

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 %), H₂O (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.

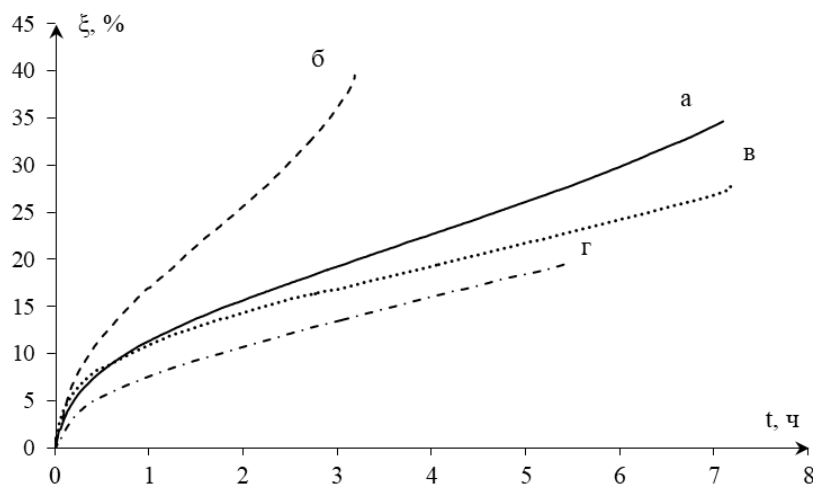


Рис. 1. Кривые ползучести алюминия, полученные без магнитного поля и при воздействии магнитным полем:
а – без воздействия магнитным полем; б – 0,1 Тл; в – 0,16 Тл; г – 0,5 Тл

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 ξ'_{mg} – усредненное значение скорости ползучести при воздействии магнитным полем;
 ξ' – 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 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.

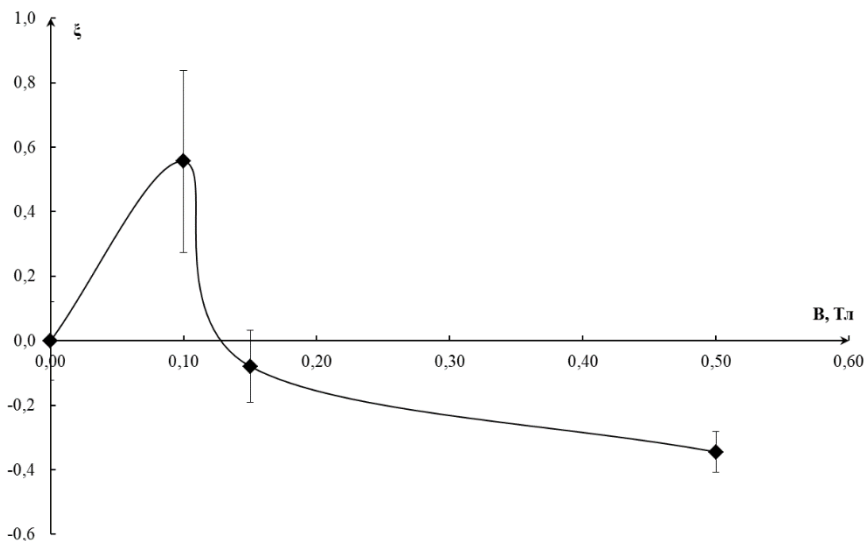


Рис. 2. Зависимость относительного изменения скорости ползучести ξ от индукции магнитного поля B

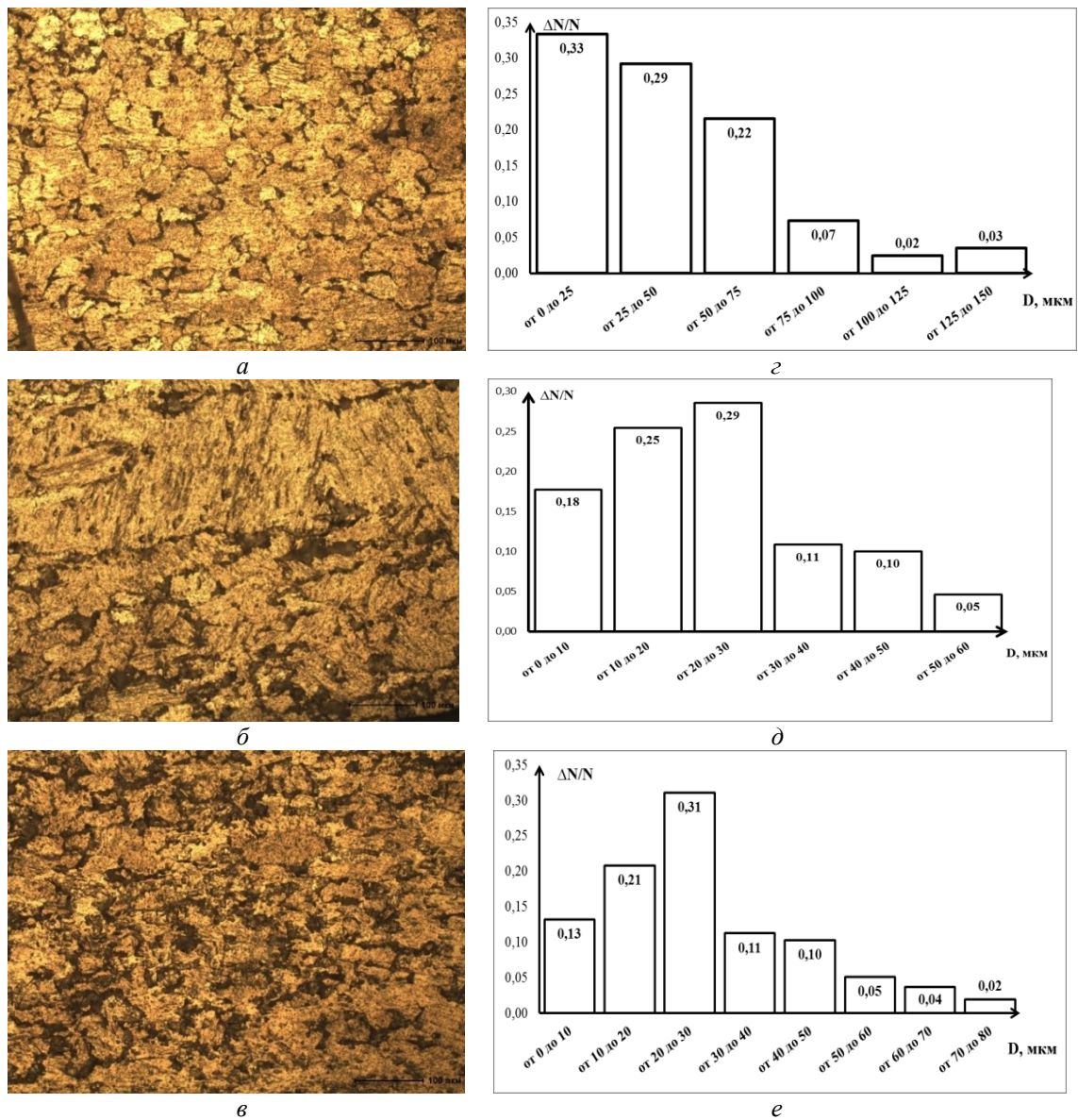


Рис. 3. Оптическое изображение структуры Al85 и диаграммы распределения зерен:

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 ΔN – 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.
21. Головин Ю.И., Моргунов Р.Б. Магниторезонансное разупрочнение кристаллов // Природа. 2002. № 8. С. 49–57.
 22. 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**
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, no. 2, pp. 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, no. 1-2, pp. 101–105.
 3. Golovin Yu.I. Magnetoplasticity of solids. *Nauka*, 2004, no. 5, pp. 769–803.
 4. 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.
 5. 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.
 6. 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.
 7. 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.
 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, no. 1, pp. 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, no. 4, pp. 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, pp. 240–256.
 11. Konovalov 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.
 12. Zagulyaev D.V., Konovalov 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.
 13. 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.
 14. Zagulyaev D.V., Konovalov 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.
 15. Zagulyaev D.V., Konovalov 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.
 16. 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.
 17. Rozenberg V.M. *Polzuchest metallov* [Creep of metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1967. 276 p.
 18. Čadek J. *Polzuchest metallicheskih materialov* [Creep in metallic materials]. Moscow, Mir Publ., 1987. 302 p.
 19. Kennedy A.J. *Processes of creep and fatigue in metals*. Oliver and Boyd, 1962. 312 p.
 20. 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.
 21. Golovin Yu.I., Morgunov R.B. Magneto-resonant softening of crystals. *Priroda*, 2002, no. 8, pp. 49–57.
 22. Golovin Yu.I., Morgunov R.B., Lopatin D.V., Baskakov 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.