

УДК 548:539.376  
ББК 22.33  
3-14

Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, В.Е. Громов

## Влияние малых магнитных полей на ползучесть алюминия (Рецензирована)

### Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния слабого постоянного магнитного поля ( $B=0-500$  мТл) на ползучесть алюминия при комнатной температуре. Показана зависимость скорости ползучести от магнитного воздействия.

**Ключевые слова:** магнитное поле, ползучесть, алюминий.

D.V. Zagulyaev, S.V. Konovalov, V.E. Gromov

## Influence of low magnetic fields on aluminum creep

### Abstract

The paper gives the results of experimental research of the influence of low constant magnetic field ( $B=0-500$  mTl) on aluminum creep at the room temperature. The authors show the dependence of speed of creep on the magnetic influence.

**Key words:** magnetic field, creep, aluminum.

### Введение

Влияние магнитного поля на свойства ферромагнитных материалов известно несколько тысяч лет и находит последовательное объяснение в рамках квантовой теории магнетизма [1,2]. Сама возможность значительного изменения макрохарактеристик «немагнитных» твердых тел (пара- и диамагнетиков) в слабых магнитных полях часто подвергается сомнению, несмотря на значительное количество публикаций, в которых описываются разнообразные «магнитные» эффекты в них [2, 3]. Тем не менее, роль слабого магнитного поля, являющегося одним из факторов окружающей среды, непрерывно воздействующим на все процессы на Земле, необходимо учитывать из-за его влияния на работу и показания прецизионных приборов, электромеханических резонаторов, маятников и т.п. [2].

В настоящее время разными научными коллективами выполнен комплекс исследований, посвященных установлению влияния магнитного поля на пластическую деформацию (магнитопластический эффект) немагнитных кристаллов LiF, NaCl, висмута,  $\text{NaNO}_2$ , Zn, Al,  $\text{C}_{60}$  и получены зависимости, характеризующие установленные закономерности [4–14]. Однако, анализ влияния магнитного поля на процесс пластической деформации немагнитных металлов в поликристаллическом состоянии выполнен значительно слабее.

Особо выделим актуальность и практическую значимость исследований изменения в магнитном поле физико-механических свойств поликристаллических металлов, подвергаемых ползучести. Влияние магнитного поля на ползучесть металлов и сплавов имеет важное значение для оценки изменения свойств материалов для теплоэнергетических установок, работающих в магнитных полях. Так, в [15] выполнено исследование, посвященное анализу изменения скорости ползучести образцов из поликристаллических Co, Cu, Ni и Al, и показано, что магнитное поле ускоряет процесс ползучести. Однако, данные о зависимости скорости ползучести от индукции магнитного поля отсутствуют.

В связи с этим целью настоящей работы является исследование влияния слабого магнитного поля на кинетику процесса ползучести поликристаллического Al и скорость ползучести, определяемую на установившейся стадии процесса. Настоящая работа является продолжением исследований, выполненных авторами в [16].

### Материал и методика экспериментов

Испытания на ползучесть при постоянном растягивающем напряжении  $\sigma=65$  МПа проводились при комнатной температуре на образцах поликристаллического Al цилиндрической формы диаметром 1,75 мм и длиной рабочей части 150 мм, предварительно отожженных при температуре 770 К в течение 1 ч.

Использовалась специальная модернизированная испытательная машина [17, 18], у которой все детали в области действия магнитного поля были изготовлены из немагнитных материалов. Магнитное поле создавалось постоянным магнитом и действовало во время всего эксперимента, т.е. от момента приложения нагрузки до разрушения (в отличие от нашей работы [16]). Вектор магнитной индукции был направлен перпендикулярно оси растяжения. Индукцию магнитного поля изменяли в пределах от 0 до 500 мТл с точностью 0,01.

Все данные по анализу скорости ползучести Al, которая определялась на установившейся (линейной) стадии [19], получены по результатам статистической обработки с помощью специальной программы не менее чем по 20 измерениям.

### Экспериментальные результаты и обсуждение

Характерные кривые ползучести, полученные при растяжении Al в постоянном магнитном поле и без него, приведены на рис.1. Полученные кривые содержат стадии логарифмической, установившейся и ускоренной ползучести, что совпадает с общепринятыми представлениями о кинетике процесса в таких условиях [19]. На рис.2 представлены зависимости изменения скорости ползучести, полученные численным дифференцированием по времени, в зависимости от продолжительности эксперимента с действием поля и без него.

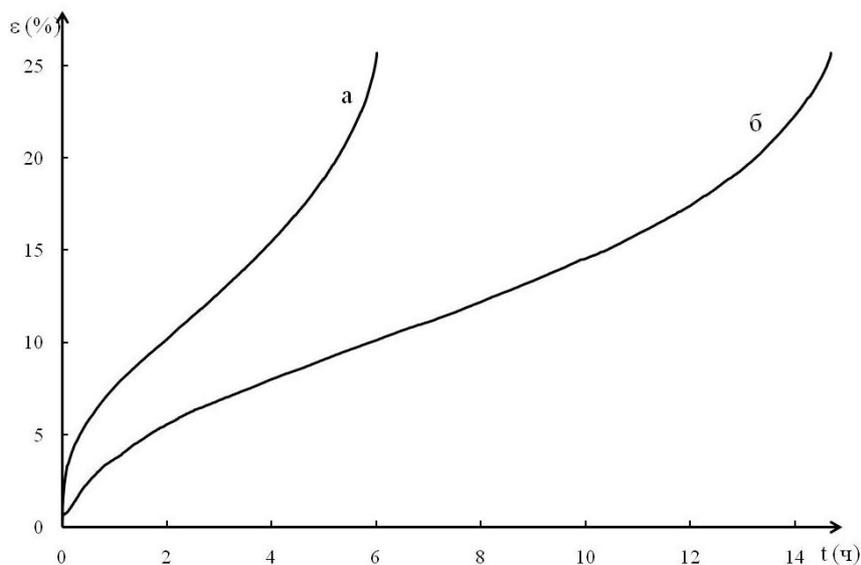


Рис. 1. Кривые ползучести при растяжении Al, а – без воздействия магнитного поля, б – с воздействием магнитного поля с индукцией 300 мТл

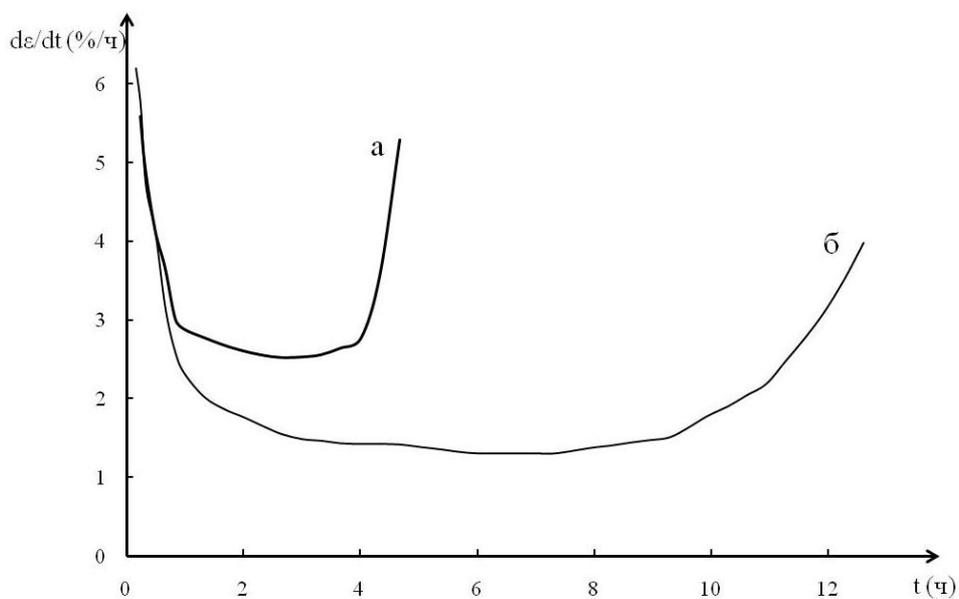


Рис. 2. Характерные зависимости скорости ползучести Al от времени испытания  
 а – без воздействия магнитного поля, б – при воздействии  
 магнитного поля с индукцией 300 мТл

Как следует из рисунков 1 и 2 наложение магнитного поля существенно изменяет скорость ползучести Al на установившейся и ускоренной стадиях. На начальной – логарифмической стадии ползучести действие магнитного поля не выражено. Из рисунка 1 видно, что магнитное поле на величину деформации до разрушения практически не влияет.

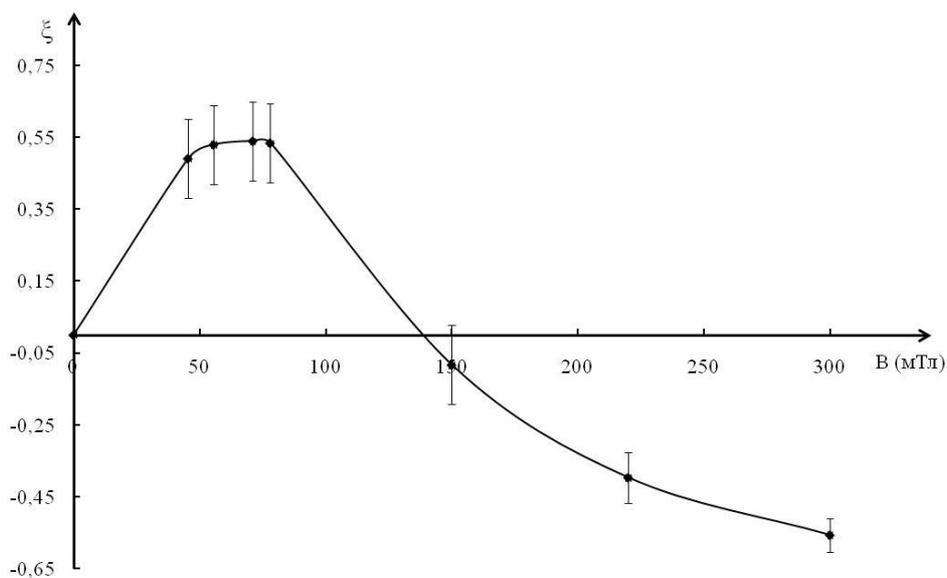


Рис. 3. Зависимость относительного изменения скорости ползучести  $\xi$  от индукции магнитного поля  $B$

Для количественной оценки эффекта действия магнитного поля использован параметр относительного изменения скорости ползучести на линейной стадии, определяемый по соотношению  $\xi = \frac{\langle \dot{\epsilon}_{mg} \rangle - \langle \dot{\epsilon} \rangle}{\langle \dot{\epsilon} \rangle}$ , где  $\langle \dot{\epsilon}_{mg} \rangle$  - усредненное по 20 экспериментам значение скорости ползучести при воздействии магнитным полем, а  $\langle \dot{\epsilon} \rangle$  - без поля, соответственно.

Из представленной на рис.3 зависимости  $\xi(B)$  следует, что эффект влияния магнитного поля не однозначен - происходит как ускорение скорости ползучести, так и замедление: максимальное значение  $\xi = 0,54$  наблюдается при  $B=71$  мТл, минимальное  $\xi = -0,56$  при  $B=300$  мТл. Из анализа графика видно, что при значениях магнитной индукции меньше 150 мТл скорость ползучести увеличивается, а при дальнейшем увеличении магнитной индукции скорость ползучести уменьшается.

Полученные результаты качественно подобны зависимостям, установленным в работе [7], авторы которой исследовали обратимые и необратимые изменения пластических свойств кристаллов NaCl, вызванные действием магнитного поля. Причину немонотонного изменения микротвердости авторы связали с влиянием магнитного поля на состояние точечных дефектов. По их мнению, существуют различные способы влияния магнитного поля на состояние точечных дефектов. Один из них – слабополевой – вызывает необратимые изменения точечных дефектов. Другой – сильнополевой – становится эффективным после увеличения магнитного поля до некоторого критического значения и характеризуется обратимостью изменений, вносимых полем в подсистему точечных дефектов.

Обнаруженная нами зависимость  $\xi(B)$  отличается от установленных авторами [4, 6] зависимостей предела текучести и коэффициента деформационного упрочнения от индукции магнитного поля, действие которого носит пороговый характер.

По-видимому, в нашем случае надо учитывать то, что ползучесть является более энергозависимым процессом по сравнению с другими типами пластической деформации и даже незначительные магнитные воздействия сказываются на изменении энергетических характеристик процесса [4]. Для выяснения этого предположения необходимы более прецизионные исследования.

Считаем своим приятным долгом выразить признательность д.ф.-м.н., профессору Ю.И. Головину за обсуждение результатов эксперимента и критические замечания.

#### Примечания:

1. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., 1971. 1032 с.
2. Головин Ю.И. Магнитопластичность твердых тел. М., 2003. 108 с.
3. Головин Ю.И. Магнитопластичность твердых тел // ФТТ. 2004. № 5. С. 769-803.
4. Деформация кристаллов LiF в постоянном магнитном поле / В.А. Альшиц, А.А. Урусовская, А.Е. Смирнов и др. // ФТТ. 2000. № 2. С. 270-272.
5. Электростимуляция магнитопластичности и магнитоупрочнения в кристаллах / В.А. Альшиц, Е.В. Даринская, М.В. Колдаева и др. // Письма в ЖЭТФ. 2008. № 7. С. 500-507.
6. О влиянии магнитного поля на предел текучести и кинетику макропластичности кристаллов LiF / А.А. Урусовская, В.А. Альшиц, А.Е. Смирнов и др. // Письма в ЖЭТФ. 1997. № 6. С. 470-474.

#### References:

1. Vonsovsky S.V. Magnetism. M., 1971. 1032 pp.
2. Golovin Yu.I. Magnetoplasticity of solid bodies. M., 2003. 108 pp.
3. Golovin Yu.I. Magnetoplasticity of solid bodies // FTT. 2004. No. 5. P. 769 – 803.
4. Deformation of crystals LiF in a constant magnetic field / V.A. Alshits, A.A. Urusovskaya, A.E. Smirnov etc. // FTT. 2000. No. 2. P. 270 - 272.
5. Electric stimulation of magnetoplasticity and magnetic strengthening in crystals / V.A. Alshits, E.V. Darinskaya, M.V. Koldaeva etc. // Letters in JETF. 2008. No. 7. P. 500-507.
6. About influence of a magnetic field on a limit of fluidity and kinetics of macroplasticity of LiF crystals / A.A. Urusovskaya, V.A. Alshits, A.E. Smirnov etc. // Letters in JETF. 1997. No. 6. P. 470-474.

7. Обратимые и необратимые изменения пластических свойств кристаллов NaCl, вызванные действием магнитного поля / Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов, Д.В. Лопатин и др. // ФТТ. 1998. № 11. С. 2065-2068.
8. Моргунов Р.Б., Баскаков А.А. Корреляция между возникновением магнитопластического эффекта и изменениями спектров электронного парамагнитного резонанса после закаливания монокристаллов NaCl:Eu // ФТТ. 2003. № 1. С. 91-94.
9. Пинчук А.И., Шаврей С.Д. Магнитопластический эффект в случае двойникования кристаллов висмута под воздействием сосредоточенной нагрузки // ФТТ. 2001. № 1. С. 39-41.
10. Смирнов Б.И., Песчанская Н.Н., Николаев В.И. Магнитопластический эффект в сегнетоэлектрических кристаллах  $\text{NaNO}_2$  // ФТТ. 2001. № 12. С. 2154-2156.
11. Песчанская Н.Н., Смирнов Б.И., Шпейзман В.В. Скачкообразная ползучесть при сжатии монокристаллов цинка в магнитном поле // ФТТ. 2008. № 6. С. 997-1001.
12. О природе влияния электрического тока на магнито-стимулированную микропластичность монокристаллов Al / В.А. Альшиц, Е.В. Даринская, Е.Ю. Михина и др. // Письма в ЖЭТФ. 1998. № 10. С. 788-793.
13. Влияние магнитного поля на скорость микропластической деформации монокристаллов  $\text{C}_{60}$  / Б.И. Смирнов, В.В. Шпейзман, Н.Н. Песчанская и др. // ФТТ. 2002. № 10. С. 1915-1918.
14. Дунин - Барковский Л.Р., Моргунов Р.Б., Tanimoto Y. Влияние постоянного магнитного поля до 15 Т на эффект Портевена- Ле Шателье в кристаллах NaCl: Eu // ФТТ. 2005. № 7. С. 1241-1246.
15. Клыпин А.А. О влиянии магнитного и электрического полей на ползучесть // Металловедение и термическая обработка металлов. 1973. № 8. С. 2-6.
16. Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Громов В.Е. Влияние воздействия слабого магнитного поля на скорость ползучести металлов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2009. № 2 С. 35-37.
17. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести металлов и сплавов / С.В. Коновалов, В.И. Данилов, Л.Б. Зуев и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 8. С. 64-66.
18. Исследовательский комплекс изучения ползучести / А.С. Дружилов, С.В. Коновалов, Р.А. Филиппев и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 2. С. 25-27.
19. Кеннеди А.Дж. Ползучесть и усталость в металлах. М., 1965. 312 с.
7. Convertible and irreversible changes of plastic properties of NaCl crystals caused by action of a magnetic field / Yu.I. Golovin, R.B.Morgunov, D.V.Lopatin etc. // FTT. 1998. No. 11. P. 2065-2068.
8. Morgunov R.B., Baskakov A.A. Correlation between occurrence of magnetoplastic effect and changes of spectra of an electronic paramagnetic resonance after hardening NaCl:Eu monocrystals // FTT. 2003. No. 1. P. 91-94.
9. Pinchuk A.I., Shavrey S.D. Magnetoplastic effect in a case of bismuth crystal twinning under the influence of the concentrated loading // FTT. 2001. No. 1. P. 39-41.
10. Smirnov B.I., Peschanskaya N.N., Nikolaev V.I. Magnetoplastic effect in segnetoelectric  $\text{NaNO}_2$  crystals // FTT. 2001. No. 12. P. 2154-2156.
11. Peschanskaya N.N., Smirnov B.I., Shpeizman V.V. Spasmodic creep at compression of zinc monocrystals in a magnetic field // FTT. 2008. No. 6. P. 997-1001.
12. About a nature of influence of an electric current on magneto-stimulated microplasticity of Al monocrystals / V.A. Alshits, E.V. Darinskaya, E.Yu. Mikhina etc. // Letters in JETF. 1998. No. 10. P. 788-793.
13. Influence of a magnetic field on speed of microplastic deformation of  $\text{C}_{60}$  monocrystals / B.I. Smirnov, V.V. Shpeizman, N.N. Peschanskaya etc. // FTT. 2002. No. 10. P. 1915-1918.
14. Dunin-Barkovsky L.R., Morgunov R.B., Tanimoto Y. Influence of a constant magnetic field up to 15 T on Portevene-Le-Shatelie effect in NaCl: Eu crystals // FTT. 2005. No. 7. P. 1241-1246.
15. Klypin A.A. On influence of magnetic and electric fields on creeping // Physical metallurgy and thermal treatment of metals. 1973. No. 8. P. 2-6.
16. Zagulyaev D.V., Kononov S.V., Gromov V.E. Influence of low magnetic field on speed of metal creep // News of higher educational institutions. Black metallurgy. 2009. No. 2 P. 35-37.
17. Automatic installation for registration and the analysis of creep of metals and alloys / S.V. Kononov, V.I. Danilov, L.B. Zuev etc. // Factory laboratory. Diagnostics of materials. 2007. No. 8. P. 64-66.
18. Research complex of studying creep / A.S. Druzhilov, S.V. Kononov, R.A. Filipiev etc. // Procuring manufactures in mechanical engineering. 2007. No. 2. P. 25-27.
19. Kennedy A.J. Creep and fatigue in metals. M., 1965. 312 pp.