

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Администрация Правительства Кузбасса**

**Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»**

**Сибирский государственный индустриальный университет**

*Посвящается 100-летию  
со дня рождения ректора СМИ,  
доктора технических наук,  
профессора Н.В.Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:  
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО  
«Металлургия – 2021»**

***Труды  
XXII Международной научно-практической конференции***

*10 – 11 ноября 2021 г.*

***Часть 1***

**Новокузнецк  
2021**

УДК 669(06)+658.012.056(06)  
М 540

Редакционная коллегия  
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,  
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,  
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,  
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,  
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540      Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 326 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и наукоёмким технологиям металлургических процессов, обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка.

#### **ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

Администрация Правительства Кузбасса  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»  
АО «Русал-Новокузнецк»  
АО «Кузнецкие ферросплавы»  
АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»  
Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР  
ОАО «Черметинформация»  
Издательство Сибирского отделения РАН  
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»  
Журнал «Вестник СибГИУ»  
Журнал «МАТЕС Web of Conferences »  
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»  
АО «Кузбасский технопарк»  
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук  
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2021

поиска новых легирующих добавок для цинкового расплава.

#### References

1. Maaß, P. Handbook of Hot-Dip Galvanization [Текст] / P. Maaß, P. Peißker // Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, – 2011 – P. 121-122.
2. Kania, H. The Structure and Growth Kinetics of Zinc Coatings on Link Chains Produced of the 23MnNiCrMo5-2 Steel. Solid State Phenom [Текст] / H. Kania, P. Liberski // Katowice, Krasińskiego 8, Poland. – 2014. – 212. – P.145–150.
3. Suliga, M., Wartacz, R. The influence of the angle of working part of die on the zinc coating thickness and mechanical properties of medium carbon steel wires [Текст] / M. Suliga, R. Wartacz // Arch. Metall. Mater. –2019. – 64. – P. 1295–1299.
4. Beguin, P. Galveco a solution for galvanizing reactive steel [Текст] / P. Beguin, M. Bosschaerts, D. Dhaussy, R. Pankert, M. Gilles. // In Proceedings of the 19th International Galvanizing Conference Intergalva 2000, EGGA, Berlin, Germany, 1–8 March 2000 – P. 315-316.
5. Taylor, M. A decade of Technigalva [Текст] / M. Taylor, S. Murphy // In Proceedings of the 18th International Galvanizing Conference Intergalva 1997, EGGA, Birmingham, UK, 8–11 June 1997. – P. 219-220
6. Pankert, R. Three years industrial experience with the Galveco alloy [Текст] / R. Pankert, R. Dhaussy, P. Beguin, M. Gilles // In Proceedings of the 20th International Galvanizing Conference Intergalva 2003, EGGA, Amsterdam, The Netherlands, 1–4 June 2003. – P. 134-135.
7. Лобанов М.Л., Методы определения коэффициентов диффузии [Текст] / М.Л. Лобанов, М.А. Зорина // — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 16-17 с.

УДК 669.713.017:538.9

### ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА

Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
Новокузнецк, Россия, aserebrakova87@gmail.com*

**Аннотация.** Проведены механические испытания на ползучесть и микротвердость образцов технически чистого свинца без воздействия и при воздействии внешнего магнитного поля с индукцией 0,3Тл. Получены кривые ползучести и зависимости микротвердости от времени выдержки в магнитном поле, отражающие влияние магнитного поля на процесс ползучести свинца. Произведен расчет скорости ползучести исследуемого материала до и после применения внешнего магнитного поля с индукцией 0,3Тл. Проанализированы показатели по результатам испытаний. Выявлена корреляция скорости ползучести и изменений микротвердости материала, подвергнутого воздействию магнитного поля с магнитной индукции 0,3Тл.

**Ключевые слова.** Свинец, магнитное поле, ползучесть, микротвердость, пластичность.

### THE EFFECT OF THE INFLUENCE OF A MAGNETIC FIELD WITH AN INDUCTION OF 0.3 T ON THE PLASTIC PROPERTIES OF TECHNICALLY PURE LEAD.

Serebryakova A.A., Zaguliaev D.V., Shlyarov V.V.

*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia aserebrakova87@gmail.com.*

**Abstract.** Mechanical tests for creep and microhardness of samples technically pure lead were carried out without and under the influence of an external magnetic field with an induction of

*0,3 T. Creep curves and microhardness dependences on the holding time in a magnetic field were obtained, reflecting the influence of the magnetic field on the creep process of lead. The creep rate of the material under study was calculated before and after the application of an external magnetic field with an induction of 0,3 T. The indicators based on the test results were analyzed. The correlation of the creep rate and changes in the microhardness of the material subjected to magnetic induction of 0,3 T was revealed.*

**Keywords.** *Lead, magnetic field, creep, microhardness, plasticity.*

#### *Введение.*

В настоящее время известны различные способы изменения свойств материалов при помощи воздействия внешней энергии. Одним из видов такой энергии является магнитное поле [1], которое, как показывают исследования способно влиять на структуру и свойства металлов и сплавов [2-3]. Воздействие постоянного магнитного поля позволяет управлять механическими свойствами (прочность, пластичность и твердость) и процессами пластической деформации материала [4-5]. В данной работе предлагается рассмотреть изменение микротвердости и пластичности свинца в процессе ползучести под влиянием магнитного поля с индукцией 0,3 Тл. Ранее были проведены исследования процесса ползучести сплавов алюминия, меди и т.д. [4-7]. Исследований свойств технически чистого поликристаллического свинца при воздействии магнитного поля до 1Тл ранее не проводилось.

**Материалы и методы.** В исследованиях ползучести использована свинцовая проволока марки С2, диаметром 2 мм. Для испытаний на микротвердость применялись образцы свинца в форме прямоугольного параллелепипеда, высотой 12 мм, шириной 5 мм, длиной 15 мм. Образцы свинца предварительно подвергнутые рекристаллизационному отжигу при температуре 200°С в течение двух часов, в последующем охлаждались 24 часа до комнатной температуры. В процессе данной процедуры структура поликристаллического свинца была приведена в наиболее однородное состояние.

Испытание на ползучесть осуществлялось с помощью экспериментальной установки на растяжение до разрушения, разработанной и изготовленной в ФГБОУ ВО «СибГИУ» [8]. Установка состоит из жесткого металлического каркаса, в котором установлен источник магнитного поля с измерительной аппаратурой. Сигналы с датчика передаются на ПК и обрабатываются программой. Полученные данные об удлинении образца и времени процесса ползучести позволили построить кривые процесса ползучести. Дальнейший анализ данных производился в Microsoft Excel. При помощи перечисленных инструментов выполнялось выявление линейной (установившейся) стадии ползучести. Линейная стадия ползучести определялась при помощи построения касательной к кривой ползучести находится прямолинейный участок на кривой, тангенс угла наклона данной прямой равен значению скорости ползучести материала.

Величина постоянного растягивающего напряжения была рассчитана путем отнесения усилия, растягивающего образец, к площади сечения образца и составила  $\sigma = 5,57 \text{ МПа}$ .

Индукция магнитного поля составляла 0,3 Тл. В качестве источника магнитного поля использовался постоянный электромагнит, имеющий возможность регулирования индукции магнитного поля двумя способами: 1) путем изменения силы тока в катушках; 2) путем изменения расстояния между полюсами. В данной работе индукция была отрегулирована с помощью изменения силы тока в катушках. Величина индукции магнитного поля измерялась миллитесламетром ТПУ. Испытания проводились при комнатной температуре.

При исследованиях микротвердости, образцы располагались в магнитном поле таким образом, чтобы линии индукции были перпендикулярны стороне образца с размерами 1,5×1,2 см и пронизывали ее. Обработку магнитным полем в настоящей работе проводили по четырем режимам. Режим 1, 2, 3 и 4 представляли собой выдержку внутри поля с индукцией 0,3Тл в течении 1 часа, 2 часов, 3 часов, 4 часов. После чего проводилась процедура микроиндентирования, сразу же после выведения образца из поля, и затем через 1 час, 1,5 часа, 2 часа, 2,5 часа, 3 часа, 3,5 часа для каждого режима выдержки в магнитном поле. Процедура

микроиндентирования проводилась на микротвердомере HVS-1000 по Виккерсу. Испытательная нагрузка: 10 г. Время нагружения и под нагрузкой составляло 10 с время разгрузки 5 с. Обработка данных по результатам микроиндентирования выполнена в программах Excel и Origin Pro 8.

**Основные результаты.** В результате испытаний, набраны статистические данные по процессу ползучести свинца, получены кривые ползучести поликристаллического свинца в обычных условиях и при действии магнитного поля с индукцией 0,3 Тл (рис.1).

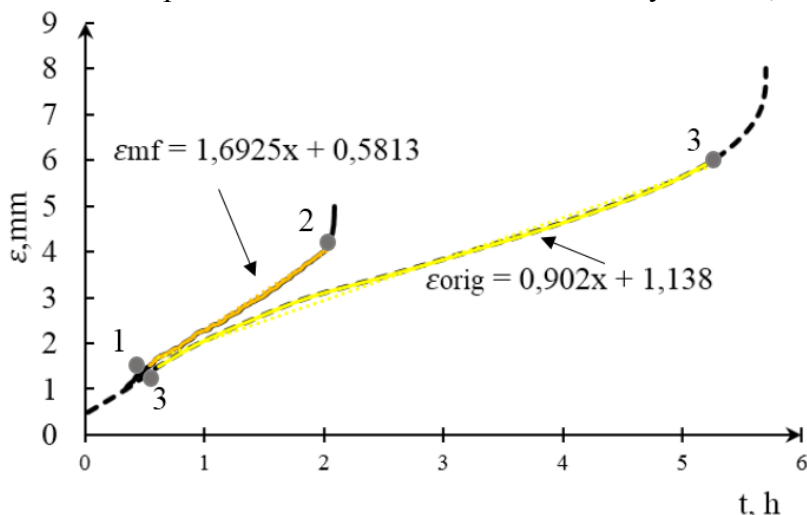


Рисунок 1 Кривые ползучести поликристаллического свинца в исходном состоянии ( $\epsilon_{orig}$ ) и подвергнутого воздействию магнитного поля ( $\epsilon_{mf}$ ) с индукцией  $B=0,3$  Тл.

На рисунке 1 представлены кривые ползучести технически чистого поликристаллического свинца в исходном состоянии -  $\epsilon_{orig}$ , и с воздействием магнитного поля с индукцией 0,3Тл –  $\epsilon_{mf}$ . Проведем анализ полученных данных.

Линейная стадия на кривой  $\epsilon_{orig}$  выявлена на отрезке 3-4, а на кривой  $\epsilon_{mf}$  линейная стадия процесса ползучести показана на отрезке 1-2. По данным отрезкам осуществлен расчет скорости ползучести поликристаллического свинца. Среднее значение скорости, рассчитанное по 3 испытаниям на ползучесть в исходном состоянии, составило 0,902 мм/час. Среднее значение скорости ползучести при воздействии магнитного поля с индукцией 0,3 Тл составило 1,6925 мм/час, что показывает увеличение скорости ползучести свинца по сравнению с исходным значением на 87 %.

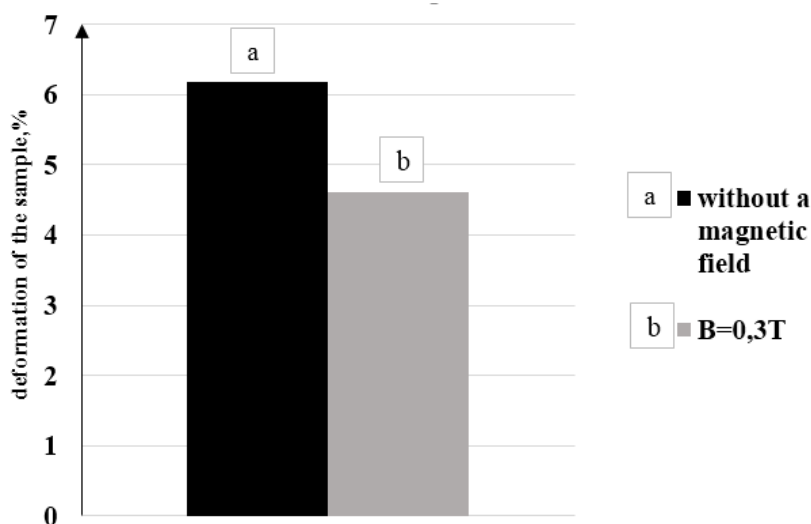


Рисунок 2 - Значения деформации образцов в испытании на ползучесть без воздействия магнитного поля (a) и после воздействия магнитным полем с индукцией  $B=0,3$ Тл (b)

Деформация образцов до разрушения, не подвергнутых магнитному влиянию в процессе ползучести в среднем составляет 6,18 % (рисунок 2, а). Значение деформации образцов подвергнутых воздействию магнитного поля составило 4,606 % (рисунок 2, b), по сравнению с исходным значением, деформация уменьшилась на 1,57 %.

Исследования микротвердости технически чистого поликристаллического свинца позволили определить эффект воздействия магнитного поля на материал. Начальный эффект воздействия магнитного поля на материал отражает значения микротвердости, измеренные сразу же после извлечения образца из магнитного поля, изменения которых показывают эффект влияния магнитного поля на значения микротвердости материала. Начальный эффект представлен на рис.3.

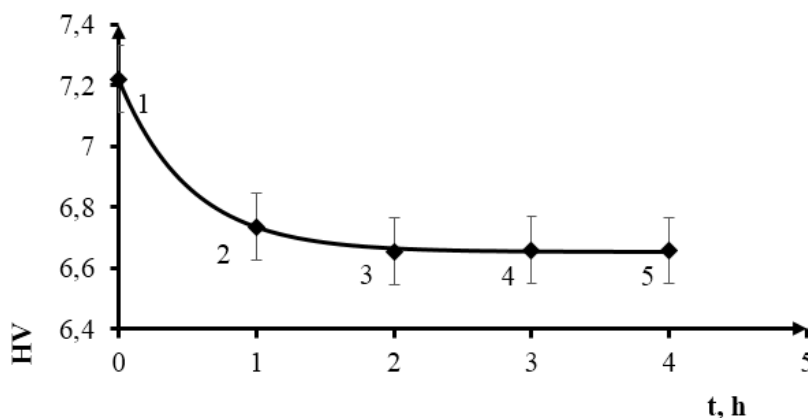


Рисунок 3 Начальный эффект воздействия магнитного поля на микротвердость свинца С2

Величина микротвердости до обработки свинца составила  $HV_0 = 7,22$  (точка 1, рисунок 3). В точках 2-5 представлены значения микротвердости полученные при измерениях сразу после выдержки в магнитном поле в течении 1 часа (точка 2, рисунок 3), 2 часов (точка 3, рисунок 3), 3 часов (точка 4, рисунок 3) и 4 часов (точка 5, рисунок 3). В течении первого часа нахождения образца в магнитном поле (рисунок 3, отрезок 1-2), наблюдается резкое снижение микротвердости до  $HV_1 = 6,735$  (точка 2, рисунок 3) на 7,8 %. Далее в точках 2-5 не происходит снижений значений микротвердости. В точке 3 (рис.3)  $HV_2 = 6,655$ , в точках 4, 5 значения составили  $HV_3 = 6,66$  и  $HV_4 = 6,65$ . Максимальное изменение по сравнению с исходным наблюдается после выдержки в магнитном поле в течение 2 часов,  $HV_2 = 6,65$  (точка 3, рисунок 3). Таким образом, начальный эффект влияния магнитного поля выражен снижением прочности свинца. Связь прочности и микротвердости заключается в том, что при испытаниях на микротвердость исследуется сопротивление внедрению в поверхность твердого тела, чем тверже материал, тем сложнее его деформировать. Прочность это свойство сопротивляться разрушению при внешнем воздействии. Разрушение материала начинается с образования трещин на поверхности, поэтому чем тверже материал, тем сложнее нанести ему дефект поверхности, а значит сложнее разорвать, сломать или разрушить. Одной из возможных причин разупрочнения исследуемого материала под воздействием магнитного поля может быть увеличение подвижности дислокаций материала [9].

В данной работе, исследования проводились по нескольким режимам, для установления характера сохранения эффекта от воздействия магнитного поля. На рисунке 3 представлены исследования релаксации свинца после выдержки в магнитном поле. Режим 1, 2, 3 и 4 представляли собой выдержку внутри поля с индукцией 0,3Тл в течении 1 часа (рисунок 4, а), 2 часов (рисунок 4, б), 3 часов (рисунок 4, с), 4 часов (рисунок 4, д).

На рисунке 4 представлена зависимость релаксации свинца после выдержки в магнитном поле от времени, прошедшего после магнитной обработки, красной точкой обозначена величина микротвердости материала в исходном состоянии  $HV_0 = 7,22$ . Производя анализ полученных данных, можно наблюдать тенденцию на возвращение значения микротвердости к ис-

ходному после 24 часов с момента выдержки в магнитном поле, по всем режимам. Погрешность измерений для режимов 1, 2, 3 и 4 составила 0,97 %, 1,17 %, 1,19 %, 1,18 % (рисунок 4).

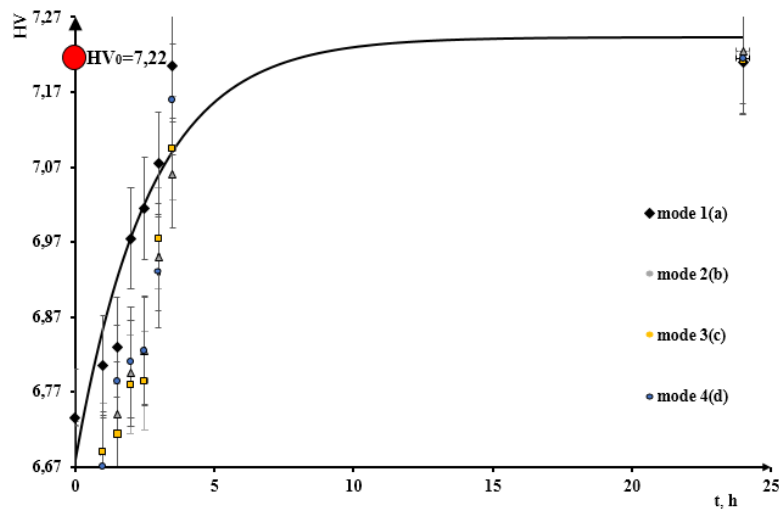


Рисунок 4 Зависимость изменения микротвердости (HV) от времени, прошедшего после обработки магнитным полем 0,3 Тл в течении 1 часа (режим 1 (a)), 2 часов (режим 2(b)), 3 часов (режим 3(c)), 4 часов (режим 4(d)).

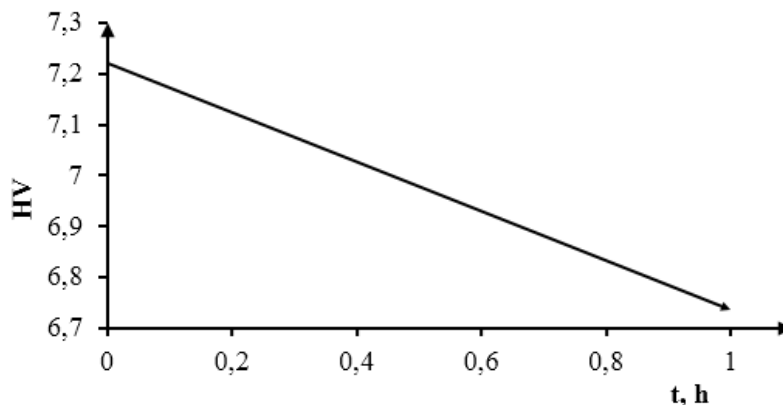


Рисунок 5 - Изменение микротвердости (HV) в течении 1 часа обработки (режим 1) магнитным полем с индукцией 0,3 Тл.

Проанализировав полученные данные по микротвердости, можно отметить что наиболее эффективным является режим 1, в котором образец выдержан в магнитном поле в течении 1 часа с индукцией  $B=0,3\text{Тл}$  (рис.5). Дальнейшее увеличение времени выдержки в магнитном поле не приводит к усилению эффекта.

**Выводы** В результате испытаний, набраны статистические данные по влиянию магнитного поля на пластические свойства свинца марки С2. В качестве анализируемых характеристик были выбраны микротвердость и скорость ползучести, для оценки пластических свойств свинца и их зависимости от воздействия магнитного поля с индукцией 0,3 Тл. Получены кривые ползучести поликристаллического свинца, которые позволили выявить линейную стадию ползучести и рассчитать скорости ползучести без воздействия магнитного поля и под воздействием. Анализ полученных данных показал, что под воздействием магнитного поля происходит увеличение скорости ползучести свинца на 87% по сравнению с исходной скоростью. Также был рассмотрен процент деформации образцов, разрушенных без воздействия магнитного поля и под воздействием. По сравнению с исходным значением деформация уменьшилась на 1,57 %. Кроме того, исследования позволили выявить эффект влияния магнитного поля на значение микротвердости. Микротвердость образца, подвергнутого вли-

янию магнитного поля, снижается. Максимальное снижение происходит в течение 1 часа воздействия. Микротвердость после 1 часа уменьшается на 7,8 % по сравнению с исходным значением. Выявлено, что при последующей выдержке в магнитном поле, значение микротвердости остается на одном уровне. На основании этого, можно сделать вывод о том, что эффект влияния магнитного поля с индукцией 0,3 Тл на свинец не зависит от времени выдержки в нем исследуемого материала. Таким образом, наблюдается корреляция анализируемых характеристик, которые позволяют сделать вывод о том, что воздействие магнитного поля на поликристаллический свинец приводит к увеличению пластичности материала.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ (проект 21-79-00118).*

#### Библиографический список

1. Ida, N. The Static Magnetic Field / N. Ida // In book: Engineering Electromagnetics. 2021. - pp.377-418.
2. Cai, Q. Effects of magnetic field on the microstructure and mechanical property of Mg-Al-Gd alloys / Q. Cai, C. Zhai, Q. Luo, T.-Y. Zhang // Materials Characterization. 2019. - № 154. - pp. 233-240.
3. Bilal N., Effect of magnetic field on microstructure and mechanical properties of austempered 70Si3MnCr steel / N. Bilal, L. Xiaoyan, Y. Zhinan, Z. Jiali, Z. Fucheng, L. Junkui // Materials Science and Engineering: A. -2019. - V.759.- pp. 11–18.
4. Загуляев, Д.В. Закономерности изменения деформационного поведения поликристаллической меди после магнитной обработки / Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, И.А. Комиссарова, Н.Г. Литвиненко (Ярополова), В.Е. Громов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. - Т.18. - №4-2. - С. 1763-1766.
5. Загуляев, Д. В. Влияние слабого магнитного поля на пластичность алюминия А85 / Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, М.В. Пономарева [и др.] // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2010. - Т.15. - № 3-1. - С.820-821.
6. Pshonkin D.E., Effect of static magnetic fields on creep of aluminum alloy / D.E. Pshonkin // Solid state phenomena. 2017. - № 269. - pp. 1-6.
7. Скворцов, А.А. Влияние магнитного поля на ползучесть алюминиевого сплава с Fe-содержащими включениями/ А.А. Скворцов, Д.Е. Пшонкин // «ФППК – 2018»: Тез. докл. междунаrodn. конф. Черноголовка. 2018. - С.91.
8. Коновалов, С. В. 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.
9. Альшиц, В. И. О движении дислокаций в кристаллах NaCl под действием постоянного магнитного поля / В. И. Альшиц [и др.]. // ФТТ. – 1987. – № 2. – С. 467–471.

УДК 669.715. (043.3)

### ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2

**Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
Новокузнецк, россия, a.prudnikov@mail.ru*

**Аннотация.** Приведены результаты влияния температуры и времени старения на поршни средненагруженных двигателей ЗМЗ-672 в состоянии поставки, изготавливаемого из малокремнистого медистого силумина АК5М2. Изучены температура старения от 100 до 300 °С через 50 °С в течение 3 ч и время выдержки в течение 3, 6 и 9 ч при температуре 200 °С. Показано, что наиболее оптимальным режимом для снижения линейного расширения является старение при 200 °С с выдержкой 3 ч. Такой режим обработки приводит к сни-

|                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ<br>СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА<br><i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i> .....                                                                                            | 261 |
| ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ<br>ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2<br><i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i> .....                                                                                                   | 266 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ<br>СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ<br>ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ<br><i>Ахкильгов Г.В., Носова Е.А.</i> .....                                                                 | 271 |
| ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ<br>СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ<br><i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i> .....                                                  | 276 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ<br>АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ<br>ПРОКАТКИ И ОТЖИГА<br><i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i> .....                                                                                  | 281 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ<br>СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ<br><i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i> .....                                                                                  | 286 |
| СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ<br><i>Фастыковский А.Р., Осолкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i> .....                                                                                                                           | 290 |
| УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ<br>И СОРТОВЫХ СТАНОВ<br><i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i> .....                                                                                       | 296 |
| ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ<br>СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ<br><i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i> .....                                                                                               | 299 |
| ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ<br><i>Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Куценко А.А.</i> .....                                                                                                              | 304 |
| АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ<br>МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ<br>ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК<br><i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i> .....                       | 309 |
| КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ<br>СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ<br>В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ<br><i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Прусов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В.,<br/>Сметанюк С.В., Сокорев А.А.</i> ..... | 316 |