

УДК 620.179.15

Загуляев Д.В., Филиппьев Р.А., Коновалов С.В., Громов В.Е.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА СКОРОСТЬ ПОЛЗУЧЕСТИ АЛЮМИНИЯ*

Введение и постановка задачи исследования

О влиянии магнитного поля на свойства «магнитных» материалов известно несколько тысяч лет; сегодня такое явление находит последовательное объяснение в рамках квантовой теории магнетизма [1]. Возможность значительного изменения макрохарактеристик «немагнитных» твердых тел (пара- и диамагнетиков, характеризующихся разупорядоченной магнитной структурой) в магнитных полях совсем не очевидна и часто подвергается сомнению, несмотря на значительное число публикаций, в которых описываются разнообразные «магнитные» эффекты [2].

Вместе с тем магнитное поле – один из факторов окружающей среды, непрерывно воздействующий на все процессы на Земле и требующий инженерного и санитарного нормирования, основанного на ясных физических представлениях и достоверных фактах [3].

С точки зрения временных характеристик все обнаруженные эффекты, которые связаны с действием магнитного поля, можно разбить на три основные группы: 1) проявляющиеся только во время действия магнитного поля; 2) эффекты длительного последствия полностью необратимые; 3) эффекты длительного последствия, медленно релаксирующие со временем.

В данной работе предпринята попытка исследовать влияние внешних энергетических воздействий, электрического потенциала и постоянного магнитного поля (эффекты длительного последствия) на скорость низкотемпературной ползучести алюминия на установившейся ее стадии.

Исследования выполнены на отожженных при 770 К в течение двух часов рекристаллизованных проволочных образцах диаметром 2.5 мм и с длиной рабочей части 200 мм.

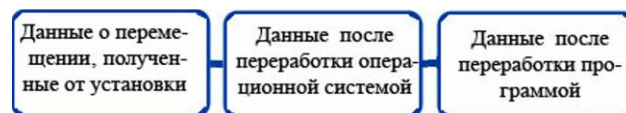
Экспериментальная установка

Для исследования кривых ползучести была сконструирована экспериментальная установка. Часть этой установки (блок), которая фиксирует удлинение образца, и промежуток времени, за который оно произошло, представлена на **рис. 1**.

Блок состоит из неподвижного и подвижного захватов (а и в) образца (б), направляющей поверхности опико-механического датчика перемещения, жестко соединенной с подвижным захватом (г), датчика (д) и его держателя, жестко закрепленного на неподвижном захвате (е). В качестве датчика перемещения использован опико-механический манипулятор.

При удлинении образца подвижный захват смещается, что регистрируется датчиком, сигнал от которого через заданные интервалы времени поступает в компьютер. Также был создан программный модуль, позволяющий фиксировать во времени удлинение испытываемого образца [4].

Ниже приведена блок-схема алгоритма преобразования сигнала от оптического датчика до измеряемого программой удлинения образца:



Конечным продуктом являются оцифрованные данные об удлинении, обработанные программой и сохранённые в файл.

На первом этапе преобразования сигнала от датчика до измеряемого программой перемещения курсора происходит собственное позиционирование датчика, т.е. определяется направление перемещения и смещение. Данные обрабатываются, и

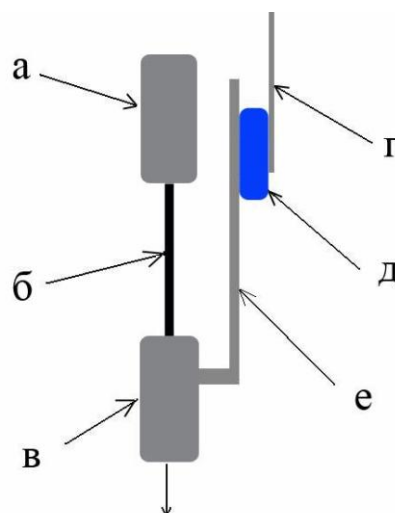


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-02-90813 моб_ст.

происходит их преобразование операционной системой в соответствии с установленным уровнем программного ускорения персонального компьютера. На последнем этапе происходит регистрация перемещения курсора датчика в пикселях.

Влияние потенциала на скорость ползучести алюминия

На описанной выше установке были применены два варианта изменения электрического состояния исследуемого образца.

Каждая серия экспериментов состояла из 20 опытов.

В первом варианте к изолированному образцу, подвергаемому испытанию на ползучесть, от внешнего стабилизированного источника постоянного напряжения подводился потенциал разной величины и разного знака.

Второй вариант заключался в подключении к изолированному образцу пластин с одинаковой массой из Pb, Fe, Cu, Cr, Zr, Ni и Ti. Эти металлы были выбраны для проведения эксперимента в связи с тем, что они имеют отличную от алюминия работу выхода электронов. В качестве электрической характеристики для анализа использованы значения контактной разности потенциалов с

алюминием, рассчитанные как $\varphi = \frac{A_{Me} - A_{Al}}{e}$, где A_{Me} – работа выхода электрона из металла; A_{Al} – то же для алюминия; e – заряд электрона [5].

Пластины из подключаемых металлов были присоединены к образцу перед проведением испытаний на ползучесть, причем электрический контакт осуществлялся медным проводом сечением 0,1 мм в течение всего эксперимента. С целью исключения контакта между испытательной установкой и других источников электрического тока, она была изолирована.

В настоящей работе главное внимание уделено стадии установившейся ползучести, скорость деформации на которой $\dot{\epsilon} = \text{const}$ [6]. Она определялась численным дифференцированием зависимости $\epsilon(t) = \epsilon_0 + \dot{\epsilon} \cdot t$, описывающей кинетику процесса.

Типичные примеры кривых ползучести приведены на рис. 2. Из кривых видно, что они содержат стадии логарифмической, установившейся

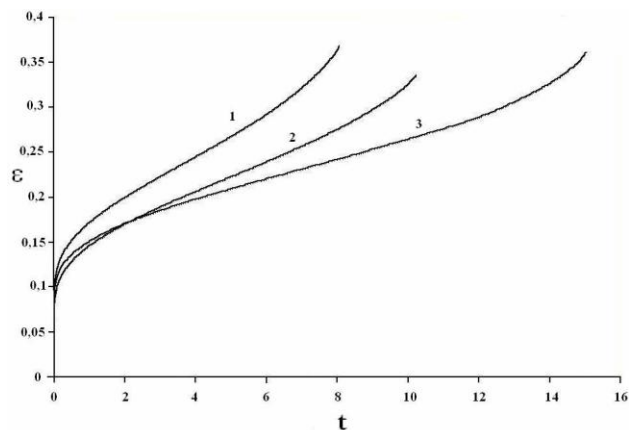


Рис. 2. Типичные кривые ползучести алюминия, полученные без приложения потенциала, при потенциале поверхности -0,5 В и при подключении к образцу пластины из Ti

ся и ускоренной ползучести, что совпадает с общепринятыми представлениями о кинетике процесса в таких условиях [6].

Кривая 1 описывает ползучесть алюминия при подключении потенциала -0,5В; кривая 2 получена в случае, когда во время испытания к алюминиевой проволоке присоединялась пластина Ti; кривая 3 построена без внешнего воздействия.

Из сравнения кривых 1 и 2 с кривой 3 видно, что ползучесть ускоряется. Кроме того, в этих случаях стадия установившейся ползучести укорачивается, а долговечность образца падает по сравнению с образцами, деформированными без электрического воздействия. Количественно полученный эффект характеризуется относительными изменениями скоростей ползучести на установившейся стадии процесса, определяемыми как $\xi = \langle \dot{\epsilon}_{el} \rangle / \langle \dot{\epsilon} \rangle - 1$, где $\langle \dot{\epsilon}_{el} \rangle$ – усредненное по 7–10 образцам значение скорости ползучести в случае внешнего электрического воздействия, а $\langle \dot{\epsilon} \rangle$ – среднее значение скорости ползучести образца без него.

Результаты проведенных экспериментов представлены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что независимо от знака потенциала величина ξ растет, но по мере увеличения абсолютного значения потенциала скорость нарастания уменьшается. Влияние присоединен-

Таблица 1

Зависимость относительной скорости ползучести от приложенного к образцу потенциала

φ (В)	1,00	0,50	-0,53	-1,00
ξ	0,70	0,50	0,55	0,72

Таблица 2

Зависимость относительной скорости ползучести от вида подключаемых металлов

	Zr	Ti	Pb	Fe	Cu	Ni	Cr
ξ	0,23	-0,04	-0,06	-0,02	-0,11	0,30	-0,10

ных металлов показано в табл. 2. Наиболее заметное увеличение скорости ползучести наблюдается при $\varphi \approx \pm 0,5$ В для *Zr* и *Ni* соответственно. При значениях потенциала $-0,2 \text{ В} < \varphi < +0,2 \text{ В}$ эффект меняет знак, что свидетельствует о том, что ползучесть в этом случае замедляется.

Поскольку избыточный электрический заряд, передаваемый металлу при постановке эксперимента, сосредоточен на поверхности образца, то изменение скорости ползучести можно связать с изменением плотности поверхностной энергии [7]. В [7] приведены экспериментальные данные об аналогичных изменениях скорости ползучести, которые были получены при деформации олова и свинца. Данные указывают на рост скорости ползучести при наличии потенциала на образце.

В пользу такого объяснения эффекта говорят данные о вариациях поверхностного натяжения твердых тел Ω при создании электрического потенциала поверхности [8]. Следует отметить, что зависимости $\Omega(\varphi)$ имеют вид кривых с насыщением, т. е. по мере роста электрического потенциала его влияние ослабевает [8]. В свою очередь, изменения Ω меняют условия зарождения дислокаций в поверхностных слоях. Вполне возможны и более сложные по своей природе эффекты электрического воздействия [9]. Однако пока остается невыяснена природа разницы во влиянии прямого изменения потенциала поверхности и контактной разности потенциалов. Для того чтобы понять природу изменения скорости ползучести от внешнего электрического воздействия, необходимы более подробные исследования влияния действия малых потенциалов непосредственно от электрического источника.

Влияние магнитного поля на скорость ползучести алюминия

Также в работе были проведены исследования по выявлению влияния магнитного поля на скорость ползучести алюминия.

Для сравнения был проделан ряд экспериментов по выявлению влияния магнитного поля на низкотемпературную ползучесть. Среднее значение скорости ползучести получилось равно $\dot{\epsilon} = 2,92 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, а на образцах, выдерживаемых в течение часа в магнитном поле с индукцией $\approx 3,5$ Тл, средняя скорость ползучести принимала значение $\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon} = 1,47 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Полученные результаты не тривиальны, однако их необходимо дополнить экспериментами по влиянию различных параметров магнитных полей (напряженность, время выдержки, направление намагничивания) на процесс ползучести.

Видно, что на линейном участке кривой ползучести скорость ползучести уменьшается для обработанного образца. В настоящее время проводятся исследования по низкотемпературной ползучести в постоянном и переменном магнитных полях.

Заключение

В данной работе было исследовано влияние на скорость ползучести алюминия двух видов внешних энергетических воздействий – электрического потенциала и постоянного магнитного поля. Произведен анализ полученных данных.

Полученные результаты показали, что и электрическое воздействие, и магнитное поле в разной степени оказывают влияние на скорость низкотемпературной ползучести алюминия.

Библиографический список

1. Вонцовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1038 с.
2. Головин Ю.И. Магнитоупругость твердых тел // ФТТ. 2004. № 5. С. 769–803.
3. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы, потенциально опасные для здоровья / Птицына Н.Т., Виллорези Дж., Дорман Л.И. и др. // УФН. 1998. № 7. С. 769–791.
4. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести металлов и сплавов / Коновалов С.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 8. С. 64–66.
5. Кишкин Т.С., Клыпин А.А. Эффект электрического и магнитного воздействия на ползучесть металлов и сплавов // Доклады АН СССР. 1973. Т. 211. № 2. С. 325–327.
6. Кеннеди А.Д. Ползучесть и усталость в металлах. М.: Металлургия. 1965. 312 с.
7. Лихтман В.И., Шукин Е.Д., Ребиндер П.А. Физико-химическая механика металлов. М.: Изд-во ДАН СССР, 1962. 303 с.
8. Гохштейн А.Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция. М.: Наука, 1976. 400 с.
9. Molotskii M., Flerov V. Spin Effects in Plasticity // Phys. Rev. Letters. 1997. Vol. 78. No. 14. P. 2779–2782.