а показана колебательная плотность состояний одного из атомов,

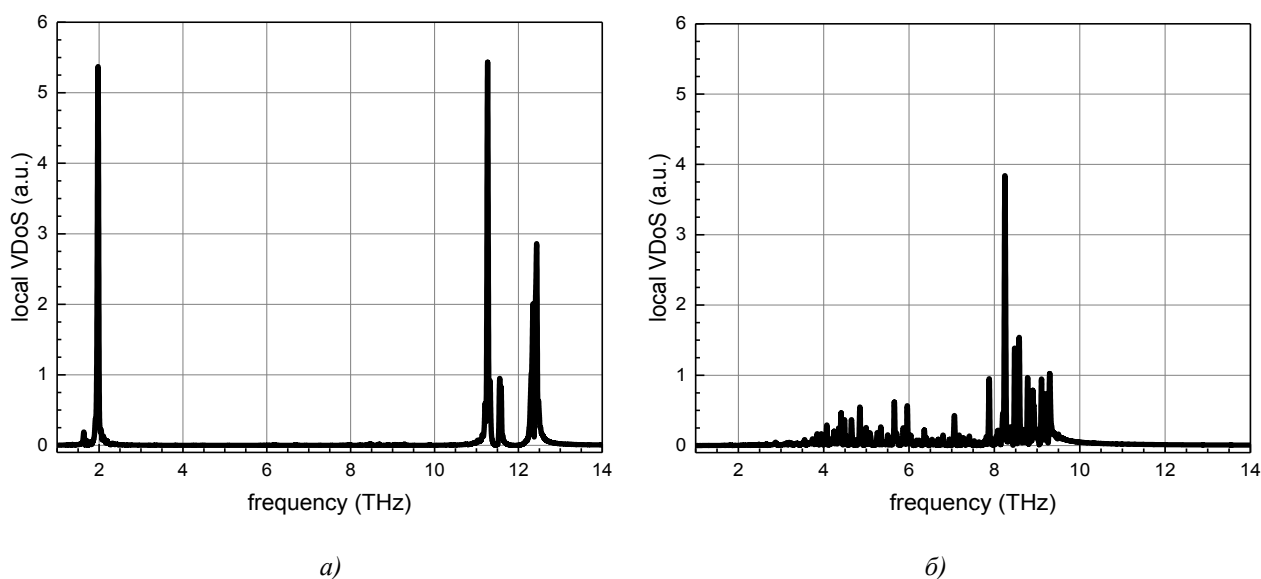
образующих межузельную гантель в монокристалле алюминия. В колебательном спектре присутствуют характерные низкочастотные (около 2 THz) и высокочастотные (выше дебаевской частоты) пики. Эти особенности колебательной плотности состояний были предсказаны для ГЦК решетки довольно давно [20; 34]. Для сравнения на рисунке 1 б представлена локальная колебательная плотность состояний атомов, принадлежащих к идеальной решетке. В этом случае низкочастотные и высокочастотные пики колебательной плотности состояний, характерные для межузельной гантели, отсутствуют. На рисунке 2 показаны локальные колебательные спектры двух разных атомов в аморфном алюминии, которые были идентифицированы как дефектные, то есть испытывающие большие неоднородные смещения при сдвиговой деформации.

Видно, что на рисунке 2 спектры также имеют выраженные низкочастотные и высокочастотные пики. Таким образом, колебательные спектры «дефектных» атомов аморфного алюминия сохраняют основные черты колебательных спектров межузельных гантелей в кристалле.

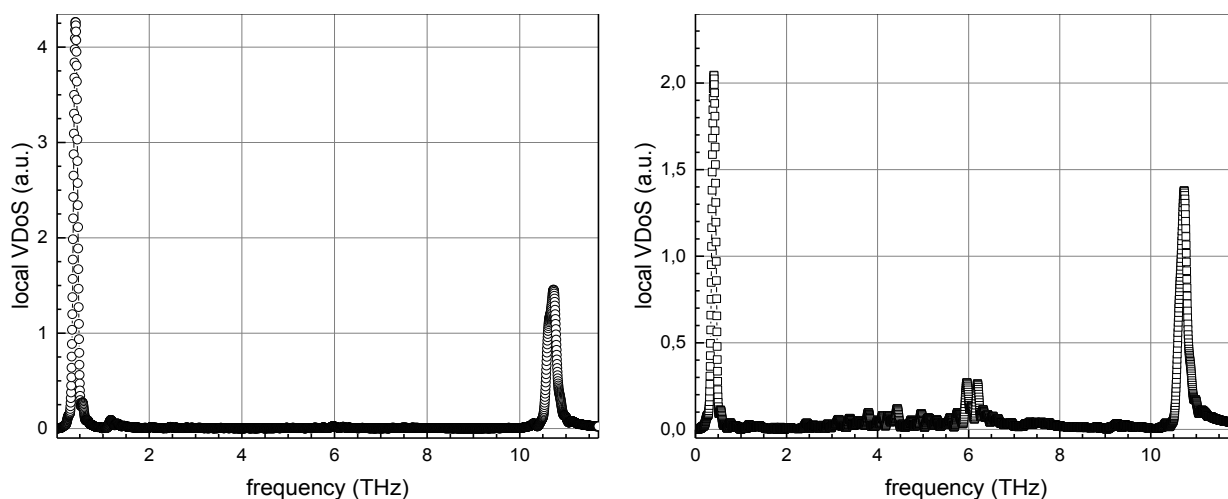
### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Анализ колебательных спектров и индуцированных напряжений в кристаллическом и аморфном алюминии показал, что в аморфном состоянии присутствуют атомные конфигурации, обладающие характерными свойствами межузельных гантелей в кристалле. Полученные результаты могут служить подтверждением основной идеи МТ о том, что плавление кристаллов происходит за счет быстрой генерации межузельных гантелей, которые остаются идентичными структурными единицами в жидком состоянии, а также в твердом некристаллическом состоянии, полученном закалкой расплава.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проекта 3.1310.2017/4.6.*



**Рис. 1.** Локальные спектры колебательной плотности состояний. (а) – для отдельного атома, принадлежащего к межузельной гантели; (б) – для произвольного атома идеальной решетки



**Рис. 2.** Локальная колебательная плотность состояний атомов, принадлежащих двум различным дефектам в аморфном алюминии

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. Debenedetti P.G., Stillinger F.H. Supercooled liquids and the glass transition // *Nature*. 2001. Vol. 410. P. 259–267.
2. Dyre J.C. The glass transition and elastic models of glass-forming liquids // *Reviews of Modern Physics*. 2006. Vol. 78. P. 953–972.
3. Langer J. The mysterious glass transition // *Physics Today*. 2007. Vol. 60. P. 8–9.
4. Granato A.V. Self-interstitials as basic structural units of liquids and glasses // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 1994. Vol. 55. № 10. P. 931–939.
5. Granato A.V. A Comparison with empirical results of the interstitialcy theory of condensed matter // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2006. Vol. 352. P. 4821–4825.
6. Granato A.V., Joncich D.M., Khonik V.A. Melting, thermal expansion, and the Lindemann rule for elemental substances // *Applied Physics Letters*. 2010. Vol. 97. P. 171911-1–171911-3.
7. Khonik S.V., Granato A.V., Joncich D.M., Pompe A., Khonik V.A. Evidence of Distributed Interstitialcy-Like Relaxation of the Shear Modulus due to Structural Relaxation of Metallic Glasses // *Physical Review Letters*. 2008. Vol. 100. P. 065501-1–065501-4.
8. Mitrofanov Yu.P., Wang D.P., Wang W.H., Khonik V.A. Interrelationship between heat release and shear modulus change due to structural relaxation of bulk metallic glasses // *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. Vol. 677. P. 80–86.
9. Mitrofanov Yu.P., Wang D.P., Makarov A.S., Wang W.H., Khonik V.A. Towards understanding of heat effects in metallic glasses on the basis of macroscopic shear elasticity // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. P. 23026-1–23026-6.
10. Granato A.V. Interstitialcy model for condensed matter states of face-centered-cubic metals // *Physical Review Letters*. 1992. Vol. 68. № 7. P. 974–977.
11. Granato A.V. Interstitialcy theory of simple condensed matter // *European Physical Journal B*. 2014. Vol. 87. P. 18-1–18-6.
12. Safonova E.V., Mitrofanov Yu.P., Konchakov R.A., Vinogradov A.Yu., Koblelev N.P., Khonik V.A. Experimental evidence for thermal generation of interstitials in a metallic crystal near the melting temperature // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2016. Vol. 28. № 21. P. 215401-1–215401-12.
13. Safonova E.V., Konchakov R.A., Mitrofanov Yu.P., Koblelev N.P., Vinogradov A.Yu., Khonik V.A. Contribution of Interstitial Defects and Anharmonicity to the Premelting Increase in the Heat Capacity of Single-Crystal Aluminum // *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters*. 2016. Vol. 103. № 12. P. 765–768.
14. Ehrhart P., Robrock K.H., Schober H.R. *Physics of Radiation Effects in Crystals*. Amsterdam: Elsevier, 1986. Vol. 3. P. 3–115.
15. Wolfér W.G. *Fundamental Properties of Defects in Metals // Comprehensive Nuclear Materials*. Amsterdam: Elsevier, 2012. P. 1–45.
16. Кончаков Р.А., Кобелев Н.П., Хоник В.А., Макаров А.С. Упругие диполи в модели монокристаллической и аморфной меди // *Физика твердого тела*. 2016. Т. 58. № 2. С. 209–216.
17. Weaire D. On the use of pair potentials to calculate the properties of amorphous metals // *Acta Metallurgica*. 1971. Vol. 19. P. 779–788.
18. Safarik D. Elastic constants of amorphous and single-crystal Pd<sub>40</sub>Cu<sub>40</sub>P<sub>20</sub> // *Acta Materialia*. 2007. Vol. 55. P. 5736–5746.
19. Nordlund K., Ashkenazy Y., Averback R.S., Granato A.V. Strings and interstitials in liquids, glasses and crystals // *Europhysics Letters*. 2005. Vol. 71. № 4. P. 625–631.
20. Dederichs P.H., Lehmann C., Schober H.R., Scholz A., Zeller R. Lattice theory of point defects // *Journal of Nuclear Materials*. 1978. Vol. 69-70. P. 176–199.

21. Plimpton S. Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics // *Journal of Computational Physics*. 1995. Vol. 117. P. 1–19.
22. Sheng H.W., Kramer M.J., Cadien A., Fujita T., Chen M.W. Highly optimized embedded-atom-method potentials for fourteen fcc metals // *Physical Review B*. 2011. Vol. 83. P. 134118-1–134118-20.
23. Nose S. A unified formulation of the constant temperature molecular dynamics methods // *Journal of Chemical Physics*. 1984. Vol. 81. P. 511–519.
24. Hoover W.G. Canonical dynamics: Equilibrium phase-space distributions // *Physical Review A*. 1985. Vol. 31. P. 1695–1697.
25. Berendsen H.J.C., Postma J.P.M., van Gunsteren W.F., DiNola A., Haak J.R. Molecular dynamics with coupling to an external bath // *Journal of Chemical Physics*. 1984. Vol. 81. P. 3684–3690.
26. Verlet L. Computer “Experiments” on Classical Fluids. I. Thermodynamical Properties of Lennard-Jones Molecules // *Physical Review*. 1967. Vol. 159. P. 98–103.
27. Tuckerman M.E., Alejandre J., López-Rendon R., Jochim A.L., Martyna G.J. A Liouville-operator derived measure-preserving integrator for molecular dynamics simulations in the isothermal - isobaric ensemble // *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 2006. Vol. 39. P. 5629–5651.
28. Dickey J.M., Paskin A. Computer Simulation of the Lattice Dynamics of Solids // *Physical Review*. 1969. Vol. 188. P. 1407–1418.
29. Robrock K.-H., Schilling W. Diaelastic modulus change of aluminum after low temperature electron irradiation // *Journal of Physics F: Metal Physics*. 1976. Vol. 6. P. 303–314.
30. Gordon C.A., Granato A.V. Equilibrium concentration of interstitials in aluminum just below the melting temperature // *Materials Science and Engineering A*. 2004. Vol. 370. P. 83–87.
31. Robrock K.-H. *Mechanical Relaxation of Interstitials in Irradiated Metals*. Berlin: Springer, 1990. 105 p.
32. Rehn L.E., Holder J., Granato A.V., Coltman R.R., Young F.W. Effects of thermal-neutron irradiation on the elastic constants of copper // *Physical Review B*. 1974. Vol. 10. P. 349–362.
33. Holder J., Granato A.V., Rehn L.E. Effects of self-interstitials and close pairs on the elastic constants of copper // *Physical Review B*. 1974. Vol. 10. P. 363–375.
34. Scholz A., Lehman C. Stability Problems, Low-Energy-Recoil Events, and Vibrational Behavior of Point Defects in Metals // *Physical Review B*. 1972. Vol. 6. P. 813–826.
5. Granato A.V. A Comparison with empirical results of the interstitialcy theory of condensed matter. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2006, vol. 352, pp. 4821–4825.
6. Granato A.V., Joncich D.M., Khonik V.A. Melting, thermal expansion, and the Lindemann rule for elemental substances. *Applied Physics Letters*, 2010, vol. 97, pp. 171911-1–171911-3.
7. Khonik S.V., Granato A.V., Joncich D.M., Pompe A., Khonik V.A. Evidence of Distributed Interstitialcy-Like Relaxation of the Shear Modulus due to Structural Relaxation of Metallic Glasses. *Physical Review Letters*, 2008, vol. 100, pp. 065501-1–065501-4.
8. Mitrofanov Yu.P., Wang D.P., Wang W.H., Khonik V.A. Interrelationship between heat release and shear modulus change due to structural relaxation of bulk metallic glasses. *Journal of Alloys and Compounds*, 2016, vol. 677, pp. 80–86.
9. Mitrofanov Yu.P., Wang D.P., Makarov A.S., Wang W.H., Khonik V.A. Towards understanding of heat effects in metallic glasses on the basis of macroscopic shear elasticity. *Scientific Reports*, 2016, vol. 6, pp. 23026-1–23026-6.
10. Granato A.V. Interstitialcy model for condensed matter states of face-centered-cubic metals. *Physical Review Letters*, 1992, vol. 68, no. 7, pp. 974–977.
11. Granato A.V. Interstitialcy theory of simple condensed matter. *European Physical Journal B*, 2014, vol. 87, pp. 18-1–18-6.
12. Safonova E.V., Mitrofanov Yu.P., Konchakov R.A., Vinogradov A.Yu., Koblelev N.P., Khonik V.A. Experimental evidence for thermal generation of interstitials in a metallic crystal near the melting temperature. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2016, vol. 28, no. 21, pp. 215401-1–215401-12.
13. Safonova E.V., Konchakov R.A., Mitrofanov Yu.P., Koblelev N.P., Vinogradov A.Yu., Khonik V.A. Contribution of Interstitial Defects and Anharmonicity to the Premelting Increase in the Heat Capacity of Single-Crystal Aluminum. *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters*, 2016, vol. 103, no. 12, pp. 765–768.
14. Ehrhart P., Robrock K.H., Schober H.R. *Physics of Radiation Effects in Crystals*. Amsterdam, Elsevier Publ., 1986. Vol. 3, pp. 3–115.
15. Wolfer W.G. *Fundamental Properties of Defects in Metals. Comprehensive Nuclear Materials*. Amsterdam, Elsevier Publ., 2012, pp. 1–45.
16. Konchakov R.A., Khonik V.A., Makarov A.S., Koblelev N.P. Elastic dipoles in the model of single-crystal and amorphous copper. *Physics of the Solid State*, 2016, vol. 58, no. 2, pp. 215–222.
17. Weaire D. On the use of pair potentials to calculate the properties of amorphous metals. *Acta Metallurgica*, 1971, vol. 19, pp. 779–788.
18. Safarik D. Elastic constants of amorphous and single-crystal Pd<sub>40</sub>Cu<sub>40</sub>P<sub>20</sub>. *Acta Materialia*, 2007, vol. 55, pp. 5736–5746.
19. Nordlund K., Ashkenazy Y., Averbach R.S., Granato A.V. Strings and interstitials in liquids, glasses and crystals. *Europhysics Letters*, 2005, vol. 71, no. 4, pp. 625–631.
20. Dederichs P.H., Lehmann C., Schober H.R., Scholz A., Zeller R. Lattice theory of point defects. *Journal of Nuclear Materials*, 1978, vol. 69-70, pp. 176–199.

#### REFERENCES

1. Debenedetti P.G., Stillinger F.H. Supercooled liquids and the glass transition. *Nature*, 2001, vol. 410, pp. 259–267.
2. Dyre J.C. The glass transition and elastic models of glass-forming liquids. *Reviews of Modern Physics*, 2006, vol. 78, pp. 953–972.
3. Langer J. The mysterious glass transition. *Physics Today*, 2007, vol. 60, pp. 8–9.
4. Granato A.V. Self-interstitials as basic structural units of liquids and glasses. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1994, vol. 55, no. 10, pp. 931–939.

21. Plimpton S. Fast Parallel Algorithms for Short-Range Molecular Dynamics. *Journal of Computational Physics*, 1995, vol. 117, pp. 1–19.
22. Sheng H.W., Kramer M.J., Cadien A., Fujita T., Chen M.W. Highly optimized embedded-atom-method potentials for fourteen fcc metals. *Physical Review B*, 2011, vol. 83, pp. 134118-1–134118-20.
23. Nose S. A unified formulation of the constant temperature molecular dynamics methods. *Journal of Chemical Physics*, 1984, vol. 81, pp. 511–519.
24. Hoover W.G. Canonical dynamics: Equilibrium phase-space distributions. *Physical Review A*, 1985, vol. 31, pp. 1695–1697.
25. Berendsen H.J.C., Postma J.P.M., van Gunsteren W.F., DiNola A., Haak J.R. Molecular dynamics with coupling to an external bath. *Journal of Chemical Physics*, 1984, vol. 81, pp. 3684–3690.
26. Verlet L. Computer “Experiments” on Classical Fluids. I. Thermodynamical Properties of Lennard-Jones Molecules. *Physical Review*, 1967, vol. 159, pp. 98–103.
27. Tuckerman M.E., Alejandre J., López-Rendon R., Jochim A.L., Martyna G.J. A Liouville-operator derived measure-preserving integrator for molecular dynamics simulations in the isothermal - isobaric ensemble. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 2006, vol. 39, pp. 5629–5651.
28. Dickey J.M., Paskin A. Computer Simulation of the Lattice Dynamics of Solids. *Physical Review*, 1969, vol. 188, pp. 1407–1418.
29. Robrock K.-H., Schilling W. Diaelastic modulus change of aluminum after low temperature electron irradiation. *Journal of Physics F: Metal Physics*, 1976, vol. 6, pp. 303–314.
30. Gordon C.A., Granato A.V. Equilibrium concentration of interstitials in aluminum just below the melting temperature. *Materials Science and Engineering A*, 2004, vol. 370, pp. 83–87.
31. Robrock K.-H. Mechanical Relaxation of Interstitials in Irradiated Metals. Berlin, Springer Publ., 1990. 105 p.
32. Rehn L.E., Holder J., Granato A.V., Coltman R.R., Young F.W. Effects of thermal-neutron irradiation on the elastic constants of copper. *Physical Review B*, 1974, vol. 10, pp. 349–362.
33. Holder J., Granato A.V., Rehn L.E. Effects of self-interstitials and close pairs on the elastic constants of copper. *Physical Review B*, 1974, vol. 10, pp. 363–375.
34. Scholz A., Lehman C. Stability Problems, Low-Energy-Recoil Events, and Vibrational Behavior of Point Defects in Metals. *Physical Review B*, 1972, vol. 6, pp. 813–826.

#### COMPUTER SIMULATION OF STRUCTURAL DEFECTS IN MONOCRYSTALLINE AND AMORPHOUS ALUMINUM

© 2018

*E.V. Goncharova*, postgraduate student of Chair of general physics,  
junior researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”

*R.A. Konchakov*, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, assistant professor of Chair of general physics,  
senior researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”

*A.S. Makarov*, PhD (Physics and Mathematics), assistant professor of Chair of general physics,  
senior researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”

*V.A. Khonik*, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Head of Chair of general physics,  
chief researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”

*Voronezh State Pedagogical University, Voronezh (Russia)*

*N.P. Koblelev*, PhD (Physics and Mathematics), senior researcher  
*Institute for Solid State Physics RAS, Chernogolovka (Russia)*

*Keywords:* non-crystalline aluminum; interstitial defects; shear susceptibility; interstitialcy theory.

*Abstract:* The paper covers the study of microscopic mechanisms of melting of metals and the structural relaxation of metallic glasses. Despite the extensive efforts and numerous important results obtained in this field, this task does not have a generally accepted final solution. One of the main issues is the microscopic nature of structural defects in metallic glasses – the nanosized regions, which are responsible for the evolution of their physical properties under the external influence. The interstitialcy theory (IT) proposed by Granato provides the advanced interpretation of nature of such defects. The interstitialcy theory is based on the unique hypothesis of the interstitialcy mechanism for melting of metals and associates heat effects in the glass with the shear elasticity of a maternal crystal.

The experimental study and computer simulation of the diaelastic effect near the melting temperature  $T_m$  of crystalline aluminum provided a strong evidence of the avalanche generation of interstitial dumbbells near  $T_m$ . In this work, the authors carried out the computer simulation to check the presence of interstitial dumbbells (or similar atomic structures) in the solid glassy state produced in the result of melt- quench.

The computer simulation shows that the amorphous aluminum produced by rapid melt quenching contains a significant number of “defects” similar in their properties to the interstitial dumbbells in the crystalline state. Although these “defects” do not have any well-defined uniform topological structure, unlike the defects of crystal, and they can be exactly identified by their basic properties – high sensitivity to shear stresses and typical low/high-frequency peculiarities of the spectrum of the vibrational density of states of the “defective” atoms.

Using the methods of molecular dynamics and statics, it is shown that the solid non-crystalline aluminum contains the specific atomic configurations similar to the interstitial dumbbells in the crystalline state, which can be considered as the amorphous structure “defects”.



## ПОВЕДЕНИЕ СПЕЧЕННОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ БРОНЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ

© 2018

*А.В. Гурских*, кандидат технических наук, начальник исследовательской лаборатории  
АО «ПОЛЕМА», Тула (Россия)

*Ключевые слова:* горячее прессование; интенсивная пластическая деформация; алюминиевая бронза; спеченные сплавы.

*Аннотация:* Спеченные алюминиевые бронзы широко применяются в машиностроении. Однако по прочности они уступают литым аналогам.

Известно, что спеченные материалы демонстрируют снижение механических свойств из-за остаточной пористости, возникающей при спекании. Для устранения вышеуказанных недостатков применяют операцию доуплотнения, совмещенную с формообразованием.

Применение дополнительного уплотнения спеченных материалов связано с определенными трудностями, так как плотность прессуемого образца повышается только за счет уменьшения его площади, с возрастанием нагрузки на инструмент, или за счет нагрева заготовки до температуры, заметно снижающей прочность прессуемого материала. При этом возможно окисление материала в открытых порах. После схлопывания пор дальнейшая деформация материала невозможна, а величины испытанной может оказаться недостаточно для существенной проработки структуры во всем объеме спеченного материала.

В ходе работы проведено исследование влияния температуры на поведение при сжатии спеченной бронзы однофазного Cu-15 ат. % Al и двухфазного Cu-24 ат. % Al составов. Установлено, что преобразование структуры спеченных бронз следует проводить при температуре не ниже 500 °С, когда деформация начинает распределяться по объему образцов относительно однородно. Однако предварительно рекомендуется избавиться от открытой пористости путем обработки при пониженных температурах. Степень деформации не должна превышать 30 % по высоте. Превышение данного значения деформации приводит к разрушению образца.

Показано, что в ходе высокотемпературной осадки происходит разрушение исходной структуры спеченной бронзы путем измельчения, что способствует увеличению прочности материала.

### ВВЕДЕНИЕ

Для спеченных материалов характерно наличие остаточной пористости и неоднородное распределением легирующих компонентов [1], что обуславливает снижение их механических свойств. Для устранения указанных дефектов спеченные изделия подвергают доуплотнению, совмещая его с формообразованием. В ходе такой обработки происходит модификация исходной структуры, степень которой зависит не только от величины наложенной деформации, но и от однородности ее распределения по объему образца, зависящей во многом от применяемой механической схемы деформации [2].

Например, при доуплотнении спеченных образцов в закрытых штампах изменение их поперечного сечения ограничено стенками пресс-формы, и процесс протекает при высоком гидростатическом давлении. Полностью устранить поры в массивных образцах таким методом нельзя, поскольку по мере уплотнения материала для заковки оставшихся пор требуется все большее гидростатическое давление [3]:

$$\eta = \exp(-\sqrt{3/c}(p/\tau)).$$

Здесь  $\eta$  – текущая пористость образца;

$p$  – гидростатическое давление на поверхности пор;

$\tau$  – максимальное напряжение сдвига материала;

$c$  – коэффициент формы пор, равный 0,33 для цилиндрических и 0,25 для сферических пор.

Ввиду ограниченности усилия прессования, повысить плотность прессуемого образца можно только за счет уменьшения его площади (при этом возрастает нагрузка на инструмент) или за счет нагрева заготовки до

температуры, заметно снижающей прочность прессуемого материала [4]. При этом нужны специальные меры по предотвращению окисления материала в открытых порах. После схлопывания пор дальнейшая деформация материала невозможна, а величины испытанной может оказаться недостаточно для существенной проработки структуры во всем объеме спеченного материала [5].

При свободной осадке образцов величина наложенной деформации ограничивается только мощностью прессового инструмента, поскольку в ходе осадки образцов происходит увеличение площади их сечения, а также деформационное упрочнение материала [6]. Течение материала осуществляется сдвигом вдоль плоскостей максимальных сдвигающих напряжений [7]. Если обрабатываемый материал пористый, то указанные плоскости проходят в том числе и через поры. Половинки пор смещаются, площадь их поверхности увеличивается, и берега пор начинают сближаться под действием гидростатического давления, величина которого определяется напряжением течения деформируемого материала. По мере сплющивания и вытягивания поры постепенно превращаются в трещины Гриффитса, устойчивость которых определяется уровнем растягивающих напряжений на концах трещин. Растрескивание материала вследствие самопроизвольного роста указанных дефектов определяет величину допустимой деформации спеченных образцов. Поскольку положение плоскостей максимальных сдвигающих напряжений при монотонных видах деформирования, к которым относится и свободная осадка, не меняется, то поры могут достаточно быстро принять опасные форму и размер, особенно если при этом пластическое течение материала склонно к локализации [8].

Цель работы – изучение влияния температуры прессования на предельную величину деформации, не вызывающую растрескивание образцов в процессе их одноосной осадки, а также особенности эволюции поровой и зеренной структуры спеченных бронзовых одно- и двухфазных сплавов при такой обработке.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве материала для исследований использовались спеченные при 950 °С прессовки цилиндрической формы, полученные из смесей порошков меди марки ПМС-1 и алюминия марки ПА-4, взятых в соотношении, соответствующем  $\alpha$ -твердому раствору алюминия в меди (15 ат. % Al – сплав 1), а также выходящему за область твердого раствора (24 ат. % Al – сплав 2) [9; 10]. Пористость спеченных образцов составляла 20–25 %. Одноосное сжатие образцов для определения предельно допустимых значений деформации осуществляли на установке МС-500 при комнатной температуре или после предварительного подогрева пресс-формы вместе с образцами в печи СНОЛ до 250–600 °С.

Шлифы для металлографических исследований микроструктуры образцов готовили по обычной методике. При анализе структуры особое внимание уделяли характеру эволюции пор, изменению их размеров и формы. Для описания формы пор использовали параметр  $K = d_{\min}/d_{\max}$  как соотношение их минимального диаметра к максимальному [11]. На основе полученных статистических данных строили гистограмму, позво-

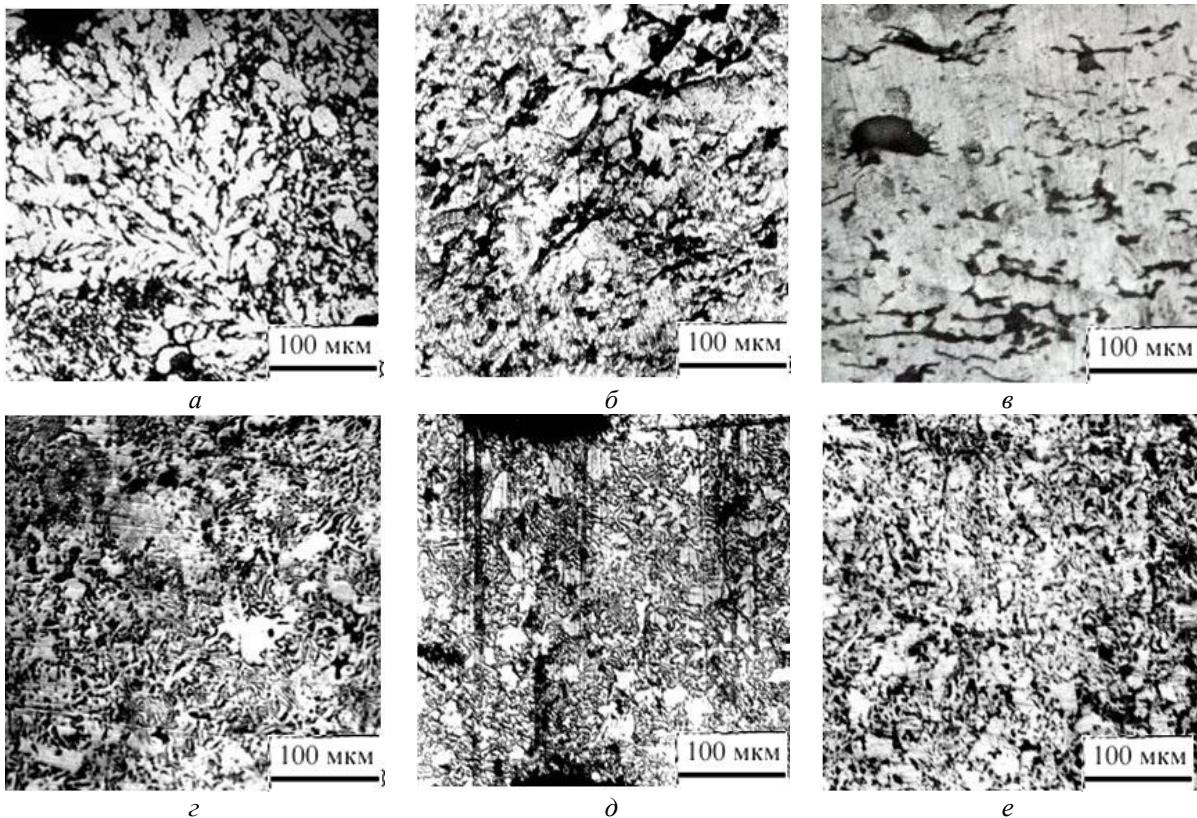
ляющую определить удельную долю пор определенной формы в исследуемом материале.

Дополнительно измеряли микротвердость деформированных образцов с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке на индентор 20 г и выдержке 10 с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В спеченном состоянии сплав 1 представляет собой однофазный материал на основе  $\alpha$ -твердого раствора алюминия в меди с выраженной дендритной структурой (рис. 1), средний размер зерен которой составляет 30–60 мкм (рис. 1 а). Другим элементом структуры спеченной бронзы были поры, с преобладанием узких вытянутых пор, расположенных в междендритных промежутках, и крупных округлых пор со средним диаметром 30–50 мкм, образовавшихся на месте растворившихся частиц алюминия в меди. Такая структура типична для спеченных сплавов с односторонней растворимостью легирующего элемента [12]. Микротвердость спеченного сплава в среднем составляла  $700 \pm 35$  МПа.

Основу структуры сплава 2 после спекания составляют чередующиеся со средней толщиной 2–3 мкм пластины  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фаз в которую включены крупные округлой формы зерна  $\alpha$ -фазы. Объемная доля  $\gamma$ -фазы составляла примерно 42 %, что согласуется с диаграммой фазового равновесия системы Cu–Al [13]. Микротвердость эвтектидных областей составляла  $2173 \pm 50$  МПа, а заключенных в них зерен твердого раствора  $\alpha$ -фазы –  $1175 \pm 20$  МПа.



**Рис. 1.** Микроструктура порошковых сплавов: сплав 1 в исходном состоянии (а), после деформирования при 20 (б) и при 600 °С (в); сплав 2 в исходном состоянии (г), после деформирования при 20 (д) и при 600 °С (е)

Поры в спеченных сплавах 1 и 2 имеют бимодальное распределение по форме и размерам. Средний диаметр крупных округлых пор, образовавшихся на месте растворившихся частиц алюминия в меди [14], в сплаве 1 составил 30–50 мкм, а в двухфазном сплаве 2 – 50–60 мкм. Мелкие и вытянутые поры располагались либо в междендритном пространстве в сплаве 1, либо в двухфазных областях в случае сплава 2 (рис. 1 а, 1 г) и при определении  $K$  не учитывались.

Суммарная величина осадки образцов из сплава 1 составляла примерно 30 %. В результате их плотность заметно повышается, однако характер уплотнения и особенности эволюции поровой структуры материала существенно зависят от температуры прессования [15]. О характере ее протекания и распределении деформации по объему образца можно судить по изменению формы кривой распределения параметра  $K$  (рис. 2), которая в спеченном материале есть кривая с выраженным максимумом вблизи больших его значений. Например, если при осадке образца деформация распределяется по объему равномерно, то и максимум будет смещаться в сторону меньших  $K$ , но форма кривой распределения останется примерно той же, что и до прессования. При неоднородном течении материала максимум будет размываться и снижаться за счет появления малых значений  $K$  [16].

Так, из рис. 2 а видно, что усадка образцов при температурах 20 и 370 °С протекает однородно не по всему объему образцов, особенно в первом случае, поскольку по окончании прессования остается значительная часть крупных округлых исходных пор. Напротив, при осадке при 600 °С таких пор практически не осталось, кривая (4) распределения параметра  $K$  имеет острый максимум в районе сильно сплюснутых пор. Из рис. 1 видно, что такие поры имеют не только сплюснутую форму, как после осадки при более низкой температуре (рис. 1 б), но и мелкий размер, поскольку многие из них оказались пережатыми, а стенки пор в местах пережима срослись (рис. 1 в). Исходная дендритная структура сплава 1 в процессе сжатия была разрушена (рис. 1), независимо от температуры прессования.

Изменения структуры пор при сжатии двухфазного сплава 2 имеют примерно такой же характер, как и в предыдущем случае (рис. 1 и 2). После осадки на 30 % в материале остается заметная доля (около 10 %) исходных округлых пор. При этом поры с  $K < 0,2$  появляются только при высокотемпературной осадке, т. е. при осадке образцов распределение деформации по их объему остается относительно неоднородным, поэтому пик кривой  $K$  не только смещается к большим значениям параметра, но и снижается. Кривая распределения  $K$  становится более пологой.

Из проведенного анализа кривых распределения  $K$  следует, что материал в окрестностях пор упрочнен сильнее, чем на большом расстоянии от них [17]. Происходит это по той причине, что вокруг исходных частиц алюминия быстро образуется интерметаллический слой меди, насыщенный атомами алюминия, который тормозит растекание эвтектической жидкости по объему прессовки. За время существования интерметаллидного барьерного слоя прилегающие к нему слои меди успевают сильнее насытиться атомами алюминия, чем отстоящие более далеко медные частицы, к которым алюминий подводится только после расплавления интерметаллидного слоя. Особенно заметен этот эффект в случае сплава 1. Однако при нагреве прессовки до 600 °С механическая прочность  $\alpha$ -фазы сильно снижается, эффект от твердо-растворного упрочнения нивелируется, и все поры сильно сжимаются (рис. 2 а, кривая 4).

В случае сплава 2 поры окружены слоем двухфазного материала, который менее подвержен высокотемпературному разупрочнению. Поэтому форма пор при ковке образцов подвергается меньшему изменению, и доля их с малыми значениями  $K$  незначительна. Пластическое течение по мере деформационного упрочнения материала начинает локализоваться в более мягких областях. Это видно по структуре сплава на рис. 1, где целые области, не охваченные пластическим течением, сохраняют свою исходную структуру с чередующимися пластинами  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фаз. Только нагрев сплава 2 до 600 °С, когда выделения второй фазы трансформируются из твердой  $\gamma$ -фазы в более пластичную  $\beta$ -фазу [4],

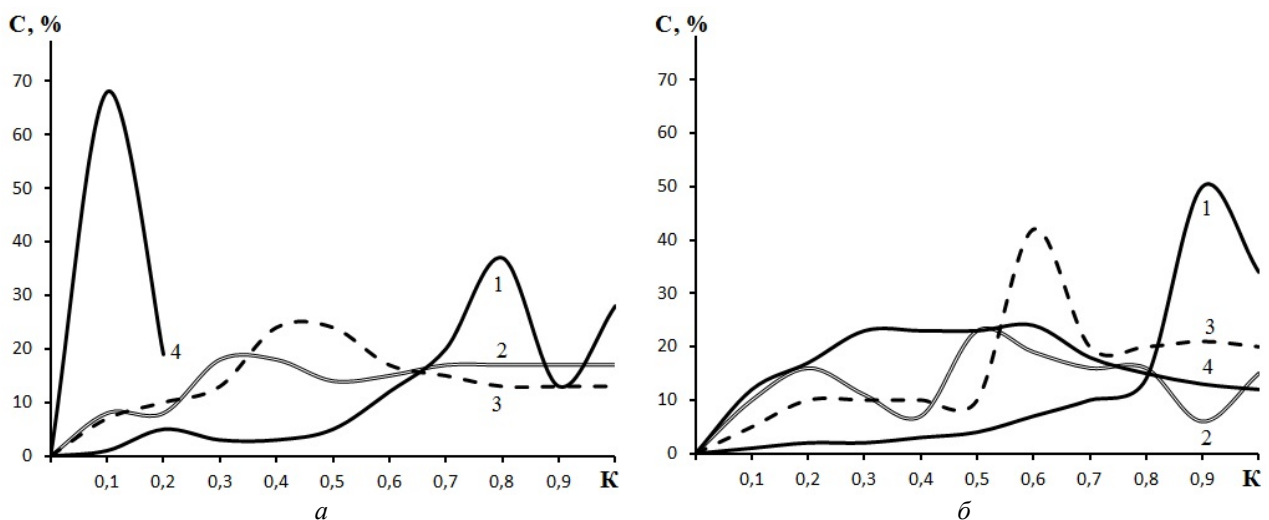


Рис. 2. Распределения пор по конфигурации ( $K=d_{min}/d_{max}$ ) в сплаве 1 (а) и сплаве 2 (б): 1 – в исходном состоянии; 2–4 – после осадки при 20, 370 и 600 °С соответственно

приводит к вовлечению в пластическое течение областей вокруг пор, что незамедлительно сказывается на появлении последних с малым значением  $K$  (рис. 2, кривая 4), и полному разрушению пластинчатых выделений на мелкие дисперсные частицы (рис. 1 е).

О существенном разупрочнении сплава 2 из-за распада  $\gamma$ -фазы при 600 °С свидетельствует и соответствующая кривая течения 5 на рис. 3. Прочность сплава при деформации образцов почти до 25 % практически не растет, только после деформационной проработки всего материала начинает медленно увеличиваться.

В случае более низкой температуры осадки, когда частицы второй фазы сохраняются в своей твердой и хрупкой  $\gamma$ -модификации, их влияние на скорость упрочнения материала при прессовании незначительное. Кривые течения 1–4 на рис. 3 у обоих сплавов имеют практически равный наклон. Видимо, при развитии деформации вдоль линий максимального сдвигового напряжения пластинчатые выделения хрупкой фазы легко разрушаются и не оказывают значительного сопротивления. При низких температурах прессования таких разрушений множество, микротрещины становятся источниками критических разрушающих напряжений и, сливаясь, быстро подрастают до критических размеров. Поэтому предельная степень осадки образцов двухфазного сплава 2 оказывается ограниченной, ее величина не дотягивает до 30 % (рис. 3 б, кривые 1 и 2).

Напряжение течения образцов сплава 2 композиционного состава определяется объемной долей твердой и мягкой фаз, т. е. по закону механической смеси. Однако с началом пластического течения включения  $\gamma$ -фазы разрушаются и влияния на темпы деформационного упрочнения материала практически не оказывают. Деформационное упрочнение спеченных бронз обеспечивается упрочнением пластичной  $\alpha$ -фазы. На это указывает тот факт, что наклоны кривых течения сплава 2 и сплава 1 фактически совпадают (рис. 3 а, 3 б), т. е. при осадке бронзовых образцов действует один и тот же механизм деформационного упрочнения материала, независимо от наличия в нем частиц хрупкой  $\gamma$ -фазы.

В то же время наклон деформационной кривой сплава 1 при холодном прессовании несколько выше, чем у остальных кривых (рис. 3 а, график 1), т. е. упрочнение материала происходило более быстрыми темпами. Специальных исследований по объяснению это-

му факту не проводилось, но можно предположить, что, по причине неравномерного распределения алюминия по объему спеченного материала, в некоторых его областях сопротивление движению дислокаций выше, например, из-за образования тормозящих скоплений по типу облаков Сузуки. С повышением температуры прессования и увеличением подвижности атомов алюминия дислокации от них отрываются более легко, или таких облаков вовсе не образуется из-за быстрого выравнивания концентрации элементов.

Как следует из рис. 3, поровая структура спеченных сплавов также оказывает незначительное влияние на скорость упрочнения, хотя, согласно данным в таблице 1, ее количественные характеристики существенно отличаются в зависимости от состава спеченной бронзы и температуры ее обработки [18]. В то же время, как видно из таблицы 1, величина конечной пористости деформированных образцов ( $P_k$ ) оказывает существенное влияние на микротвердость сплавов. В общем случае  $H_m$  тем выше, чем выше оказывается плотность материала после осадки, особенно это влияние заметно для образцов сплава 1. При этом степень деформационного упрочнения бронзовых образцов оказывает на величину микротвердости значительно более слабое влияние, чем плотность, и в результате  $H_m$  оказывается меньше у образцов, напряжение течения которых при прессовании было выше.

Данные в таблице 1 позволяют также сделать интересное заключение относительно характера пластического течения материала сплавов при прессовании. Так, при примерно равной величине осадки пористость образцов оказывается тем выше, чем ниже была температура их прессования. Это указывает на то, что сильное упрочнение и высокий предел текучести спеченной бронзы не способствуют однородному распределению деформации по объему осаживаемых образцов [19]. Повышенная концентрация алюминия и высокое напряжение течения материала вблизи больших исходных пор приводит к тому, что данные области не вовлекаются в пластическое течение образцов, а заключенные в них поры мало меняют свою конфигурацию. И только нагрев сплавов до 500 °С и выше способствует разупрочнению таких областей и вовлечению их в пластическое течение. В результате деформация исходных пор становится пропорциональной величине деформации всего образца.

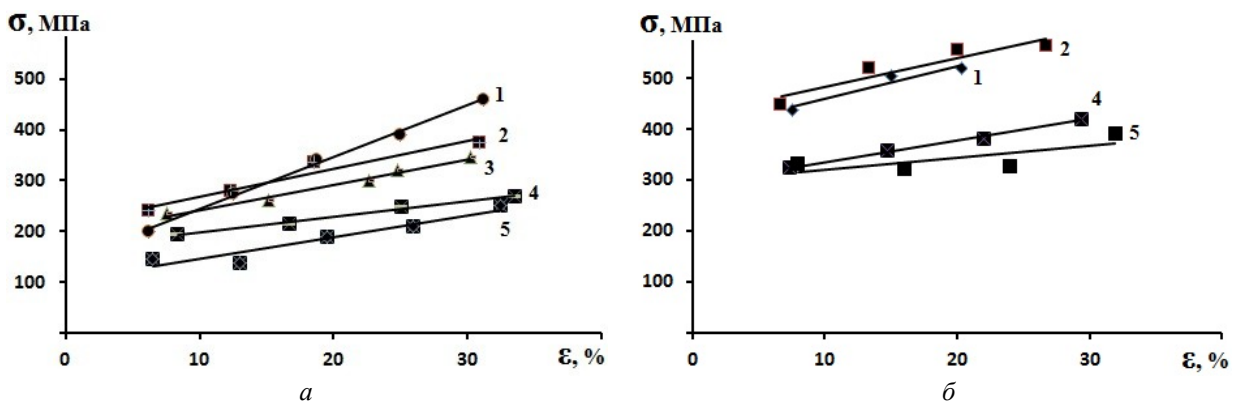


Рис. 3. Кривые «напряжения – деформация» для составов 1 (а) и 2 (б) при температуре деформирования 20 (1), 250 (2), 370 (3), 500 (4) и 600 °С (5)

Таблица 1. Влияние температуры деформирования ( $T_{\text{деф}}$ ) на остаточную пористость ( $P$ ) и микротвердость ( $H_{\mu}$ ) спеченного порошкового сплава Cu-15 ат. % Al (1) и Cu-24 ат. % Al (2)

Состав	$T_{\text{деф}}$ , °C	$P_{\text{к}}$ , %	$H_{\mu}$ , МПа
1	20	5,9±2,0	1300±50
	250	9,0±1,5	1233±61
	370	11,9±3,0	994±25
	500	5,2±1,7	1452±37
	600	3,5±0,6	1468±70
2	20	17,2±4,0	1359±41
	250	11,4±2,0	2020±72
	370	14,4±1,4	1223±43
	500	3,7±0,3	1833±27
	600	6,9±2,6	2452±67

### ВЫВОДЫ

Таким образом, из представленных результатов следует, что осадку спеченных бронзовых образцов с целью их уплотнения и модификации структуры следует проводить при температуре не ниже 500 °C. Однако ввиду возможного интенсивного окисления при нагреве спеченных пористых образцов из алюминиевой бронзы их пластическую обработку следует начинать при пониженных температурах до исчезновения открытой пористости, и только затем температура прессования может быть повышена.

В ходе высокотемпературной осадки происходит разрушение исходной дендритной или эвтектидной структуры спеченной бронзы, она измельчается, что способствует увеличению прочности материала. Кроме того, при высокой температуре прессования пластическое течение принимает однородный характер, что способствует исчезновению крупных остаточных пор и уплотнению бронзовых образцов, повышению их микротвердости. Таким образом, появляется возможность применения спеченной бронзы в нагруженных узлах трения, где прежде преимущественно использовались литые бронзы [20].

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-38-00200 мол\_а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Основы порошковой металлургии. Киев: Изд-во АН УССР, 1963. 420 с.
- Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. Процессы пластического структурообразования металлов. Минск: Наука і тэхніка, 1994. 232 с.
- Сегал В.М., Резников В.И., Малышев В.Ф. Вариационный функционал для пористого пластического тела // Порошковая металлургия. 1979. № 7. С. 6–11.
- Дорофеев Ю.Г., Гасанов Б.Г., Дорофеев В.Ю., Мищенко В.Н., Мирошников В.И. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий. М.: Металлургия, 1990. 206 с.
- Рябичева Л.А., Кравцова Ю.В. Влияние условий деформирования на характер течения пористого материала при одноосном сжатии // Сучасні проблеми металургії: Наукові вісті. Т. 5. Пластична деформація металів. Дніпропетровськ: Системні технології, 2002. С. 133–137.
- Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Ганаго О.А., Колмогоров В.Л., Трубин В.Н., Вайсбурд Р.А., Тарновский В.И. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургиздат, 1963. 672 с.
- Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
- Дорофеев Ю.Г. Динамическое горячее прессование пористых порошковых заготовок. М.: Металлургия, 1977. 216 с.
- Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. М.: Машиностроение, 2004. 336 с.
- Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. Новосибирск: Наука, 1991. 183 с.
- Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия, 1970. 376 с.
- Korosteleva E.N., Pribytkov G.A., Gurskikh A.V. Bulk changes and structurization in solid-phase sintering of titanium-silicon powder mixtures // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2009. Vol. 48. № 1-2. P. 8–12.
- Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 1 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. 996 с.
- Коростелева Е.Н., Русин Н.М., Гурских А.В. Изменение структуры спеченной алюминиевой бронзы после обработки методом интенсивной пластической деформации // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. № S2. С. 73–74.
- Rusin N.M., Skorentsev A.L., Mishin I.P. Evolution of structure and properties of Al-Sn composites under deformation // Perspektivnye materialy. 2015. Vol. 6. P. 5–17.
- Noskova N.I., Korshunov A.G., Korznikov A.V. Microstructure and tribological properties of Al-Sn, Al-Sn-Pb, and Sn-Sb-Cu alloys subjected to severe plastic deformation // Metal science and heat treatment. 2008. Vol. 50. № 11-12. P. 593–599.
- Арефьев Б.А., Кулешов В.В., Пановко В.М. Закономерности соединения порошковых частиц при пластической деформации // Порошковая металлургия. 1990. № 8. С. 15–20.
- Дидикин Г.Г., Гречанюк Н.К., Мовчан Б.А. Прочность и пластичность двухфазных конденсированных материалов Mo-Cu, Cr-Cu, Fe-Cu // Проблемы специальной электротехнологии. 1990. № 4. С. 51–55.

19. Дорофеев Ю.Г., Сергиенко С.Н. Оценка степени неравномерности уплотнения при поперечной горячей штамповке // Порошковая металлургия. 1995. № 3-4. С. 20–23.
  20. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Коростелева Е.Н. Исследование влияния структуры на триботехнические свойства самосмазывающихся материалов на примере композитов Al-Sn // Известия вузов. Физика. 2013. Т. 56. № 7-2. С. 321–327.
- REFERENCES**
1. Fedorchenko I.M., Andrievsky R.A. *Osnovy poroshkovoy metallurgii* [Fundamentals of powder metallurgy]. Kiev, AN USSR Publ., 1963. 420 p.
  2. Segal V.M., Reznikov V.I., Kopylov V.I. *Protsessy plasticheskogo strukturoobrazovaniya metallov* [Processes of plastic structuring of metals]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1994. 232 p.
  3. Segal V.M., Reznikov V.I., Malyshev V.F. Variation of the density of porous materials during plastic shaping. *Soviet powder and metal ceramics*, 1979, vol. 18, no. 7, pp. 427–431.
  4. Dorofeev Yu.G., Gasanov B.G., Dorofeev V.Yu., Mishenko V.N., Mirosnikov V.I. *Promyshlennaya tekhnologiya goryachego pressovaniya poroshkovykh izdeliy* [Industrial technology of hot pressing for powder products]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 206 p.
  5. Ryabicheva L.A., Kravtsova Yu.V. Influence of deformation conditions on the nature of the flow of a porous material under uniaxial compression. *Suchasni problemi metallurgii: Naukovi visti. T. 5. Plastichna deformatsiya metaliv*. Dnipropetrovsk, Sistemni tekhnologii Publ., 2002, pp. 133–137.
  6. Tarnovsky I.Ya., Pozdeev A.A., Ganago O.A., Kolmogorov V.L., Trubin V.N., Vaysburd R.A., Tarnovsky V.I. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1963. 672 p.
  7. Kachanov L.M. *Osnovy teorii plastichnosti* [Fundamentals of the theory of plasticity]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 420 p.
  8. Dorofeev Yu.G. *Dinamicheskoe goryachee pressovanie poristykh poroshkovykh zagotovok* [Dynamic hot pressing of porous powder blanks]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 216 p.
  9. Osintsev O.E., Fedorov V.N. *Med' i mednye splavy* [Copper and copper alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 336 p.
  10. Savitsky A.P. *Zhidkofaznoe spekanie system s vzaimodeystviyushchimi komponentami* [Liquid-phase sintering of systems with interacting components]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 183 p.
  11. Saltykov S.A. *Stereometricheskaya metallografiya* [Stereometric metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970. 376 p.
  12. Korosteleva E.N., Pribytkov G.A., Gurskikh A.V. Bulk changes and structurization in solid-phase sintering of titanium-silicon powder mixtures. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2009, vol. 48, no. 1-2, pp. 8–12.
  13. Lyakishev N.P., ed. *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh metallicheskih sistem* [Diagrams of the state of double metal systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996. Vol. 1, 996 p.
  14. Korosteleva E.N., Rusin N.M., Gurskikh A.V. Structure changes of sintered aluminum bronze upon severe plastic deformation. *Physical mesomechanics*, 2004, vol. 7, no. S2, pp. 73–74.
  15. Rusin N.M., Skorentsev A.L., Mishin I.P. Evolution of structure and properties of Al-Sn composites under deformation. *Perspektivnye materialy*, 2015, vol. 6, pp. 5–17.
  16. Noskova N.I., Korshunov A.G., Korznikov A.V. Microstructure and tribological properties of Al-Sn, Al-Sn-Pb, and Sn-Sb-Cu alloys subjected to severe plastic deformation. *Metal science and heat treatment*, 2008, vol. 50, no. 11-12, pp. 593–599.
  17. Araf'ev V.A., Kuleshov V.V., Panovko V.M. Powder particle bonding behavior during plastic working. *Soviet powder and metal ceramics*, 1990, vol. 29, no. 8, pp. 603–607.
  18. Didikin G.G., Grechanyuk N.K., Movchan B.A. Strength and plasticity of two-phase condensed materials Mo-Cu, Cr-Cu, Fe-Cu. *Advances in special electro-metallurgy*, 1990, no. 4, pp. 51–55.
  19. Dorofeev Yu.G., Sergienko S.N. Estimating compaction inhomogeneity in transverse hot pressing. *Soviet powder and metal ceramics*, 1996, vol. 34, no. 3-4, pp. 130–133.
  20. Rusin N.M., Skorentsev A.L., Korosteleva E.N. Investigation of the structure influence on tribotechnical properties of self-lubricating materials on example of Al-Sn composites. *Izvestiya vuzov. Fizika*, 2013, vol. 56, no. 7-2, pp. 321–327.

## THE BEHAVIOR OF SINTERED ALUMINUM BRONZE DURING PRESSURE TREATMENT

© 2018

*A.V. Gurskikh*, PhD (Engineering), Head of research laboratory  
*JSC "POLEMA", Tula (Russia)*

*Keywords:* hot pressing; intensive plastic deformation; aluminum bronze; sintered alloys.

*Abstract:* Sintered aluminum bronzes are widely used in mechanical engineering. However, they are inferior in strength to their cast analogs.

It is known that sintered materials demonstrate the decrease in mechanical properties due to the residual porosity that occurs during the sintering process. To eliminate the previously mentioned deficiencies, the post-compaction operation combined with shaping is used.

The application of additional compaction of sintered materials is associated with certain difficulties since the density of the pressed sample is increased only by reducing its area with the increment of the load on a tool, or by heating the workpiece up to the temperature noticeably reducing the strength of the pressed material. In such a case, it is possible to oxidize the material in open pores. After the collapse of the pores, further material deformation is impossible and the value of tested deformation can be insufficient for the substantial study of the structure within the entire volume of sintered material.

In the present work, the influence of temperature on the behavior of single-phase Cu-15 at. % Al and two-phase Cu-24 at. % Al compositions during the compression of sintered bronze is studied.

It is determined that the transformation of the structure of sintered bronzes should be carried out at the temperature not lower than 500 °C when the deformation begins to be distributed relatively uniformly within the volume of the samples. However, it is recommended to get rid of open porosity in advance by processing at low temperatures. The degree of deformation should not exceed 30 % in height. The exceeding of this deformation value leads to the sample destruction.

It is shown that during the high-temperature upsetting, the initial structure of sintered bronze is destroyed by means of grinding that increases the strength of the material.

## ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ С РАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И НАНОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРОЙ

© 2018

*А.Г. Денисова*, аспирант кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика»

*А.А. Викарчук*, доктор физико-математических наук, профессор,  
начальник НИО-3 «Нанокатализаторы и функциональные материалы»  
*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**Ключевые слова:** электроосаждение; двухкомпонентное покрытие; развитая поверхность; наноразмерная структура; катализатор; органические вещества; этиленгликоль; сточные воды.

**Аннотация:** В последнее время больше внимания стали уделять научным разработкам катализаторов, предназначенных для решения экологических проблем. Это в первую очередь связано с тем, что с каждым годом отмечается существенное увеличение загрязнения окружающей среды. Огромный урон экологии наносят сточные воды, сбрасываемые в водоемы. Одним из опасных токсичных загрязнителей сточных вод является этиленгликоль, входящий в состав антиобледенителей, применяемых в аэропортах. В качестве передовых методов очистки сточных вод от органических загрязнителей выделяют деструктивные технологии, к числу которых относится каталитическое окисление. Гетерогенное каталитическое окисление органических загрязнений воды требует создания эффективных катализаторов, состоящих из нескольких компонентов.

В статье предложена методика получения медь-цинковых покрытий с наноразмерной структурой и различным процентным содержанием компонентов в них. Методом электроосаждения из раствора электролита получены медь-цинковые покрытия двух типов. При помощи сканирующей электронной микроскопии, рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа, а также метода низкотемпературной газовой адсорбции изучена их морфология, элементный, фазовый состав и удельная поверхность. Показано, что такие покрытия состоят из кристаллов меди и пластин цинка наноразмерной толщины и обладают высокой удельной поверхностью. Отмечено, что увеличение концентрации цинка в покрытии приводит к изменению морфологии и увеличивает удельную площадь поверхности. Приведены результаты предварительных исследований каталитической активности разработанного материала при разложении этиленгликоля в присутствии смеси озон/кислород, которые уже на этом этапе показали степень очистки сточных вод от этиленгликоля от 64 до 78 %.

### ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире вопрос очистки сточных вод (далее – СВ) от токсичных загрязнителей до норм предельно допустимых концентраций (далее – ПДК) выходит на первый план [1–3]. Одним из таких загрязнителей является этиленгликоль, который входит в состав антиобледенителей, применяемых для опрыскивания самолетов в аэропортах [4; 5]. По данным [6], только аэропорты США и Канады тратят около 200–600 миллионов галлонов антиобледенительной жидкости, содержащей до 35 % гликолей. Она используется перед взлетом и на взлетно-посадочных полосах в холодный период времени, и отказ от ее использования пока невозможен. Антиобледенитель накапливается в специальных емкостях [6; 7]. Сбрасывать такие воды в стоки запрещено, поэтому необходима их очистка. На сегодняшний день эффективными и экологичными методами очистки СВ от вредных веществ являются передовые окислительные технологии деструкции [3; 8–10], в число которых входит озонирование. В работе [4] была предложена очистка сточных вод, содержащих этиленгликоль, при помощи озона. Для модельного раствора были выбраны различные концентрации этиленгликоля: низкие (5–100 мг/л) и высокие (500–1500 мг/л). Во всех случаях очистка показала от 20 до 93 % [4]. Однако большое количество озона вредно для окружающей среды, энергетически затратно, а обработка не всегда приводит к полному окислению органических соединений. Для повышения эффективности процесса необходимо применять гетерогенные катализаторы [11–13]. В связи с этим существует по-

требность в разработке и получении функциональных материалов, которые могли бы использоваться в качестве перспективного катализатора для очистки СВ от загрязнений. Работа катализатора зависит от содержания каталитически активного компонента. В качестве активного материала помимо благородных металлов [14; 15] также применяют Co, Mn, Cr, Zn, Cu, Ni и др., их оксиды и сочетания, причем многокомпонентные катализаторы могут быть наиболее эффективны [16; 17]. Данная статья посвящена получению и исследованию каталитически активных материалов, содержащих компоненты Cu и Zn, имеющих развитую поверхность и обладающих наноразмерной структурой.

Цель работы – получение и исследование морфологии поверхности и фазового состава двухкомпонентных (медь-цинковых покрытий) с большой удельной поверхностью, а также их испытания в качестве катализатора разложения этиленгликоля в воде.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе проводилось сравнение образцов двух типов, полученных методом электроосаждения при одинаковых технологических режимах, но с разным содержанием меди и цинка в покрытии. Для электроосаждения использовался потенциостат-гальваностат Elins P-150J и раствор электролита следующего состава: нитрат меди – 10 г/л и нитрат цинка – 100 г/л и 200 г/л для первого и второго типа образцов соответственно. Электроосаждение всех образцов проводилось по методике, описанной в работах [18–20], в потенциостатическом режиме ( $\eta=400$  мВ,  $t=30$  минут) при комнатной температуре.



В качестве катода использовался сетчатый носитель из нержавеющей стали марки 12Х18Н10 с размером ячейки 228 мкм ( $\pm 3$ ) и диаметром проволоки 90 мкм ( $\pm 2$ ).

Для исследования морфологии поверхности применялся электронный сканирующий микроскоп Carl Zeiss Sigma. Рентгеноспектральный анализ (РСА) проводился при помощи специальной приставки EDX TEAM EDS. Исследования рентгенофазового анализа (РФА) проводили на порошковом рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000 в отражающей геометрии с использованием  $\text{Cu-K}\alpha$  излучения (длина волны 1,5406 Å). Измерение площади удельной поверхности полученных материалов осуществлялось на газо-адсорбционном порозиметре Thermo Scientific Surfer методом Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). В качестве газа-адсорбата выступал азот. Перед измерением изотерм адсорбции проводили дегазацию образцов при 190 °С в течение 2 часов. Испытания на каталитическую активность проводились на лабораторной установке, созданной специалистами лаборатории НИО-3 «Нанокатализаторы и функциональные материалы». Объем реактора для каталитического окисления этиленгликоля 2 л, исходная концентрация этиленгликоля в воде превышала в несколько раз ПДК. Анализ содержания этиленгликоля в растворе проводили с помощью метода ГХ-МС на приборе GCMS-QP2010 Ultra со следующей пробоподготовкой: в пробу добавляли ацетонитрил, затем упариванием удаляли из нее воду с последующим переводом этиленгликоля в его диацетат. Смесь озона

с кислородом подавалась с расходом 2 л/мин (озона в том числе 5,8 мг/мин).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Электронно-микроскопические исследования образца первого типа (рис. 1) показали, что на сетке получено равномерное покрытие (см. рис. 1 а), состоящее из кристаллов меди средним размером от 350–500 нм, которые объединены в более крупные образования микронных размеров (см. рис. 1 б). Такие образования окружены нанопластинами цинка, имеющими толщину 20–50 нм (см. рис. 1 б).

Проведение РСА анализа показало (см. рис. 1 в), что в покрытии около 17 масс. % цинка и 80 масс. % меди, остальное кислород. РФА анализ определил наличие трех фаз: медь, оксид меди (I) и цинк (см. рис. 2).

Удельная поверхность образца первого типа составила  $50 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ , тогда как удельная поверхность исходной микросетки, на которую осуществляли электроосаждение, всего  $0,015 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$ . Таким образом, мы получили увеличение удельной поверхности гетерогенного катализатора на несколько порядков.

Анализ микрофотографий образца второго типа показал, что внешний вид покрытия на микросетке изменился. Поверхность образца представлена в виде сферических образований микронных размеров агломератов из наноразмерных медных кристаллитов, покрытых электроосажденным цинком наноразмерной толщины (см. рис. 3 а, 3 б).

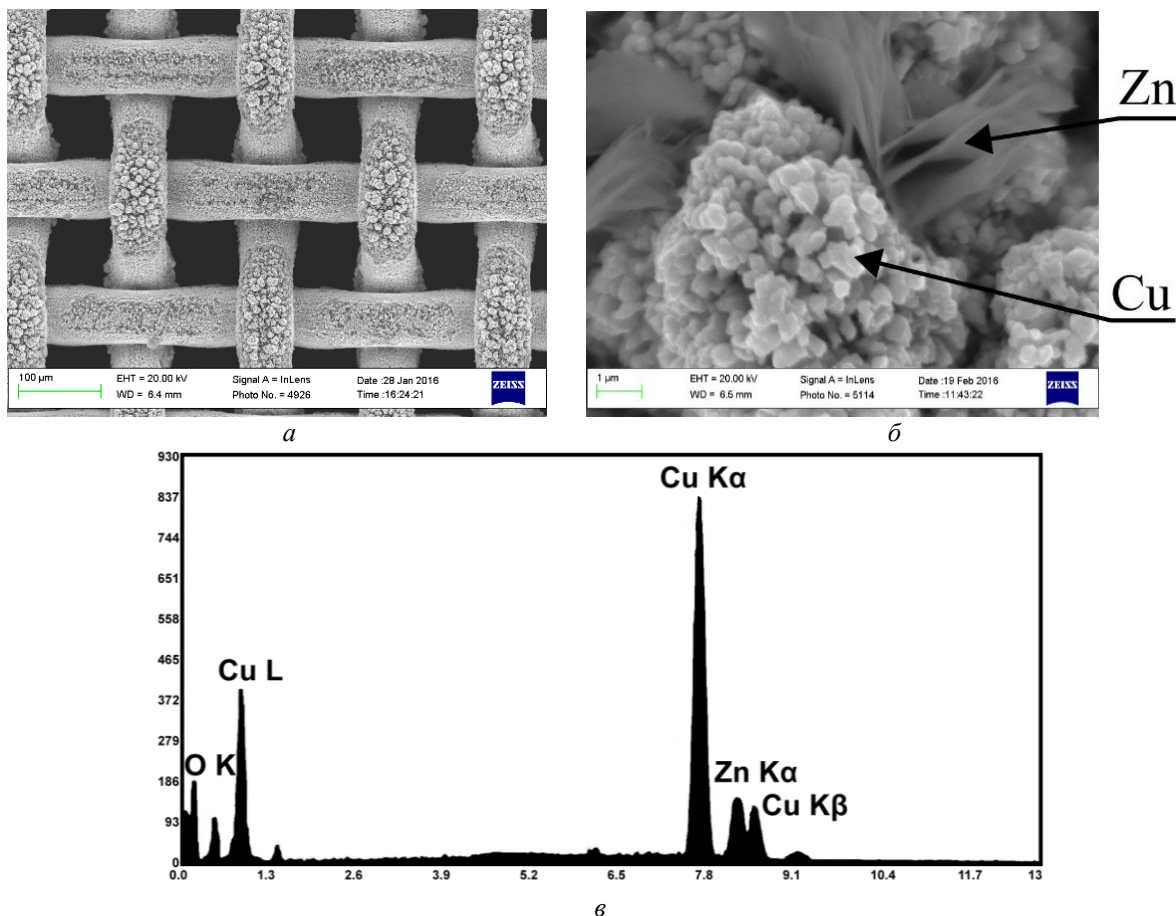


Рис. 1. СЭМ изображения (а, б) и РСА анализ (в) образца первого типа

РСА анализ покрытия второго образца (см. рис. 3 в) в массовых долях показал увеличение содержания цинка в покрытии почти в два раза (около 27 масс. % цинка, 60 масс. % меди, остальное кислород). При этом площадь удельной поверхности второго образца возросла примерно в 1,5 раза по сравнению с первым. РФА анализ показал наличие в составе покрытия таких же фаз, что и в первом образце.

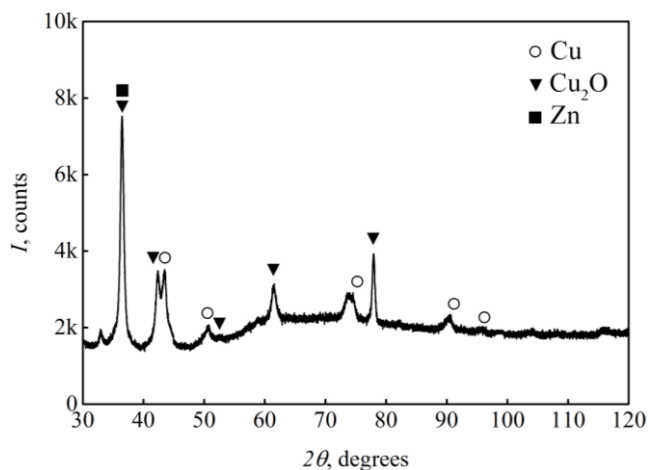
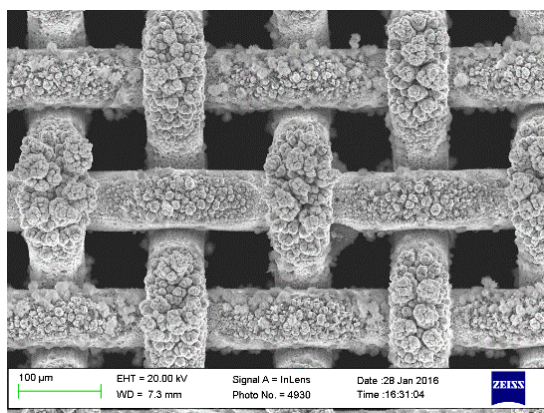


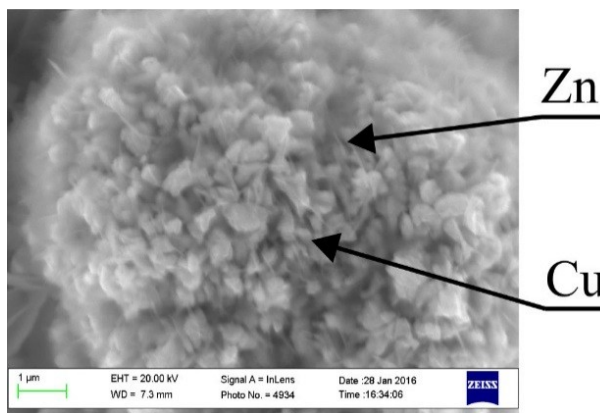
Рис. 2. Рентгенограмма образца первого типа

После проведенной аттестации образцов по фазовому и элементному составу и изучения особенностей морфологии поверхности полученные двухкомпонентные покрытия, нанесенные на сетчатый носитель, были исследованы на каталитическую активность при разложении этиленгликоля в воде. Испытания образцов проводились при одинаковых условиях в течение 5 часов.

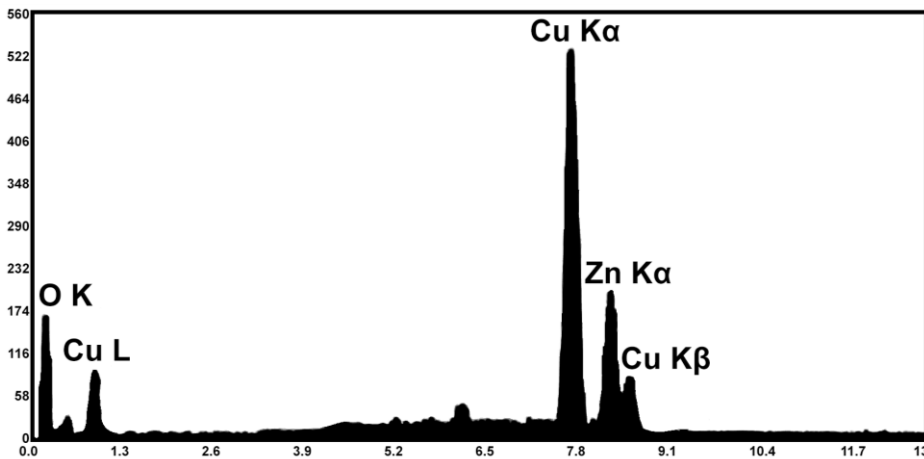
Из графиков (см. рис. 4) видно, что результат очистки воды в присутствии полученных покрытий существенно выше по сравнению с холостым экспериментом (носитель без катализатора) лишь в случае образца второго типа. Как говорилось ранее, для образца первого типа удельная поверхность носителя вместе с медьцинковым покрытием возросла на несколько порядков по сравнению с исходным носителем, а содержание цинка составляло 17 масс. %. Для образца второго типа удельная поверхность возросла примерно в 1,5 раза по сравнению с образцом первого типа и примерно в два раза увеличилось процентное содержание цинка в покрытии. Однако при холостом эксперименте (носитель без катализатора) степень очистки составила 59 %, в присутствии образца первого типа степень очистки возросла всего до 64 %, для образца второго типа достигла 78 %. Различия в активности покрытий по сравнению с холостым экспериментом, по нашему мнению, могут быть связаны с несколькими факторами: величиной удельной поверхности, различной морфологией покрытий и количеством образующихся гидроксильных радикалов. Если говорить о первых двух факторах,



а



б



в

Рис. 3. СЭМ изображения (а, б) и РСА анализ (в) образца второго типа

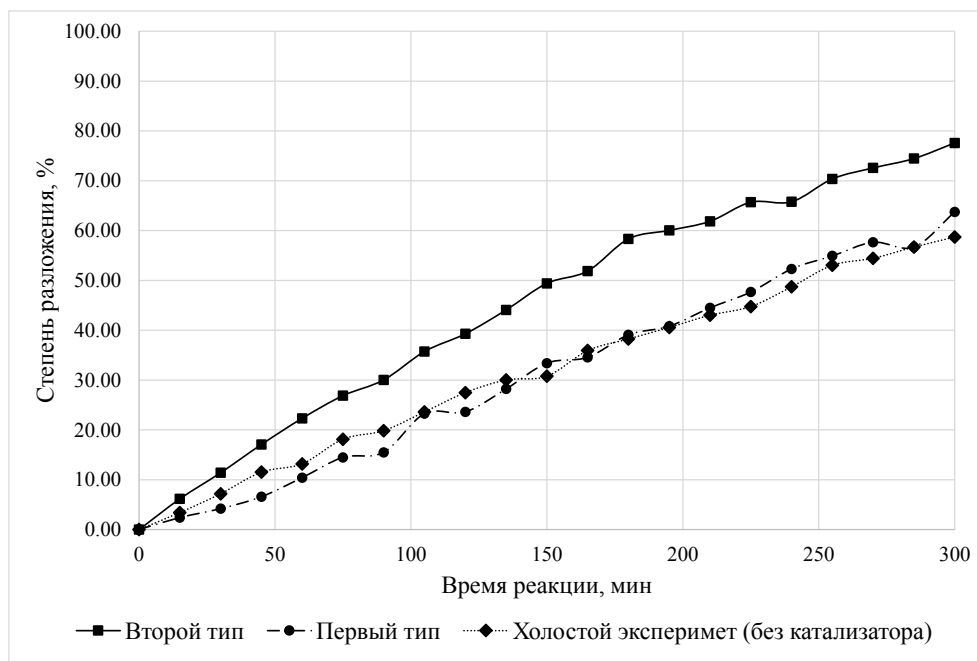


Рис. 4. Графики очистки воды от этиленгликоля в присутствии каталитически активного материала и без него

то увеличение удельной поверхности (в нашем случае) связано с особенностью морфологии поверхности. В образце первого типа – цинк в виде обособленных тонких пластинок, а в образце второго типа – однородная мелкодисперсная смесь частиц меди и цинка, что и привело к увеличению удельной поверхности. Что касается третьего фактора, то окисление этиленгликоля идет по двум направлениям. Для холостого эксперимента – окисление кислородными радикалами, образующимися из озона, а при введении катализатора помимо кислородных радикалов в системе появляются гидроксильные радикалы, обусловленные наличием цинка в покрытии. Для образца первого типа, по нашему мнению, образуется недостаточное количество гидроксильных радикалов, и их вклад относительно кислородных радикалов невелик, плюс малая удельная поверхность покрытия, поэтому не наблюдается значительное увеличение степени очистки. Для образца второго типа увеличение концентрации цинка в покрытии на 10 масс. % существенно меняет морфологию поверхности, приводит к увеличению удельной поверхности покрытия, а также к увеличению гидроксильных радикалов в процессе разложения этиленгликоля, поэтому степень разложения этиленгликоля образцом с более высоким содержанием цинка в покрытии привело к повышению эффективности очистки до 78 %.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Подобран состав электролита и режимы электроосаждения, которые позволили получить медь-цинковые покрытия с наноразмерной структурой и развитой поверхностью. Увеличение концентрации цинка в покрытии с 17 до 27 масс. % существенно меняет морфологию поверхности и увеличивает удельную поверхность с 50 до 80 м<sup>2</sup>г<sup>-1</sup>.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в стационарном слое электролита медь-цинковые покрытия показали положительные результаты в экспериментах разложения этиленгликоля в воде. Однако такие несущественные различия в разложении этиленгликоля при холостом эксперименте и с использованием медь-цинкового покрытия с низкой концентрацией цинка требуют дальнейших детальных исследований.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации 16.2314.2017/4.6 «Разработка комбинированной технологии и создание образцов инновационного оборудования, предназначенных для глубокой очистки сточных вод промышленных предприятий от опасных токсических загрязнений».*

*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. Zhou H., Smith D.W. Advanced technologies in water and wastewater treatment // Canadian Journal of Civil Engineering. 2001. Vol. 28. № 1. P. 49–66.
2. Викарчук А.А., Романов А.Е. Физические основы получения принципиально новых нанокатализаторов на основе меди // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2014. Т. 11. № 1. С. 87–98.
3. Heponiemi A. Catalytic wet air oxidation of industrial wastewaters. Oulu: Juvenes print tampere, 2015. 76 p.
4. Hassani H., Borghei S.M., Samadyar H., Mirbagheri S.A., Javid A.H. Treatment of waste water containing ethylene glycol using ozonation: kinetic and performance

- study // *Bulletin of Environment, Pharmacology Life Science*. 2013. Vol. 2. № 9. P. 78–82.
5. Preliminary Data Summary. Airport Deicing Operations (Revised). Washington: US EPA, 2000. 447 p.
  6. VSEP Filtration for Glycol Recovery. A cost-effective and energy efficient processing solution // *New Logic Research*. URL: vsep.com/pdf/GlycolRecovery.pdf.
  7. Рекомендации по проектированию сооружений для очистки стока дождевых и талых вод с территории аэропортов. М.: ГПИ и НИИ ГА, 1992. 49 с.
  8. Munter R. Advanced oxidation processes – current status and prospect // *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*. 2001. Vol. 50. № 2. P. 59–80.
  9. Ganzenko O., Huguenot D., Hullebusch E.D. van, Esposito G., Oturan M.A. Electrochemical advanced oxidation and biological processes for wastewater treatment: a review of the combined approaches // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. № 14. P. 8493–8524.
  10. Фаттахова А.М., Баландина А.Г., Хангильдин Р.И., Мартяшева В.А. Совершенствование способов очистки трудноокисляемых сточных вод // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2013. № 4. С. 37–42.
  11. Фаттахова А.М., Абдрахманова Ю.Ф., Кирсанова А.Г., Хангильдин Р.И., Мартяшева В.А., Шарафутдинова Г.М. Катализаторы для процессов окисления в водной среде // *Башкирский химический журнал*. 2010. Т. 17. № 5. С. 16–20.
  12. Фаттахова А.М., Кирсанова А.Г., Хангильдин Р.И., Мартяшева В.А. Применение катализаторов в окислительных процессах очистки природных и сточных вод // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2011. № 2. С. 83–87.
  13. Фаттахова А.М. Усовершенствованный способ очистки сточных вод полигонов захоронения отходов // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2015. № 2. С. 60–66.
  14. Бокий В.А. Опыт промышленной эксплуатации нанесенных сетчатых катализаторов // *Катализ в промышленности*. 2012. № 3. С. 62–65.
  15. Roy S., Vashishtha M., Saroha A.K. Catalytic Wet Air Oxidation of Oxalic Acid using Platinum Catalysts in Bubble Column Reactor: A Review // *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2010. Vol. 3. № 1. P. 95–107.
  16. Баландина А.Г., Хангильдин Р.И., Мартяшева В.А. Каталитические процессы очистки трудноокисляемых сточных вод и их аппаратное оформление // *Башкирский химический журнал*. 2015. Т. 22. № 3. С. 31–40.
  17. Конькова Т.В., Алехина М.Б., Садыков Т.Ф., Никифорова М.А., Михайличенко А.И., Либерман Е.Ю. Гетерогенные катализаторы фентона для очистки сточных вод от органических красителей // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2012. Т. 55. № 11. С. 85–89.
  18. Денисова А.Г. Медь-цинковое покрытие с высокой удельной поверхностью, полученное методом электроосаждения металла // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2016. № 2. С. 29–34.
  19. Денисова А.Г., Викарчук А.А., Фирсов В.С., Грызунова Н.Н. Медь-цинковое покрытие с высокой удельной поверхностью, полученное из комплексного электролита // *XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докладов*. Екатеринбург, 2016. С. 270–272.
  20. Грызунова Н.Н., Викарчук А.А., Денисова А.Г., Шафеев М.Р. Особенности получения многокомпонентных покрытий с развитой поверхностью методами электроосаждения и термообработки // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2017. Т. 14. № 1. С. 9–15.

## REFERENCES

1. Zhou H., Smith D.W. Advanced technologies in water and wastewater treatment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2001, vol. 28, no. 1, pp. 49–66.
2. Vikarchuk A.A., Romanov A.E. Principal physics of getting fundamentally new cuprum-based catalysts. *Fundamentalnye problemy sovremennogo materialovedeniya*, 2014, vol. 11, no. 1, pp. 87–98.
3. Heponiemi A. *Catalytic wet air oxidation of industrial wastewaters*. Oulu, Juvenes print tampere, 2015. 76 p.
4. Hassani H., Borghei S.M., Samadyar H., Mirbagheri S.A., Javid A.H. Treatment of waste water containing ethylene glycol using ozonation: kinetic and performance study. *Bulletin of Environment, Pharmacology Life Science*, 2013, vol. 2, no. 9, pp. 78–82.
5. Preliminary Data Summary. Airport Deicing Operations (Revised). Washington, US EPA, 2000. 447 p.
6. VSEP Filtration for Glycol Recovery. A cost-effective and energy efficient processing solution. *New Logic Research*. URL: vsep.com/pdf/GlycolRecovery.pdf.
7. Rekomendatsii po proektirovaniyu sooruzheniy dlya ochistki stoka dozhdevykh i talykh vod s territorii aeroportov [Recommendations for the design of facilities for cleaning the drain of rain and meltwater from the airports]. Moscow, GPI i NII GA Publ., 1992. 49 p.
8. Munter R. Advanced oxidation processes – current status and prospect. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*, 2001, vol. 50, no. 2, pp. 59–80.
9. Ganzenko O., Huguenot D., Hullebusch E.D. van, Esposito G., Oturan M.A. Electrochemical advanced oxidation and biological processes for wastewater treatment: a review of the combined approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, vol. 21, no. 14, pp. 8493–8524.
10. Fattakhova A.M., Balandina A.G., Khangildin R.I., Martyasheva V.A. Ways of improving the treatment of difficult oxidized waste water. *Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura*, 2013, no. 4, pp. 37–42.
11. Fattakhova A.M., Abdrakhmanova Yu.F., Kirsanova A.G., Khangildin R.I., Martyasheva V.A., Sharafutdinova G.M. Catalysts for oxidation processes in the water environment. *Bashkirskiy khimicheskij zhurnal*, 2010, vol. 17, no. 5, pp. 16–20.
12. Fattakhova A.M., Kirsanova A.G., Khangildin R.I., Martyasheva V.A. The usage of catalysers in the oxidation process on natural and waste water purification. *Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura*, 2011, no. 2, pp. 83–87.

13. Fattakhova A.M. Improved method of landfills wastewater treatment. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 2, pp. 60–66.
14. Bokii V.A. Experience from the industrial operation of gauze supported catalysts. *Catalysis in industry*, 2012, vol. 4, no. 3, pp. 191–194.
15. Roy S., Vashishtha M., Saroha A.K. Catalytic Wet Air Oxidation of Oxalic Acid using Platinum Catalysts in Bubble Column Reactor: A Review. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 2010, vol. 3, no. 1, pp. 95–107.
16. Balandina A.G., Khangildin R.I., Martyasheva V.A. Catalytic processes of cleaning of difficult oxidative wastewater and hardware design. *Bashkirskiy khimicheskij zhurnal*, 2015, vol. 22, no. 3, pp. 31–40.
17. Kon'kova T.V., Alekhina M.B., Sadykov T.F., Nikiforova M.A., Mikhaylichenko A.I., Lieberman E.Yu. Heterogeneous fenton catalysts for waste water purification from organic dyes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Khimiya i khimicheskay tehnologiya*, 2012, vol. 55, no. 11, pp. 85–89.
18. Denisova A.G. Cuprum-zinc coating with high specific surface produced by metal electrodeposition method. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 2, pp. 29–34.
19. Denisova A.G., Vikarchuk A.A., Firsov V.S., Gryzonova N.N. Copper-zinc coating with a high specific surface obtained from a complex electrolyte. *XX Mendeleevskiy syezd po obshchey i prikladnoy khimii. Tezisy dokladov*. Ekaterinburg, 2016, p. 270–272.
20. Gryzunova N.N., Vikarchuk A.A., Denisova A.G., Shafeev M.R. Features of fabrication multicomponent coatings with developed surface by electrodeposition and heat treatment. *Basic problems of material science*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. 9–15.

## TWO-COMPONENT COATINGS WITH A DEVELOPED SURFACE AND NANOSCALE STRUCTURE

© 2018

*A.G. Denisova*, postgraduate student of Chair “Nanotechnologies, material science and mechanics”

*A.A. Vikarchuk*, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,

Head of the Research and Development Department-3 “Nanocatalysts and functional materials”

*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

**Keywords:** electrodeposition; two-component coating; developed surface; nanoscale structure; catalyst; organic substances; ethylene glycol; wastewater.

**Abstract:** In recent times, more attention is paid to the scientific development of catalysts intended for the solution of the environmental problems. First of all, it is associated with the fact that, every year, the essential increase of the environmental pollution is observed. The Huge ecological loss is caused by the wastewater dumped to reservoirs. One of the dangerous toxic pollutants of wastewater is the ethylene glycol, which is a part of the deicers applied at the airports. The destructive technologies that include catalytic oxidation are considered the advanced methods of wastewater treatment from organic pollutants. The heterogeneous catalytic oxidation of organic pollutions of water requires the creation of the effective catalysts consisting of several components.

In this paper, the authors proposed a technique for producing copper-zinc coatings with a nanoscale structure and a different percentage content of their components. Using the electrodeposition method, the copper-zinc coatings of two types were produced. The scanning electronic microscopy, the X-ray spectral and X-ray phase analysis and the method of low-temperature gas adsorption were used to study morphology, phase and element structure and the specific surface of copper-zinc coatings. It is shown that such coatings consist of copper crystals and zinc plates of nanoscale thickness and have high specific surface area. It is noted that the increase of zinc concentration in the coating causes the morphology change and expands the specific surface area. The paper presents the results of preliminary studies of the catalytic activity of the developed material when decomposing ethylene glycol in the presence of ozone/oxygen mixture, which even at this stage showed the level of purification of wastewater from ethylene glycol from 64 to 78 %.

**ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ  
СВЕРХУПРУГИХ СПЛАВОВ Ti-Nb В МОДЕЛЬНОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ РАСТВОРЕ  
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

© 2018

*А.А. Коробкова*, аспирант

*А.М. Казакбиев*, аспирант

*Ю.С. Жукова*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

*С.М. Дубинский*, кандидат технических наук, доцент

*С.Д. Прокошкин*, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник

*М.Р. Филонов*, доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва (Россия)*

**Ключевые слова:** титановые сплавы; биосовместимость; усталостная долговечность; потенциал свободной коррозии.

**Аннотация:** Замена костной ткани – одна из самых актуальных проблем медицины, о чем свидетельствуют постоянно растущие объемы соответствующих рынков. К материалам для изготовления внутрикостных имплантатов предъявляются всё более высокие требования. Сплавы на основе титана широко применяются в качестве материала для биомедицинских имплантатов ввиду своей уникальной комбинации свойств: высокой прочности, низкой жесткости и плотности, высокой коррозионной стойкости и биосовместимости. Одной из наиболее распространенных причин выхода имплантата из строя является коррозионно-усталостное разрушение. Таким образом, коррозионное и электрохимическое исследования в условиях, имитирующих режим готовой продукции, имеют большое практическое значение.

Цель статьи – сравнение электрохимического и коррозионного поведения сверхупругого сплава Ti-22Nb-6Zr и коммерчески используемого чистого титана в модельных условиях эксплуатации имплантатов, работающих под нагрузкой, в растворе, имитирующем среду костной ткани. Измерение потенциала свободной коррозии проводилось на образцах из проволоки в 0,9 % физиологическом растворе NaCl (*B. Braun*, Германия) с применением изгибающих нагрузок (максимальная наведенная деформация 1,5 % с частотой циклов 0,9 Гц) до момента разрушения образца. В ходе исследований было показано, что сплав Ti-22Nb-6Zr превосходит чистый Ti с точки зрения коррозионно-усталостного поведения. В частности, он обладает более высокими значениями потенциала свободной коррозии, его пассивная оксидная пленка более устойчива к воздействию циклических нагрузок; соответственно, сплав обладает большей усталостной долговечностью, и количество циклов до разрушения значительно больше.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Материал для внутрикостных имплантатов должен соответствовать строгим требованиям биомеханической и биохимической совместимости с костной тканью. Это означает, что механические свойства материала должны быть близки к кости (модуль Юнга 10–40 ГПа, сверхупругое поведение с восстанавливаемой деформации не менее 2 %), он должен содержать только безопасные для организма элементы, обладать высокой коррозионной стойкостью в различных средах человеческого тела [1]. Данным требованиям отвечают сплавы на основе Ti-Nb-Zr, которые демонстрируют сверхупругое поведение из-за вызванного напряжением обратимого  $\beta(\text{ОЦК}) \leftrightarrow \alpha''$  (ромбическая решетка) мартенситного превращения [2; 3]. Было показано, что определенное количество легируемого элемента Nb в титановых сплавах является  $\beta$ -стабилизатором, обеспечивающим дополнительные возможности прецизионного управления структурой и фазовыми превращениями, а следовательно, и функциональными свойствами сплавов с памятью формы [4]. Тем не менее традиционным титановым материалам присуща высокая степень риска ослабления фиксации имплантата при эксплуатации, которое обусловлено следующими факторами: 1) резорбцией костной ткани, связанной с большим различием модулей упругости костных тканей (0,02–30 ГПа) и имплантата (около 100 ГПа); 2) слабой связью на границе раздела «имплантат – кость»; 3) отсутствием биологической

«опоры» для врастания костной ткани вследствие различной морфологии поверхностей имплантата и кости [5; 6].

Крайне актуальной проблемой имплантологии является создание материала, содержащего только безопасные компоненты, по механическим свойствам близкого к костной ткани и «дружественного» окружающим тканям с точки зрения состава и морфологии поверхности [1]. Но так как основную часть своего жизненного цикла имплант находится в организме человека в контакте с весьма агрессивными средами, например слюной, важной задачей является исследование электрохимических характеристик новых медицинских сплавов [7]. Для сверхупругих титановых сплавов ранее было показано [8; 9], что при высоких значениях деформации (около 1 %) процесс распространения усталостных трещин от коррозии тормозится за счет кристаллов деформированного мартенсита, которые формируют в вершине трещины во время полупериода. Тем не менее ценное сравнение коррозионно-усталостного поведения Ti-Nb-Zr и традиционного биомедицинского титана еще не проводилось. В настоящем исследовании чуть более высокое значение деформации (1,5 %) было выбрано для длительных испытаний коррозионной усталости Ti-22Nb-6Zr сплава и технически чистого титана в качестве элемента сравнения. Выбранная 1,5 % деформация располагается в пределах сверхупругого поведения сплава Ti-22Nb-6Zr, лежащего в основе механизма

обратимого мартенситного превращения, в то время как для чистого титана эта величина деформации, как известно, вызывает пластическую деформацию.

Цель работы – исследование электрохимического поведения в условиях, имитирующих режим эксплуатации готовых изделий.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

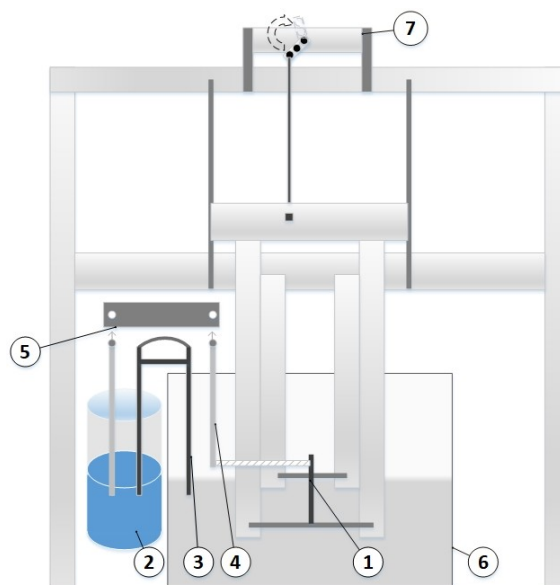
Исследуемый материал – сплав Ti-22Nb-6Zr (ат. % (далее – Ti-Nb-Zr) получали методом вакуумной дуговой плавки с расходуемым электродом в компании *Flowsolve Corp.*, США. После плавки слиток диаметром 80 мм подвергли горячей ковке при 1173 К и механической обработке до диаметра 50 мм после закалки. Затем слиток подвергали термомеханической обработке, которая включала волочение при комнатной температуре с промежуточными отжигами при 973 К в течение 30 мин, последнее волочение происходило без отжига и с остаточной накопленной степенью деформации  $\epsilon=0,3$  [10]. Конечный диаметр холоднокатаной проволоки составил 0,5 мм, длина – 100 мм. Затем проволоку подвергли последеформационному отжигу (ПДО) при 873 К в течение 30 мин с последующей закалкой в воде. Чистый  $\alpha$ -Ti (далее – Ti) подвергли термической обработке при 973 К в течение 30 мин, главным образом для получения рекристаллизованного состояния. Для удаления окисленной поверхности все образцы термически обработанной проволоки механически шлифовали наждачной бумагой из карбида кремния зернистостью P1200.

Для оценки морфологии микроструктуры и оценки успешности проведения термомеханической обработки проводили исследование на образце сплава Ti-Nb-Zr круглого сечения методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на микроскопе *JEOL 2100*. Образцы для ПЭМ получены из холоднокатаного листа с последующей термомеханической обработкой [10; 11].

В ходе испытаний на усталостную долговечность исследовали электрохимическое поведение образца при помощи потенциостата *IPC Pro MF (Volta Co, Россия)* при 298 К. В качестве электролита использовали 0,9 % физиологический раствор NaCl (*B. Braun, Германия*). Электрохимические потенциалы измеряли относительно насыщенного хлорсеребряного электрода Ag/AgCl (RE). Также получены данные по соответствующим потенциалам свободной коррозии, записанные на каждом этапе: стационарном и во время динамического циклирования.

Для испытаний разработана и сконструирована установка, позволяющая деформировать образец, находящийся непосредственно в модельном растворе, в интервале деформаций, характерных для наблюдаемых в реальных условиях эксплуатации. Схематичное и упрощенное представление конструкции разработанной экспериментальной установки показано на рис. 1. Испытательный стенд состоит из термически контролируемого герметичного термостата, электролитической ванны, образца (проволоки), являющегося рабочим электродом, потенциостата, подвижного модуля установки, сервомашинки, программируемых микроконтроллеров и системы сбора данных *Arduino*. Проволока для испытаний длиной 100 мм прикрепляется между вращающимися опорами (рис. 1). Оптимальная частота циклов

0,9 Гц и максимальная деформация 1,5 % использованы в каждом цикле до разрушения. Большое значение деформации 1,5 % выбрано из-за того, что оно примерно соответствует области сверхупругого поведения сплава Ti-Nb-Zr [12].



**Рис. 1.** Схематическое изображение экспериментальной установки, используемой для изучения влияния циклической деформации на электрохимическое поведение биомедицинских сплавов в физиологическом растворе: 1 – образец; 2 – электроды Ag/AgCl в электрохимической ячейке; 3 – электрод сравнения; 4 – рабочий электрод; 5 – потенциостат; 6 – емкость с физиологическим раствором; 7 – блок микроконтроллера *Arduino*

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 2 показаны светло- и темнопольные изображения и соответствующие дифракционные картины с осью зоны  $[120]_{\beta}$  сплава Ti-Nb-Zr после термомеханической обработки. Дифракционная картина с выбранной области показывает только рефлексы  $\beta$ -фазы. Темнопольное изображение, полученное при использовании рефлекса (002)  $\beta$ -фазы, обозначено белым кругом в дифракционной картине (рис. 2 б). Микроструктура состоит из субзерен, имеющих размер от 50 до 200 нм (см. рис. 2 а), которые образуются в результате процесса полигонизации, протекающей в ходе ПДО при 873 К [10; 11]. Субзеренная структура может также быть косвенно оценена по малому азимутальному углу размытия рефлекса  $\beta$ -фазы, что видно из соответствующей дифракционной картины.

В ходе электрохимических исследований значение потенциала свободной коррозии фиксировали непрерывно на различных стадиях испытания: до приложения нагрузки ( $E_{st}$ ), в начале циклирования ( $E_c$ ), в ходе циклирования и после разрушения. Результаты приведены в таблице 1 и на рис. 3.

На рис. 3 показаны значения потенциала свободной коррозии (мВ) в зависимости от времени (с) для образцов

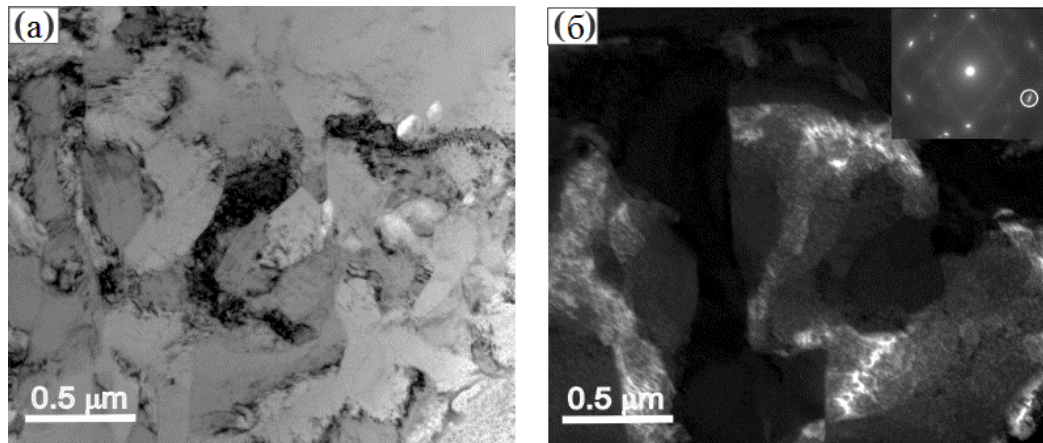


Рис. 2. Просвечивающая электронная микроскопия (а – светлое поле, б – темное поле), дифракционная картина с выбранной области (см. вставку) сплава Ti-Nb-Zr после ПДО при 873 К в течение 30 мин

Таблица 1. Результаты электрохимических испытаний на функциональную усталость с частотой 0,9 Гц и деформацией 1,5 % в каждом цикле

Сплав	Число циклов до разрушения ( $N_f$ )	$E$ (мВ) (Ag/AgCl)		
		$E_{st}$	$E_c$	$\Delta E_{(E_{st}-E_c)}$
Ti	700	-87	-413	-326
Ti-22Nb-6Zr	1500	-56	-199	-143

сплавов Ti и Ti-Nb-Zr, которые подвергали циклированию в 0,9 % физиологическом растворе NaCl.

Для наглядности значения потенциала образцов сплавов Ti и Ti-Nb-Zr, в частности при установившемся режиме ( $E_{st}$ ) и в начале цикла ( $E_c$ ), показаны отдельно от всего участка потенциала на рис. 4. Соответствующая разница  $\Delta E$  между  $E_{st}$  и  $E_c$  для сплавов Ti и Ti-Nb-Zr показана пунктирной линией на рис. 4.

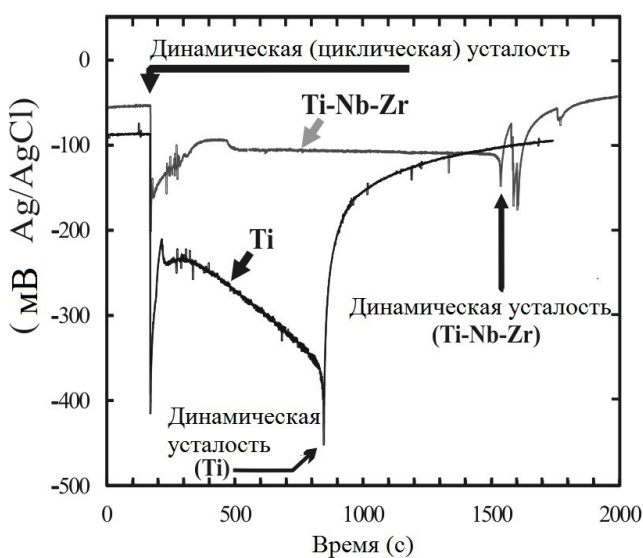


Рис. 3. Кривые изменения потенциала свободной коррозии при циклических усталостных испытаниях для образцов сплавов Ti и Ti-Nb-Zr при постоянной деформации 1,5 %

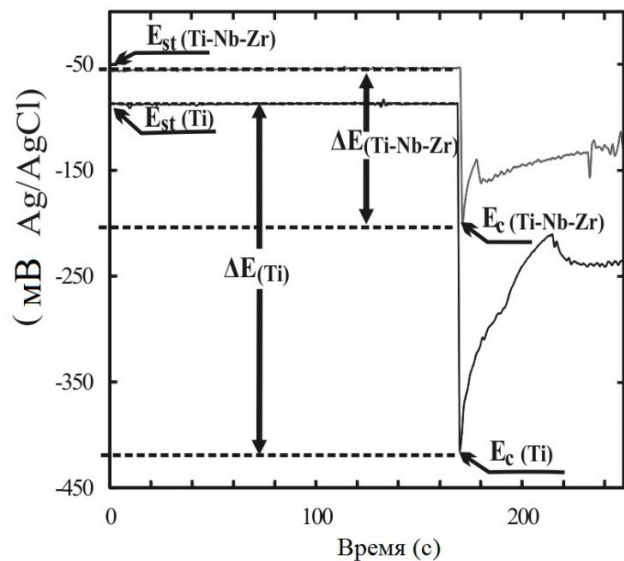


Рис. 4. Увеличенные кривые изменения потенциалов для изучения ( $E_{st}$ ) и ( $E_c$ ) во время проведения циклических испытаний для образцов Ti и Ti-Nb-Zr

Для расчета функциональной циклической долговечности сначала определяют значения потенциалов для инвариантных стационарных состояний. Значение потенциала для сплава Ti-Nb-Zr (-56 мВ) несколько выше, чем для Ti (-87 мВ). После установления стационарного значения потенциала для обоих образцов провели циклирование с постоянной деформацией 1,5 % в каждом цикле. Можно отметить, что после начала циклирования потенциал как для образцов Ti, так



и для образцов сплава Ti-Nb-Zr смещается в сторону отрицательных значений, что связано с разрушением пассивной оксидной пленки. Действительно, значения  $E_c$  для образцов Ti и сплава Ti-Nb-Zr равны  $-413$  и  $-199$  мВ соответственно. Кроме того,  $\Delta E$  больше для образцов из Ti по сравнению с Ti-Nb-Zr. Это означает, что пассивная оксидная пленка более устойчива при механическом изгибе в случае образца сплава Ti-Nb-Zr. Можно также отметить, что в начальный период циклирования  $E_c$  для Ti смещается в положительную сторону с течением времени на первых 50 циклах, что может быть связано с восстановлением механически поврежденного слоя, а также влиянием хемо-механического эффекта [12]. В разгрузочный период циклирования восстановление первоначального структурного состояния сплава с помощью обратного мартенситного превращения не вызывает механизмов деформации, связанных с дислокацией и, следовательно, позволяет достичь релаксации напряжений без пластической деформации [13; 14]. Однако позже  $E_c$  для Ti монотонно смещается в отрицательную сторону до разрушения, в основном из-за разрушения защитной пленки и/или за счет растворения пленки, преобладающего над ее формированием [15; 16].

С другой стороны, для сплава Ti-Nb-Zr наблюдается увеличение  $E_c$  с продолжительностью времени, в течение приблизительно первых 400 с, а затем  $E_c$  сохраняется на относительно стабильном значении. Следовательно, защитные пассивные слои начинают расти на поверхности образца сплава Ti-Nb-Zr, а затем образуют устойчивую пассивную пленку во время циклирования [17; 18]. Еще одна причина образования этой стабильной пассивной пленки может быть связана с «механохимическим эффектом», который вызывает граница раздела «образец/электролит» [12].

Сравнивая результаты микроструктурных данных с потенциалом свободной коррозии, можно сделать вывод, что увеличение функциональной усталостной долговечности сплава Ti-Nb-Zr связано, во-первых, со стабильным образованием пассивной пленки, которая препятствует местному коррозионному воздействию, и, во-вторых, обратимым мартенситным превращением под напряжением [19; 20], которое способствует замедлению распространения коррозионно-усталостной трещины.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Спроектирована, собрана и настроена эффективная испытательная установка для контроля электрохимических характеристик разрабатываемых сверхупругих биомедицинских сплавов в среде, имитирующей жидкую среду человеческого тела. Сплав Ti-Nb-Zr показал более высокое сопротивление коррозионно-усталостному разрушению по сравнению с титаном (более высокие значения потенциала свободной коррозии, большее число циклов до разрушения).

*Авторы выражают благодарность Ф.М. Иязу (PhD) и кандидату технических наук А.С. Конопацкому за участие в обсуждении полученных 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

- Hanawa T. Recent development of new alloys for biomedical use // Materials science forum. – Trans Tech Publications. 2006. Vol. 512. P. 243–248.
- 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. P. 18–24.
- Long M., Rack H.J. Titanium alloys in total joint replacement – a materials science perspective // Biomaterials. 1998. Vol. 19. № 18. P. 1621–1639.
- Brailovski V., Prokoshkin S., Gauthier M., Inaekyan K., Dubinskiy S., Petrzhik M., Filonov M. Bulk and porous metastable beta Ti-Nb-Zr(Ta) alloys for biomedical applications // Materials Science and Engineering: C. 2011. Vol. 31. P. 643–657.
- Okazaki Y. Effect of friction on anodic polarization properties of metallic biomaterials // Biomaterials. 2002. Vol. 23. № 9. P. 2071–2077.
- Brunette D.M., Tengvall P., Textor M., Thomsen P. Titanium in medicine: material science, surface science, engineering, biological responses and medical applications. Berlin: Springer, 2001. 1019 p.
- Ryhänen J. Biocompatibility of nickel- titanium shape memory metal and its corrosion behavior in human cell cultures // Journal of Biomedical Materials Research Part A. 1997. Vol. 35. № 4. P. 451–457.
- Stern M., Wissenberg H. The influence of noble metal alloy additions on the electrochemical and corrosion behavior of titanium // Journal of the Electrochemical Society. 1959. Vol. 106. № 9. P. 759–764.
- Fleck C., Eifler D. Corrosion, fatigue and corrosion fatigue behaviour of metal implant materials, especially titanium alloys // International Journal of Fatigue. 2010. Vol. 32. P. 929–935.
- Dubinskiy S.M., Prokoshkin S.D., Brailovski V., Inaekyan K.E., Korotitskiy A.V., Filonov M.R., Petrzhik M.I. Structure formation during thermomechanical processing of Ti-Nb-(Zr, Ta) alloys and the manifestation of the shape-memory effect // The physics of metals and metallography. 2011. Vol. 112. № 5. P. 503–516.
- Brailovski V., Prokoshkin S., Inaekyan K., Dubinskiy S., Gauthier M. Mechanical properties of thermomechanically processed metastable beta Ti-Nb-Zr alloys for biomedical applications // Materials science forum. 2012. Vol. 455. P. 706–709.
- Pustov Y.A., Zhukova Y.S., Filonov M.R. Kinetic regularities and mechanism of formation of nanosize passive films on titanium alloys for medical application and their electrochemical behavior in simulated physiological media // Protection of metals and Physical Chemistry Surfaces. 2014. Vol. 50. P. 315–321.
- Qiang L., Junjie L., Guanghao M., Xuyan L., Deng P. Influence of  $\omega$  phase precipitation on mechanical performance and corrosion resistance of Ti-Nb-Zr alloy // Materials & Design. 2016. Vol. 111. P. 421–428.
- Bai Y., Li S.J., Prima F., Hao Y.L., Yang R. Electrochemical corrosion behavior of Ti-24Nb-4Zr-8Sn alloy in a simulated physiological environment // Applied Surface Science. 2012. Vol. 258. № 8. P. 4035–4040.
- Campanelli L.C., Bortlan C.C., Carvalho da Silva P.S., Bolfarini C., Oliveira N.T.C. Effect of an amorphous

- titania nanotubes coating on the fatigue and corrosion behaviors of the biomedical Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb alloys // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical materials*. 2017. Vol. 65. P. 542–551.
16. Chelariu R., Bolat G., Izquierdo J., Mareci D., Gordin D.M., Gloriant T., Souto R.M. Metastable beta Ti-Nb-Mo alloys with improved corrosion resistance in saline solution // *Electrochimica Acta*. 2014. Vol. 137. P. 280–289.
  17. Zhukova Y.S., Pustov Y.A., Konopatsky A.S., Filonov M.R. Characterization of Electrochemical Behavior and Surface Oxide Films on Superelastic Biomedical Ti-Nb-Ta Alloy in Simulated Physiological Solutions // *Journal of Alloy Compounds*. 2014. Vol. 586. P. S535–S538.
  18. Zhukova Y.S., Pustov Y.A., Konopatsky A.S., Dubinskiy S.M., Filonov M.R., Brailovski V. Corrosion fatigue and electrochemical behavior of superelastic Ti-Nb-Ta alloy for medical implants under cyclic load conditions // *Materials Today Proceedings*. 2015. Vol. 2. P. S991–S994.
  19. Bai Y. Electrochemical corrosion behavior of Ti-24Nb-4Zr-8Sn alloy in a simulated physiological environment // *Applied Surface Science*. 2012. Vol. 258. № 8. P. 4035–4040.
  20. Racek J. Monitoring tensile fatigue of superelastic NiTi wire in liquids by electrochemical potential // *Shape Memory and Superelasticity*. 2015. Vol. 1. № 2. P. 204–230.
- REFERENCES**
1. Hanawa T. Recent development of new alloys for biomedical use. *Materials science forum*. – *Trans Tech Publications*, 2006, vol. 512, pp. 243–248.
  2. 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, pp. 18–24.
  3. Long M., Rack H.J. Titanium alloys in total joint replacement – a materials science perspective. *Biomaterials*, 1998, vol. 19, no. 18, pp. 1621–1639.
  4. Brailovski V., Prokoshkin S., Gauthier M., Inaekyan K., Dubinskiy S., Petrzhik M., Filonov M. Bulk and porous metastable beta Ti-Nb-Zr(Ta) alloys for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 2011, vol. 31, pp. 643–657.
  5. Okazaki Y. Effect of friction on anodic polarization properties of metallic biomaterials. *Biomaterials*, 2002, vol. 23, no. 9, pp. 2071–2077.
  6. Brunette D.M., Tengvall P., Textor M., Thomsen P. Titanium in medicine: material science, surface science, engineering, biological responses and medical applications. Berlin, Springer Publ., 2001. 1019 p.
  7. Ryhänen J. Biocompatibility of nickel- titanium shape memory metal and its corrosion behavior in human cell cultures. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 1997, vol. 35, no. 4, pp. 451–457.
  8. Stern M., Wissenberg H. The influence of noble metal alloy additions on the electrochemical and corrosion behavior of titanium. *Journal of the Electrochemical Society*, 1959, vol. 106, no. 9, pp. 759–764.
  9. Fleck C., Eifler D. Corrosion, fatigue and corrosion fatigue behaviour of metal implant materials, especially titanium alloys. *International Journal of Fatigue*, 2010, vol. 32, pp. 929–935.
  10. Dubinskiy S.M., Prokoshkin S.D., Brailovski V., Inaekyan K.E., Korotitskiy A.V., Filonov M.R., Petrzhik M.I. Structure formation during thermomechanical processing of Ti-Nb-(Zr, Ta) alloys and the manifestation of the shape-memory effect. *The physics of metals and metallograph*, 2011, vol. 112, no. 5, pp. 503–516.
  11. Brailovski V., Prokoshkin S., Inaekyan K., Dubinskiy S., Gauthier M. Mechanical properties of thermomechanically processed metastable beta Ti-Nb-Zr alloys for biomedical applications. *Materials science forum*, 2012, vol. 455, pp. 706–709.
  12. Pustov Y.A., Zhukova Y.S., Filonov M.R. Kinetic regularities and mechanism of formation of nanosize passive films on titanium alloys for medical application and their electrochemical behavior in simulated physiological media. *Protection of metals and Physical Chemistry Surfaces*, 2014, vol. 50, pp. 315–321.
  13. Qiang L., Junjie L., Guanghao M., Xuyan L., Deng P. Influence of  $\omega$  phase precipitation on mechanical performance and corrosion resistance of Ti-Nb-Zr alloy. *Materials & Design*, 2016, vol. 111, pp. 421–428.
  14. Bai Y., Li S.J., Prima F., Hao Y.L., Yang R. Electrochemical corrosion behavior of Ti-24Nb-4Zr-8Sn alloy in a simulated physiological environment. *Applied Surface Science*, 2012, vol. 258, no. 8, pp. 4035–4040.
  15. Campanelli L.C., Bortlan C.C., Carvalho da Silva P.S., Bolfarini C., Oliveira N.T.C. Effect of an amorphous titania nanotubes coating on the fatigue and corrosion behaviors of the biomedical Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb alloys. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical materials*, 2017, vol. 65, pp. 542–551.
  16. Chelariu R., Bolat G., Izquierdo J., Mareci D., Gordin D.M., Gloriant T., Souto R.M. Metastable beta Ti-Nb-Mo alloys with improved corrosion resistance in saline solution. *Electrochimica Acta*, 2014, vol. 137, pp. 280–289.
  17. Zhukova Y.S., Pustov Y.A., Konopatsky A.S., Filonov M.R. Characterization of Electrochemical Behavior and Surface Oxide Films on Superelastic Biomedical Ti-Nb-Ta Alloy in Simulated Physiological Solutions. *Journal of Alloy Compounds*, 2014, vol. 586, pp. S535–S538.
  18. Zhukova Y.S., Pustov Y.A., Konopatsky A.S., Dubinskiy S.M., Filonov M.R., Brailovski V. Corrosion fatigue and electrochemical behavior of superelastic Ti-Nb-Ta alloy for medical implants under cyclic load conditions. *Materials Today Proceedings*, 2015, vol. 2, pp. S991–S994.
  19. Bai Y. Electrochemical corrosion behavior of Ti-24Nb-4Zr-8Sn alloy in a simulated physiological environment. *Applied Surface Science*, 2012, vol. 258, no. 8, pp. 4035–4040.
  20. Racek J. Monitoring tensile fatigue of superelastic NiTi wire in liquids by electrochemical potential. *Shape Memory and Superelasticity*, 2015, vol. 1, no. 2, pp. 204–230.

**THE STUDY OF THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF SUPERLASTIC Ti-Nb ALLOYS  
IN A MODEL PHYSIOLOGICAL SOLUTION UNDER THE CYCLIC LOADING**

©2018

*A.A. Korobkova*, postgraduate student

*A.M. Kazakbiev*, postgraduate student

*Yu.S. Zhukova*, PhD (Engineering), senior researcher

*S.M. Dubinsky*, PhD (Engineering), Associate Professor

*S.D. Prokoshkin*, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, chief researcher

*M.R. Filonov*, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, vice-rector for science and innovation

*National University of Science and Technology "MISIS", Moscow (Russia)*

*Keywords:* titanium alloys; biocompatibility; fatigue life; free corrosion potential.

*Abstract:* The replacement of bone tissue is one of the most important issues of medicine, as evidenced by the ever-increasing volumes of relevant markets. The more and more advanced requirements are imposed on the materials for the intrabone implants. For many years, the titanium-based alloys are widely used as a material for biomedical implants due to their unique combination of properties: high strength, low hardness and density, high corrosion resistance, and biocompatibility. One of the most common reasons for the implant's breakage is the corrosion-fatigue failure. Thus, the corrosion and electrochemical studies in the conditions simulating the finished product mode are of great practical importance.

The aim of this paper is the comparison of the electrochemical and corrosion behavior of Ti-22Nb-6Zr superelastic alloy and the commercially used pure titanium under the simulated conditions of service of load-bearing bone implants in the solution simulating the bone tissue environment. Free corrosion potential was measured on wire samples in the 0.9 % NaCl physiological solution (*B. Braun*, Germany) when applying bending load (maximum induced strain is 1.5 % with the cyclic frequency of 0.9 Hz) until the sample failure. The study shows that the Ti-22Nb-6Zr alloy is better in terms of corrosion-fatigue behavior compared to pure Ti. In particular, it possesses the higher free corrosion potential values and its passive oxide film is more resistant to the impact of cyclic loading; consequently, the alloy possesses the longer fatigue life and the number of cycles until the implant's failure is much greater.

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАНОКЛАСТЕРАМИ СЕРЕБРА

© 2018

**В.В. Кувшинов**, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»

*Севастопольский государственный университет, Севастополь (Россия)*

**Б.Л. Крит**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии производства приборов  
и информационных систем управления летательных аппаратов»

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва (Россия)*

**Н.В. Морозова**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Медицинская техника»

*Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва (Россия)*

**Д.Ю. Кукушкин**, ассистент кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»

**А.В. Савкин**, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва (Россия)*

**Ключевые слова:** фотопреобразователь; фотоэлектрический модуль; сетевые электростанции; наночастицы; солнечный элемент; фоклин; нанокластеры серебра; мощностные характеристики.

**Аннотация:** Проведен анализ режимов работы фотоэлектрических преобразователей, используемых для солнечных установок и предназначенных для работы как в составе единой энергосистемы, так и для нужд индивидуальных потребителей. Установлено, что для увеличения мощностных характеристик фотоэлементов солнечных установок весьма эффективно использование солнечных концентраторов специальных конструкций. Вместе с тем это существенно усложняет оборудование, поскольку связано с необходимостью оснащения фотоэлектрической установки дополнительными системами слежения и позиционирования относительно солнца. В настоящей работе для концентрации солнечного излучения авторами предложено использовать модифицирование приемной поверхности фотоэлементов нанесением покрытия из наночастиц серебра, полученных импульсно-искровым методом диспергирования. Результаты проведенных экспериментов показали, что осажденные на поверхность нанокластеры серебра, исполняя роль плазмонных частиц, способствуют увеличению количества фотонов, участвующих в фотоэлектрическом процессе при постоянном потоке падающей солнечной радиации. Это позволило значительно улучшить мощностные характеристики штатных фотоэлектрических преобразователей, используемых при сборке заводских фотоэлектрических модулей для сетевых электростанций. Увеличение мощности фотоэлементов с нанопокрывтием возросло в среднем на 20 %, при этом даже в случае бокового падения солнечного излучения на их рабочую поверхность мощностные характеристики фотопреобразователей были близки к теоретическим значениям, в отличие от солнечных элементов без покрытия.

Полученные данные будут способствовать улучшению показателей и увеличению эффективности фотоэнергетических установок и устройств различного назначения, не увеличивая при этом площадь их приемной поверхности, что существенно расширит сферу использования солнечных энергетических установок.

### ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост цен на традиционные энергоносители и на электрическую энергию, получаемую в основном от сжигания ископаемого топлива, обусловлен прежде всего ростом себестоимости добываемого топлива и увеличением затрат на его транспортировку. В то же время наметилась устойчивая тенденция снижения стоимости энергии, получаемой от возобновляемых источников. На данный момент актуальной является задача снижения потребления традиционных топливно-энергетических ресурсов за счет использования альтернативных источников энергии [1; 2]. В частности, этого можно добиться путем внедрения установок по прямому преобразованию солнечной энергии. Использование солнечной энергии для электроснабжения коммунальных и промышленных объектов является одним из путей обеспечения энергетической безопасности России и занимает важное место в развитии возобновляемой энергетики. Этому способствуют наличие ресурсной и технологической базы, климатические условия, которые позволяют применять солнечные установки в большом количестве регионов страны.

В условиях нынешнего положения в сфере электроснабжения Крыма необходимо в срочном порядке устанавливать дополнительные мощности по выработке электрической энергии как для промышленных объектов, так и для индивидуальных потребителей [3]. В частности, многие жилые дома и учреждения уже обеспечены бензиновыми и дизельными генераторами небольшой мощности от 1 до 5 кВт и более. Однако для эффективной работы этих систем необходимо постоянное энергообеспечение полуострова традиционными энергоресурсами (углеводородами) в размерах, значительно превышающих их плановые поставки. В условиях не только энергетической, но и транспортной блокады полуострова эти поставки становятся не только дорогостоящими, но и проблематичными. С учетом всего вышесказанного, развитие альтернативных (ветровых и солнечных) энергоустановок является одной из приоритетных задач.

В Крыму имеется несколько сетевых фотоэлектрических станций суммарной мощностью около 400 МВт, передающих выработанную электроэнергию непосредственно в общую энергосистему [3]. Однако непостоянство

потока солнечной энергии приводит к неравномерной выработке энергии этими станциями и, как следствие, оказывает негативное воздействие на электрические сети и подстанции. Также эти электростанции не решают задачу надежности поставки электрической энергии для Крыма. Из-за постоянных перебоев с электроснабжением многие потребители в Крыму установили аккумуляторные системы для бесперебойного электроснабжения. При оснащении аккумуляторных систем жилых домов фотоэлектрическими модулями можно значительно снизить электропотребление в масштабах Крыма, а также обеспечить автономное электроснабжение индивидуальных потребителей.

Главной проблемой при использовании солнечных установок является невысокая плотность и непостоянство потока солнечной радиации, преобразовываемой в тепловую и электрическую энергию, их низкий КПД и эффективность использования и, как следствие, высокая себестоимость на единицу мощности. Коэффициент преобразования солнечной радиации в электрическую энергию кремниевыми фотоэлектрическими модулями составляет 15...20 % [4]. Невысокий радиационный потенциал солнечной энергии определяет более высокие требования к эффективности использования солнечных установок для электрообеспечения индивидуальных потребителей, к методам определения их основных параметров, к способам увеличения их мощностных характеристик.

Одно из направлений повышения КПД подобных систем – использование комбинированных солнечных установок, совмещающих на одной приемной поверхности тепловой коллектор и фотоэлектрический модуль [5; 6]. По мере развития современной науки и техники стало появляться все больше термофотоэлектрических установок, благодаря которым с одной и той же рабочей поверхности одновременно вырабатывается тепловая и электрическая энергия. Такие термофотоэлектрические солнечные установки можно с уверенностью отнести к новому классу гелиотехники [5–8]. Однако фотоэлектрический коэффициент преобразования у этих установок небольшой из-за неравномерности падения солнечной радиации на их приемную поверхность, и выработка электрической энергии у них невысокая [9].

Дополнительно улучшить показатели термофотоэлектрических установок возможно при использовании концентраторов специальных конструкций [10], а также различных функциональных покрытий приемной поверхности фотоэлектрических элементов [11; 12].

Цель работы – поиск путей улучшения показателей фотоэлектрических преобразователей, в частности повышения их мощностных характеристик, без увеличения при этом площади приемной поверхности.

## ОБРАЗЦЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Повышение мощности фотоэлементов не экстенсивными способами возможно за счет увеличения апертуры приемной поверхности, поэтому изучение изменения вольт-амперных и мощностных характеристик фотоэлектрических солнечных установок проводили с использованием специально сконструированных концентраторов потока солнечного излучения и концентраторов, представляющих собой различные функциональ-

ные покрытия приемной поверхности фотоэлектрических элементов. Эксперименты проводились на кафедрах «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети» Института ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета и «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов» и «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) с участием кафедры «Медицинская техника» Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования. В данной работе в качестве основного объекта исследования был выбран серийный заводской фотоэлектрический поликремневый элемент. Из аналогичных элементов состоят модули российского производства PS-250 [13], используемые на крымских сетевых электрических станциях (рис. 1).

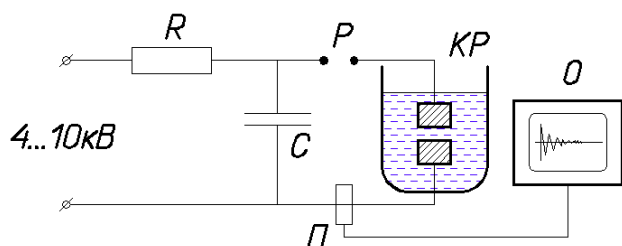


Рис. 1. Внешний вид фотоэлектрического модуля PS-250

Для увеличения плотности светового потока на фотоэлектрические преобразователи в данной работе были использованы низкопотенциальный плоский концентратор собственной разработки [10; 13] и модернизированный концентратор, повышающий равномерность распределения лучей по приемной поверхности фотоэлектрических модулей [14; 15], которые устанавливали на панели фотоэлектрической установки.

Для повышения ресурса работы, стабилизации фотоэлектрических характеристик и увеличения электрической выработки фотопреобразователя поверхность солнечных элементов модифицировали нанокластерами серебра размером 5–20 нм. Такой тип напыления увеличивает защитные показатели фотоэлементов (в частности, при работе на морском побережье) и за счет специального нанопокрывания увеличивает количество фотонов, которые участвуют в фотоэлектрическом эффекте при постоянном потоке падающей солнечной радиации.

Наночастицы серебра были получены импульсно-искровым методом диспергирования металлов [16–18]. Принцип действия установки поясняется на рис. 2, где показана схема питания реактора.



**Рис. 2.** Схема питания реактора:  
*C* – высоковольтный конденсатор 15 кВ;  
*P* – разрядник воздушный (высоковольтный коммутатор);  
*П* – пояс Роговского;  
*O* – осциллограф; *KP* – камера разрядная

Питание установки для генерации разрядов в жидкой среде обеспечивается высоковольтным трансформатором, обеспечивающим требуемый для работы реактора диапазон напряжений 4÷10 кВ. Высокое напряжение с трансформатора заряжает разрядный конденсатор *C* до установленного на высоковольтном коммутаторе *P* амплитудного значения напряжения. При достижении заданного на высоковольтном коммутаторе *P* пробивного напряжения через электродную систему, помещенную в рабочую жидкость, возникает искровой разряд, вызывая их эрозию.

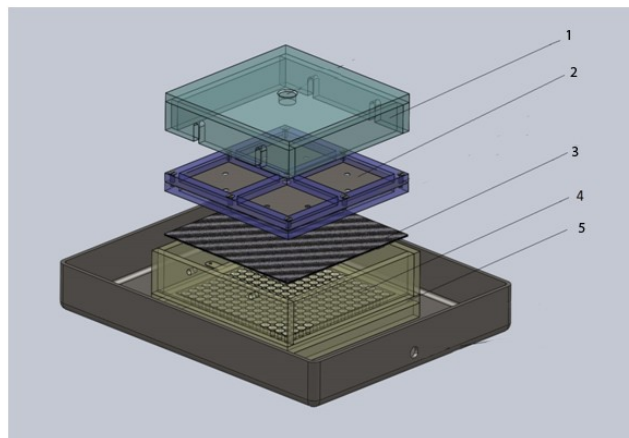
Сущность метода определяется инициацией импульсного электрического разряда в жидкости – процесса кратковременного локализованного выделения большого количества энергии. Фактически это электрический взрыв в первоначально малом объеме канала искры разряда, проложенного стримером, появившийся под действием высокого электрического потенциала между противостоящими электродами.

Токи разряда в импульсах достигают значений 1÷2 кА. При этом температура в искре достигает  $(20\div30) \cdot 10^3$  К. Высокая температура катодного пятна обеспечивает переход части электрода из твердой в жидкую фазу, которая частично испаряется, а частично выбрасывается ударной волной расширяющейся парогазовой смеси и испаряется в горячей зоне разряда. Паровая компонента, продолжая расширяться, охлаждается с образованием зародышей докритического, а затем критического размера, которые, стабилизируясь, образуют субмикронные частицы сферической формы.

Полученные наночастицы были нанесены на пластину фотоэлектрического преобразователя. Было подготовлено два образца: на первый наночастицы серебра были осаждены методом электрофореза, другой образец готовился путем длительного выдерживания (36 часов) пластины преобразователя в коллоидном растворе серебра.

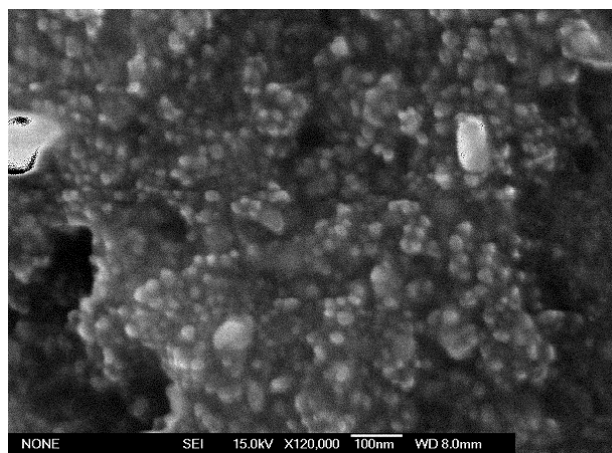
На рис. 3 показана принципиальная схема установки для нанесения наночастиц металлов на поверхность проводящего материала методом электрофореза. Пла-

стина преобразователя помещается между электродами 2 и 5. Установка заполняется коллоидным раствором, и подключается потенциал к электродам. Коллоидные частицы имеют заряд, поэтому они могут двигаться в электрическом поле. Достигая электрода, частицы теряют заряд и слипаются – коллоидный раствор коагулирует на поверхности материала.



**Рис. 3.** Установка для нанесения наночастиц металлов:  
 1 – верхняя прижимная крышка;  
 2 – металлический электрод, закрепленный в рамку из оргстекла;  
 3 – кремниевая пластина; 4 – основание;  
 5 – нижний электрод

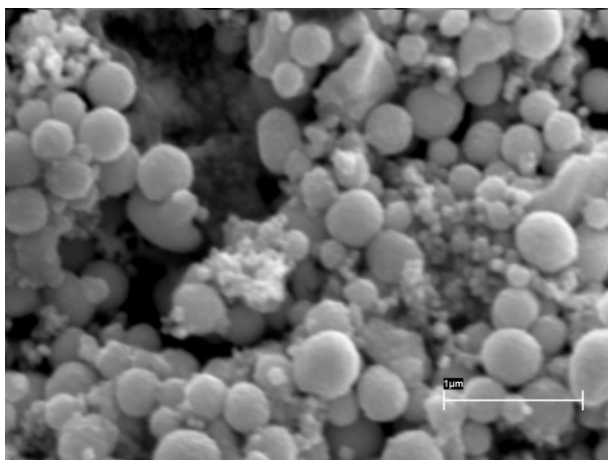
На рис. 4 и 5 представлены снимки покрытий, выращенных на подложках из кремния, полученные с помощью комплекса визуализации микрообъектов на базе сканирующего электронного микроскопа Phenom.



**Рис. 4.** Покрытие из наночастиц серебра на кремниевой подложке, полученное методом электрофореза

Как видно на снимке (рис. 4), наночастицы довольно равномерно распределены по поверхности подложки и имеют размеры, преимущественно принадлежащие диапазону 5÷20 нм.

Как следует из рис. 5, при длительном выдерживании в коллоидном растворе серебра на поверхности подложки исходные наночастицы успевают образовывать кластеры (агломераты) со средними размерами 200÷500 нм.



**Рис. 5.** Наночастицы серебра на кремниевой подложке после длительного выдерживания в растворе

Для оценки функциональных характеристик были проведены сравнительные исследования заводских промышленных поликремневых фотоэлементов, используемых в фотоэлектрических модулях PS-250, без напыления и фотоэлементов с покрытием из наночастиц серебра.

Исследования характеристик фотоэлектрических преобразователей проводили в натуральных условиях на открытой площадке, при естественном постоянном солнечном освещении (около 950 Вт/м<sup>2</sup>), полученные данные сравнивали с паспортной вольт-амперной характеристикой заводских элементов. При проведении исследований использовался метод прямых измерений характеристик фотопреобразователя по току и напряжению при переменном нагрузочном сопротивлении [19]. При этом учитывалось влияние изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрических преобразователей, приводящее к изменению освещенности рабочей поверхности модуля [4; 9].

Измерения проводились в натуральных условиях в Севастопольском госуниверситете (на широте 45°) в апреле. Максимальное значение мощности соответствовало углу наклона плоскости фотоэлемента 50° к горизонтальной площадке.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По вольт-амперным характеристикам можно говорить о качестве работы модуля. По мощностным характеристикам можно судить о выработке электрической энергии в данное время года, суток, при данных климатических факторах [9]. Эти результаты необходимы при расчетах систем солнечного электрообеспечения, при проектировании фотоэлектрических станций [14].

Типичные (паспортные) вольт-амперные и мощностные характеристики фотоэлемента представлены на

рис. 6 (пунктирная линия). Экспериментальные характеристики, полученные при измерениях фотоэлементов, покрытых наночастицами серебра, показаны на рис. 6 сплошной линией.

Как видно из графиков (рис. 6), имеет место увеличение на 20 % мощностных характеристик фотоэлектрических преобразователей при нанесении на их рабочую поверхность нанопокровов.

В натуральных условиях изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрического модуля на определенную величину приводят к соответствующему изменению освещенности рабочей поверхности модуля  $E_0$ , что, в свою очередь, влияет на работу фотоэлектрического модуля [14; 20]. Смоделировать ситуацию изменения освещенности рабочей поверхности при движении солнца по горизонту можно, изменяя в течение короткого времени положение угла установки фотоэлектрического модуля к горизонту и проводя при этом прямые измерения тока и напряжения модуля при изменении нагрузочного сопротивления.

Расчет вырабатываемой мощности солнечной фотоэлектрической батареи ( $P_{\text{бат}}$ ) производится по формуле

$$P_{\text{бат}} = E_0 \eta_{\text{эл}} S_{\text{эл}} \cos(K \cdot \alpha_0),$$

где  $\eta_{\text{эл}}$  – КПД элементов;

$E_0$  – солнечная освещенность;

$S_{\text{эл}}$  – площадь солнечных элементов батареи;

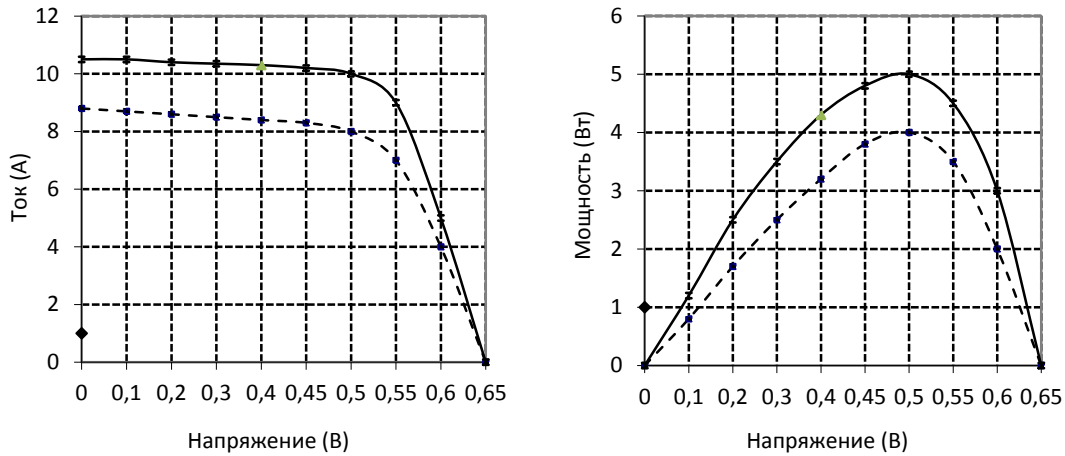
$K$  – суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции фотопреобразователя;

$\alpha_0$  – угол между нормалью к плоскости модуля и солнечными лучами.

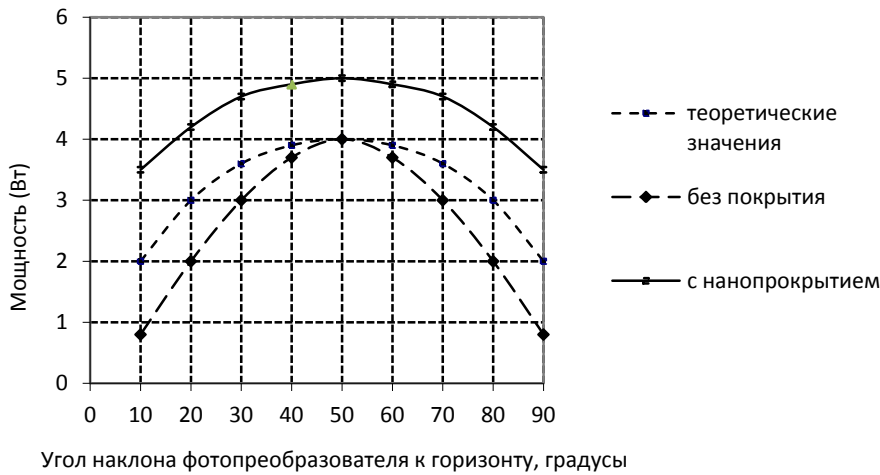
Коэффициент  $K$  в формуле при теоретических расчетах соответствует значению 1. Для фотоэлектрических преобразователей, при перпендикулярном падении лучей на их рабочую поверхность, этот коэффициент также близок к 1. Однако при отклонениях рабочей поверхности от перпендикуляра их мощностные характеристики заметно падают, с учетом изменения значения коэффициента  $K$  для различных конструкций фотопреобразователей. Для обычных фотоэлементов и фотоэлектрических модулей этот коэффициент составляет около 1,5.

На графиках (рис. 7) показаны усредненные результаты значений мощностных характеристик фотоэлементов с напылением из наночастиц серебра и фотоэлементов без напыления при изменении их угла установки относительно солнечных лучей. Форма графика изменения мощности фотоэлемента с покрытием из наночастиц серебра близка к форме графика теоретических расчетов, при этом мощностные значения элементов без покрытий на графике значительно падают при изменении угла установки.

Как видно из графиков, фотоэлементы с нанопокровом имеют более высокие мощностные характеристики по отношению к заводским фотоэлементам, причем при изменении углов установки они не снижают выработку (их мощностные характеристики остаются близкими к теоретическим). При использовании для фотоэлектрических установок плоских низкопотенциальных концентраторов типа фоклин [14], где увеличение мощности солнечных батарей составляло 30–40 %, требовалась значительное усложнение конструкции всей



**Рис. 6.** Вольт-амперные и мощностные характеристики фотоэлементов: пунктирная линия – заводские фотоэлементы без нанопокрyтия; сплошная линия – фотоэлементы с покрyтием из наночастиц серебра (данные получены при освещенности около 950 Вт/м<sup>2</sup>)



**Рис. 7.** Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрических преобразователей при изменении угла наклона к горизонту

установки, при этом при определенных углах падения солнечных лучей такой концентратор будет бесполезен. Для установок с фотоэлементами из нанопокрyтий было обнаружено, что выработка у установок (согласно графикам на рис. 7) все время будет на 20 % выше. Следовательно, установки с нанопокрyтиями будут иметь такую же выработку, как и установки, снабженные фоклинами (без трековых систем слежения). При этом конструкция установок с фоклинами будет сложнее и дороже.

Работа фотоэлектрических установок сильно зависит от потока солнечной радиации, особенно это сказывается в зимний период. Увеличение преобразования фотоэлементов при малых углах падения солнечных лучей способно значительно поднять выработку электроэнергии солнечными станциями. На графиках (рис. 6 и 7) видно существенное увеличение мощностных характеристик фотоэлементов, используемых в заводских модулях, при нанесении на них покрyтий из наночастиц серебра и сохранение их мощностных характеристик при малых углах падения солнечной радиации.

## ВЫВОДЫ

1. Модифицирование поверхности фотоэлементов наночастицами серебра приводит к повышению мощностных характеристик фотоэлементов на 20 %.
2. Использование фотоэлементов с нанопокрyтиями позволяет увеличить выработку электроэнергии фотоэлектрическими установками за счет более полного преобразования потока падающей солнечной радиации даже при малых углах падения солнечных лучей на приемную поверхность.
3. Полученные данные будут способствовать росту мощностных характеристик различных типов солнечных элементов, увеличению их коэффициента преобразования, повышению эффективности фотоэнергетических установок и устройств различного назначения, не увеличивая при этом площадь их приемной поверхности, что существенно расширит сферу использования солнечных энергетических установок.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РФ. Об электроэнергетике: федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ (с изменениями на 28.12.2016).
2. Ибрагимова Х.И., Халикова А. Проблемы энергетических ресурсов // Молодой ученый. 2017. № 3. С. 96–98.
3. Кувшинов В.В. Перспективы развития солнечной энергетики в Крыму // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. 2013. № 1. С. 180–185.
4. Арбузов Ю.Д., Евдокимов В.М. Основы фотоэлектричества. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 292 с.
5. Кузнецов К.В., Тюхов И.И., Сергиевский Э.Д. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 6-й Международ. науч.-техн. конф. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. Ч. 4. С. 227–231.
6. Кучинский В.П., Сеницын Н.П., Суржик А.Н., Шевчук В.И. Методика определения тепловых характеристик фототермических модулей // Відновлювана енергетика. 2007. № 4. С. 44–47.
7. Филиппченкова Н.С., Панченко В.А. Разработка и исследование солнечных теплофотоэлектрических модулей // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 5. С. 136–141.
8. Вейси Ф., Сергиевский Э.Д., Тюхов И.И. Расчёт тепловых режимов двухстороннего приемника излучения в статическом солнечном концентраторе // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы 4-й Международ. науч.-техн. конф. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2004. Ч. 4. С. 114–120.
9. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. 300 с.
10. Башта А.И., Кувшинов В.В., Сафонов В.А. Солнечный концентратор для фотоэлектрических модулей: патент РФ № 150120; заявка № 2014149411; заявл. 17.10.2014.
11. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентраторы солнечного излучения. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. 316 с.
12. Баранов В.К. Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике // Труды Государственного оптического института. 1979. Т. 45. № 179. С. 57–70.
13. Кувшинов В.В. Исследование характеристик фотоэлектрических модулей, используемых в сетевых солнечных станциях // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. 2013. № 4. С. 170–177.
14. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
15. Кувшинов В.В. Использование солнечных концентраторов для повышения мощностных характеристик сетевых фотоэлектрических станций // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. 2014. № 1. С. 144–149.
16. Остроухов Н.Н., Тянгинский А.Ю., Слепцов В.В., Церулев М.В. Электроразрядная технология получения, диагностики и биологическое применение гидрозоль металлов с частицами нанометрового размера // Физика и химия обработки материалов. 2013. № 1. С. 77–82.
17. Mandal P., Sharma S. Progress in plasmonic solar cell efficiency improvement: A status review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 65. P. 537–552. DOI: 10.1016/j.rser.2016.07.031.
18. Ortiz-Gonzalez J., Santbergen R., Tan H., Schmidt Ott A., Zeman M., Smets A.H.M. Plasmonic nanoparticle films for solar cell applications fabricated by size-selective aerosol deposition // Energy Procedia. 2014. Vol. 60. № С. P. 3–12.
19. ГОСТ 28976-91. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольт-амперной характеристики (МЭК 891-87). М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 42 с.
20. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 405 с.

## REFERENCES

1. RF Federal Law “About power industry” of March 26, 2003 no. 35-FZ (as amended by December 28, 2016). (In Russ.).
2. Ibragimova Kh., Khalikova A. Problems of energy resources. *Molodoy ucheniy*, 2017, no. 3, pp. 96–98.
3. Kuvshinov V.V. Prospects of sun energy development in the Crimea. *Zbirnik naukovykh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoy energii ta promislovosti*, 2013, no. 1, pp. 180–185.
4. Arbuzov Yu.D., Evdokimov V.M. *Osnovy fotoelektrichestva* [Photoelectricity bases]. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2007. 292 p.
5. Kuznetsov K.V., Tyukhov I.I., Sergievsky E.D. A research of characteristics of a solar air hybrid collector. *Trudy 6-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. “Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom khozyaystve”*. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2008. Vol. 4, pp. 227–231.
6. Kuchinsky V.P., Sinitsyn N.P., Surzhik A.N., Shevchuk V.I. A technique of definition of thermal characteristics of photothermal modules. *Vidnovlyuvana energetika*, 2007, no. 4, pp. 44–47.
7. Filippchenkova N.S., Panchenko V.A. Development and research of solar heatphotoelectric modules. *Innovations in Agriculture*, 2016, no. 5, pp. 136–141.
8. Veysi F., Sergievsky E.D., Tyukhov I.I. Calculation of the thermal modes of the bilateral receiver of radiation in the static solar concentrator. *Materialy 4-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. “Energoobespechenie i energosberezhenie v selskom khozyaystve”*. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2004. Vol. 4, pp. 114–120.
9. Koltun M.M. *Optika i metrologiya solnechnykh elementov* [Optics and metrology of solar cells]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 300 p.
10. Bashta A.I., Kuvshinov V.V., Safonov V.A. *Solnechniy kontsentrator dlya fotoelektricheskikh moduley* [The solar concentrator for photoelectric modules]. Patent RF, no. 150120, 2014.
11. Strebkov D.S., Tveryanovich E.V. *Kontsentratory solnechnogo izlucheniya* [Sunlight concentrators]. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2007. 316 p.
12. Baranov V.K. New concentrators of radiation and the prospect of their application in optics and solar technology. *Trudy Gosudarstvennogo opticheskogo instituta*, 1979, vol. 45, no. 179, pp. 57–70.

13. Kuvshinov V.V. A research of characteristics of the photoelectric modules used in network solar stations. *Zhurnal naukovykh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoy energii ta promislovosti*, 2013, no. 4, pp. 170–177.
14. Raushenbakh G. *Spravochnik po proektirovaniyu solnechnykh batarey* [Handbook on the design of solar batteries]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 397 p.
15. Kuvshinov V.V. Use of solar concentrators for increase in power characteristics of network photoelectric stations. *Zhurnal naukovykh prats Sevastopolskogo natsionalnogo universitetu yadernoy energii ta promislovosti*, 2014, no. 1, pp. 144–149.
16. Ostroukhov N.N., Tyanginsky A.Yu., Sleptsov V.V., Tserulev M.V. Electric discharge technology of production and diagnosis of metallic hydrosols with nanosized particles. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*, 2013, no. 1, pp. 77–82.
17. Mandal P., Sharma S. Progress in plasmonic solar cell efficiency improvement: A status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 65, pp. 537–552. DOI: 10.1016/j.rser.2016.07.031.
18. Ortiz-Gonzalez J., Santbergen R., Tan H., Schmidt Ott A., Zeman M., Smets A.H.M. Plasmonic nanoparticle films for solar cell applications fabricated by size-selective aerosol deposition. *Energy Procedia*, 2014, vol. 60, no. C, pp. 3–12.
19. GOST 28976-91. *Fotoelektricheskie pribory iz Kristallicheskogo kremniya. Metodika korrektsii rezultatov izmereniya voltamperno kharakteristiki* [Photovoltaic devices of crystalline silicon. Procedures for temperature and irradiance corrections to measures current voltage characteristics]. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2004. 42 p.
20. Andreev V.M., Grilikhes V.A., Rumayntsev V.D. *Fotoelektricheskoe preobrazovanie kontsentrirrovannogo solnechnogo izlucheniya* [Photoelectric transformation of concentrated solar radiation]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 405 p.

### THE POSSIBILITIES OF PHOTOELECTRIC CONVERTERS POWER ASCENSION BY THE MODIFICATION OF THEIR SURFACES BY SILVER NANOCCLUSERS

© 2018

**V.V. Kuvshinov**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Renewables and Electric Systems and Networks”  
*Sevastopol State University, Sevastopol (Russia)*

**B.L. Krit**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of Chair “Technologies of Production of Devices  
and Information Systems for Aircraft Control”

*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia)*

**N.V. Morozova**, PhD (Pedagogy), assistant professor of Chair “Medical Equipment”

*Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow (Russia)*

**D.Yu. Kukushkin**, assistant of Chair “Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnologies”

**A.V. Savkin**, PhD (Engineering),

assistant professor of Chair “Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnologies”

*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia)*

**Keywords:** photoconverter; photoelectric module; network power stations; nanoparticles; solar cell; compound cylindrical concentrator; silver nanoclusters; power characteristics.

**Abstract:** The authors carried out the analysis of the operating modes of photoelectric converters used for solar stations and intended for work both as a part of a unified energy system and for individual consumers needs. It is determined that to increase power characteristics of solar stations photocells, it is very efficient to apply solar concentrators of special designs. At the same time, it complicates the equipment significantly, as it is associated with the necessity to equip photoelectric station with the additional systems of tracking and positioning against the sun. In this paper, to concentrate solar irradiation, the authors offered to use the modifying of the photocells receiving surface by depositing a coating of silver nanoparticles produced by the pulse spark dispergation method. The results of the experiments showed that silver nanoclusters deposited on the surface and playing the role of plasmonic particles promote the increase in the number of photons participating in the photoelectric process at the constant stream of incident solar radiation. It allowed improving considerably power characteristics of the regular photoelectric converters used when assembling the industrial photoelectric modules for network power plants. The increase in the nanocoated photocells power grew by an average of 20 %, at the same time, even in the case of lateral incidence of solar irradiation on their working surface, the photoconverters power characteristics were close to the theoretical values, unlike the solar elements without coating.

The data obtained will promote the improvement of indices and the increase of efficiency of photo-energy plants and devices of different purpose not increasing the area of their receiving surface that will widen significantly the sphere of solar power plants application.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АРКТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

© 2018

*А.Ю. Маркадеева*, аспирант, инженер

*А.В. Ильин*, доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора

*М.А. Гусев*, ведущий инженер

*Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Санкт-Петербург (Россия)*

**Ключевые слова:** трещиностойкость; арктические стали; сварные соединения; зона термического влияния; раскрытие вершины трещины (CTOD).

**Аннотация:** Испытания на определение параметра трещиностойкости CTOD (раскрытие вершины трещины) металла зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений при минимальных температурах эксплуатации ( $-30...-50$  °С) являются обязательным элементом Программ испытаний, проводимых под надзором Российского морского регистра судоходства (РМРС) для получения одобрения металлургического производства листового проката в больших толщинах, предназначенного для изготовления морской техники Арктического шельфа и судов ледового плавания.

В работе проведено исследование трещиностойкости зоны термического влияния сварных соединений высокопрочных судостроительных сталей, применяемых при производстве арктических конструкций. Накопленный опыт проведения данного вида испытаний выявил ряд проблем как методического, так и критериального характера. В частности, из-за криволинейности линии сплавления сварного соединения практически невозможно проведение испытаний ЗТВ без частичного попадания фронта усталостной трещины в шов, обладающий низкой трещиностойкостью. Получен статистически представительный объем данных по трещиностойкости сварных соединений высокопрочных судостроительных сталей. Проведен металлографический анализ образцов с фиксацией фактического попадания вершины исходной усталостной трещины в зоны сварного соединения. На основе полученных данных проведен анализ значимости отдельных факторов, влияющих на получаемый результат, и возможности прогнозирования действительной трещиностойкости локальных охрупченных зон.

Предложен алгоритм получения косвенной оценки «действительной» трещиностойкости металла крупнозернистой зоны термического влияния на основе результатов испытаний образцов из металла шва, основного металла и статистически представительного количества образцов с разметкой надреза по ЗТВ. Выявлено, что «действительная» трещиностойкость ЗТВ оказывается существенно ниже получаемой при испытаниях по стандартным методикам.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросу исследования трещиностойкости металла зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений низколегированных сталей посвящен большой объем работ, поскольку данный вид испытаний является одним из основных при оценке сопротивления металла хрупким разрушениям. Особенно актуальны такие оценки для конструкций арктического шельфа, работающих при температурах до  $-40...-60$  °С. Практика аттестационных испытаний показывает, что при этих температурах отдельные структурные составляющие сварного соединения склонны к хрупкому разрушению или находятся в области вязко-хрупкого перехода даже для наиболее хладостойких сталей и сварочных материалов [1; 2]. При этом наблюдается большой разброс результатов испытаний: так, отдельные получаемые значения параметра трещиностойкости CTOD (раскрытие вершины трещины) могут отличаться на порядок [3–5]. Данный разброс авторы работ связывают с «естественным» разбросом в области вязко-хрупкого перехода для исследуемого материала и со случайным характером попадания в ту или иную область зоны термического влияния. Особенно низкие значения CTOD характерны для области ЗТВ с крупными зёрнами вблизи границы сплавления (в зарубежной литературе CGHAZ [6; 7]), где в процессе сварки происходит интенсивный рост аустенитного зерна с последующим огрублением микроструктуры [8; 9]. Низкой трещино-

стойкостью также может обладать литая или лишь частично перекристаллизованная структура металла шва.

Как следствие этого, при проведении таких испытаний и оценке их результатов возникают следующие проблемы:

1. Отсутствие сварочных материалов и технологий сварки, которые бы обеспечивали достаточно высокую трещиностойкость металла шва при этих температурах. Это вносит неопределенность в интерпретацию результата испытаний металла ЗТВ у линии сплавления. При изготовлении образцов и выращивании усталостной трещины практически невозможно попасть ее вершиной в исследуемую «целевую структуру» ЗТВ (из-за ее криволинейности и неизбежных неточностей при разметке и изготовлении надрезов), не попав при этом частично в металл шва.

2. Крайне высокий разброс получаемых данных заставляет уточнять, какую именно величину CTOD необходимо сопоставлять с требованиями (среднее значение, минимальное или же определенное с какой-либо вероятностью).

Цель работы – оценка влияния фактического процентного содержания крупнозернистой ЗТВ и металла шва на результат испытаний CTOD и прогнозирование «истинной» трещиностойкости ЗТВ моделированием процесса разрушения при случайном попадании фронта исходной усталостной трещины в ту или иную зону.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились для высокопрочных судостроительных сталей, используемых, согласно «Правилам...» Российского морского регистра судоходства (РМРС) [10; 11], для арктических конструкций марок E420W, F500W, F500, F620, F690, E500TM в толщинах от 25 до 60 мм. В таблице 1 представлены фактические механические характеристики выбранного для исследования листового проката этих сталей.

Сварка проб для изготовления образцов выполнялась при двух погонных энергиях: 0,8 кДж/мм и 3,5 кДж/мм – сварочными материалами, сертифицированными на категорию 5Y – т. е. с гарантированной работой разрушения образцов Шарпи (KV) при –60 °С. Испытания на CTOD металла шва, ЗТВ и основного металла проводились на образцах прямоугольного сечения  $B \times 2B$  (где  $B$  – толщина образца, равная толщине листового проката) с краевым надрезом (тип SENB) при нагружении трехточечным изгибом в соответствии с международными стандартами BS/EN/ISO 15653 [12], ISO 12135 [13], ASTM 2818 [14] на сервогидравлической машине SCHENCK 1000 кН, оснащенной криотермокамерой.

После испытаний образцов с разметкой по ЗТВ проводился металлографический анализ для регистрации фактического положения исходной усталостной трещины в соответствии с методикой стандарта BS/EN/ISO 15653 [12]. Для этого из каждого образца изготавливался макрошлиф по схеме, представленной на рис. 1. Шлифы подвергались травлению в 10%-ном водном растворе кислоты  $HNO_3$ .

На готовых макрошлифах оценивалась процентная доля попадания фронта трещины в ту или иную зону сварного соединения, при этом за крупнозернистую ЗТВ принимался участок в пределах 0,5 мм от линии сплавления.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний основного металла представлены в таблице 2. В целом можно заключить, что основной металл имеет достаточно высокую трещиностойкость при температурах выше –50 °С.

В отличие от основного металла, испытания металла шва показали существенно более низкую трещиностойкость – при использовании всех сварочных материалов значения CTOD при температуре –40 °С находятся в пределах 0,02–0,12 мм. Тогда следует ожидать, что случайное попадание вершины исходной трещины в металл шва может привести к низкому результату испытаний, который будет приписываться металлу ЗТВ.

Результаты испытаний образцов на CTOD, размеченных по крупнозернистой ЗТВ, лежат в пределах 0,02–1,46 мм. Для выявления возможной причины получения низких результатов испытаний на CTOD был проведен анализ влияния процентной доли составляющих металла шва и крупнозернистой ЗТВ на общий результат испытаний.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕНТНОЙ ДОЛИ СОСТАВЛЯЮЩИХ МЕТАЛЛА ШВА И МЕТАЛЛА ЗТВ НА РЕЗУЛЬТАТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ CTOD

На рис. 2 приведены значения CTOD, расположенные в зависимости от доли попадания фронта усталостной трещины в различные зоны сварного соединения, установленной в результате металлографического анализа.

По рис. 2 а можно наблюдать тенденцию к снижению значений CTOD при увеличении доли попадания фронта усталостной трещины в металл шва. При этом имеет место большой разброс получаемых данных. Следует отметить, что даже при низком содержании металла шва (порядка 5–15 %) на фронте трещины наблюдаются отдельные результаты на уровне 0,04–0,08 мм, что соответствует трещиностойкости при 100%-ном попадании в металл шва. Можно полагать, что либо такого количества этой структуры вполне достаточно для получения столь низких результатов, либо металл крупнозернистой ЗТВ оказывается не менее хрупким. При построении аналогичной зависимости CTOD от доли попадания в крупнозернистую ЗТВ (рис. 2 б) тенденция к снижению результатов также присутствует. Однако проследить ее сложнее, так как количество данных, соответствующих большой доле крупнозернистой ЗТВ, уменьшается. Реально обеспечить попадание в эту целевую структуру, имеющую

Таблица 1. Основные механические характеристики исследуемых сталей

Марка стали	Толщина, мм	Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$ , МПа	Временное сопротивление, $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение, $\delta_5$ , %	Работа удара*, KV, Дж	
					–40 °С	–60 °С
E420W	60	470	560	31	–	<u>283; 270; 297</u> 283
F500W	60	550	615	21	<u>282; 310; 311</u> 301	<u>290; 275; 273</u> 279
E500TM	25	550	630	24	<u>202; 212; 225</u> 213	<u>220; 198; 178</u> 199
F500	50	590	645	21	<u>231; 211; 276</u> 239	<u>187; 146; 181</u> 171
F620	50	750	800	20	<u>205; 232; 233</u> 223	<u>221; 204; 195</u> 207
F690	50	825	860	19	<u>206; 191; 211</u> 203	<u>186; 205; 182</u> 191

\* В «числителе» указаны индивидуальные значения, в «знаменателе» – средние.

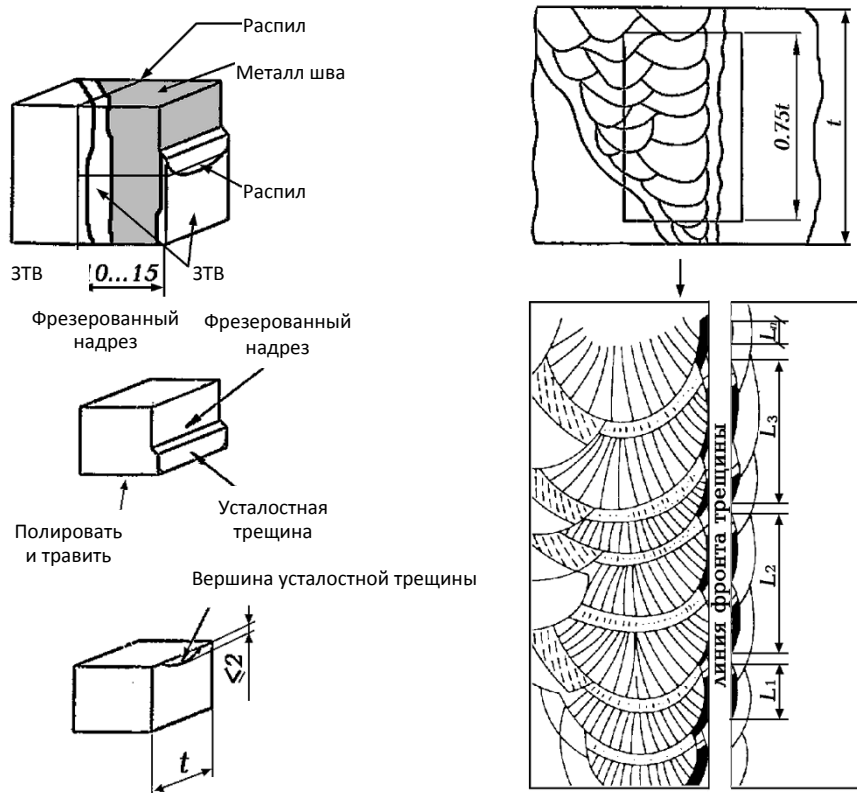


Рис. 1. Схема разрезки испытанных образцов для металлографических исследований

Таблица 2. Результаты испытаний на CTOD основного металла

Марка стали	Толщина, мм	Температура испытаний, °С	CTOD, мм
E420W	60	-40 / -50 / -60	0,53±0,09 / 0,28±0,04 / 0,12±0,04
F500W	60	-50 / -60 / -70	2,11±0,05 / 1,53±0,06 / 1,72±0,05
E500TM	25	-40 / -50 / -60	0,41±0,09 / 0,28±0,05 / 0,13±0,02
F500	50	-30 / -40 / -50	0,60±0,10 / 0,21±0,02 / 0,16±0,03
F620	50	-40 / -50	0,70±0,05 / 0,52±0,14
F690	50	-40 / -50	0,54±0,03 / 0,52±0,02

ширину не более 0,3–0,5мм, с долей ее участия более 30 %, при ее криволинейности в сварном соединении, почти невозможно.

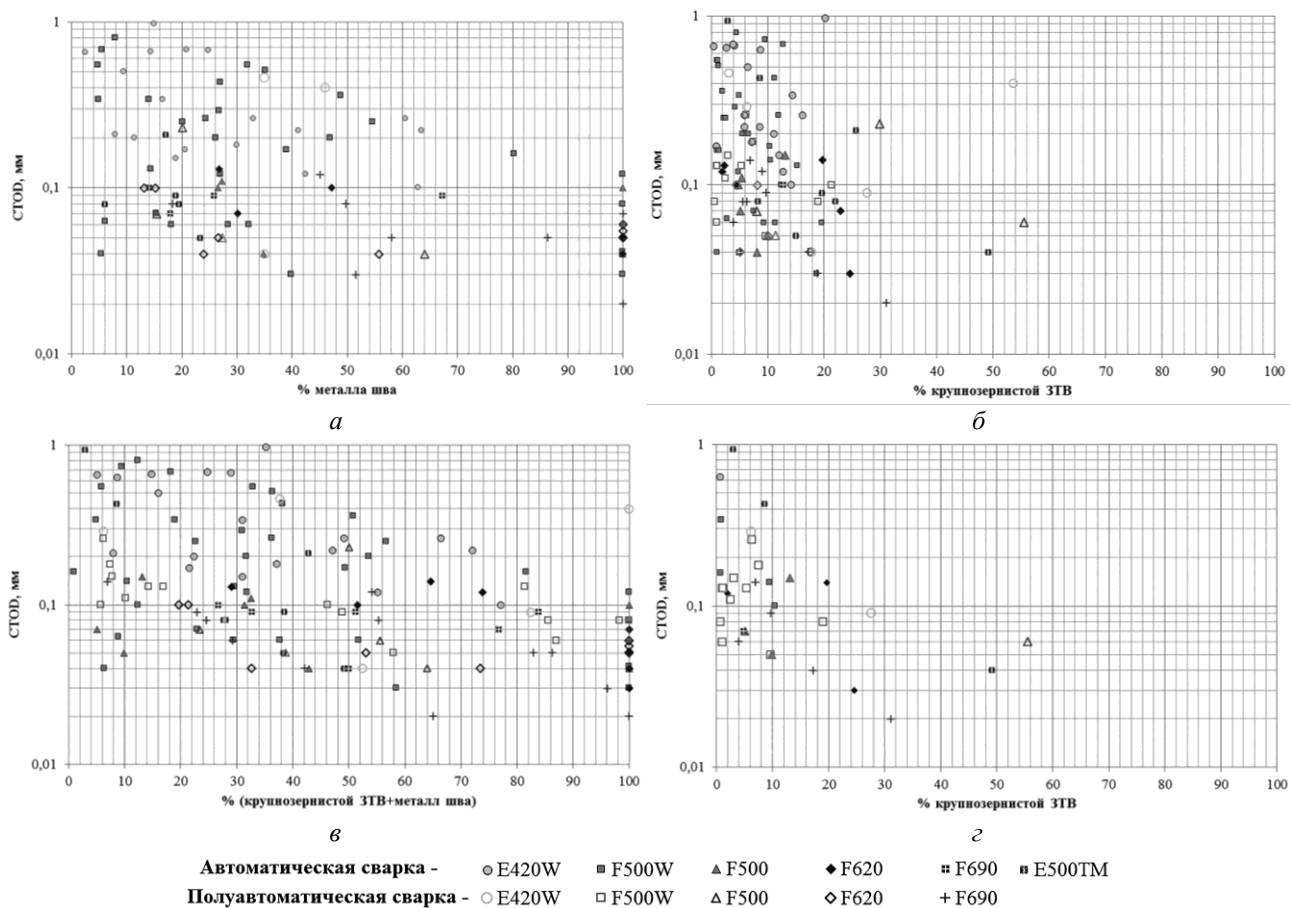
На рис. 2 в результаты определения CTOD представлены в зависимости от суммы обеих структурных составляющих, наблюдается более выраженная зависимость. Однако разброс данных продолжает оставаться большим. Это свидетельствует о том, что его происхождение не связано исключительно со случайным характером попадания фронта трещины в ту или иную зону при испытаниях, но является также следствием стохастической природы условий возникновения хрупкого разрушения в области вязко-хрупкого перехода.

На рис. 2 г представлена попытка представления данных для оценки истинной трещиностойкости металла крупнозернистой ЗТВ – здесь полностью исключены те результаты, где на фронте трещины присутствовал металл шва. При такой обработке можно лишь заключить, что при 100%-ном содержании этой структуры трещиностойкость была бы не выше 0,08 мм, однако данных для подобной экстраполяции оказывается крайне мало.

Таким образом, на основе результатов испытаний натурных сварных соединений не удастся достоверно определить истинное значение CTOD для крупнозернистой ЗТВ – при разметке образцов сложно попасть в крупнозернистую ЗТВ, исключив при этом попадание фронта трещины в металл шва, как минимум не менее хрупкий. В связи с этим была сделана попытка спрогнозировать «истинную» трещиностойкость ЗТВ моделированием процесса разрушения с учетом случайного попадания фронта вершины трещины в ту или иную зону.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ЗТВ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО ХАРАКТЕРА ФАКТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ХРУПКИХ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ФРОНТЕ ТРЕЩИНЫ

В настоящее время для прогнозирования хрупких разрушений активно используется вероятностный подход на основе применения локальных критериев разрушения [15–17]. Простейшим вариантом реализации такого критерия является модель, предложенная впервые



**Рис. 2. Зависимость CTOD при -40 °С:**  
 а – от доли попадания фронта усталостной трещины в металл шва;  
 б – доли попадания в крупнозернистую ЗТВ;  
 в – доли попадания в крупнозернистую ЗТВ и металл шва;  
 г – доли попадания в крупнозернистую ЗТВ при отсутствии металла шва на фронте усталостной трещины

в работе [18]. Исходя из этой модели, формула для расчета интегральной вероятности разрушения образца, связывающая ее с протяженностью хрупкой составляющей на фронте усталостной трещины, должна иметь вид

$$P_f = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\delta_{cr}}{\delta_0} \right)^m \cdot \frac{l}{L} \right], \quad (1)$$

где  $P_f$  – накопленная вероятность разрушения;  
 $\delta_{cr}$  – трещиностойкость хрупкой составляющей;  
 $\delta_0$  – параметр масштаба, характеризующий среднее значение трещиностойкости;  
 $m$  – параметр формы распределения;  
 $l$  – протяженность хрупкой составляющей на фронте усталостной трещины;  
 $L$  – длина фронта усталостной трещины (в рассматриваемом случае это толщина образца).

Из физических соображений о связи объема «зоны процесса» с раскрытием трещины следует, что в случае однородного материала этот параметр равен 2 [18], что подтверждается для основного металла и экспериментально.

Необходимо отметить, что полученные при ориентации трещины по крупнозернистой ЗТВ данные, при обработке их по методике [12], в координатах  $\ln[\ln(1/(1-P_i))] - \delta_i$ , где  $P_i$  – накопленная вероятность разрушения для значений CTOD, меньших  $\delta_i$ , описываются распределением Вейбулла вида (1) с параметром формы, существенно меньшим 2. Например, данные, приведенные на рис. 3, аппроксимируются функцией (1) при  $m=1,24$ . Можно предполагать, что такая аномалия связана не с изменением физики процесса, а с наличием на фронте трещины разнородных структур.

Для построения модели процесса разрушения при случайном попадании фронта трещины в ту или иную зону необходимо ввести некоторое распределение вероятности попадания в металл шва и крупнозернистую ЗТВ при стандартной процедуре разметки надреза на образцах для определения трещиностойкости. Для этого на основе выполненного металлографического анализа были построены гистограммы распределений фактического процента попаданий в металл шва (рис. 4 а) и металл крупнозернистой ЗТВ (рис. 4 б), аппроксимированные экспоненциальными функциями плотности вероятности  $p(l)$  вида

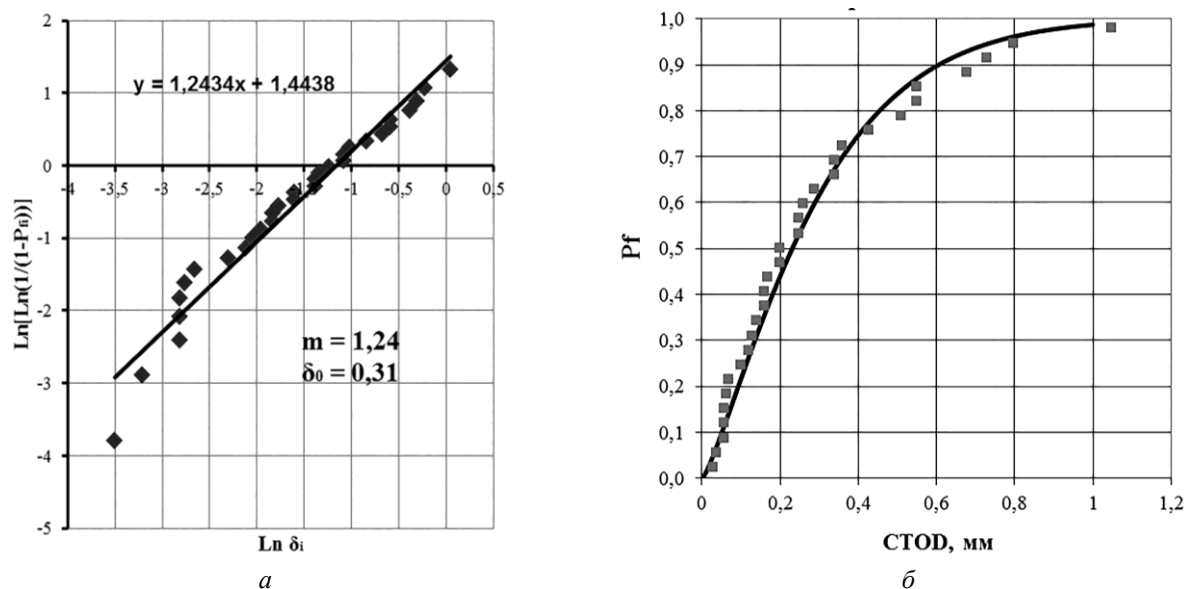


Рис. 3. Пример полученных экспериментальных данных для сварных соединений стали F500W, выполненных автоматической сваркой проволокой PITARC S3Ni1Mo под флюсом OP121TT, после обработки:  
 а – параметры распределения Вейбулла;  
 б – аппроксимация данных функцией (1)

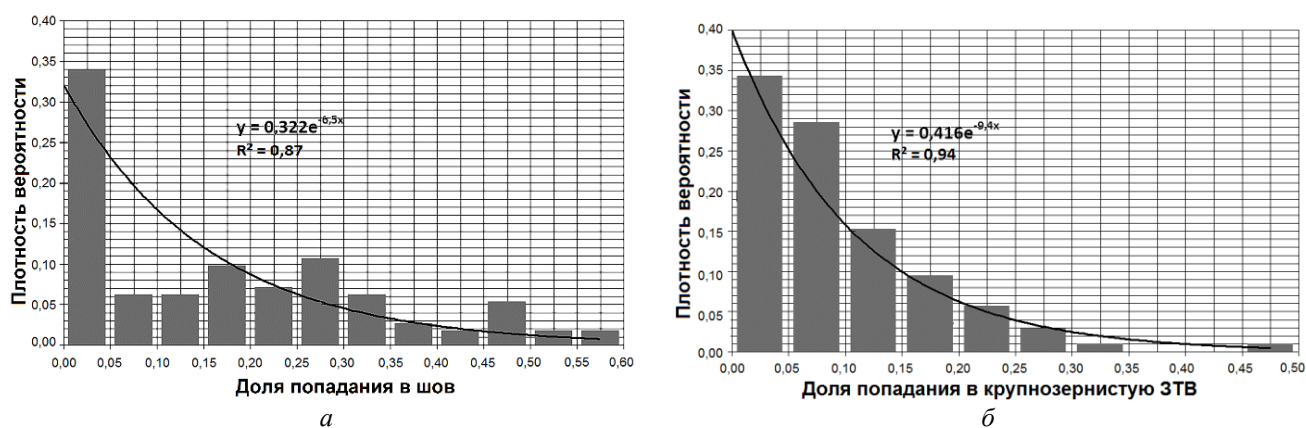


Рис. 4. Статистика попаданий:  
 а – в металл шва; б – в крупнозернистую ЗТВ

$$p_{1,2}(l) = A_{1,2} \exp \left[ - \left( \frac{l_{1,2} / L}{l_{0(1,2)} / L} \right) \right], \quad (2)$$

где значения коэффициентов равны:  
 для металла крупнозернистой ЗТВ (1)  $A_1=0,416$ ,  $l_{10}/L=0,106$ ; для металла шва (2)  $A_2=0,322$ ,  $l_{20}/L=0,154$ .

Далее использовалась разработанная авторами программа численного моделирования процесса разрушения, базирующаяся на принципе метода Монте-Карло. Программа позволяет провести  $N$  численных экспериментов (применялось  $N=10000$ ) при варьировании трещиностойкости отдельных структурных составляющих с целью изучения их влияния на результат испытаний.

При разработке алгоритма программы были приняты следующие допущения:

1. Распределения попадания в участок определенной протяженности крупнозернистой составляющей ЗТВ и металла шва описываются зависимостями (2). Они использовались для задания протяженности участков

металла шва и крупнозернистой ЗТВ с помощью генератора случайных чисел: принималось, что в  $i$ -м численном эксперименте длина соответствующих участков ЗТВ и металла шва определяется по формуле

$$l_{1,2} = - \left( l_{0(1,2)} \ln \frac{RND(A_{1,2})}{A_{1,2}} \right) L,$$

где  $RND(A_{1,2})$  – равномерно распределенное случайное число в интервале  $0 \dots A_{1,2}$ .

2. На фронте усталостной трещины может располагаться три участка: а) металл шва; б) крупнозернистая ЗТВ; в) участок, близкий по трещиностойкости к основному металлу длиной  $l_3$ ;  $l_3=L-l_1-l_2$ . При получении в  $i$ -м эксперименте  $l_1+l_2>L$  принималось:  $l_2=L-l_1$ ,  $l_3=0$ .

3. За критическое значение трещиностойкости принималось минимальное из рассчитанных по формуле (1) значений трещиностойкости для каждого участка с учетом его протяженности.

4. Значения параметра формы  $m$  в формуле (1) принимались равными 2 для всех структурных составляющих.

На «входе» в программу варьировались параметры масштаба в формуле (1):  $\delta_{10}$  (среднее значение  $CTOD$  ЗТВ),  $\delta_{20}$  (среднее значение  $CTOD$  металла шва),  $\delta_{30}$  (среднее значение  $CTOD$  основного металла). В результате работы программы получались массивы критических значений  $CTOD$  для образца в целом при различных комбинациях варьируемых параметров. Далее эти массивы обрабатывались в координатах  $\ln[\ln(1/(1-P_i))]-\delta_i$ , где  $P_i$  – накопленная вероятность разрушения для моделируемых образцов значений  $CTOD$ , меньших  $\delta_i$ ; для этих массивов и опре-

делялись параметры распределения Вейбулла: среднее значение  $CTOD$   $\delta_0$  и итоговый параметр формы  $m$ .

Некоторые наиболее важные результаты проведенных численных экспериментов представлены на рис. 5, 6. Они в целом сводятся к следующему.

1. Действительное значение трещиностойкости крупнозернистой ЗТВ существенно ниже, чем измеряемое при стандартных испытаниях образцов из сварных соединений натурной толщины. Различие этих величин при, как правило, достаточно высокой трещиностойкости основного металла полностью определяется трещиностойкостью металла шва. При приемлемом для стандартной методики результате натуральных испытаний (критическое  $CTOD$  более 0,15 мм) действительная трещиностойкость может быть ниже в 1,5–3 раза (этот вывод качественно согласуется и с экстраполяцией данных на рис. 2 г).

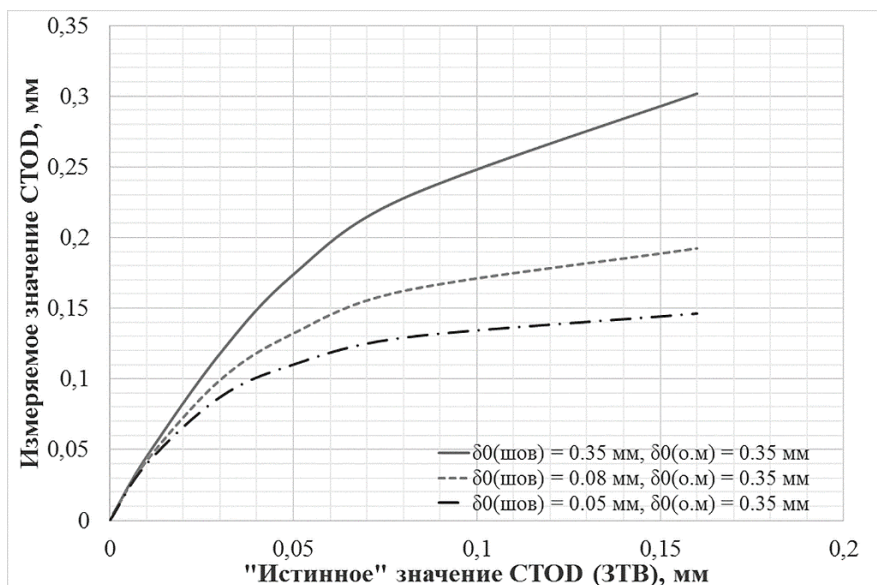


Рис. 5. Зависимость измеряемого среднего  $CTOD$  крупнозернистой ЗТВ от его «истинного» значения

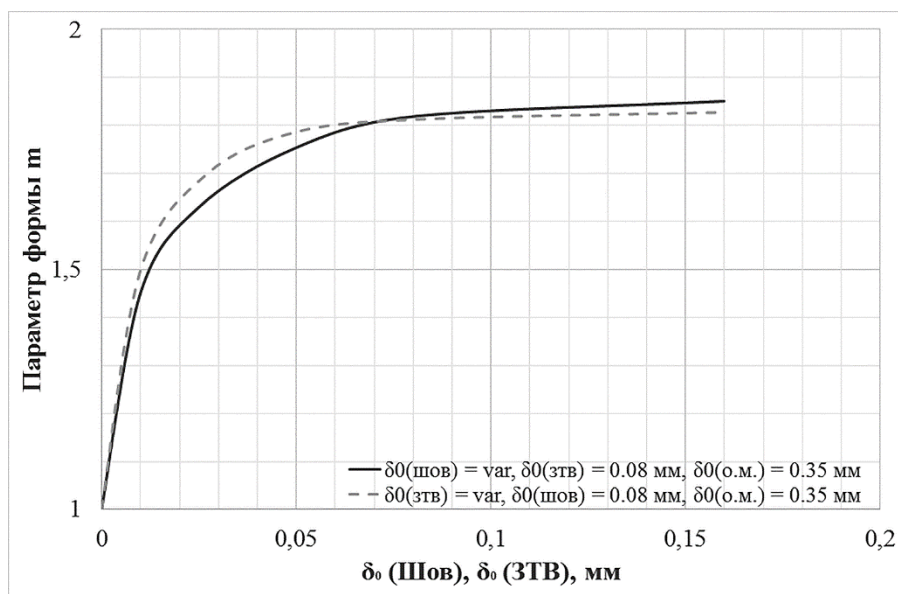


Рис. 6. Изменение параметра формы распределения измеряемой трещиностойкости при варьировании «истинной» трещиностойкости



2. Параметр формы распределений критических значений *CTOD*, получаемый при обработке результатов испытаний натурального сварного соединения, зависит от различия средних значений хрупкой и вязкой составляющих: получение по результатам этих испытаний значений *m*, существенно меньших 2, свидетельствует о низкой трещиностойкости металла у границы сплавления при высокой трещиностойкости основного металла.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующая методика испытаний на трещиностойкость металла сварных соединений при размещении надреза у границы сплавления не позволяет непосредственно выявить действительную чувствительность металла листового проката стали к охрупчиванию при воздействии термомеханического цикла сварки из-за неизбежного присутствия на фронте трещины как минимум трех структур с различной действительной трещиностойкостью. Предлагаемый в статье алгоритм позволяет делать косвенную оценку действительной трещиностойкости металла ЗТВ. Она реализуема при условии, что предварительно выполнен достаточно большой объем испытаний (не менее 7 образцов) как основного металла, так и металла сварного шва используемого технологического процесса сварки и получен статистически представительный объем этих данных.

Выявлено, что действительная трещиностойкость металла крупнозернистой составляющей ЗТВ даже наиболее хладостойких сталей при температурах ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  может оказаться существенно ниже требуемой «Правилами...» РМРС. Фактически эти требования часто удается выполнить лишь за счет неточного попадания исходным фронтом трещины в узкую наиболее хрупкую структуру. Поэтому очевидна необходимость уточнения критериев применимости материала исходя из анализа прочности конструкции с реально возможными размерами дефектов типа непроваров, локализованных на границе сплавления. Перспективна также корректировка методик испытаний, например испытания образцов малых размеров с имитацией термического цикла сварки [19; 20] и/или испытания образцов на растяжение (образцы типа *SENT* [21; 22]), где реализуется менее жесткое напряженно-деформированное состояние по отношению к стандартным образцам *SENB*, приближенное к реальной ситуации.

*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

- Ильин А.В., Леонов В.П., Филин В.Ю. Определение параметра трещиностойкости *CTOD* для металла сварных соединений судокорпусных сталей при низких климатических температурах // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2009. № 32. С. 120–146.
- Виноградов О.П., Ильин А.В., Филин В.Ю. Научно-методические вопросы аттестационных испытаний на трещиностойкость структурно-неоднородного металла сварных соединений // Вопросы материаловедения. 2004. № 1. С. 75–89.
- Евенко В.И., Башаев В.К., Ильин А.В., Леонов В.П., Филин В.Ю. Проблемы аттестации и расчетного обоснования требований к сварным соединениям высокопрочных стальных конструкций для работы на шельфе Арктики // Вопросы материаловедения. 2009. № 3. С. 242–262.
- Minami F., Toyoda M., Thaulow C., Hauge M. Effect of strength mis-match on fracture mechanical behavior of HAZ-notched weld joint // Quarterly journal of Japan welding society. 1995. Vol. 13. № 4. P. 508–517.
- Zerbst U., Ainsworth R.A., Beier H.Th., Pisarski H., Zhang Z.L., Nikbin K., Nitschke-Pagel T., Münstermann S., Kucharczyk P., Klingbeil D. Review on fracture and crack propagation in weldments – A fracture mechanics perspective // Engineering Fracture Mechanics. 2014. Vol. 132. P. 200–276.
- Thaulow C., Paauw A.J., Guttormsen K. The heat affected zone toughness of low-carbon microalloyed steels // Welding journal. 1987. Vol. 66. № 9. P. S266–S279.
- Fairchild D.P., Bangaru N.V., Koo J.Y., Harrison P.L., Ozekcin A. A study concerning intercritical HAZ microstructure and toughness in HSLA steel // Welding journal. 1991. Vol. 70. № 12. P. S321–S329.
- Круглова А.А., Хлусова Е.И. Исследование структуры и свойств металла зоны термического влияния сварных соединений из стали марки 09Г2ФБ (E36), изготовленных с использованием термомеханической обработки и закалки с отпуском // Вопросы материаловедения. 2008. № 3. С. 5–11.
- Ардентов В.В., Малышевский В.А., Правдина Н.Н. Структура и свойства зоны термического влияния высокопрочной конструкционной стали // Физика и химия обработки материалов. 1985. № 5. С. 119–125.
- НД № 2-020101-087. Правила классификации и постройки морских судов. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2016. 234 с.
- НД № 2-020201-013. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2014. 491 с.
- BS EN ISO 15653:2010. Metallic materials. Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds.
- ISO 12135:2002. Metallic materials. Unified Method of Test for the Determination of Quasistatic Fracture Toughness.
- ASTM E2818-11. Standard Practice for Determination of Quasistatic Fracture Toughness of Welds.
- Machida S., Miyata T., Hagiwara Y., Yoshinari H., Suzuki Y. A statistical study of the effect of local brittle zone (LBZ) on the fracture toughness (*CTOD*) of weldments // Defect assessment in components – fundamentals and applications. London: Mechanical engineering publications, 1991. P. 633–658.
- Gao X., Zhang G., Srivatsan T.S. A probabilistic model for prediction of cleavage fracture in the ductile-to-brittle transition region and the effect of temperature on model parameters // Materials Science and Engineering A. 2016. Vol. 415. № 1-2. P. 264–272.
- Hauge M., Thaulow C., Minami F., Toyoda M. Estimation lower bound *CTOD* fracture toughness of HAZ

- notched welds with mechanical mismatch // *Structural Integrity – experiments, models, applications: proceedings of the 10th European Conference on Fracture*. UK: EMAS, 1994. P. 1037–1049.
18. Beremin F.M. A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel // *Metallurgical transactions A*. 1983. Vol. 14. № 11. P. 2277–2287.
  19. Østby E., Thaulow C., Akselsen O.M. Fracture toughness scatter and effect of constraint in weld thermal simulated HAZ microstructures at  $-60^{\circ}\text{C}$  // *Proceedings of the Twenty-first (2011) International offshore and polar engineering conference*. Vol. 4. Maui, 2011. P. 443–448.
  20. Østby E., Thaulow C., Akselsen O.M., Kolstad G., Hauge M. Comparison of fracture toughness in real weld and thermally simulated CGHAZ of a 420 MPa rolled plate // *Proceedings of the Twenty-second (2012) International offshore and polar engineering conference*. Rhodes, 2012. P. 315–322.
  21. Nyhus B., Østby E., Thaulow C., Zhang Z., Olden V. SENT testing and the effect of geometri constraint in high strength steel // *International symposium of high strength steel*. Verdal, 2002. P. 23.
  22. Ильин А.В., Филин В.Ю., Артемьев Д.М. Сопоставление различных методик оценки трещиностойкости металла сварных конструкций, работающих в арктических условиях // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. 2015. № 40-41. С. 62–71.
- REFERENCES**
1. Ilyin A.V., Leonov V.P., Filin V.Yu. Evaluation of CTOD fracture toughness parameter of welded joints of shipbuilding steel at low climatic temperatures. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva*, 2009, no. 32, pp. 120–146.
  2. Vinogradov O.P., Ilyin A.V., Filin V.Yu. Scientific and methodical problems of fracture toughness certification for the welded joint structurally heterogeneous metal. *Voprosy materialovedeniya*, 2004, no. 1, pp. 75–89.
  3. Evenko V.I., Bashaev V.K., Ilyin A.V., Leonov V.P., Filin V.Yu. Problems of certification and design conditions of requirements to welded joints of high-strength steel structures for work on a shelf of Arctic regions. *Voprosy materialovedeniya*, 2009, no. 3, pp. 242–262.
  4. Minami F., Toyoda M., Thaulow C., Hauge M. Effect of strength mis-match on fracture mechanical behavior of HAZ-notched weld joint. *Quarterly journal of Japan welding society*, 1995, vol. 13, no. 4, pp. 508–517.
  5. Zerbst U., Ainsworth R.A., Beier H.Th., Pisarski H., Zhang Z.L., Nikbin K., Nitschke-Pagel T., Münstermann S., Kucharczyk P., Klingbeil D. Review on fracture and crack propagation in weldments – A fracture mechanics perspective. *Engineering Fracture Mechanics*, 2014, vol. 132, pp. 200–276.
  6. Thaulow C., Paauw A.J., Guttormsen K. The heat affected zone toughness of low-carbon microalloyed steels. *Welding journal*, 1987, vol. 66, no. 9, pp. S266–S279.
  7. Fairchild D.P., Bangaru N.V., Koo J.Y., Harrison P.L., Ozekcin A. A study concerning intercritical HAZ microstructure and toughness in HSLA steel. *Welding journal*, 1991, vol. 70, no. 12, pp. S321–S329.
  8. Kruglova A.A., Khlusova E.I. Research of structure and properties of metal of zone of thermal influence of welded joints from 09Г2ФБ (E36) steel grade, made with using of thermomechanical processing and quenching with tempering. *Voprosy materialovedeniya*, 2008, no. 3, pp. 5–11.
  9. Ardentov V.V., Malyshevsky V.A., Pravdina N.N. Microstructure and properties of heat affect zone of highstrength structure steel. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*, 1985, no. 5, pp. 119–125.
  10. *ND no. 2-020101-087*. Rules for the Classification and Construction of Maritime Ships. Sankt Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping, 2016. 234 p. (In Russian).
  11. *ND no. 2-020201-013*. Rules for the Classification, Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units and Fixed Offshore Platforms. Sankt Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping, 2014. 491 p.
  12. *BS EN ISO 15653:2010*. Metallic materials. Method of test for the determination of quasistatic fracture toughness of welds.
  13. *ISO 12135:2002*. Metallic materials. Unified Method of Test for the Determination of Quasistatic Fracture Toughness.
  14. *ASTM E2818-11*. Standard Practice for Determination of Quasistatic Fracture Toughness of Welds.
  15. Machida S., Miyata T., Hagiwara Y., Yoshinari H., Suzuki Y. A statistical study of the effect of local brittle zone (LBZ) on the fracture toughness (CTOD) of weldments. *Defect assessment in components – fundamentals and applications*. London, Mechanical engineering publications, 1991, pp. 633–658.
  16. Gao X., Zhang G., Srivatsan T.S. A probabilistic model for prediction of cleavage fracture in the ductile-to-brittle transition region and the effect of temperature on model parameters. *Materials Science and Engineering A*, 2016, vol. 415, no. 1-2, pp. 264–272.
  17. Hauge M., Thaulow C., Minami F., Toyoda M. Estimation lower bound CTOD fracture toughness of HAZ notched welds with mechanical mismatch. *Structural Integrity – experiments, models, applications: proceedings of the 10th European Conference on Fracture*. UK, EMAS, 1994, pp. 1037–1049.
  18. Beremin F.M. A local criterion for cleavage fracture of a nuclear pressure vessel steel. *Metallurgical transactions A*, 1983, vol. 14, no. 11, pp. 2277–2287.
  19. Østby E., Thaulow C., Akselsen O.M. Fracture toughness scatter and effect of constraint in weld thermal simulated HAZ microstructures at  $-60^{\circ}\text{C}$ . *Proceedings of the Twenty-first (2011) International offshore and polar engineering conference*. Maui, 2011, vol. 4, pp. 443–448.
  20. Østby E., Thaulow C., Akselsen O.M., Kolstad G., Hauge M. Comparison of fracture toughness in real weld and thermally simulated CGHAZ of a 420 MPa rolled plate. *Proceedings of the Twenty-second (2012) International offshore and polar engineering conference*. Rhodes, 2012, pp. 315–322.
  21. Nyhus B., Østby E., Thaulow C., Zhang Z., Olden V. SENT testing and the effect of geometri constraint in high strength steel. *International symposium of high strength steel*. Verdal, 2002, p. 23.

22. Ilyin A.V., Filin V.Yu., Artemyev D.M. Comparison of different methods to estimate the fracture toughness of metal welded structure operated in Arctic conditions.

*Nauchno-tekhnicheskiy sbornik Rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva*, 2015, no. 40-41, pp. 62–71.

## THE STUDY OF FRACTURE TOUGHNESS OF HEAT-AFFECTED ZONE OF WELDED JOINTS OF STEELS APPLIED FOR ARCTIC STRUCTURES

© 2018

*A.Yu. Markadeeva*, postgraduate student, engineer

*A.V. Ilyin*, Doctor of Sciences (Engineering), associate professor, Deputy Director

*M.A. Gusev*, principal engineer

*I.V. Gorynin Central Research Institute of Structural Materials “Prometey” of National Research Center “Kurchatov Institute”, St. Petersburg (Russia)*

*Keywords:* fracture toughness; arctic steels; welded joints; heat-affected zone; crack tip opening displacement (CTOD).

*Abstract:* The tests to estimate the CTOD (crack tip opening displacement) fracture toughness parameter for the metal of heat-affected zone (HAZ) of welded joints at the minimum operating temperatures (–30...–50 °C) are the mandatory element of the Programs of tests conducted under the supervision of the Russian Maritime Register of Shipping (RMRS) to get the approval for the metallurgical production of heavy gauge rolled steel intended for manufacturing the Arctic shelf marine facilities and ice-going vessels.

The paper studies fracture toughness of heat-affected zones of welded joints of high-resistance shipbuilding steels applied when producing arctic structures. Current experience of such testing revealed a number of both the procedural and criterial issues. In particular, it is practically impossible to carry out HAZ tests without partial penetration of the fatigue crack front to the weld with the low fracture toughness due to the curvature of weld joint fusion line. The statistically representative volume of data on the fracture toughness of welded joints of high-resistance shipbuilding steels was collected. The authors carried out the metallographic analysis of samples, which detected the actual penetration of the initial fatigue crack tip to the welded joint zone. Based on the data obtained, the authors carried out the analysis of the significance of some factors influencing the result obtained and the predictability of actual fracture toughness of local embrittled zones.

The algorithm of indirect evaluation of “actual” fracture toughness of the coarse grain HAZ metal based on the testing results of specimens made of weld metal, base metal and the statistically representative number of specimens notched along the HAZ is proposed in this paper. It is determined that the “actual” fracture toughness of HAZ is sufficiently lower than the one obtained when testing according to the standard methods.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА И ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ

© 2018

*С.В. Нескоромный*, кандидат технических наук, доцент*Ю.В. Панов*, старший преподаватель*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону (Россия)*

**Ключевые слова:** сварка в твердой фазе; активация контактных поверхностей; магнитное давление; пластическая деформация; энергия; индуктор; толкатель; батарея конденсаторов.

**Аннотация:** Необходимость изготовления металлоконструкций из цветных металлов в одно- и разнородном сочетании является актуальной задачей на производстве. Основными ограничениями при сварке крепежных элементов с корпусными деталями из цветных металлов являются разнотолщинность элементов, приводящая к неравномерному тепловложению и теплоотводу, различие в электрических и теплофизических свойствах, а также вероятность образования интерметаллидных фаз за счет взаимной диффузии атомов приповерхностных слоев при протекании процессов растворения и фазовых превращениях.

Анализ конструкционного выполнения узлов аппаратуры и трудностей их изготовления показал, что формировать сварное соединение необходимо преимущественно в твердой фазе, используя высококонцентрированные импульсные источники энергии. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет высоковольтная конденсаторная сварка с индукционно-динамическим приводом (ВКС с ИДП) для создания физического контакта соединяемых деталей.

Авторами предложена методика расчета параметров процесса приварки крепежных элементов из цветных металлов к листовым элементам корпусных конструкций. Рассмотрена сущность процесса ВКС с ИДП. Приведены его энергетические параметры и геометрические параметры сборки, влияющие на качество сварного соединения.

Проведенный ранее теоретический анализ процесса ВКС, экспериментальные исследования и проектные изыскания устройств ВКС позволили разработать научно обоснованный алгоритм расчета и выбора параметров технологического процесса и оборудования для его осуществления. Алгоритм предусматривает два этапа его реализации. На первом этапе осуществляется расчет временных параметров процесса. На втором этапе рассчитывают и выбирают параметры оборудования, инструмента, удовлетворяющие выполнению условия твердофазного объемного взаимодействия. На основе полученных данных осуществляется выбор комплектующих оборудования с оснасткой и последующая корректировка параметров сварки с учетом протекания процессов в твердой фазе.

Для снижения трудоемкости расчетов было разработано программное обеспечение, которое позволит определить параметры процесса ВКС, энергетические и частотные характеристики оборудования и инструмента-оснастки.

### ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях машиностроительного производства, химической и пищевой промышленности приходится сталкиваться с необходимостью сборки узлов посредством крепежных элементов (шпильки, бонки, гайки) с корпусной деталью, в частности при изготовлении теплоизолирующих панелей, фильтрующих элементов, коробчатых конструкций, полюсных сердечников. Основными трудностями технологии соединения крепежных элементов являются разнотолщинность деталей «корпус – крепежный элемент», что приводит к неравномерному теплоотводу; использование цветных металлов в разнородных сочетаниях, имеющих разные теплофизические свойства (температура плавления, теплопроводность, теплоемкость, коэффициент термического расширения и др.).

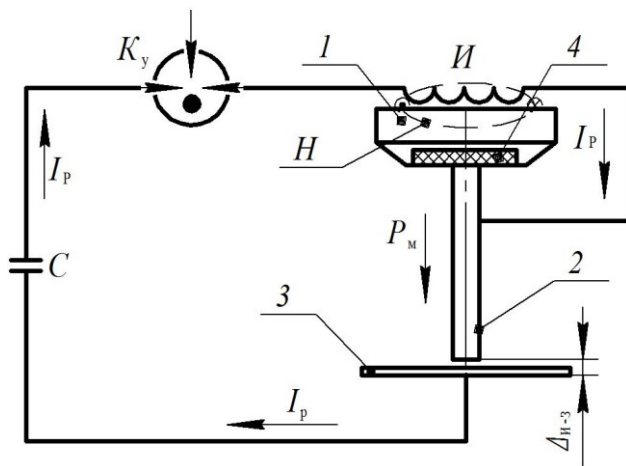
Различие химического состава при сварке крепежных элементов из цветных сплавов приводит к появлению нежелательных хрупких фаз – интерметаллидных, изменению свойств металла в околосварочной зоне и изменениям в структуре в результате процессов диффузии, растворения, фазовых превращений компонентов свариваемых металлов. Радикально снизить растворимость одного металла в другом возможно за счет формирования сварного соединения в твердой фазе [1; 2]. В таких случаях необходимо использовать высококон-

центрированные импульсные источники энергии с регулируемой интегральной энергией в импульсе на супержестких режимах. Этим требованиям удовлетворяет высоковольтная конденсаторная сварка с индукционно-динамическим приводом (ВКС с ИДП) [3].

Анализ аналогичных методов расчета и выбора параметров оборудования показал трудоемкость таких расчетов [4], отсутствие корреляции полученных режимов с учетом серийно выпускаемых комплектующих энергетического оборудования [5; 6].

Сущность процесса ВКС с ИДП состоит в следующем (рис. 1). При разряде батарей конденсаторов  $C$  протекающий импульс тока  $I_p$  по виткам индуктора  $I$  обуславливает возникновение переменного магнитного поля напряженностью  $H$ , которая наводит вихревые токи в толкателе 1. Взаимодействие вихревых токов в толкателе 1 с магнитным полем индуктора  $I$  приводит к возникновению электродинамической силы, которая создает магнитное давление  $P_m$ , осуществляя механическое воздействие на присоединяемый стержневой элемент. Толкатель 1 электрически изолирован от стержневого элемента 2 диэлектрической вставкой 4 [7; 8]. Импульс тока, протекающий через свариваемые детали 2 и 3, разогревает приповерхностные слои металла, одновременно инициируя разрушение оксидных пленок и других загрязнений. При соударении деталей

расплавленный металл с оксидными пленками и загрязнениями вытесняется из зоны соединения на периферию стержневого элемента под действием поверхностной бегущей волны.



**Рис. 1.** Разрядный контур устройства ВКС с ИДП:  
 1 – толкатель; 2 – стержневой элемент;  
 3 – пластина; 4 – диэлектрическая вставка;  
 $I_p$  – разрядный ток;  $P_m$  – магнитное давление;  
 $K_y$  – коммутирующее устройство;  
 $C$  – емкостный накопитель энергии;  
 $I$  – индуктор;  $H$  – магнитное поле

Последовательное включение ИДП со свариваемыми деталями 2 и 3 позволяет варьировать соотношения импульсной и тепловой энергии, подаваемой в зону соединения, а также способствует синхронизации термомеханического воздействия. ИДП состоит из диэлектрического банджа 1 с каналом под размещение токопроводящей спирали Архимеда 2, поверх которой размещен толкатель 3 (рис. 2) [9–11]. Подключение ИДП в разрядный контур осуществляется через токоподводы 4. Длительность разряда тока  $I_p$  зависит от индуктивности разрядного контура (индуктивность элементов оборудования и спирали индуктора), характеризуемой преимущественно числом витков спирали Архимеда 2 [12]. В качестве оборудования для ВКС применяют генераторы импульсных токов (ГИТ), состоящие из высоковольтного зарядного устройства, емкостных накопителей энергии и коммутирующего устройства. Зарядное устройство включает в себя высоковольтный трансформатор и выпрямитель и, как правило, снабжено индукционно-емкостным преобразователем, обеспечивающим равномерный ток зарядки накопителя. Зарядные устройства характеризуются диапазоном напряжения заряда батарей конденсаторов и мощностью. Емкостный накопитель энергии представляет собой батарею низкоиндуктивных импульсных конденсаторов. Коммутирующие устройства предназначены для подключения емкостных накопителей энергии к нагрузке и должны обеспечивать пропускание импульсных токов величиной 1–500 кА (и более).

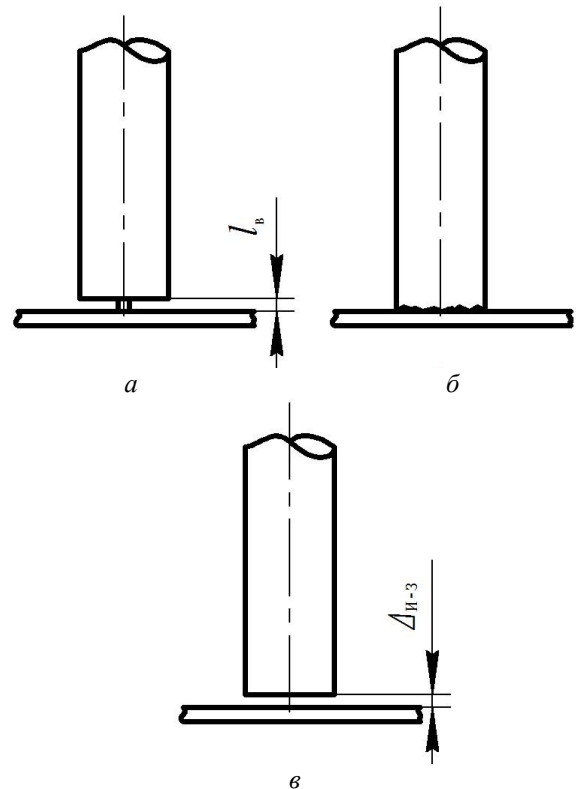
Основными составляющими ГИТ при выборе оборудования являются низкоиндуктивные импульсные конденсаторы, определяющие энергетические и частот-

ные характеристики разрядно-импульсного процесса. Поэтому именно емкостные накопители энергии приняты за критерий при выборе оборудования.



**Рис. 2.** Индукционно-динамический привод:  
 1 – бандаж; 2 – спираль Архимеда;  
 3 – толкатель; 4 – токоподводы

С учетом теплофизических свойств свариваемых материалов были разработаны следующие технологические приемы ВКС: с предварительным контактом выступа на торце стержневого элемента (рис. 3 а), с предварительным контактом стержневого элемента с листовой деталью (рис. 3 б), с предварительным зазором (рис. 3 в). В наших исследованиях [13] даны рекомендации по использованию каждого технологического приема.



**Рис. 3.** Технологические схемы процесса ВКС

Цель статьи – разработка научно обоснованных методов расчета параметров процесса высоковольтной конденсаторной сварки (ВКС), оборудования и инструмента на основе полученных экспериментальных данных и теоретических исследований процесса ВКС для внедрения технологии получения сварных соединений крепежных элементов с тонкостенными конструкциями.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенный теоретический анализ процессов ВКС и экспериментальные исследования позволили выявить основные энергетические параметры процесса и геометрические параметры сборки, оказывающие влияние на качество сварных соединений (таблица 1).

На основе анализа априорной информации критерием качества получаемых сварных соединений был выбран наиболее легко контролируемый параметр – усилие на отрыв, определяемый при механических испытаниях [14; 15].

Проведенные теоретические, экспериментальные исследования и проектные изыскания устройств высоковольтной конденсаторной сварки (ВКС) позволили разработать научно обоснованный алгоритм расчета и выбора параметров технологического процесса и оборудования. Он условно разбит на два этапа (рис. 4).

На первом этапе проводят анализ свариваемой конструкции, выбор марок применяемых материалов «стержень – лист», необходимых для расчета времени релаксации напряжений  $t_p$  в зоне соединения. Для расчета времени активации  $t_a$  рассчитывают величину необходимой энергии  $W$  для реализации процесса. По номограммам, в зависимости от величины полученной энергии  $W$ , марки материала и его толщины, определяют величину относительной пластической деформации  $\varepsilon$  (рис. 5) [16–18].

Для различных технологических схем процесса в зависимости от энергии импульса  $W=3500–14000$  Дж, свариваемых материалов, из которых выполнены стержневые элементы (сплавы алюминия, меди и латуни) в диапазоне диаметров 6–20 мм и толщин листовых сплавов 0,5–4,0 мм, величины относительной пластической деформации  $\varepsilon$  составляют 0,01–0,65.

Для формирования сварного соединения в твердой фазе необходимо, чтобы длительность фазы взаимодействия контактирующих поверхностей  $t_b$  ограничивалась напряжением сжатия, возникающим под действием волны растяжения, отраженной от листовой детали. В противном случае возникшие во время физического контакта металлические связи могут быть разрушены и соединение не сформировано [19].

$$t_b = \frac{2\delta_{ст}}{C},$$

где  $t_b$  – время взаимодействия;  
 $\delta_{ст}$  – длина стержневого элемента, м;  
 $C$  – скорость звука в сплаве, м/с.

В зависимости от полученного времени взаимодействия  $t_b$  определяют скорость локальной пластической деформации  $\dot{\varepsilon}_л$ :

$$\dot{\varepsilon}_л = \frac{2\varepsilon}{t_b}. \quad (1)$$

По полученным значениям определяют время активации процесса  $t_a$ . Процесс получения сварных соединений ВКС из разнородных сплавов и разнотолщинных конструкций описывается уравнениями электродинамики, выражениями, определяющими тепловые процессы, и временными соотношениями, характеризующими выполнение условия твердофазного взаимодействия [1; 20]:

$$t_b > t_a \geq t_p,$$

где  $t_p$  – время релаксации напряжений в зоне соединения;  
 $t_a$  – время деформационной активации контактной поверхности;  
 $t_b$  – время твердофазного взаимодействия.

В развернутом виде уравнение твердофазного взаимодействия примет следующий вид:

$$\frac{2\delta_{ст}}{C} > \frac{L \cdot b}{\dot{\varepsilon}_л \cdot S_a} \geq t_0 \cdot e^{\frac{E_p}{R \cdot T^0}}, \quad (2)$$

где  $L$  – средний путь движения дислокаций до препятствия;

$b$  – модуль вектора Бюргерса;

$\dot{\varepsilon}_л$  – скорость относительной локальной пластической деформации;

$S_a$  – площадь активного центра;

$t_0$  – постоянная времени;

$E_p$  – энергия релаксации напряжений по границам зерен [21];

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T^0$  – температура процесса ( $T^0=(0,8–0,9) \cdot T_{пл}$ ), °С.

На втором этапе осуществляют расчет и выбор параметров оборудования, инструмента, удовлетворяющих условию твердофазного взаимодействия (2).

В зависимости от диаметров привариваемых стержневых элементов выбирают частоту разряда тока  $f$ , принимая постоянной индуктивность разрядного контура  $L$ , которая характеризуется в основном числом витков индуктора  $N$  [22; 23], и определяют емкость накопительного блока оборудования:

$$C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{L}}.$$

Полученную величину емкости накопительного блока батареи конденсаторов приводят к стандартной величине из ряда серийно выпускаемых конденсаторов [24]. Далее осуществляют расчет напряжения заряда батареи конденсаторов:

$$U_3 = \sqrt{\frac{2W}{C}}. \quad (3)$$

Полученное значение  $U_3$  корректируется с учетом дискретности установки напряжения на оборудовании и сравнивается с допусковым напряжением  $U_d$  для выбранной марки конденсаторов.

Для определения энергоемкости оборудования и его частоты осуществляют уточненный расчет необходимой энергии процесса  $W$  по формуле (3) [25–27].

Таблица 1. Основные энергетические параметры процесса и геометрические параметры сборки при ВКС

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Область определения
Энергетические параметры процесса			
1	Рабочее напряжение, $U$	В	1–5000
2	Емкость накопительного блока, $C$	мкФ	3–2400
3	Частота разряда тока, $f$	Гц	1000–20000
Геометрические параметры сборки			
4	Диаметр стержня, $D_{ст}$	мм	6–20
5	Диаметр выступа, $d_b$	мм	$d_b=(0,13\pm 0,01)D_{ст}$
6	Длина выступа, $l_b$	мм	$l_b=0,15D_{ст}\pm 0,1$
7	Исходный зазор, $\Delta_{н-з}$	мм	$\Delta_{н-з}=(0,05-0,15)D_{ст}$
8	Толщина листового материала, $\delta$	мм	0,5–4,0
9	Длина стержневого элемента $\delta_{ст}$	м	$\delta_{ст}\geq 0,6D_{ст}$
Параметры индукционно-динамического привода			
10	Индуктивность разрядного контура $L$ , характеризующая число витков индуктора	нГн	600–10000
11	Масса толкателя, $M$	кг	0,5–4,0

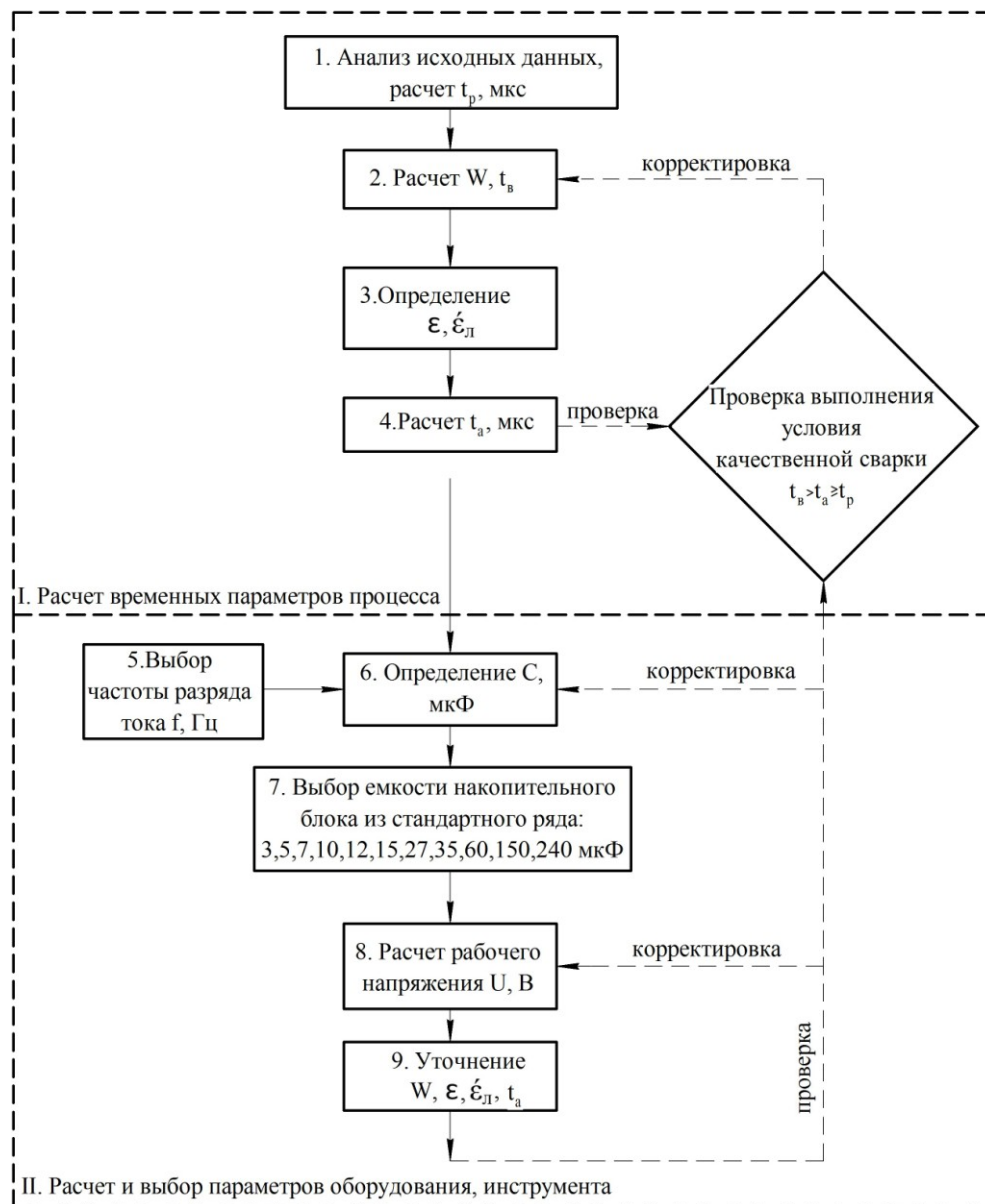


Рис. 4. Алгоритм выбора и расчета параметров процесса

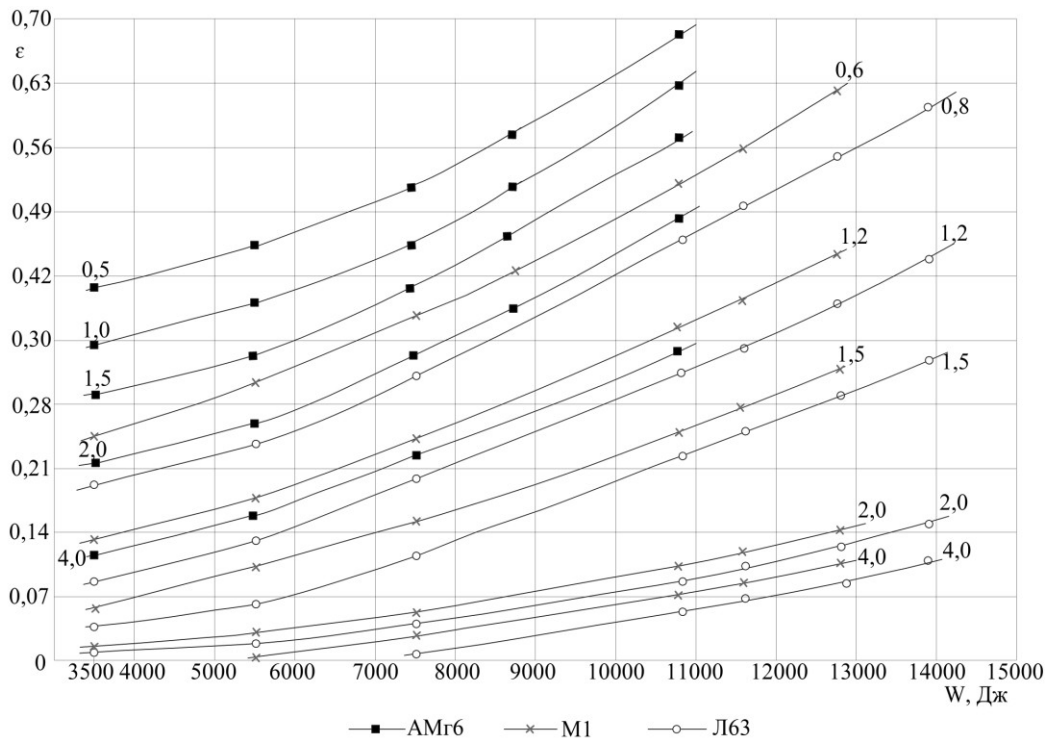


Рис. 5. Номограммы зависимости  $W=f(\epsilon)$

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВКС И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ С ОСНАСТКОЙ
— □ ×

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА**

СТЕРЖЕНЬ Марка  Диаметр, мм  Длина, м

ЛИСТ Марка  Толщина, мм

**ТЕПЛОВЫЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

	для стержня Л63	для листа Л63	
1	Постоянная времени, с	1E-13	1E-13
2	Средний путь движения дислокаций до препятствия, см	1E-5	1E-5
3	Модуль вектора Бюргерса, см	3E-8	3E-8
4	Универсальная газовая постоянная, кал/К*моль	1,987	1,987
5	Площадь активного центра, 1/кв см	1,2E-12	1,2E-12
6	Температура плавления, К	1178	1178
7	Диаметр стержня, мм	10	
8	Толщина листа, мм	0,8	

? Рекомендации по выбору схемы процесса

с предварительным контактом

с предварительным зазором

с предварительным контактом выступа стержневого элемента

**ПРИНИМАЕМ СЛЕДУЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА**

Индуктивность разрядного контура оборудования с ИДП, L=  Гн Справка

Температура процесса, К  от Тпл Справка

Удельная энергия оборудования и ИДП Wуд=  Дж/кв мм Справка

**УСЛОВИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ СВАРКИ ВЫПОЛНЯЕТСЯ**

Время взаимодействия > Время активации > Время релаксации

46,37                      21,52                      17,63

Справка по условию твердофазного взаимодействия

**РАСЧЕТ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ, ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ПРИВОДА**

Расчетная емкость накопительного блока Ср=2009мкФ

Требуемое количество конденсаторов N=16шт x 150мкФ

Напряжение заряда батарей конденсаторов Uз=2300В

**СРАВНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЗАРЯДА БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ С ДОПУСТИМЫМ**

Uд=6000>2300=Uз УСЛОВИЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ

**УТОЧНЕННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВКС с ИДП**

Wнов=6348Дж - ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

**УСЛОВИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ СВАРКИ ВЫПОЛНЯЕТСЯ**

Время взаимодействия > Время активации > Время релаксации

46,37                      21,35                      17,63

Рис. 6. Экранная форма программного обеспечения расчета параметров ВКС и выбора оборудования с оснасткой

По скорректированной величине энергии  $W$  с учетом выполнения условия твердофазного взаимодействия по формуле (2) выполняют уточненный расчет времени активации процесса  $t_a$ , определяя величины  $\epsilon$ ,  $\epsilon_l$  (рис. 5, формула (1)).

Для снижения трудоемкости расчета технологического процесса приварки стержневых элементов инженерными работниками производств на базе программной среды Delfi разработано программное обеспечение

для расчета параметров ВКС и выбора оборудования с оснасткой, которое носит инженерный характер (рис. 6).

Программа работает следующим образом. Из имеющегося перечня материалов стержня и листа выбирают марку, диаметр стержневой детали и его длину, толщину листа. Автоматически база данных выдает теплофизические свойства выбранных материалов [28]. В случае сварки разнородных материалов расчет параметров



процесса ВКС осуществляется для материала с наименьшей температурой плавления.

В зависимости от выбранной пары свариваемых материалов, предлагаются 3 технологических приема и рекомендации по их выбору. В случае необходимости отклонения от рекомендаций допускается выбрать технологический прием самостоятельно.

Далее самостоятельно выбирают индуктивность разрядного контура оборудования с ИДП  $L$ , температуру процесса  $T^0$ , удельную энергию процесса  $W_{уд}$  в рекомендуемых диапазонах, которые можно просмотреть при нажатии кнопки «справка». Программа автоматически производит расчет временных соотношений (2). В случае невыполнения равенства временных соотношений необходимо изменить длину или диаметр метиза или выбрать другую толщину листа из имеющегося диапазона.

При расчете емкости накопительного блока определяют необходимую емкость батарей конденсаторов и их количество, напряжение заряда. Выполняют сравнительный анализ по допускаемому напряжению. Приведенный уточненный расчет позволяет скорректировать энергоемкость оборудования, необходимую для получения сварных соединений в твердой фазе.

На завершающем этапе осуществляется повторная проверка временных соотношений с учетом произведенной корректировки комплектующих оборудования, параметров ИДП.

При нажатии кнопки «файл» полученные результаты сохраняются документом с расширением *txt*.

Данное программное обеспечение имеет пополняемую базу свариваемых материалов, их свойств и, соответственно, результатов расчета. С учетом полученных расчетных и экспериментальных данных погрешность результатов не превысила 20 %.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Обосновано использование высоковольтной конденсаторной сварки с индукционно-динамическим приводом для получения сварных соединений конструкций из цветных разнотолщинных сплавов в твердой фазе.

На основе полученных теоретико-экспериментальных данных разработана научно обоснованная методика расчета параметров разрядно-импульсного процесса. Методика включает взаимосвязь временных соотношений твердофазного взаимодействия с энергетическими и частотными параметрами оборудования и индукционно-динамического привода.

Выбор энергетического оборудования осуществлен с учетом серийно выпускаемой элементной базы, ответственной за энергетические и частотные параметры процесса в рамках твердофазного взаимодействия.

Показано, что определяющим критерием частотных характеристик процесса является индуктивность разрядного контура, характеризующая индуктивным сопротивлением ИДП. Масса толкателя ИДП определяет степень относительной пластической деформации.

Для снижения трудоемкости расчетов процесса высоковольтной конденсаторной сварки стержневых элементов на машиностроительных предприятиях разработано программное обеспечение с пополняемой базой свариваемых материалов. Алгоритм апробирован при разработке технологии изготовления узла сердечника полюса тягового агрегата электровоза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каракозов Э.С. Соединение металлов в твердой фазе. М.: Металлургия, 1976. 264 с.
2. Sapanathan T., Raoelison R.N., Buiron N., Rachik M. Magnetic Pulse Welding: An Innovative Joining Technology for Similar and Dissimilar Metal Pairs // Industrial Engineering and Management. Joining Technologies. London: INTECH, 2016. P. 243–273.
3. Конюшков Г.В., Мусин Р.А. Специальные методы сварки давлением. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2009. 632 с.
4. Стрижаков Е.Л., Бацемакин М.Ю., Нескоромный С.В. Условия качественной обработки и алгоритм расчета и выбора параметров магнитно-импульсной сварки нахлесточных соединений // Физика и химия обработки материалов. 2007. № 1. С. 64–67.
5. Иванов Е.Г. Расчет режима магнитно-импульсной обработки трубчатых заготовок // Кузнечно-штамповочное производство. 1984. № 7. С. 17–20.
6. Магнитно-импульсная обработка металлов. Воронеж: ЭНИКМАШ, 1976. 181 с.
7. Стрижаков Е.Л., Нескоромный С.В., Минько Д.В. Разрядно-импульсная обработка материалов. Ростов н/Д.: ДГТУ, 2016. 201 с.
8. Нескоромный С.В., Стрижаков Е.Л. Устройство для ударной конденсаторной сварки стержневых деталей с плоским основанием: патент РФ № 70839, 2008.
9. Стрижаков Е.Л., Петровский В.П., Чемерис В.Т. Выбор конструктивных параметров индукторов магнитно-импульсной обработки // Электронная промышленность. 1990. № 12. С. 15–17.
10. Егоров Ю.А., Карпунин В.Ф., Фомичева Л.Ф. Магнитно-импульсный привод для деформирования листовых и трубчатых заготовок // Магнитно-импульсная обработка материалов на современном этапе: труды 1-й Международной научно-технической конференции. «Металлдеформ-99». Секция 4. Самара: СГАУ, 1999. С. 46–50.
11. Талалаев А.К. Индукторы и установки для магнитно-импульсной обработки металлов. М.: Информтехника, 1992. 143 с.
12. Weddeling C., Hahn M., Daehn G.S., Tekkaya A.E. Uniform Pressure Electromagnetic Actuator – An innovative tool for magnetic pulse welding // International Conference on Manufacture of Lightweight Components. 2014. Vol. 18. P. 156–161.
13. Стрижаков Е.Л., Нескоромный С.В., Меркулов Р.В., Агеев С.О. Классификация приемов и исследование процесса высоковольтной конденсаторной сварки // Сварочное производство. 2015. № 3. С. 42–46.
14. Nescoromniy S.V., Ageev S.O., Strizhakov E.L. Development of methods and research on high voltage capacitor welding // Key Engineering Materials Submitted. 2015. Vol. 684. P. 185–192.
15. Dattoma V., Palano F., Panella F.W. Mechanical and technological analysis of AISI 304 butt joints welded with capacitor discharge process // Materials & Design. 2010. Vol. 31. № 1. P. 176–184.
16. Семенов А.П. Исследование схватывания металлов при совместном пластическом деформировании. М.: АН СССР, 1953. 120 с.
17. Семенов А.П. Схватывание металлов. М.: Машгиз, 1958. 280 с.

18. Zhisong Fan, Haiping Yu, Chunfeng Li. Plastic deformation behavior of bi-metal tubes during magnetic pulse cladding: FE analysis and experiments // *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol. 229. P. 230–243.
19. Калеко Д.М., Моравский В.Э., Чвертко Н.А. Ударная конденсаторная сварка. Киев: Наук. Думка, 1984. 200 с.
20. Jones H. Formation of microstructure in rapidly solidified materials and its effect on properties // *Materials Science and Engineering: Fifth International Symposium on Plasticity of Metals and Alloys A*. 1991. Vol. 137. P. 77–85.
21. Мак Лин Д. Границы зерен в металлах. М.: Металлургиздат, 1960. 322 с.
22. Белый И.В., Фертик С.М., Хищенко Л.Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. Харьков: Вища школа, 1977. 168 с.
23. Бадьянов Б.Н. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. Ульяновск: Ульяновский ГТУ, 2000. 405 с.
24. Каталог продукции: высоковольтные конденсаторы, источники питания, разрядники, системы управления. М.: Русская технологическая группа 2, 2014. 30 с.
25. Проскуряков Н.Е. Оптимизация параметров оборудования и индукторной системы при расчете технологических процессов магнитно-импульсной штамповки // *Кузнечно-штамповочное производство*. 1998. № 10. С. 27–29.
26. Карпукhin В.Ф. Определение энергии МИУ, потребной для магнитно-импульсной сварки // *Получение деталей авиационной техники методами пластической деформации металлов: межвузовский сборник*. Куйбышев: КуАИ, 1981. Вып. 2. С. 70–74.
27. Юсупов Р.Ю., Глушечков В.А. Энергетические установки для магнитно-импульсной обработки материалов. Самара: ИД Федоров, 2013. 128 с.
28. Теплотехнический справочник / под общ. ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. Т. 1. М.: Энергия, 1975. 744 с.
7. Strizhakov E.L., Neskromnyy S.V., Minko D.V. *Razryadno-impulsnaya obrabotka materialov* [Discharge-impulse processing of materials]. Rostov-on-Don, DGTU Publ., 2016. 201 p.
8. Neskromnyy S.V., Strizhakov E.L. *Ustroystvo dlya udarnoy kondensatornoy svarki sterzhnevyykh detaley s ploskim osnovaniem* [Device for shock condenser welding of rod parts with a flat base], patent RF no. 70839, 2008.
9. Strizhakov E.L., Petrovskiy V.P., Chemeris V.T. The choice of constructive parameters of inductors of magnetic pulse processing. *Elektronnaya promyshlennost*, 1990, no. 12, pp. 15–17.
10. Egorov Yu.A., Karpukhin V.F., Fomicheva L.F. Magnetic pulse drive for deformation of sheet and tubular blanks. *Magnitno-impulsnaya obrabotka materialov na sovremennom etape: trudy 1-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. "Metall-deform-99"*. Sektsiya 4. Samara, SGAU Publ., 1999, pp. 46–50.
11. Talalaev A.K. *Induktory i ustanovki dlya magnitno-impulsnoy obrabotki metallov* [Inductors and installation for magnetic-pulse processing of metals]. Moscow, Informtekhnik Publ., 1992. 143 p.
12. Weddeling C., Hahn M., Daehn G.S., Tekkaya A.E. Uniform Pressure Electromagnetic Actuator – An innovative tool for magnetic pulse welding. *International Conference on Manufacture of Lightweight Components*, 2014, vol. 18, pp. 156–161.
13. Strizhakov E.L., Neskromnyy S.V., Merkulov R.V., Ageev S.O. Classification of receptions and research of the process of high-voltage capacitor welding. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2015, no. 3, pp. 42–46.
14. Neskromnyy S.V., Ageev S.O., Strizhakov E.L. Development of methods and research on high voltage capacitor welding. *Key Engineering Materials Submitted*, 2015, vol. 684, pp. 185–192.
15. Dattoma V., Palano F., Panella F.W. Mechanical and technological analysis of AISI 304 butt joints welded with capacitor discharge process. *Materials & Design*, 2010, vol. 31, no. 1, pp. 176–184.
16. Semenov A.P. *Issledovanie skhvatyvaniya metallov pri sovместnom plasticheskom deformirovaniy* [Study of metal setting at joint plastic deformation]. Moscow, AN SSSR Publ., 1953. 120 p.
17. Semenov A.P. *Skhvatyvanie metallov* [Solidification of metals]. Moscow, Mashgiz Publ., 1958. 280 p.
18. Zhisong Fan, Haiping Yu, Chunfeng Li. Plastic deformation behavior of bi-metal tubes during magnetic pulse cladding: FE analysis and experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, 2016, vol. 229, pp. 230–243.
19. Kaleko D.M., Moravskiy V.E., Chvertko N.A. *Udarnaya kondensatornaya svarka* [Impact capacitor welding]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 1984. 200 p.
20. Jones H. Formation of microstructure in rapidly solidified materials and its effect on properties. *Materials Science and Engineering: Fifth International Symposium on Plasticity of Metals and Alloys A*, 1991, vol. 137, pp. 77–85.
21. Mak Lin D. *Granitsy zeren v metallakh* [Grain Boundaries in Metals]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1960. 322 p.

## REFERENCES

1. Karakozov E.S. *Soedinenie metallov v tverdoy faze* [Solid phase metal joining]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 264 p.
2. Sapanathan T., Raoelison R.N., Buiron N., Rachik M. Magnetic Pulse Welding: An Innovative Joining Technology for Similar and Dissimilar Metal Pairs. *Industrial Engineering and Management. Joining Technologies*. London, INTECH Publ., 2016, pp. 243–273.
3. Konyushkov G.V., Musin R.A. *Spetsialnye metody svarki davleniem* [Special methods of pressure welding]. Saratov, Ay Pi Er Media Publ., 2009. 632 p.
4. Strizhakov E.L., Batsemakin M.Yu., Neskromnyy S.V. Conditions for quality processing and algorithm of estimation and selection of parameters of magnetic-pulse welding of lapped joints. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*, 2007, no. 1, pp. 64–67.
5. Ivanov E.G. Calculation of the mode of magnetic pulse processing of tubular blanks. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 1984, no. 7, pp. 17–20.
6. *Magnitno-impulsnaya obrabotka metallov* [Magnetic-pulse processing of metals]. Voronezh, ENIKMASH Publ., 1976. 181 p.

22. Belyy I.V., Fertik S.M., Khimenko L.T. *Spravochnik po magnitno-impulsnoy obrabotke metallov* [Handbook on Magnetic-Pulse Metal Treatment]. Kharkov Vishcha shkola Publ., 1977. 168 p.
23. Badyanov B.N. *Spravochnik po magnitno-impulsnoy obrabotke metallov* [Handbook on magnetic-pulse processing of metals]. Ulyanovsk, Ulyanovskiy GTU Publ., 2000. 405 p.
24. *Katalog produktov: vysokovoltnye kondensatory, istochniki pitaniya, razryadniki, sistemy upravleniya* [Catalog of the production: high-voltage capacitors, power supplies, dischargers, control systems]. Moscow, Russkaya tekhnologicheskaya gruppa 2 Publ., 2014. 30 p.
25. Proskuryakov N.E. Optimization of the parameters of the equipment and inductor system for calculating the technological processes of magnetic pulse stamping. *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo*, 1998, no. 10, pp. 27–29.
26. Karpukhin V.F. Determination of MIS energy required for magnetic-pulse welding. *Poluchenie detaley aviatsonnoy tekhniki metodami plasticheskoy deformatsii metallov: mezhvuzovskiy sbornik*. Kuybyshev, KuAI Publ., 1981. Vyp. 2, pp. 70–74.
27. Yusupov R.Yu., Glushchenkov V.A. *Energeticheskie ustanovki dlya magnitno-impulsnoy obrabotki materialov* [Power plants for magnetic-impulse processing of materials]. Samara, ID Fedorov Publ., 2013. 128 p.
28. Yureneva V.N., Lebedeva P.D., eds. *Teplotekhnicheskii spravochnik* [Thermal reference book]. Moscow, Energiya Publ., 1975. 744 p.

### THE TECHNIQUE OF CALCULATING THE PARAMETERS OF THE PROCESS AND SELECTION OF EQUIPMENT FOR HIGH-VOLTAGE CONDENSER WELDING

© 2018

**S.V. Nescoromniy**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Yu.V. Panov**, senior lecturer

*Don State Technical University, Rostov-on-Don (Russia)*

**Keywords:** solid-phase welding; activation of contact surfaces; magnetic pressure; plastic deformation; energy; inductor; pusher; capacitor bank.

**Abstract:** The necessity to manufacture metal structures from non-ferrous metals in one- and heterogeneous combinations is the critical task at the production site. The main constraints when welding fasteners to hull details from non-ferrous metals are the polythickness of the elements leading to uneven heat input and heat dissipation, the difference in electrical and thermophysical properties, as well as the probability of intermetallic phases' formation due to the mutual diffusion of atoms of the near-surface layers during the dissolution processes and phase transformations.

The analysis of the structural design of equipment components and the difficulties in their production showed that it is necessary to form the welded joint mainly in the solid phase using the highly-concentrated pulsed energy sources. To create physical contact of the parts to be connected, high-voltage capacitor welding with the induction-dynamic drive (HVCW with IDD) can best meet the requirements.

The authors proposed the technique to calculate the parameters of the process of welding fasteners from non-ferrous metals to the hull structures sheet elements. The essence of the process of HVCW with IDD was considered. The paper presents its energy parameters and geometric parameters of the assembly affecting the quality of the welded joint.

The previous theoretical analysis of the HVCW process, the experimental studies and design investigations of the HVCW devices allowed developing a scientifically grounded algorithm for calculating and selecting the parameters of the technological process and the equipment for its implementation. The algorithm provides for two stages of its implementation. At the first stage, the temporary options of the process are calculated. At the second stage, the parameters of the equipment and tools satisfying the condition of solid-phase volume interaction are calculated and selected. Based on the data obtained, the selection of equipment components with the tooling and the subsequent adjustment of welding parameters taking into account the course of the processes in solid phase are carried out.

To reduce the complexity of calculations, software that will allow determining the parameters of the HVCW process, the energy and frequency characteristics of equipment and tooling was developed.

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАРТЕНСИТА НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНАШИВАНИИ

© 2018

*С.М. Никифорова*, аспирант кафедры металловедения*М.А. Филиппов*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металловедения*Н.Н. Озерец*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металловедения*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (Россия)*

**Ключевые слова:** абразивная износостойкость; метастабильный аустенит; мартенсит деформации; карбиды; структура; закалка; инструментальная сталь.

**Аннотация:** Наиболее распространенным видом механического изнашивания, которому подвержены машины и агрегаты горнодобывающей, строительно-дорожной промышленности и транспорта, является абразивное изнашивание. Разработка новых износостойких материалов и режимов термической обработки для борьбы с этим видом изнашивания остается одной из важнейших проблем материаловедения. Износостойкие материалы в различных условиях механического изнашивания должны обладать структурой с метастабильным аустенитом, превращающимся в дисперсный мартенсит в процессе эксплуатации.

В работе изучается влияние структурных изменений на рабочей поверхности на износостойкость стали X12MЛ в процессе изготовления, термической обработки и абразивного изнашивания деталей.

Установлено, что при закалке от температур 850–1000 °С в структуре высокохромистой стали X12MЛ образуется мартенсит, что обеспечивает высокую твердость, однако при этом в условиях абразивного изнашивания не достигается максимальная износостойкость. Повышение температуры нагрева под закалку до 1170 °С приводит к снижению исходной твердости, что связано с растворением карбидов и увеличением количества остаточного аустенита, однако это сопровождается значительным ростом износостойкости при абразивном изнашивании. Остаточный аустенит, полученный в результате высокотемпературной закалки (от 1170 °С), является метастабильным и в процессе изнашивания превращается в мартенсит деформации, это придает стали максимальную износостойкость благодаря высокой способности к фрикционному упрочнению рабочей поверхности. Мартенсит, образующийся на рабочей поверхности стали типа X12MЛ в процессе абразивного изнашивания, имеет нанокристаллическое строение и периодическое распределение.

### ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным видом механического изнашивания, которому подвержены машины и агрегаты горнодобывающей, строительно-дорожной промышленности и транспорта, является абразивное изнашивание и его разновидности – газо- и гидроабразивное изнашивание. Разработка новых износостойких материалов и режимов термической обработки для борьбы с этим видом изнашивания остается одной из важнейших проблем материаловедения [1].

Износостойкие материалы в различных условиях механического изнашивания должны обладать структурой, в максимальной степени отвечающей принципам синергетического подхода к неравновесным системам (микронеоднородная структура с метастабильным аустенитом, превращающимся в дисперсный мартенсит в процессе эксплуатации) [2; 3].

Высокоуглеродистые хромистые сплавы мартенситно-карбидного класса со структурой, состоящей из мартенсита, остаточного аустенита и специальных карбидов, являются эффективными материалами в условиях абразивного изнашивания, в частности для деталей нефтегазового бурового оборудования, рабочих втулок грязевых насосов, а также матриц прессов для изготовления огнеупоров и др. [4; 5]. Стойкость таких деталей, эксплуатируемых в условиях интенсивного абразивного или гидроабразивного изнашивания, лимитирует межремонтный срок работы оборудования вследствие недопустимого изменения размеров рабочих поверхностей. Успешные разработки высокоазотистых сталей [6–8] пока не нашли широкого применения в буровой технике.

В разных вариантах конструкций для изготовления втулок используются различные материалы, но, как правило, срок их службы не превышает 200–300 часов, после чего происходит недопустимое изменение размеров в паре трения «втулка – поршень». Поэтому выбор технологичного материала для изготовления втулок с высокой эксплуатационной стойкостью остается актуальной проблемой при производстве конкурентоспособных буровых насосов.

Опробование вариантов различных классов материалов цилиндрических втулок и технологий их изготовления показало, что углеродистая сталь 60 с закалкой ТВЧ, износостойкие хромистые чугуны типа ЧХ20М не обладают достаточной стойкостью или неприемлемы вследствие хрупкости [9; 10]. Использование химико-термической обработки (цементации и ионного азотирования) и покрытий оказалось неэффективным по технологическим или экономическим соображениям.

В связи с этим целесообразно использование резервов повышения абразивной износостойкости втулок насосов, изготовленных из инструментальных хромистых сталей ледебуритного класса типа X12MЛ, – имеется в виду формирование структуры металлической основы этих сталей с метастабильным аустенитом, легированным большим количеством углерода и хрома, с целью достижения максимального сопротивления абразивному изнашиванию.

Известно, что образование большого количества остаточного аустенита после высокотемпературной закалки стали X12M позволяет заметно повысить абразивную износостойкость вследствие превращения метаста-

бильного аустенита в мартенсит на рабочей поверхности [11; 12].

Цель работы – изучение взаимосвязи формирующейся структуры стали Х12МЛ в процессе изготовления и термической обработки деталей и структурных изменений на рабочей поверхности в процессе абразивного изнашивания с их износостойкостью.

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования выбраны образцы 10×10×25 мм, изготовленные из центробежнолитых заготовок штамповой стали Х12МФЛ, прошедших отжиг по стандартной технологии. Образцы подвергали закалке в масле от температур 900–1170 °С с выдержкой 20 минут.

Оценка износостойкости образцов производилась с помощью методики изнашивания по закрепленному абразиву, реализованной на специальной установке [13–15]. Образцы с площадью рабочей части 10×10 мм совершали возвратно-поступательное движение по шлифовальной бумаге 14А32МН481 (ГОСТ 6456-82) на корундовой основе. Нагрузка на образец составляла 10 кг.

Металлографический анализ структуры до и после испытаний на абразивное изнашивание проводили с помощью оптического микроскопа Olimpus JX51. Изучение тонкой структуры стали проводили методом просвечивающей электронной микроскопии тонких фольг на микроскопе ЭМВ-100Л. Рентгеноструктурный фазовый анализ образцов исследуемой стали проводили на дифрактометре XRD-7000 с помощью программного комплекса Shimadzu.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сталь Х12МЛ в исходном состоянии (после стандартной термообработки: нормализации и отпуска), литая сталь Х12МЛ имеет ячеисто-дендритную структуру, в которую входит около 25 % превращенной аустенитно-карбидной эвтектики скелетообразной формы, образовавшейся по границам первичных кристаллов аустенита, продуктов диффузионного распада аустенита и вторичных карбидов внутри ячеек [16].

Варианты формирующейся структуры стали Х12МЛ реализованы в работе посредством изменения температуры нагрева под закалку в масле в широком диапазоне температур – от 900 до 1170 °С. Температура нагрева под закалку оказывает качественное влияние на соотношение фазовых составляющих металлической осно-

вы стали (рис. 1). При повышении температуры закалки в стали Х12МЛ структурные изменения в основном происходят внутри ячеек – прогрессирующее растворение вторичных карбидов и значительное увеличение количества остаточного аустенита, что подтверждается данными рентгенофазового анализа (рис. 1 а). Размер ячеек, окруженных эвтектикой, остается в результате закалки от максимальной температуры неизменным – примерно 20–30 мкм (рис. 2). При этом химический состав твердого раствора металлической основы примерно соответствует стали переходного класса 60Х11МЛ, а концентрация хрома в превращенной карбидной эвтектике – карбидам  $M_7C_3$  (таблица 1).

Значения абразивной износостойкости имеют аномальную возрастающую зависимость от температуры закалки: износостойкость увеличивается от 1,7 до 4,1 после закалки от 900 и 1170 °С соответственно. Это объясняется увеличением количества углеродистого метастабильного остаточного аустенита и содержания углерода в нем. Остаточный аустенит, получаемый в результате высокотемпературной закалки, метастабилен и превращается в высокоуглеродистый мартенсит деформации в процессе изнашивания (см. рис. 1 б), что придает стали максимальную износостойкость. Таким образом, начиная от температуры закалки 1100 °С, фактор превращения углеродистого метастабильного аустенита в мартенсит в процессе трения абразивных частиц с созданием высокого упрочнения поверхности играет большую роль в формировании износостойкой структуры, чем растворение части вторичных карбидов в аустенитно-мартенситной матрице. Деформация стали Х12МЛ снижает количество аустенита с 60 до 30 %. Микротвердость рабочей поверхности стали Х12МЛ после изнашивания достигает 11–12 ГПа. Чем выше микротвердость структуры, образующейся на поверхности, тем меньше металла участвует в создании рабочего слоя, тем с меньшего объема происходит отделение частиц износа, тем выше износостойкость.

С целью исследования структуры после абразивного изнашивания было проведено электронно-микроскопическое исследование. Электронно-микроскопическое исследование тонких фольг, полученных посредством односторонней электрополировки из поверхностного рабочего слоя образцов стали Х12МЛ после закалки от 1170 °С показало наличие остаточного аустенита, кристаллов мартенсита и карбидов типа  $Cr_7C_3$ . На рис. 3 представлена кольцевая электронограмма рабочей

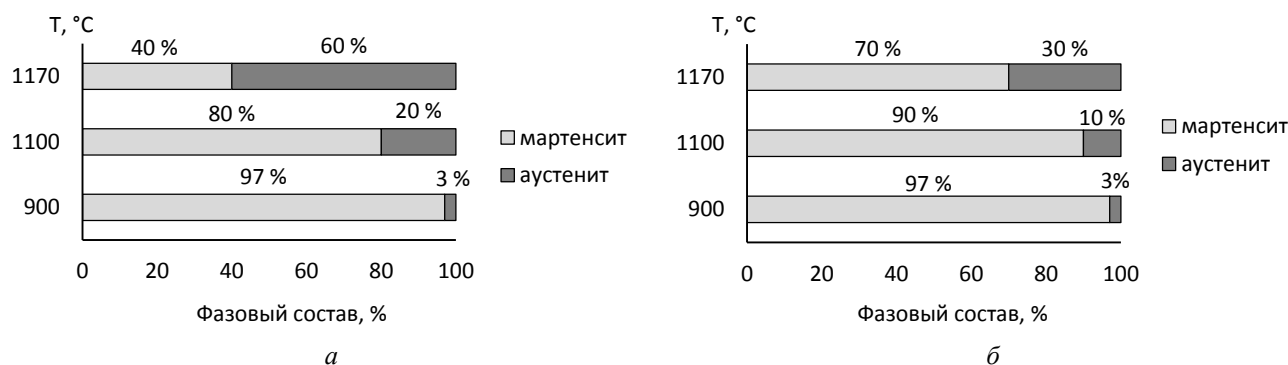
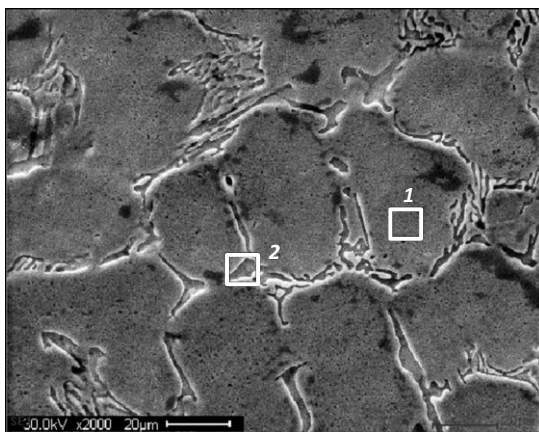


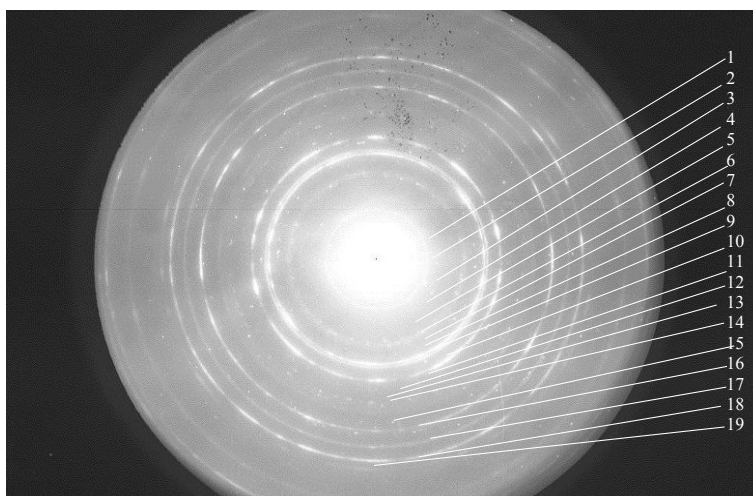
Рис. 1. Фазовый состав металлической основы стали Х12МЛ после закалки от разных температур до абразивного изнашивания (а) и после (б)



**Рис. 2.** Микроанализ стали X12M1 после закалки от температуры 1170 °С: участок 1 – твердый раствор; участок 2 – эвтектические карбиды

**Таблица 1.** Микроанализ стали X12M1 после закалки от температуры 1170 °С

Участок 1 (см. рис. 2)			Участок 2 (см. рис. 2)		
Element	Wt, %	At, %	Element	Wt, %	At, %
Mo	01,17	00,68	Mo	02,30	01,31
V	00,43	00,47	V	01,28	01,37
Cr	10,03	10,73	Cr	41,49	43,59
Mn	00,59	00,60	Mn	00,18	00,18
Fe	87,79	87,52	Fe	54,93	53,73



**Рис. 3.** Кольцевая электронограмма рабочей поверхности образца стали X12M1 после закалки 1170 °С

поверхности образца стали X12M1 после высокотемпературной закалки и испытания на абразивное изнашивание, полученная в режиме электронографа с участка фольги  $\varnothing$  0,5 мм. Расшифровка электронограммы дает наглядное представление о структуре стали (таблица 2). Из рис. 3 и таблицы 2 видно, что присутствуют линии сильной интенсивности  $\alpha$ -фазы с индексами (011), (002), (112), (022) и  $\gamma$ -фазы с индексами (111), (002), (022), (113), (222) и большое количество линий разной интенсивности карбидов  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  [17].

Дисперсные кристаллы мартенсита деформации с протяженностью длинной оси, по-видимому, соответствующей

ширине микроцарапин, оставленных после прохода абразивных частиц, образуются параллельными периодическими рядами (рис. 4, рис. 5). Размер кристаллов мартенсита деформации в продольном и поперечном направлениях, образующихся под углами, определенными кристаллографическими соотношениями решетки аустенита по отношению к направлению движения частиц (показаны стрелкой на рис. 4 б), относится к ультрадисперсным и наноразмерным величинам и составляет в локальных участках поверхности преимущественно 50–70 нм [18; 19].

По-видимому, подобный периодический характер расположения кристаллов мартенсита деформации в виде

Таблица 2. Расшифровка электронограммы стали X12MЛ, приведенной на рис. 3

№ кольца	Интенсивность	$\gamma$ , HKL	$\alpha$ , HKL	$Cr_7C_3$ , HKL
1	Средняя линия			111
2	Точечная			201
3	Точечная			220
4	Точечная			400
5	Точечная			410
6	Точечная + размытая линия			401
7	Точечная			411
8	Очень сильная линия	111		331
9	Очень сильная линия		011	212
10	Очень сильная линия	002		521
11	Точечная			412
12	Точечная			710
13	Точечная			540
14	Линия размытая слабая		002	213
15	Точечная			900
16	Очень сильная линия	022		503
17	Очень сильная линия		112	10.0.1
18	Очень сильная линия	113		713
19	Средняя линия	222	022	940

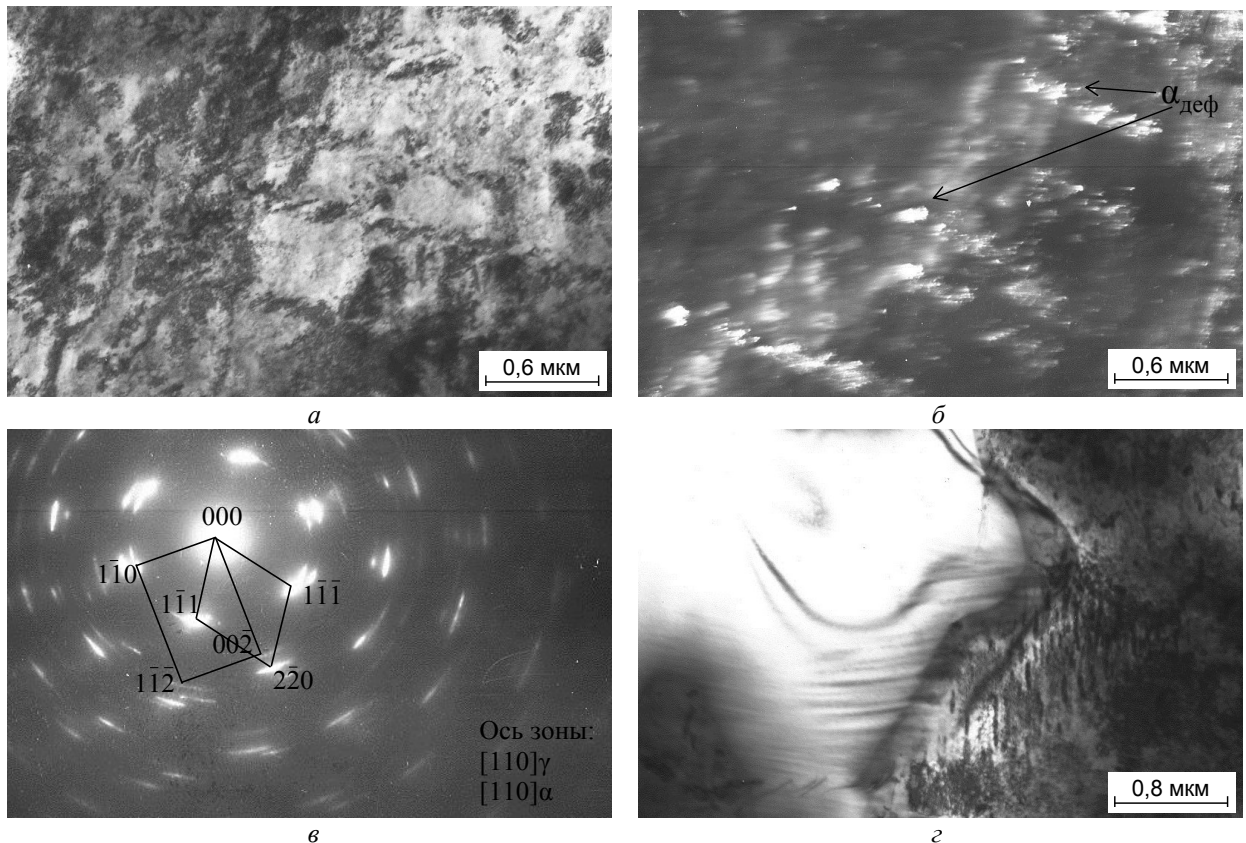
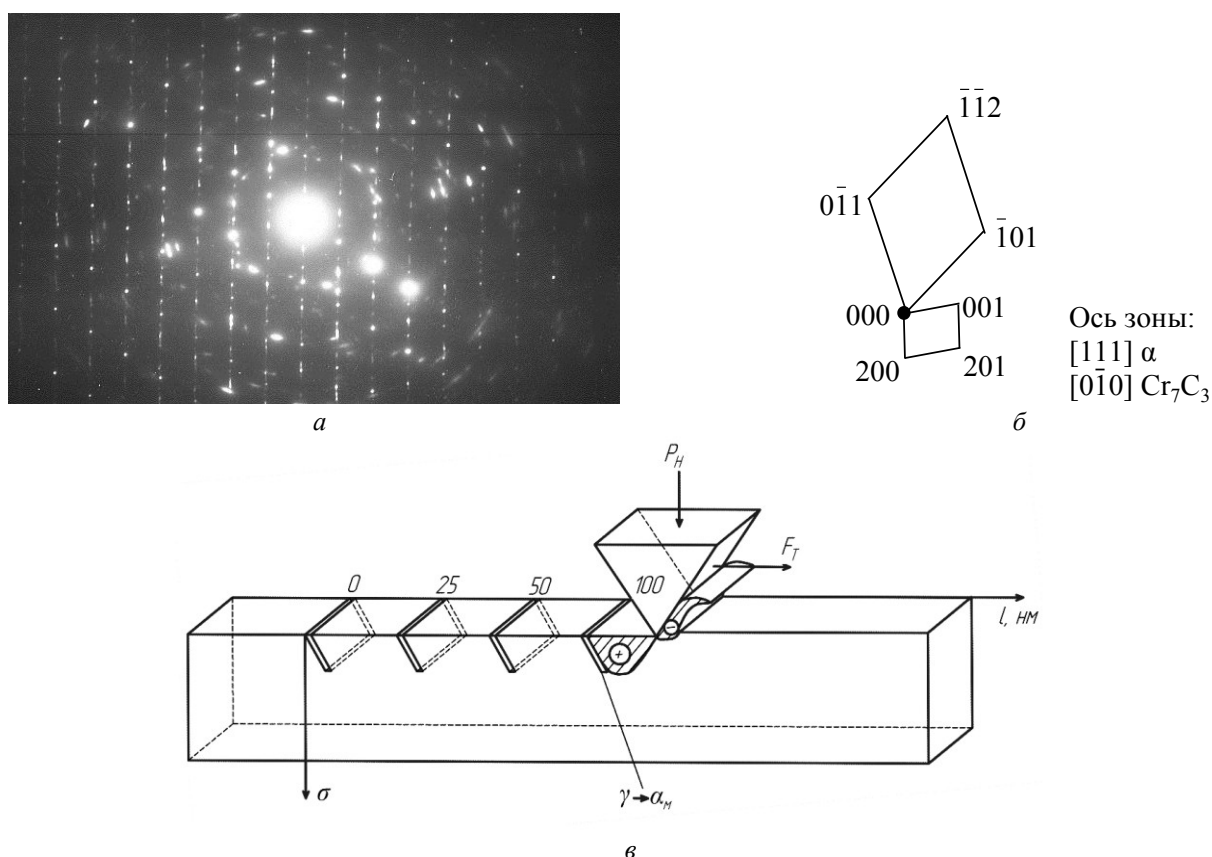


Рис. 4. Микроструктура поверхностного рабочего слоя стали X12MЛ после закалки от 1170 °С и испытания на абразивное изнашивание:

- а – светлопольное изображение;
- б – темнопольное изображение в рефлексе (1 $\bar{1}$ 0)  $\alpha$ -фазы;
- в – микродифракция и схема расшифровки;
- г – темнопольное изображение в рефлексе (0 $\bar{1}$ 1)  $\alpha$ -фазы;



**Рис. 5.** Микроструктура поверхностного рабочего слоя стали X12ML после закалки от 1170 °С и испытания на абразивное изнашивание:  
 а – микродифракция; б – схема расшифровки;  
 в – схема взаимодействия движущейся конической частицы абразива по поверхности метастабильной аустенитной стали с образованием кристаллов мартенсита деформации

параллельных рядов обусловлен формированием чередующихся пиков сжимающих напряжений на фронте движущихся абразивных частиц и растягивающих напряжений после прохождения частицы в данном микрообъеме металла (рис. 5 в). Кристаллы мартенсита с большим удельным объемом по сравнению с аустенитом образуются в тех участках аустенита, где пиковые напряжения растяжения превышают критическую величину сдвига при мартенситном превращении. Образование кристаллов мартенсита деформации сопровождается микро-трип-эффектом [20]. Представленная на рис. 4, рис. 5 микроструктура получена от одного зерна аустенита при установившемся режиме трения, то расположение кристаллов мартенсита деформации правильными параллельными рядами в разных микроцарапинах на поверхности образцов можно объяснить действием однородного поля напряжений при одинаковой ориентации кристаллической решетки аустенита. Армирование рабочей поверхности дисперсными кристаллами мартенсита, стимулирующими микро-трип-эффект и релаксацию микронапряжений в момент сдвига, затрудняет внедрение абразивных частиц, повышая сопротивление изнашиванию.

Таким образом, процесс абразивного изнашивания формирует ультрадисперсную и нанокристаллическую мартенситно-аустенитную структуру рабочей поверхности с закономерным периодическим расположением кристаллов высокоуглеродистого мартенсита деформации

и высоким уровнем фрикционного упрочнения. Важную роль в формирующейся после высокотемпературной закалки износостойкой структуре играет содержание углерода и хрома в аустените и образующем из него мартенсите деформации при изнашивании.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Показана определяющая роль структуры металлической основы в обеспечении наибольшей абразивной износостойкости стали ледебуритного класса X12ML. Структура металлической основы стали с максимальной способностью к фрикционному упрочнению и, как следствие, наилучшим сопротивлением абразивному изнашиванию состоит из метастабильного углеродисто-хромистого аустенита в количестве 25–60 %, мартенсита охлаждения с содержанием углерода 0,55–0,65 % и карбидов  $M_7C_3$  в стали X12ML.

2. Структура с максимальным сопротивлением абразивному изнашиванию стали типа X12ML формируется в результате закалки от температур 1100–1170 °С в масле.

3. Впервые установлено, что мартенсит, образующийся на рабочей поверхности стали типа X12ML в процессе абразивного изнашивания, имеет нанокристаллическое строение и периодическое распределение.

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

- Коршунов Л.Г. Износостойкость и структурные превращения нестабильных аустенитных сталей при трении // Контактная прочность метастабильных металлических сплавов: межвузовский сборник трудов. Свердловск: УПИ, 1972. № 210. С. 72–86.
- Жилин А.С., Филиппов М.А. Виды и механизмы изнашивания материалов. Екатеринбург: Уральский ун-т, 2015. 59 с.
- Иванова В.С. Синергетический анализ синтеза структур наносистем // Сложные системы. 2013. № 4. С. 4–32.
- Макаров А.В. Повышение износостойкости сплавов железа за счет создания метастабильных и нанокристаллических структур : дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск, 2009. 424 с.
- Счастливец В.М., Калетина Ю.В., Фокина Е.А. Остаточный аустенит в легированных сталях. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. 236 с.
- Глебов В.В., Блинов В.М., Репин Ф.Ф. Механизмы структурного упрочнения азотсодержащей аустенитной стали типа 05X22AG14N7M // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2017. № 52. С. 79–87.
- Скорынина П.А., Макаров А.В., Юровских А.С., Осинцева А.Л. Влияние температуры наноструктурирующей фрикционной обработки на структурно-фазовое состояние, упрочнение и качество поверхности аустенитной хромоникелевой стали // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2017. № 3. С. 103–109.
- Макаров А.В., Егорова Л.Ю., Табагчикова Т.И., Счастливец В.М., Яковлева И.Л., Осинцева А.Л. Влияние легирования хромом на структуру и абразивную износостойкость высокоуглеродистых сталей, подвергнутых изотермическому распаду аустенита // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 11. С. 31–38.
- Макаров А.В., Горкунов Э.С., Коган Л.Х., Малыгина И.Ю., Осинцева А.Л. Вихретоковый контроль структурного состояния, твердости и абразивной износостойкости высокопрочного чугуна, подвергнутого лазерной закалке и последующему отпуску // Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures. 2015. № 6. С. 90–103.
- Филиппов М.А., Лхагвадорж П., Плотников Г.Н. Структурные факторы повышения износостойкости белого хромистого чугуна // Материаловедение и термическая обработка металлов. 2000. № 11. С. 10–13.
- Геллер Ю.А. Инструментальные стали. 5-е изд. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
- Филиппов М.А., Филиппенков А.А., Плотников Г.Н. Износостойкие стали для отливок. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 358 с.
- Попов С.М., Антонюк Д.А. Аналитическая модель расчета геометрических составляющих твердой фазы износостойчивого сплава в условиях контакта с закрепленным абразивом // Проблемы трибологии. 2013. № 2. С. 59–65.
- Герасимов С.А., Куксенова Л.И., Лаптева В.Г. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. 2-е изд., испр. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 518 с.
- Карабарин Д.А., Тарасов Г.Ф. Методика испытания сталей на абразивную износостойкость // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. Т. 1. № 8. С. 20–22.
- Филиппов М.А., Гервасьев М.А., Плотников Г.Н., Жилин А.С., Никифорова С.М. Формирование структуры износостойких сталей 150XHMЛ и X12MФЛ при закалке // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 11. С. 5–9.
- Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. 3-е изд. М.: МИСИС, 1994. 328 с.
- Никифорова С.М., Хадыев М.С., Жилин А.С., Филиппов М.А., Рыжков М.А., Озерец Н.Н. Новые режимы обработки высокохромистых сталей с высокой износостойкостью для насосов буровых установок // Фундаментальные исследования. 2016. № 10-1. С. 73–77.
- Korshunov L.G., Makarov A.V., Chernenko N.L. Ultrafine Structures Formed upon Friction and their Effect on the Tribological Properties of Steels // The Physics of Metals and Metallography. 2000. Vol. 90. № 1. P. 48–58.
- Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов. М.: Металлургия, 1977. 490 с.

## REFERENCES

- Korshunov L.G. Wear resistance and structural transformations of unstable austenitic steels during friction. *Kontaktная prochnost metastabilnykh metallicheskih spлавov: mezhvuzovskiy sbornik trudov*. Sverdlovsk, UPI Publ., 1972, no. 210, pp. 72–86.
- Zhilin A.S., Filippov M.A. *Vidy i mekhanizmy iznashivaniya materialov* [Types and mechanisms of material wear]. Ekaterinburg, Ural'skiy un-t Publ., 2015. 59 p.
- Ivanova V.S. Synergetic analysis of synthesis of structures of nanosystems. *Slozhnye sistemy*, 2013, no. 4, pp. 4–32.
- Makarov A.V. *Povyshenie iznosostoykosti spлавov zheleza za schet sozdaniya metastabilnykh i nanokristallicheskih struktur*. Diss. dokt. tekhn. nauk [The improvement of wear resistance of ferroalloys by means of creation of metastable and nanocrystalline structures]. Chelyabinsk, 2009. 424 p.
- Schastlivtsev V.M., Kaletina Yu.V., Fokina E.A. *Ostatochnyy austenit v legirovannykh stalyakh* [The residual austenite in the alloy steel]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2014. 236 p.
- Glebov V.V., Blinov V.M., Repin F.F. Mechanisms of structural hardening of nitrogen-containing austenitic steel of the type 05X22AG14N7M. *Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta*, 2017, no. 52, pp. 79–87.
- Skorynina P.A., Makarov A.V., Yurovskikh A.S., Osintseva A.L. The influence of temperature of nanostructuring frictional treatment on the structural-phase state, hardening and surface quality of austenitic chromium-nickel steel. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 3, pp. 103–109.

8. Makarov A.V., Egorova L.Yu., Tabatchikova T.I., Schastlivtsev V.M., Yakovleva I.L., Osintseva A.L. The influence of chromium alloying on the structure and abrasive wear resistance of high-carbon steels exposed to isothermal decomposition of austenite. *Deformatsiya i razrushenie materialov*, 2013, no. 11, pp. 31–38.
9. Makarov A.V., Gorkunov E.S., Kogan L.Kh., Malygina I.Yu., Osintseva A.L. Eddy-current testing of the structure, hardness and abrasive wear resistance of laser-hardened and subsequently tempered high-strength cast iron. *Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures*, 2015, no. 6, pp. 90–103.
10. Filippov M.A., Lkhagvadorzh P., Plotnikov G.N. Structural factors of wearability improvement of chromium white cast iron. *Materialovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2000, no. 11, pp. 10–13.
11. Geller Yu.A. *Instrumentalnye stali* [Tool steels]. 5<sup>th</sup> izd. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 527 p.
12. Filippov M.A., Filippenkov A.A., Plotnikov G.N. *Iznosostoykie stali dlya otlivok* [Wear-Resistant Steels for Castings]. Ekaterinburg, UGTU-UI Publ., 2009. 358 p.
13. Popov S.M., Antonyuk D.A. Analytical model of geometric components solid phase calculation of wear resistant alloys in contact conditions with fixed abrasives. *Problemi tribologii*, 2013, no. 2, pp. 59–65.
14. Gerasimov S.A., Kuksenova L.I., Lapteva V.G. *Struktura i iznosostoykost azotirovannykh konstruktsionnykh staley i splavov* [Structure and wear resistance of the nitrided steels and alloys]. Moscow, MGU im. N.E. Bauman Publ., 2014. 518 p.
15. Karabarin D.A., Tarasov G.F. The technique of testing steels for abrasive wear resistance. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavtiki*, 2012, vol. 1, no. 8, pp. 20–22.
16. Filippov M.A., Gervasev M.A., Plotnikov G.N., Zhilin A.S., Nikiforova S.M. Formation of structure of wear-resistant steels 150KhNML and Kh12MFL upon quenching. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2015, no. 11, pp. 5–9.
17. Gorelik S.S., Skakov Yu.A., Rastorguev L.N. *Rentgenograficheskiy i elektronno-opticheskiy analiz* [X-Ray Diffraction and Electron Optical Analysis]. 3<sup>rd</sup> izd. Moscow, MISIS Publ., 1994. 328 p.
18. Nikiforova S.M., Khadyev M.S., Zhilin A.S., Filippov M.A., Ryzhkov M.A., Ozerets N.N. New modes of heat treatment of high-chromium steels with high wear resistance for pumps. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2016, no. 10-1, pp. 73–77.
19. Korshunov L.G., Makarov A.V., Chernenko N.L. Ultrafine Structures Formed upon Friction and their Effect on the Tribological Properties of Steels. *The Physics of Metals and Metallography*, 2000, vol. 90, no. 1, pp. 48–58.
20. Bernshteyn M.L. *Struktura deformirovannykh metallov* [Structure of deformed metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 490 p.

#### THE FORMATION OF NANOCRYSTALLINE MARTENSITE ON A WORKING SURFACE OF TOOL STEEL IN THE CASE OF ABRASIVE WEAR

© 2018

*S.M. Nikiforova*, postgraduate student of Chair of Metallography

*M.A. Filippov*, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, professor of Chair of Metallography  
*N.N. Ozerets*, PhD (Engineering), Associate Professor, assistant professor of Chair of Metallography  
*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (Russia)*

*Keywords:* abrasive wear resistance; metastable austenite; deformation martensite; carbides; structure; quenching; tool steel.

*Abstract:* The most common type of mechanical wear the machines and aggregates of mining, construction and road industries and transport are exposed to is the abrasive wear. The development of new wear-resistant materials and modes of thermal treatment against this type of wear is one of the most important issues of material science. Wear-resistant materials within various conditions of mechanical wear should have a structure with the metastable austenite developing into disperse austenite while in operation.

The paper studies the influence of structural changes on a working surface on the wear resistance of H12ML steel during the process of production, thermal treatment and abrasive wear of parts.

It is determined that when quenching from temperatures of 850–1000 °C, the martensite is formed in the structure of high-chromium H12ML steel that ensures high hardness, however, maximum wear resistance is not achieved within the abrasive wear conditions. The rise of heating temperature for the following quenching up to 1170 °C causes the decrease in the initial hardness that is associated with the carbides solution and the increase in the retained austenite quantity; however, it is accompanied by the significant increase of wear resistance during the abrasive wear. The retained austenite produced in the result of high-temperature quenching (from 1170 °C) is metastable and develops into deformation martensite during wear process; it results in the maximum wear resistance of steel due to the high capacity for frictional hardening of a working surface. Martensite formed on a working surface of H12ML steel during the abrasive wear process has the nanocrystalline structure and periodic distribution.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ РАЗНОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

© 2018

*Р.А. Рзаев*, старший преподаватель кафедры «Материаловедение и технология сварки»  
*Астраханский государственный университет, Астрахань (Россия)*

*А.А. Чуларис*, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства»  
*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону (Россия)*

*А.С. Досимов*, магистрант

*Астраханский государственный университет, Астрахань (Россия)*

*А.А. Наумов*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и исследование материалов»

*О.Г. Зотов*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и исследование материалов»

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург (Россия)*

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием; разнородные материалы; стыко-нахлесточное соединение; биметаллические соединения; сварка в твердой фазе.

**Аннотация:** Технология получения разнородных соединений сопряжена с трудностями из-за различия их теплофизических и иных свойств, а также особенностей процесса образования соединений. Решением проблем свариваемости биметаллических соединений является использование сварки трением с перемешиванием (СТП). Работа посвящена изучению механических свойств стыковых, стыко-нахлесточных, нахлесточных (LAP) соединений алюминиевых АД1 и медных М1 сплавов, алюминиевых АД1 сплавов и легированных сталей (12Х18Н10Т), алюминиевых АД1 и ОТ4-1 сплавов.

Предметом анализа является конструктивное оформление кромок свариваемых деталей при СТП и поэтапный анализ процесса формирования стыковых, нахлесточных, тавровых, комбинированных соединений меди с алюминием с учетом параметров режимов сварки. Проанализированы факторы, влияющие на прочность разнородных соединений алюминиевого АД1 и медного М1 сплавов, выполненных с помощью СТП. Изучено влияние геометрии подготовленных кромок деталей на формирование бездефектных и прочных сварных соединений. Показаны перспективные направления конструктивного оформления различных вариантов стыковых соединений (стыко-нахлесточных: в скос 30...60°, в замок, в шип) за счет повышения фактической площади контактирования деталей, воспринимающих при нагружении нормальные или касательные напряжения, в отличие от традиционных, работающих в условиях чистого отрыва. Представлены результаты на статическое растяжение рекомендованных конструкторско-технологических приемов, направленных на улучшение условий и активацию процесса образования адгезионных разнородных соединений. Металлографические исследования макрошлифов сварных соединений показали возможность получения бездефектных сварных швов с полным проваром корневой части; механические испытания стыковых, комбинированных и нахлесточных соединений подтвердили высокий уровень прочности разнородных соединений.

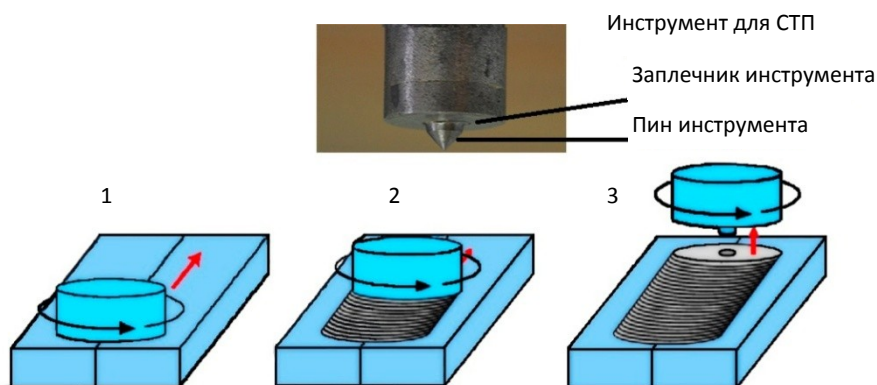
### ВВЕДЕНИЕ

Биметаллические соединения используются в элементах конструкции, в которых традиционные однородные материалы ограниченно удовлетворяют их функциональным требованиям [1; 2]. Получение сварного соединения разнородных материалов сопряжено с трудностями из-за различия их физических и иных свойств, а также особенностей процесса образования соединений при сварке трением с перемешиванием (СТП) [3; 4]. При сварке плавлением металлы для образования соединений расплавляют. При твердофазных способах сварки используют значительные удельные давления, формируя соединения под действием пластической деформации объемов приконтактных областей соединяемых металлов. В отличие от рассмотренных способов сварки, при СТП сварные соединения образуются благодаря переходу кромок в месте контакта соединяемых элементов в сверхпластическое состояние (СПС) и перемещению ограниченного объема металла в направлении, благоприятном для формирования сварного соединения. Однако разные металлы и сплавы имеют различные температуры перехода в СПС, и простое повышение температурного режима не решает

проблемы образования твердофазного адгезионного соединения. При анализе диаграмм состояния бинарных металлических систем из разнородных металлов установлено, что лишь 12–15 % известных конструкционных металлов могут образовывать твердые растворы. В остальных случаях при сварке разнородных металлов с ограниченной взаимной растворимостью могут образовываться хрупкие интерметаллиды, что приводит к снижению механических свойств разнородных сварных соединений.

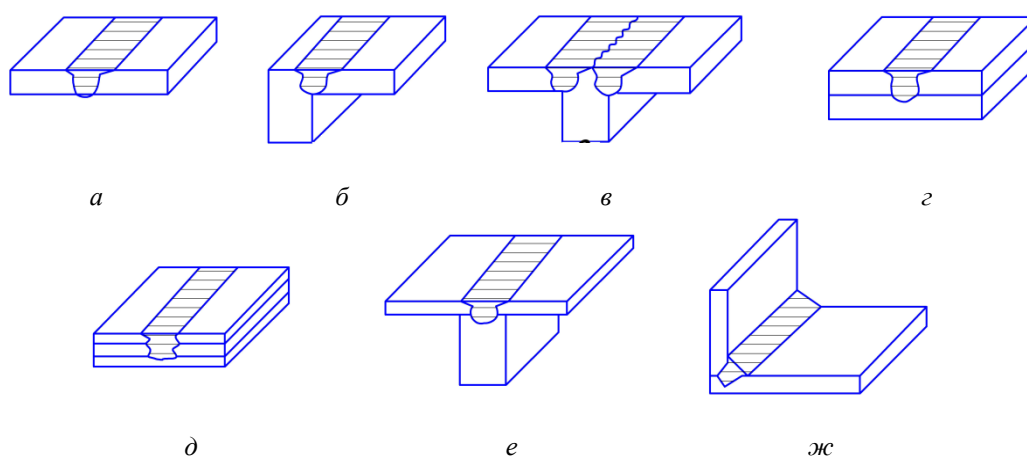
Современные разработки в области технологии сварки позволяют соединять разнородные материалы с получением требуемых свойств по разным показателям часто без дефектов. Среди различных методов сварки разнородных металлов наиболее оптимальным признан процесс соединения металлов в твердом состоянии. Поэтому в последнее время активно используют способ СТП.

При классической схеме процесса сварки трением с перемешиванием (рис. 1) могут быть получены различные типы соединений: стыковые, нахлесточные (мультинахлесточные, нахлесточно-стыковые), угловые и даже тавровые (тавро-прорезные, двухпроходно-тавровые) соединения (рис. 2).



**Рис. 1.** Схема процесса СТП:

1 – ввод инструмента (создание физического контакта, создание распределенного источника тепла);  
2 – перемещение инструмента вдоль свариваемых кромок; 3 – вывод инструмента



**Рис. 2.** Виды сварных соединений для СТП:

а – стыковое; б – тавровое; в – двухпроходно-тавровое; г – нахлесточное;  
д – мультинахлесточное; е – таврово-прорезное; ж – угловое

Вероятность образования хрупких интерметаллических соединений снижается в процессе СТП благодаря низкой рабочей температуре, достигаемой в процессе фрикционного трения инструмента и свариваемого металла, участвующих в этом процессе, и интенсивного перемешивания пластически деформируемого металла.

Цель работы – исследование влияния технологических приемов на механические свойства разнородных биметаллических соединений при СТП.

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В исследованиях использовали преимущественно листовые (толщиной 2–4 мм) образцы из алюминия и его сплавов (АД1 и др.), меди М1, Ti-сплав (ОТ 4-1), стали (Ст3, 12Х18Н10Т). Пластины разрезали на куски размером 250×250 мм. Медные листы отжигали при температуре около 650 °С, выдерживали в течение 1 часа и затем охлаждали на воздухе. Конструктивное оформление скоса кромок экспериментальных образцов было выполнено в виде скоса, шипа, замка. Поверхности листов очищали ацетоном для удаления оксидной пленки. Перед сваркой пластины были помещены на опорную плиту и жестко закреплены прижимами вдоль на-

правления сварки для предотвращения относительного перемещения.

Сварка проводилась на вертикальном фрезерном станке со скоростью вращения от 600 до 1200 об/мин и скоростью сварки от 25 до 60 мм/мин. Для стыковых, стыко-нахлесточных соединений был использован цилиндрический инструмент из твердого сплава ВК8 с заплечиком диаметром 14 мм и усеченным штифтом диаметром у основания 6 мм, а у усеченной части 4 мм и длиной 2,9 мм. Угол наклона составлял от 1 до 5° от нормальной поверхности пластин. Для нахлесточных (LAP) соединений был использован цилиндрический инструмент из твердого сплава ВК8 с заплечиком диаметром 16 мм и усеченным штифтом диаметром у основания 6 мм, а у усеченной части 3 мм и длиной 4,6 мм. Для исследования были сварены образцы стыковых и нахлесточных (LAP), а так же стыко-нахлесточных соединений с различными конструктивными подготовками кромок. В процессе сварки глубина погружения плеча контролировалась вручную, чтобы изменять качество сварного шва.

Вырезку поперечных шлифов осуществляли методом абразивной резки. Для этой цели использовали отрезной абразивный станок для влажной резки АТМ

BRILLANT 220. Для горячего прессования образцов перед полировкой использовали пресс АТМ OPAL 460. Для удаления слоя с измененной структурой поверхности образцов шлифовали на машине АТMSAPHIR 560 с вращающимися кругами, армированными абразивными шкурками. Шлифовку осуществляли на абразивной бумаге с различной зернистостью абразива в интервале от Р300 до Р1200. Постепенный переход от грубой к более тонкой шлифовальной бумаге сочетали со сменной направлением шлифования путем поворота шлифа на 90°. Подготовку шлифов завершали полированием вручную либо механически на станках. Ручную полировку осуществляли на алмазных пастах, нанесенных на поверхность бильярдного сукна с размером абразивных частиц от 14/7 до 1/0 мкм. В процессе полирования шлифы очищали от крупных продуктов шлифовки и периодически промывали в воде.

Для травления рабочей поверхности подготовленных микрошлифов использовались:

– для Ti и его сплавов – водный раствор плавиковой кислоты (4 % HF);

– для аустенитной нержавеющей хромоникелевой стали – царская водка с добавками хлорида железа (HNO<sub>3</sub>, HCl и FeCl<sub>3</sub>) в пропорции 1:3;

– для меди и ее сплавов – водный раствор соляной кислоты и хлорида железа (III) (100 мл H<sub>2</sub>O+25 мл HCl+8 гр. FeCl<sub>3</sub>);

– для алюминия и его сплавов – водный раствор плавиковой кислоты (5 % HF).

Исследование микроструктуры проводилось с помощью оптической микроскопии. Металлографический анализ макро- и микроструктуры сварных образцов выполнялся по снимкам, полученным в световом микроскопе Leica DMI 5000 M, оснащенный фотокамерой при различных увеличениях (50, 100, 200, 500, 1000 крат).

Для исследования механических свойств сварных соединений были подготовлены образцы на растяжение по ГОСТ 6996-66. При испытании изготовленных экспериментальных образцов на статическое растяжение определяли временное сопротивление наиболее слабого участка. Временное сопротивление подсчитывали по ГОСТ 1497-84. При испытании определяли место разрушения образца (по шву, по основному металлу). Испытания проводились на испытательной машине Р-5 при скорости нагружения 10 мм/мин.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для увеличения интенсивности перемешивания и создания условий для формирования сварного шва используют различные активирующие технологические приемы.

Один из таких приемов, используемый при создании сварных соединений способом СТП, заключается в перераспределении тепла путем смещения оси вращения инструмента относительно границы раздела в сторону материала, обладающего более высокими теплофизическими свойствами. Для сварки Al-Cu соединений инструмент смещают на медный сплав [5; 6], для Al-Steel соединений – на алюминий [7–9], для Al-Ti – также на алюминиевый сплав [10; 11]. Принимая во внимание различие в температурах перехода металлов в СПС, следует учитывать позиционирование свариваемых деталей относительно направления вращения инструмента. На макрошлифах сварных стыковых соединений, особенно из разнородных материалов, различают при СТП набегающую и отходящую стороны соединения. При исследованиях поперечных макрошлифов установлено, что металлы с высокой температурой плавления и температурой перехода в СПС чаще размещаются на набегающей стороне соединения [9; 12; 13]. Это можно объяснить, вероятно, созданием в этой зоне мгновенных повышенных удельных давлений. Эти давления способствуют установлению нарушенных металлических связей, и при этом наблюдается увеличение силы сцепления, а в ряде случаев – «раскрытие кромок шва», вероятно, из-за более низкой температуры перехода в СПС и пониженной прочности межатомных связей при переходе в СПС (рис. 3).

Качество сварного нахлесточного соединения, в отличие от стыкового, не зависит от толщины и рода соединяемых материалов. Для исследования нахлесточного соединения были изготовлены сварные образцы (рис. 4) различной конфигурации.

При образовании нахлесточного соединения разнородных металлов существенную роль играет относительное пространственное расположение верхнего и нижнего металлов [14; 15]. При СТП необходимо более твердый материал с меньшей пластичностью и более высокой температурой перехода в СПС располагать в нижней части сварного соединения. При движении инструмента по образцу происходит перетекание материала

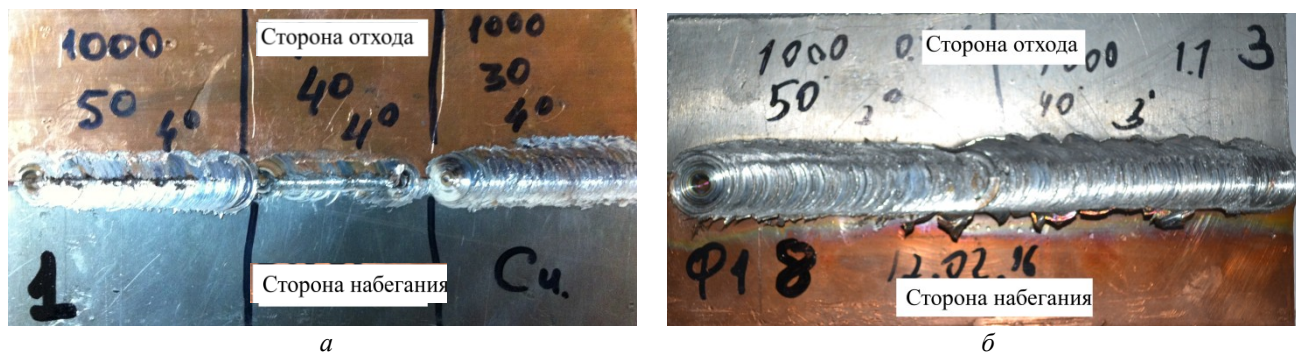
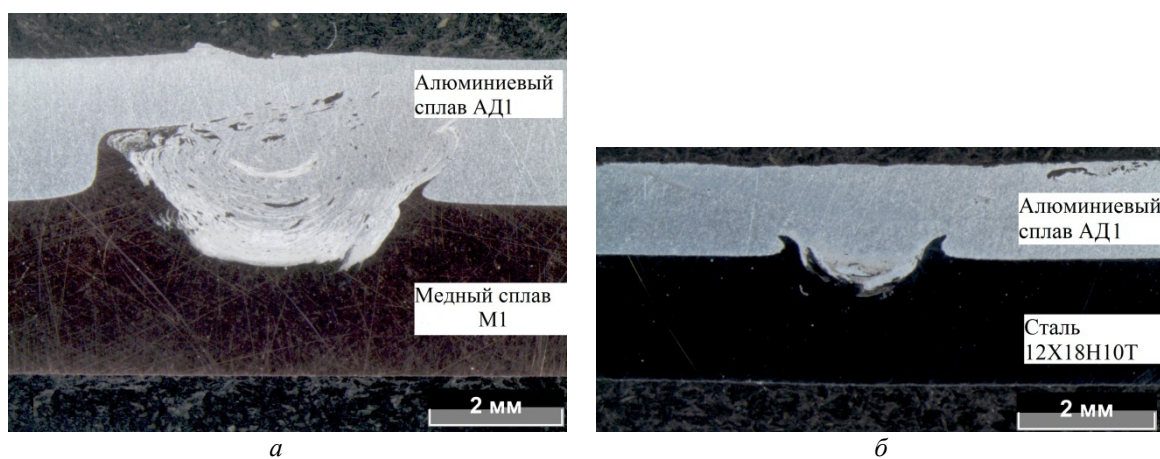


Рис. 3. Внешний вид сваренных образцов алюминиевого АД1 и медного М1 сплавов:  
а – сторона отхода медного М1 сплава;  
б – сторона отхода алюминиевого АД1 сплава



**Рис. 4.** Макрошлифы сварных нахлесточных соединений:  
 а – алюминиевого АД1 и медного М1 сплавов;  
 б – алюминиевого АД1 сплава и стали 12Х18Н10Т

в сверхпластическом состоянии из донной части соединения в верхнюю зону и более интенсивное перетекание в зону турбулентности, вследствие действия давления вращающегося пина [16–18]. Кроме того, при вращении инструмента сильно изменяется интенсивность перераспределения металла, находящегося в СПС, которая усиливается, если на боковой поверхности пина выполняются резьбовую нарезку. При иррациональной схеме расположения свариваемых материалов возможно появление в сварном шве таких дефектов, как тоннельные несплошности (полости) и непровары. Их появление вызвано недостаточной интенсивностью перераспределения металлов, вовлекаемых в формирование сварного соединения.

Принимая во внимание природу образования адгезионных соединений и условия их работы (преимущественно на отрыв), можно прогнозировать перспективные технологико-конструктивные приемы подготовки кромок свариваемых материалов с учетом их физико-механических свойств и условий нагружения элементов сварных конструкций. При подготовке кромок следует стремиться к увеличению фактической площади сопряжения соединяемых элементов сварных соединений и конструкции в целом. Конструктивные решения должны приводить к созданию условий работы сваренных соединений на срез или на срез с отрывом. При конструктивных изменениях конфигурации одной или обеих соединяемых деталей конструкции следует прибегать к созданию технологических отверстий, канавок, выступов, которые воспринимают касательные напряжения. Благодаря переходу в СПС металла одной из соединяемых деталей сравнительно легко и надежно заполняет технологические вспомогательные полости (отверстия) различной конфигурации.

#### НАХЛЕСТОЧНЫЕ (LAP) СОЕДИНЕНИЯ

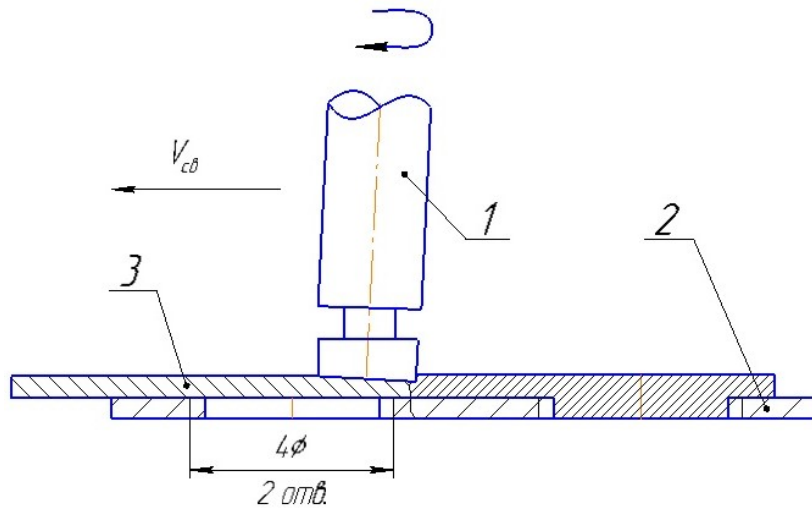
Практическим примером одного из таких технологических приемов для нахлесточного соединения может быть выполнение (создание) рифления или «грубой» шероховатости на контактной поверхности более твердого материала. Для увеличения прочности соединения медь-алюминий предложено на поверхность меди, контактирующую с алюминиевым сплавом, наносить риф-

ление, а затем выполнять СТП. При этом пин инструмента следует погружать до середины высоты рифления шероховатости. Угол наклона рифления должен составлять  $60^\circ$  к оси направления сварки. Нанесение рифления на более твердую деталь позволяет увеличить прочность соединения в 3 раза [19] как за счет увеличения фактической площади контакта, изменения соотношения в соединении нормальной и тангенциальной составляющих внешней нагрузки, так и за счет увеличения толщины переходного слоя, в котором более эффективно протекает релаксация напряжений.

Следующий технологический прием заключается в выполнении отверстий (каналов) в детали из более тугоплавкого и менее пластичного материала и воздействии на деталь из более легкоплавкого пластичного материала с минимальной температурой перехода в СПС вращающимся цилиндрическим инструментом с торцевой поверхностью, не имеющей пина и выполненной по сфере (рис. 5). Для увеличения адгезии и фактической площади контактирования в отверстиях рекомендуют нарезать резьбу [1]. Вращение инструмента осуществляют в направлении, совпадающем с направлением подъема витков резьбы для облегчения заполнения резьбовых отверстий пластичным металлом. Техническим результатом приема является повышение прочности соединений разнородных материалов в 1,8–2 раза, например в сталеалюминиевых (Al-Steel) соединениях [1]. При этом пластифицированный металл, перемещаемый инструментом в направлении отверстий, заполняет отверстия. Таким образом, образуется механическое заклепочное соединение с телом заклепки из более пластичного металла.

Для увеличения массы заклепки отверстие в тугоплавком менее пластичном материале предлагается выполнять с отступлением от цилиндрической формы, увеличить длину технологического отверстия до  $4d$  ( $d$  – диаметр отверстия), располагая его с шагом  $2d$ .

Данный технологический прием позволяет увеличить массу металла, вталкиваемого в отверстия, и повысить сцепление вытесняемого металла с нижней деталью. При его реализации удалось увеличить механическую прочность в 2,5 раза по сравнению с обычным традиционным нахлесточным соединением.



**Рис. 5.** Схема с увеличенными отверстиями:  
 1 – инструмент для СПП;  
 2 – тугоплавкий материал (сталь 12Х18Н10Т);  
 3 – алюминиевый АД1 сплав

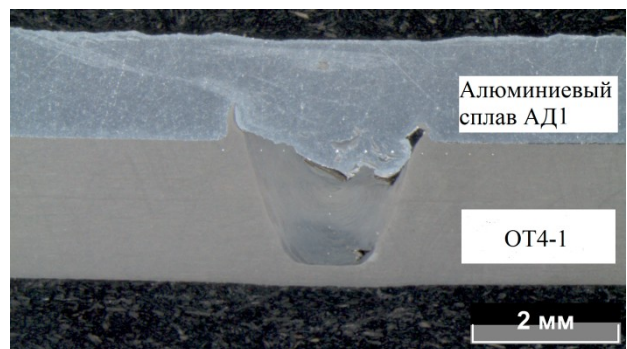
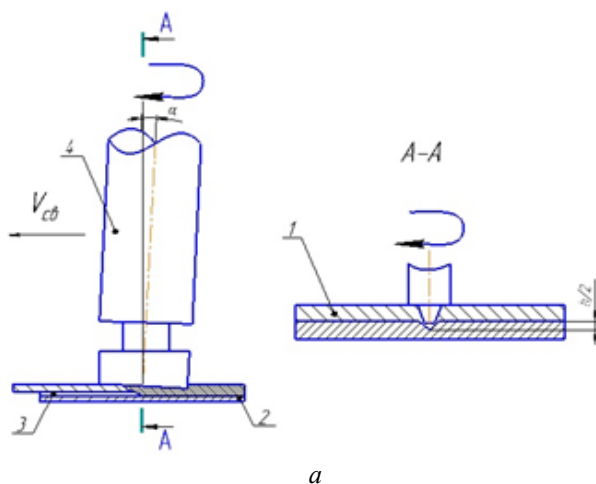
Другой технологический прием для нахлесточных соединений использует идею предыдущего с той лишь разницей, что в тугоплавком материале выполнена V- или U-образная технологическая канавка (рис. 6) на глубину, достигающую половины толщины нижнего присоединяемого элемента. При вводе пина инструмента в материал верхней детали, пин погружают в нижнюю деталь на глубину, несколько большую толщины верхней детали, с частичным заглублением в канавку нижней детали.

Данный технологический прием позволяет увеличить массу пластичного металла, вытесняемого в канавку, активизирует контактные поверхности канавки нижней детали и облегчает лифтинг тугоплавкого металла. Такой прием повышает сцепление металлов в СПС верхней и нижней деталей. При его реализации нами было получено увеличение механической прочно-

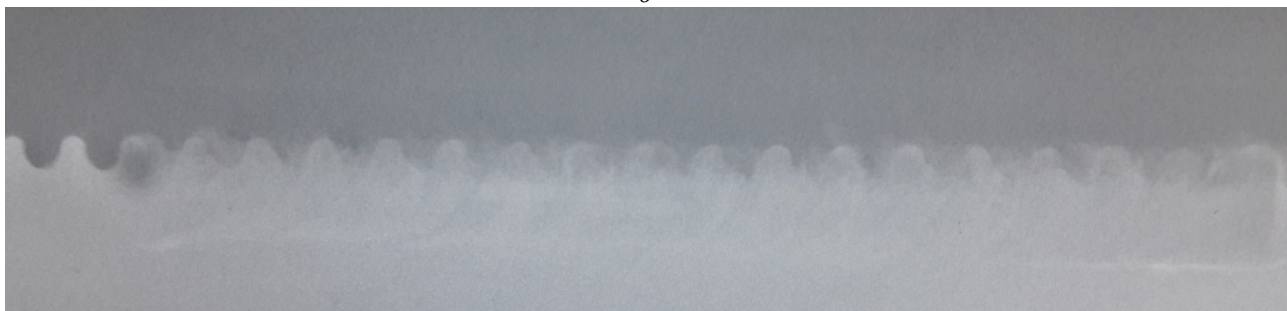
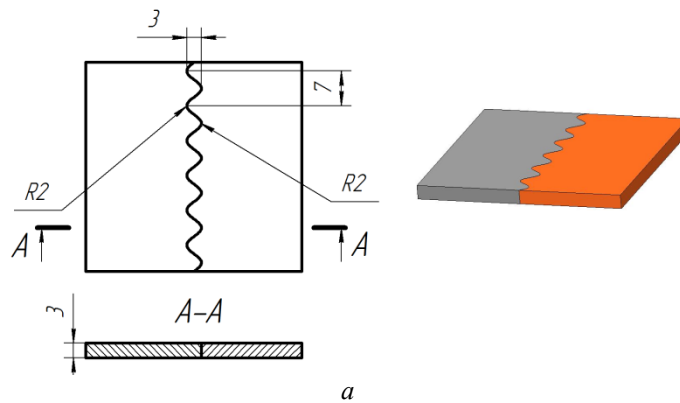
сти в 2,7 раза по сравнению с обычным традиционным нахлесточным соединением.

### СТЫКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Рассмотрим технологические приемы, применяемые при образовании самого распространенного стыкового соединения. Для увеличения площади контактной поверхности торцов свариваемых деталей и перераспределения силовых составляющих, ответственных за активацию процесс формирования адгезионных связей, были подготовлены детали из менее пластичного металла с кромкой в виде «пилы» (рис. 7). Шаг пилы ограничен лишь размерами фрезы для обработки торца, а высота зубьев должна быть принята равной половине ее диаметра, но меньше диаметра пина. Нарушение этого соотношения приводило к образованию локального непровара по краям, видимо, из-за недостаточной величины удельного давления.



**Рис. 6.** Способ СПП с V(U)-образной канавкой в менее пластичном металле:  
 а – схема нахлесточного соединения с V(U)-образной канавкой  
 (1 – инструмент для СПП; 2 – тугоплавкий менее пластичный материал;  
 3 – материал с повышенной пластичностью);  
 б – поперечный макрошлиф (АД1 и ОТ4-1 сплавы) разнородного соединения после СПП



**Рис. 7. Сварное соединение «пила»:**

*а – схема с макетом;*

*б – внешний вид сварного соединения алюминиевого (АД1) и медного (М1) сплавов;*

*в – рентгеновский снимок стыкового соединения этих сплавов – «пила»*

Перемешивание сплавов АД1 и М1 происходит интенсивнее, так как траектория движения пина инструмента пересекает зубья последовательно алюминиевого и медного сплавов. На рис. 7 б представлен рентгеновский снимок сварного шва, на котором четко видно взаимное проникновение медного и алюминиевого сплава.

### **СТЫКО-НАХЛЕСТОЧНОЕ СОЕДИНЕНИЕ И ЕГО РАЗНОВИДНОСТИ**

Для проведения экспериментальных исследований были подготовлены кромки заготовок для сварных швов и исследованы конструктивные разновидности стыко-нахлесточного соединения: в «скос», «замок», «шип» (рис. 8).

Данный технолого-конструкторский прием позволяет увеличить поверхность взаимодействия и активировать процесс перемешивания путем лифтинга из придонной части сварного шва менее пластичного материала (медного сплава М1) в мягкий (алюминиевый сплав АД1), повлиять на перераспределение нормальной и тангенциальной составляющих растягивающей

нагрузки, приложенной по оси сварного соединения (рис. 9).

Из анализа гистограммы (рис. 10) следует, что наибольшие показатели временного сопротивления при разрыве имели образцы со скосом кромок и в форме шипа, которые обладают повышенной фактической площадью контактирования деталей.

Металлографические исследования поперечных и продольных макрошлифов сварных соединений показали, что при технологической подготовке кромок образцов для СТП были получены бездефектные соединения с полным проваром корневой части швов и минимальной величиной уменьшения усиления швов (рис. 11).

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Проведен анализ типов соединений, традиционно используемых при СТП при однородном и разнородном сочетании соединяемых металлов и сплавов.

2. В сравнительном варианте предложены технологические и конструкторские подходы для дальнейшей эволюции типов стыковых и нахлесточных соединений,



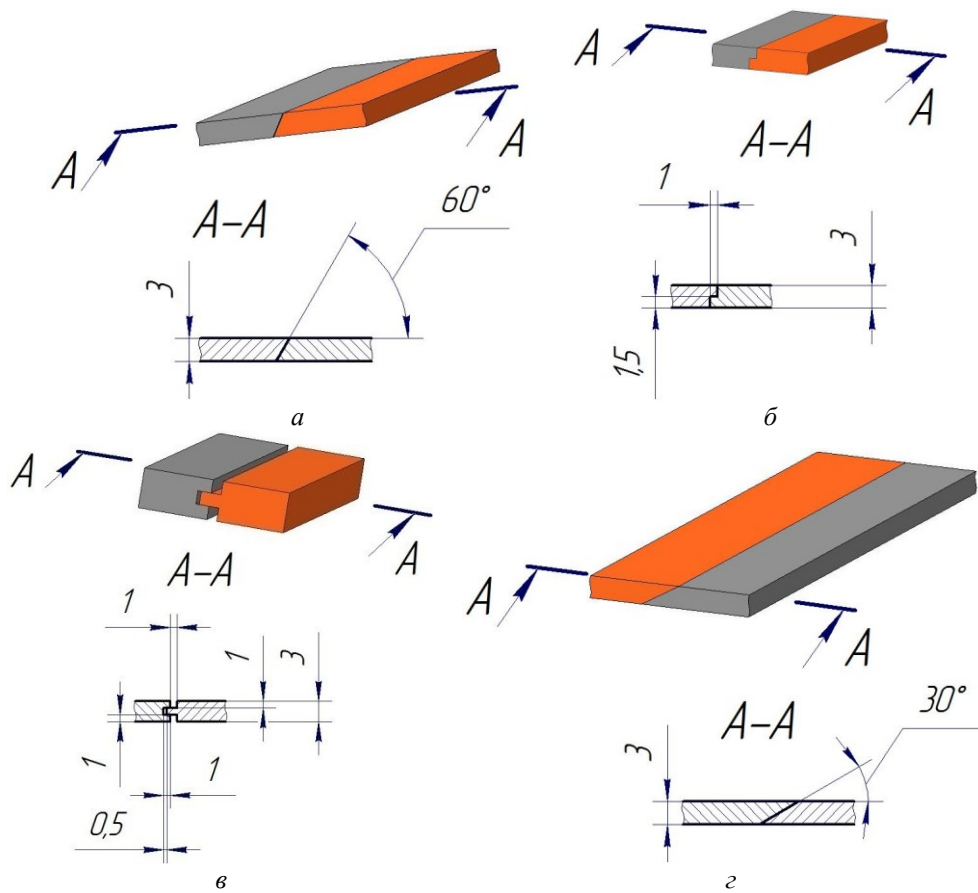


Рис. 8. Стыко-нахлесточные соединения:

- а – скос 60°;
- б – замок;
- в – шип;
- г – скос 30°

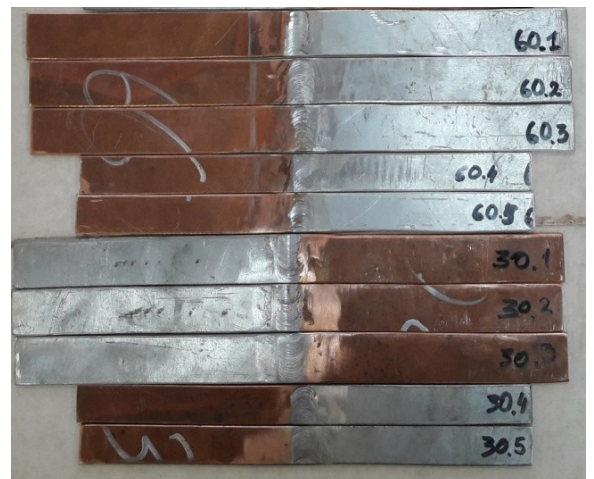


Рис. 9. Внешний вид разнородных сварных соединений:

- П-М1...5 – шип;
- П1...5 – замок;
- 60.1...60.5 – скос 60°;
- 30.1...30.5 – скос 30°

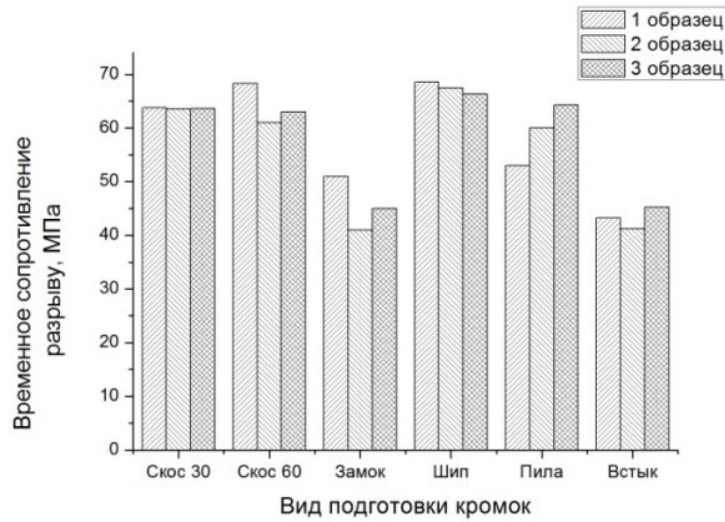


Рис. 10. Гистограмма механических показателей сварных соединений с перспективными конструкциями подготовки кромок для СТП

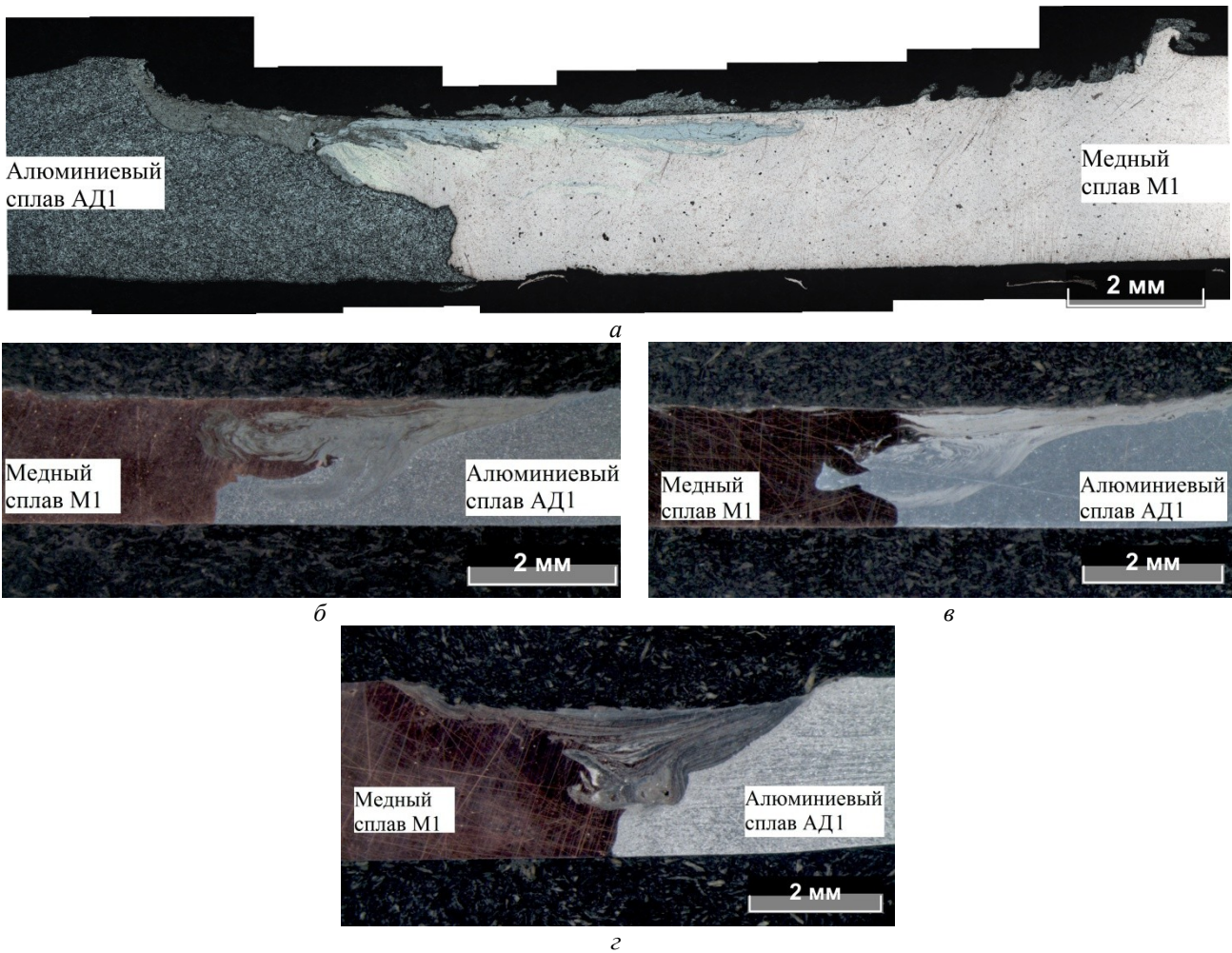


Рис. 11. Макрошлифы сварных соединений с разными конструктивными типами кромок, выполненные с помощью СТП:  
 а – скос 60°; б – замок;  
 в – шип; г – скос 30°

особенно при разнородном сочетании материалов в одном комбинированном соединении для повышения их механических показателей в случае использования способа СТП.

3. Анализ механических показателей свидетельствует в пользу соединений с повышенной фактической площадью контактирования деталей, работающих в условиях действия нормальных и касательных напряжений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Velu M., Tidole A., Mehra P., Kulkarni D. Friction stir welding of dissimilar Al6061 and pure copper // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. P. 312–316.
2. Zhang W., Shen Y., Yan R., Guo R. Dissimilar friction stir welding of Al6061 to T2 pure Cu adopting tooth shaped joint configuration // *Materials Science and Engineering A*. 2017. Vol. 690. P. 355–364.
3. Fu B., Qin G., Li F., Meng X., Zhang J., Wu C. Friction stir welding process of dissimilar metals of 6061-T6 aluminum alloy to AZ31B magnesium alloy // *Journal of Materials Processing Technology*. 2015. Vol. 218. P. 38–47.
4. Salih O.S., Ou H., Sun W., McCartney D.G. A review of friction stir welding of aluminium matrix composites // *Materials and Design*. 2015. Vol. 86. P. 61–71.
5. Zhang Q.-Z., Gong W.-B., Liu W. Microstructure and mechanical properties of dissimilar Al–Cu joints by friction stir welding // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*. 2015. Vol. 25. P. 1779–1786.
6. Esther T., Adrian C.S., Stephen A. Non-destructive testing of dissimilar friction stir welds // *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 2012. Vol. III. P. 198–205.
7. Arya P.K., Gupta G., Rajput A.K. A Review on friction stir welding for aluminium alloy to steel // *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2016. № 7. P. 119–125.
8. Richard E.M. The Strength and Metallography of a Bi-metallic Friction Stir Bonded Joint between AA6061 and High Hardness Steel // *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*. 2014. № 8. P. 392–396.
9. Pisharody A., Menghani J., Pandiya S.N. Review of friction stir welding of dissimilar Al-Fe metals // *International journal of advances in science and technology*. 2012. Vol. 1. № 2. P. 78–82.
10. Sadeghi-Ghogheri M., Kasiri-Asgarani M., Amini K. Friction stir welding of dissimilar joint of aluminum alloy 5083 and commercially pure titanium // *Kovove Materialy*. 2016. Vol. 54. № 1. P. 71–75.
11. Chen Y., Liu C., Liu G. Study on the joining of titanium and aluminum dissimilar alloys by friction stir welding // *Open Materials Science Journal*. 2011. Vol. 5. P. 256–261.
12. Bang K.-S., Lee K.-J., Bang H.-S., Bang H.-B. Interfacial microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds between 6061-T6 aluminum and Ti-6%Al-4%V Alloys // *Materials Transactions*. 2011. Vol. 52. № 5. P. 974–978.
13. Sahu P.K., Pal S., Pal S.K., Jain R. Influence of plate position, tool offset and tool rotational speed on mechanical properties and microstructures of dissimilar Al/Cu friction stir welding joints // *Journal of Materials Processing Technology*. 2016. Vol. 235. P. 55–67.
14. Dong H., Chen S., Song Y., Guo X., Zhang X., Sun Z. Refilled friction stir spot welding of aluminum alloy to galvanized steel sheets // *Materials and Design*. 2016. Vol. 94. P. 457–466.
15. Wei Y., Li J., Xiong J., Zhang F. Effect of Tool Pin Insertion Depth on Friction Stir LAP Welding of Aluminium to Stainless Steel // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2013. Vol. 22. P. 3005–3013.
16. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. М.: Металлургия, 1984. 264 с.
17. Смирнов О.М. Сверхпластичность нанокристаллических и аморфных материалов // *Перспективные материалы*. 2010. № 9. С. 228–241.
18. Бабарэко А.А., Эгиз И.В., Хорев А.И. Сверхпластичность титановых сплавов разных классов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1995. № 6. С. 30–35.
19. Бубенок Е.С. Соединение разнородных металлов сваркой трением с перемешиванием (Cu–Al) // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2013. Т. 13. № 7-8. С. 42–48.
20. Людмирский Ю.Г., Лукьянов В.Ф., Котлышев Р.Р., Крамской А.В., Гунин С.А., Бубенок Е.С. Способ получения соединения разнородных материалов: патент РФ № 2443526, 2010.

#### REFERENCES

1. Velu M., Tidole A., Mehra P., Kulkarni D. Friction stir welding of dissimilar Al6061 and pure copper. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2017, vol. 8, pp. 312–316.
2. Zhang W., Shen Y., Yan R., Guo R. Dissimilar friction stir welding of Al6061 to T2 pure Cu adopting tooth shaped joint configuration. *Materials Science and Engineering A*, 2017, vol. 690, pp. 355–364.
3. Fu B., Qin G., Li F., Meng X., Zhang J., Wu C. Friction stir welding process of dissimilar metals of 6061-T6 aluminum alloy to AZ31B magnesium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, vol. 218, pp. 38–47.
4. Salih O.S., Ou H., Sun W., McCartney D.G. A review of friction stir welding of aluminium matrix composites. *Materials and Design*, 2015, vol. 86, pp. 61–71.
5. Zhang Q.-Z., Gong W.-B., Liu W. Microstructure and mechanical properties of dissimilar Al–Cu joints by friction stir welding. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 2015, vol. 25, pp. 1779–1786.
6. Esther T., Adrian C.S., Stephen A. Non-destructive testing of dissimilar friction stir welds. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2012, vol. III, pp. 198–205.
7. Arya P.K., Gupta G., Rajput A.K. A Review on friction stir welding for aluminium alloy to steel. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2016, no. 7, pp. 119–125.
8. Richard E.M. The Strength and Metallography of a Bi-metallic Friction Stir Bonded Joint between AA6061

- and High Hardness Steel. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 2014, no. 8, pp. 392–396.
9. Pisharody A., Menghani J., Pandiya S.N. Review of friction stir welding of dissimilar Al-Fe metals. *International journal of advances in science and technology*, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 78–82.
  10. Sadeghi-Ghogheri M., Kasiri-Asgarani M., Amini K. Friction stir welding of dissimilar joint of aluminum alloy 5083 and commercially pure titanium. *Kovove Materialy*, 2016, vol. 54, no. 1, pp. 71–75.
  11. Chen Y., Liu C., Liu G. Study on the joining of titanium and aluminum dissimilar alloys by friction stir welding. *Open Materials Science Journal*, 2011, vol. 5, pp. 256–261.
  12. Bang K.-S., Lee K.-J., Bang H.-S., Bang H.-B. Interfacial microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds between 6061-T6 aluminum and Ti-6%Al-4%V Alloys. *Materials Transactions*, 2011, vol. 52, no. 5, pp. 974–978.
  13. Sahu P.K., Pal S., Pal S.K., Jain R. Influence of plate position, tool offset and tool rotational speed on mechanical properties and microstructures of dissimilar Al/Cu friction stir welding joints. *Journal of Materials Processing Technology*, 2016, vol. 235, pp. 55–67.
  14. Dong H., Chen S., Song Y., Guo X., Zhang X., Sun Z. Refilled friction stir spot welding of aluminum alloy to galvanized steel sheets. *Materials and Design*, 2016, vol. 94, pp. 457–466.
  15. Wei Y., Li J., Xiong J., Zhang F. Effect of Tool Pin Insertion Depth on Friction Stir LAP Welding of Aluminum to Stainless Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2013, vol. 22, pp. 3005–3013.
  16. Kaybyshev O.A. *Sverkhplastichnost promyshlennykh splavov* [Superplasticity of industrial alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 264 p.
  17. Smirnov O.M. Superplasticity of nanocrystalline and amorphous materials. *Perspektivnye materialy*, 2010, no. 9, pp. 228–241.
  18. Babareko A.A., Egiz I.V., Khorev A.I. Superplasticity of titanium alloys of different classes. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 1995, no. 6, pp. 30–35.
  19. Bubenok E.S. Connection of dissimilar metals by friction stir welding (Cu-Al). *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, vol. 13, no. 7-8, pp. 42–48.
  20. Lyudmirskiy Yu.G., Lukyanov V.F., Kotlyshev R.R., Kramskoy A.V., Gunin S.A., Bubenok E.S. *Sposob polucheniya soedineniya raznorodnykh materialov* [Method for obtaining a compound of dissimilar materials], patent RF no. 2443526, 2010.

#### THE APPLICATION OF TECHNOLOGICAL METHODS FOR ENHANCING THE STRENGTH OF DISSIMILAR JOINTS PRODUCED BY FRICTION STIR WELDING

© 2018

**R.A. Rzaev**, senior lecturer of Chair “Material Science and Welding Technology”

*Astrakhan State University, Astrakhan (Russia)*

**A.A. Chularis**, Doctor of Sciences (Engineering),

professor of Chair “Machines and Automation of Welding Manufacturing”

*Don State Technical University, Rostov-on-Don (Russia)*

**A.S. Dosimov**, graduate student

*Astrakhan State University, Astrakhan (Russia)*

**A.A. Naumov**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Technology and Materials Research”

**O.G. Zotov**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Technology and Materials Research”

*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg (Russia)*

**Keywords:** friction stir welding; dissimilar materials; butt-lap joint; bimetallic joints; solidphase welding.

**Abstract:** The technology of production of dissimilar joints is associated with the difficulties due to the differences of their thermophysical and other properties and special aspects of the process of joints’ formation. The application of friction stir welding (FSW) technology is the solution to the problem of weldability of bimetallic joints. The paper covers the study of mechanical properties of butt, butt-lap and lap joints of AD1 aluminum and M1 copper alloys, AD1 aluminum alloys and alloyed steels (12H18N10T), AD1 aluminum and OT4-1 alloys.

The subject of the analysis is the design of the edges of parts welded with FSW and the stage-by-stage analysis of the process of formation of butt, lap, tee, and combined joints of copper with aluminum based on the welding modes parameters. The paper analyzes the factors affecting the strength of dissimilar joints of the AD1 aluminum and M1 copper alloys produced with FSW. The influence of the geometry of the prepared edges of parts on the formation of the defect-free and consistent welded joints is studied. The authors showed promising directions of constructive design for various versions of butt joints (butt-lap joints: 30...60° bevel joint, fish-mouth joint, mortise joint) by means of the enlargement of actual contact area of the parts when subjected to loadings of normal or tangential stresses as opposed to the traditional ones operating within the pure tear conditions. The paper gives the results of the static tension tests, recommends the design-engineering techniques aimed at the improvement of the conditions and the activation of the process of formation of the adhesive dissimilar joints. The metallographic research of the welded joints’ macrosections showed the possibility to produce the defect-free welds with the complete weld root penetration; the mechanical tests of the butt, combined and lap joints proved the high level of full strength of dissimilar joints.

**ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД И ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СТЕКЛА**

© 2018

*Д.Ю. Федотов*, ассистент кафедры теоретической и экспериментальной физики*В.А. Федоров*, доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики, заслуженный деятель науки РФ*А.В. Яковлев*, кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры педагогики и образовательных технологий*Т.Н. Плужникова*, кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики*А.Д. Березнер*, аспирант кафедры теоретической и экспериментальной физики  
*Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов (Россия)*

*Ключевые слова:* аморфные металлические сплавы; усталость; электроимпульсное воздействие; агрессивные среды.

*Аннотация:* Проведены усталостные испытания на растяжение ленточных образцов металлического стекла на грузкой, изменяющейся во времени от некоторого максимального значения до минимального, в знакопостоянном цикле с частотой 2 Гц. В конструкции установки предусмотрено 5 комплектов упругих элементов с различными коэффициентами жесткости. Для упругих элементов построены тарировочные графики, по которым через величину перемещения определяли напряжение в образце. Установлены характерные особенности развития усталостных трещин образцов аморфных сплавов на основе кобальта и нанокристаллического сплава на основе железа. Выявлена область зарождения усталостной трещины, ее роста и зона долома. Установлено, что в области зарождения трещины имеет место вязкое разрушение с образованием плотнорасположенных микроутяжек, в зоне роста усталостной трещины ее развитие происходит подобно сколу с образованием развитого «венного узора» и плотнорасположенных полос сдвига, формирующихся при остановках усталостной трещины. Величина скачка составляет 0,2–0,5 мкм. В зоне долома трещина продвигается вязко, скачками, с образованием локализованных зон пластичности в местах остановки. Для образцов построены кривые Веллера, определены пределы усталости.

Проведены исследования влияния агрессивных сред и предварительного воздействия импульсного электрического тока на усталостные свойства аморфных металлических сплавов. Установлено, что образцы после воздействия импульсного тока или агрессивной среды разрушаются при меньшем количестве циклов нагружения относительно исходных образцов. Отмечено, что содержание Со в исследуемых образцах практически не влияет на усталостные свойства.

**ВВЕДЕНИЕ**

Одним из воздействий на материал является приложение к нему нагрузки, что сопровождается деформацией. Деформация материала может происходить и в ходе эксперимента, и в процессе эксплуатации изделий из этого материала. В связи с этим любая информация о том, что происходит с материалом при деформировании, является значимой. В настоящий момент имеется достаточно много данных о деформации кристаллических материалов. Данных о деформации аморфных тел значительно меньше [1–3], так как аморфное состояние твердого тела – наименее изученная область современного структурного материаловедения. Аморфные сплавы обладают набором уникальных свойств [4–6], одним из таких свойств является способность к пластическому течению [7; 8]. Эта способность связана с коллективизированным металлическим характером межатомной связи, при которой легче идут процессы коллективных перемещений [9]. Пластическая деформация в аморфных сплавах может протекать гомогенно или негомогенно [10]. При гомогенной пластической деформации однородно нагруженный образец испытывает однородную деформацию. При негомогенной пластической деформации пластическое течение локализовано в тонких дискретных полосах сдвига, а остальной объем твердого тела остается недеформированным [11]. Изучение смены механизмов течения представляет собой слож-

ную экспериментальную задачу. Сведения об условиях изменения характера течения аморфных сплавов носят противоречивый характер. В работе [12] показано, что тип пластического течения, формирование его закономерностей определяется кинетикой необратимой структурной релаксации. В случае негомогенной деформации на поверхности продеформированных растяжением, сжатием, изгибом или прокаткой образцов формируются ступеньки сдвига. Эти ступеньки соответствуют выходу на поверхность полос сдвига. Таким образом, аморфные сплавы обладают существенной локальной пластичностью в области негомогенной деформации.

В течение последнего времени идут интенсивные исследования нового класса аморфных материалов – так называемых объемных аморфных материалов [13–15]. Их особенность состоит в том, что они, во-первых, легко аморфизируются, т. е. затвердевают в аморфном состоянии, при малых скоростях охлаждения расплава, а во-вторых, температура стеклования этих сплавов существенно ниже температуры их кристаллизации [16; 17]. Такие материалы можно получать в виде объемных аморфных заготовок. В переохлажденном жидком состоянии они показывают очень низкую вязкость и хорошую деформируемость [18]. В этом смысле объемные аморфные заготовки вполне возможно рассматривать в качестве нового типа конструкционных и функциональных материалов.

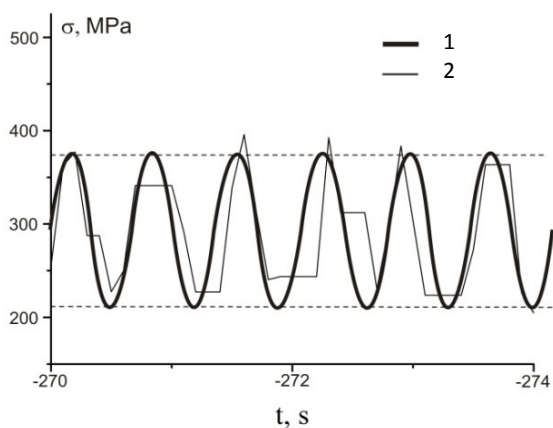
Механические свойства аморфных металлических сплавов продолжают представлять большой интерес. Однако усталостные свойства металлических стекол до сих пор остаются малоизученными.

Цель работы – выявление основных закономерностей усталостного разрушения ленточных образцов аморфного металлического сплава и изучение влияния агрессивных сред и импульсного электрического воздействия на усталостные свойства аморфных металлических сплавов.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для проведения исследования были выбраны ленты аморфных металлических сплавов АМАГ-186 ( $\text{Co}_{85,5}\text{Fe}_{2,27}\text{Si}_{5,15}\text{Mn}_{4,07}\text{B}_2\text{Cr}_1$ ), АМАГ-180 ( $\text{Co}_{78,5}\text{Ni}_{4,73}\text{Fe}_4\text{Si}_{7,25}\text{Mn}_{1,88}\text{B}_2\text{Cr}_{1,5}$ ) и нанокристаллического сплава АМАГ-200 ( $\text{Fe}_{80,22}\text{Si}_{8,25}\text{Cu}_{1,44}\text{Nb}_{10,09}$ ). Размер рабочей области образцов –  $20 \times 3,5 \times 0,02$  мм.

Усталостные испытания образцов проводили на специально разработанной установке [19] растягивающей нагрузкой, изменяющейся от некоторого  $\text{max}$  значения до  $\text{min}$  во времени, в знакопостоянном цикле с частотой 2 Гц. В конструкции установки предусмотрено 5 комплектов упругих элементов с различными коэффициентами жесткости. Это обеспечивает создание переменных напряжений в интервалах: 1) 144–284 МПа; 2) 200–428 МПа; 3) 310–570 МПа; 4) 355–660 МПа; 5) 400–750 МПа. Для всех упругих элементов построены тарировочные графики, по которым через величину перемещения определяли напряжение в образце. Зависимость изменения напряжения в образце от времени имеет вид периодической функции (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость изменения напряжения от времени: 1 – усредненная циклическая нагрузка; 2 – нагрузка, фиксируемая датчиком

Для исследования влияния электроимпульсного воздействия на усталостные свойства перед испытаниями образцы под нагрузкой 500 МПа подвергли воздействию 10 импульсов электрического тока напряжением 100 В. Нагружение образцов производили на электро-механической машине для статических испытаний Instron-5565. Импульсы тока подавались путем разрядки конденсатора. Длительность импульсов ~5 мс, плотность тока, протекающего через образцы,  $1 \cdot 10^8 \text{ А/м}^2$ .

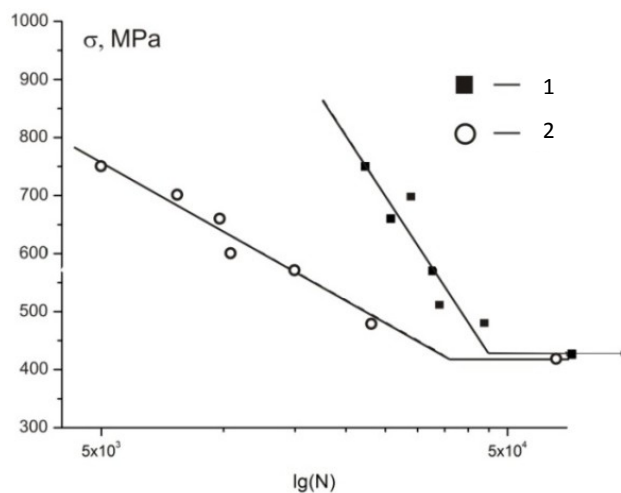
Изменение температуры образцов в момент пропуска импульса не превышало  $20^\circ$ . Время релаксации нагрева составляло 2 с.

Для исследования влияния воздействия агрессивной среды на усталостные характеристики металлических стекол образцы сплавов АМАГ-180, АМАГ-186, АМАГ-200 выдерживались в 1%-м растворе азотной кислоты, после чего подвергались усталостному растяжению в интервале нагрузок 400–750 МПа. Время выдержки образцов в растворе составляло от 10 до 45 минут.

Фрактографические исследования проводили на растровом электронном микроскопе Quanta 600. Металлографические исследования проводили на микроскопе ММР-2Р.

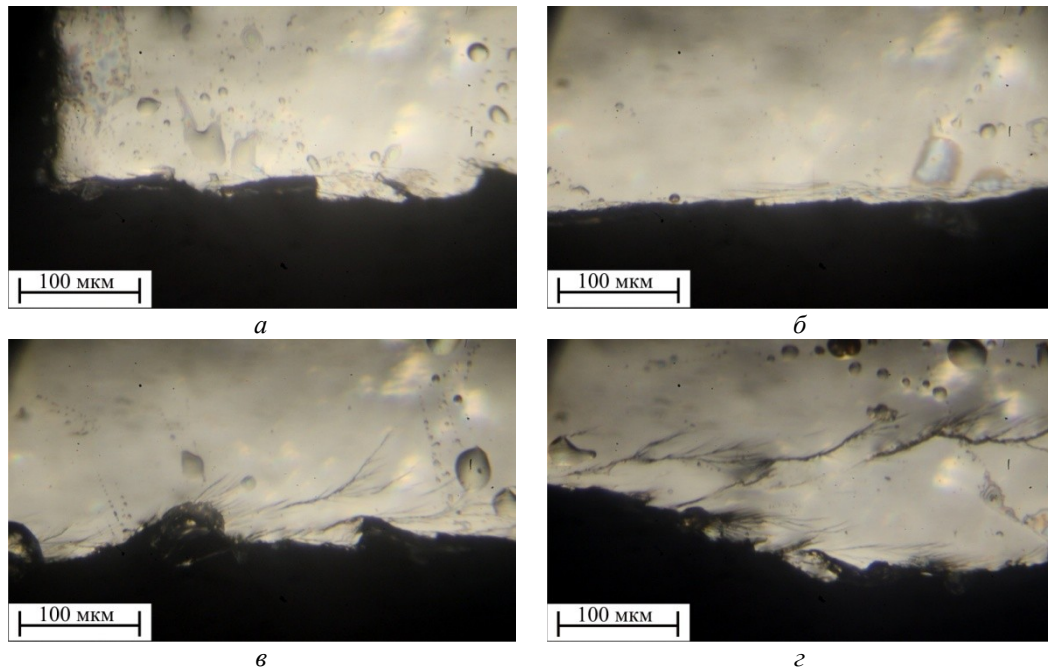
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 2 приведена зависимость величины разрушающих напряжений от логарифма числа циклов при усталостных испытаниях на растяжение. Максимальное напряжение, при котором образцы не разрушаются при числе циклов  $\sim 6 \times 10^5$ , составляет 428 МПа.



**Рис. 2.** Зависимость величины разрушающих напряжений от логарифма числа циклов при усталостных испытаниях на растяжение образцов сплава АМАГ-186: 1 – для образцов в исходном состоянии; 2 – для образцов, подвергнутых электроимпульсному воздействию

Проведены исследования влияния импульсного воздействия электрического тока на усталостные характеристики аморфного металлического сплава. На рис. 2 приведены зависимости для сплава АМАГ-186. Установлено, что образцы разрушаются при меньшем количестве циклов нагружения относительно исходных образцов. Нагружение до 428 МПа, при количестве циклов  $\sim 6 \times 10^5$ , к разрушению образца не приводит. Исследование структурного состояния образцов после электроимпульсного воздействия показало, что материал остается рентгеноаморфным. Снижение характеристик усталостной прочности можно объяснить начинающимися процессами структурной релаксации, переводящими аморфные сплавы в более равновесное состояние.

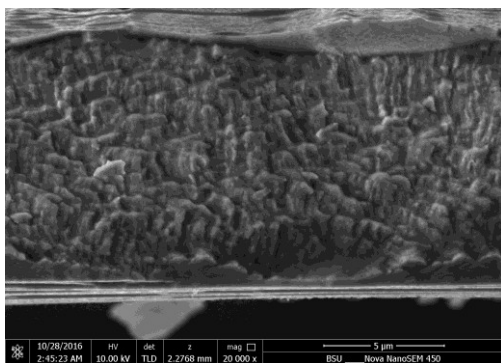


**Рис. 3.** Вид траектории роста усталостной трещины после разрушения образца со стороны перпендикулярной поверхности трещины: а – зарождение усталостной трещины; б – рост усталостной трещины; в – переход в зону долома; г – зона долома

Снятие закалочных напряжений повышает значение долговременной прочности.

При росте усталостных трещин выявлены области зарождения трещины (рис. 3 а), ее роста (рис. 3 б), переходная зона (рис. 3 в) и зона долома (рис. 3 г). Отмечено, в зоне долома рост трещина может развиваться в нескольких плоскостях (рис. 3 г), количество ветвей возрастает по мере распространения трещины. В области роста усталостной трещины, по ее берегам наблюдали ветвистые полосы сдвига. Отмечено, что при снижении величины нагрузки увеличивается зона роста усталостной трещины.

Проведены фрактографические исследования поверхности разрушения. В области зарождения трещины имеет место вязкое разрушение с образованием плотно-расположенных микроутяжек (рис. 4).



**Рис. 4.** Поверхность усталостного разрушения в зоне зарождения трещины

Характерный размер таких утяжек ~0,5–1,5 мкм. При переходе к зоне усталостного роста на фоне вязкого разрушения появляются участки роста трещин, похожие на скол. В переходной зоне наблюдаются также участки образования более крупных деформационных структур и ячеек. Основная зона роста усталостной трещины развивается подобно сколу с образованием «венного узора» (рис. 5 а). Образование «венного узора» наблюдали в работе [20] при разрушении объемного сплава на основе циркония. При этом трещина может переходить из одной плоскости роста в другую – параллельную (рис. 5 б). На поверхностях роста усталостной трещины наблюдаются характерные для такого вида разрушения фрагменты, соответствующие одноразовому скачкообразному подрастанию трещины (рис. 6). Характерная величина такого «скачка» – 0,2–0,5 мкм. Переход к зоне долома сопровождается переходом к вязкому разрушению с развитием трещин в параллельных плоскостях. В зоне долома трещина продвигается вязко, скачками, с образованием локализованных зон пластичности в местах остановки (рис. 7).

Были проведены исследования влияния воздействия агрессивной среды на усталостные характеристики металлических стекол. На рис. 8 приведены зависимости числа циклов усталостного нагружения от времени воздействия кислотной среды на образцы, приводящего к их разрушению.

При воздействии кислотной среды происходит образование на поверхности образцов солей  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  на АМАГ-180, АМАГ-186 и  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  на АМАГ-200. При этом происходит изменение сечения образцов, и действующее напряжение заметно превышает величину нагрузки, заданную в испытательной машине. Ее значения превышают усталостный предел прочности, что вызывает ускоренное разрушение образцов. Характерные

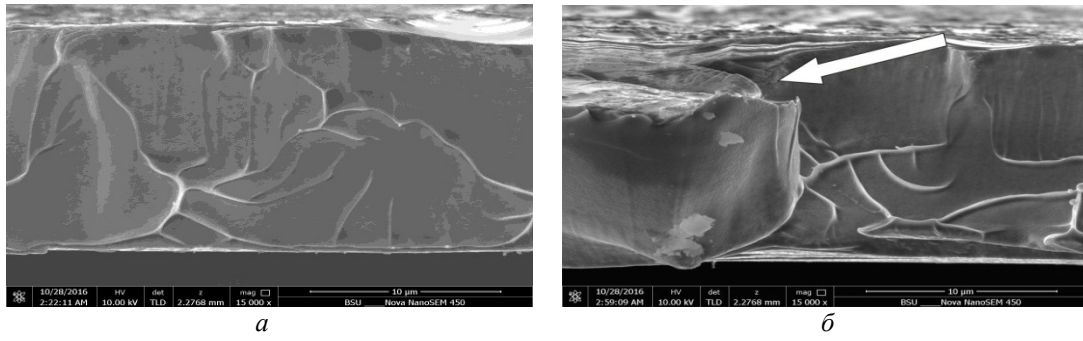


Рис. 5. Формирование «венного узора» на поверхности в зоне роста усталостной трещины. Стрелкой указана область перехода трещины в параллельную плоскость

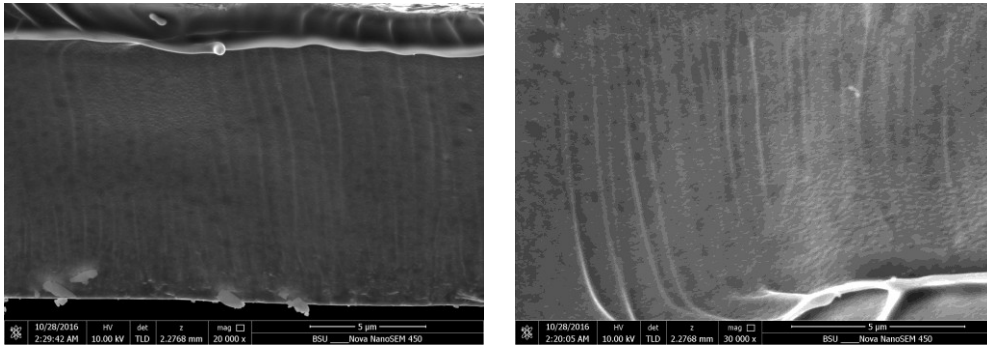


Рис. 6. Характерный рельеф на поверхности роста усталостной трещины

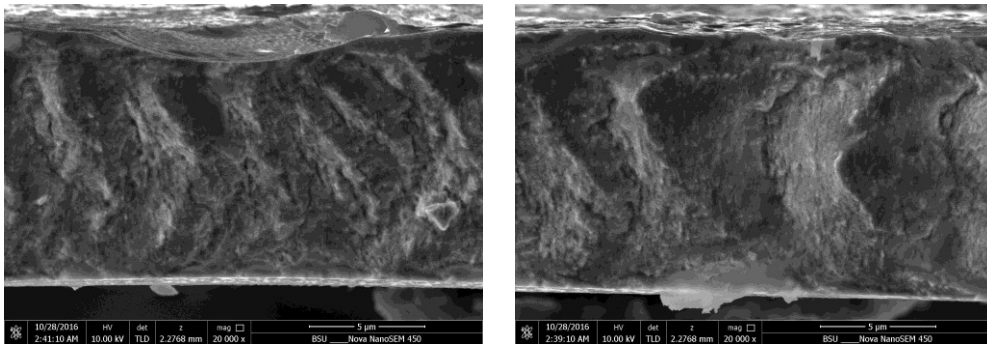


Рис. 7. Поверхность разрушения в зоне долома

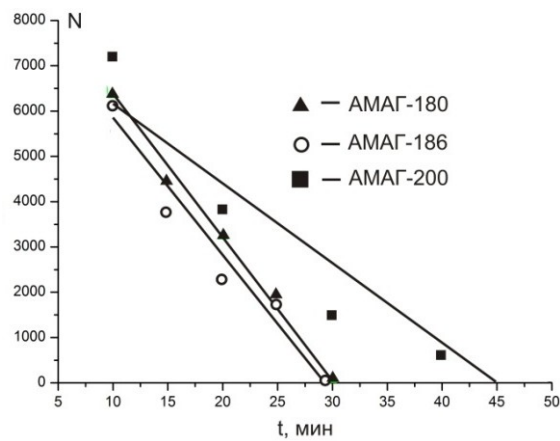


Рис. 8. Зависимость числа циклов нагружения, приводящих к разрушению, от времени воздействия на образцы 1%-го раствора  $HNO_3$



особенности роста усталостных трещин в этом случае трудно проследить из-за пленки на поверхности образцов. Отмечено, что образцы на основе кобальта с различным его содержанием демонстрируют практически одинаковые характеристики усталостной прочности.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что общие закономерности усталостного разрушения образцов аморфного металлического сплава совпадают с закономерностями, характерными для кристаллических металлов. Усталостная прочность образцов, подвергнутых предварительному воздействию импульсного электрического тока, снижается, при этом предел усталости остается прежним.

При воздействии на металлическое стекло кислотной среды на его поверхности образуются соли металлов, в результате чего меняется площадь сечения, что ускоряет усталостное разрушение образца.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-00432 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

1. Алехин В.П., Хоник В.А. Структура и физические закономерности деформации аморфных сплавов. М.: Металлургия, 1992. 248 с.
2. Судзуки К., Фудизимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. М.: Металлургия, 1987. 328 с.
3. Глезер А.М., Молотилов Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. М.: Металлургия, 1992. 208 с.
4. Аморфные металлические сплавы / под ред. Ф.Е. Люборского. М.: Металлургия, 1987. 584 с.
5. Манохин А.И., Митин Б.С., Васильев В.А., Ревякин А.В. Аморфные сплавы. М.: Металлургия, 1984. 160 с.
6. Металлические стекла / под ред. Дж.Дж. Гилмана, Х.Дж. Лими. М.: Металлургия, 1984. 264 с.
7. Nair B., Priyadarshini G. Process, structure, property and applications of metallic glasses // *Materials Science*. 2016. Vol. 3. № 3. P. 1022–1053.
8. Suryanarayana C., Inoue A. *Bulk metallic glasses*. USA: Taylor and Francis Group, 2011. 548 p.
9. Глезер А.М., Шурыгина Н.А. Аморфно-нанокристаллические сплавы. М.: Физматлит, 2013. 450 с.
10. Немошкаленко В.В., Романова А.В., Ильинский А.Г. Аморфные металлические сплавы. Киев: Наук. Думка, 1987. 248 с.
11. Глезер А.М., Плотникова М.Р., Сундеев Р.В., Шурыгина Н.А. Самоблокировка полос сдвига и делокализация пластического течения в аморфных сплавах при мегапластической деформации // *Известия РАН. Серия физическая*. 2013. Т. 77. № 11. С. 1687–1692.
12. Кобелев Н.П., Колыванов Е.Л., Хоник В.А. Нелинейные упругие характеристики объемных металлических стекол  $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$  и  $Pd_{40}Cu_{30}Ni_{10}P_{20}$  // *Физика твердого тела*. 2005. Т. 47. № 3. С. 395–399.
13. Глезер А.М., Пермякова И.Е., Громов В.Е., Коваленко В.В. Механическое поведение аморфных сплавов. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2006. 416 с.

14. Новые материалы / под ред. Ю.С. Карабасова. М.: МИСИС, 2002. 736 с.
15. Берлев А.Е., Ота М., Хоник В.А. Ползучесть массивного металлического стекла  $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$  // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2003. Т. 8. № 4. С. 522–524.
16. Зайцев А.И. Термодинамический подход к количественной оценке склонности металлических расплавов к аморфизации // *Металлы*. 2004. № 5. С. 64–78.
17. Ковнеристый Ю.К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы. М.: Наука, 1999. 80 с.
18. Смирнов О.М. Сверхпластичность нанокристаллических и аморфных материалов // *Перспективные материалы*. 2010. № 9. С. 228–241.
19. Федотов Д.Ю., Федоров В.А., Яковлев А.В., Плужникова Т.Н., Березнер А.Д. Усталостные испытания ленточных аморфных металлических сплавов на основе СО методами на растяжение и изгиб // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2016. Т. 21. № 3. С. 1396–1399.
20. Zhu Y., Fu J., Zheng C., Ji Z. Effect of laser shock peening without absorbent coating on the mechanical properties of Zr-based bulk metallic glass // *Optics and Laser Technology*. 2015. Vol. 75. P. 157–163.

### REFERENCES

1. Alekhin V.P., Khonik V.A. *Struktura i fizicheskie zakonomernosti deformatsii amorfnykh splavov* [Structure and physical laws of deformation of amorphous alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1992. 248 p.
2. Sudzuki K., Fudizimori Kh., Khasimoto K. *Amorfnye metally* [Amorphous metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987. 328 p.
3. Glezer A.M., Molotilov B.V. *Struktura i mekhanicheskie svoystva amorfnykh splavov* [Structure and mechanical properties of amorphous alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1992. 208 p.
4. Loborsky A.E., ed. *Amorfnye metallicheskie splavy* [Amorphous metal alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1987. 584 p.
5. Manokhin A.I., Mitin B.S., Vasilyev V.A., Revyakin A.V. *Amorfnye splavy* [Amorphous alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 160 p.
6. Gilman J.J., Limi H.J. *Metallicheskie stekla* [Metallic glasses]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 264 p.
7. Nair B., Priyadarshini G. Process, structure, property and applications of metallic glasses. *Materials Science*, 2016, vol. 3, no. 3, pp. 1022–1053.
8. Suryanarayana C., Inoue A. *Bulk metallic glasses*. Taylor and Francis Group, 2011. 548 p.
9. Glezer A.M., Shurygina N.A. *Amorfno-nanokristallicheskie splavy* [Amorphous-nanocrystalline alloys]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2013. 450 p.
10. Nemoshkalenko V.V., Romanova A.V., Ilyinsky A.G. *Amorfnye metallicheskie splavy* [Amorphous metal alloys]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 248 p.
11. Glezer A.M., Plotnikova M.R., Sundeev R.V., Shurygina N.A. Self-blocking of shear bands and the delocalization of plastic flows in amorphous alloys upon megaplastic deformation. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 2013, vol. 77, no. 11, pp. 1391–1396.

12. Kobelev N.P., Kolyvanov E.L., Khonik V.A. Nonlinear elastic characteristics of  $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$  and  $Pd_{40}Cu_{30}Ni_{10}P_{20}$  bulk metallic glasses. *Physics of the solid state*, 2005, vol. 47, no. 3, pp. 405–410.
13. Glezer A.M., Permyakova I.E., Gromov V.E., Kovalenko V.V. *Mekhanicheskoe povedenie amorfnykh splavov* [The mechanical behavior of amorphous alloys]. Novokuznetsk, SibGIU Publ., 2006. 416 p.
14. Karabasov Yu.S., ed. *Novye materialy* [New materials]. Moscow, MISIS Publ., 2002. 736 p.
15. Berlev A.E., Ohta M., Khonik V.A. Creep of bulk  $Zr_{52.5}Ti_5Cu_{17.9}Ni_{14.6}Al_{10}$  metallic glass. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2003, vol. 8, no. 4, pp. 522–524.
16. Zaitsev A.I. Thermodynamic approach to the quantitative estimation of the glass-forming ability of metallic melts. *Russian metallurgy (Metally)*, 2004, no. 5, pp. 460–471.
17. Kovneristy Yu.K. *Obyemno-amorfiziruyushchiesya metallicheskie splavy* [Volumetric amorphous metal alloys]. Moscow, Nauka Publ., 1999. 80 p.
18. Smirnov O.M. Superplasticity of nanocrystalline and amorphous materials. *Perspektivnye materialy*, 2010, no. 9, pp. 228–241.
19. Fedotov D.Yu., Fedorov V.A., Yakovlev A.V., Pluzhnikova T.N., Berezner A.D. Fatigue test on ribbon of amorphous metal alloys on Co methods tensile and flexural strength. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 1396–1399.
20. Zhu Y., Fu J., Zheng C., Ji Z. Effect of laser shock peening without absorbent coating on the mechanical properties of Zr-based bulk metallic glass. *Optics and Laser Technology*, 2015, vol. 75, pp. 157–163.

### THE INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENT AND ELECRO-IMPULSE IMPACT ON FATIGUE CHARACTERISTICS OF METALLIC GLASS

© 2018

**D.Yu. Fedotov**, assistant of Chair of Theoretical and Experimental Physics  
**V.A. Fedorov**, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,  
 professor of Chair of Theoretical and Experimental Physics, Honored master of sciences  
**A.V. Yakovlev**, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor,  
 assistant professor of Chair of Pedagogy and Educational Technologies  
**T.N. Pluzhnikova**, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor,  
 assistant professor of Chair of Theoretical and Experimental Physics  
**A.D. Berezner**, postgraduate student of Chair of Theoretical and Experimental Physics  
*Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov (Russia)*

*Keywords:* amorphous metal alloys; fatigue; electro-impulse effect; aggressive environment.

*Abstract:* The authors carried out the fatigue tests for the tension of metallic glass tape samples by the load varying in time from some maximum value to minimum, in a constant-sign cycle with the frequency of 2 Hz. In the device construction, five sets of elastic elements with different stiffness coefficients are designed. For the elastic elements, the calibration graphs were constructed, according to which the stress in the sample was determined by the displacement value. Characteristic features of the development of fatigue cracks in the samples of cobalt-based amorphous alloys and iron-based nanocrystalline alloy were determined. The study determined the area of the fatigue crack nucleation, its growth and the break area. It is identified that the viscous destruction with the formation of densely spaced microtight takes place in the area of crack initiation, and in the area of the fatigue crack growth, its development similar to a cleavage with the formation of the developed “venous pattern” and the densely spaced shear bands formed when fatigue cracks stop occurs. The pop-in magnitude is 0.2–0.5  $\mu\text{m}$ . In the break area, the crack propagates viscously, irregularly, with the formation of localized plasticity areas at the stops. For the samples, Weller curves are plotted and the fatigue limits are defined.

The authors carried out the investigations of the aggressive environments influence and the pulsed electric current preliminary impact on the fatigue properties of the amorphous metal alloys. It is determined that the samples, after the action of a pulsed current or an aggressive environment, are destroyed during fewer loading cycles relating to the initial samples. It is noted that the Co content in the samples under the study slightly influences the fatigue properties.

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА

© 2018

*М.А. Филиппов*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металловедения

*Г.А. Язудин*, магистр, студент кафедры металловедения

*В.В. Легчило*, аспирант кафедры металловедения

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

*С.Х. Эстемирова*, заведующий лабораторией кафедры металловедения, старший научный сотрудник

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

*Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург (Россия)*

**Ключевые слова:** ударно-абразивное изнашивание; износостойкость; термообработка; микротвердость; остаточный аустенит; карбиды.

**Аннотация:** Высокомарганцовистые аустенитные стали типа 110Г13Л являются нежелательными в производстве с экологической точки зрения из-за большого выделения в атмосферу окислов марганца при плавке в дуговых электропечах, газо-кислородной резке и сварочных операциях. Другой недостаток сталей этого класса – их низкая исходная твердость, что является причиной расклепываемости рабочих частей отливок в условиях действия динамических нагрузок. Кроме того, данные стали плохо поддаются механической обработке.

В работе приведены результаты сравнительного изучения взаимосвязи структуры, формирующейся в процессе термической обработки, с абразивной износостойкостью сталей двух структурных классов – высокомарганцевой аустенитной стали 110Г13Л и стали перлитного класса 70Х2ГСМЛ. Широкое использование стали 110Г13Л для изготовления деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания и многократного контактно-ударного нагружения, обусловлено высокой способностью к фрикционному упрочнению стабильного марганцевого аустенита с низкой энергией дефектов упаковки в сочетании с хорошей ударной вязкостью. Недостатки стали 110Г13Л: высокая температура закалки, плохая экологичность и экономические соображения – обуславливают в ряде случаев необходимость заменять ее перлитными сталями. Изучение износостойкости стали перлитного класса 70Х2ГСМЛ в зависимости от температуры отпуска после нормализации показало, что эта сталь может быть использована для отливки сменных литых деталей дробильно-размольного оборудования, работающих в условиях абразивного воздействия без значительных ударных нагрузок после нормализации и высокого отпуска. Износостойкость образцов из стали 70Х2ГСМЛ со структурой сорбита отпуска составляет при испытании по закреплённому абразиву 55–60 % от уровня, обеспечиваемого образцами из стали 110Г13Л, однако менее высокая стоимость, технологичность в изготовлении и проблемы экологии могут решить вопрос в ряде случаев в пользу применения перлитной стали. Дополнительные резервы повышения износостойкости стали 70Х2ГСМЛ заключаются в закалке от высоких температур вследствие получения структуры остаточного аустенита, который в процессе абразивного изнашивания превращается в мартенсит деформации на рабочей поверхности, повышая способность стали к фрикционному упрочнению.

### ВВЕДЕНИЕ

Для изготовления литых деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания и многократного контактно-ударного нагружения, широко используется аустенитная высокоуглеродистая высокомарганцевая сталь 110Г13Л [1]. Высокомарганцевые аустенитные стали типа 110Г13Л являются нежелательными в производстве с экологической точки зрения. Другой недостаток сталей этого класса – их низкая исходная твердость, что является причиной расклепываемости рабочих частей отливок в условиях действия динамических нагрузок. Кроме того, данные стали плохо поддаются механической обработке.

Причина слабой зависимости свойств стали 110Г13Л от содержания в ней углерода и марганца заключается в ее структуре стабильного марганцевого аустенита [1–3]. Мартенситные фазы в этой стали обнаружены только в результате больших степеней холодной деформации в количестве около 1 % [4]. Несмотря на низкую исходную твердость аустенита после закалки (180–220 НВ), сталь 110Г13Л обладает высокой способностью к деформационному упрочнению и в процессе эксплуатации приобретает твердость до 50–55 HRC. Это обу-

словливает хорошую износостойкость стали в условиях абразивного и особенно ударно-абразивного изнашивания [5]. Один из наиболее распространенных примеров использования стали 110Г13Л – ее применение в технологии измельчения полезных ископаемых, где от материала требуется, наряду с хорошей износостойкостью, высокая ударная вязкость.

В качестве альтернативных материалов для замены высокомарганцевых аустенитных сталей (в определенных условиях отсутствия сильного абразивного изнашивания и ударных нагрузок) весьма перспективны легированные стали перлитного класса, обладающие хорошей технологичностью при выплавке, литье, ковке, термической и механической обработке. Процесс изготовления отливок и поковок из сталей данного класса не сопровождается выделением экологически вредных веществ [5–7]. Несмотря на различия в структуре стали 110Г13Л, представляющей собой деформационно-стабильный аустенит, и сталей перлитного класса, структура которых представляет собой сочетание разных продуктов превращения переохлажденного аустенита, существует принципиальная возможность замены вторыми первой при отсутствии интенсивных ударных

нагрузок. Возможность замены оправдана, если в случае использования сталей перлитного класса выигрыш в себестоимости отливок перекроет почти неизбежную в большинстве случаев потерю эксплуатационной стойкости [3; 5; 6].

Производство фасонных отливок из углеродистых сталей перлитного класса широко распространено в металлургической, транспортной, энергетической, автотракторной и других отраслях машиностроения [3; 7–9]. Масса отливок изменяется от нескольких граммов до 200 т и более. Технологический процесс производства отливок состоит из операций разлива стали в песчаные и металлические формы, отрезки литников и прибылей, термической обработки, исправления дефектов.

Из приведенного обзора литературы следует, что, несмотря на хорошо изученные особенности формирования структуры при отливке и термической обработке, влияния фазовых и структурных превращений в углеродистых и легированных сталях перлитного класса в широком диапазоне содержания углерода и легирующих элементов на износостойкость при ударно-абразивном изнашивании, существуют лишь приблизительные общие рекомендации для их применения в конкретных условиях сочетания ударных и истирающих нагрузок [3; 7; 8]. Поэтому необходим индивидуальный выбор химического состава сталей для отливок бронефутеровочных плит шаровых и стержневых мельниц в зависимости от конструкции, массы отливок и условий их работы в отношении динамических и истирающих воздействий при эксплуатации.

Для промышленных изделий, в частности износостойких отливок, желательны стали со структурой тонкопластинчатого перлита в отсутствие структурно свободного феррита, с одной стороны, и вторичного цементита по границам зерен, с другой. Выбор состава стали для исследования базировался на основе возрастающей зависимости абразивной износостойкости стали перлитного класса от содержания углерода с ориентировкой на стали околэвтектоидного состава с 0,7 % С [3; 9]. Структуру тонкопластинчатого перлита в углеродистых сталях можно получить только в условиях, близких к изотермическому превращению аустенита. Подобную структуру получают при закалке рельсов в масляной ванне, что фактически является ускоренным охлаждением, при котором превращение аустенита развивается при температурах 520–550 °С и приводит к формированию в рельсовой стали 75Г структуры тонкопластинчатого перлита типа сорбит закалки [3; 6; 10; 11].

Поскольку толщина бронефутеровочных плит шаровых мельниц обычно довольно значительна и составляет 200–220 мм по гребню отливок, сталь должна быть легирована необходимым, но достаточным количеством элементов для получения требуемой степени переохлаждения аустенита. Для экономии дефицитных и дорогостоящих ферросплавов, содержащих эти элементы, обычно используют возможности полной или частичной замены в составе сталей таких элементов, как никель и молибден, на более дешевые – марганец, хром и кремний [3; 6; 7].

Исходя из этих соображений, химический состав стали, выбранной для исследования, соответствовал марке 70Х2ГСМЛ для получения достаточной «сорбитной прокаливаемости». Молибден в количестве до 0,5 %

вводится в сталь для повышения устойчивости переохлажденного аустенита и предотвращения отпускной хрупкости.

Цель работы – изучение взаимосвязи структуры, формируемой в результате двухступенчатой термической обработки – нормализации и отпуска в широком диапазоне температур, с износостойкостью при абразивном воздействии стали перлитного класса 70Х2ГСМЛ в сравнении с износостойкостью аустенитной марганцевой стали 110Г13Л.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования использовали образцы сталей 70Х2ГСМЛ и 110Г13Л размером 10×10×25 мм, изготовленные из литых заготовок следующего химического состава (% по массе): 0,72 % С; 1,95 % Cr; 1,13 % Mn; 0,87 % Si; 0,45 % Mo; S, P<0,03 % и 1,08 % С; 12,20 % Mn; S, P<0,045 % соответственно. Образцы стали 70Х2ГСМЛ прошли термическую обработку, состоящую из нормализации с нагревом при 850 °С и отпуска в интервале температур 450–600 °С, 2 ч; образцы стали 110Г13Л подвергали закалке в воду от 1050 °С.

Испытания износостойкости образцов при абразивном изнашивании по закрепленному абразиву проводили с помощью приспособления, смонтированного на строгальном станке. Образцы с площадью рабочей части 10×10 мм совершали возвратно-поступательное движение по шлифовальной бумаге 14А32МН481 (ГОСТ 6456-82) на корундовой основе со скоростью 125 мм/с и смещением образца за один двойной ход 1,2 мм на общей длине пути 30 м. Нагрузка на образцы, установленные в суппорте станка, составляла 10 кг (удельная нагрузка 1 МПа). Абразивную износостойкость оценивали по результатам двух параллельных испытаний, сравнение результатов производили через относительные единицы:

$$\varepsilon = \Delta M_z / \Delta M_o,$$

где  $\varepsilon$  – относительная износостойкость;

$\Delta M_z$  – потеря массы образца-эталоны – стали 110Г13Л, принятая за единицу;

$\Delta M_o$  – потеря массы испытуемого образца стали 70Х2ГСМЛ (образцы предоставлены А.А. Базилевским).

Фазовый анализ поверхности образцов после изнашивания определяли методом рентгеноструктурного анализа, выполненного с помощью дифрактометра Shimadzu XRD-7000. Условия съемки: излучение  $\text{CuK}\alpha$ , графитовый монохроматор, угловой диапазон  $2\theta = 30\text{--}100^\circ$ , тип съемки – пошаговый, шаг сканирования  $0,04^\circ$ , время в точке – 3 с. Упрочнение рабочей поверхности оценивали по приросту микротвердости при нагрузке 0,49 Н [11; 12].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из таблицы 1 следует, что твердость стали 70Х2ГСМЛ по мере повышения температуры отпуска от 450 до 600 °С прогрессивно уменьшается от 42 до 32 HRC, соответственно снижается абразивная износостойкость – потери массы растут от 0,32 до 0,48 г, т. е. абразивная износостойкость стали составляет от 0,83

**Таблица 1.** Твердость, потери массы и микротвердость на поверхности изнашивания ( $HV_{50}$ ) образцов сталей 70X2ГСМЛ после нормализации и отпуска и 110Г13Л после закалки от 1050 °С в воду

Сталь, режим термообработки	HRC	Потери массы ΔМ, г	$HV_{50}$ , ГПа
Сталь 70X2ГСМЛ, нормализация 850 °С	44	0,30	4,97
Сталь 70X2ГСМЛ, нормализация 850 °С, отпуск 450 °С, 2 ч	42	0,32	4,85
Сталь 70X2ГСМЛ, нормализация 850 °С, отпуск 500 °С, 2 ч	37	0,36	4,74
Сталь 70X2ГСМЛ, нормализация 850 °С, отпуск 550 °С, 2 ч	35	0,44	4,24
Сталь 70X2ГСМЛ, нормализация 850 °С, отпуск 600 °С, 2 ч	32	0,48	4,04
Сталь 110Г13Л, закалка 1050 °С, вода	20	0,25	5,84

до 0,52 соответственно по отношению к стали 110Г13Л, износостойкость которой принята за единицу.

Как следует из работ [13; 14], износостойкость сталей определяется не столько их исходной твердостью, сколько уровнем эффективной прочности поверхностного слоя, который достигается у данных материалов на рабочей поверхности в процессе абразивного изнашивания. Он зависит от исходной твердости материалов и прироста твердости их активных слоев за счет наклепа, происходящего в зоне фрикционного контакта. Несмотря на то, что аустенит стали 110Г13Л с низкой исходной твердостью не претерпевает мартенситного превращения при изнашивании, он обладает высокой способностью к фрикционному упрочнению вследствие низкой энергии дефектов упаковки углеродистого мартенсита, и на рабочей поверхности формируется вторичная структура с достаточно высокой микротвердостью [14].

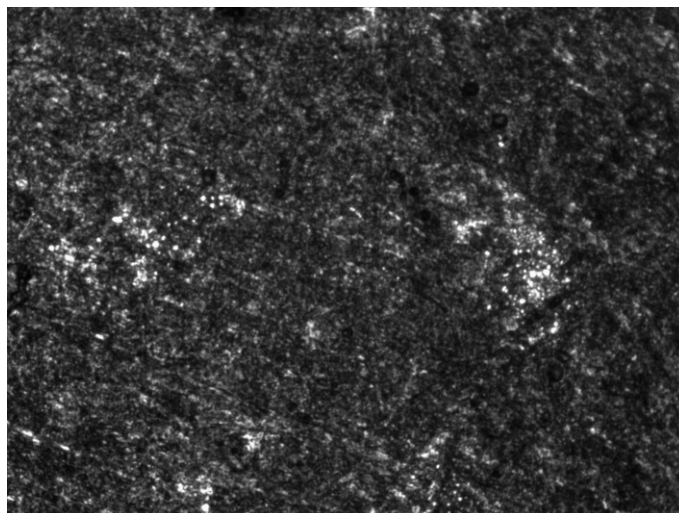
Сталь 110Г13Л обладает более высокой износостойкостью, несмотря на более низкую твердость в исходном перед испытанием состоянии вследствие формирования более высокого уровня эффективной прочности поверхностного слоя (таблица 1).

Таким образом, аустенитная сталь 110Г13Л превосходит сталь перлитного класса 70X2ГСМЛ по износостойкости при абразивном изнашивании по закрепленному абразиву примерно в 1,2–1,5 раза в зависимости от температуры отпуска после нормализации, несмотря на более низкую исходную твердость, вследствие более высокой способности к фрикционному упрочнению

рабочей поверхности в процессе микрорезания и царапания при изнашивании.

Микроструктура образца стали 70X2ГСМЛ по морфологии и средней микротвердости 394 МПа представляет собой в основном объеме сорбит отпуска с дисперсными выделениями карбидов глобулярной формы и локальными скоплениями более крупных карбидов, а именно светлых кристаллов (см. рис. 1), по-видимому, в местах ликвационного обогащения углеродом и карбидообразующими элементами. Сталь 70X2ГСМЛ после такой термообработки имеет невысокую ударную вязкость, но достаточно для эксплуатации в условиях абразивного изнашивания при действии умеренных ударных нагрузок [3].

Значительный интерес для повышения абразивной износостойкости сталей перлитного класса представляет изучение возможности высокотемпературной закалки с формированием в качестве структурной составляющей метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит на рабочей поверхности при фрикционном воздействии. Так, на примере сталей перлитного и ледебуритного классов 150ХНМЛ и Х12МЛ показано, что в результате закалки стали 70X2ГСМЛ от нормальной температуры (900 °С) микроструктура мелкоигльчатого мартенсита с избыточными карбидами (рис. 2) обеспечивает высокую твердость (61 HRC). Однако максимальная износостойкость при абразивном изнашивании достигается после высокотемпературной закалки стали (1100–1175 °С), формирующей мартенситно-карбидную структуру с метастабильным аустенитом в количестве 10–15 % и высокой способностью к фрикционному упрочнению [15–20].



**Рис. 1.** Микроструктура стали 70X2ГСМЛ после нормализации от 850 °С и отпуска при 550 °С, 2 ч, ×400

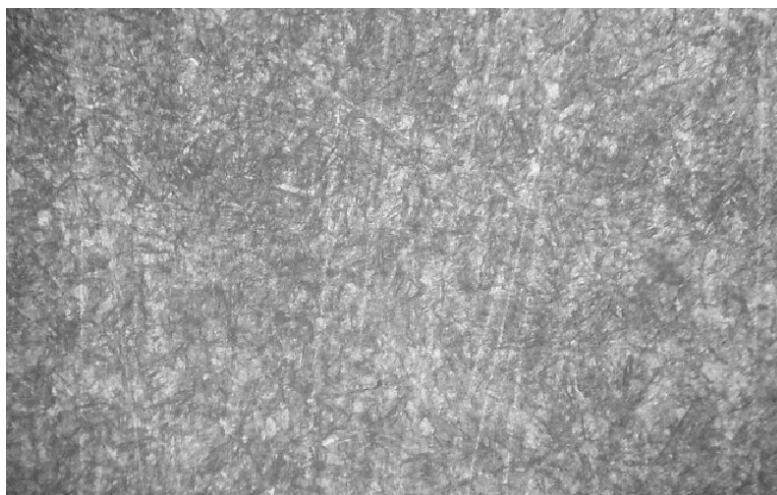


Рис. 2. Микроструктура стали 70X2ГСМЛ после закалки в масло от 900 °С, ×400

С этой целью образцы стали 70X2ГСМЛ закалены в масле после нагрева при температурах 900 и 1150 °С, твердость после таких режимов закалки составила 60 и 57 HRC соответственно, т. е. после высокотемпературной закалки твердость ниже на 3 единицы, чем после закалки от нормальной температуры (таблица 2).

Результаты анализа показали, что фазовый состав образцов после закалки от 900 °С представляет собой мартенсит и небольшое количество остаточного аустенита (менее 5 %). Присутствие карбидов на дифрактограммах не фиксируется. Фазовый состав после изнашивания состоит только из мартенсита без признаков присутствия остаточного аустенита.

При высокотемпературной закалке образцов стали 70X2ГСМЛ формируется структура, чей фазовый состав отличается от такового после закалки от температуры 900 °С: наряду с мартенситом появляется остаточный аустенит в количестве 20 % (рис. 3 а). Остаточный аустенит метастабильен, и в процессе изнашивания в поверхностном слое большая его часть превращается в мартенсит деформации, в рабочем слое после износа фиксируется около 5 % аустенита (рис. 3 б). Повышенное содержание остаточного аустенита после закалки от высокой температуры – 1150 °С – возникает, по-видимому, вследствие растворения избыточных дисперсных частиц легированных хромом карбидов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сталь перлитного класса 70X2ГСМЛ после нормализации от 850 °С и отпуска при 550 °С может быть использована для отливки бронештановых плит шаровых и стержневых мельниц, а также литых деталей, подвергающихся механической обработке и работающих

в условиях абразивного воздействия без значительных ударных нагрузок. Износостойкость образцов из этой стали со структурой сорбита отпуска достигает при испытании по закрепленному абразиву 55–60 % от уровня, обеспечиваемого образцами, изготовленными из стали 110Г13Л, однако менее высокая стоимость, технологичность в изготовлении и проблемы экологии могут решить вопрос в ряде случаев в пользу применения перлитных сталей. Близкие по составу стали перлитного класса используются для дробильно-размольного оборудования в горнодобывающей промышленности [8; 9].

Показано, что дополнительным резервом повышения абразивной износостойкости стали 70X2ГСМЛ служит высокотемпературная закалка с образованием в структуре метастабильного аустенита. В результате закалки от нормальной температуры (900 °С) стали 70X2ГСМЛ микроструктура мелкоигольчатого мартенсита с избыточными карбидами обеспечивает высокую твердость (60 HRC), однако максимальная износостойкость при абразивном изнашивании достигается после высокотемпературной закалки стали (1150 °С) в масле, формирующей мартенситную структуру с метастабильным аустенитом в количестве 20 %, превращающимся в мартенсит на рабочей поверхности при изнашивании с высокой способностью к фрикционному упрочнению. Абразивная износостойкость стали с такой микроструктурой на 20 % выше, чем после нормальной закалки, и превышает абразивную износостойкость стали 110Г13Л.

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

Таблица 2. Результаты испытаний образцов исследуемых сталей на абразивное изнашивание исследуемых сталей

Марка стали и режим обработки	$\Delta M$ , г	$\varepsilon$	HRC	$H_{50изн}$ , ГПа
Сталь 110Г13Л, закалка от 1050 °С	0,250	1,00	20	5,84
Сталь 70X2ГСМЛ, закалка от 900 °С в масле, отпуск при 200 °С, 2 ч	0,210	1,19	60	9,30
Сталь 70X2ГСМЛ, закалка от 1150 °С в масле, отпуск при 200 °С, 2 ч	0,175	1,43	57	10,10

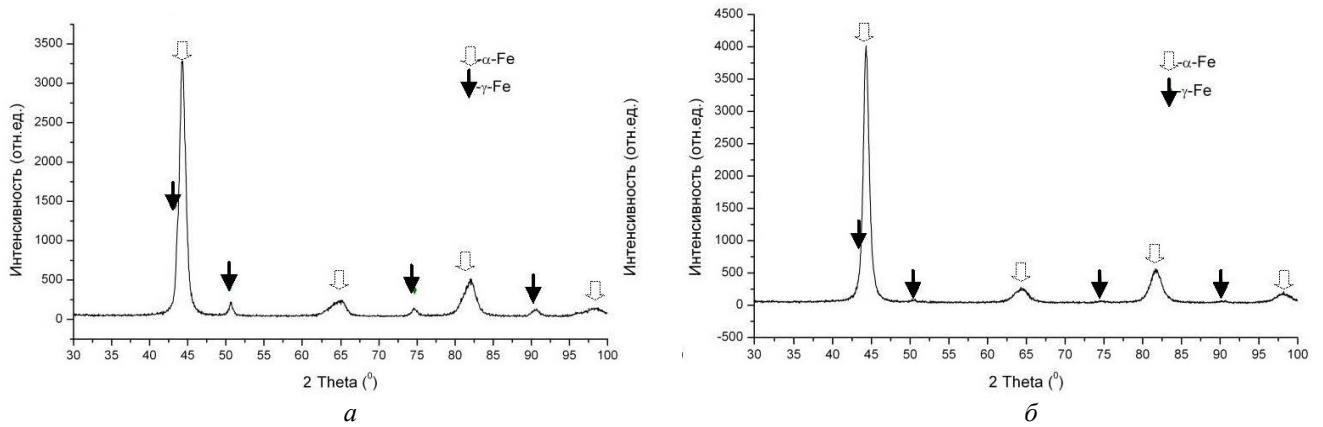


Рис. 3. Дифрактограммы образца стали 70Х2ГСМЛ:  
а – после закалки от 1150 °С; б – после изнашивания

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов Н.Г., Ситнов В.В. Свойства, производство и применение высокомарганцевой стали. М.: Машиностроение, 1996. 232 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
3. Филиппов М.А., Филиппенков А.А., Плотников Г.Н. Износостойкие стали для отливок. М.: Металлургия, 2009. 358 с.
4. Даляева Л.И., Гуляев А.П. Образование мартенсита деформации при наклепе стали 120Г13 // Повышение качества отливок из стали Г13Л: сб. трудов ЦНИИТМАШ. Вып. 106. М.: Машгиз, 1963. С. 193–199.
5. Плотников Г.Н., Шадров И.Ш., Красильникова Н.И. Износостойкие стали для дробильно-размольного оборудования // Литейное производство. 1994. № 1. С. 18–19.
6. Тушинский Л.И., Батаев А.А., Тихомирова Л.Б. Структура перлита и конструктивная прочность стали. Новосибирск: Наука, 1993. 280 с.
7. Счастливец В.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л., Окишев К.Ю., Табатчикова Т.И., Хлебникова Ю.В. Перлит в углеродистых сталях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 311 с.
8. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов. М.: Недра, 2000. 317 с.
9. Сорокин Г.М. О критериях выбора износостойких сталей и сплавов // Заводская лаборатория. 1991. № 9. С. 10–13.
10. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 252 с.
11. Макаров А.В., Коршунов Л.Г., Выходец В.Б., Куренных Т.Е., Черненко Н.Л. Структура, химический состав и трибологические свойства нанокристаллического слоя поверхности трения закаленной стали У8 // Структура и свойства нанокристаллических материалов: сб. науч. трудов. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. С. 169–177.
12. Филиппов М.А., Гервасьев М.А., Плотников Г.Н., Жилин А.С., Никифорова С.М. Формирование структуры износостойких сталей 150ХНМЛ и Х12МФЛ при закалке // Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 11. С. 5–9.
13. Счастливец В.М., Макаров А.В., Табатчикова Т.И. Износостойкость рельсовой стали // Влияние свойств металлической матрицы на эксплуатационную стойкость рельсов. Екатеринбург: УИМ, 2006. С. 142–156.
14. Коршунов Л.Г. Изнашивание металлов при трении // Металловедение и термическая обработка стали. Т. 1. Кн. 2. М.: Металлургия, 1991. С. 387–41.
15. Филиппов М.А., Гервасьев М.А., Худорожкова Ю.В., Легчило В.В. Влияние температуры закалки на фазовый состав, структуру и износостойкость стали 150ХНМЛ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2013. № 11. С. 55–58.
16. Макаров А.В., Коршунов Л.Г., Счастливец В.М., Солодова И.Л., Яковлева И.Л. Структура и абразивная износостойкость закаленных и отпущенных заэвтектоидных углеродистых сталей // Физика металлов и металлургия. 2004. Т. 98. № 4. С. 96–112.
17. Мальцева Л.А., Мальцева Т.В., Юровских А.С., Рааб Г.И., Шарапова В.А., Вахонина К.Д. Образование субмикроструктурной структуры при интенсивной пластической деформации в метастабильной аустенитной стали и влияние на неё последующего нагрева // Металлы. 2016. № 2. С. 16–23.
18. Никифорова С.М., Филиппов М.А., Плотников Г.Н., Жилин А.С., Беликов С.В. Термообработка износостойких сталей для насосов буровых установок // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 4. С. 116–120.
19. Никифорова С.М., Хадыев М.С., Жилин А.С., Филиппов М.А., Рыжков М.А., Озерец Н.Н. Новые режимы обработки высокохромистых сталей с высокой износостойкостью для насосов буровых установок // Фундаментальные исследования. 2016. № 10-1. С. 73–77.
20. Филиппов М.А., Гервасьев М.А., Плотников Г.Н., Никифорова С.М., Жилин А.С. Использование углеродистых высокохромистых сталей для гильз грязевых насосов буровых установок // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2017. № 3. С. 135–142.

### REFERENCES

1. Davydov N.G., Sitnov V.V. *Svoystva, proizvodstvo i primeneniye vysokomargantsevoy stali* [Properties,

- production and use of high-manganese steel]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996. 232 p.
2. Gulyaev A.P. *Metallovedenie* [Metallography]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 544 p.
  3. Filippova M.A., Filippenkov A.A., Plotnikov G.N. *Iznosostoykie stali dlya otlivok* [Wear resistant steels for castings]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2009. 358 p.
  4. Dalyaeva L.I., Gulyaev A.P. The formation of martensite deformation in cold-hardened steel 120G13. *Sbornik trudov TsNIITMASH "Povyshenie kachestva otlivok iz stali G13L"*. Moscow, Mashgiz Publ., 1963, no. 106, pp. 193–199.
  5. Plotnikov G.N., Shadrov I.Sh., Krasilnikova N.I. Wear-resistant steel for crushing and grinding equipment. *Liteynoe proizvodstvo*, 1994, no. 1, pp. 18–19.
  6. Tushinsky L.I., Bataev A.A., Tikhomirova L.B. *Struktura perlita i konstruktivnaya prochnost' stali* [Pearlite structure and structural strength of steel]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993. 280 p.
  7. Schastlivtsev V.M., Mirzaev D.A., Yakovleva I.L., Okishev K.Yu., Tabatchikova T.I., Khlebnikova Yu.V. *Perlit v uglerodistykh stalyakh* [Pearlite in carbon steel]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2006. 311 p.
  8. Sorokin G.M. *Tribologiya staley i splavov* [Tribology of steels and alloys]. Moscow, Nedra Publ., 2000. 317 c.
  9. Sorokin G.M. On the criteria for selecting wear-resistant steels and alloys. *Zavodskaya laboratoriya*, 1991, no. 9, pp. 10–13.
  10. Khrushchev M.M., Babichev M.A. *Abrazivnoe iznashivanie* [Abrasive wear]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 252 p.
  11. Makarov A.V., Korshunov L.G., Vykhodets V.B., Kurennykh T.E., Chernenko N.L. Structure, chemical composition and tribological properties of nanocrystalline layer of friction surface of hardened steel U8. *Sbornik nauchnykh trudov "Struktura i svoystva nanokristallicheskiykh materialov"*. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 1999, pp. 169–177.
  12. Filippov M.A., Gervas'ev M.A., Plotnikov G.N., Zhilin A.S., Nikiforova S.M. Formation of structure of wear-resistant steels 150KhNML and Kh12MFL upon quenching. *Metal Science and Heat Treatment*, 2015, vol. 57, no. 11-12, pp. 641–644.
  13. Schastlivtsev V.M., Makarov A.V., Tabatchikova T.I. Wear resistance of rail steel. *Vliyaniye svoystv metallicheskoj matritsy na ekspluatatsionnyuyu stoykost' relsov*. Ekaterinburg, UIM Publ., 2006, pp. 142–156.
  14. Korshunov L.G. Wear of metals in friction. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka stali*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991, vol. 1, book 2, pp. 387–41.
  15. Filippov M.A., Gervas'ev M.A., Khudorozhkova Yu.V., Legchilo V.V. Influence of the quenching temperature on the phase composition, structure, and wear resistance of 150XHM steel. *Steel in Translation*, 2013, vol. 43, no. 11, pp. 720–723.
  16. Makarov A.V., Korshunov L.G., Schastlivtsev V.M., Solodova I.L., Yakovleva I.L. Structure and abrasive wear resistance of quenched and tempered hypereutectoid carbon steels. *The Physics of Metals and Metallography*, 2004, vol. 98, no. 4, pp. 428–443.
  17. Mal'tseva L.A., Mal'tseva T.V., Yurovskikh A.S., Sharapova V.A., Vakhonina K.D., Raab G.I. Formation of a submicrocrystalline structure in metastable austenitic steels during severe plastic deformation and subsequent heating. *Russian metallurgy (Metally)*, 2016, no. 2, pp. 181–188.
  18. Nikiforova S.M., Filippov M.A., Plotnikov G.N., Zhilin A.S., Belikov S.V. Heat treatment of wear resistant steels for drilling rig pumps. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*, 2015, no. 4, pp. 116–120.
  19. Nikiforova S.M., Khadyev M.S., Zhilin A.S., Filippov M.A., Ryzhkov M.A., Ozerets N.N. New modes of heat treatment of high-chromium steels with high wear resistance for pumps. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2016, no. 10-1, pp. 73–77.
  20. Filippov M.A., Gervasyev M.A., Plotnikov G.N., Nikiforova S.M., Zhilin A.S. The use of carbon, high-chromium steels for liners of mud pumps and drilling rigs. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*, 2017, no. 3, pp. 135–142.



**THE INFLUENCE OF THERMAL PROCESSING ON THE STRUCTURE  
AND WEAR-RESISTANCE OF PERLITE-CLASS STEELS**

© 2018

**M.A. Filippov**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, professor of Chair of Metallography

**G.A. Yagudin**, master, student of Chair of Metallography

**V.V. Legchilo**, postgraduate student of Chair of Metallography

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

**S.Kh. Estemirova**, Head of Laboratory of Chair of Metallography, senior researcher

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

*Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg (Russia)*

*Keywords:* impact-abrasive wear; wear resistance; heat treatment; microhardness; retained austenite; carbides.

*Abstract:* From the ecological point of view, high-manganese austenitic steels of 110G13L type are undesirable in the production because of the high emission of manganese oxides to the atmosphere while melting in the electric arc furnaces, gas-oxygen cutting, and welding operations. Another disadvantage of steels of this class is their low initial hardness, which causes the revent closing capacity of the working parts of castings under the conditions of dynamic loads. Moreover, these steels are poorly machinable.

The paper presents the results of the comparative study of the relationship between the structure formed in the process of heat treatment and the abrasive wear resistance of steels of two structural classes – high-manganese austenitic 110G13L steel and the 70H2GSML perlite-class steel. The wide use of 110G13L steel for the production of parts operating under the impact-abrasive wear and the repetitive contact-impact force is caused by the ability for high friction hardening of stable manganese austenite with low energy of packaging defects combined with the good impact strength. The disadvantages of 110G13L steel are the high quenching temperature, poor environmental performance and economic reasons that make it necessary in some cases to replace it with the perlite steels. The study of wear resistance of 70H2GSML perlite-class steel depending on the tempering temperature after normalization showed that this steel could be used for the casting of replaceable cast parts for crushing-milling equipment operating under the abrasive action without significant impact loads after normalization and high tempering. The wear resistance of samples made of 70H2GSML steel with the secondary sorbite structure, when testing steady abrasive, makes 55–60 % of level provided by samples of 110G13L steel, however, the lower cost, manufacturability and the environmental problems in some cases can settle the issue in favor of the application of perlite steel. The additional reserves to increase the wear resistance of 70H2GSML steel involve the quenching at high temperatures due to the formation of the structure of retained austenite that, in the process of abrasive wear, transforms into deformation martensite on the working surface increasing the steel's friction hardening ability.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
МИЛЛИСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА МОРФОЛОГИЮ  
И КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ЗОНЫ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ДЛЯ АМОРФНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Zr-Cu-Ag-Al**

© 2018

*А.А. Шлыкова*, магистрант кафедры теоретической и экспериментальной физики  
*В.А. Федоров*, доктор физико-математических наук, профессор,  
профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики, заслуженный деятель науки РФ  
*М.Ф. Гасанов*, кандидат физико-математических наук,  
старший преподаватель кафедры теоретической и экспериментальной физики  
*А.В. Яковлев*, кандидат физико-математических наук, доцент,  
доцент кафедры педагогики и образовательных технологий  
*Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов (Россия)*

*Ключевые слова:* объемные аморфные металлические сплавы; лазерное воздействие; оксидация; кристаллизация.

*Аннотация:* С момента своего создания аморфные сплавы привлекают огромное внимание благодаря своим превосходным физико-химическим свойствам, к которым относится высокая прочность, низкий модуль упругости и устойчивость к коррозии. На данный момент существует несколько способов получения металлических стекол, однако размер полученных заготовок лимитирован. Поэтому для промышленного применения в качестве элементов конструкций необходимы технологии получения качественных сварных соединений, в частности с помощью лазерной сварки. Кроме того, лазерная обработка поверхности является перспективной технологией для повышения механических свойств аморфных сплавов. При этом в обоих случаях физика протекающих процессов не отличается, а их понимание необходимо для совершенствования технологий лазерной обработки, что, безусловно, является актуальной задачей.

В работе было исследовано влияние лазерного излучения на поверхность аморфного сплава  $Zr_{46}(Cu_{4/5}Ag_{1/5})_{46}Al_8$ . Образец подвергался воздействию единичного лазерного импульса миллисекундной длительности (3 мс) и энергией 3 Дж. Исследование выполнялось методами автоэмиссионной сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, а также было проведено численное моделирование температурных полей, вызванных лазерным излучением, в пакете COMSOL Multiphysics 5.2.

В центре кратера обнаружены нанокристаллы, встроенные в аморфную матрицу. Численным моделированием установлено, что скорость охлаждения, наблюдаемая в эксперименте, не должна приводить к кристаллизации. Причиной этому может быть атомарный кислород, обнаруженный в поверхностном слое. Также выявлено, что распределение кислорода вдоль радиуса кратера находится в обратной зависимости от скорости фронта кристаллизации вдоль того же направления. В работе сделано предположение, что контроль над условиями охлаждения и атмосферой позволяет получить заранее определенные кристаллические структуры на поверхности аморфных сплавов, что повысит их механические свойства.

## ВВЕДЕНИЕ

Объемные аморфные металлические стекла (далее – АМС) – относительно новый класс материалов, получаемый закалкой из жидкой фазы при достаточно низких скоростях охлаждения, имеющих превосходные механические и антикоррозийные свойства.

С открытия металлических стекол в 1960 г. [1] значительные усилия были сосредоточены на технологии аморфизации металлических сплавов. Полученные аморфные образцы долгое время представляли собой ленты или проволоки. Первые объемные металлические стекла были получены в 1969 г. [2] из тройного сплава системы Pd-Cu-Si, их толщина составляла чуть меньше 1 мм. В последующие четыре десятилетия удалось получить многокомпонентные аморфные металлические сплавы систем Pd, Zr, Mg, Ln, Ti, Fe и Ni [3; 4] толщиной до 72 мм. Это открыло возможность применения АМС в качестве инженерных материалов.

Дальнейший прогресс шел в сторону модификации свойств, металлических стекол, в том числе и с применением лазерных технологий. Особо выделяется несколько направлений: спекание порошков для получения покрытий из АМС, лазерная сварка, лазерное уп-

рочнение поверхности ударными волнами, лазерная микрообработка поверхности и лазерные технологии получения микро- и наноструктур [5]. Контроль над протекающими процессами осуществляется путем изменения мощности импульсов, их длительности и частоты.

Модификации поверхности при лазерном воздействии посвящено относительно небольшое число работ. В работе [6] было получено покрытие в результате переплавки поверхности лазерным излучением на примере сплава  $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ . Авторы обнаружили увеличение пластической деформации на 5,3 % перед разрушением и сделали предположение, что лазерная обработка уменьшает внутренние напряжения и увеличивает свободный объем в поверхностном слое. При этом весь образец остался в аморфном состоянии. В работе [7] на поверхности АМС получена композитная структура, представляющая собой аморфную матрицу с вкраплениями микро- и нано-частиц  $B_2$ -фазы (CuZr), в работе [8] удалось получить кристаллические структуры на поверхности образца путем осаждения абляционных частиц. Известно, что при комнатной температуре пластическая деформация металлических стекол происходит

за счет образования полос скольжения, в отличие от кристаллических сплавов, у которых деформация осуществляется за счет движения и размножения дислокаций. Пачка полос скольжения локализуется в тонкую линию толщиной около 10 нм, что приводит к сильному фрикционному разогреву, уменьшающему вязкость внутри полосы, что впоследствии ведет к образованию трещины [9]. Введением кристаллических фаз можно заморозить текущую полосу и активировать вторичные, что увеличит пластичность благодаря торможению роста трещин. Оценка влияния нанокристаллических включений на прочность АМС дана в [10]. Подобного эффекта можно добиться нанесением сетки лазерных укулов для внесения термоупругих напряжений. Однако это может вызвать склонность материала к усталостно-механическому разрушению [11].

В то же время промышленное применение АМС осложняется низкой структурной устойчивостью к тепловым воздействиям, инициированным различными технологическими процессами. К побочным действиям нагрева, приводящим к деградации свойств АМС, относятся кристаллизация, структурная релаксация и разделение фаз. Так, например, в работе [12] обнаружено, что в результате лазерного нагрева в зоне термического влияния наблюдается снижение микротвердости, вызванное формированием трещин в области роста кристаллических преципитатов, но также возможна и обратная ситуация: частичная кристаллизация приводит к повышению как прочности, так и пластичности, что обсуждалось ранее. Кроме того, нагрев приводит к окислению поверхности металлических стекол, что требует контроля атмосферы в процессе производства. Однако влияние окисидации может быть минимальным, а в некоторых случаях процессы сорбции могут улучшить качество поверхности, уменьшить коэффициент трения, увеличить коррозионную стойкость и микротвердость поверхности [13].

Цель работы – исследование влияния лазерного излучения миллисекундной длительности на аморфный сплав  $Zr_{46}(Cu_{4/5}Ag_{1/5})_{46}Al_8$  и анализ процессов оксидации и кристаллизации, происходящих в зоне теплового воздействия.

#### ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В экспериментах исследован сплав  $Zr_{46}(Cu_{4/5}Ag_{1/5})_{46}Al_8$ . Образцы имели размеры  $6 \times 5 \times 3$  мм. Аморфное состоя-

ние сплава подтверждено методами рентгеновской дифрактометрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC) при скорости нагрева 20 К/мин. Для облучения сплава использовали одиночные импульсы твердотельного лазера Nd:YAG с длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 3 мс и максимальной энергией 3 Дж.

Микрофотографии поверхности, распределения элементов по поверхности и идентификация фаз образца в зоне воздействия лазерного излучения получали на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе сверхвысокого разрешения Zeiss Ultra plus на базе Ultra 55. Дифрактограммы поверхности сплава получали на рентгеновском порошковом дифрактометре Rigaku UltimaIV CuK $\alpha$ . Дифрактограммы в зоне воздействия лазерного излучения получали на настольном рентгеновском дифрактометре Дифрей 401 CrK $\alpha$ . Микротвердость поверхности измеряли на микротвердомере ПМТ-3м.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате лазерного воздействия на поверхности исследуемого образца формируется характерная розетка – кратер (см. рис. 1 а). Поверхность кратера можно условно разделить на две области: область I, в которой произошло расплавление, и область II, область термического влияния (см. рис. 1 б).

В первой области с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа были обнаружены нанокристаллы (см. рис. 1 в), встроенные в аморфную матрицу.

По данным рентгеноструктурного анализа (см. рис. 2) установлено, что основными кристаллическими фазами являются  $Zr_2Cu$  и  $Zr_7Cu_{10}$ . Также обнаружены оксиды:  $ZrO_2$ ,  $ZrO$ , что типично при оксидации аморфных сплавов на основе циркония. При этом достаточно большой объем материала в зоне остался в аморфном состоянии.

Как можем видеть (см. рис. 3, кривая  $O(r)$ ), концентрация кислорода возрастает при отдалении от центра кратера с 17 до 57 %. В то же время твердость нанокристаллического композита практически не отличается от твердости аморфного стекла и составляет ~6 ГПа.

Также определялся элементный состав вдоль радиуса кратера (см. таблицу 1) и микротвердость в центре кратера.

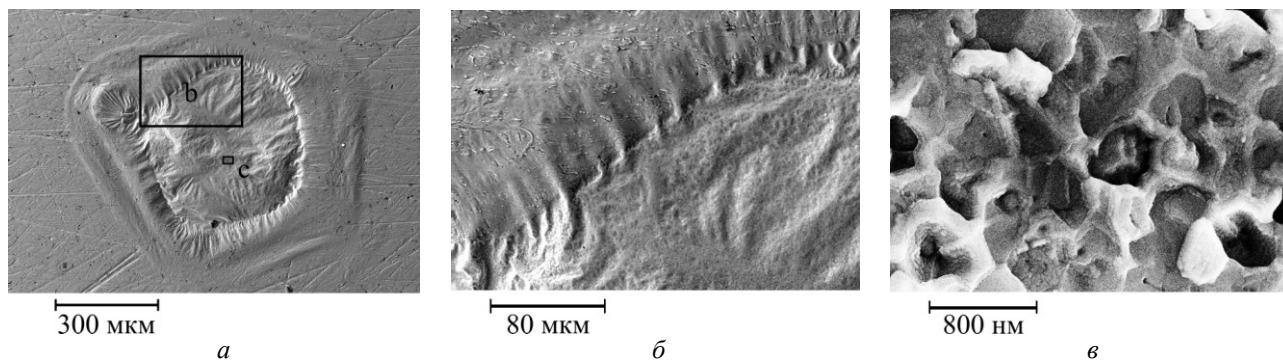


Рис. 1. Поверхность образца в зоне лазерного воздействия:  
а – кратер; б – область термического влияния; в – нанокристаллы

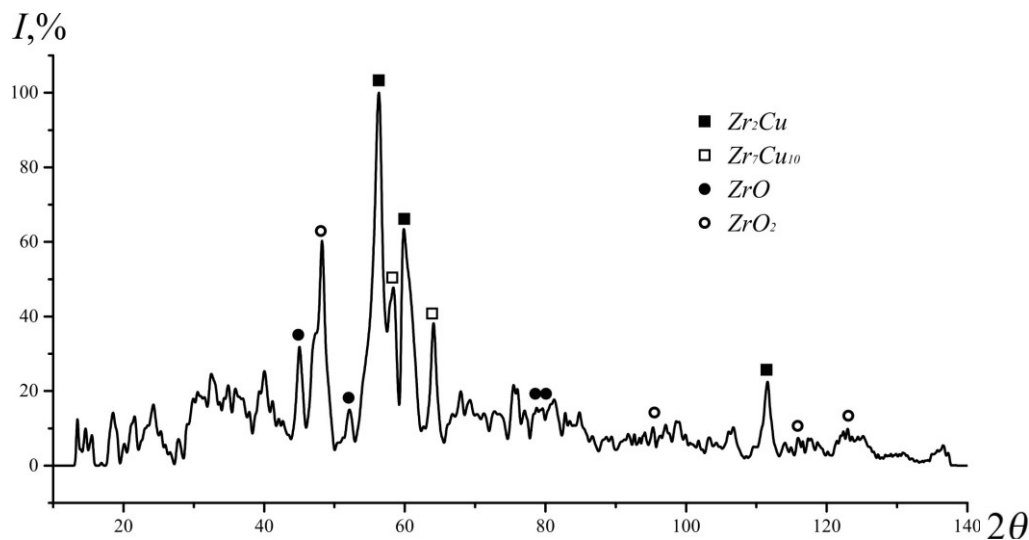


Рис. 2. Дифрактограмма аморфного сплава  $Zr_{46}(Cu_{4/5}Ag_{1/5})_{46}Al_8$

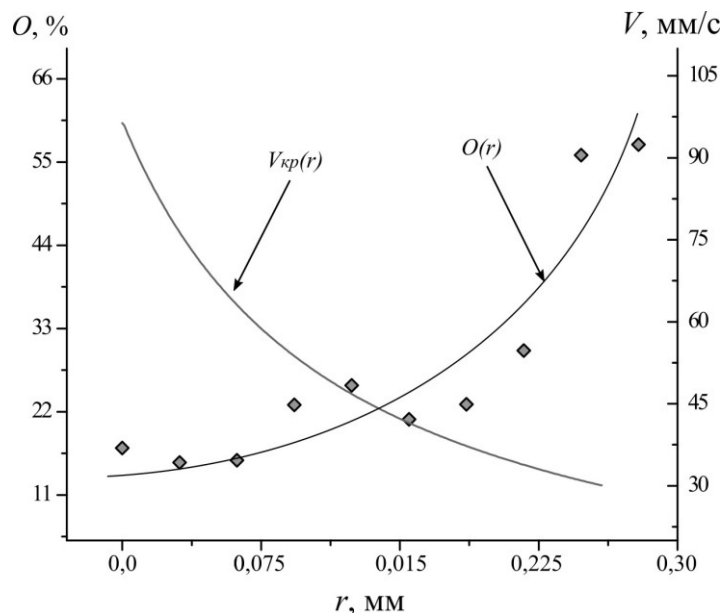


Рис. 3.  $O(r)$  распределение кислорода вдоль радиуса кратера,  $V_{кр}$  – скорость фронта кристаллизации

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Экспериментальное изучение тепловых процессов, происходящих в зоне лазерного воздействия, является технически сложной задачей. Поэтому для определения условий нагрева и охлаждения в зоне воздействия лазерного излучения выполнено компьютерное моделирование. Численное решение уравнения теплопроводности дает информацию о температуре в каждой точке образца и ее эволюции во времени, дальнейшая обработка полученных данных позволила получить скорость охлаждения и скорость фронта кристаллизации, которые невозможно измерить в эксперименте.

Моделирование производилось в пакете COMSOL Multiphysics 5.2, который, используя метод конечных элементов, позволяет рассчитать скалярные и векторные поля различных физических величин. Передача

тепла от лазерного пучка вглубь материала удовлетворительно описывается уравнением

$$C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \Delta T + L \frac{\partial g}{\partial t} = \alpha A(T) I_0 e^{-\alpha z} e^{-\frac{x^2+y^2}{r^2}} \varphi(t),$$

где  $C_p$  – теплоемкость;

$\lambda$  – теплопроводность;

$L$  – скрытая теплота плавления;

$g$  – доля твердой фазы в растворе;

$\alpha$  – коэффициент внутреннего поглощения;

$A(T) = 10^{-2} + 10^{-5} [1/K] T$ ;

$x, y$  – пространственные координаты;

$\varphi(t)$  – временной профиль интенсивности лазерного пучка;

$$\begin{cases} 0 < t \leq \tau, & \varphi(t) = 1 \\ t > \tau & \varphi(t) = 0 \end{cases},$$

где  $\tau$  – длительность импульса.

**Таблица 1.** Элементный состав вдоль радиуса кратера

№	N	O	Al	Cu	Zr	Ag
1	32,6	17,2	2,6	14,1	32,3	1,1
2	25,1	15,3	2,1	16,2	40,4	0,9
3	31,9	15,6	3,0	15,8	32,3	1,4
4	25,1	22,9	3,5	14,4	32,6	1,7
5	26,0	25,5	3,3	14,4	29,4	1,5
6	19,4	21,0	2,7	20,6	35,0	1,4
7	24,7	23,0	2,6	16,9	31,3	1,5
8	15,7	30,1	2,3	18,1	31,8	1,2
9		55,9	3,3	12,1	27,0	1,7
10		57,3	2,9	12,5	25,9	1,4
11		54,6	3,8	14,4	25,6	1,5
12		45,0	4,4	19,3	29,4	2,0
13		38,4	4,8	21,7	32,7	2,5
14		39,0	4,7	22,0	31,7	2,6
15		33,7	4,7	25,6	33,5	2,5
16		37,3	4,5	23,4	32,3	2,6
17		36,8	4,7	23,1	32,9	2,5
18		32,9	5,6	23,4	35,4	2,7
19		19,3	7,2	28,9	41,8	2,9
20		16,9	6,0	28,3	40,2	3,5

В модели были приняты следующие начальные и граничные условия:

- начальная температура образца  $T(x,y,z,0)=293,15$  К;
- с учетом малости зоны термического влияния лазерного воздействия (за время импульса  $\tau=3$  мс) по сравнению с размерами образца, граничные условия имеют вид

$$k \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial x} \Big|_{x=\pm a} = 0$$

$$k \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial y} \Big|_{y=\pm b} = 0$$

$$k \frac{\partial T(x, y, z)}{\partial z} \Big|_{z=\pm c} = 0.$$

Константы моделирования сведены в таблицу 2.

Чтобы исследовать условия образования кристаллов, была выбрана точка на оси лазерного пучка, расположенная на границе зоны проплавления (точка В) (рис. 4). Зависимость температуры от текущего момента времени показана на рис. 5 – кривая  $T(t)$ . Продифференцировав эту зависимость, мы получили скорость охлаждения исследуемого участка (см. рис. 5 – кривая  $R(t)$ ). Охлаждение в этой точке достигает  $\sim 10^4$  К/с и падает до нуля

за сравнительно небольшой промежуток времени, равный 40 мс.

**Таблица 2.** Константы моделирования [14]

Физическая константа	Значение
$\lambda$ [Вт/(м·К)]	5,7
$\rho$ [кг/м <sup>3</sup> ]	7122
$C_p$ [Дж/(кг·К)]	$C_p(T)$
$L$ [кДж/кг]	91
$T_s$ [К]	1091
$\Delta T_{s \rightarrow l}$ [К]	137

Также с помощью компьютерного моделирования удалось установить скорость фронта кристаллизации, то есть скорость движения линии, на которой во всех точках температура равна температуре плавления (см. рис. 6 и рис. 3 – кривая  $V_{кр}(r)$ ). Как можем видеть, движение фронта начинается с края кратера и с ускорением перемещается к его центру.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показали численные расчеты, зона кратера, в которой произошло расплавление,  $\approx 280$  мкм от центра (см. рис. 4 – область I), что удовлетворительно согласуется с экспериментом. При этом глубина, на которую был проплавлен материал, составила  $\approx 60$  мкм (см. рис. 4, точка В). В области II, толщина которой  $\approx 70$  мкм (см. рис. 4 – область II), максимальная температура находится в промежутке от 1000 до 700 К, что ниже температуры плавления. В этой области за счет большого градиента температур возникают термоупругие напряжения, что приводит к термопластическим сдвигам (см. рис. 1 б).

Наибольший интерес вызывает зона I. Как выше отмечалось, в этой области наблюдается рост нанокристаллов, встроенных в аморфную матрицу. Подобные нанокристаллы наблюдались в [7; 8] при обработке поверхности исследуемого материала импульсами лазерного излучения. Кроме того, в указанной работе установлено, что подобные нанокристаллические структуры препятствуют образованию и распространению полос скольжения, появление которых ведет к возникновению трещин и, как следствие, к преждевременному разрушению АМС.

Рост кристаллов в I зоне связан с возникновением большого числа зародышей, конкурирующих друг с другом во время своего роста, в результате чего образующиеся кристаллы не могут достичь значительных размеров. Как известно, число центров кристаллизации и скорость их роста зависит от степени переохлаждения. Причем имеется значение, при котором эти величины имеют максимальное значение. Также известно [15], что размер кристаллических структур, получающихся при затвердевании расплава, контролируется градиентом температур на фронте кристаллизации и скоростью фронта, то есть скоростью межфазной границы твердое тело – жидкость. Таким образом, управление данными параметрами открывает возможность получения материалов с заданной кристаллической

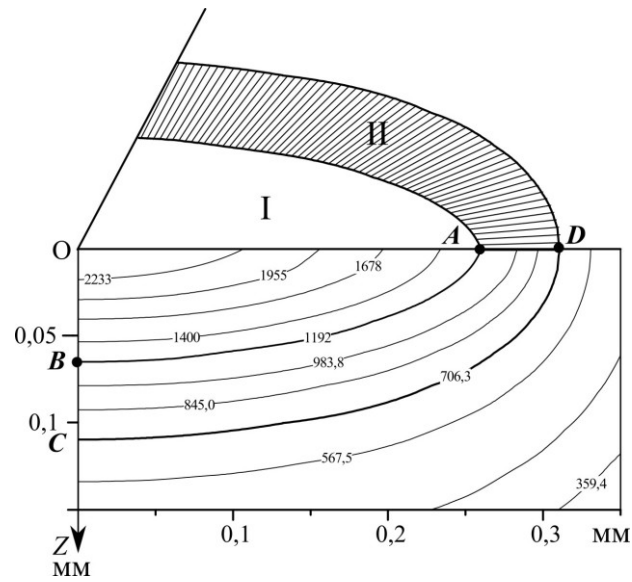


Рис. 4. Распределение температур в поперечном сечении образца в момент времени 3 мс (аксиальная симметрия относительно OZ, температура указана в кельвинах)

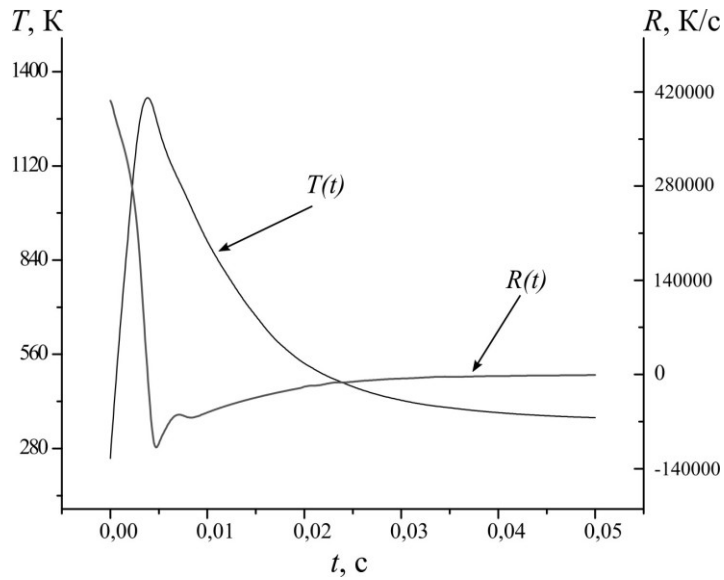


Рис. 5. Температура зоны воздействия лазерного излучения в точке B рис. 4 (кривая  $T(t)$ ); скорость охлаждения в той же точке (кривая  $R(t)$ )

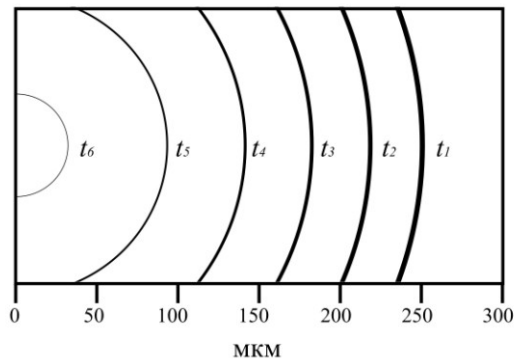


Рис. 6. Положение фронта кристаллизации в различные моменты времени:  $t_1 - 3$  мс;  $t_2 - 4$  мс;  $t_3 - 5$  мс;  $t_4 - 6$  мс;  $t_5 - 7$  мс;  $t_6 - 8$  мс

структурой, что было продемонстрировано в работе [12], где, изменяя начальную температуру образца при лазерной сварке, обнаружили режим, при котором не происходит кристаллизация аморфного сплава в зоне термического влияния.

При наблюдаемых в эксперименте скоростях охлаждения ( $10^4$  К/с) скорость роста является не достаточной, чтобы кристаллиты заполнили весь объем кратера. В то же время столь высокие скорости охлаждения не должны приводить даже к частичной кристаллизации [16]. Причиной кристаллизации может быть атомарный кислород, абсорбируемый из воздуха в результате реакций окисления. Как известно [17], данный химический элемент является поверхностно активным, абсорбированные атомы оказывают влияние на образование и развитие первичных кристаллов. Это влияние может быть обусловлено несколькими факторами.

Во-первых, изменение химического состава исходного сплава [18]. С помощью рентгеноструктурного анализа удалось установить наличие оксидов циркония в поверхностном слое образца, следовательно, атомы Zr, задействованные в химических соединениях с кислородом, теряют подвижность и способность участвовать в атомных перестановках при кристаллизации, при этом относительная доля примесей в составе аморфного сплава возрастает (концентрация Ag и Al). Кроме того, кислород характеризуется высоким сродством с цирконием и хорошей растворимостью, особенно при повышенных температурах, доля растворенного кислорода при температуре 1900 °С может достигать 29 % [19]. Кислород благодаря своим небольшим размерам легко проникает в решетку циркония и заполняет октаэдрические пустоты, понижая химическую активность циркония. Легирование кислородом также ведет к изменению химического состава.

Во-вторых, как известно [20], кристаллизация аморфных сплавов может происходить по механизму начальной кристаллизации (primary crystallization). Формированию кристаллических фаз предшествует образование икосаэдрических квазикристаллов (далее – КК) [21], микроструктура которых сходна с микроструктурой аморфного состояния и переход к которой требует значительно меньшего изменения свободной энергии. Роль кислорода заключается в стабилизации КК, что облегчает их дальнейший переход в кристаллическую фазу.

В связи с этим экспериментально обнаруженное неоднородное распределение кислорода в кратере заслуживает особого внимания. Моделирование показало, что скорость кристаллизации вдоль радиуса кратера находится в обратной зависимости с распределением кислорода вдоль той же линии (см. рис. 3), то есть скорость кристаллизации может являться фактором, отвечающим за абсорбцию кислорода приповерхностным слоем. Также стоит отметить, что различие в концентрациях практически не влияет на размер и форму кристаллитов, а возможной причиной отсутствия роста по дендритному механизму может являться высокая подвижность примесей более легкоплавких компонент (Ag и Al).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана особая роль атомарного кислорода и скорости охлаждения зоны расплава в формировании нанокристаллов. Абсорбция кислорода из воздуха приво-

дит к возникновению центров кристаллизации и после затвердевания, полученная структура является композицией. Следовательно, создание технологии управления процессами сорбции кислорода может дать возможность получения заранее «запрограммированных» структур на поверхности АМС.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-42-03206 p\_центр\_a).*

*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. Klement W., Willens R.H., Duwez P.O.L. Non-crystalline structure in solidified gold–silicon alloys // *Nature*. 1960. Vol. 187. № 4740. P. 869–870.
2. Chen H.S., Turnbull D. Formation, stability and structure of palladium-silicon based alloy glasses // *Acta Metallurgica*. 1969. Vol. 17. № 8. P. 1021–1031.
3. Inoue A. Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys // *Acta materialia*. 2000. Vol. 48. № 1. P. 279–306.
4. Hays C.C., Kim C.P., Johnson W.L. Large supercooled liquid region and phase separation in the Zr–Ti–Ni–Cu–Be bulk metallic glasses // *Applied Physics Letters*. 1999. Vol. 75. № 8. P. 1089–1091.
5. Williams E., Lavery N. Laser processing of bulk metallic glass: A review // *Journal of Materials Processing Technology*. 2017. Vol. 247. P. 73–91.
6. Chen B., Pang S., Han P., Li Y., Yavari A.R., Vaughan G., Zhang T. Improvement in mechanical properties of a Zr-based bulk metallic glass by laser surface treatment // *Journal of Alloys and Compounds*. 2010. Vol. 504. № Suppl. 1. P. S45–S47.
7. Wu G., Li R., Liu Z., Chen B., Li Y., Cai Y., Zhang T. Induced multiple heterogeneities and related plastic improvement by laser surface treatment in CuZr-based bulk metallic glass // *Intermetallics*. 2012. Vol. 24. P. 50–55.
8. Huang H., Jun N., Jiang M., Ryoko M., Yan J. Nanosecond pulsed laser irradiation induced hierarchical micro/nanostructures on Zr-based metallic glass substrate // *Materials and Design*. 2016. Vol. 109. P. 153–161.
9. Lewandowski J.J., Greer A.L. Temperature rise at shear bands in metallic glasses // *Nature materials*. 2006. Vol. 5. № 1. P. 15.
10. Inoue A., Kimura H. High-strength aluminum alloys containing nanoquasicrystalline particles // *Materials Science and Engineering A*. 2000. Vol. 286. № 1. P. 1–10.
11. Gao M., Dong J., Huan Y., Wang Y.T., Wang W.-H. Macroscopic tensile plasticity by scalarizing stress distribution in bulk metallic glass // *Scientific reports*. 2016. Vol. 6. P. 21929.
12. Wang H.-S., Chiou M.-S., Chen H.-G., Jang J.S.-C. The effects of initial welding temperature and welding parameters on the crystallization behaviors of laser spot welded Zr-based bulk metallic glass // *Materials Chemistry and Physics*. 2011. Vol. 129. № 1-2. P. 547–552.
13. Zhang M., Yao D., Cao Z., Li P., Zhou P., Wang X. Influence of oxidation on the performance of Zr<sub>55</sub>Cu<sub>30</sub>Al<sub>10</sub>Ni<sub>5</sub> BMG // *Intermetallics*. 2016. Vol. 79. P. 20–27.

14. Jiang Q.K., Wang X.D., Nie X.P., Zhang G.Q., Ma H., Fecht H.-J., Bendnarcik J., Franz H., Liu Y.G., Cao Q.P., Jiang J.Z. Zr-(Cu,Ag)-Al bulk metallic glasses // *Acta Materialia*. 2008. Vol. 56. № 8. P. 1785–1796.
15. Kurz W., Fisher D.J. *Fundamentals of Solidification*. 3rd ed. Aedermannsdorf: Trans Tech Publication, 1992. 305 p.
16. Inoue A. Recent progress of Zr-based bulk amorphous alloys // *Science reports of the Research Institutes Tohoku University Series A–Physics*. 1996. Vol. 42. № 1. P. 1–11.
17. Стеценко В.Ю. Влияние сорбции и десорбции водорода и кислорода на процессы модифицирования и кристаллизации сплавов // *Литьё и металлургия*. 2010. № 3. С. 91–96.
18. Zhang L.C., Xu J., Ma E. Mechanically alloyed amorphous  $Ti_{50}(Cu_{0.45}Ni_{0.55})_{44-x}Al_xSi_4B_2$  alloys with supercooled liquid region // *Journal of materials research*. 2002. Vol. 17. № 7. P. 1743–1749.
19. Черняева Т.П., Стукалов А.И., Грицина В.М. Поведение кислорода в цирконии // *Вопросы атомной науки и техники*. 2000. № 2. С. 71–85.
20. Zhang L.C. Crystallization Behavior and Control of Amorphous Alloys // *Advances in Crystallization Processes*. Croatia: InTech, 2012. P. 185–216.
21. Inoue A., Zhang T., Saida J., Matsushita M., Chen M.W., Sakurai T. Formation of icosahedral quasicrystalline phase in Zr-Al-Ni-Cu-M (M=Ag, Pd, Au or Pt) systems // *Materials Transactions, JIM*. 1999. Vol. 40. № 10. P. 1181–1184.
- bulk metallic glass. *Intermetallics*, 2012, vol. 24, pp. 50–55.
8. Huang H., Jun N., Jiang M., Ryoko M., Yan J. Nanosecond pulsed laser irradiation induced hierarchical micro/nanostructures on Zr-based metallic glass substrate // *Materials and Design*, 2016. Vol. 109. P. 153–161.
9. Lewandowski J.J., Greer A.L. Temperature rise at shear bands in metallic glasses. *Nature materials*, 2006, vol. 5, no. 1, p. 15.
10. Inoue A., Kimura H. High-strength aluminum alloys containing nanoquasicrystalline particles. *Materials Science and Engineering A*, 2000, vol. 286, no. 1, pp. 1–10.
11. Gao M., Dong J., Huan Y., Wang Y.T., Wang W.-H. Macroscopic tensile plasticity by scalarizing stress distribution in bulk metallic glass. *Scientific reports*, 2016, vol. 6, p. 21929.
12. Wang H.-S., Chiou M.-S., Chen H.-G., Jang J.S.-C. The effects of initial welding temperature and welding parameters on the crystallization behaviors of laser spot welded Zr-based bulk metallic glass. *Materials Chemistry and Physics*, 2011, vol. 129, no. 1-2, pp. 547–552.
13. Zhang M., Yao D., Cao Z., Li P., Zhou P., Wang X. Influence of oxidation on the performance of  $Zr_{75}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$  BMG. *Intermetallics*, 2016, vol. 79, pp. 20–27.
14. Jiang Q.K., Wang X.D., Nie X.P., Zhang G.Q., Ma H., Fecht H.-J., Bendnarcik J., Franz H., Liu Y.G., Cao Q.P., Jiang J.Z. Zr-(Cu,Ag)-Al bulk metallic glasses. *Acta Materialia*, 2008, vol. 56, no. 8, pp. 1785–1796.
15. Kurz W., Fisher D.J. *Fundamentals of Solidification*. 3rd ed. Aedermannsdorf, Trans Tech Publication, 1992. 305 p.
16. Inoue A. Recent progress of Zr-based bulk amorphous alloys. *Science reports of the Research Institutes Tohoku University Series A–Physics*, 1996, vol. 42, no. 1, pp. 1–11.
17. Stetsenko V.Yu. Influence of sorption and desorption of hydrogen and oxygen on the processes of modifying and crystallization of alloys. *Litye i metallurgiya*, 2010, no. 3, pp. 91–96.
18. Zhang L.C., Xu J., Ma E. Mechanically alloyed amorphous  $Ti_{50}(Cu_{0.45}Ni_{0.55})_{44-x}Al_xSi_4B_2$  alloys with supercooled liquid region. *Journal of materials research*, 2002, vol. 17, no. 7, pp. 1743–1749.
19. Chernyaeva T.P., Stukalov A.I., Gritsina V.M. Behavior of oxygen in zirconium. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki*, 2000, no. 2, pp. 71–85.
20. Zhang L.C. Crystallization Behavior and Control of Amorphous Alloys. *Advances in Crystallization Processes*. InTech, 2012, pp. 185–216.
21. Inoue A., Zhang T., Saida J., Matsushita M., Chen M.W., Sakurai T. Formation of icosahedral quasicrystalline phase in Zr-Al-Ni-Cu-M (M=Ag, Pd, Au or Pt) systems. *Materials Transactions, JIM*, 1999, vol. 40, no. 10, pp. 1181–1184.

#### REFERENCES

1. Klement W., Willens R.H., Duwez P.O.L. Non-crystalline structure in solidified gold–silicon alloys. *Nature*, 1960, vol. 187, no. 4740, pp. 869–870.
2. Chen H.S., Turnbull D. Formation, stability and structure of palladium-silicon based alloy glasses. *Acta Metallurgica*, 1969, vol. 17, no. 8, pp. 1021–1031.
3. Inoue A. Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys. *Acta materialia*, 2000. vol. 48, no. 1, pp. 279–306.
4. Hays C.C., Kim C.P., Johnson W.L. Large supercooled liquid region and phase separation in the Zr–Ti–Ni–Cu–Be bulk metallic glasses. *Applied Physics Letters*, 1999, vol. 75, no. 8, pp. 1089–1091.
5. Williams E., Lavery N. Laser processing of bulk metallic glass: A review. *Journal of Materials Processing Technology*, 2017, vol. 247, pp. 73–91.
6. Chen B., Pang S., Han P., Li Y., Yavari A.R., Vaughan G., Zhang T. Improvement in mechanical properties of a Zr-based bulk metallic glass by laser surface treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, 2010, vol. 504, no. Suppl. 1, pp. S45–S47.
7. Wu G., Li R., Liu Z., Chen B., Li Y., Cai Y., Zhang T. Induced multiple heterogeneities and related plastic improvement by laser surface treatment in CuZr-based



THE STUDY OF INFLUENCE OF MILLISECOND LASER IRRADIATION  
ON THE MORPHOLOGY AND CRYSTALLIZATION  
OF A THERMO-ACTIVATION ZONE FOR Zr-Cu-Ag-Al BULK AMORPHOUS ALLOY

© 2018

*A.A. Shlykova*, graduate student of Chair of Theoretical and Experimental Physics

*V.A. Fedorov*, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,  
professor of Chair of Theoretical and Experimental Physics, Honored master of sciences

*M.F. Gasanov*, PhD (Physics and Mathematics), senior lecturer of Chair of Theoretical and Experimental Physics

*A.V. Yakovlev*, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor,  
assistant professor of Chair of Pedagogy and Educational Technologies  
*Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov (Russia)*

*Keywords:* bulk metallic glasses; laser irradiation; oxidation; crystallization.

*Abstract:* From the moment of their creation, the amorphous metallic alloys draw special attention because of their perfect physicochemical properties such as high strength, low Young's modulus, and the corrosion resistance. Nowadays, there are several ways for producing bulk metallic glasses but the specimens' size is limited. Thus, for industrial application as the construction elements, it is necessary to have the technologies of the creation of quality weld joints, using laser beam welding in particular. Moreover, the surface laser treatment is the advanced technology to improve the mechanical properties of amorphous metallic alloys. Herewith, in both cases, the physics of the processes taking place does not vary and their understanding is necessary for the improvement of laser processing, which is a crucial task.

In this paper, the authors studied the influence of laser irradiation on the surface of  $Zr_{46}(Cu_{4/5}Ag_{1/5})_{46}Al_8$  alloy. The specimen was exposed to the impact of a single laser millisecond impulse (3 ms) with the energy of 3J. The investigation was carried out by the methods of field emission microscopy, X-ray diffraction analysis and the numerical modeling of temperature fields induced by laser irradiation was performed by the COMSOL Multiphysics 5.2 software package.

In the center of a crater, the nanocrystals built into amorphous matrix were detected. By the numerical data, it was established that the cooling rate observed in the experiment should not lead to the crystallization. This may be caused by atomic oxygen founded in the surface layer. The authors detected as well that the oxygen radial distribution is inversely related with the radial interface velocity. The assumption was made that the control over cooling conditions and the atmosphere allows receiving the preliminary determined crystalline structures on the amorphous metallic alloys surface that will improve their (amorphous metallic alloys) mechanical properties.

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ

© 2018

**В.В. Шляров**, студент

**Д.В. Загуляев**, кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля

**В.Е. Громов**, доктор физико-математических наук, профессор,

заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк (Россия)*

*Ключевые слова:* алюминий А85; магнитное поле; ползучесть; структура материала; индукция; металлография.

*Аннотация:* С развитием современных технологий появляется всё больше установок, формирующих вокруг себя магнитные поля. Поскольку большинство конструкций, механизмов работают в условиях механических нагрузок, приводящих к разрушению, для анализа ресурса их работы необходимо изучение поведения металлов в условиях внешних энергетических воздействий.

Для выполнения работы в качестве материала исследований было принято решение использовать алюминий технической чистоты марки А85. Так как на сегодняшний день алюминий занимает лидирующее положение на рынке цветных металлов, широко применяется в машиностроении, электротехнической промышленности и приборостроении, промышленном и гражданском строительстве и т. д., вопрос модификации данного материала является весьма актуальной проблемой.

В работе изучалось влияние слабых магнитных полей до 0,5 Тл на структуру и деформационные характеристики алюминия для возможности пластификации материала и дальнейшего применения данной технологии в производстве, а также более глубокого изучения теоретической части данного явления, построения теории о влиянии магнитных полей на физико-механические свойства парамагнитных металлов.

В ходе работы было выяснено, что эффект влияния магнитного поля неоднозначен: происходит как возрастание скорости ползучести с достижением максимального значения при 0,1 Тл, так и ее замедление с достижением минимального значения при 0,5 Тл. Можем заметить, что при проведении экспериментов удалось пластифицировать исследуемый материал при воздействии на него магнитного поля. Распределения зеренной структуры образцов, разрушенных в условиях ползучести без воздействия и с воздействием магнитного поля, являются одномодальными и могут быть описаны логарифмически нормальным законом.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разными научными коллективами выполнен комплекс исследований, посвященных определению влияния магнитного поля (МП) как на структуру [1; 2], так и на процесс пластической деформации (магнитопластический эффект) различных материалов [3; 4], в том числе немагнитных [5], полимеров, диэлектриков, полупроводников, пара- и диамагнитных материалов; установлено, что воздействие магнитным полем приводит к изменению прочностных и пластических характеристик материалов [6; 7]. Большое количество работ написано по проблемам влияния магнитных полей на структуру различных сплавов на основе алюминия [8–10].

Объяснение данного явления сводится к тому, что воздействие магнитных полей приводит к спиновой конверсии в примесных центрах, приводящей к перестройке их электронной структуры и соответствующему снижению их взаимодействия с дислокациями, что облегчает их перемещение (пластифицирует материал), уменьшая связанные со средним пробегом между препятствиями характеристики деформации. На кафедре естественнонаучных дисциплин СибГИУ к настоящему времени выполнены исследования по изучению влияния магнитных полей на процесс пластической деформации меди [11]. В результате исследований было выяснено, что для медных образцов магнитное поле приводит только к уменьшению скорости ползучести. Полученные экспериментальные результаты говорят о слож-

ном характере влияния магнитного поля на ползучесть меди. На основе полученных в работе экспериментальных данных можно на качественном уровне предположить, что изменение скорости ползучести меди связано с изменением состояния дефектной субструктуры при действии магнитного поля. Проведены исследования, связанные с изменением деформационных характеристик и структурных превращений в цветных металлах, в легированных сталях и сплавах под влиянием магнитного поля [12; 13].

Было исследовано влияние импульсного магнитного поля на микротвердость алюминия [14; 15]. Проведены исследования, связанные с влиянием слабых импульсных магнитных полей на микроструктуру алюминия в стадиях затвердевания [16]. Для более подробного изучения физической природы влияния магнитных полей на деформационные характеристики цветных металлов было принято решение продолжить исследования, используя в качестве материала алюминий марки А85, так как в настоящее время алюминий занимает лидирующее положение по объему производства среди цветных металлов, и его производство постоянно расширяется. Прежде всего, алюминий и его сплавы используют авиационная и автомобильная отрасли промышленности. Широко применяется алюминий и в других отраслях промышленности: в машиностроении, электротехнической промышленности и приборостроении, промышленном и гражданском строительстве, химической промышленности, производстве предметов народного потребления.

В статье изучен процесс ползучести поликристаллического алюминия марки А85. Ползучесть определяется как медленное, пластическое течение металла под воздействием постоянной нагрузки или постоянного напряжения в зависимости от времени [17; 18].

Цель работы – исследование влияния слабых магнитных полей с индукцией до 0,5 Тл на процесс ползучести и структуру технически чистого алюминия марки А85.

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Химический состав исследуемого материала представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сплава А85, %

Fe	Si	Ti	Al	Cu	Zn
до 0,08	до 0,06	до 0,01	99,85	до 0,01	до 0,02

Перед проведением исследований образцы проходили тщательную пробоподготовку. Она заключалась в изготовлении образцов из алюминия, представляющих собой цилиндр, длина которого 250 мм, а диаметр – 2,5 мм. Был проведен рекристаллизационный отжиг при температуре 700 К в течение 2 часов с последующим охлаждением в печи для приведения структуры материала в однородное состояние. В качестве источника постоянного магнитного поля использовался электромагнит, питающийся от источника постоянного тока. В зависимости от силы тока, протекающего по катушкам, регулировалась индукция магнитного поля. Индукция магнитного поля измерялась миллитесламетром с точностью до 0,01 мТл. С полученными образцами проводились испытания ползучести без воздействия и с воздействием магнитного поля, при этом индукция магнитного поля варьировалась от 0 до 0,5 Тл.

Для выявления структуры алюминия использовались стандартные методы материаловедения. После

разрыва проволоки ее помещали в форму для фиксации и заливали эпоксидной смолой. Для дальнейших исследований структуры материала методом оптической микроскопии производилась механическая шлифовка. Образцы шлифовали вручную на шкурках № 400–2000 под проточной водой, а затем полировали на шлифовально-полировальном станке FORCIPOL 2 с использованием полировальных тканей и пасты на основе оксида хрома (III) с размерами частиц 8–17 мкм до получения зеркального блеска поверхности. Затем образцы химически травились раствором, составленным из HCl (50 %), HF (42 %), H<sub>2</sub>O (8 %), для проявления структуры материала и дальнейшего исследования влияния магнитного поля на материал. Для анализа структуры использовался оптический металлографический микроскоп OLYMPUS GX-51.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из параметров, характеризующих процесс ползучести, является скорость стационарной ползучести. Для ее определения используется испытательная машина на растяжение с программным комплексом, позволяющим фиксировать зависимости деформации от времени при постоянной нагрузке (кривые ползучести).

Кривые ползучести, полученные при деформации образцов алюминия в магнитном поле и без него, приведены на рис. 1. Они содержат стадии логарифмической, установившейся и ускоренной ползучести, что совпадает с общепринятыми представлениями о кинетике процесса в таких условиях [19].

Проанализировав данные зависимости, можно судить о том, что магнитное поле может в значительной мере повлиять на скорость ползучести алюминия. Как видно из полученных нами зависимостей, магнитное поле 0,1 Тл существенно увеличивает скорость ползучести, что может говорить о том, что материал становится более пластичным в условиях воздействия магнитным полем 0,1 Тл, но можно заметить, что происходит и замедление скорости ползучести при увеличении индукции магнитного поля.

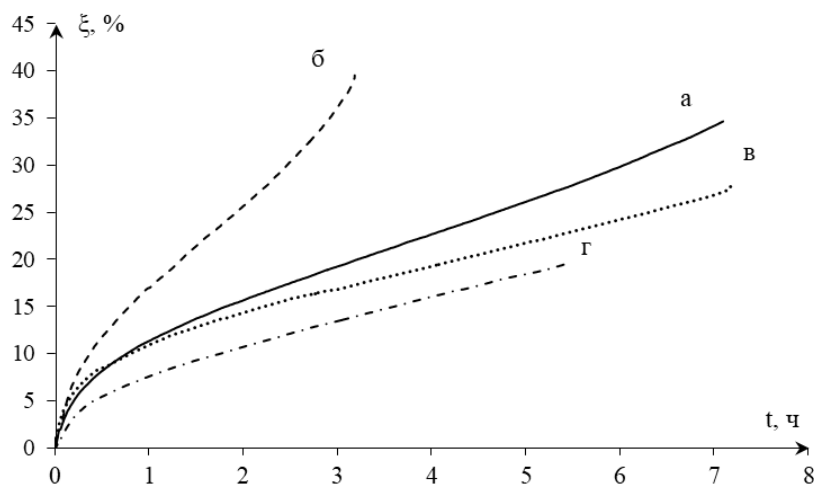


Рис. 1. Кривые ползучести алюминия, полученные без магнитного поля и при воздействии магнитным полем:  
а – без воздействия магнитным полем; б – 0,1 Тл; в – 0,16 Тл; г – 0,5 Тл

При изучении влияния магнитного поля на процесс ползучести основное внимание было уделено стадии установившейся ползучести, скорость на которой постоянна. Она определялась численным дифференцированием зависимости  $\xi = \xi_0 + \xi' * t$ , описывающей кинетику процесса.

Для количественной оценки эффекта действия магнитного поля использован параметр относительного изменения скорости ползучести на линейной стадии. Относительное изменение скорости ползучести

$$\xi = \frac{\xi'_{mg} + \xi'}{\xi'}$$

где  $\xi'_{mg}$  – усредненное значение скорости ползучести при воздействии магнитным полем;  
 $\xi'$  – без поля.

Обобщенный график зависимости относительного изменения скорости ползучести от индукции магнитного поля приведен на рис. 2.

Изображение исходной структуры исследуемого материала, разрушенного в магнитном поле и без него, а также гистограммы распределения зерен по размерам для каждого состояния представлены на рис. 3.

Проведенный анализ оптических изображений показал, что в исходном состоянии структура алюминия характеризуется изотропными зёрнами рекристаллизационного происхождения. Зеренный ансамбль представлен разнообразными размерами кристаллитов. Для исходной структуры алюминия минимальное значение размера зерен составляет 4,2 мкм, максимальное – 266,7 мкм; для образца алюминия, разрушенного без воздействия магнитного поля, характерно минимальное значение размера зерен 4,2 мкм, максимальное – 120,8 мкм; а образец алюминия, который разрушился при воздействии магнитного поля 0,1 Тл, характеризуется минимальным значением размера зерен 4,2 мкм, максимальным – 137,5 мкм. Анализ гистограмм распределения зерен по размерам показывает, что представленные распределе-

ния являются одномодальными и могут быть описаны логарифмически нормальным законом [11].

Металлографические исследования зеренной структуры образца, разрушенного в условиях ползучести, проводили на расстояниях 2, 4, 6, 8, 10 мм от поверхности разрушения, это позволило выявить зеренную неоднородность при удалении от поверхности разрушения. Микрофотографии структуры представлены на рис. 3 б (расстояние от поверхности разрушения 10 мм), 3 в (расстояние от поверхности разрушения 6 мм). Анализ микрофотографий показал, что структура материала, как в случае разрушения без магнитного поля, так и при разрушении с магнитным полем, характеризуется преимущественно анизотропными зёрнами, вытянутыми в направлении растяжения, однако более выраженная текстура деформации (рис. 3 в) наблюдается при воздействии МП 0,1 Тл.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные в работе исследования показали, что наложение магнитного поля существенно изменяет скорость ползучести алюминия. При рассмотрении возможного физического механизма влияния магнитного поля на деформационное поведение металлических материалов учтем связь между прочностью и подвижностью дислокаций. Поскольку в кристалле обычно присутствует  $10^6$ – $10^{11}$  дислокаций в  $1 \text{ см}^3$ , их перемещение приводит к макроскопическим деформациям. Изменяя подвижность этих дефектов, можно управлять пластической деформацией кристаллов, что подтверждается результатами работы [20]. Процесс пластической деформации сопровождается непрерывным взаимодействием дислокаций друг с другом и с точечными дефектами, в качестве которых выступают пара- или ферромагнитные атомы внедрения и замещения. Если предположить, что взаимодействия дислокации с парамагнитными примесями носят не только упругий характер, а сопровождаются образованием и разрывом ковалентной связи между ними, то это является дополнительным фактором торможения дислокации, поскольку необходима дополнительная энергия для разрыва ковалентной связи.

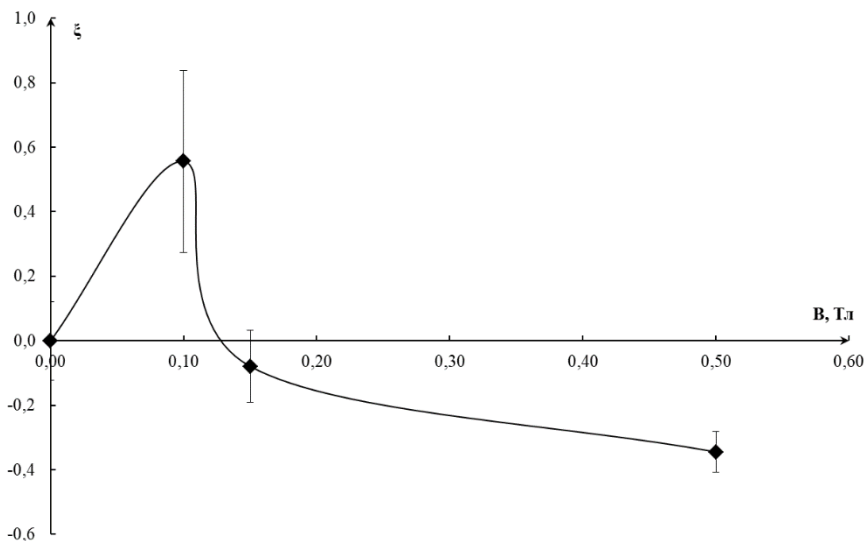
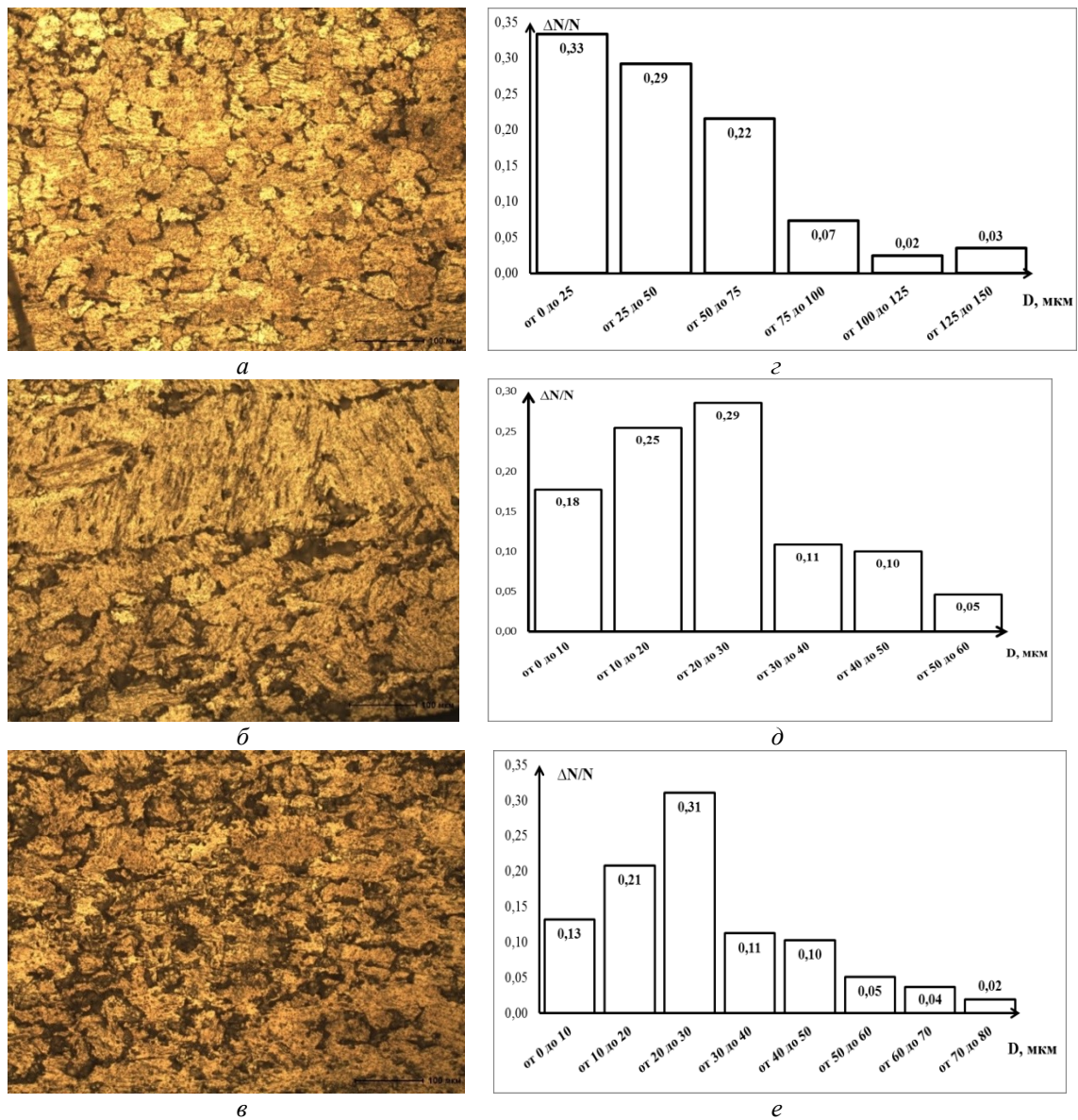


Рис. 2. Зависимость относительного изменения скорости ползучести  $\xi$  от индукции магнитного поля  $B$



**Рис. 3.** Оптическое изображение структуры Al85 и диаграммы распределения зерен:

*а* – оптическое изображение исходной структуры Al85;

*б* – оптическое изображение структуры Al85, разрушенного в условиях ползучести без воздействия МП;

*в* – оптическое изображение структуры Al85, разрушенного в условиях ползучести при воздействии МП 0,1 Тл;

*г* – распределение зерен по размеру в среднем по образцу в исходном Al85;

*д* – распределение зерен по размеру в среднем по образцу Al85,

разрушенного в условиях ползучести без воздействия МП;

*е* – распределение зерен по размеру при воздействии МП 0,1 Тл,

где  $\Delta N$  – число зерен, имеющих размеры из указанного интервала;  $N$  – общее число зерен

Образование ковалентной связи между одним атомом, принадлежащим дислокации, и парамагнитным примесным дефектом возможно, поскольку в окрестностях ядра дислокации, там, где электронные оболочки атомов сильно искажены, существуют электроны с неспаренным спином, локализованные на перегибах и ступеньках, а атом парамагнитной примеси по определению имеет электрон с неспаренным спином [21]. Таким образом, процесс пластической деформации сопровождается многократно повторяющимися химическими реакциями. Можно предположить, что магнитное поле оказывает не прямое воздействие на процесс пластической деформации, а, воздействуя на ковалентную связь,

облегчает ее разрыв. Это приводит к увеличению подвижности дислокаций и, как следствие, к увеличению пластичности материала при определенном значении индукции магнитного поля, но в ходе работы было выяснено, что с увеличением индукции магнитного поля происходит замедление процесса ползучести (рис. 2). На данном этапе можно заметить, что полученные в работе результаты качественно подобны зависимостям, установленным в работе [22], где исследованы обратимые и необратимые изменения пластических свойств кристаллов NaCl, вызванные действием магнитного поля. Причину изменения пластических характеристик авторы связали с влиянием магнитного поля на поведение

точечных дефектов. Слабое магнитное поле способствовало необратимому изменению метастабильных состояний точечных дефектов, инициируя многостадийный релаксационный процесс, сопровождающийся изменением микротвердости кристалла. Сильное магнитное поле обратимо изменяло состояние точечных дефектов. Это свидетельствует о том, что в сильном магнитном поле дефектам может передаваться энергия, сравнимая со средней энергией тепловых флуктуаций. Для построения собственной теории о влиянии слабых магнитных полей на пластические характеристики алюминия на качественном уровне необходимы дальнейшие исследования. Но уже точно можно говорить о возможности модифицирования алюминия магнитными полями.

Анализ распределений зерен по размерам показывает, что в зависимости от условий разрушения меняется средний размер зерна. В результате проведенных исследований было установлено, что ползучесть не приводит к изменению средних размеров зерен, которое составляет в исходной структуре 50,5 мкм; средний размер зерен в структуре, разрушенной без воздействия магнитного поля, составляет 25,1 мкм, а при воздействии магнитным полем – 29,4 мкм.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Подводя итог, можно констатировать, что магнитное поле оказывает существенное влияние на процесс ползучести алюминия. Под действием магнитного поля происходит как возрастание скорости ползучести, так и ее замедление. В результате выполнения работы было установлено, что деформация в условиях ползучести с одновременным действием магнитного поля приводит к увеличению наиболее вероятного размера зерен, при этом несущественно меняет средний размер зерна. Предложен возможный физический механизм влияния постоянного магнитного поля на процесс пластической деформации алюминия.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания 3.1283.2017/4.6.*

*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. Wu Y., He C.S., Zhao X., Zuo L., Watanabe T. Effects of magnetic field strength on microstructure and texture evolution in cold-rolled interstitial-free steel by magnetic field annealing // *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*. 2008. Vol. 21. № 2. P. 103–108.
2. Li Q., Song C., Li H., Zhai Q. Effect of pulsed magnetic field on microstructure of 1Cr18Ni9Ti austenitic stainless steel // *Materials science and engineering A*. 2007. Vol. 466. № 1-2. P. 101–105.
3. Головин Ю.И. Магнитопластичность твердых тел // *Наука*. 2004. № 5. С. 769–803.
4. Сойка А.К., Шепелевич В.Г. Долговременный отрицательный магнитопластический эффект в металлах, вызванный воздействием сильного импульсного магнитного поля // *Труды БГТУ*. № 6. Физико-математические науки и информатика. 2014. № 6. С. 80–82.
5. Урусовская А.А., Альшиц В.И., Смирнов А.Е., Беккауер Н.Н. Эффекты магнитного воздействия на механические свойства и реальную структуру немагнитных кристаллов // *Кристаллография*. 2003. Т. 48. № 5. С. 855–872.
6. Дунин-Барковский Л.Р., Моргунов Р.Б., Танимото У. Влияние постоянного магнитного поля до 15Т на эффект Портевена – Ле Шателье в кристаллах NaCl: Eu // *Физика твердого тела*. 2005. Т. 47. № 7. С. 1241–1246.
7. Песчанская Н.Н., Синани А.Б. Влияние магнитного поля на скачки деформации наноуровня в полимерах // *Физика твердого тела*. 2008. Т. 50. № 1. С. 177–181.
8. Fu J.W., Yang Y.S. Microstructure and mechanical properties of Mg-Al-Zn alloy under a low-voltage pulsed magnetic field // *Materials Letters*. 2012. Vol. 67. № 1. P. 252–255.
9. Li Y.J., Tao W.Z., Yang Y.S. Grain refinement of Al-Cu alloy in low voltage pulsed magnetic field // *Journal of Materials Processing Technology*. 2012. Vol. 212. № 4. P. 903–909.
10. Du D., Fautrelle Y., Ren Z., Moreau R., Li X. Effect of a high magnetic field on the growth of ternary Al-Cu-Ag alloys during directional solidification // *Acta Materialia*. 2016. Vol. 121. P. 240–256.
11. Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Ярополова Н.Г., Комиссарова И.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Закономерности изменения дислокационной субструктуры меди при ползучести в магнитном поле // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. 2015. № 3. С. 64–70.
12. Zagulyaev D.V., Kononov S.V., Shlyarov V.V., Anuchina E.A., Komissarova I.A., Gromov V.E. Change of deformation characteristics and dislocation substructure of nonferrous metals under influence of magnetic field // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 150. № 1. P. 012038.
13. Калетина Ю.В. Фазовые и структурные превращения в легированных сталях и сплавах под действием магнитного поля и термической обработки: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2009. 319 с.
14. Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Пономарева М.В., Громов В.Е. Характер влияния импульсного магнитного поля на микротвердость алюминия // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2010. Т. 7. № 1. С. 32–35.
15. Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Громов В.Е. Влияние слабых магнитных полей на микротвердость поликристаллического алюминия // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика*. 2010. № 9. С. 53–56.
16. Gong Y.-Y., Luo J., Jing J.-X., Xia Z.-Q., Zhai Q.-J. Structure refinement of pure aluminum by pulse magnetic oscillation // *Materials Science and Engineering A*. 2008. Vol. 497. № 1-2. P. 147–152.
17. Розенберг В.М. Ползучесть металлов. М.: Металлургия, 1967. 276 с.
18. Чадек Й. Ползучесть металлических материалов. М.: Мир, 1987. 302 с.
19. Kennedy A.J. Processes of creep and fatigue in metals. Oliver and Boyd, 1962. 312 p.
20. Пинчук А.И., Шаврей С.Д. Корреляция между микротвердостью и подвижностью двойникующихся

- дислокаций в кристаллах висмута при приложении постоянного магнитного поля и импульсов тока // Письма в журнал технической физики. 2002. Т. 28. № 12. С. 80–84.
- Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. Магниторезонансное разупрочнение кристаллов // Природа. 2002. № 8. С. 49–57.
  - Головин Ю.И., Моргунов Р.Б., Лопатин Д.В., Баскаков А.А., Евгеньев Я.Е. Обратимые и необратимые изменения пластических свойств кристаллов NaCl, вызванные действием магнитного поля // Физика твердого тела. 1998. Т. 40. № 11. С. 2065–2068.
- ### REFERENCES
- Wu Y., He C.S., Zhao X., Zuo L., Watanabe T. Effects of magnetic field strength on microstructure and texture evolution in cold-rolled interstitial-free steel by magnetic field annealing. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 2008, vol. 21, no. 2, pp. 103–108.
  - Li Q., Song C., Li H., Zhai Q. Effect of pulsed magnetic field on microstructure of 1Cr18Ni9Ti austenitic stainless steel. *Materials science and engineering A*, 2007, vol. 466, no. 1-2, pp. 101–105.
  - Golovin Yu.I. Magnetoplasticity of solids. *Nauka*, 2004, no. 5, pp. 769–803.
  - Soyka A.K., Shepelevich V.G. Long-term negative magnetoplastic effect in metals, caused by the action of a strong-pulsed magnetic field. *Trudy BGTU. No. 6. Fiziko-matematicheskie nauki i informatika*, 2014, no. 6, pp. 80–82.
  - Urusovskaya A.A., Alshits V.I., Smirnov A.E., Bekkauer N.N. The influence of magnetic effect on the mechanical properties and real structure of nonmagnetic crystals. *Crystallography Reports*, 2003, vol. 48, no. 5, pp. 796–812.
  - Dunin-Barkovskii L.R., Morgunov R.B., Tanimoto Y. The influence of a static magnetic field up to 15T on the manifestation on the portevin-Le chatelier in NaCl: Eu crystals. *Physics of Solid State*, 2005, vol. 47, no. 7, pp. 1282–1288.
  - Peschanskaya N.N., Sinani A.B. Effect of the magnetic field on nanometer-scale deformation jumps in polymers. *Physics of Solid State*, 2008, vol. 50, no. 1, pp. 182–187.
  - Fu J.W., Yang Y.S. Microstructure and mechanical properties of Mg-Al-Zn alloy under a low-voltage pulsed magnetic field. *Materials Letters*, 2012, vol. 67, no. 1, pp. 252–255.
  - Li Y.J., Tao W.Z., Yang Y.S. Grain refinement of Al-Cu alloy in low voltage pulsed magnetic field. *Journal of Materials Processing Technology*, 2012, vol. 212, no. 4, pp. 903–909.
  - Du D., Fautrelle Y., Ren Z., Moreau R., Li X. Effect of a high magnetic field on the growth of ternary Al-Cu-Ag alloys during directional solidification. *Acta Materialia*, 2016, vol. 121, pp. 240–256.
  - Kononov S.V., Zagulyaev D.V., Yaropolova N.G., Komissarova I.A., Gromov V.E., Ivanov Y.F. Regularities of varying the dislocation substructure of copper under creep in the magnetic field. *Russian Journal of Non-ferrous Metals*, 2015, vol. 56, no. 3, pp. 441–448.
  - Zagulyaev D.V., Kononov S.V., Shlyarov V.V., Anuchina E.A., Komissarova I.A., Gromov V.E. Change of deformation characteristics and dislocation substructure of nonferrous metals under influence of magnetic field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 150, no. 1, pp. 012038.
  - Kaletina Yu.V. *Fazovye i strukturnye prevrashcheniya v legirovannykh stalyakh i splavakh pod deystviem magnitnogo polya i termicheskoy obrabotki*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Phase and structural transformations in alloyed steels and alloys under the action of a magnetic field and heat treatment]. Ekaterinburg, 2009. 319 p.
  - Zagulyaev D.V., Kononov S.V., Ponomareva M.V., Gromov V.E. Character of the influence of a pulsed magnetic field on the microhardness of aluminum. *Fundamentalnye problemy sovremennogo materialovedeniya*, 2010, vol. 7, no. 1, pp. 32–35.
  - Zagulyaev D.V., Kononov S.V., Gromov V.E. Weak magnetic fields influence on microhardness of polycrystalline aluminum. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika*, 2010, no. 9, pp. 53–56.
  - Gong Y.-Y., Luo J., Jing J.-X., Xia Z.-Q., Zhai Q.-J. Structure refinement of pure aluminum by pulse magneto-oscillation. *Materials Science and Engineering A*, 2008, vol. 497, no. 1-2, pp. 147–152.
  - Rozenberg V.M. *Polzuchest metallov* [Creep of metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 276 p.
  - Čadek J. *Polzuchest metallicheskih materialov* [Creep in metallic materials]. Moscow, Mir Publ., 1987. 302 p.
  - Kennedy A.J. *Processes of creep and fatigue in metals*. Oliver and Boyd, 1962. 312 p.
  - Pinchook A.I., Shavrei S.D. A correlation between the microhardness and the mobility of twinning dislocations in bismuth crystals exposed to constant magnetic field and pulsed electric field. *Technical Physics Letters*, 2002, vol. 28, no. 6, pp. 525–526.
  - Golovin Yu.I., Morgunov R.B. Magneto-softening of crystals. *Priroda*, 2002, no. 8, pp. 49–57.
  - Golovin Yu.I., Morgunov R.B., Lopatin D.V., Basakov A.A., Evgen'ev Ya.E. Reversible and irreversible magnetic-field-induced changes in the plastic properties of NaCl crystals. *Physics of the Solid State*, 1998, vol. 40, no. 11, pp. 1870–1872.

**THE INFLUENCE OF MAGNETIC FIELDS ON THE STRUCTURE  
AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM**

© 2018

*V.V. Shlyarov*, student

*D.V. Zagulyaev*, PhD (Engineering), Associate Professor,  
assistant professor of professor V.M. Finkel Chair of Natural Sciences  
*V.E. Gromov*, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,  
Head of professor V.M. Finkel Chair of Natural Sciences  
*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk (Russia)*

*Keywords:* A85 aluminum; magnetic field; creep; material structure; induction; metallography.

*Abstract:* With the development of modern technologies, a growing number of plants forming magnetic fields around themselves appear. Since most of the structures and mechanisms operate under the mechanical stresses leading to the destruction, the study of metals behavior under the external energy conditions is necessary to analyze their operational life.

To carry out the study, it was decided to use commercial-purity A85 aluminum as a research material. Since at present aluminum dominates the non-ferrous metals market and is widely used in machine building, electrical industry and tool engineering, industrial and civil construction, etc., the issue of modifying this material is very topical.

In this paper, the authors study the influence of weak magnetic fields up to 0.5 T on the structure and deformation characteristics of aluminum for the possibility of plasticizing the material and further application of this technology in the production, as well as for deeper study of theoretical part of this phenomenon and the construction of theory on the influence of magnetic fields on physical and mechanical properties of paramagnetic metals.

During the study, it is found out that the effect of the magnetic field influence is not unambiguous: the creep rate both increases reaching the maximum value at 0.1 T, and slows down reaching the minimum value at 0.5 T. We can note that during the experiments, it became possible to plasticize the material under investigation by influencing it with the magnetic field. The distributions of the grain structure of samples destroyed under the creep conditions with and without the magnetic field superposition are unimodal and can be described by a lognormal law.



---

# ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---



## СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОЛЯ ЗООНИМОВ С АРХИСЕМОЙ «СВИНЬЯ» В РУССКОМ ДИСКУРСЕ

© 2018

*О.А. Васильева*, преподаватель кафедры русского языка  
Филиал Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Сызрань (Россия)

**Ключевые слова:** полевой подход; семантическое поле; ономастическое поле; ядро; околядерное пространство; периферия; литературные зоонимы; прецедентные имена; вторичная номинация.

**Аннотация:** Актуальность выбранного для исследования вопроса обусловлена постоянным вниманием ученых к полевому подходу к изучению языка. Однако вопросы структурирования единиц одного из центральных ономастических разрядов (зоонимов) с точки зрения полевой концепции в российском языкознании практически не рассматривался. В данной работе зоонимы изучаются как продуктивный ономастический разряд. В качестве опоры для исследования выбрана теория поля. В статье дается краткий обзор исследований по проблеме поля в лингвистике, анализируется терминологический аппарат полевой концепции, обозначаются признаки структуры ономастического поля, моделируется поле зоонимов, номинирующих свинью в русском дискурсе. Основой исследования являются ономастические единицы реального зоомикона в сфере животноводства; зоонимы, именующие персонажей литературных произведений и телевизионных проектов; зоонимы, приобретшие вторичную номинацию в текстах русского дискурса (публицистическом, педагогическом, рекламном, художественном, анекдотическом). Все ономастические единицы, обозначающие свиней и поросят в текстах русского дискурса, структурируются по полевому принципу: выделяются ядерные, центральные и периферийные элементы. Научная новизна работы заключается в построении ономастического поля зоонимов с архисемой «свинья» как упорядоченной совокупности имен собственных с обозначением системно-структурных отношений и связей. Рассматриваются условия, при которых возможен процесс перехода онимов из одной зоны поля в другую. Полученные результаты исследования свидетельствуют о том, что выбранная научная парадигма является оптимальной для исследования ономастической лексики.

### ВВЕДЕНИЕ

Объектом изучения в работе являются зоонимы, обозначающие свинью в русском дискурсе. Определяя значение термина «зооним», мы следуем за Н.В. Подольской, которая относит к зоонимам имена собственные (клички) животных [1, с. 58]. Изучая русскую зоонию, ономатологи отмечают ее сходство с антропонимией [2, с. 300; 3, с. 111; 4, с. 93–95; 5, с. 3–4]. В настоящем исследовании также отмечается связь имен собственных животного и человека. Особенно явственно эта связь обнаруживается в реальном животноводческом зоомиконе. Для обозначения зоонимов литературных произведений ученые используют термины «зоопотоним» [6, с. 98], «литературный зооним» [7, с. 60]. В данном исследовании для обозначения имен собственных персонажей-животных в литературном произведении используется термин «литературный зооним»; для обозначения кличек животных, являющихся персонажами телевизионных передач, анимационных и мультипликационных фильмов, используется термин «телезооним». Изучению литературных зоонимов посвящено исследование В.В. Бардаковой, которая рассматривает зоонимы в детской литературе. Исследователь выявляет состав ономастических единиц и указывает на то, что в текстах детской литературы включены как узальные, так и окказиональные зоонимы [8].

В корпусе экспрессивно-оценочной лексики выделяются единицы, образованные путем метафорического переноса на основе названия животного либо зоонима, служащие для образной характеристики человека. И.В. Архипова, обозревая зоонимы, обладающие вторичной номинацией, отмечает использование следующих терминов: анимализмы, зоонимы-метафоры, зоо-

метафоры, зоолексемы, зооморфизмы, компаративные фразеологизмы с анималистическим компонентом, компаративные фразеологизмы с компонентом-зоонимом [9]. Структурируя поле зоонимов, обозначающих свинью в русском дискурсе, мы выделяем зоонимы, обладающие вторичной номинацией (вторичное символическое значение). Основанием для вторичного значения единиц ономастического поля «свинья» является их прецедентность (отнесенность к прецедентным текстам). Е.П. Иванян анализирует функционирование в русском дискурсе прецедентных зоонимов *Наф-Наф*, *Нуф-Нуф*, *Ниф-Ниф* и относит их к логоэпистемам («языковое выражение закрепленного общественной памятью следа отражения действительности в сознании носителей языка в результате постижения (или создания) ими духовных ценностей отечественной и мировой культур») русского языка. Ученый отмечает сложное взаимодействие триединого наименования поросят, которое дает возможность для носителей русского языка применять эти имена нарицательно: то в обобщающем значении контекстуальных синонимов, то в контекстуальной антонимии, при которой разумность и предусмотрительность одного брата противопоставляется беспечности и лениности двух других [10, с. 36–40]. Исследуя зоонимы, номинирующие свинью в русском дискурсе, мы рассматриваем зоонимы *Наф-Наф*, *Нуф-Нуф*, *Ниф-Ниф* в их прямом и вторичном значении.

Структурирование зоонимов с архисемой «свинья» строится в данной работе в рамках полевой концепции. В.Г. Адмони, описывая структуру поля грамматических единиц, отмечает, что для полевой структуры характерно выделение центра и периферии. [11, с. 49]. Е.В. Гулыга и Е.И. Шендельс в русле концепции грамматико-

лексических полей в немецком языке формулируют признаки, характерные для поля [12, с. 9]. В исследовании поля А.В. Бондарко выделяет два аспекта: конкретно-языковой и универсально-понятийный. Исходя из этого, используются термины «функционально-семантическое поле» и «понятийное поле» [13, с. 48].

Для обозначения языковой системы, организованной по полевому принципу, ведущими признаются термины «семантическое поле» или «лексико-семантическое поле». Большинство ученых рассматривает эти термины как синонимы. Следует отметить, что понятие «семантическое поле» трактуется учеными неоднозначно. По мнению А.А. Уфимцевой, под этим термином «скрываются десятки различных его пониманий» [14, с. 263]. В «Лингвистическом энциклопедическом словаре» семантическое поле представлено как система языковых единиц, объединенных общностью содержания и отражающих понятийное, предметное или функциональное сходство обозначаемых явлений [15, с. 380]. Ю.Н. Караулов обращает внимание на то, что на формирование поля влияет не только семантическая, но и ассоциативная связь лексических единиц [16, с. 201].

В.И. Супрун представляет ономастическое пространство как полевую структуру с ядерными и периферийными конститuentами. Ученый считает, что функционально-семантический подход наиболее ясно определяет специфику ономастического пласта лексики. Ономастическое поле называется «реально выделяемой языковой структурой», которая обладает следующими характеристиками: «наличием ядерно-периферийных отношений, семантической общностью, предполагающей сходную семантическую структуру слова (наличие – отсутствие дифференциальных и потенциальных сем), частотностью, стилистической окрашенностью, словообразовательной активностью» [17, с. 10–11]. Отмечается, что указанные признаки поля действуют совместно, дополняя друг друга, однако некоторые из них могут актуализироваться или нейтрализоваться. В.И. Супрун называет зоонимы одним из центральных ономастических разрядов, однако исследований, связанных с их изучением, не так много. Среди работ последних десятилетий в области зоонимии отметим исследования Е.Н. Варниковой и Т.В. Шмелевой [18; 19]. Исследователи структурируют зоонимы по разрядам, определяют типологию кличек, устанавливают состав и продуктивность ономастических групп зоонимов. Попыток структурировать зоонимы по полевому принципу еще меньше. Б.Д. Хамраев пытается структурировать языковые единицы семантического поля зоонимов на материале «Толкового словаря русского языка» под редакцией С.И. Ожегова, но под зоонимами ученый понимает существительные, обозначающие всех живых существ кроме человека [20]. В настоящем исследовании зооним определяется как имя собственное и рассматривается в структуре ономастического поля. Цель работы – структурирование ономастического поля зоонимов, номинирующих свинью.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемая в работе ономастическая лексика входит, с одной стороны, в качестве микрополя в ономастическое поле зоонимов, с другой стороны, формирует ономастическое поле зоонимов с архисемой «свинья».

Нами изучается ономастическое поле, ограниченное родовой принадлежностью животных. Поле состоит из 199 ономастических единиц, представленных: 1) ономастическими единицами реального зоомикона; 2) литературными зоонимами; 3) зоонимами теледискурса; 4) зоонимами, обладающими вторичной номинацией. Нами исследуется ономастическая лексика, поэтому за основу взята структура ономастического поля, описанная В.И. Супруном. Ученый выделяет центр поля, который включает в себя ядро и околоядерное пространство; и периферию, имеющую зональную структуру [17, с. 11].

Главным признаком, характеризующим центр полевой структуры, В.Г. Адмони считает полноту и максимальную интенсивность признаков [11, с. 51]. Е.В. Гулыга и Е.И. Шендельс выделяют следующие признаки, характерные для ядерных элементов поля: наибольшая специализированность для выражения значения, однозначность, систематичность использования [12, с. 10]. А.В. Бондарко отмечает, что для центра полевой структуры характерны максимальная концентрация базисных функций, а также регулярность функционирования центральных языковых элементов [13, с. 42]. При моделировании ономастического поля уточним признаки центра. В.И. Супрун центр ономастического поля делит на ядро и околоядерное пространство. К ядру ономастического поля относится незначительное по объему число конститuentов поля, рядом с ядром находится околоядерное пространство [17, с. 11]. Для ядра ономастического поля, по мнению ученого, характерна нейтральность употребления имени [17, с. 25], но это условие практически невыполнимо даже для антропонимов. Нейтральные формы для такого разряда имен собственных, как зоонимы, отсутствуют в принципе, поэтому в центре поля расположим ономастические единицы, обладающие минимумом стилистических функций, т. е. выполняющие свою прямую номинативную функцию. Е.Н. Варникова считает, что ядерное положение в своем видовом подмножестве занимают клички, которые «характеризуются повторяемостью» [18, с. 54].

На основе признаков центра полевой структуры, сформулированных учеными-лингвистами, обозначим признаки, характерные для центра ономастического поля с архисемой «свинья»:

- 1) принадлежность ономастических единиц к реальному зоомикону;
- 2) «регулярность функционирования» [13, с. 42] рассматриваемых ономастических единиц, т. е. наличие типичности, «повторяемости» [18, с. 54] зоонимов для особой такой родовой принадлежности животного мира, как свинья;
- 3) реализация «базисной» [13, с. 39], т. е. основной, функции изучаемых имен собственных. Основной функцией зоонимов является именование животного;
- 4) выделение в центре ономастического поля с архисемой «свинья» ядра и околоядерного пространства.

Исходя из этих признаков, в центре ономастического поля мы расположили онимы, выполняющие свою прямую, «базисную» функцию – именование животного (свиньи). Центр анализируемого поля составляют клички реального зоомикона в области свиноводства. Нами было собрано 180 номинаций. Из них 55 ядерных элементов относятся к именованию свиней, разводимых

для продажи мяса; 125 элементов околядерного пространства относятся к именованию так называемых мини-пигов (карликовых, декоративных свиней). Мотивы разведения свиней и мини-пигов кардинально различаются; соответственно, и подходы к их именованию разные, ономастический состав также неоднороден. Ономастические единицы ядра характеризуются небольшим объемом представленных единиц, типичностью образования кличек, частой повторяемостью в сфере животноводства. Продуктивными являются зоонимы, образованные от антропонимов (*Борька, Юрок, Машика, Зинка*); указывающие на отличительные внешние признаки: по цветовому признаку (*Черныш, Буряк, Светик*); по размеру (*Капелька, Малыш*), причем кличка *Малыш* может обозначать как мелкую, так и особо крупную особь; по внешним особенностям (*Безносик*).

К ядру примыкает околядерное пространство, которое также формируется кличками реального зоомикона. Однако сферой бытования этих зоонимов является не сельское хозяйство, где свиней разводят для получения определенной материальной выгоды, а частная жизнь, где свиньи выполняют функцию домашних питомцев. Функционально разведение карликовых декоративных свиней (мини-пигов) отличается от разведения свиней в сфере сельского хозяйства, соответственно, различается и зоомикон. Зоомикон мини-пигов характеризуется: 1) разнообразием номинаций, 2) использованием антропоморфных форм онимов, 3) низкой частотностью. Необходимо отметить, что в среде любителей декоративных свинок каждая особь имеет имя, что является значительным отличием от животноводческих ферм по разведению «мясных» свиней, где именуются в основном племенные особи. В зоомиконе мини-пигов можно выделить три группы источников именованя: 1) антропонимы, 2) внешние признаки, 3) литературные зоонимы.

Антропонимы составляют самую продуктивную группу зоонимов мини-пигов (69 % от общего количества кличек околядерного пространства). Зоонимы этой группы можно разделить на однокомпонентные и двухкомпонентные. Однокомпонентные зоонимы представлены полными именами (*Арнольд, Дормидонт, Василиса, Валенсия*) и гипокористическими формами (*Пашиа, Луша, Проша, Стеша*), причем в некоторых случаях поросенок именуется по антропоморфному типу: полная и гипокористическая форма (*Варвара – Варя, Ефросинья – Фрося, Борис – Боря*), а иногда имеется одна из выбранных форм (*Феврония, Злата, Дуся, Матильда*); двухкомпонентные имена представлены формами «имя – отчество» (*Петр Алексеевич*), «имя – фамилия» (*Федор Сумкин*), «имя» (*Луиза Антуанетта*). Отметим, что за основу именованя берется как отечественный, так и зарубежный ономастикон.

Зоонимы, образованные в соответствии с внешними признаками животного и его поведения, достаточно частотны; они составляют 15 % от общего количества зоонимов околядерного пространства и функционируют в русле «зоонимической универсалии», которую Т.В. Шмелева обозначает как «именование животных по внешним признакам» [19, с. 57]. Мотивация для выбора имени объясняется владельцами на форумах, в личной переписке. Приведем несколько примеров

зоонимов, в скобках укажем мотивацию именованя: *Пухля* (по объяснению хозяйки, поросенок был «пухлым»); *Кабачок, Пирожок, Вареник* (по форме тела); *Микрофибра, Махряк* (по тактильным ощущениям) и другие варианты.

Зоонимы околядерного пространства, образованные от имен известных литературных героев или героев художественных, мультипликационных фильмов российского и зарубежного производства, составляют 10 % от общего количества собранного нами языкового материала. Приведем примеры зоонимов данной группы, в скобках обозначим количество повторений: *Наф-Наф* (2), *Пухля* (3), *Хрюша* (2), *Пумба, Бейб, Плюша, Ньюша* (4), *Фунтик, Чуня, Чип, Турбо*. Имеются примеры деривационных изменений литературных зоонимов: *Хрюня, Хрюндель, Хрюка* (от телезоонима Хрюша), *Фунтя* (от телезоонима Фунтик), *Нуфик* (от литературного зоонима Нуф-Нуф).

Периферия полевой структуры, по мнению В.Г. Адмони, характеризуется ослаблением признаков единиц поля, которые интенсивно проявляются в центре [11, с. 51]. Выделяем ближнюю и дальнюю периферию ономастического поля. Ближнюю периферию ономастического поля зоонимов, обозначающих свинью, составляют имена собственные вымышленных свинок, т. е. зоонимы литературных героев: *Наф-Наф, Нуф-Нуф, Ниф-Ниф* (С. Михалков «Три поросенка»), *Хавронья Ивановна* (А. Чехов «Каштанка»), *Хавронья* (И. Крылов «Свинья»), *поросенок Петр* (Л. Петрушевская, трилогия о приключениях поросенка Петра), *Свинка Золотая Щетинка* (фольклор) – и героев теледискурса: *Хрюша* (герой телепередачи «Спокойной ночи, малыши!»), *Нюша* (персонаж мультфильма «Смешарики»), *Пятачок* (персонаж мультфильма «Винни-Пух»), *поросенок Фунтик* (персонаж мультфильма «Приключения поросенка Фунтика»), *поросенок Чуня* (персонаж мультфильма «Приключения поросенка Чуни»), *Весельчак У* (персонаж мультфильма «Тайна третьей планеты») по мотивам книг К. Булычева), *Хрюн Моржов* (анимированный персонаж телепрограммы «Тушите свет!»). Обозначенные зоонимы рассматриваются только как номинации, обозначающие персонажей указанных литературных текстов. Их функции не выходят за рамки основной функции онимов – номинативной, отсутствуют такие признаки, как типичность, повторяемость, характерные для центральных элементов, так как зоонимы обозначают персонажей авторских текстов. Вторичная номинация не свойственна онимам, номинирующим персонажей литературных произведений и произведений теледискурса, так как зоонимы ближней периферии не являются в текстах знаками или символами.

Роль литературных зоонимов в текстах различна. Зоонимы могут быть текстообразующими, т. е. они являются важными элементами для развития сюжета, обладают высокой частотностью употребления в тексте (*Наф-Наф, Нуф-Нуф, Ниф-Ниф, поросенок Петр*). В текстах используется прием олицетворения: животные, обозначаемые указанными ономастическими единицами, наделяются человеческими качествами и свойствами. Роль некоторых персонажей-животных в тексте незначительна, кличка является лишь опознавательным знаком. Такова ономастическая единица *Хавронья Ивановна* в рассказе А. Чехова «Каштанка».

Зооним встречается в тексте дважды, им обозначается *черная, очень некрасивая свинья* (А. Чехов «Каштанка»), роль персонажа в рассказе факультативна. Зооним *Свинка Золотая Щетинка* является фоновым. Данная ономастическая единица обозначает атрибут царской проверки в народной сказке.

В ономастической группе «телезоонимы» представлено семь ономастических единиц, именующих героев мультипликационных фильмов (*Чуня, Фунтик, Нюша, Пятачок, Веселчак У*), героев телепередач (*Хрюша, Хрюн Моржов*). Пять телезоонимов из семи (71 %) представлены однокомпонентными гипокористическими формами: *Чуня, Фунтик, Нюша, Пятачок, Хрюша*; два зоонима (29 %) – двухкомпонентной формой.

Узнаваемость литературного имени для представителей одного лингвокультурологического сообщества ложится в основу прецедентности имени. Вслед за В.В. Красных прецедентным называем имя, связанное с широко известным текстом, как правило, прецедентным [21, с. 82]. Прецедентные зоонимы характеризуются вторичной номинацией, т. е. способностью переноса свойств и качеств литературного героя на другое лицо. Таким образом, дальнюю периферию поля составляют зоонимы ближней периферии, которые становятся знаками, символами определенных качеств, перенесенных авторами на новые объекты. Зоонимы приобретают вторичную номинацию. Дальняя периферия характеризуется зональностью строения, определяемой сферой бытования зоонимов вторичной номинации. При переходе онимов из зоны ближней периферии поля в зону дальней периферии наблюдается процесс трансономизации. Нами собрано 480 контекстов, в которых литературные и телевизионные зоонимы приобретают символическое значение либо путем трансономизации переходят в разряд прагматонимов. Дальнюю периферию ономастического поля формируют зоонимы *Наф-Наф, Нуф-Нуф, Ниф-Ниф, Пятачок, Хрюша, Хавронья*.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в структуре ономастического поля зоонимов, номинирующих свинью, выделяем центр и периферию (ближнюю и дальнюю). Центр ономастического поля зоонимов с архисемой «свинья» составляют онимы реального зоомикона, которые выполняют номинативную функцию. Наиболее частотными среди ономастических единиц центра являются зоонимы, образованные от антропонимов; характерны зоонимы, которые именуют животных по внешнему признаку и типу поведения. Ядерные ономастические единицы (клички свиней, разводимых для получения материальной выгоды) незначительны по объему, характеризуются типичностью в сфере свиноводства. Зоонимы околоядерного пространства (клички мини-пигов) характеризуются большим разнообразием кличек, ограниченной повторяемостью, отсутствием типичности.

В периферийной зоне ономастического поля выделяются ближняя и дальняя зоны. Ономастические единицы ближней периферии поля делятся на две ономастические группы: «литературные зоонимы» и «телезоонимы». Литературные зоонимы именуют персонажей произведений литературы, могут быть как текстообразующим, так и факультативным или фоновым элементом. Текстообразующие элементы обладают высо-

ким фреквентативным показателем (частотностью употребления в тексте), фоновые элементы служат определенным ориентиром в тексте. Ономастическая группа телезоонимов формируется именами собственными персонажей анимационных фильмов и телепередач. Они представлены преимущественно гипокористическими формами. Зоонимы ближней периферии называют вымышленных героев, связанных с определенным текстом, обладающих определенным набором качеств и характеристик. Таким образом, основным признаком ономастических единиц ближней периферии является индивидуальность и узнаваемость. Зоонимы ближней периферии функционируют только внутри авторских текстов.

Дальнюю периферию ономастического поля зоонимов, обозначающих свинью, формируют ономастические единицы ближней периферии. Однако структура поля не нарушается, так как, переходя в зону дальней периферии, литературные зоонимы становятся символами, обозначающими определенные свойства и качества литературных персонажей, прецедентных ситуаций, связанных с ними. Имена-символы выступают в текстах других авторов, приобретают функцию экспрессивно-эмоциональной оценки либо путем трансономизации переходят в другие разряды. Таким образом, онимы ближней периферии (литературные и телевизионные зоонимы) и онимы дальней периферии (имена-символы русского дискурса) нельзя назвать одинаковыми, несмотря на их общую звуковую оболочку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подольская Н.В. Словарь русской ономастической терминологии. М.: Наука, 1978. 198 с.
2. Смирнов А.А. Из зоонимии Горьковской области // Ономастика Повольжья. Вып. 2. Горький: ГорГУ, 1971. С. 299–302.
3. Поротников П.Т. Из уральской зоонимии // Восточнославянская ономастика. М.: Наука, 1972. С. 210–250.
4. Рядченко Н.Г. Зоонимия как класс ономастической лексики // Актуальные вопросы русской ономастики. Киев: Учебно-метод. кабинет по высш. образованию, 1988. С. 88–96.
5. Романова Т.П. Система русских официальных иппонимов и формирование ее типологических черт : автореф. дис. ... канд. филол. наук. Воронеж, 1988. 22 с.
6. Калинин В.М. Поэтонимология: из заметок о мета-языке науки // Вопросы ономастики. 2008. № 2. С. 96–100.
7. Фомин А.А. Литературная ономастика в России: итоги и перспективы // Вопросы ономастики. 2004. № 1. С. 108–120.
8. Бардакова В.В. Специфика литературной ономастики детской художественной прозы : автореф. дис. ... канд. филол. наук. Волгоград, 2000. 21 с.
9. Архипова И.В. Зоонимы в немецком и русском языках // Актуальные проблемы филологии и методики преподавания иностранных языков. Новосибирск: Новосибирский государственный педагогический университет, 2006. С. 4–11.
10. Иванян Е.П. Проблема изучения литературных онимов в логоэпистемическом аспекте // Актуальные

- проблемы русской и сопоставительной филологии: теория и практика: сборник трудов международной научно-практической конференции. Уфа: РИЦ БашГУ, 2016. С. 36–40.
11. Адмони В.Г. Основы теории грамматики. М.: Наука, 1964. 107 с.
  12. Гулыга Е.В., Шендельс Е.И. Грамматико-лексические поля в современном немецком языке. М.: Просвещение, 1969. 184 с.
  13. Бондарко А.В. Принципы функциональной грамматики и вопросы аспектологии. 2-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 208 с.
  14. Уфимцева А.А. Слово в лексико-семантической системе языка. М.: Наука, 1968. 272 с.
  15. Лингвистический энциклопедический словарь / гл. ред. В.Н. Ярцева. 2-е изд., доп. М.: Большая рос. энцикл., 2002. 709 с.
  16. Караулов Ю.Н. Языковая личность // Русский язык. Энциклопедия. Изд. 2-е. М.: Дрофа, 1997. С. 671–672.
  17. Супрун В.И. Ономастическое поле русского языка и его художественно-эстетический потенциал : дис. ... д-р филол. наук. Волгоград, 2000. 76 с.
  18. Варникова Е.Н. Зоонимы: место в ономастическом пространстве // Вопросы ономастики. 2011. № 1. С. 51–61.
  19. Шмелева Т.В. Ономастика. Славянск-на-Кубани: Издательский центр филиала ФГБОУ ВПО «КубГУ» в г. Славянск-на-Кубани, 2013. 161 с.
  20. Хамраев Б.Д., Матризаева Ш. Семантическое поле зоонимов в русском языке (на материале словаря русского языка под редакцией С.И. Ожегова) // Молодой ученый. 2017. № 19. С. 427–429.
  21. Язык, сознание, коммуникация: сборник статей / ред. В.В. Красных, А.И. Изотов. Вып. 1. М.: Филология, 1997. 192 с.
- REFERENCES**
1. Podolskaya N.V. *Slovar russkoy onomasticheskoy terminologii* [The dictionary of Russian onomastic terminology]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 198 p.
  2. Smirnov A.A. From zoonymy of Gorky region. *Onomastika Povolzhya*. Gorkiy, GorGU Publ., 1971. Вып. 2, pp. 299–302.
  3. Porotnikov P.T. From the Ural zoonymy. *Vostochnoslavyanskaya onomastika*. Moscow, Nauka Publ., 1972, pp. 210–250.
  4. Ryadchenko N.G. Zoonymy as a class of onomastic vocabulary. *Aktualnye voprosy russkoy onomastiki*. Kiev, Uchebno-metod. kabinet po vyssh. obrazovaniyu Publ., 1988, pp. 88–96.
  5. Romanova T.P. *Sistema russkikh ofitsialnykh ipponimov i formirovanie ee tipologicheskikh chert*. Avtoref. diss. kand. filol. nauk [The system of Russian official hipponyms and the formation of its typological features]. Voronezh, 1988. 22 p.
  6. Kalinkin V.M. Poetonymology: from the notes about the metalanguage of science. *Voprosy onomastiki*, 2008, no. 2, pp. 96–100.
  7. Fomin A.A. Literary onomastics in Russia: results and prospects. *Voprosy onomastiki*, 2004, no. 1, pp. 108–120.
  8. Bardakova V.V. *Spetsifika literaturnoy onomastiki detskoy khudozhestvennoy prozy*. Avtoref. diss. kand. filol. nauk [The specificity of literary onomastics of children's fiction prose]. Volgograd, 2000. 21 p.
  9. Arkhipova I.V. Zoonyms in German and Russian languages. *Aktualnye problemy filologii i metodiki prepodavaniya inostrannykh yazykov*. Novosibirsk, Novosibirskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet Publ., 2006, pp. 4–11.
  10. Ivanyan E.P. The problem of the study of literary onyms in logo-epistemic aspect. *Aktualnye problemy russkoy i sopostavitel'noy filologii: teoriya i praktika: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ufa, RITs BashGU Publ., 2016, pp. 36–40.
  11. Admoni V.G. *Osnovy teorii grammatiki* [Foundations of the theory of grammar]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 107 p.
  12. Gulyga E.V., Shendels E.I. *Grammatiko-leksicheskie polya v sovremennom nemetskom yazyke* [Grammar and lexical fields in modern German language]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1969. 184 p.
  13. Bondarko A.V. *Printsipy funktsionalnoy grammatiki i voprosy aspektologii* [Principles and functional grammar and questions of aspectology]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Editorial URSS Publ., 2001. 208 p.
  14. Ufimtseva A.A. *Slovo v leksiko-semanticheskoy sisteme yazyka* [The word in the lexical-semantic system of language]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 272 p.
  15. Yartseva V.N., ed. *Lingvisticheskiy entsiklopedicheskiy slovar* [Linguistic Encyclopedic Dictionary]. 2<sup>nd</sup> ed., dop. Moscow, Bolshaya ros. entsikl. Publ., 2002. 709 p.
  16. Karaulov Yu.N. Linguistic personality. *Russkiy yazyk. Entsiklopediya*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Drofa Publ., 1997, pp. 671–672.
  17. Suprun V.I. *Onomasticheskoe pole russkogo yazyka i ego khudozhestvenno-esteticheskiy potentsial*. Diss. dokt. filol. nauk [Onomastic field of the Russian language and its artistic and aesthetic potential]. Volgograd, 2000. 76 p.
  18. Varnikova E.N. Zoonyms: the place in onomastic space. *Voprosy onomastiki*, 2011, no. 1, pp. 51–61.
  19. Shmeleva T.V. *Onomastika* [Onomastics]. Slavyansk-na-Kubani, Izdatelskiy tsentr filiala FGBOU VPO "KubGU" v g. Slavyansk-na-Kubani Publ., 2013. 161 p.
  20. Khamraev B.D., Matrizayeva Sh. The semantic field of zoonyms in Russian language (on the material of S.I. Ozhegov's dictionary of Russian language). *Molodoy uchenyy*, 2017, no. 19, pp. 427–429.
  21. Krasnykh V.V., Izotov A.I., eds. *Yazyk, soznanie, kommunikatsiya* [Language, mind, communication]. Moscow, Filologiya Publ., 1997. Вып. 1, 192 p.

**STRUCTURING THE FIELD OF ZOONYMS WITH THE “PIG” ARCHISEME  
IN RUSSIAN DISCOURSE**

© 2018

**O.A. Vasilieva**, lecturer of Chair of the Russian language  
*Branch of the Military Scientific Training Center of Airforce*  
*“Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Military Air Force Academy”, Syzran (Russia)*

*Keywords:* field approach; semantic field; onomastic field; core; perinuclear space; periphery; literary zoonyms; precedent names; secondary nomination.

*Abstract:* The scientists' attention is constantly drawn to the field approach to the language study. However, the issues of structuring units of one of the central onomastic categories (zoonyms) within the field concept in the Russian linguistics are not thoroughly considered. In this paper, zoonyms are studied as a productive onomastic category. As a basis for the research, field theory was chosen. The paper gives a brief overview of research on the field issue in linguistics, analyzes the terminology of the field concept, specifies the features of the onomastic field structure, and shapes the field of zoonyms which nominates a pig in Russian discourse. The basis of the study is onomastic units of a real zoomicon in the field of animal husbandry; zoonyms, which name characters of literary works and television projects; zoonyms, which acquired a secondary nomination in the texts of Russian, discourse (journalistic, pedagogical, advertising, artistic, and anecdotal). All onomastic units denoting pigs and piglets in the texts of Russian discourse are structured according to the field principle: nuclear, central and peripheral elements are distinguished. The scientific significance of the work is the construction of the onomastic zoonyms field with a “pig” archiseme as an ordered set of proper names with a designation of system-structural relations and connections. Conditions are considered under which a process of transition of zoonyms from one zone of a field to another is possible. The obtained research results indicate that the chosen scientific paradigm is optimal for the study of onomastic vocabulary.



## ПОВСЕДНЕВНОСТЬ СЕЛЬСКИХ ЖИТЕЛЕЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА СТРАНЫ В ПЕРИОД «ПОЗДНЕГО» СОЦИАЛИЗМА

© 2018

*А.А. Гринько*, кандидат исторических наук, доцент кафедры гуманитарных дисциплин  
Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск (Россия)

**Ключевые слова:** Дальний Восток; «поздний» социализм; сельское население Дальнего Востока; повседневная жизнь сельчан-дальневосточников.

**Аннотация:** В статье рассматриваются особенности повседневной жизни сельских жителей Дальнего Востока СССР в 1970-х – первой половине 1980-х гг. в период так называемого «позднего» социализма. Сельская повседневность анализируется через призму общегосударственных тенденций и их проявления на региональном уровне. Отмечено, что противоречивые результаты государственной политики по отношению к советскому селу и восточной части страны находили специфическое проявление в жизни местных жителей. С одной стороны, уровень жизни сельчан возрастал: повышались доходы, развивалась социальная инфраструктура, появились возможности для разнообразного отдыха. С другой стороны, реальная жизнь не соответствовала тому уровню, который официально провозглашался властью, не была близка к городскому уровню жизни, что в определенной степени демонстрировало ущербность деревни и ее жителей. Свою роль играл традиционный уклад сельской жизни, а также все большие различия во взглядах на повседневность со стороны людей разных возрастов. Автор обращает особое внимание на причины, способствовавшие трансформации повседневности в рассматриваемый период. В частности, отмечается увеличение трудовой активности сельских женщин, постепенное превращение детей из помощников в иждивенцев, переход пожилого поколения на самообеспечение и обособленное проживание. Делаются закономерные выводы о том, что негативные процессы в динамике повседневной жизни сельчан-дальневосточников сочетались с позитивными, а также о формировании к середине 1980-х гг. в целом скептического отношения к сельской повседневности и стремления любыми возможными способами переместиться в городскую среду и закрепиться в ней.

### ВВЕДЕНИЕ

Повседневность не так давно стала предметом социологического и исторического осмысления в нашей стране. В советский период ее отдельные элементы рассматривались отечественной наукой, но только в контексте позитивных изменений и как дополнение «основной» истории общества.

В настоящее время очевидно, что повседневная жизнь как индивида, так и социума должна находиться в фокусе изучения со стороны различных социально-гуманитарных наук, поскольку многие знаковые процессы и события в жизни нации, их причины и последствия проявляются в повседневности.

Период 1970-х – первой половины 1980-х гг. вошел в историю как время «застоя», «развитого» или «позднего» социализма. Вне зависимости от выбора названия эти годы оставили значительный след в памяти народа. Различные тенденции, зачастую противоречивые, формировали и видоизменяли повседневную жизнь советских людей. Повседневность была специфична и уникальна, она отражала естественные, зачастую консервативные, устои общества и одновременно менялась под воздействием государственной политики и объективных процессов общественного развития.

Своеобразной была ситуация, складывавшаяся в сельской местности Дальнего Востока. Сельское население региона было сравнительно молодым по среднему возрасту. Удельный вес лиц трудоспособного возраста достигал 60 % всего населения, что было больше республиканских показателей [1; 2]. Кроме того, население сел формировалось во многом за счет переселенцев из других местностей СССР [3, с. 161]. Эти особенности способствовали быстрому распространению новых явлений в жизни сельчан в силу

меньшей консервативности молодежи и отражали тенденции, характерные для страны.

Цель работы – анализ особенностей повседневной жизни сельских жителей Дальнего Востока СССР в 1970-х – первой половине 1980-х гг.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повседневность сельчан была тесно связана с их воспитанием и образом мыслей. Официальная идеология с раннего детства пропитывала практически всю жизнь советских людей. Строительство социализма, интернационализм, вера в непогрешимость партии и другие догматы прививались через школу, армию, участие в пионерской и комсомольской организациях. Многие прививаемые ценности были виртуальными, существовавшими только в официальных документах, другие – воспринимались исключительно для получения выгоды, третьи – искренне усваивались и играли позитивную роль.

Работа в государственных и кооперативных организациях отнимала значительную часть времени деревенских жителей. В начале 1970-х гг. около 40 % работающего сельского населения региона было занято в аграрной отрасли [4, с. 324–325]. Работники сельского хозяйства напряженно трудились большую часть года, а их трудовая нагрузка была выше, чем по стране. Работники других сфер экономики были заняты трудом, более равномерно распределенным в течение всего года, с фиксированной продолжительностью рабочего дня, отпуском, обязательными выходными днями. К началу 1970-х гг. за мужчиной сохраняется роль работника, приносящего доход в семью. Однако он становится не единственным «добытчиком». Произошла определенная «феминизация» состава сельских работников в результате

массового вовлечения трудоспособных женщин в экономику. Так, на юге Дальнего Востока процент женщин в составе работников совхозов вырос в рассматриваемый период с 38 до 45 % [5].

Оставшееся вне работы свободное время для дальневосточных сельских жителей на самом деле таковым практически не являлось. В дополнение к профессиональному труду женщина была обязана выполнять многочисленные домашние дела. По подсчетам специалистов, рациональная величина затрат на домашний труд должна была составлять не более 12,5 часов в неделю, а фактически они были в три раза выше [6, с. 212]. Развитие системы дошкольных детских учреждений, пришкольных кружков, домов детского творчества позволило взять на себя часть забот по воспитанию подрастающего поколения. Однако их ограниченное количество в сравнении с городом, большее число детей и другие факторы приводили к немалым затратам времени. На воспитание детей, контроль их учебы уходило, в среднем, 5–7 часов в неделю, хотя в каждой семье затраты времени были индивидуальны.

В 1970-х – первой половине 1980-х гг. на Дальнем Востоке личное подворье сохранялось у 90 % сельских семей, что требовало постоянного приложения сил [7]. Для пожилых людей ведение личного подсобного хозяйства (далее – ЛПХ) было традиционным и привычным делом. Однако в силу возраста, а также благодаря развитию материальной поддержки со стороны государства в виде пенсий и пособий, часть стариков сокращала размеры ЛПХ или полностью от него отказывалась. Происходило и изменение характера труда в личном хозяйстве. Центр тяжести сместился на более легкие работы, не требующие больших затрат сил и времени. Такой подход вызывался как ростом основного заработка, так и приходом на смену пожилым сельским жителям нового, молодого поколения. Молодежь, обладая высоким уровнем запросов, стремилась иметь больше свободного времени для отдыха. Для нее труд в подсобном хозяйстве являлся неприятной и вынужденной необходимостью. Для восполнения потребностей в пище сельчане занимались консервированием урожая. Важное место занимал и сбор природных богатств: ягод, грибов; лов рыбы и охота на диких животных. Официальная статистика по затратам времени на вышеназванные занятия отсутствует, но косвенно можно предположить, что летом и осенью на них уходило не менее 3–4 часов в неделю в расчете на среднюю семью.

В отличие от горожан жители сельской местности Дальнего Востока многие жилищные проблемы решали самостоятельно либо при поддержке колхоза или государственной организации, что, в любом случае, требовало серьезных затрат времени для содержания и ремонта жилья. Как в построенных, так и в строящихся домах качество было невысоким, имелось много недостатков [8, с. 136]. Температура в домах с централизованным отоплением нередко была очень низкой [9]. Центральное водоснабжение деревень также было развито слабо. Только 20 % райцентров региона имели такой вид благоустройства [10]. Отсутствие холодного водоснабжения заставляло тратить время на привоз воды из ближайшего колодца или на закачку из помпы. Сельчане предъявляли претензии и к домам усадебного типа:

«двери сделаны с большими зазорами, приходится подшивать планки. Доски полов обструганы скверно, рассыхаясь, образуют щели; стены заплесневели, крыша протекает» [11]. Проживание в домах «на земле» означало необходимость ежедневной и неоднократной «протопки» печи для обогрева и приготовления пищи, подогрева воды.

В 1970-е – первой половине 1980-х гг. благоустройство сельского жилья росло. Но, по сравнению с республиканским уровнем, села Дальнего Востока были обеспечены различными удобствами значительно хуже, особенно Амурская область. Ситуация осложнялась тем, что даже достигнутый уровень фактически оказывался ниже из-за перебоев в снабжении и длительности ремонта коммунальных систем [12, с. 129]. 2/3 дальневосточного сельского жилья по-прежнему оставалось неблагоустроенным. Только по обеспеченности электроэнергией жители села были близки к стандартам города.

В начале 1970-х гг. в повседневную жизнь сельчан дальневосточников начинает внедряться различная бытовая техника, в том числе устройства, облегчающие домашний труд и сокращающие затраты времени. Постепенно уходила в прошлое ручная стирка с помощью стиральной доски, и все больше людей приобретало стиральные машины, правда, с минимумом функций. Пылесос в доме также становился неотъемлемой частью быта. В целом, именно в рассматриваемую эпоху заметно вырос интерес людей к сфере потребления. Сельчане-дальневосточники обзавелись большей частью из имевшегося в торговле ассортимента бытовой техники, которая продолжала служить своим хозяевам и после распада СССР [13, с. 185].

Несмотря на рост потребления, многие товары не появлялись в свободной продаже. Тем более это касалось товаров длительного пользования. Такое положение было связано с издержками плановой экономики, которые не удавалось преодолеть. Естественно, что более всего от товарного дефицита страдали жители отдаленных сел. Затраты времени на поездки в другие населенные пункты были значительными. В частности, на одну поездку в областной центр Амурской области у сельчан южных и центральных районов уходило от 5 до 10 часов, не считая времени ожидания транспорта и перемещение в самом городе. Нехватка товаров, низкое качество имеющейся в торговой сети продукции вызывали недовольство среди сельчан. Жители отдаленных деревень отмечали, что «в магазине сельдь вонючая, конфеты старые, компоты давние. А в самом районе – там всякая рыба и все продукты, а у нас абсолютно ничего нет. И какое будет настроение здесь жить, если в магазин когда-либо подкинут рыбу или колбасу, то люди даже на работу не идут, стоят в очереди и ругаются, если кому не хватит, готовы убить друг друга, и коровы недоены остаются», «продукты в магазине не продают, считают, что в селе все должно быть свое», «чтобы купить какую-нибудь мелочь, надо простоять в магазине как минимум час-полтора» [14]. Согласно исследованиям, проведенным региональными органами статистики, до 80 % тружеников села предпочитали делать покупки в городах [15].

Получение услуг, например, фотографирование на документы или ремонт бытовой техники, посещение

учреждений здравоохранения, также требовали затрат времени. С конца 1960-х гг. в дальневосточных селах повсеместно открываются предприятия службы быта; мелкие деревни стали обслуживаться передвижным способом. В частности, к середине 1980-х гг. не менее 51 % сел Амурской области имели дом быта или комбинат бытового обслуживания. В других регионах ситуация была хуже. Так, в Приморском и Хабаровском краях до 70 % сел не имели бытовых учреждений и крайне редко обслуживались выездными бригадами [16, с. 26]. К 1985 г. общее количество бытовых учреждений в дальневосточных селах было меньше, чем в городской местности на 30 %, что выглядело сравнительно благополучно в рамках всей страны, где разница достигала 50 %. Однако сельская служба быта уступала городской по количеству и качеству предоставляемых услуг. Если сельский житель в 1985 г. в среднем получал 10 видов услуг, то городской – 25 [17, с. 116]. Во многих районах Дальнего Востока сельчане, чтобы воспользоваться услугами, были вынуждены выезжать в райцентры и города, расположенные на расстоянии до 40 км. Такие поездки не только отнимали их личное время, но и наносили ущерб производству, поскольку нередко происходили в рабочее время. Зачастую и сами райцентры представляли собой села с недостаточным уровнем инфраструктуры и низкой обеспеченностью разнообразными видами услуг. Центром оказания большинства услуг оставался город.

Люди были вынуждены приспосабливаться к различным деформациям социализма. Существование дефицита, относительно скромная зарплата, неразвитость социальной инфраструктуры приводили к естественному стремлению советских людей выходить из трудного положения различными способами, делали их практичными, экономными и дальновидными. Сельчане, как и жители городов, самостоятельно изготавливали те или иные необходимые вещи. Так, женщины зачастую шили одежду самостоятельно. Не от хорошей жизни многие жители Дальнего Востока самостоятельно выращивали пушных зверей (например, нутрию), выделывали шкуры, шили шапки, носили их, продавали на рынках и знакомым. Некоторые сельчане занимались сбором лекарственных трав, например ромашки или подорожника, для сдачи в аптеки.

И все-таки свободное время находилось. Для деревни, где круг общения был довольно ограничен, встреча у уличного колодца, «колонки» или родника являлась возможностью обменяться новостями и слухами. Вечерами мужская часть села играла в домино или лото. «Забить козла» – известное выражение того времени. Суть этого вида времяпрепровождения заключалась не в том, чтобы выиграть, а в том, чтобы обсудить новости, решить какие-либо вопросы или просто поговорить «за жизнь». Женщины вели подобные разговоры на злободневные темы на лавочках возле домов. Пожилое поколение, имея свободное время в большом достатке, также проводило его около дома. Этому способствовало развитие системы социального обеспечения. В частности, средний размер пенсий у колхозников Амурской области вырос с 16 руб. в 1970 г. до 50 руб. в 1985 г. [18]. У иных работников он был несколько выше. На фоне ситуации по стране пенсии сельчан-дальневосточников были больше, однако получение пенсии для

большинства из них не означало освобождение от труда в колхозе или совхозе. Минимальная поддержка государства не давала возможности сколько-нибудь безбедно прожить в деревне. Многие люди продолжали работать, не взирая на преклонный возраст и отсутствие здоровья. Подавляющее большинство занималось и своим подворьем: выращивало для себя и на продажу овощи, фрукты, ягоды, держало скотину, ходило в лес за грибами и ягодами. Этим пополнялся скромный семейный бюджет.

Рост отрицательных явлений в экономике страны проявлялся в увеличении потребления алкоголя жителями сел, который стал неотъемлемым элементом межличностного общения. Исследования, проводившиеся Институтом экономических исследований ДВО РАН в 1984 г., выявили, что на Дальнем Востоке уровень алкоголизации населения превышал в 2 раза аналогичные показатели в РСФСР [19]. Согласно архивным данным, в 1970-х – первой половине 1980-х гг. расходы на приобретение алкогольных напитков достигали 8 % совокупного расхода дальневосточной сельской семьи, а у пенсионеров – до 12 %. В 1970 г. семья тратила на покупку водки, вина, пива в среднем около 100 руб., а в 1985 г. – 220 руб. [20; 21]. Кроме того, сельчане употребляли кустарные спиртосодержащие жидкости, объективная статистика по которым отсутствует.

Уходила в прошлое и традиционная потребность сельской семьи в детях как потенциальных работниках и источниках доходов. В 1970-х – первой половине 1980-х гг. дети постепенно превращались в иждивенцев, главной задачей которых являлось получение образования в учебных заведениях разного уровня.

Молодежь большую часть свободного времени, оставшегося после учебы или работы, проводила вне дома. Природа и деревенская улица были основными местами, где молодежь находилась в свободное время. Летом дети уходили на реку или озеро, где купались и ловили рыбу, зимой катались на санках, лыжах, придумывали различные игры. В плане игр деревенская молодежь практически не отличалась от городских сверстников. Сравнительно высокий уровень патриотизма, прививаемый различными путями, проявлялся в том, что одной из любимых игр была война («войнушка»). Делились, как правило, на две команды: наших и немцев-фашистов. Дети посещали и внешкольные учреждения, имевшиеся в крупных селах или районных центрах, – дома пионеров, станции юных техников, станции натуралистов. Здесь, занимаясь в кружках, участвуя в смотрах и конкурсах, можно было самореализоваться. Нехватка магазинных игрушек приводила к изобретательству, как, например, тележки или самокаты, собранные из досок и старых колес. Персональное транспортное средство, велосипед, было мечтой детей из дальневосточной деревни. Впрочем, аналогичная ситуация была характерна для всей сельской местности страны. Несмотря на десяток основных моделей («Урал», «Салют», «Кама», «Школьник» и др.), производившихся в этот период, они были в дефиците на селе. Помимо велосипедов в позднесоветский период получили распространение и мопеды. Мопед был прост, потреблял мало бензина, хотя с техническим обслуживанием и ремонтом возникали проблемы, в первую очередь, из-за нехватки запчастей. В магазинах тогда было несколько марок мопедов: «Верховина», «Карпаты»,

«Рига» и другие. Обеспеченность мотоциклами, мопедами и мотороллерами в селах юга Дальнего Востока постепенно увеличивалась – с 25 шт. в начале 1970-х гг. до 45 шт. в середине 1980-х гг. на 100 семей [22]. Вместе с тем покупка некоторых видов товаров, таких как легковые автомобили, была практически невозможна для рядовых тружеников.

Центром притяжения сельских жителей оставался клуб. В деревне он был фактически единственным учреждением культуры. Однако клубная сеть развивалась медленно, имевшиеся учреждения зачастую требовали ремонта, их оборудование было скромным. Это еще и еще раз напоминало селянам об их «приниженности» по сравнению с городом. Огромной популярностью среди молодежи, вышедшей из детского возраста, пользовались танцплощадки, организуемые рядом с клубом, и танцевальные вечера внутри него. Одна из важнейших функций клуба заключалась в показе кинофильмов, так как телевидение только входило в быт сельчан. Посещение кинотеатра было нечастым явлением, особенно для детей. Поэтому любой просмотренный фильм активно обсуждался в течение нескольких недель. Наиболее активной в посещении кино была сельская интеллигенция и механизаторы. Однако немало было людей, кто совсем не ходил в кино. Это объяснялось не столько конкуренцией телевидения, сколько удаленностью сельских клубов, где демонстрировались фильмы, занятостью домашним хозяйством.

На селе продолжало оставаться популярным и радио, имевшееся в каждом доме. Для городского жителя радио было одним из источников получения информации, спутником отдыха; для деревни оно, зачастую, являлось единственной возможностью узнать новости, послушать песни, радиоспектакли.

Неотъемлемой чертой образа жизни дальневосточных сельских жителей оставалось чтение. Самым активным читателем являлась сельская интеллигенция, прежде всего учителя. Далее следовали механизаторы и квалифицированные животноводы. Чтение охватывало до 80 % взрослого населения села. Сельчане читали книги различных жанров. Большим спросом пользовались книги на военные темы, приключенческая литература, исторические произведения. Молодежь, а также квалифицированные работники, интересовались научной и учебной литературой. Большинство сельских семей имели личные библиотеки. Люди гордились своими приобретениями, выставляли книги на полках, в сервантах на видное место. Книги были одним из показателей уровня благосостояния семьи. Однако популярные книги – энциклопедии, приключения, фантастика, сказки – были дефицитом.

Многие семьи выписывали несколько наименований газет и журналов. Каждое периодическое издание ориентировало человека на преимущество социалистического общества и советского образа жизни. Это было важнейшей задачей любого журнала или газеты. Но кроме этого решались и иные задачи, способствующие формированию гармонично развитой личности – воспитание элементарного вкуса, позитивного отношения к окружающим людям и к жизни, уважение к старшим, сочувствие и сострадание. Традиционными газетами были всесоюзные «Правда», «Комсомольская правда», «Советская Россия» и местные издания, например, об-

ластная «Амурская правда» и районные «Зейские огни» (Свободненский район), «Амурский маяк» (Тамбовский район), или «Вперед» (Магдагачинский район). Многие женщины выписывали «Работницу» или «Крестьянку», а потом вырезали из этих журналов советы по домоводству, рукоделию и вязанию, рецепты. Были журналы, которые сельчане брали в библиотеке: «Огонёк», «Техника – молодёжи», «Вокруг света», «Сельская молодежь». Особое место в советской периодике занимала «Роман-газета», на страницах которой печатались классики советской литературы: Ю.В. Бондарев, М.А. Шолохов, В.В. Быков и другие. Немало изданий трудилось и над воспитанием молодого поколения. Среди газет популярностью пользовалась «Пионерская правда». Самыми любимыми журналами детей были «Мурзилка», «Весёлые картинки». Подросткам выписывали «Ровесник», «Пионер».

Потеснив чтение газет и книг, важное место в досуге людей занял просмотр телевизионных передач. Самыми популярными были программа «Время», где освещались новости страны, а также развлекательные программы – «КВН», «Что? Где? Когда?», «Песня года». «Семнадцать мгновений весны», «Двенадцать стульев», «Калина красная» и многие другие произведения советского кинематографа нашли заслуженное признание у сельского зрителя. Трансляции международных спортивных соревнований, где наши спортсмены достигали выдающихся результатов, смотрела, без преувеличения, вся страна. Особое значение имело телевидение в период праздников. В повседневности интересных программ демонстрировали значительно меньше, из-за чего «праздничная» телепрограмма особо ценилась населением. Длительное время телевидение было черно-белым и ограничивалось одним каналом Центрального телевидения. Но даже его смотреть могли далеко не все сельчане, а только те, кто проживал в крупных поселениях и обладал телевизором. В 1970 г. в Амурской области, например, начитывалось примерно 30 тыс. телевизоров с черно-белым изображением и механическим переключателем программ, однако абсолютное большинство из них находилось в пользовании городских жителей. На Дальний Восток только в начале 1980-х гг. пришло цветное телевидение и второй канал. В деревнях начинают появляться телевизоры с цветным изображением, правда, в ограниченном количестве: 5–8 шт. на 100 семей [23]. «Цветные» телевизоры с полным правом можно было считать предметом роскоши и зависти. Для того, чтобы их приобрести недостаточно было иметь солидную сумму денег. Необходимы были связи с нужными людьми, информация о месте возможного появления этого дефицитного товара.

Вслед за появлением телевизоров пришло время магнитофонов, которые постепенно становились главными атрибутами всех компаний, торжеств и деревенских дискотек.

У советских обывателей, в том числе и среди сельчан, были не совсем ординарные, с современной точки зрения, развлечения в свободное время. Так, часть людей являлась фотолюбителями, которые не только фотографировали окружающую действительность, но и самостоятельно проявляли пленки, а затем печатали фотографии. Для всего этого, как минимум, нужен был фотоаппарат – еще одна дефицитная вещь для села периода «позднего» социализма.

## ВЫВОДЫ

В эпоху «позднего» социализма повседневная жизнь в дальневосточном селе не отличалась большим разнообразием. Специфика деревенской жизни, когда большая часть времени уходила на работу, сравнительная скудность сельского бытия, дефицитность и многие другие факторы определяли поведение и особенности жизни людей.

В отличие от городских жителей сельчане были лишены возможности гулять по удобным тротуарам улиц, ходить в кинотеатры и музеи, посещать кафе и рестораны. Большинство сельчан было вынуждено тратить большое количество времени и сил на то, что для городских жителей не являлось трудностью, например, водоснабжение, приобретение одежды, получение фотослужб или посещение медицинских учреждений.

При этом нельзя не отметить то, что развитие государства и общества, появление новых технических средств привели к серьезным сдвигам. Благодаря развитию транспорта выросла возможность посещать другие населенные пункты, при сокращении затрат времени; в домах сельчан распространилась бытовая техника, облегчающая домашний труд и позволившая разнообразить свободное время; сельские жители начали перенимать городские способы отдыха и развлечений, например, любительское фотографирование. В первую очередь, прогрессивные тенденции наблюдались среди молодежи и квалифицированных работников, а также у партийных и советских руководителей, которые имели большие возможности по приобщению к современным веяниям.

К середине 1980-х гг. сельская повседневность во многом оставалась консервативнее городской и «модернизировалась» значительно медленнее. Повседневная жизнь заметно расходилась с идеологическими установками, представлявшими советский народ как единую социально-политическую общность, а политику государства как последовательное воплощение марксистских идей о социальной справедливости. Заметной становилась разница в качестве жизни разных групп сельского населения, в возможностях доступа к социальным благам. Все это обуславливало рост негативных тенденций в среде сельского населения Дальнего Востока и способствовало оттоку в города или другие регионы страны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГАХК. Ф. 719. Оп. 22. Д. 414. Л. 72, 79.
2. ГАПК. Ф. 131. Оп. 10. Д. 343. Л. 6.
3. Рыбаковский Л.Л. Население Дальнего Востока за 150 лет. М.: Наука, 1990. 260 с.
4. Крестьянство Дальнего Востока СССР в XIX–XX вв.: очерки истории / под ред. А.И. Крушанова. Владивосток: Дальнаука, 1991. 422 с.
5. ГАРФ. Ф. 374. Оп. 39. Д. 1290. Л. 12, 17.
6. Геллер М.Я. Машина и винтики. История формирования советского человека. М.: МИК, 1994. 336 с.
7. РГАЭ. Ф. 1562. Оп. 47. Д. 1940. Л. 25.
8. Власов С.А. Жилищное строительство на Дальнем Востоке (1946–1991 гг.). Владивосток: Дальнаука, 2008. 240 с.
9. РГАСПИ. Ф. 591. Оп. 1. Д. 243. Л. 17.
10. ГАРФ. Ф. 374. Оп. 39. Д. 932. Л. 48, 77.

11. РГАСПИ. Ф. 17. Оп. 153. Д. 1090. Л. 4.
12. Показатели социального развития РСФСР, Дальневосточного региона, Приморского, Хабаровского краев и Амурской области за 1965–1987 гг. Хабаровск: Крайстатуправление, 1988. 211 с.
13. Ващук А.С. Социальная политика в СССР и ее реализация на Дальнем Востоке (сер. 40–80-е гг. XX в.). Владивосток: Дальнаука, 1998. 316 с.
14. РГАСПИ. Ф. 591. Оп. 1. Д. 90. Л. 69.
15. ГААО. Ф. 480. Оп. 12. Д. 186. Л. 24, 55.
16. Социально-экономическое развитие дальневосточной деревни (советский период). Владивосток: Дальнаука, 1981. 146 с.
17. Социально-экономический анализ уровня жизни населения Дальнего Востока / отв. ред. С.В. Югай. Владивосток: Дальнаука, 1989. 216 с.
18. ГААО. Ф. 480. Оп. 8. Д. 2066. Л. 15, 25.
19. Архив Института экономических исследований ДВО РАН. Ф. 1. Оп. 1. Д. 1716. Л. 114.
20. ГААО. Ф. 480. Оп. 15. Д. 441. Л. 31, 41.
21. ГАХК. Ф. 99. Оп. 7. Д. 980. Л. 5.
22. ГАРФ. Ф. 374. Оп. 39. Д. 6189. Л. 139.
23. ГААО. Ф. 480. Оп. 12. Д. 99. Л. 10, 14.

## REFERENCES

1. GAKhK. F. 719. S. 22. File 414. Item 72, 79.
2. GAKhK. F. 131. S. 10. File 343. Item 6.
3. Rybakovsky L.L. *Naselenie Dalnego Vostoka za 150 let* [The population of the Far East for 150 years]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 260 p.
4. Krushanov A.I., ed. *Krestyanstvo Dalnego Vostoka SSSR v XIX–XX vekakh: ocherki istorii* [The peasantry of the Far East of the USSR in the XIX–XX centuries: essays of history]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1991. 422 p.
5. GAKhK. F. 374. S. 39. File 1290. Item 12, 17.
6. Geller M.Ya. *Mashina i vintiki. Istoriya formirovaniya sovetskogo cheloveka* [Machine and screws. The history of the Soviet man formation]. Moscow, MIK Publ., 1994. 336 p.
7. RGAE. F. 1562. S. 47. File 1940. Item 25.
8. Vlasov S.A. *Zhilishchnoe stroitelstvo na Dalnem Vostoke (1946–1991 gg.)* [Housing construction in the Far East (1946–1991)]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2008. 240 p.
9. RGASPI. F. 591. S. 1. File 243. Item 17.
10. GARF. F. 374. S. 39. File 932. Item 48, 77.
11. RGASPI. F. 17. S. 153. File 1090. Item 4.
12. *Pokazateli sotsialnogo razvitiya RSFSR, Dalnevostochnogo regiona, Primorskogo, Khabarovskogo kraev i Amurskoy oblasti za 1965–1987 gg.* [Indicators of social development of the RSFSR, the Far East, Primorsky, Khabarovsk Territories and the Amur Region for 1965–1987]. Khabarovsk, Kraystatupravlenie Publ., 1988. 211 p.
13. Vashchuk A.S. *Sotsialnaya politika v SSSR i ee realizatsiya na Dalnem Vostoke (ser. 40–80-e gg. XX v.)* [Social policy in the USSR and its implementation in the Far East (mid 40-80s of the XX century)]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1998. 316 p.
14. RGASPI. F. 591. S. 1. File 90. Item 69.
15. GAAO. F. 480. S. 12. File 186. Item 24, 55.
16. *Sotsialno-ekonomicheskoe razvitie dalnevostochnoy derevni (sovetskiy period)* [The socio-economic

- development of the Far Eastern countryside (the Soviet period)]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1981. 146 p.
17. Yugay S.V., ed. *Sotsialno-ekonomicheskiy analiz urovnya zhizni naseleniya Dalnego Vostoka* [Socio-economic analysis of the living standards of the population of the Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1989. 216 p.
18. *GAAO*. F. 480. S. 8. File 2066. Item 15, 25.
19. *Arkhiv Instituta ekonomicheskikh issledovaniy DVO RAN*. F. 1. S. 1. File 1716. Item 114.
20. *GAAO*. F. 480. S. 15. File 441. Item 31, 41.
21. *GAKhK*. F. 99. S. 7. File 980. Item 5.
22. *GARF*. F. 374. S. 39. File 6189. Item 139.
23. *GAAO*. F. 480. S. 12. File 99. Item 10, 14.

**DAILY LIFE OF RURAL RESIDENTS OF THE RUSSIAN FAR EAST  
IN THE PERIOD OF “LATE” SOCIALISM**

© 2018

*A.A. Grinko*, PhD (History), assistant professor of Chair of the Humanities  
*Far East State Agrarian University, Blagoveshchensk (Russia)*

*Keywords:* Far East; “late” socialism; rural population of the Far East; everyday life of rural residents of the Far East.

*Abstract:* The paper presents the daily life of rural residents of the Soviet Far East in the 1970s and the first half of the 1980s – in the period of so-called “late” socialism. Rural daily life is analyzed through the prism of nation-wide trends and their manifestations at the regional level. It is noted that the contradictory results of the state policy towards the Soviet village and the eastern part of the country found a specific manifestation in the life of local residents. On the one hand, the living standards of the villagers were improving: their income was increasing, social infrastructure was developing, and opportunities for varied leisure time activities were created. On the other hand, the real life did not correspond to the level officially declared by the authorities and was not close to the urban standard of living, and that, to a certain extent, demonstrated the inferiority of the village and its inhabitants. Two things were essential – the traditional way of rural life and the increasing difference in views on everyday life on the part of people of different ages. The author pays special attention to the reasons which contributed to the transformation of the daily life of that period. In particular, there is an increase in the labor activity of rural women, the gradual transformation of children from helpers into dependents, and the older generation becoming self-sustaining and living isolated. The conclusions are drawn that negative processes in the dynamics of daily life of rural Far Eastern people were combined with positive ones; in general, a skeptical attitude to rural daily life was formed in the society by the mid-1980s as well as the desire to move in any possible way to the urban environment.

**СТИЛИСТИЧЕСКАЯ АДЕКВАТНОСТЬ ПЕРЕВОДОВ МЕТАФОРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ  
НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ А.И. СОЛЖЕНИЦЫНА «АРХИПЕЛАГ ГУЛАГ»  
И ЕГО ПЕРЕВОДОВ НА АНГЛИЙСКИЙ (Т. УИТНИ, 1974) И НЕМЕЦКИЙ (А. ПЕТУРНИГ, 1974) ЯЗЫКИ**  
© 2018

*И.А. Курбанов*, кандидат филологических наук, профессор,  
заведующий кафедрой лингвистики и переводоведения  
*В.Э. Сало*, преподаватель кафедры лингвистики и переводоведения  
*Сургутский государственный университет, Сургут (Россия)*

*Ключевые слова:* метафора; интенциональный скрытый смысл; лингвистический контекст; экстралингвистический контекст; полиэквивалентность единицы перевода; стилистическая и прагматическая адекватность перевода.

*Аннотация:* Статья посвящена рассмотрению специфики адекватного перевода метафоры, использованной в произведении А.И. Солженицына «Архипелаг ГУЛАГ». Объектами анализа в данном случае являются само произведение А.И. Солженицына «Архипелаг ГУЛАГ», а также его переводы на английский (Т. Уитни, 1974) и немецкий (А. Петурниг, 1974) языки. Предметом исследования являются метафоры, используемые автором в целях формирования образа советской действительности описываемого времени, в сопоставлении с их переводами на английский и немецкий языки. Анализируется целесообразность использования тех или иных приемов перевода метафор с точки зрения экспрессивности.

Статья подчеркивает важность корректной интерпретации скрытого смысла метафоры в целях достижения максимально адекватного перевода. Поднимаются вопросы о специфике адекватного перевода скрытого смысла, характерного для метафоры, обусловленной наличием в языке перевода других (более экспрессивных, в большей степени нацеленных на открытый диалог с читателем) моделей метафорического переосмысления. Анализ степени адекватности переводов отобранных метафор позволяет выявить общие и отличительные характеристики в картинах мира адресантов и адресатов, которые являются представителями американской и немецкой лингвокультур. При этом именно отличительные характеристики создают непреодолимые барьеры для переводчика при переводе метафорических единиц. Анализ практического материала показал, что калькирование метафор в большинстве случаев приводит к потерям эмоционально-экспрессивной составляющей, являющейся ключевой в семантическом составе именно метафорических единиц, так как именно коннотации завершают полный образ описываемого объекта либо явления в сознании реципиента.

## **ВВЕДЕНИЕ**

В реальной работе переводчик сталкивается с определенным представлением, а точнее, с субъективным или скрытым смыслом данного произведения, который К.А. Филиппов называет «личной вовлеченностью» [1, с. 33].

Анализ различных субъективных смыслов того или иного высказывания, не всегда удачный, неполный, а иногда и сомнительный, можно обнаружить в литературоведческих работах, в первую очередь в работах тех исследователей, которые опираются на семиотические, конструктивистские и деконструктивистские методы [2–4]. Переводчик стремится расшифровать субъективные смыслы исходного текста, опираясь на общие, зачастую объективные смыслы лексики. Ее интерпретация часто субъективна, подчинена собственному когнитивному опыту переводчика, обусловлена его умением понять нечто конкретное, субъективное, сопоставляя его с общим и объективным [5]. Именно поэтому один и тот же текст интерпретируется разными переводчиками по-разному, поэтому в практике перевода художественной литературы множественные переводы одного и того же сложного по своей поэтике произведения – самое обычное дело. Аналогичным образом один и тот же перевод нередко вызывает диаметрально противоположные оценки критиками, обусловленные или же чрезвычайно буквальной и потому стилистически некорректной передачей содержания текста оригинала, или же, напротив, слишком вольными и сомнительными интерпретациями той или иной единицы перевода.

Переводчик, стремясь расшифровывать скрытые смыслы исходного текста художественной литературы, по мнению Н.К. Гарбовского, совершает широкий круг семасиологических операций, следуя от единицы перевода (слова, словосочетания, предложения) к ее семантическим и прагматическим значениям, определяя ее предметную специфику (денотативное значение / концептуальный смысл), выясняя общую, объективную информацию о референте (обозначаемом явлении, предмете или свойстве), пытаясь выявить скрытый интенциональный / субъективный смысл данной единицы перевода, ту информацию о референте, которая является максимально значимой для автора конкретного текста [6].

«Вряд ли стоит отрицать, что многие потери при переводе носят объективный характер, что переводчик скован системными межъязыковыми расхождениями, асимметрией культурных реалий, стилистическими нормами... Эти и другие столь же объективные факторы, влияющие на степень переводимости... влияют на переводческий выбор» [6, с. 283]. Зачастую они обусловлены субъективными факторами, а именно способностью конкретного переводчика верно и максимально точно и детально интерпретировать то, что зашифровано автором, выбирающим в тексте оригинала метафору той или иной концептуальной специфики.

Говоря о значении тех или иных единиц перевода, нужно учитывать, как, где и зачем они используются. Именно лингвистический контекст – как максимально узкий (т. е. одно определенное словосочетание или

предложение, в котором они используются), так и максимально широкий (т. е. ближайшие соседние предложения, целый абзац, глава, принадлежность текста к конкретному жанру и типу дискурса и т. д.) – играет решающую роль при передаче их значения, т. е. при выборе в качестве семантического эквивалента лексики другого языка [7; 8].

Благодаря контексту в метафоре, как отдельной единице перевода, выявляют характерное для нее конкретное или абстрактное, прямое или переносное, семантическое и прагматическое значение [9]. Феномен контекстуальных зависимостей использующихся метафор предопределяет как пространственно-временные, так и причинно-следственные характеристики выбора переводчиком того или иного эквивалента.

Лингвистический, а также экстралингвистический (исторический, культурный, социологический, политический, экономический, психологический, идеологический и т. п.) контекст являются своего рода фильтром, играющим свою особую роль, проясняя и конкретизируя их интенциональный имплицитный смысл, создавая вокруг них определенный спектр ассоциаций [10]. В справедливости данного суждения несложно убедиться при переводе такой полиэквивалентной единицы перевода, как экспрессивно-оценочная метафора [11], буквальная интерпретация которой делает текст перевода стилистически неадекватным.

Цель работы – анализ степени эквивалентности и адекватности переводов метафорических единиц, так как соблюдение этих критериев помогает максимально достичь коммуникативной цели автора произведения.

#### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В связи с тем, что объектом исследования являются метафорические единицы оригинала произведения А.И. Солженицына «Архипелаг ГУЛАГ», а также принципы и приемы их передачи на английский и немецкий языки, в работе были использованы следующие филологические, стилистико-сопоставительные и переводоведческие методы:

- метод сплошной выборки;
- классификация;
- метод сопоставительного лингвистического анализа оригинала и его переводов;
- метод контрольного сопоставления перевода произведения «Архипелаг ГУЛАГ» на английский язык с переводом этого произведения на немецкий язык;
- лингвокультурологическая характеристика исследуемых явлений с учетом национальных особенностей соответствующих языков и культур.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выполненный бесплатно Т. Уитни вариант перевода на английский язык первых двух частей романа «Архипелаг ГУЛАГ», опубликованный в 1974 году, во многом привел к сомнениям и колебаниям самого А.И. Солженицына, осознавшего, что душевные страдания и протест героев против советского режима оказались выраженными поверхностно, шаблонно, стереотипно, а потому вряд ли смогут задеть психологические, философские, этические и эстетические струны в самосознании англоязычного читателя [12].

Вышедший в том же в 1974 году вариант перевода первой части романа «Архипелаг ГУЛАГ» на немецкий язык (А. Петурниг) оказался также недостаточно глубоким и ориентированным в большей степени на сохранение синтаксической структуры каждого отдельного предложения, чем на сохранение в нем языковой игры, мотивированной использованием метафоры и многих других стилистических приемов, обеспечивающих речевой портрет произвола тоталитарной власти, беззащитности каждого отдельного гражданина, поиска и истребления так называемых «врагов народа», возвращения в Россию с приходом к власти большевиков новой, еще более чудовищной разновидности крепостного права.

Обратив внимание на переводы романа «Архипелаг ГУЛАГ» Т. Уитни и А. Петурниг, мы сможем обнаружить примеры достаточно стилистически и прагматически адекватной интерпретации метафоры.

«Со **стеснением** в сердце я годами **воздерживался** от печатания этой уже готовой книги: **долг** перед еще живыми перевешивал **долг** перед умершими» [13, с. 15]. (здесь и далее выделено нами. – И.К., В.С.)

*“For years I have with **reluctant heart withheld** from publication this already completed book: my **obligation** to those still living outweighed my **obligation** to the dead”* [14, p. 10].

*“**Bedrückten Herzens** habe ich das fertige Buch jahrelang **zurückgehalten**: Die **Pflicht** gegenüber den noch Lebenden überwog die **Pflicht** gegenüber den Verstorbenen”* [15, s. 21].

Калькирование антропоморфной метафоры «сердце» («центральный орган кровеносной системы в виде мускульного мешка, располагающийся в левой стороне груди человека / совокупность душевных свойств человека; способность чувствовать и понимать» [16, с. 712]) / *“heart”* («сердце (орган тела) / душа» [17, p. 334]) / *“Herz”* («сердце (орган тела) / душа» [18, s. 112]) в данном случае не является недостатком, поскольку и в русском, и в английском, и в немецком языке имеются сходные модели семантической деривации.

Сходным образом и калькирование социоморфной метафоры «долг» («денежная сумма, взятая в займы на определенный срок и на определенных условиях / нравственные обязанности человека, выполняемые из побуждений совести, как категория этики» [16, с. 173]) / *“obligation”* («обязанность; долг / чувство благодарности, признательности» [17, p. 494]) / *“Pflicht”* («долг; обязанность / нравственное побуждение» [18, s. 498]) не делает тексты перевода стилистически неадекватными.

Использование приема замены части речи и контекстуальной замены при переводе антропоморфной метафоры «стеснение» («проявление стеснительности, ощущение неловкости, смущения» [16, с. 767]) / *“reluctant”* («неохотный; вынужденный, вырванный силой» [17, p. 610]) / *“bedrücken”* («притеснять, угнетать / огорчать, печалить, приводить в уныние; тяготить» [18, s. 75]) во многом обеспечивает достаточно точную, экспрессивную и эмоциональную передачу в английском и немецком переводах состояния души жертвы сталинских концлагерей.

«Традиционный арест – это еще потом, после увода **взятого** бедняги, многочасовое **хозяйничанье** в квартире жесткой чужой **подавляющей** силы. Это – **взламывание, вскрывание, сброс и срыв** со стен, выброс на пол из шкафов и столов, **вытряхивание, рассыпание,**



разрывание – и нахламление горами на полу, и хруст под сапогами. И ничего святого нет во время обыска!» [13, с. 17].

*“The traditional image of arrest is also what happens afterward, when the poor victim has been taken away. It is an alien, brutal, and crushing force totally dominating the apartment for hours on end, a breaking, ripping open, pulling from the walls, emptying things from wardrobes and desks onto the floor, shaking, dumping out, and ripping apart – piling up mountains of litter on the floor – and the crunch of things being trampled beneath jackboots. And nothing is sacred in a search!”* [14, p. 5].

*“Die traditionelle Verhaftung hat noch eine stundenlange Fortsetzung, später, wenn der arme Sunder längst abgeführt ist und die brutale, fremde, erdrückende Gewalt sich der Wohnung bemächtigt. Das sieht so aus: Schlösser aufbrechen, Polster aufschlitzen, alles von den Wänden runter, alles aus den Schranken raus, ein Herumwühlen, Ausschütten, Aufschneiden, ein Reißen und Zerren – und Berge von Hausrat auf dem Boden, und Splitter unter den Stiefeln. Und nichts ist ihnen heilig während der Haussuchung!”* [15, s. 4].

Сходным образом и в данном случае речевой портрет произвола тоталитарной власти, беззащитности каждого отдельного гражданина, озлобления режима по отношению к так называемым «врагам народа» воссоздается достаточно адекватно:

жесткая чужая подавляющая сила – *alien, brutal, and crushing force totally dominating – brutale, fremde, erdrückende Gewalt*;

нахламление горами – *piling up mountains of litter – Berge von Hausrat*;

ничего святого нет – *nothing is sacred – nichts ist heilig*.

Из представленных в тексте оригинала метафор лишь социоморфная «хозяйничанье» (хозяйничать = «вести хозяйство где-либо, распоряжаться по хозяйству, хлопотать по дому / распоряжаться, делать что-либо по своему, по своему усмотрению / распоряжаться не по праву, чиня произвол» [16, с. 866]) / “dominate” («управлять, контролировать / оказывать преобладающее влияние, всецело поглощать / доминировать, господствовать, занимать господствующее положение» [17, р. 212]) / “bemächtigen (sich)” («завладевать, овладевать; захватывать» [18, s. 82]), воссоздающаяся в переводе при помощи замены части речи, в некоторой степени недостаточно точно передает скрытый смысл, обусловленный пониманием России как дома, а российского народа как патриархальной семьи, в которой имеет место диктатура власти (своего рода отца) над детьми (оторванными от власти слоями населения).

Обратив же внимание на многие другие метафоры, мы можем обнаружить, что характерный для них интенциональный скрытый смысл в текстах перевода оказывается частично утраченным или в значительной степени искаженным.

«Они оставляли русским юношам искать азимут жизни. Так метался Юрий, спешил видеть, спешил знать, а между тем по исконной русской манере всё чаще и всё глубже окунал свое смятение в водку» [13, с. 45].

*“They left it to young Russian people to find for themselves what was highest in life. And Yuri dashed back and forth, in a hurry to see, in a hurry to know, and meanwhile, in accordance with ancient Russian tradition, he kept*

*drowning his confusion more and more often and more and more deeply in vodka”* [14, p. 20].

*“Sie schickten die russischen Jünglinge allein auf die Suche nach dem Azimut des Lebens. So irrte Jurij umher und beeilte sich zu sehen, beeilte sich zu erfahren und tauchte seine Verwirrung nach uralter russischer Manier immer öfter und immer tiefer in Wodka ein”* [15, s. 19].

Калькирование социоморфной метафоры «азимут («угол между плоскостью меридиана точки наблюдения и вертикальной плоскостью, проходящей через данную точку и какое-либо светило, измеренный по горизонту») жизни» в немецком переводе (“Azimut des Lebens”) во многом указывает на его шаблонность, отсутствие у переводчика стремления сделать перевод более стилистически адекватным для читателя.

Описательный перевод данной метафоры, использованный в английском переводе – “what was highest in life”, во многом помогает английскому читателю понять мировоззрение А.И. Солженицына и героев его книги глубже.

При переводе антропоморфной метафоры «всё глубже окунал свое смятение в водку» (англ. “kept drowning his confusion more and more deeply in vodka”, нем. “tauchte seine Verwirrung tiefer in Wodka ein”) в значительной степени утрачивается экспрессивность, обусловленная использованием лексического повтора частицы «всё чаще и всё глубже», «употребляющейся при подчеркивании, усилении значения (обычно в сочетании со сравнительной степенью прилагательных или наречий, а также с глаголами, обозначающими увеличение или уменьшение» [16, с. 104]) данной развернутой метафоры.

В результате открытый диалог автора с читателем в английском и немецком переводах оказывается лишенным стремления автора разбудить в сознании читателя проявление симпатии и солидарности к лишенному дружеской и моральной поддержки узнику Гулага.

«Юрий ждал, что у всех у них, что у Бунина – каждая страница истекает живыми ранами России. Но что с ними? На что растратили они неоценимую свободу? Опять о женском теле, о взрыве страсти, о закатах, о красоте дворянских головок, об анекдотах запыленных лет» [13, с. 51].

*“Yuri had anticipated that in all their writing, in Bunin's, for example, the blood flowing from Russia's living wounds would pour from every page. What was wrong with them? To what did they devote their unutterably precious freedom? To the female body, to ecstasy, sunsets, the beauty of noble brows, to anecdotes going back to dusty years”* [14, p. 41].

*“Jurij hatte erwartet, daß Bunin, daß sie alle auf jeder Seite vor Schmerz um Rußland vergingen. Und was war? Worauf hatten sie die unschätzbare Freiheit verschwendet? Wieder ging es um den weiblichen Körper, um die Flammen der Leidenschaft, um Sonnenuntergänge, hübsche adlige Köpfechen und Anekdoten aus längst verstaubten Jahren”* [15, s. 39].

В данном случае налицо существенная стилистическая неадекватность перевода метафоры, обусловленная стиранием в переводе характерного для нее скрытого смысла по причине дословного перевода (либо калькирования): «живые раны» / “living wounds” / “Schmerz” («боль, страдание; скорбь, горе, печаль» [18, s. 552]), «запыленных лет» / “dusty years” / “verstaubten Jahren” [19].

Для носителей русской лингвокультуры очевидна экспрессивность этих глубинных метафор-аллюзий. Их интенциональный скрытый смысл во многом обусловлен пониманием страданий русского народа [20]. Причем страдания можно рассматривать в качестве постоянного элемента человеческого существования, тогда «поднятие пыли» легко интерпретировать как переход к сильному раздражению, проявлению неудовольствия и гнева, что в английском и немецком переводах в значительной степени оказывается менее ясно выраженным и искаженным.

«Скорей, скорей, хватаемся за одеяла! Как на фронте не знаешь, не обрушится ли шквал снарядов, вот сейчас, через минуту, возле тебя, – так и здесь мы не знаем своей роковой допросной ночи. Мы ложимся, мы выставляем одну руку поверх одеяла, мы стараемся выдуть ветер мыслей из головы. Спать!» [13, с. 133].

“Quick! Quick! Grab a blanket! Just as you never knew at the front when a hail of shells would begin to fall all around you, here you didn't know which would be your fateful interrogation night. And we would lie down with one arm on top of the blanket and try to expel the whirlwind of thought from our heads. Go to sleep!” [14, p. 105].

“Hurtig, hurtig unter die Decken! Wie du an der Front nicht weißt, ob nicht jetzt gleich, dicht neben dir, ein Kugelhagel niedergeht, so wissen auch wir nicht, wann jedem die Schicksalsstunde des Verhörs schlägt. Wir legen uns nieder, wir strecken den einen Arm unter der Decke hervor, wir versuchen, den Wirbel der Gedanken aus unserem Kopf zu blasen. Schlafen!” [15, s. 101].

Калькирование метафорического выражения «Скорей, скорей, хватаемся за одеяла» / “Quick! Quick! Grab a blanket!” / “Hurtig, hurtig unter die Decken!” во многом мешает английскому и немецкому читателю догадаться, что желание «укрыться одеялом» мотивировано не столько подготовкой ко сну, сколько желанием защитить себя от невзгод и неприятностей, кошмаров неволи.

Калькирование метафорического выражения «выдуть ветер мыслей из головы» / “expel the whirlwind of thought from our heads” / “den Wirbel der Gedanken aus unserem Kopf zu blasen” в значительной степени лишает тексты перевода ориентации текста оригинала на спонтанную, непринужденную разговорную речь.

В результате представленная в романе несобственная прямая речь оказывается шаблонной и стереотипной.

«Таким образом традиция пунктирчиком тянулась, но была она слишком расхлябанная, пригодная для азиатской страны дремлющей, но не прыгающей вперед. И потом эта обезличка: кто же был ОСО? То царь, то губернатор, то товарищ министра. И потом, простите, это не размах, если можно перечислить имена и случаи» [13, с. 51].

“Thus the tradition of the “dotted line” – the administratively issued sentence – dragged on. But it was too lax; it was suitable for a drowsy Asiatic country, but not for a country that was rapidly advancing. . . . Moreover, it lacked any definite identity: who was the OSO? Sometimes it was the Tsar, sometimes the governor, sometimes the deputy minister. And if it was still possible to enumerate names and cases, this was not, begging your pardon, real scope” [14, p. 40].

“So zog sich die Tradition als flotter roter Faden dahin, zu schludrig war sie allerdings, geeignet höchstens

für ein asiatisches schlummerndes Land, nicht für eines, das große Sprünge unternehmen wollte. Und dann der unpersönliche Arbeitsstil: Wer war am Ende der OSO? Mal der Zar, mal der Gouverneur, mal der Vizeminister. Und schließlich, verzeihen Sie mir, fehlte der Schwung; Kleinkrämerei das, solange man Namen und Fälle aufzählen konnte” [15, s. 38].

Представленная в данном фрагменте романа метафорически разнообразная и богатая несобственная прямая речь оказывается в английском и немецком переводах неоправданно шаблонной и стандартизированной:

пунктирчиком тянулась / “dotted line” – the administratively issued sentence – dragged on / zog sich als flotter roter Faden dahin;

азиатской страны дремлющей / drowsy Asiatic country / asiatisches schlummerndes Land;

прыгающей вперед / rapidly advancing / nicht für eines, das große Sprünge unternehmen wollte;

не размах / it lacked any definite identity / fehlte der Schwung.

Такие социально-экономические клише, как “rapidly advancing” («быстро развивающийся», “lacked any definite identity” («не иметь определенной индивидуальности»), на наш взгляд, в значительной степени искажают представленное в романе самосознание жертвы «красного» террора, представляя его как набор публицистических клише.

Использование в английском переводе экспликации «пунктирчик / “dotted line” – the administratively issued sentence”, расшифровывая семантику данной общественно-политической реалии, превращает данную несобственную прямую речь в своего рода энциклопедию.

«(Ах, неосторожный прапорщик! – через 20 лет припомнят тебе на Лубянке этот процесс!) Легко догадаться, что мог говорить Дзержинский: что Косырев – железный чекист, беспощадный к врагам; что он – хороший товарищ. Горячее сердце, холодная голова, чистые руки» [13, с. 56].

“Alas, you careless shavetail, you! In twenty years' time, in the Lubyanka, they are going to remind you of that trial!) It is easy to guess what Dzerzhinsky could have said: that Kosyrev was an iron Chekist, merciless to their enemies; that he was a good comrade. A hot heart, a cool head, clean hands” [14, p. 38].

“(Ach, wie unvorsichtig, dieser Fähnrich! Zwanzig Jahre später werden sie ihm diesen Prozeß auf der Lubyanka heimzahlen!) Es ist leicht zu erraten, was Dzerschinski gesagt haben konnte: daß Kossyrew ein eiserner Tschekist war und unbarmherzig gegen die Feinde, zudem ein guter Genosse. Heißes Herz, kühler Kopf, saubere Hände” [15, s. 35].

Вновь, как мы видим, принадлежность метафоры к разговорной речи в текстах перевода не находит своего отражения. Метафоры воспроизводятся буквально / калькируются:

припомнить – remind – heimzahlen;

железный чекист – iron Chekist – eiserner Tschekist;

горячее сердце – hot heart – Heißes Herz;

холодная голова – cool head – kühler Kopf;

чистые руки – clean hands – saubere Hände.

Естественно, шаблонность перевода метафоры делает текст перевода семантически, стилистически и прагматически недостоверным.

Внимание переводчика к семантике метафоры «железный» (сильный, твердый по характеру) могло бы сделать перевод более стилистически корректным. Так, на наш взгляд, метафору «железный» лучше было бы воспроизвести в английском переводе при помощи *“iron-hard”, “unyielding”, “firm”; “steadfast”, “unfaltering”, “backboned”*.

Как мы видим, в языке перевода зачастую можно обнаружить сходные по своей производной семантике метафоры, более экспрессивные, чем перевод калька: *“backboned”* (позвоночный / твёрдый, решительный).

Понимание английским читателя в данном случае не как существа, выплавленного из железа, а как существа с развитым, мощным позвоночником (*“backbone”* – «спинной хребет, позвоночник / твёрдость характера» [17, р. 46]), на наш взгляд, отнюдь не исказило бы текст перевода, а, напротив, сделало бы его более стилистически адекватным.

«Узнать ВСЕ, что делается ВСЮДУ?!. Не хочет быть слепым?!. Так справедливо же квалифицирует их действие обвинитель как предательство! предательство по отношению к Советской Власти!» [13, с. 85].

*“To find out everything about what's going on everywhere? He doesn't want to be blind? Well, all one can say is that the accuser correctly described their actions as treason, treason to Soviet power!”* [14, р. 71].

*“Alles erfahren, was anderswo geschieht?!. Nicht blind sein wollen?!. Zu Recht werden ihre Taten vom Ankläger als Verrat qualifiziert: als Verrat gegenüber der Sowjetmacht!”* [15, с. 69].

Вновь, как мы видим, и Т. Уитни, и А. Петурниг не стремятся добиться максимальной экспрессивности при переводе метафоры, воспроизводя ее как семантически непродуманное слово «слепой» («тот, кто лишен зрения» [16, с. 729]) / *“blind”* / *“blind”*.

Несмотря на то, что выбранные Т. Уитни и А. Петурниг эквиваленты имеют сходное метафорически производное значение «невежественный, непросвещенный, недалекий», «не замечающий происходящего вокруг», «не способный правильно судить о чем-либо, действующий “вслепую”, не думая» [16, с. 729], на наш взгляд, отход от шаблона при переводе данной антропоморфной метафоры, выбор, например, такого варианта, как *“dull-witted”, “not bright”, “dim”, “dim-witted”, “spoon(e)y”, “small-minded”, “one-eyed”* в английском переводе помог бы добиться большей полифоничности текста перевода, сделать диалог с читателем максимально открытым, искренним, а не фальшивым.

Как нам представляется, наиболее стилистически адекватным было бы использование метафоры *“one-eyed”* (одноглазый / ограниченный, недалекий), поскольку она также мотивирована метафорической моделью «зрение – кругозор».

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Как показывает переводческая практика, в большинстве случаев калькирование метафор в значительной степени лишает тексты перевода необходимой им экспрессивности и эмоциональности. Однако, если в языке перевода и языке оригинала имеются сходные модели семантической деривации, калькирование вполне точно передает скрытый смысл метафорической единицы. В противном случае в целях достижения аде-

кватности переводчик вынужден использовать переводческие трансформации. Поскольку в рассмотренных переводах произведение метафора в большинстве случаев калькируется, критическая оценка во многом указывает на то, что переводы метафор на английский и немецкий языки, выполненные Т. Уитни (1974) и А. Петурниг (1974), не всегда можно считать стилистически адекватными. Несмотря на то, что переводы произведения «Архипелаг ГУЛАГ» в целом получили негативную оценку со стороны самого А.И. Солженицына, результаты анализа в рамках данной статьи позволяют выявить примеры стилистически адекватного перевода метафорических единиц.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов К.А. Лингвистика текста. СПб.: СПбГУ, 2003. 329 с.
2. Вежицкая А. Семантические универсалии и описание языков. М.: Языки славянской культуры, 1999. 288 с.
3. Гранин Д.А. Скрытый смысл. СПб.: Алетейя Историческая книга, 2009. 263 с.
4. Бузаджи Д.М. Связная речь. О сочетаемости в переводе // Мосты. Журнал переводчиков. 2009. № 3. С. 46–55.
5. Молчанова Г.Г. Английский язык как неродной. М.: ОЛМА Медиа Групп, 2007. 384 с.
6. Гарбовский Н.К. Теория перевода. М.: МГУ, 2002. 544 с.
7. Комиссаров В.Н. Теория перевода. М.: Альянс, 2013. 250 с.
8. Вежицкая А. Сопоставление культур через посредство лексики и прагматики. М.: Языки славянской культуры, 2001. 272 с.
9. Арнольд И.В. Семантика. Стилистика. Интертекстуальность. М.: URSS Ленанд, 2015. 443 с.
10. Ланчиков В.К. Топография поиска. Стандартизация в языке художественных переводов и её преодоление // Мосты. Журнал переводчиков. 2011. № 2. С. 30–38.
11. Борисенко А.Л. Ещё раз о буквализме // Мосты. Журнал переводчиков. 2008. № 1. С. 7–14.
12. Bond A. A study of the English and the German translations of Alexander I. Solzhenitsyn's "The Gulag Archipelago". Vol. 1. Berne: PETER LANG, 1983. 322 p.
13. Солженицын А.И. Архипелаг ГУЛАГ. 1918–1956: Опыт художественного исследования. В 3 т. Т. 1. Ч. 1–2. М.: ПРОЗАИК, 2011. 592 с.
14. Solzhenitsyn A.I. The Gulag Archipelago 1918–1956: An experiment in literary investigation. [Vol. 1], [Parts] 1, 2 / translated by Thomas P. Whitney. N.Y.: Haiper & Row Publishers, 1974. 660 p.
15. Solschenizyn A.I. Der Archipel GULAG / Übersetzung von Anna Peturnig. Bern, München: Scherz Verlag, 1974. 621 s.
16. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка. М.: Мир и образование, 2015. 1375 с.
17. Мюллер В.К. Большой англо-русский словарь. М.: Хит-книга, 2016. 958 с.
18. Зедлингер А., Иордан Я. Большой немецко-русский словарь. Киев: Арий, 2013. 600 с.
19. Collins English Dictionary. London: HarperCollins Publishers, 2014. 1985 p.

20. Балашова Л.В. Русская метафора: прошлое, настоящее, будущее. М.: Языки славянской культуры, 2014. 496 с.
- REFERENCES**
1. Filippov K.A. *Lingvistika teksta* [Text linguistics]. Sankt Petersburg, SPbGU Publ., 2003. 329 p.
  2. Vezhbitskaya A. *Semanticheskie universalii i opisaniye yazykov* [Semantic universals and language description]. Moscow, Yazyki slavyanskoy kultury Publ., 1999. 288 p.
  3. Granin D.A. *Skrytiy smysl* [Hidden meaning]. Sankt Petersburg, Aleteyya Istoricheskaya kniga Publ., 2009. 263 p.
  4. Buzadzhi D.M. Connected speech. Convergence in translation. *Mosty. Zhurnal perevodchikov*, 2009, no. 3, pp. 46–55.
  5. Molchanova G.G. *Angliyskiy yazyk kak nerodnoy* [English as a non-native language]. Moscow, OLMA Media Grupp Publ., 2007. 384 p.
  6. Gabrovsky N.K. *Teoriya perevoda* [Translation theory]. Moscow, MGU Publ., 2002. 544 p.
  7. Komissarov V.N. *Teoriya perevoda* [Translation theory]. Moscow, Alyans Publ., 2013. 250 p.
  8. Vezhbitskaya A. *Sopostavlenie kultur cherez posredstvo leksiki i pragmatiki* [Comparison of cultures through vocabulary and pragmatics]. Moscow, Yazyki slavyanskoy kultury Publ., 2001. 272 p.
  9. Arnold I.V. *Semantika. Stilistika. Intertekstualnost'* [Semantics. Stylistics. Intertextuality]. Moscow, URSS Lenand Publ., 2015. 443 p.
  10. Lanchikov V.K. A topography of search. Standardization in the language of artistic translation and its overcoming. *Mosty. Zhurnal perevodchikov*, 2011, no. 2, pp. 30–38.
  11. Borisenko A.L. Once again about literalism. *Mosty. Zhurnal perevodchikov*, 2008, no. 1, pp. 7–14.
  12. Bond A. *A study of the English and the German translations of Alexander I. Solzhenitsyn's "The Gulag Archipelago"*. Berne, PETER LANG, 1983. Vol. 1, 322 p.
  13. Solzhenitsyn A.I. *Arhipelag GULAG. 1918–1956: Opyt khudozhestvennogo issledovaniya. V 3 t. T. 1. Ch. 1–2* [The Gulag Archipelago. 1918–1956: Experience of artistic research. Vol. 1, part. 1–2]. Moscow, PROZAiK Publ., 2011. 592 p.
  14. Solzhenitsyn A.I. *The Gulag Archipelago 1918–1956: An experiment in literary investigation*. [Vol. 1], [Parts] 1, 2 / translated by Thomas P. Whitney. N.Y., Haiper & Row Publishers, 1974. 660 p.
  15. Solschenizyn A.I. *Der Archipel GULAG / Übersetzung von Anna Peturnig*. Bern, München, Scherz Verlag, 1974. 621 s.
  16. Ozhegov S.I. *Tolkoviy slovar russkogo yazyka* [Dictionary of Russian language]. Moscow, Mir i obrazovanie Publ., 2015. 1375 p.
  17. Myuller V.K. *Bolshoy anglo-russkiy slovar'* [The big English-Russian dictionary]. Moscow, Khit-kniga Publ., 2016. 958 p.
  18. Zedlinger A., Iordan Ya. *Bolshoy nemetsko-russkiy slovar'* [Großes deutsch-russisches Wörterbuch]. Kiev, Ariy Publ., 2013. 600 p.
  19. *Collins English Dictionary*. London, HarperCollins Publishers, 2014. 1985 p.
  20. Balashova L.V. *Russkaya metafora: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Russian metaphor: past, present, future]. Moscow, Yazyki slavyanskoy kultury Publ., 2014. 496 p.

#### STYLISTIC ADEQUACY OF METAPHORICAL ITEMS' TRANSLATION IN A.I. SOLZHENITSYN'S NOVEL "THE GULAG ARCHIPELAGO"

AND ITS TRANSLATIONS INTO ENGLISH (TH. P. WHITNEY, 1974) AND GERMAN (A. PETURNIG, 1974)

© 2018

*I.A. Kurbanov*, PhD (Linguistics), Professor, Head of Chair of Linguistics and Translation Studies

*V.E. Salo*, lecturer of Chair of Linguistics and Translation Studies  
*Surgut State University, Surgut (Russia)*

**Keywords:** metaphor; intentional implicit meaning; linguistic context; extralinguistic context; polyphonic translation item; stylistic and pragmatic equivalence.

**Abstract:** The paper considers the specifics of adequate translation of the metaphors used in the work "The Gulag Archipelago" by A.I. Solzhenitsyn. In the given case, an object of the analysis is the work of literature "The Gulag Archipelago" by A.I. Solzhenitsyn as well as its English and German translation made by Thomas P. Whitney (1974) and Anna Peturnig (1974) consequently. The subject of the research is the metaphors used by the author to produce the image of the Soviet reality of that time in comparison to its translations both into English and German languages. The paper analyzes the relevance of the applied techniques of metaphors' translation on the subject of retaining expressive and emotional connotations.

The paper emphasizes the significance of accurate interpretation of the implicit meaning of a metaphor to achieve the adequate translation to the most extent. The authors pay attention as well to adequate translation of implicit metaphor meaning due to the opportunity of using some different much more expressive metaphorical models enabling to make dialogue with the targeted readers much more open and efficient. The analysis of the adequacy of the translations of the selected metaphors allows identifying the common and distinctive characteristics of the world images of the addresser and the addressee who are the representatives of the American and German linguocultures. These are the distinctive characteristics that cause hardly surmountable obstacles for a translator while translating metaphorical items. The analysis of practical data showed that in most cases a loan translation of metaphors results in the emotional and expressive losses which affect their objective comprehension as the connotations are the key factor helping to complete the image of the depicted item or phenomenon in the recipient's mind.

## ПОНЯТИЕ НОРМЫ И ЕЕ ВАРИАТИВНОСТЬ В ЛИТЕРАТУРНОМ ЯЗЫКЕ (НА МАТЕРИАЛЕ АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО ЯЗЫКА)

© 2018

Э.С. Самедов, аспирант

*Институт языкознания имени Насими Национальной академии наук Азербайджана, Баку (Азербайджан)*

**Ключевые слова:** азербайджанский язык; литературный язык; норма в литературном языке; фонетическая норма; лексическая норма; синтаксическая норма.

**Аннотация:** В статье исследуется проблема понятия нормы в литературном языке на примере азербайджанского языка. Дается определение языковой нормы, выводится ее главенствующая роль в речевой культуре. Автор уславливает специфику литературного языка и уделяет внимание способности языка меняться в процессе эволюции общества, культуры и человека. Обозначается влияние диалектов и заимствований в формировании языковых норм на азербайджанском языке. Подробно рассматриваются три вида норм литературного языка: фонетическая, лексическая и грамматическая. Внутри фонетической нормы выделяются орфоэпические и орфографические нормы, обозначаются причины вариативности, возникающие в речевом процессе. Анализируются примеры нарушения лексической нормы и их последствия для языка. Разбираются значимые аспекты грамматической нормы, в которой также выделяются морфологическая и синтаксическая нормы. Принимается во внимание и тот аспект, что синтаксические нормы регулируют построение словосочетаний и предложений, и что в формате словосочетаний эта норма делится на три части: согласования, примыкания и управления. Рассматривается проблема необходимости правильного расположения слов в предложении, даются разнообразные примеры, когда слова намеренно занимают неправильное место в его структуре, чтобы выполнить определенную функцию. Определяется роль классификации норм литературного языка для понимания происходящих в нем процессов изменений. Из изложенных материалов делаются выводы о том, что именно благодаря норме язык становится ясным и наиболее эффективным средством для общения, так как норма, сохраняя речевые традиции, удовлетворяет актуальные потребности общественной речи.

### ВВЕДЕНИЕ

Язык является важнейшим средством коммуникации, обеспечивающим возможность общения и взаимодействия между членами социального коллектива. «В начале своего развития он сформировался как устная речь, а затем потребность в общении на больших расстояниях и необходимость хранения и передачи языковой информации привела к возникновению письменного языка» [1, с. 177]. На начальных этапах своего существования человеческая речь значительно отличалась от нынешней, так как в ней присутствовало очень много отрывистых звуков. Речь в основном состояла из восклицаний [2]. Но постепенно, в связи с эволюцией человека и общества, устный язык сформировался таким, каким он нам известен сегодня.

Речевые звуки являются мельчайшими частицами языка. Вместе они образуют слова, слова – словосочетания, словосочетания, в свою очередь, образуют предложения, и, наконец, предложения, следуя друг за другом, формируют целые тексты. Но для того, чтобы речь была понятной и целостной, существуют определенные нормы. Правильность речи обусловлена соблюдением норм литературного языка, а ее отсутствие связано с отпадением от данных норм. В отсутствии определенных норм языка слова теряют свою последовательность и смысловую нагрузку. У каждого языка есть свои нормы, которые имеют сходство и различия в сравнении с другими языками. Так, азербайджанский язык, относящийся к семейству тюркских языков, имеет с ними (с тюркскими языками) фонетическое, лексическое и грамматическое сходство [3]. К примеру, в тюркских языках существует фонетическое явление, которое заключается в чередовании твердых и мягких гласных. Оно называется законом звуковой гармонии

[4; 5]. Для азербайджанского языка этот закон является одним из основных.

Цель исследования – классификация норм азербайджанского литературного языка, анализ происходящих в нем процессов на современном этапе.

### ОБСУЖДЕНИЕ ЯЗЫКОВЫХ НОРМ

Языковая норма – это совокупность наиболее устойчивых, традиционных реализаций элементов языковой структуры, отобранных и закрепленных общественной языковой практикой. Языковым и речевым нормам обучаются в школе, в практике чтения художественной и научной литературы, а также с помощью медийных средств (газет, журналов, теле- и радиопередач и т. д.).

«"Норма" в переводе с латинского языка означает руководящее начало, правило, образец. Этот обобщенный термин интегрировался во все области жизни и отрасли науки. Существуют различные понятия, связанные с нормой: языковая норма, речевая норма, норма морали, юридическая норма, нормативные документы, нормативная ситуация, нормальное отношение и т. д.» [6, с. 112].

Норму необходимо рассматривать как важную теоретическую категорию речевой культуры. Норма – это средство выражения категории «правильности» и «неправильности» [7, с. 22], которая требует корректного использования языковых средств, определяет понятийное выражение речи. Как в каждой сфере жизни есть свои нормы, так и в языке существуют определенные правила для создания и поддержки коммуникации. Иначе общение станет невозможным, приведет к непониманию. Обеспечивая коммуникативную функцию для той или иной социальной группы, нормы отражаются на общих языковых законах. Например, известно, что

орфографические нормы – это система норм, которая базируется на соблюдении определенных принципов написания слов и предложений [8]. Однако мы часто сталкиваемся с отклонениями от этих норм: *odun-udun* (дрова), *görürəm-görerəm* (вижу), *alırım-aleyırım* (беру/покупаю) и т. д. За счет существующих норм возникает возможность обобщить инвариантность слов и терминов из разных диалектов в единую систему, которая будет понятной и общепотребимой. По тому же принципу можно обобщить слова заимствованные из других языков. Наряду с этим отметим, что, как выражаются многие исследователи, большинство слов и выражений в литературном языке взяты из диалектов. И если не привести их использование к определенным нормам, то литературный язык станет трудно воспринимаемым и потеряет свою коммуникативную функцию. Поэтому существование норм языка представляется жизненно необходимым. Согласно определению А.А. Ахундова, «норма выступает как регулятив социальных взаимодействий всех уровней и видов, а также обусловлена внутренней структурой языка. Норма – это такая динамическая категория, которая состоит из речевой ситуации языковой системы, обеспечивает традиционные и потенциальные условия для функциональной стилистики языка» [9, с. 65]. В языкознании эти нормы в совокупности именуются нормами литературного языка [11; 12]. Позволим себе для начала разобраться в том, что подразумевает этот термин, а затем оценить его роль и функции.

Литературный язык испокон веков обусловлен стабильными закономерностями языка и служит обеспечением речевой формы общения [13], которая включает в себя основные национальные и народные черты. Система стабильных закономерностей в литературном языке и есть нормы литературного языка (речи).

Однако эти нормы не стабильны [14]. С развитием культуры, с наступлением исторических и социальных изменений в жизни общества, нормы литературного языка также развиваются, меняются и обновляются. Свойства изменчивости языкового знака – такая же основополагающая его черта, как и свойство устойчивости, или консервативности. Каждое новое поколение отталкивается от уже существующих в языке норм и традиций. Из языка оно выбирает наиболее подходящие слова, фразеологизмы и обороты речи, также привнося свои новшества, чтобы выразить новые идеи, представления о мире, человеке и обществе. Бесспорно, что новые поколения отказываются от того, что кажется им устарелым, не соответствующим новой модели смыслополагания [15]. В связи с этим развитие литературного языка должно пониматься как историческое развитие норм. Каждый исторический период формирует этапы развития норм литературного языка, модернизирует его.

Обычно указывается три вида норм литературного языка. Эти типы норм определяются по историческим этапам развития литературного языка: фонетическая норма, лексическая норма и грамматическая норма [16; 17].

### ФОНЕТИЧЕСКАЯ НОРМА

Речевые звуки как часть языковой системы рассматриваются в рамках фонетических норм. Человеческая речь – не просто воспроизведение звуков, имеющих определенный смысл. Звуковая сторона речи имеет

сложную, иерархически устроенную организацию. Фонетическая норма делится на две категории: орфоэпические нормы и орфографические нормы. Правила произношения слов в литературном языке называются орфоэпической нормой. Для того чтобы соблюдать правила произношения литературного языка, прежде всего нужно учитывать орфоэпические нормы. При речевом произношении проявляется вариативность, однако существуют правила, согласно которым только один вариант произношения считается верным. Такая вариативность обусловлена диалектами и заимствованиями в языке. Если какое-то слово произносится в разных вариантах в говорах и диалектах, то в литературном языке оно имеет единую форму произношения, в которой соблюдаются орфоэпические нормы. Однако иногда мы можем наблюдать такие случаи в речи, когда одно и то же слово произносится одинаково как в говоре, так и в устной литературной речи. Например: *haçar* (*açar*) (ключ), *gəleyrəm* (*gəlirəm*) (иду), *gördüm* (*gördüm*) (увидел), *alem* (*alim*) (куплю) и т. д. В других случаях, например при использовании заимствований, ударение ставится неправильно: Мәс: *o`nurğa* (позвоночник), *İngiltə`rə* (Англия), *peda`qoq* (педагог), *fizi`ka* (физика) и т. д. Бывает, что в произношении заимствованных слов отклонения от орфоэпических норм связаны с произношением письменного варианта слов (*morfologiya-marfologiya* (морфология), *doktorant-doktarant* (докторант), *Moskva-Maskva* (Москва) и т. д.). В азербайджанском языке такие отклонения наблюдаются и в произношении суффиксов (*canlı-canlı* (живой), *anamla-anamnan* (с моей мамой), *vicdan-vijdan* (совесть), *ictimai-iştimai* (общественный) и т. д.). Наряду с этим надо отметить, что орфоэпические нормы в азербайджанском языке требуют соблюдения закона гармонии в процессе произнесения слов и предложений. Вместе с этим известны случаи, в которых встречается несоответствие закону гармонии в произношении: *tənim-tənim* (мой), *anən-anan* (твоя мама), *bacım-bacım* (моя сестра), *alırsan-aleysən* (берешь/покупаешь), *bunu-buni* (этот), *onu-oni* (тот) и т. д. Такое нарушение орфоэпических норм считается недопустимым для литературного языка.

### ЛЕКСИЧЕСКАЯ НОРМА

Лексическая норма литературного языка требует знания значения и семантических особенностей каждого употребляемого в языке слова. Лексическая норма – это правильное употребление слов с учетом контекста, в котором они произносятся. В письме и в речевом процессе неправильное употребление слов или неуместное их использование считается нарушением лексической нормы. Например: “*Bu səsi eşitmək xoşuma gedir*” (Мне нравится слышать этот звук). В данном предложении слово “*gedir*” (уходит) неуместно, и этим здесь нарушена лексическая норма. На самом деле по законам семантики вместо слова “*gedir*” (уходит) должно быть использовано слово “*gəlir*” (идет). Неправильное употребление слов, заимствованных от диалектов, тоже приводит к такому последствию, как нарушение лексической нормы. Известно, что словарный запас каждого языка периодически расширяется благодаря добавлению заимствованных из диалектов слов. Но при этом следует проявить внимательность и осторожность.

«Если в литературном языке эквивалент диалектного слова уже существует, то нет необходимости заимствования с идентичной семантикой» [18, с. 32]. Например, неуместно употреблять вместо уже существующего в литературном языке слова “*ana*” (мама), диалектное слово “*ciyi*” или вместо слова “*milçək*” (муха), диалектные слова “*mıǧmıǧa*”, “*ditdili*”.

### ГРАММАТИЧЕСКАЯ НОРМА

Грамматическая норма основывается на правильном строении отношений и связей между словами и предложениями в речи и нормализует сам речевой процесс в целом. Сюда относятся формы синтаксических связей, порядок употребления суффиксов, порядок слов в предложениях, определение позиций членов предложений и т. д. Грамматическая норма делится на две части: морфологическая норма и синтаксическая норма.

Морфологическая норма обуславливается правильным употреблением морфологических единиц по частям речи. Сюда относятся суффиксы, категории количества, предикативности и т. д. Например, в азербайджанском языке после конкретных числительных существительное употребляется в единственном числе: *beş dəftər* (пять тетрадей), *iki kitab* (две книги), *dörd çanta* (четыре сумки) и т. д. *Mənim beş dəftərim var* (У меня пять тетрадей), *Onun əlində iki kitab var* (У него в руках две книги) и т. д. По морфологическим нормам азербайджанского языка, если существительное по семантике означает множественность, к нему нельзя добавить суффиксы числительности. Но в речевом процессе эти правила порой не соблюдаются. Например: *Onların dörd çantaları var* (У них в руках четыре сумки). К номинативам (существительное, прилагательное, числительное) в азербайджанском языке по морфологическим правилам сначала добавляются суффиксы количественности, потом суффиксы принадлежности, а после – предикативные суффиксы: *dost+lar+ımz+ın+dır*. Если уклониться от этого порядка, то нарушится морфологическая норма литературного языка. Иногда в предикат предложения вместо суффиксов глагольной формы желания добавляются суффиксы глагола неопределенного будущего времени или суффиксы условной формы глагола. Таким образом, тоже нарушается морфологическая норма азербайджанского языка. Например, вместо морфологически правильных форм типа *kaş görə idim* (надо было увидеть), *kaş gedə idim* (надо было идти), можно часто встретить такие фразы, как *Kaş onu tez-tez görədim* (Надо было часто с ним встречаться), *kaş getsə idim* (надо было идти) и т. д.

Слово «синтаксис» происходит от греческого “*syntaxe*” и означает «объединять», «формировать». Синтаксическая норма регулирует построение словосочетаний и предложений. В системе словосочетаний эта норма делится на три части, которые состоят из подчинительных форм согласования, примыкания и управления. При полном согласовании подчиненное слово принимает все формы подчиняющего слова, насколько это позволяют грамматические категории обоих слов. Например: *Mən şagirdəm* (Я школьник), *Sənin kitabın* (Твоя книга), *Həsən gəldi* (Гасан пришел) и т. д. Такое полное согласование характерно для синтаксической нормы азербайджанского языка [19]. В азербайджанском языке согласование происходит, в частности, между подлежащим и предикатом, а также между компонентами номинативных словосочетаний. Но в азербайджанском языке сочетание по числу и роду между предикатом и подлежащим имеет одно исключение: в третьем роде согласование по числу не обязательно. Например: *Uşaqlar oxuyur* (Дети поют) – не согласовано, *Uşaqlar oxuyur+lar* (Дети поют) – согласовано. Это явление не считается отклонением от нормы.

Управлением называется такой вид подчинительной связи, при котором зависимое слово ставится в определенной падежной форме (без предлога или с предлогом), обусловленной лексико-грамматическим значением господствующего слова, например: *quşlar qışa qalmadı, köçdü isti ellərə* (птицы не остались зимой, улетели в теплые края). В данном примере управление происходит следующим образом: *qışa* – *qalmadı* (зимой – не остались); *ellərə* – *köçdü* (в края – улетели). Господствующее слово *qalmadı* (не остались), *köçdü* (улетели), управляя зависимыми словами *qış* (зима), *ellər* (края), ставит их в определенной падежной форме. При управлении в синтаксисе в качестве господствующего слова в основном выступает глагол, а зависимыми словами являются существительные или другие субстантивы. Например: *uxudan oyanmaq* (проснутся от сна) (существительное – инфинитив), *dağlardan ağır* (тяжелее гор) (существительное – прилагательное), *böyüyə hörmət* (уважение к взрослым) (существительное – существительное) и т. д.

Примыканием называется такой вид подчинительной связи, при котором зависимость подчиненного слова выражается лексически, порядком слов и интонацией. Примыкают неизменяемые знаменательные слова (наречие, инфинитив, деепричастие), например: *azad insan* (вольный человек), *yüksələn bayraq* (восходящий флаг), *durub baxmaq* (смотреть) и т. д.

На уровне предложений синтаксическая норма проявляется в правильном порядке слов в предложении. Рассмотрев вопрос о строении членов предложений в азербайджанском языке, Г. Кязимов отмечает: «При грамматическом членении изучаются естественные позиции членов предложений. Исходя из этого, надо отметить, что в предложении в первой позиции находится подлежащее, а во второй – предикат. Если предложение достаточно длинное, перед подлежащим может находиться его определение, а перед предикатом дополнение, обстоятельство. Если предикат номинативен, то перед ним может употребляться определение номинативного предиката [20, с. 165]. Например: *gözəl təbiət insanı duyğulandırır* (прекрасная природа человека одушевляет). В данном предложении определение подлежащего находится перед ним, а дополнение, так как оно относится к предикату, находится перед предикатом. Такой порядок членов предложения является подходящим по языковым нормативам. Иногда для стилистических приемов предикат употребляется на первой позиции, и это явление, которое называется инверсией, вполне допустимо. Например: “*Döydü yağış məni, döydü qar məni, Bir qarışqa mınəm, aparar məni*” (*Osman Sarıvəlli*) – «Бил меня и снег, бил меня и дождь, Если оседлать муравья, сможет ли меня довести» (перевод наш).

В данном отрывке стихотворения в первой строке предикат употреблен перед подлежащим. Это считается

уклонением от нормы, но является весьма допустимым для поэтической стилистики.

Известно, что подлежащее и предикат по синтаксико-грамматическому характеру должны согласовываться между собой по роду и числу. Например: *Uşaqqlar – oğlanlı, qızlı hamı məktəbə gedirlər* (Дети – и мальчишки, и девочки – все ушли в сторону школы). В таком предложении согласование считается правильным, так как оба главных члена предложения по числу и роду согласованы. Однако есть исключения. В азербайджанском языке местоимение “*hamı*” (все) по семантике хоть и означает множественность, в предложении с его участием согласование по числу не происходит. К примеру, словосочетание типа “*hamı gəldirdilər*” (все ушли) считается неправильным. Иногда в предложениях строение слов меняется умышленно, чтобы подчеркнуть определенное слово. По нормам такое смещение считается отклонением. Например: *Dünən mən kitabı kitabxanadan götürdüm*. (Вчера я взяла книгу из библиотеки). В данном примере для актуализации времени происходящего слово “*dünən*” (вчера) употреблено перед подлежащим. Такое явление для стилистики не считается отклонением.

Именно благодаря норме язык становится ясным и наиболее эффективным средством для общения. Это было бы невозможным, если бы норма не заключала в себе две базовые функции: сохранять речевые традиции и удовлетворять актуальным и меняющимся потребностям общества.

## ВЫВОДЫ

На основании исследования отклонений от языковых норм, сделано заключение о том, что норма в азербайджанском языке – понятие нестабильное.

В азербайджанском языке в третьем роде согласование по числу не обязательно. Местоимение “*hamı*” (все) по семантике хоть и означает множественность, в предложении с его участием по числу согласование не происходит.

Несмотря на то, что норма является ключевым понятием для языка, в азербайджанском литературном языке отклонение от нормы в виде синтаксического перемещения считается не отклонением, а стилистическим приемом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соссюр Ф. де. Труды по языкознанию. М.: Прогресс, 1977. 695 с.
2. Пешковский А.А. Лингвистика. Поэтика. Стилистика. Избранные труды. М.: Высш. школа, 2007. 800 с.
3. Худиев Н.М. История азербайджанского литературного языка. Баку: Elm və təhsil, 2012. 686 с.
4. Вопросы нормы и нормализации в азербайджанском литературном языке: материалы III респ. конф. молодых лингвистов, 25–26 нояб. 1991 г. Баку: Elm və təhsil, 1991. 194 с.
5. Мусаев М.М. Синтаксис осложненного предложения в тюркских литературных языках. Баку: Kitab aləmi, 2010. 403 с.
6. Байрамов А., Магеррамов З., Искендерзаде М. Азербайджанский язык и речевая культура. Баку: ULU, 2015. 235 с.
7. История литературного языка Азербайджана. Баку: Şərq-Qərb, 2012. 389 с.

8. Абдуллаев Н. Основы речевой культуры. Баку: Şərq-Qərb, 2015. 279 с.
9. Ахундов А.А. Общая лингвистика. Баку: Şərq-Qərb, 2006. 280 с.
10. Богачев Ю.П. Стилистика речи и норма в языке. М.: Прометей, 2004. 207 с.
11. Мешадиева А.Э. Формальное описание закона гармонии в тюркских языках. Баку: Elm və təhsil, 2004. 244 с.
12. Курбанов А.М. Современный азербайджанский культурный язык. Ч. 1. Баку: Nurlan, 2013. 450 с.
13. Алиев К.И. Речевая культура и основы стилистики. Баку: Здание типографии «БГУ», 2001. 240 с.
14. Хакимова Е.М. Языковая норма в статическом и динамическом аспектах. Челябинск: ЮУрГУ, 2008. 179 с.
15. Алефиренко Н.Ф. Общее языкознание: история и теория языка: интегрированный курс. М.: Азбуковник, 2013. 309 с.
16. Одинцов В.В. Стилистика текста. М.: URSS ЛИБРОКОМ, 2010. 261 с.
17. Гаджиев Т. История литературного языка Азербайджана. Ч. I. Баку: Elm və təhsil Publ., 2012. 475 с.
18. Бурлак С. Происхождение языка. Факты, исследования, гипотезы. М.: Астрель, 2011. 462 с.
19. Казимов И. Язык Ахыскинских Турков. Баку: Elm və təhsil, 2002. 55 с.
20. Казимов Г.С. Современный азербайджанский язык. Баку: Elm və təhsil, 2014. 446 с.

## REFERENCES

1. Sosyur F. de. *Trudy po yazykoznaniiyu* [Works on linguistics]. Moscow, Progress Publ., 1977. 695 p.
2. Peshkovskiy A.A. *Lingvistika. Poetika. Stilistika. Izbrannye trudy* [Linguistics. Poetics. Stylistics. Selected Works]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 2007. 800 p.
3. Khudiev N.M. *Istoriya azerbaydzhanskogo literaturnogo yazyka* [History of Azerbaijani literary language]. Baku, Elm və təhsil Publ., 2012. 686 p.
4. *Voprosy normy i normalizatsii v azerbaydzhanskom literaturnom yazyke: materialy III resp. konf. molodykh lingvistov, 25–26 noyab. 1991 g.* [The questions of norm and normalization in the Azerbaijan literary language]. Baku, Elm və təhsil Publ., 1991. 194 p.
5. Musaev M.M. *Sintaksis oslozhnennogo predlozheniya v tyurkskikh literaturnykh yazykakh* [Syntax of complicated sentence in Turkic literary languages]. Baku, Kitab aləmi Publ., 2010. 403 p.
6. Bayramov A., Magerramov Z., Iskenderzade M. *Azerbaydzhanskiy yazyk i rechevaya kultura* [Azerbaijan language and speech culture]. Baku, ULU Publ., 2015. 235 p.
7. *Istoriya literaturnogo yazyka Azerbaydzhana* [History of the literary language of Azerbaijan]. Baku, Şərq-Qərb Publ., 2012. 389 p.
8. Abdullaev N. *Osnovy rechevoy kultury* [Fundamentals of speech culture]. Baku, Şərq-Qərb Publ., 2015. 279 p.
9. Akhundov A.A. *Obshchaya lingvistika* [General Linguistics]. Baku, Şərq-Qərb Publ., 2006. 280 p.
10. Bogachev Yu.P. *Stilistika rechi i norma v yazyke* [Stylistics of speech and the norm in the language]. Moscow, Prometey Publ., 2004. 207 p.
11. Meshadiev A.E. *Formalnoe opisanie zakona garmonii v tyurkskikh yazykakh* [Formal description of the law of



- harmony in Turkic languages]. Baku, Elm və təhsil Publ., 2004. 244 p.
12. Kurbanov A.M. *Sovremennyy azərbaydzhanskiy kulturnyy yazyk* [Modern Azerbaijani Cultural Language]. Baku, Nurlan Publ., 2013. Ch. 1, 450 p.
  13. Aliev K.I. *Rechevaya kultura i osnovy stilistiki* [Speech Culture and the Basics of Stylistics]. Baku, Zdanie tipografii "BGU" Publ., 2001. 240 p.
  14. Khakimova E.M. *Yazykovaya norma v staticheskom i dinamicheskom aspektakh* [Language norm in static and dynamic aspects]. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2008. 179 p.
  15. Alefirenko N.F. *Obshchee yazykoznanie: istoriya i teoriya yazyka: integrirovannyy kurs* [General linguistics: history and theory of language]. Moscow, Azbukovnik Publ., 2013. 309 p.
  16. Odintsov V.V. *Stilistika teksta* [Style of text]. Moscow, URSS LIBROKOM Publ., 2010. 261 p.
  17. Gadzhiev T. *Istoriya literaturnogo yazyka Azerbaydzhana* [History of the literary language of Azerbaijan]. Baku, Elm və təhsil Publ., 2012. Ch. 1, 475 p.
  18. Burlak S. *Proiskhozhdenie yazyka. Fakty, issledovaniya, gipotezy* [Origin of language. Facts, research, hypotheses]. Moscow, Astrel Publ., 2011. 462 p.
  19. Kazimov I. *Yazyk Akhyskinskikh Turkov* [Language of the Achinsk Turkishes]. Baku, Elm və təhsil Publ., 2002. 55 p.
  20. Kazimov G.S. *Sovremennyy azərbaydzhanskiy yazyk* [Modern Azerbaijan language]. Baku, Elm və təhsil Publ., 2014. 446 p.

**THE CONCEPT OF A NORM AND ITS VARIABILITY IN THE LITERARY LANGUAGE  
(ON THE BASE OF AZERBAIJANI LANGUAGE)**

© 2018

*E.S. Samedov*, postgraduate student

*Nasimi Institute of Linguistics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku (Azerbaijan)*

*Keywords:* Azerbaijani language; literary language; a norm in literary language; phonetic norm; lexical norm; syntactic norm.

*Abstract:* The paper studies the issue of the concept of a norm in the literary Azerbaijani language. The definition of language norm is given, and its leading role in speech culture is deduced. The author identifies the specifics of literary language and pays attention to the language ability to change in the process of evolution of the society and a human. The influence of dialects and borrowings on the formation of linguistic norms is indicated. Three types of norms of literary language are considered in detail: phonetic, lexical, and grammatical. Within the phonetic norm, the norms of pronunciation and spelling norms are considered, the causes of variability arising within the speech process are indicated. The author analyzes the examples of lexical norm violations and their consequences for the language and considers the significant aspects of the grammatical norm, in which the morphological and syntactic norms are distinguished as well. The aspect is taken into account that the syntactic norms regulate the formation of word-combinations and sentences, and that, within the word-combinations format, this norm is divided into three parts: concord, adjunction, and government. The author studies the issue of proper arrangement of words in a sentence, gives various examples where the words take intentionally the incorrect place in its structure in order to perform a certain function. The role of classification of norms of literary language for understanding the processes of change taking place in it is determined. From the above materials, the author concludes that due to the norm, the language becomes clear and the most effective tool for communication since the norm, keeping the speech traditions, meets the actual needs of public speech.

## ТИПОЛОГИЯ НАСЕЛЕНИЯ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО УЧАСТИЮ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2018

*И.В. Цветкова*, доктор философских наук, профессор кафедры «История и философия»  
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

*Ключевые слова:* Самарская область; экологическая деятельность; экологические проблемы; экологическое образование; экологические ценности; устойчивое развитие; экономические факторы; социальная экология.

*Аннотация:* Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения экологических проблем на основе участия населения в различных видах экологической деятельности. Понятие экологической деятельности в современной науке изучено недостаточно. Вероятно, это обусловлено тем, что экологическая деятельность тесно связана с различными видами социальной активности людей. В статье выделены теоретические подходы к изучению экологической деятельности, проанализированы особенности, философского, социально-экологического, социологического подходов.

Установлено, что в узком смысле экологическую деятельность рассматривают как эффективное использование природных ресурсов. В широком смысле экологическую деятельность понимают как средство гармонизации между природой, техническими системами и обществом. Сделан вывод, что основанием экологической деятельности выступают ценности экологической культуры, которые ориентируют деятельность на сохранение природной среды.

В статье подчеркивается необходимость анализа социальных аспектов экологической деятельности. Они находят воплощение в создании безопасной, комфортной среды проживания на основе эффективного экологического контроля. Обоснован вывод о том, что экологическая деятельность является важным фактором устойчивого развития цивилизации.

Теоретические положения послужили методологическим базисом эмпирического исследования. Объектом изучения является население Самарской области. В статье выявлена специфика участия в экологической деятельности различных групп населения. В результате кластерного анализа установлены различия между тремя социальными группами, в зависимости от специфики отношения к экологическим нормам и ценностям. Сделан вывод о том, что активность участия в видах экологической деятельности отображает уровень экологической культуры.

Результаты анкетирования свидетельствуют о том, что наибольшие различия прослеживаются в отношении участников опроса к реализации экологических норм, к мероприятиям по благоустройству. Результаты опроса демонстрируют противоречия между активностью участия в экологической деятельности и осознанием экологических проблем. Сделан вывод о том, что недостатки формирования экологической культуры проявляются в уровне и направленности экологической активности населения.

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях глобализации решение задач, связанных с преодолением экологического кризиса, требует гармонизации отношений между человеком и природой [1, с. 12]. Это предполагает преобразование всех сторон общественной жизни, всех видов и сфер деятельности. Экологическая деятельность непосредственно связана с применением рациональных способов организации общественного производства с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду, поддержания устойчивого развития. Различные виды экологической деятельности находят воплощение в реализации экологической политики многих современных государств [2, с. 47].

Понятие «экологическая деятельность» не получило глубокой методологической проработки в научной литературе. Экологическая деятельность пронизывает разнообразные виды и формы деятельности людей, охватывая аспекты, связанные с взаимодействием человека и природы. Экологическая деятельность включает когнитивный компонент, поскольку знания об окружающей среде определяют взаимосвязи всех ее элементов: целей, мотивов, стимулов, норм, санкций и т. д.

В узком смысле под экологической деятельностью понимают природоохранную деятельность. Однако данное понятие имеет более широкое содержание. Экологическая деятельность направлена на создание условий для гармоничных отношений между обществом и природой.

Духовные основания экологической деятельности включают формирование потребностей в самосовершенствовании, реализации нравственных ценностей, ориентированных на экологические императивы [3].

Экологическая деятельность занимает важное место в экологическом образовании и воспитании. Она способствует практической реализации знаний, умений, навыков, приобретенных в процессе обучения, оказывает влияние на формирование мотивации поведения в соответствии с экологическими нормами.

Экологическая деятельность выступает важным элементом экологической культуры [4, с. 290]. Она способствует практической реализации системы экологических ценностей, которые в последние десятилетия приобретают все большее значение для устойчивого развития цивилизации. Ориентирами экологической деятельности выступают потребности человека в создании окружающей среды оптимальной для обитания современных и будущих поколений [5, с. 57]. Баланс этих потребностей формируется с учетом закономерностей биосферы и определяется возможностями ноосферы [6, с. 127]. В качестве экологических ценностей выступают знания об окружающей среде, которые воплощаются в экологических нормах. Они регулируют отношения между социальными субъектами и окружающей средой. Экологические знания и нормы, в свою очередь, выступают базисом формирования оценочного

отношения к экологическим явлениям. Принципы экологической культуры, которые выступают руководством к действию, воплощаются в положениях «глобальной экологии» [7, с. 197].

В процессе экологической деятельности происходит преобразование субъект-объектных отношений в субъект-субъектные. Отношение к природе как неисчерпаемому ресурсу характеризует человечество в качестве субъекта преобразовательной деятельности, а природу – как объект целенаправленного воздействия. Современный этап развития цивилизации характеризуется кризисным состоянием, вызванным данной парадигмой [8, с. 100].

Осознание того, что природа является субъектом взаимодействия, а не объектом, выдвигает на первый план задачу формирования новой системы ценностей, включающей заботу о сохранении природы как среды обитания человека. Субъект-субъектные взаимосвязи означают, что человечество признает свою зависимость от природных процессов и берет ответственность за рациональное регулирование отношений с природой [9, с. 401]. Большое значение в этой парадигме имеет научное прогнозирование последствий влияния человека на природную среду [10, с. 183].

С позиций социальной экологии экологическая деятельность обусловлена взаимодействием трех групп факторов: природных, технических и социальных [11]. При этом ключевое значение имеют социальные факторы, которые рассматриваются на двух уровнях. Макроуровень анализа включает экологическую политику на уровне государства. Микроуровень определяется повседневными социальными взаимодействиями индивидов. Различные уровни социальных взаимодействий определяют мотивацию экологической деятельности, посредством реализации ценностей, норм, установок, связанных с экологическим сознанием [12, с. 155]. Большое значение в современных условиях имеет эффективный информационный обмен по проблемам экологической безопасности, который выступает одним из элементов инфраструктуры экологической деятельности [13, с. 280].

Понятие «экологическая деятельность» в современных научных публикациях используют в контексте природопользования. Экологическую деятельность рассматривают как проявление активности общества во взаимодействии с природой. Цель этой деятельности – сохранение и восстановление динамического равновесия между обществом и природной средой. Объективной основой экологической деятельности является ценностное отношение людей к условиям своего существования, которое формирует потребности в преобразовании природы.

Ряд авторов используют понятие «социо-экологическая деятельность». Содержание понятие характеризует взаимодействие индивидов с природой на основе экологических ценностей и норм. При этом цели «социо-экологической деятельности» включают исследование, охрану, возобновление природных ресурсов [14, с. 105].

Окружающая среда может рассматриваться как неблагоприятная, в этом случае люди стремятся адаптироваться к условиям, создавая искусственные объекты из имеющихся ресурсов. Оценка среды как благоприятной стимулирует использование природных ресурсов

для удовлетворения потребностей, не задумываясь об их ограниченности.

Экологическая деятельность ориентирована на установление рациональных пределов во влиянии человечества на природную среду. Она призвана регулировать баланс интересов человечества и разумного использования природных ресурсов [15, с. 157]. В экологической деятельности исследователи выделяют два аспекта: материальный и духовный. Материальный аспект экологической деятельности включает организацию общественного производства на основе научных разработок с целью сохранения природной среды. Экологическая деятельность базируется на применении передовых ресурсосберегающих технологий, снижающих ущерб, наносимый природе хозяйственной деятельностью человека. Духовная основа экологической деятельности основывается на ценностном отношении человечества к окружающей среде. Она находит воплощение в нормах экологического права, в экологической политике, в экологическом воспитании и образовании.

Понятия «природопользование» и «экологическая деятельность» близки по своему содержанию. Их сближает деятельностное, активное отношение человека к природе. Однако существуют и смысловые различия. Понятие «природопользование» нацелено на оценку природных ресурсов в аспекте их использования в общественном производстве. Понятие «экологическая деятельность» относится не только к природным ресурсам, но охватывает среду обитания человека с учетом техносферы. Таким образом, предметом анализа становится не только взаимодействие человека и природы, но также влияние техносферы как на природу, так и на самого человека.

Экологическая деятельность обусловлена социальной активностью индивидов по взаимодействию с окружающей средой. В основе экологической деятельности находятся эквзаимодействия, которые опосредованы материально-технической оснащенностью общественного производства. Последствия эквзаимодействий зависят от целей, которые поставлены для преобразования природных условий, а также применяемых технологий. Они могут быть разрушающими природную среду и созидательными. Соответственно, последствия эквзаимодействий также могут быть разделены на разрушающие экологическое равновесие и способствующие его восстановлению.

В современной педагогике экологическую деятельность рассматривают в контексте формирования экологической компетентности, которая способствует реализации готовности в решении экологических проблем [16]. Критериями оценки экологической деятельности выступают показатели экологической эффективности. Они включают оценку рациональности экологической деятельности, ориентацию на максимально полезные результаты при наименьших экономических затратах. Содержание экологической деятельности тесно связано с долговременными стратегиями устойчивого развития цивилизации. В частности, это находит воплощение в планах «экологической модернизации» [17, с. 15].

Экологическая деятельность нацелена на решение экологических проблем с учетом удовлетворения социально-экономических, социально-культурных потребностей общества. Она формирует образ жизни,

выступающий альтернативой по отношению к обществу массового потребления [18, с. 29].

Экологическая деятельность способствует устойчивому развитию цивилизации на базе рационального природопользования, обеспечения высокого качества жизни людей на основе создания безопасной, здоровой среды обитания. Она находит выражение в деятельности организаций по защите природы, в экологических движениях [19]. Экологическая деятельность имеет широкую сферу применения, она включает деятельность по производству экологически чистой продукции, природоохранную деятельность, внедрение ресурсосберегающих технологий, исследовательскую деятельность по изучению состояния окружающей среды.

Экологическая деятельность является воплощением экологической культуры, поскольку она базируется на реализации экологических ценностей, норм и стимулов, способствующих устойчивому развитию цивилизации [20, с. 71].

Цель исследования – построение типологии населения Самарской области в зависимости от активности участия респондентов в различных видах экологической деятельности.

#### ГИПОТЕЗА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение участия населения Самарской области в различных видах экологической деятельности стало предметом социологического исследования, проведенного в 2017 году преподавателями и студентами кафедры «Социология» Тольяттинского государственного университета.

Анкетирование было направлено на проверку гипотезы о том, что население Самарской области различается в зависимости от активности участия в различных видах экологической деятельности. С учетом этих различий социальные характеристики участников опроса могут служить основанием для построения типологии.

Было опрошено 754 человек, которые проживают в 35 населенных пунктах Самарской области. Анкетирование было проведено по квотной пропорциональной выборке, составленной по полу, возрасту району проживания респондентов.

Половина респондентов проживают в городах Самарской области, а другая половина – в сельской местности. Две трети опрошенных женаты (замужем), треть – холосты. 42 % респондентов окончили вузы, 15 % респондентов получают высшее образование в настоящее время. Таким образом, 57 % участников опроса имеют высшее образование, 29 % респондентов окончили колледжи, техникумы, 9 % опрошенных имеют среднее образование, а 5 % – неоконченное среднее.

Половина участников опроса (54 %) определяют материальное положение семьи как среднее. Пятая часть (19 %) респондентов считают, что материальное положение их семей является «выше среднего». Только 5 % респондентов определяют материальное положение семей как «отличное». 18 % участников опроса утверждают, что уровень материального благосостояния «ниже среднего», а 4 % опрошенных живут в очень трудных материальных условиях. Таким образом, по основным социально-демографическим показателям данные по массиву соответствуют региональным показателям.

При обработке и анализе информации использовалась программа статистической обработки информации SPSS-21.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Участникам опроса был задан вопрос: «Что конкретно Вы делаете для решения экологических проблем?». В результате были получены следующие распределения ответов (см. таблицу 1). Больше половины опрошенных (55 %) соблюдают правила поведения на природе. Меньше половины респондентов являются сторонниками здорового образа жизни.

Соблюдают правила утилизации мусора, экономно расходуют воду, газ, электричество и т. д. 43 % участников опроса по каждой позиции.

Треть респондентов являются участниками субботников по очистке загородных территорий, леса, парков, мест отдыха. Участвуют в мероприятиях по благоустройству территории 17 % респондентов, такое же количество респондентов принимают участие в охране животных, защите бездомных животных.

Участвуют в акциях по сбору опасных отходов 16 % участников опроса.

Собирают подписи против экологически опасных проектов 14 % респондентов. 11 % участников опроса занимаются разработкой экологических проектов.

Участвуют в экологических исследованиях, экспедициях 8 % респондентов.

5 % участников опроса принимали участие в экологических митингах, пикетах. 3 % опрошенных выступают в СМИ с публикациями по экологическим проблемам, а 1 % респондентов участвуют в природоохранной деятельности в заповеднике.

В зависимости от форм участия респондентов в решении экологических проблем они были распределены на три группы (кластера). Кластерный анализ был проведен при помощи программы SPSS-21 на основе методики К-середин.

Первая группа включает 367 участников опроса, что составляет 48 % от числа респондентов (см. таблицу 1). Группа получила название «умеренно активные».

По возрастным и гендерным характеристикам «умеренно активные» приближаются к средним показателям по массиву. Среди «умеренно активных» 18 % получили образование на уровне средней школы, их численность чуть больше средних показателей по массиву. Соответственно, среди представителей этой группы на 4 % меньше респондентов, окончивших вузы (54 %). Численность респондентов, получивших среднее профессиональное образование, составляет 28 %. Четверть участников опроса оценивают материальное положение семьи как «отличное» или «выше среднего». 53 % определяют материальный достаток на уровне «среднего». Пятая часть опрошенных утверждают, что материальное положение их семей «ниже среднего» или «трудное». Оценка материального положения семей близка к средним показателям по массиву.

На уровне средних показателей по массиву представители этой группы являются сторонниками здорового образа жизни. Численность респондентов, которые участвуют в сборе подписей против экологически опасных проектов, в экологических исследованиях, экспедициях,

**Таблица 1.** Типология респондентов в зависимости от ответов на вопрос: «Что конкретно Вы делаете для решения экологических проблем?» (данные приведены в % по столбцам)

Виды экологической деятельности	По массиву	Умеренно активные	Волонтеры-активисты	Сознательные
Соблюдаю правила поведения на природе	55	39	28	96
Веду (стараюсь вести) здоровый образ жизни	48	48	5	73
Соблюдаю правила утилизации мусора	43	31	5	85
Экономно расходую воду, газ, электричество и т. д.	43	36	23	65
Принимаю участие в субботниках по очистке загородных территорий, леса, парков, мест отдыха	36	0	87	60
Участвую в мероприятиях по благоустройству территории	17	7	21	30
Принимаю участие в охране животных, защите бездомных животных	17	13	36	10
Участвую в акциях по сбору опасных отходов	16	11	32	12
Участвую в сборе подписей против экологически опасных проектов	14	12	35	6
Занимаюсь разработкой экологических проектов	11	7	30	4
Принимаю участие в экологических исследованиях, экспедициях	8	7	18	5
Принимаю участие в экологических митингах, пикетах	5	3	14	3
Выступаю в СМИ с публикациями по экологическим проблемам	3	1	8	3
Участвую в природоохранной деятельности в заповеднике	1	1	4	0

*Примечание:* Сумма по столбцам превышает 100 %, так как респонденты могли отметить несколько вариантов ответа

в экологических митингах, пикетах, в природоохранной деятельности в заповеднике, а также выступающих в СМИ с публикациями по экологическим проблемам, близка к средним показателям по массиву. Остальные варианты ответов, связанные с активной реализацией экологических принципов, отмечены значительно реже, чем по массиву. Среди «умеренно активных» нет ни одного респондента, принимающего участие в субботниках по очистке загородных территорий, леса, парков, мест отдыха, тогда как по массиву этот показатель равен 36 %. Среди «умеренно активных» только треть респондентов соблюдают правила утилизации мусора. Этот показатель на 10 % ниже результатов опроса по массиву.

Среди наиболее острых экологических проблем Самарской области «умеренно активные» на 4 % чаще, чем другие, отмечают загрязнение отходами, мусором мест отдыха горожан (пляжей, парка, леса и пр.). Вредные вещества в продуктах питания, загрязнение почвы промышленными отходами представители «умеренно активных» отмечают реже, чем другие.

На уровне средних показателей по массиву «умеренно активные» отмечают: плохое качество питьевой воды, загрязнение промышленными отходами рек, озер. Представители этой группы на уровне средних показателей выражают беспокойство относительно использования вредных веществ в строительных материалах, некачественного озеленения, распространения переносчиков болезней. Остальные варианты ответов также отмечены на уровне средних показателей по массиву.

Вторая группа получила название «волонтеры-активисты» (см. таблицу 1). В нее входят 19 % опрошенных (146 человек). В этой группе молодежи в возрасте от 16 до 30 лет на 5 % больше, чем в среднем по массиву, соответственно, меньше людей старшей возрастной группы. А численность людей в возрасте от 31 до 50 лет близка к средним показателям по массиву. В группе «волонтеров-активистов» мужчин на 5 % больше, чем по массиву, а женщин, соответственно, меньше. Среди «волонтеров-активистов» респондентов, получивших высшее образование, на 14 % больше, чем в среднем по массиву. Опрошенных с образованием на уровне средней школы и респондентов, окончивших колледжи, техникумы, меньше, чем по массиву. Среди «волонтеров-активистов» на 10 % больше, чем в среднем по массиву, респондентов, которые определяют уровень достатка семей как «ниже среднего» или «трудное».

87 % «волонтеров-активистов» принимают участие в субботниках по очистке загородных территорий, леса, парков, мест отдыха, этот показатель в два с половиной раза выше, чем данные по массиву. Треть «волонтеров-активистов» принимают участие в охране животных, защите бездомных животных, в акциях, в акциях по сбору опасных отходов. Эти варианты ответа «волонтеры» отмечают в два раза чаще, чем другие. Количество «волонтеров», которые участвуют в сборе подписей против экологически опасных проектов, в экологических исследованиях, экспедициях, в экологических

митингах, пикетах, в природоохранной деятельности в заповеднике, а также выступающих в СМИ с публикациями по экологическим проблемам более чем в два раза превышает результаты опроса по массиву.

Однако «волонтеры-активисты» в два раза реже, чем другие, отмечают, что соблюдают правила поведения на природе, а также заботятся об экономном расходовании воды, газа, электричества и т. д. Только 5 % «волонтеров-активистов» отметили, что ведут здоровый образ жизни, такова же численность «волонтеров», соблюдающих правила утилизации мусора.

Среди «волонтеров-активистов» 87 % респондентов принимали участие в экологических акциях. Этот показатель на 10 % выше, чем по массиву.

«Волонтеры-активисты» примерно в полтора раза чаще, чем другие, обеспокоены использованием вредных веществ в строительных материалах, а также в продуктах питания. Среди экологических проблем они чаще, чем другие, отмечают некачественное озеленение, наличие беспризорных животных, переносчиков болезней. Их чаще беспокоит гибель деревьев от засухи, а также повышенный уровень шума.

«Волонтеры-активисты» примерно в два раза реже, чем другие, среди экологических проблем Самарской области отмечают загазованность воздуха, плохое качество питьевой воды, пыль на улицах, загрязнение промышленными отходами рек. Остальные проблемы отмечены на уровне средних показателей по массиву.

Третья группа включает 32 % респондентов (342 человека), которые соблюдают экологические нормы (см. таблицу 1). На этом основании группа получила название «сознательные». Среди представителей этой группы численность людей среднего возраста (31–50 лет) немного больше, чем в среднем по массиву, а молодежи, соответственно, меньше. Численность представителей среднего поколения близка к средним показателям по массиву. В группе «сознательных» женщин на 5 % больше, чем по массиву, а мужчин, соответственно, меньше. Среди «сознательных» респондентов окончивших техникумы и колледжи на 5 % больше, чем в среднем по массиву, соответственно, меньше тех, кто окончили вузы или получили образование на уровне средней школы. «Сознательные» чаще определяют уровень материального благосостояния семей как «средний», соответственно, среди них меньше участников опроса, которые оценивают семейный достаток «ниже среднего».

96 % представителей этой группы соблюдают правила поведения на природе. 85 % «сознательных» придерживаются правил утилизации мусора. 30 % представителей этой группы участвуют в благоустройстве территории. Таким образом, по этим вариантам ответов, показатели «сознательных» в два раза превышают средние показатели по массиву. В полтора раза чаще, чем другие, «сознательные» заботятся об экономном расходовании газа, воды, а также принимают участие в субботниках по уборке территории. «Сознательные» чаще, чем другие, являются сторонниками здорового образа жизни. Остальные варианты ответов «сознательные» отмечают реже, чем в среднем по массиву. Среди «сознательных» 85 % респондентов принимали участие в экологических акциях. Этот показатель на 7 % выше,

чем по массиву. «Сознательные» примерно на 7–10 % чаще, чем другие, среди экологических проблем Самарской области отмечают загазованность воздуха, плохое качество питьевой воды, пыль на улицах, загрязнение промышленными отходами рек, ухудшенное состояние почвы, повышенный уровень радиации.

Загрязнение отходами, мусором мест отдыха горожан, сокращение лесных массивов после пожаров, наличие вредных веществ в продуктах питания отмечены на уровне средних показателей по массиву. Остальные варианты ответов отмечены реже, чем в среднем по массиву.

## ВЫВОДЫ

Типология населения Самарской области, в зависимости от участия в различных видах экологической деятельности, наглядно демонстрирует ряд значимых социальных различий. Они проявляются в описаниях групп респондентов, выделенных на основе кластерного анализа. В целом активность участия в различных видах экологической деятельности не является высокой.

Самая многочисленная группа включает половину участников опроса. В нее входят респонденты, которые относятся к категории «умеренно активных». Представители этой группы связывают экологическую деятельность с ориентацией на здоровый образ жизни, однако их реже, чем других, беспокоят вредные вещества в продуктах питания, в строительных материалах. «Умеренно активные» реже соблюдают экологические нормы. Их характеризует низкая активность участия в акциях по уборке мусора. Однако среди актуальных экологических проблем представители этой группы чаще отмечают загрязнение окружающей среды мусором.

Примерно пятая часть участников опроса относится к группе «волонтеров-активистов». Для них характерно активное участие в акциях по уборке территории, защите бездомных животных. «Волонтеры-активисты» занимаются разработкой экологических проектов, участвуют в экологических исследованиях. При этом они реже, чем другие, обращают внимание на важность следования экологическим нормам.

Треть участников опроса входит в группу «сознательных», поскольку они чаще руководствуются экологическими нормами при утилизации мусора, в поведении на природе, в расходовании природных ресурсов. «Сознательные» чаще участвуют в акциях по благоустройству территории. Они чаще, чем другие, являются сторонниками здорового образа жизни. Пожалуй, позиция «сознательных» выглядит более последовательной в реализации ценностей экологической культуры.

Таким образом, анализ типологии показывает, что работа по формированию экологической культуры населения Самарской области нуждается в дальнейшем системном совершенствовании. На сегодняшний день основным препятствием экологической активности населения является невысокий уровень экологического просвещения во взаимосвязи с недостаточной эффективностью экологического контроля.

*Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 17-46-630560 р а «Концептуальная инновационная модель социо-эколого-экономической системы Самарского региона».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веретенников Н.Я. Глобализация экологического сознания // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Философия. Психология. Педагогика. 2014. № 2-1. С. 11–15.
2. Зазнобина Н.И., Молькова Е.Д., Гелашвили Д.Б. Сравнительная динамика социо-эколого-экономических систем России и некоторых стран большой двадцатки (G20) на основе обобщенной функции желательности // Карельский научный журнал. 2016. Т. 5. № 3. С. 45–48.
3. Доронина М.В. Социальная экология в системе современной науки // Астраханский вестник экологического образования. 2016. № 3. С. 73–76.
4. Тобоев А.И. Философские основания экологического сознания // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 1. С. 286–291.
5. Краснобаев Ю.П. Современные подходы к сохранению биологического разнообразия в границах одной из крупнейших агломераций России – Самарско-Тольяттинской (на примере Жигулевского заповедника) // Карельский научный журнал. 2016. Т. 5. № 3. С. 56–58.
6. Гирусов Э.В. Социально-экологическое образование // Век глобализации. 2015. № 1. С. 125–129.
7. Розенберг А.Г. Августовские тезисы о социальной и глубинной экологии // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. № 2. С. 195–220.
8. Чуйков Ю.С. Социальная экология и экология человека: Объекты и направления исследований // Астраханский вестник экологического образования. 2017. № 1. С. 91–109.
9. Афанасьева О.Г. Экологическая деятельность как основа формирования гармоничных отношений в системе «человек–общество–природа» // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 2. С. 400–403.
10. Шрага М.Х., Кудря Л.И. Социальная экология и футурология // Арктика и Север. 2014. № 15. С. 169–185.
11. Бабкин В.О. Социальная экология как новая развивающаяся дисциплина и её взаимосвязь с экологией человека // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 183–186.
12. Киприянова М.А. О месте социальной экологии в социологии // Историческая и социально-образовательная мысль. 2013. № 2. С. 152–157.
13. Кочергин И.Г., Преликова Е.А. Развитие социальных сетей экологической направленности // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. № 4. С. 278–285.
14. Шилова В.С. Социально-экологическая деятельность: теоретические предпосылки изучения // Научный результат. Серия: Педагогика и психология образования. 2014. № 1. С. 101–106.
15. Гринечко Е.Д., Потапов С.Э. Практическая реализация основных направлений экологической деятельности в социальном партнерстве // Вестник Челябинского государственного университета. 2014. № 4. С. 154–158.
16. Дмитракова А.С., Секлетова Н.Н. Особенности формирования экологической компетентности как элемента профессионализма специалистов технического вуза // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 2-6. С. 1382–1384.
17. Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г., Розенберг Г.С. Экологическая модернизация: становление, современное состояние и перспективы // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2013. Т. 22. № 2. С. 5–26.
18. Трифонова Т.А. Идеология потребительства в ракурсе актуальной экологической ситуации // Балтийский гуманитарный журнал. 2014. № 2. С. 27–30.
19. Бусыгин А.Г., Макеева Е.Д., Павловский В.А. Роль дисциплины «экологические организации и движения» в формировании общекультурных профессиональных компетенций студентов-экологов второго уровня подготовки (магистров) // Балтийский гуманитарный журнал. 2016. Т. 5. № 3. С. 99–101.
20. Вершков А.В. О соотношении понятий «Экологическая деятельность» и «Природопользование» // Инновационная наука. 2016. № 2-5. С. 69–72.

## REFERENCES

1. Veretennikov N.Ya. Globalization of environmental consciousness. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Filosoftiya. Psikhologiya. Pedagogika*, 2014, no. 2-1, pp. 11–15.
2. Zaznobina N.I., Molkova E.D., Gelashvili D.B. Comparative dynamics of socio-ecologo-economic systems of Russia and some countries the group of twenty (G20) on the basis of generalized desirability function. *Karelskiy nauchniy zhurnal*, 2016, vol. 5, no. 3, pp. 45–48.
3. Doronina M.V. Social ecology in the system of modern society. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2016, no. 3, pp. 73–76.
4. Toboev A.I. The philosophical bases of ecological consciousness. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 1, pp. 286–291.
5. Krasnobaev Yu.P. Modern approaches to biodiversity conservation in the territory of one of the largest agglomeration of Russia – Samara-Togliatti (on the example of the Zhiguli reserve). *Karelskiy nauchniy zhurnal*, 2016, vol. 5, no. 3, pp. 56–58.
6. Girusov E.V. Social and ecological education. *Vek globalizatsii*, 2015, no. 1, pp. 125–129.
7. Rozenberg A.G. August theses about social and deep ecology. *Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii*, 2012, no. 2, pp. 195–220.
8. Chuykov Yu.S. Social ecology and human ecology: objects and areas of research. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2017, no. 1, pp. 91–109.
9. Afanasyeva O.G. Ecological activity as a fond of the harmonic relations in the system “man–society–nature”. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2008, vol. 13, no. 2, pp. 400–403.
10. Shraga M.Kh., Kudrya L.I. Social ecology and futurology. *Arktika i Sever*, 2014, no. 15, pp. 169–185.
11. Babkin V.O. Social ecology as a new developing discipline and its relationship with human ecology. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 3, pp. 183–186.
12. Kipriyanova M.A. Concerning the place of social ecology in sociology. *Istoricheskaya i sotsialno-obrazovatel'naya mys'l'*, 2013, no. 2, pp. 152–157.

13. Kochergin I.G., Prelikova E.A. Development of social networks of the ecological orientation. *Uchyonye zapiski. Electronic scientific journal of the Kursk State University*, 2013, no. 4, pp. 278–285.
14. Shilova V.S. Social and ecological activity: the theoretical background of the study. *Nauchniy rezultat. Seriya: Pedagogika i psikhologiya obrazovaniya*, 2014, no. 1, pp. 101–106.
15. Grinechko E.D., Potapov S.E. Practical realization of the main directions of ecological activity in social partnership. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 4, pp. 154–158.
16. Dmitrakova A.S., Sekletova N.N. Aspects of forming ecological competence as the element of professionalism of specialists in technical universities. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2012, vol. 14, no. 2-6, pp. 1382–1384.
17. Kudinova G.E., Rozenberg A.G., Rozenberg G.S. Ecological modernization: formation, modern condition and prospects. *Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 5–26.
18. Trifonova T.A. Ideology of consumerism in the fore-shortening of the actual ecological situation. *Baltiyskiy gumanitarniy zhurnal*, 2014, no. 2, pp. 27–30.
19. Busygin A.G., Makeeva E.D., Pavlovsky V.A. The role of the discipline “Environmental organizations and movements” in the formation of common cultural and professional competencies of students-ecologists of the second level of training (masters). *Baltiyskiy gumanitarniy zhurnal*, 2016, vol. 5, no. 3, pp. 99–101.
20. Vershkov A.V. On the relationship between the concepts “Environmental activity” and “Nature management”. *Innovatsionnaya nauka*, 2016, no. 2-5, pp. 69–72.

### THE TYPOLOGY OF POPULATION OF SAMARA REGION ACCORDING TO THE PARTICIPATION IN THE ECOLOGICAL ACTIVITY

© 2018

*I.V. Tsvetkova*, Doctor of Sciences (Philosophy), professor of Chair “History and Philosophy”  
*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* Samara region; ecological activity; environmental issues; ecological education; ecological values; sustainable development; economic factors; social ecology.

*Abstract:* The relevance of the study is caused by the necessity to solve environmental issues basing on the participation of the population in various types of ecological activity. The concept of ecological activity is understudied in the modern science. Probably, it is caused by the fact that the ecological activity is closely related to various types of social activity of people. The paper emphasizes the theoretical approaches to the study of ecological activity, analyzes the peculiarities of philosophical, social-ecological, and sociological approaches.

It is determined that in the restrict sense the ecological activity is considered as an effective utilization of natural resources. Generally, the ecological activity is understood as a tool of harmonization between nature, engineering systems and the society. The author concludes that the background of ecological activity is the ecological culture values, which focus the activity on the protection of natural environment.

The paper emphasizes the necessity to analyze social aspects of the ecological activity. They are implemented in the creation of safe, comfortable living environment based on the effective ecological control. The author proves the conclusion that the ecological activity is an important factor in the sustainable development of civilization.

The theoretical theses served as the methodological basis for the empirical study. The object of the study is the population of Samara region. The paper identified the specific character of participation in the ecological activity of different groups of the population. In the result of the cluster analysis, the differences between three social groups according to the specificity of attitude to the ecological norms and values are determined. The author concludes that the activeness of participation in the types of ecological activity demonstrates the level of the ecological culture.

The results of the questioning indicate that the most differences can be traced in the attitude of the participants of questioning to the implementation of ecological norms, to the activities on the environmental amenities. The results of the questioning demonstrate the contradictions between the activeness of participation in the ecological activity and the environmental awareness. The conclusion is made that the gaps in the formation of the ecological culture are manifested in the level and orientation of the ecological activity of the population.



## ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ СПЕЦИАЛИСТОВ В ПОНИМАНИИ РАБОТНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И СТУДЕНТОВ

© 2018

*А.И. Щербакова*, аспирант кафедры «Социология и управление»*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Белгород (Россия)*

*Ключевые слова:* проблема профессиональной компетентности; проблема профессиональных компетенций; роль высшего образования в формировании профессиональной компетентности.

*Аннотация:* Статья посвящена рассмотрению проблемы профессиональной компетентности и профессиональных компетенций как основы успешной трудовой деятельности специалиста и цели выпускника вуза. Дается определение понятиям «профессиональная компетентность», «профессиональная компетенция» и предлагаются критерии разграничения этих понятий. Проводится краткий обзор русской и переводной зарубежной литературы, посвященной изучению данной проблемы. Рассматриваются актуальные научно-методические и практические проблемы профессиональной компетентности специалистов и выпускников вузов, а также делается акцент на роли профессионального образования в их развитии. Основная научная цель проведения социологического исследования – выявление степени и специфики понимания компетентности сотрудниками, преподавателями и студентами вузов.

В статье анализируются результаты проведенного социологического исследования, характеризующие понимание вузовскими преподавателями и студентами компетентности и ее роли в повышении эффективности и качества образования. Анализируются полученные результаты проведения самооценки профессиональных качеств респондентами-«сотрудниками». Исследование направлено на изучение общественного мнения и их понимания проблемы профессиональной компетентности, а также ее зависимости от вузов и высшего образования в целом. По результатам проведенного опроса определяется степень значимости и необходимости в более тщательной работе со студентами, направленной на формирование знания рассматриваемой проблемы.

Основной проблемой низкого уровня профессиональной компетентности видится неосведомленность сотрудников и студентов в рассматриваемой проблеме и, соответственно, незаинтересованность в своем развитии. В статье выделяется ряд профессиональных компетенций, включенных в исследовательский перечень. Список литературы включает работы, относящиеся к последнему десятилетию, и представляет исследования, выполненные наиболее авторитетными и известными в мире учеными в области социологии управления, психологии.

### ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях предлагается огромный выбор профессий и сфер деятельности. В свете глобальных экономических, политических и социальных изменений на первый план выступают требования к интеллектуальным способностям сотрудника и его профессионализму. Это и обуславливает повсеместную заинтересованность в получении высшего образования и дальнейшем продолжении профессионального развития, повышения квалификации.

Развитие профессиональной компетентности специалиста привлекает значительное внимание работодателей, что выражается в требованиях к периодическому прохождению курсов повышения квалификации или переподготовке кадров [1]. Современное российское образование, как и у других участников Болонского процесса, перестраивается на основе компетентностного подхода. Таким образом, вузами используется множество активных образовательных технологий, способствующих формированию компетенций у выпускников [2, с. 133].

В научной литературе выделяется несколько составляющих профессиональной компетентности: знания, умения, навыки, личностные качества, мотивация, которые в зависимости от вида компетенций относятся к простым (базовым) и ключевым [3; 4], взятым за основу в исследовании. Профессиональные компетенции, относящиеся к простым, формируются на знаниях, умениях, способностях и проявляются в определенных видах деятельности. Ключевые компетенции имеют

более сложный характер, они могут проявляться во всех видах деятельности [5–7]. В деятельности, основанной на базе этих компетенций, отражаются отношения личности с окружающим миром, ее духовность.

Понятия «компетентность» и «компетенция» принципиально отличаются. Ввиду наличия множества юридических и научных определений, при проведении исследования будем ориентироваться на то, которое дается в «Стратегии модернизации содержания общего образования»: «Компетентность, во-первых, объединяет в себе интеллектуальную и навыковую составляющую образования; во-вторых, в понятии компетентности заложена идеология интерпретации содержания образования, формируемого «от результата» («стандарт на выходе»); в-третьих, ключевая компетентность обладает интегративной природой, ибо она вбирает в себя ряд однородных или близкородственных умений и знаний, относящихся к широким сферам культуры и деятельности (информационной, правовой и проч.)» [8]. Таким образом, компетентность – это свод составляющих качеств профессионала, к которым специалисту стоит стремиться. А компетенция – то, чем работник уже обладает.

В 2017 г. Министерством образования и науки РФ были опубликованы обновленные приказы об утверждении федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) по направлениям подготовки [9]. В ФГОС третьего поколения подробно расписаны компетенции, которыми должен обладать выпускник той или иной специальности. Однако нельзя полностью

исключать понятие «профессиональная компетентность», давно сформировавшееся и используемое. В проводимом исследовании было выделено пять основных компетенций в каждом направлении подготовки.

Некоторые исследователи определяют основную цель профессионального образования как формирование у выпускника вуза постоянного стремления к самосовершенствованию, что, в свою очередь, положительно отражается на формировании высокообразованной личности [10].

Рабочей гипотезой исследования выступило предположение о том, что неправильное понимание работниками сферы образования содержания и возможностей компетентностного подхода может стать причиной малоэффективной работы со студентами.

Цель исследования – выявление степени и специфики понимания компетентности сотрудниками, преподавателями и студентами вузов.

### ВЫБОРКА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Социологический опрос был проведен среди студентов выпускных и старших курсов, преподавателей и сотрудников администрации Управления образования. Общая численность потенциальных респондентов – 3 247 человек. Общий объем выборочной совокупности – 100 человек (студенты, работники учреждений образования), что составляет 3 % от генеральной совокупности.

Были опрошены сотрудники и студенты (бакалавриата и магистратуры) Инженерно-строительного института (ИСИ) Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), сотрудники муниципального учреждения Управления образования администрации одного из районов Белгородской области и студенты Медицинского института (МИ) г. Белгорода. В категории «сотрудники» респондентами выступили работники разных возрастных категорий, окончившие университет 5–10 лет назад и получившие квалификацию специалиста.

Основным методом, используемым для подтверждения выдвинутой гипотезы, является анкетный опрос

вузовских преподавателей и студентов, а также сотрудников муниципальных органов управления образования. Опрос проводился при помощи социологической анкеты, предусматривающей как тестовые вопросы, так и вопросы, требующие развернутых ответов. Для каждой группы были разработаны специальные анкеты. Анкеты экспертов (преподавателей) и студентов содержали общие вопросы относительно компетентности в целом, однако половина вопросов акцентировала внимание респондентов отдельных групп на свою профессиональную компетентность и ее сравнение с компетентностью их коллег (в случае с экспертами), также на будущую компетентность (в случае со студентами).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовательский перечень «составляющих» профессиональной компетентности нами были включены, помимо ключевых компетенций, быстрое принятие решений, коммуникабельность, ответственность, опыт работы свыше трех лет [11; 12]. Респонденты (сотрудники БГТУ и Управления образования) опрашивались относительно того, какие «составляющие» они включают в содержание компетентности (рис. 1).

Сегодня среди студентов достаточно широко практикуется подработка в период обучения в вузе. Подобная практика носит двойственный характер: с одной стороны, это дополнительные средства к существованию, с другой – выполнение работы, не относящейся к получаемой студентом профессии, что для него в большинстве случаев не более чем приобретаемый стаж трудовой деятельности и «определенные трудовые навыки» [13]. Это, в свою очередь, влияет на формирование и развитие компетенций, соответствующих приобретаемой профессии. По мере приобретения опыта работы знания и умения должны только пополняться и улучшаться.

Профессиональная деятельность невозможна как без умений, так и без навыков. В научной литературе существует расширенный перечень критериев оценки компетенций, на которые могут ориентироваться молодые специалисты [14, с. 129].

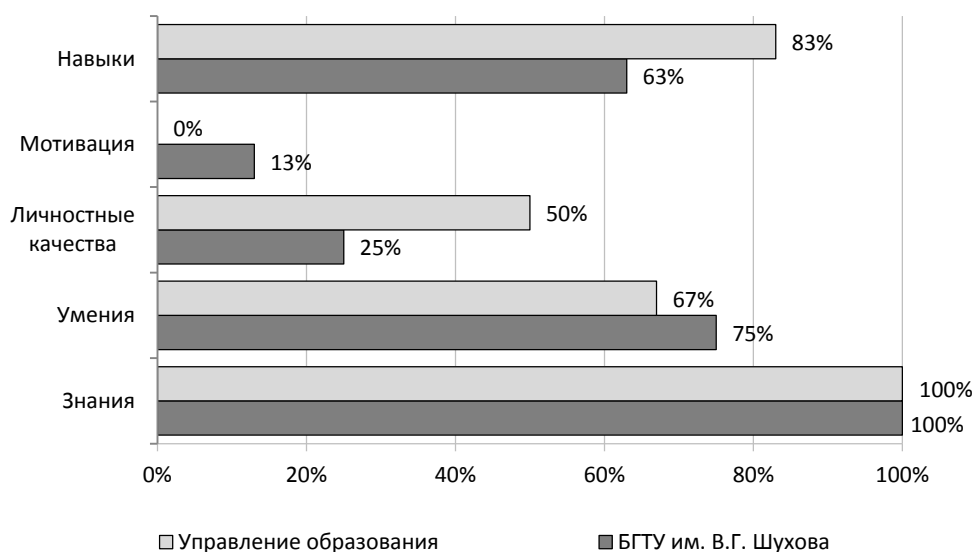


Рис. 1. Оценка составляющих профессиональной компетентности респондентами категории «сотрудники»

Касательно «личностных качеств», следует отметить их значимость для профессиональной деятельности [15]. Вместе с тем на рынке труда последнее десятилетие проявляется ограничение компетентности только тремя ее составляющими. Из ее содержания неявно исключаются личностные качества и профессиональная мотивация. Очевидно, с этим связано то, что опрошенные нами работники меньше уделяют внимания личностным качествам (25 %), мотивации (13 %).

Следует отметить, что, помимо ранее общепризнанного набора профессиональных компетентностей [16], некоторые из опрошенных указывают также на другие компетентности, имеющие или производный, или частный, или второстепенный характер (таблица 1).

Хотелось бы отметить «абсолютную» значимость ответственности в оценке сотрудников Управления образования и вместе с тем «нулевую» значимость компетентности «быстрое принятие решений».

Ценностные «поправки» внесли в свои ответы и студенты, отдав при этом предпочтение все-таки ключевым компетенциям.

На рис. 2 видны результаты выбора студентов относительно составляющих профессиональной компетентности. Указанные результаты заставляют серьезно отнестись к вопросу работы со студентами над проблемой понимания профессиональных компетенций каждого сотрудника, а также их значимости. Из этого следует, что основная задача по предоставлению знаний и формированию ответственности за собственные действия,

как профессионала, стоит перед вузами. Несмотря на то, что исследователи много внимания уделяют изучению формирования профессиональной компетентности выпускников вузов [17–19], данная проблема до сих пор актуальна.

Результаты исследования дополнительных ключевых составляющих компетентности, таких как «быстрое принятие решений», «ответственность», приведены в таблице 2.

Помимо вопросов о понимании рассматриваемого понятия, «сотрудникам» было предложено оценить свой собственный уровень компетентности (см. рис. 3). Варианты ответов: «высокий», «средний», «низкий», «затрудняюсь ответить». Ни один из респондентов при оценке своего уровня профессиональной компетентности не выбрал вариант «затрудняюсь ответить» и не определил уровень как низкий.

Результаты свидетельствуют о различии самооценки между вузовскими преподавателями и работниками администрации. Преподаватели работают с федеральными государственными образовательными стандартами, где компетенциям выпускников уделяется особое значение, с чем педагоги хорошо знакомы [20; 21]. В этой связи подверглись более тщательной проверке собственные профессиональные качества педагогов, нежели респондентов администрации.

Разница в самооценке преподавателей и сотрудников администрации основана также на разнице в их деятельности. Перед преподавателями стоит задача

Таблица 1. Оценка дополнительных профессиональных компетенций респондентами категории «сотрудники»

Вид компетенции	Распределение ответов респондентов, %	
	БГТУ им. В.Г. Шухова	Управление образования
Быстрое принятие решений	25	0
Ответственность	50	100
Опыт работы свыше трех лет	38	17
Коммуникабельность	25	17

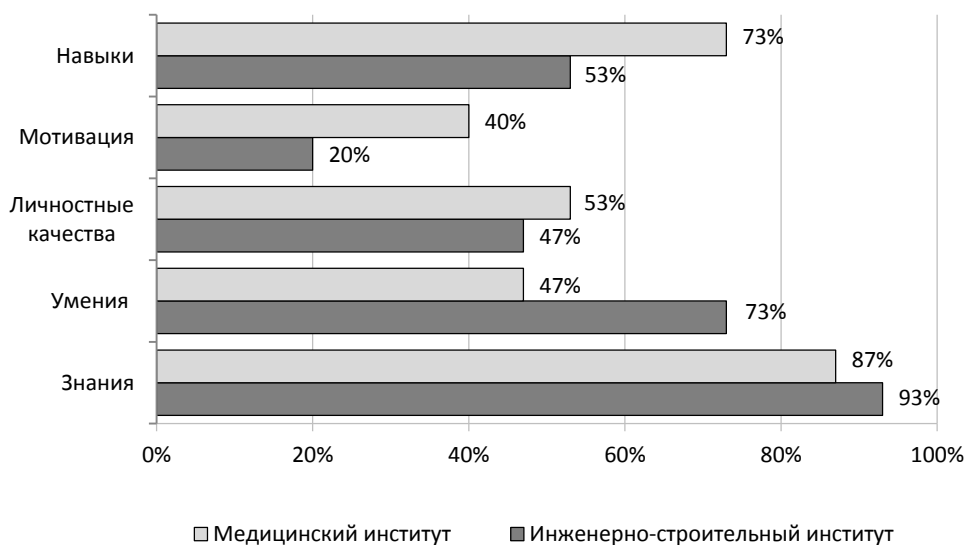
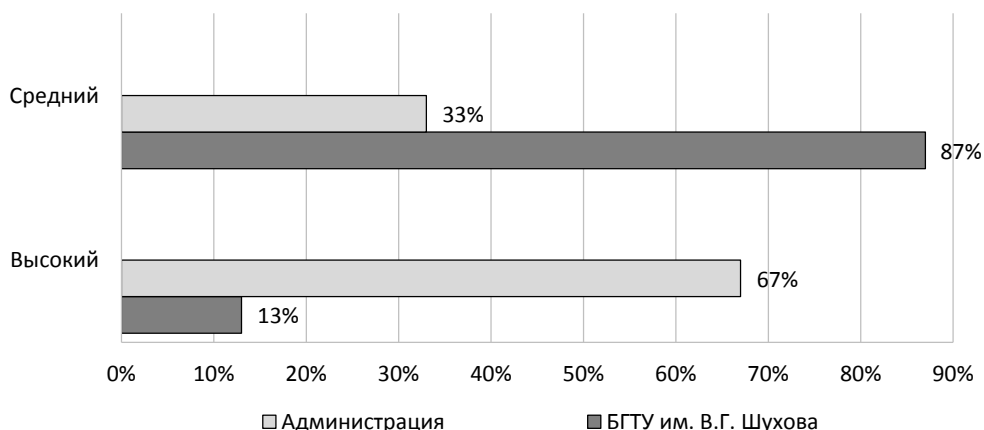


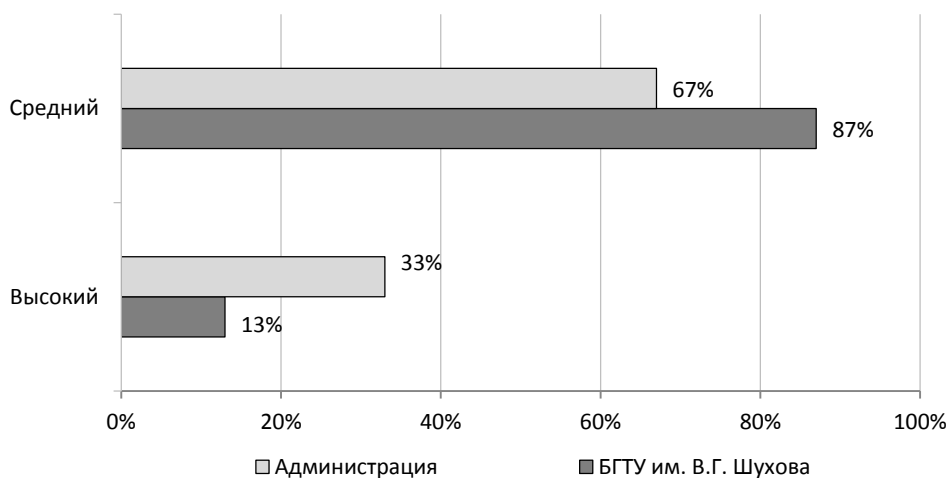
Рис. 2. Оценка простых и ключевых составляющих профессиональной компетентности респондентами категории «студенты»

**Таблица 2.** Оценка составляющих дополнительных профессиональных компетенций респондентами категории «студенты»

Вид компетенции	Распределение ответов респондентов, %	
	Инженерно-строительный институт	Медицинский институт
Быстрое принятие решений	47	60
Ответственность	74	73
Опыт работы свыше трех лет	7	7
Коммуникабельность	33	20



**Рис. 3.** Оценка собственной профессиональной компетентности респондентами категории «сотрудники» в сравнении с коллегами



**Рис. 4.** Самооценка компетентности респондентами категории «сотрудники»

самостоятельно анализировать свою педагогическую и научную деятельность с целью исправления ошибок, если таковые имеются, и повышать уровень своего профессионализма. Вероятно, преподаватели в большей мере объективно проводят самоанализ, по сравнению с сотрудниками управления; рефлексия вторых менее продуктивна, так как их деятельность оценивается их непосредственным руководителем.

Из полученных результатов (см. рис. 4) видно, что большее количество респондентов причисляют себя к специалистам со средним уровнем компетентности, так как «планка» завышена. Подобные обстоятельства благоприятно влияют на рост личности и профессиональных качеств специалистов.

Если рассматривать обоснование ответов респондентов администрации, стоит отметить, что, согласно определению сотрудниками компетенций, самооценка достаточно объективна. Благодаря приобретенному опыту представители администрации улучшили все показатели компетенции, которые касаются деловых качеств. Соответственно, имеем следующие результаты: 67 % – высокая оценка, 33 % – средняя.

Иная ситуация в ответах сотрудников администрации. На просьбу оценить уровень своей компетентности в сравнении с другими сотрудниками организации были получены следующие результаты: 33 % респондентов считают, что обладают высоким уровнем компетенций, остальные 67 % определяют свой уровень как средний.

Возможно, данное обстоятельство связано со средней возрастной категорией коллег.

Участникам социологического опроса было предложено определить степень значимости диплома о получении высшего образования: дает ли он право его обладателю после окончания университета считаться компетентным в своей сфере. Ответ предполагает выбор одного из предложенных вариантов: «да», «скорее да», «нет», «скорее нет», «затрудняюсь ответить».

В сравнении с преподавателями вуза, никто из респондентов категории «студенты» не выбрал вариант «нет»; учитывая это, стоит отметить высокую оценку высшего образования с точки зрения работников управления образования в Белгородской области (см. рис. 5).

Полученные результаты заставляют задуматься, так как процент респондентов, уверенных в значимости и возможностях высшего образования, достаточно низкий. Такое отношение можно списать на род профес-

сиональной деятельности приверженцев подобного мнения.

В отличие от опрошенных преподавателей, студенты более оптимистично видят потенциал и возможности высшего образования России (см. рис. 6).

Результаты проведенного исследования показали, что мнения относительно исследуемой проблемы разделились, однако стороны в большинстве своем считают, что высшее образование в состоянии обеспечить выпускника всеми необходимыми компетенциями для дальнейшей успешной профессиональной деятельности.

Так как основной целью анкет было определение «компетентности», близкое к научному и правовому пониманию, смело можно говорить о том, что подавляющая часть вузовских преподавателей и сотрудников администрации имеют искаженное понимание исследуемого термина, естественно, в разной степени градации относительно общепринятого определения. Ответы

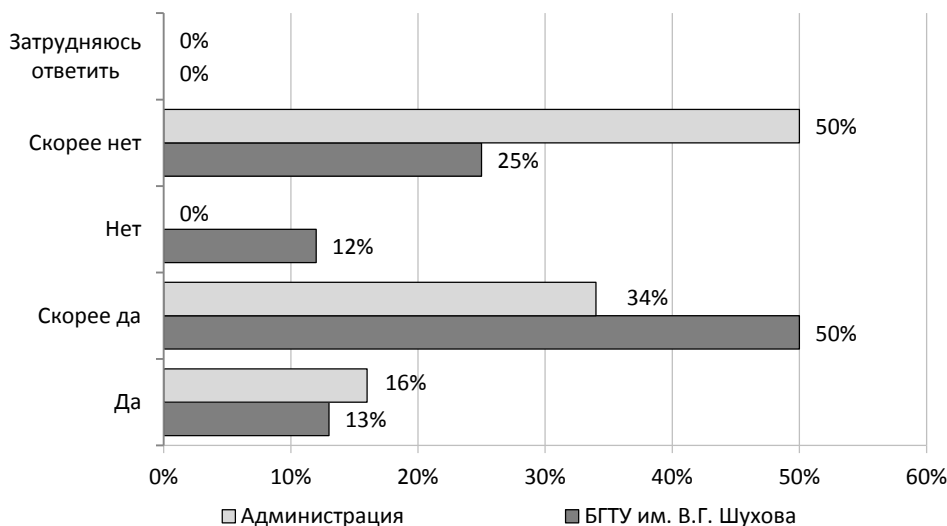


Рис. 5. Оценка профессиональной компетентности выпускников вузов респондентами категории «сотрудники»

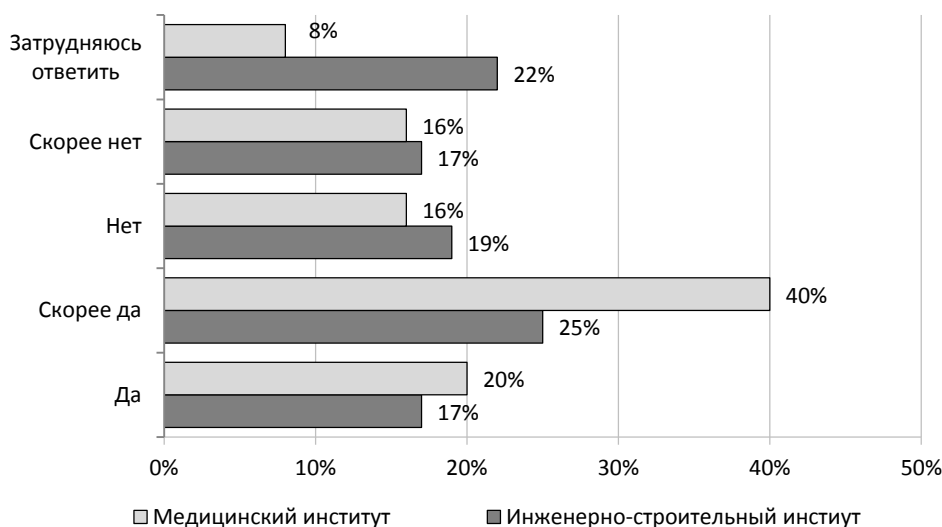


Рис. 6. Оценка компетентности выпускников вузов респондентами категории «студенты»

опрошенных содержали в большинстве своем три составляющих, на которые ориентируется образовательный процесс: знания, умения, навыки, однако это лишь его часть. Остальные две составляющие ключевых компетенций («быстрое принятие решений», «ответственность») либо совершенно не учитывались, либо имели незначительный приоритет среди преподавателей и студентов. Соответственно, неправильно расставленные приоритеты ориентируют людей на соответствующую направленность трудовой деятельности или в целом влияют на ее качество. Такая же проблема наблюдается у будущих «молодых специалистов». Приоритеты, расставленные в процессе формирования профессиональной компетентности, будут оказывать влияние на их трудовую деятельность в будущем.

## ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что обе группы объективно оценили уровень собственной профессиональной компетентности, но при этом имеют нечеткое понимание ее составляющих. Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают выдвинутую ранее гипотезу о значимости понимания работниками сферы образования профессиональной компетентности в подготовке специалистов.

*Работа выполнена в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чикилева Е.Н., Данакин Н.С., Строкова В.В. Специфика разработки и реализации образовательных программ дополнительного профессионального образования по прямому заказу предприятия // Образование и общество. 2016. Т. 1. № 96. С. 123–127.
2. Алисултанова Э.Д. О компетентном подходе в инженерном образовании // Педагогический журнал Башкортостана. 2011. № 1. С. 130–134.
3. Лысов С.Н. Управление профессиональными компетенциями в строительном комплексе Российской Федерации // Приволжский научный журнал. 2014. № 4. С. 260–267.
4. Талызина Н.Ф., Печенюк Н.Г., Хихловский Л.Б. Пути разработки профиля специалиста. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1987. 173 с.
5. Овчинников А.В. О классификации компетенций // Организационная психология. 2014. Т. 4. № 4. С. 145–153.
6. Хмелькова Н.В., Сыромятников В.Н. О содержании и классификации компетенций // Новые информационные технологии в образовании: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2014. С. 482–485.
7. Павловская Т.А. Классификация типов компетенций в структуре трудового потенциала // Научное обозрение. 2015. № 6. С. 279–285.
8. Стратегия модернизации содержания общего образования: Материалы для разработки документов по обновлению общего образования. М.: Мир книги, 2001. 104 с.
9. РФ. Минобрнауки. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта ос-

новного общего образования в новой редакции: проект приказа от 09.07.2017.

10. Минзаринов Р.Г., Ившина Г.В. Гуманитарная среда классического университета и формирование конкурентоспособной личности // Высшее образование в России. 2009. № 5. С. 42–50.
11. Почебут Л.Г. Теория межкультурной коммуникативной компетентности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 6. Философия, политология, социология, психология, право, международные отношения. 2007. № 3. С. 23–33.
12. Чен Г.-М., Староста У.Д. Межкультурная коммуникативная компетентность: синтез // Communication Yearbook. 1996. № 19. С. 353–383.
13. Данакин Н.С., Шутенко А.И. Конкурентоспособность выпускников как показатель эффективности работы современного вуза // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1586.
14. Морозова Я.В. Профессиональная компетентность российской молодежи в условиях новой социальной реальности: методологические приоритеты исследования // Историческая и социально-образовательная мысль. 2015. Т. 7. № 3. С. 126–130.
15. Черняк Н.В. Классификации моделей межкультурной компетенции // Альманах современной науки и образования. 2015. № 2. С. 119–125.
16. Хуторской А.В. Ключевые компетенции. Технология конструирования // Народное образование. 2003. № 5. С. 55–61.
17. Дорофеев А.А. Профессиональная компетентность как показатель качества образования // Высшее образование в России. 2005. № 4. С. 30–33.
18. Кириленко О.Ю., Позднякова И.Р. Формирование профессиональной компетентности будущего педагога как показатель качества высшего образования // Международный журнал экспериментального образования. 2010. № 4. С. 26–27.
19. Катуржевская О.В. Профессиональная компетентность выпускника вуза как показатель качества образования // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Педагогика, психология. 2015. № 3. С. 98–102.
20. Данакин Н.С., Конев И.В., Хазиев И.Х., Строкова В.В., Муртазаев С.А., Алисултанова Э.Д., Щербакова А.И. Качество профессионального образования в контексте обеспечения национальной безопасности. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. 237 с.
21. Андреева Н.А., Корчагина Е.В., Пахомова О.А. Новые образовательные технологии как способ формирования профессиональных компетенций при подготовке специалистов в системе высшего профессионального образования // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2013. Т. 2. № 1. С. 57–59.

## REFERENCES

1. Chikileva E.N., Danakin N.S., Strokova V.V. Specificity of the development and realization of educational programs of the additional professional education by enterprise order. *Obrazovanie i obshchestvo*, 2016, vol. 1, no. 96, pp. 123–127.

2. Alisultanova E.D. About the competent approach in the engineer education. *Pedagogicheskiy zhurnal Bashkortostana*, 2011, no. 1, pp. 130–134.
3. Lysov S.N. Management of professional competences in construction complex of Russian Federation. *Privolzhskiy nauchniy zhurnal*, 2014, no. 4, pp. 260–267.
4. Talyzina N.F., Pechenyuk N.G., Khikhlovsky L.B. *Puti razrabotki profilya spetsialista* [Ways of the specialist profile development]. Saratov, Saratovskiy universitet Publ., 1987. 173 p.
5. Ovchinnikov A.V. On the competences classification. *Organizatsionnaya psikhologiya*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 145–153.
6. Khmelkova N.V., Syromyatnikov V.N. About the content and competence classification. *Materialy VII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Novye informatsionnye tekhnologii v obrazovanii"*. Ekaterinburg, 2014, pp. 482–485.
7. Pavlovskaya T.A. Classification of the types of competences in the structure of labor potential. *Nauchnoe obozrenie*, 2015, no. 6, pp. 279–285.
8. *Strategiya modernizatsii soderzhaniya obshchego obrazovaniya: Materialy slyazh razrabotki dokumentov po obnovleniyu obshchego obrazovaniya* [Upgrading strategy of general education content: Materials for the documents development for general education renovation]. Moscow, Mir knigi Publ., 2001. 104 p.
9. Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Draft order "About the approval of the federal state educational standard of basic general education in a new edition", 09.07.2017. (In Russ.).
10. Minzaripov R.G., Ivshina G.V. Humanitarian sphere of classical university and competitiveness of a young specialist. *Vyshee obrazovanie v Rossii*, 2009, no. 5, pp. 42–50.
11. Pechebut L.G. The theory of cross-cultural communicational competence. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 6. Filosofiya, politologiya, sotsiologiya, psikhologiya, pravo, mezhdunarodnye otnosheniya*, 2007, no. 3, pp. 23–33.
12. Chen G.-M., Starosta U.D. Intercultural Communication Competence: A Synthesis. *Communication Yearbook*, 1996, no. 19, pp. 353–383.
13. Danakin N.S., Shutenko A.I. Competitiveness of graduates as indicator of overall performance of modern higher education institution. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 6, p. 1586.
14. Morozova Ya.V. Occupation-specific competence in Russian young people when those fitting to newly social actuality: procedural priorities of the study. *Istoricheskaya i sotsialno-obrazovatel'naya mysl'*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 126–130.
15. Chernyak N.V. Classification of models of intercultural competence. *Almanakh sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2015, no. 2, pp. 119–125.
16. Khutorskoy A.V. Core competencies. Construction technology. *Narodnoe obrazovanie*, 2003, no. 5, pp. 55–61.
17. Dorofeev A.A. Professional competence as an indicator of education quality. *Vyshee obrazovanie v Rossii*, 2005, no. 4, pp. 30–33.
18. Kirilenko O.Yu., Pozdnyakova I.R. Professional competence formation of future teacher as an indicator of higher education quality. *Mezhdunarodniy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*, 2010, no. 4, pp. 26–27.
19. Katurzhevskaya O.V. Professional competence of a university graduate as an indicator of the educational quality. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pedagogika, psikhologiya*, 2015, no. 3, pp. 98–102.
20. Danakin N.S., Konev I.V., Khaziev I.Kh., Strokova V.V., Murtazaev S.A., Alisultanova E.D., Shcherbakova A.I. *Kachestvo professional'nogo obrazovaniya v kontekste obespecheniya natsionalnoy bezopasnosti* [Quality of professional education in context of national security]. Belgorod, BGTU Publ., 2015. 237 p.
21. Andreeva N.A., Korchagina E.V., Pakhomova O.A. New-build educational technologies as a professional competence shaping method in the time of specialists training in the system of high education. *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*, 2013, vol. 2, no. 1, pp. 57–59.

**PROFESSIONAL COMPETENCE OF SPECIALISTS AS IT IS UNDERSTOOD  
BY EMPLOYEES OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS AND STUDENTS**

© 2018

*A.I. Shcherbakova*, postgraduate student of Chair “Sociology and Management”  
*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod (Russia)*

*Keywords:* problem of professional competence; problem of professional competencies; role of higher education in formation of professional competence.

*Abstract:* The paper studies the problem of professional competence and professional competencies as the basis for the successful performance of a specialist and the goal of a university graduate. Such concepts as “professional competence” and “professional competency” are defined, and the criteria for distinguishing these concepts are given. A short review of Russian and foreign literature which studies this problem is presented. Current scientific, methodological and practical issues of professional competence of specialists and graduates of higher educational institutions are considered with the emphasis on the role of vocational education in their development. The main scientific goal of the sociological research is to identify the degree and peculiarity of understanding the competence by university employees, teachers, and students.

The paper analyzes the results of the sociological study that characterizes understanding by university teachers and students of the competence and its role in improving the efficiency and quality of education. The results of self-assessment of the professional qualities performed by employees as respondents are analyzed. The research is aimed at studying public opinion and their understanding of the concept of professional competence, as well as its dependence on universities and higher education in general.

The main problem of the low level of professional competence is the ignorance of employees and students in the problem under consideration and, as a consequence, low interest in their development. The author specifies a number of professional competencies included in the research list. The list of literature includes works of the recent decade and presents researches carried out by the most authoritative and well-known scientists in the field of sociology of management, and psychology.



---

## НАШИ АВТОРЫ

**Березнер Арсений Дмитриевич**, аспирант кафедры теоретической и экспериментальной физики.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Васильева Оксана Анатольевна**, преподаватель кафедры русского языка.

Адрес: Филиал Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 446007, Россия, г. Сызрань, ул. Маршала Жукова, 1.

Тел.: 8 927 216-71-30

E-mail: vasiliewa.oksan.2014@yandex.ru

**Викарчук Анатолий Алексеевич**, доктор физико-математических наук, профессор, начальник НИО-3 «Нанокатализаторы и функциональные материалы».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: (8482) 53-93-00

E-mail: fti@tltsu.ru

**Гасанов Михаил Фахрадинович**, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и экспериментальной физики.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: gasanovmf@yandex.ru

**Гончарова Евгения Васильевна**, аспирант кафедры общей физики, младший научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов».

Адрес: Воронежский государственный педагогический университет, 394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.

Тел.: (473) 255-47-22

E-mail: goncharova.evg@mail.ru

**Гринько Андрей Александрович**, кандидат исторических наук, доцент кафедры гуманитарных дисциплин.

Адрес: Дальневосточный государственный аграрный университет, 675009, Россия, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86.

Тел.: 8 924 440-12-38

E-mail: andrey2007-85@mail.ru

**Громов Виктор Евгеньевич**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой естественных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля.

Адрес: Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Тел.: (3843) 46-35-02

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

**Гурских Алексей Валерьевич**, кандидат технических наук, начальник исследовательской лаборатории.

Адрес: АО «ПОЛЕМА», 300016, Россия, г. Тула, ул. Пржевальского, 3.

Тел.: +7 960 618-47-79

E-mail: avg@polema.net

**Гусев Максим Андреевич**, ведущий инженер.

Адрес: Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49.

Тел.: (812) 274-13-24

E-mail: npk3@crism.ru

**Денисова Алёна Геннадьевна**, аспирант кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика».

Адрес: Тольяттинский государственный университет, 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14.

Тел.: 8 927 778-08-79

E-mail: aliona.denisova.tlt@gmail.com

**Досимов Асиат Саинович**, магистрант.

Адрес: Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а.

Тел.: (8512) 61-09-94

E-mail: dosasiat@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

**Жукова Юлия Сергеевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.

Тел.: (499) 238-81-31

E-mail: yulia.s.zhukova@gmail.com

**Загуляев Дмитрий Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля.

Адрес: Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Тел.: (3843) 46-35-02

E-mail: zagulyaev\_dv@bk.ru

**Зотов Олег Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и исследование материалов».

Адрес: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Тел.: (812) 294-42-22

E-mail: zog-58@mail.ru

**Ильин Алексей Витальевич**, доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора.

Адрес: Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49.

Тел.: (812) 274-18-22

E-mail: npk3@crism.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

**Кобелев Николай Павлович**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.

Адрес: Институт физики твердого тела РАН, 142432, Россия, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, 2.

Тел.: (496) 52-219-82

E-mail: kobelev@issp.ac.ru

**Кончаков Роман Анатольевич**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, старший научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов».

Адрес: Воронежский государственный педагогический университет, 394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.

Тел.: (473) 255-47-22

E-mail: konchakov@mail.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

**Крит Борис Львович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов».

Адрес: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 109383, Россия, г. Москва, ул. Полбина, 45.

Тел.: +7 916 677-26-08

E-mail: bkrit@mail.ru

**Кувшинов Владимир Владиславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети».

Адрес: Севастопольский государственный университет, 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Курчатова, 7.

Тел.: +7 978 761-92-64

E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

**Кукушкин Дмитрий Юрьевич**, ассистент кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии».

Адрес: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 109383, Россия, г. Москва, ул. Полбина, 45.

Тел.: +7 909 679-19-54

E-mail: Skyline34@nxt.ru

**Курбанов Ибрагим Алиевич**, кандидат филологических наук, профессор, заведующий кафедрой лингвистики и переводоведения.

Адрес: Сургутский государственный университет, 628410, Россия, г. Сургут, ул. Ленина, 1.

Тел.: 8 922 409-24-24

E-mail: ibragimkurbanov@mail.ru

**Легчило Виталий Вячеславович**, аспирант кафедры металловедения.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: 8 908 908-99-99

E-mail: Leg\_1@mail.ru

**Макаров Андрей Сергеевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, старший научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов».

Адрес: Воронежский государственный педагогический университет, 394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.

Тел.: (473) 255-47-22

E-mail: a.s.makarov.vrn@gmail.com

**Маркадеева Алена Юрьевна**, аспирант, инженер.

Адрес: Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатowski институт», 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Шпалерная, 49.

Тел.: (812) 274-13-24

E-mail: npk3@crism.ru

**Морозова Наталья Владиславовна**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Медицинская техника».

Адрес: Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, 123995, Россия, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1.

Тел.: +7 926 246-81-79

E-mail: innat.m@mail.ru

**Наумов Антон Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и исследование материалов».

Адрес: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Тел.: (812) 294-42-22

E-mail: anton.naumov@spbstu.ru

**Нескоромный Станислав Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент.

Адрес: Донской государственный технический университет, 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

Тел.: (863) 273-85-99

E-mail: nescoromniy@mail.ru

**Никифорова Светлана Михайловна**, аспирант кафедры металловедения.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: 8 950 657-59-06

E-mail: Lana\_ku\_25@mail.ru

**Озерец Наталья Николаевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металловедения.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: 8 902 268-73-46

E-mail: ozerets@mail.ru

**Панов Юрий Викторович**, старший преподаватель.

Адрес: Донской государственный технический университет, 344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

Тел.: (863) 273-85-99

E-mail: u-panov@yandex.ru

**Плужникова Татьяна Николаевна**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: feodorov@tsu.tmb.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

**Рзаев Радмир Адильбекович**, старший преподаватель кафедры «Материаловедение и технология сварки».

Адрес: Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а.

Тел.: (8512) 61-09-94

E-mail: radmir.82@mail.ru

**Савкин Алексей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии».

Адрес: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 109383, Россия, г. Москва, ул. Полбина, 45.

Тел.: +7 925 780-16-90

E-mail: Savkin@inbox.ru

**Сало Виктория Эдуардовна**, преподаватель кафедры лингвистики и переводоведения.

Адрес: Сургутский государственный университет, 628410, Россия, г. Сургут, ул. Ленина, 1.

Тел.: 8 982 190-15-54

E-mail: salka20\_02@mail.ru

**Самедов Эльвин Сафар оглы**, аспирант.

Адрес: Институт языкознания имени Насими Национальной академии наук Азербайджана, AZ1143, Азербайджан, г. Баку, пр-т Джавида Гусейна, 31.

E-mail: konul\_habibova@mail.ru

**Федоров Виктор Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики, заслуженный деятель науки РФ.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Федотов Дмитрий Юрьевич**, ассистент кафедры теоретической и экспериментальной физики.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Филиппов Михаил Александрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металловедения.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: 8 912 252-43-42

E-mail: filma1936@mail.ru

**Филонов Михаил Рудольфович**, доктор технических наук, профессор, проректор по науке и инновациям.

Адрес: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 4.

Тел.: (499) 237-22-25

E-mail: filonov@misis.ru

**Хоник Виталий Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики, главный научный сотрудник лаборатории «Физика некристаллических материалов».

Адрес: Воронежский государственный педагогический университет, 394043, Россия, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.

Тел.: (473) 255-47-22

E-mail: v.a.khonik@vspu.ac.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

**Чуларис Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства».

Адрес: Донской государственный технический университет, 344010, Россия, г. Ростов-на-Дону, площадь Гагарина, 1.

Тел.: (8632) 273-83-36

E-mail: radmir.82@mail.ru

**Шлыкова Александра Александровна**, магистрант кафедры теоретической и экспериментальной физики.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: alexandra.shlykova@list.ru

**Шляров Виталий Владиславович**, студент.

Адрес: Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Тел.: (3843) 46-35-02

E-mail: shlyarov@mail.ru

**Щербакова Анастасия Игоревна**, аспирант кафедры «Социология и управление».

Адрес: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Тел.: (4722) 54-90-41

E-mail: scherbacovaa@gmail.com

**Эстемирова Светлана Хусановна**, заведующий лабораторией кафедры металловедения, старший научный сотрудник.

Адрес 1: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Адрес 2: Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, 620016, Россия, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101.

Тел.: 8 908 926-87-23

E-mail: esveta@mail.ru

**Ягудин Георгий Александрович**, магистр, студент кафедры металловедения.

Адрес: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Тел.: 8 922 111-31-35

E-mail: clone-94@mail.ru

**Яковлев Алексей Владимирович**, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры педагогики и образовательных технологий.

Адрес: Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 392000, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.

Тел.: (4752) 72-34-34

E-mail: DAK-83@mail.ru

---

## OUR AUTHORS

**Berezner Arseniy Dmitrievich**, postgraduate student of Chair of Theoretical and Experimental Physics.  
Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.  
Tel.: (4752) 72-34-34  
E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Chularis Aleksandr Aleksandrovich**, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Machines and Automation of Welding Manufacturing”.  
Address: Don State Technical University, 344010, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.  
Tel.: (8632) 273-83-36  
E-mail: radmir.82@mail.ru

**Denisova Alyona Gennadijevna**, postgraduate student of Chair “Nanotechnologies, material science and mechanics”.  
Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.  
Tel.: 8 927 778-08-79  
E-mail: aliona.denisova.tlt@gmail.com

**Dosimov Asiat Sainovich**, graduate student.  
Address: Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev Street, 20a.  
Tel.: (8512) 61-09-94  
E-mail: dosasiat@mail.ru

**Dubinsky Sergey Mikhailovich**, PhD (Engineering), Associate Professor.  
Address: National University of Science and Technology “MISIS”, 119049, Russia, Moscow, Leninsky Prospect, 4.  
Tel.: (499) 238-81-31  
E-mail: sdubinskiy@gmail.com

**Estemirova Svetlana Khusainovna**, Head of Laboratory of Chair of Metallography, senior researcher.  
Address 1: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.  
Address 2: Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 620016, Russia, Yekaterinburg, Amundsen Street, 101.  
Tel.: 8 908 926-87-23  
E-mail: esveta@mail.ru

**Fedorov Viktor Aleksandrovich**, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, professor of Chair of Theoretical and Experimental Physics, Honored master of sciences.  
Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.  
Tel.: (4752) 72-34-34  
E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Fedotov Dmitriy Yurievich**, assistant of Chair of Theoretical and Experimental Physics.  
Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.  
Tel.: (4752) 72-34-34  
E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Filippov Mikhail Aleksandrovich**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, professor of Chair of Metallography.  
Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.  
Tel.: 8 912 252-43-42  
E-mail: filma1936@mail.ru

**Filonov Mikhail Rudolfovich**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, vice-rector for science and innovation.  
Address: National University of Science and Technology “MISIS”, 119049, Russia, Moscow, Leninsky Prospect, 4.  
Tel.: (499) 237-22-25  
E-mail: filonov@misis.ru

**Gasnov Mikhail Fakhraddinovich**, PhD (Physics and Mathematics), senior lecturer of Chair of Theoretical and Experimental Physics.  
Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.  
Tel.: (4752) 72-34-34  
E-mail: gasnovmf@yandex.ru

**Goncharova Evgeniya Vasilievna**, postgraduate student of Chair of general physics, junior researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”.

Address: Voronezh State Pedagogical University, 394043, Russia, Voronezh, Lenin Street, 86.

Tel.: (473) 255-47-22

E-mail: goncharova.evg@mail.ru

**Grinko Andrey Aleksandrovich**, PhD (History), assistant professor of Chair of the Humanities.

Address: Far East State Agrarian University, 675009, Russia, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya Street, 86.

Tel.: 8 924 440-12-38

E-mail: andrey2007-85@mail.ru

**Gromov Viktor Evgenievich**, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Head of professor V.M. Finkel Chair of Natural Sciences.

Address: Siberian State Industrial University, 654007, Russia, Novokuznetsk, Kirov Street, 42.

Tel.: (3843) 46-35-02

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

**Gurskikh Aleksey Valerievich**, PhD (Engineering), Head of research laboratory.

Address: JSC “POLEMA”, 300016, Russia, Tula, Przhevalsky Street, 3.

Tel.: +7 960 618-47-79

E-mail: avg@polema.net

**Gusev Maksim Andreevich**, principal engineer.

Address: I.V. Gorynin Central Research Institute of Structural Materials “Prometey” of National Research Center “Kurchatov Institute”, 191015, Russia, St. Petersburg, Shpalernaya Street, 49.

Tel.: (812) 274-13-24

E-mail: npk3@crism.ru

**Ilyin Aleksey Vitalievich**, Doctor of Sciences (Engineering), associate professor, Deputy Director.

Address: I.V. Gorynin Central Research Institute of Structural Materials “Prometey” of National Research Center “Kurchatov Institute”, 191015, Russia, St. Petersburg, Shpalernaya Street, 49.

Tel.: (812) 274-18-22

E-mail: npk3@crism.ru

**Kazakbiev Alibek Magaramovich**, postgraduate student.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninsky Prospect, 4.

Tel.: +7 917 542-22-18

E-mail: kazakbiev@yandex.ru

**Khonik Vitaliy Aleksandrovich**, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Head of Chair of general physics, chief researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”.

Address: Voronezh State Pedagogical University, 394043, Russia, Voronezh, Lenin Street, 86.

Tel.: (473) 255-47-22

E-mail: v.a.khonik@vspu.ac.ru

**Kobelev Nikolay Pavlovich**, PhD (Physics and Mathematics), senior researcher.

Address: Institute for Solid State Physics RAS, 142432, Russia, Chernogolovka, Academician Osipyan Street, 2.

Tel.: (496) 52-219-82

E-mail: kobelev@issp.ac.ru

**Konchakov Roman Anatolievich**, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, assistant professor of Chair of general physics, senior researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”.

Address: Voronezh State Pedagogical University, 394043, Russia, Voronezh, Lenin Street, 86.

Tel.: (473) 255-47-22

E-mail: konchakov@mail.ru

**Korobkova Anastasia Anatolievna**, postgraduate student.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninsky Prospect, 4.

Tel.: (499) 238-81-31

E-mail: nastyakorobkova@gmail.com



**Krit Boris Lvovich**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of Chair “Technologies of Production of Devices and Information Systems for Aircraft Control”.

Address: Moscow Aviation Institute (National Research University), 109383, Russia, Moscow, Polbin Street, 45.

Tel.: +7 916 677-26-08

E-mail: bkrit@mail.ru

**Kukushkin Dmitriy Yurievich**, assistant of Chair “Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnologies”.

Address: Moscow Aviation Institute (National Research University), 109383, Russia, Moscow, Polbin Street, 45.

Tel.: +7 909 679-19-54

E-mail: Skyline34@nxt.ru

**Kurbanov Ibragim Alievich**, PhD (Linguistics), Professor, Head of Chair Linguistics and Translation Studies.

Address: Surgut State University, 628410, Russia, Surgut, Lenin Street, 1.

Tel.: 8 922 409-24-24

E-mail: ibragimkurbanov@mail.ru

**Kuvshinov Vladimir Vladislavovich**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Renewables and Electric Systems and Networks”.

Address: Sevastopol State University, 299053, Russia, Sevastopol, Kurchatov Street, 7.

Tel.: +7 978 761-92-64

E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

**Legchilo Vitaliy Vyacheslavovich**, postgraduate student of Chair of Metallography.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Tel.: 8 908 908-99-99

E-mail: Leg\_1@mail.ru

**Makarov Andrey Sergeevich**, PhD (Physics and Mathematics), assistant professor of Chair of general physics, senior researcher of Laboratory “Physics of Non-Crystalline Materials”.

Address: Voronezh State Pedagogical University, 394043, Russia, Voronezh, Lenin Street, 86.

Tel.: (473) 255-47-22

E-mail: a.s.makarov.vrn@gmail.com

**Markadeeva Alena Yurievna**, postgraduate student, engineer.

Address: I.V. Gorynin Central Research Institute of Structural Materials “Prometey” of National Research Center “Kurchatov Institute”, 191015, Russia, St. Petersburg, Shpalernaya Street, 49.

Tel.: (812) 274-13-24

E-mail: npk3@crism.ru

**Morozova Natalya Vladislavovna**, PhD (Pedagogics), assistant professor of Chair “Medical Equipment”.

Address: Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 123995, Russia, Moscow, Barrikadnaya Street, 2/1.

Tel.: +7 926 246-81-79

E-mail: innat.m@mail.ru

**Naumov Anton Alekseevich**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Technology and Materials Research”.

Address: Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, 195251, Russia, Saint Petersburg, Politekhnicheskaya Street, 29.

Tel.: (812) 294-42-22

E-mail: anton.naumov@spbstu.ru

**Neskoromniy Stanislav Valerievich**, PhD (Engineering), Associate Professor.

Address: Don State Technical University, 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Tel.: (863) 273-85-99

E-mail: nescoromniy@mail.ru

**Nikiforova Svetlana Mikhailovna**, postgraduate student of Chair of Metallography.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Tel.: 8 950 657-59-06

E-mail: Lana\_ku\_25@mail.ru

**Ozerets Natalia Nikolaevna**, PhD (Engineering), Associate Professor, assistant professor of Chair of Metallography.  
Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.  
Tel.: 8 902 268-73-46  
E-mail: ozerets@mail.ru

**Panov Yuriy Viktorovich**, senior lecturer.  
Address: Don State Technical University, 344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.  
Tel.: (863) 273-85-99  
E-mail: u-panov@yandex.ru

**Pluzhnikova Tatyana Nikolaevna**, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, assistant professor of Chair of Theoretical and Experimental Physics.  
Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.  
Tel.: (4752) 72-34-34  
E-mail: feodorov@tsu.tmb.ru

**Prokoshkin Sergey Dmitrievich**, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, chief researcher.  
Address: National University of Science and Technology "MISiS", 119049, Russia, Moscow, Leninsky Prospect, 4.  
Tel.: (499) 238-81-31  
E-mail: prokoshkin@tmo.misis.ru

**Rzaev Radmir Adilbekovich**, senior lecturer of Chair "Material Science and Welding Technology".  
Address: Astrakhan State University, 414056, Russia, Astrakhan, Tatishchev Street, 20a.  
Tel.: (8512) 61-09-94  
E-mail: radmir.82@mail.ru

**Salo Viktoria Eduardovna**, lecturer of Chair of Linguistics and Translation Studies.  
Address: Surgut State University, 628410, Russia, Surgut, Lenin Street, 1.  
Tel.: 8 982 190-15-54  
E-mail: salka20\_02@mail.ru

**Samedov Elvin Safar ogly**, postgraduate student.  
Address: Nasimi Institute of Linguistics of Azerbaijan National Academy of Sciences, AZ1143, Azerbaijan, Baku, Dzhavid Gusein Prospect, 31.  
E-mail: konul\_habibova@mail.ru

**Savkin Aleksey Vladimirovich**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair "Radioelectronics, Telecommunications and Nanotechnologies".  
Address: Moscow Aviation Institute (National Research University), 109383, Russia, Moscow, Polbin Street, 45.  
Tel.: +7 925 780-16-90  
E-mail: Savkin@inbox.ru

**Shcherbakova Anastasia Igorevna**, postgraduate student of Chair "Sociology and Management".  
Address: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 308012, Russia, Belgorod, Kostyukov Street, 46.  
Tel.: (4722) 54-90-41  
E-mail: scherbacovaa@gmail.com

**Shlyarov Vitaliy Vladislavovich**, student.  
Address: Siberian State Industrial University, 654007, Russia, Novokuznetsk, Kirov Street, 42.  
Tel.: (3843) 46-35-02  
E-mail: shlyarov@mail.ru

**Shlykova Aleksandra Aleksandrovna**, graduate student of Chair of Theoretical and Experimental Physics.  
Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.  
Tel.: (4752) 72-34-34  
E-mail: alexandra.shlykova@list.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**, lecturer of Chair of the Russian language.

Address: Branch of the Military Scientific Training Center of Airforce “Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Military Air Force Academy”, 446007, Russia, Syzran, Marshal Zhukov Street, 1.

Tel.: 8 927 216-71-30

E-mail: vasiliewa.oksan.2014@yandex.ru

**Vikarchuk Anatoliy Alekseevich**, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Research and Development Department-3 “Nanocatalysts and functional materials”.

Address: Togliatti State University, 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya Street, 14.

Tel.: (8482) 53-93-00

E-mail: fti@tltsu.ru

**Yagudin Georgiy Aleksandrovich**, master, student of Chair of Metallography.

Address: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Russia, Yekaterinburg, Mira Street, 19.

Tel.: 8 922 111-31-35

E-mail: clone-94@mail.ru

**Yakovlev Aleksey Vladimirovich**, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, assistant professor of Chair of Pedagogy and Educational Technologies.

Address: Tambov State University named after G.R. Derzhavin, 392000, Russia, Tambov, Internatsionalnaya Street, 33.

Tel.: (4752) 72-34-34

E-mail: DAK-83@mail.ru

**Zagulyaev Dmitriy Valerievich**, PhD (Engineering), Associate Professor, assistant professor of professor V.M. Finkel Chair of Natural Sciences.

Address: Siberian State Industrial University, 654007, Russia, Novokuznetsk, Kirov Street, 42.

Tel.: (3843) 46-35-02

E-mail: zagulyaev\_dv@bk.ru

**Zhukova Yulia Sergeevna**, PhD (Engineering), senior researcher.

Address: National University of Science and Technology “MISiS”, 119049, Russia, Moscow, Leninsky Prospect, 4.

Tel.: (499) 238-81-31

E-mail: yulia.s.zhukova@gmail.com

**Zotov Oleg Gennadievich**, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Technology and Materials Research”.

Address: Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, 195251, Russia, Saint Petersburg, Politekhnickeskaya Street, 29.

Tel.: (812) 294-42-22

E-mail: zog-58@mail.ru