Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды

XXIII Международной научно-практической конференции

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 2

Новокузнецк
2022

ISSN 2542-1670

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 С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXIII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 410 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

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»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

2014. – № 3 (9). – С. 36–40.

11. Исследование влияния состава порошковых проволок на характеристики наплавленного слоя прокатных валков / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский, Д. А. Титов, П. Д. Соколов // Вестник Российской Академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. – Новокузнецк, 2016. – Вып. 19. – С. 149–154.

12. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co / А. И. Гусев, Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, Р. Е. Крюков, И. В. Осетковский // Заготовительные производства в машиностроении (Литейное и сварочное производства). – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 56–60.

13. Козырев, Н. А. Экспериментальные исследования и обоснование новых составов порошковых проволок для наплавки прокатных валков / Н. А. Козырев, А. А. Уманский, Д. А. Титов // Технологии реновации машин и оборудования : материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XI промышленного салона и специализированных выставок "Промэкспо, станки и инструмент" "Сварка, контроль, диагностика", 25-26 февраля 2016 г. – Уфа : Башкирский ГАУ, 2016. – С. 115–119

14. Выбор энерго-технологических режимов сварки под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца для деталей горношахтного оборудования / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, Р. А. Михно // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2020. – № 6. – С. 175–180.

15. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Бащенко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 6 (1422). – С. 55–66.

УДК 669.713.017:538.9

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВОВ А5М, ВТ-1, С2 ПОДВЕРГНУТЫХ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКЕ

Шляров В.В.[1], Серебрякова А.А.[1], Аксенова К.В.[1], Загуляев Д.В.[1], Устинов А.М.[2]

[1]Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия, shlyarov@mail.ru
[2]Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

Аннотация. *Были исследованы деформационные характеристики сплавов А5М, ВТ1-0, С2 в постоянном магнитном поле. Исследованы процессы ползучести данных металлов. Произведен анализ скоростей ползучести алюминия, титана, свинца. Проведено исследование усталостной долговечности технически чистого алюминия марки А5М и титана ВТ1-0 в по-*

стоянном магнитном поле. В результате исследований установлено, что применение постоянного магнитного поля различной индукции приводит к увеличению числа циклов до разрушения.

Ключевые слова: *свинец С2, титан ВТ1-0, алюминий А5М, стационарная ползучесть, пластическая деформация, микротвердость, усталость.*

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF A5M, VT-1, C2 ALLOYS SUBJECTED TO MAGNETIC TREATMENT

Shlyarov V.V.[1], Serebryakova A.A.[1], Aksenova K.V.[1], Zaguliaev D.V.[1], Ustinov A.M.[2]

[1]Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, shlyarov@mail.ru
[2]Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia

Abstract. *The deformation characteristics of A5M, VT1-0, and C2 alloys in a constant magnetic field were studied. The processes of creep of these metals have been studied. The creep rates of aluminum, titanium, and lead have been analyzed. A study of the fatigue life of commercially pure A5M aluminum and VT1-0 titanium in a constant magnetic field has been carried out. As a result of the research, it was found that the use of a constant magnetic field of various induction leads to an increase in the number of cycles before destruction.*

Keywords: *lead C2, titanium VT1-0, aluminum A5M, stationary creep, plastic deformation, microhardness, fatigue.*

В последние десятилетия различные потоки энергии, такие как лазерное излучение, электронный и ионный пучок широко используются для модификации структуры и свойств металлических материалов [1-5]. Наряду с данными методами существует перспективный, но менее изученным, способ изменения деформационных характеристик металлов и сплавов, а именно обработка материала постоянным магнитных полей. Исследование влияния постоянных и импульсных магнитных полей является актуальным направлением современной науки. Открытые эффекты влияния магнитного поля на деформационные характеристики различных материалов получили название – магнитопластические (МПЭ). Последние работы различных международных коллективов показали, что магнитное поле способно на количественном уровне изменять прочностные и пластические характеристики цветных металлов [6-8]. Алюминий и титан широко применяется в бытовой, ракетостроительной и автомобилестроительной промышленности, что обусловлено их уникальными технологическими свойствами [9-10]. Свинец благодаря своим радиационным свойствам, высокой плотности и пластичности, используется в атомной, военной, строительной отрасли и в научно-исследовательской деятельности [11]. Соответственно, находя применение в этих сферах детали и узлы, изготовленные из алюминия, титана и свинца

сталкиваются с различными процессами, приводящими к их деформации и изменению свойств.

В качестве исследуемых материалов использовали сплавы свинца С2, титана ВТ1-0 и алюминия А5М. Для исследований процессов ползучести в магнитном поле в работе использовали цилиндрические образцы диаметром 5 мм и длиной 250 мм.

Для испытаний на микротвердость применялись образцы в форме прямоугольного параллелепипеда, высотой 12 мм, шириной 5 мм, длиной 15 мм. Для приведения структуры свинца, алюминия и титана в равновесное состояние, образцы проходили предварительную пробоподготовку методом рекристаллизационного отжига, при температуре $0{,}7T_{пл}$ в течение двух часов, затем охлаждались в печи 24 часа при комнатной температуре.

Изучение процесса ползучести проводилось на испытательной установке для растяжения, разработанной и изготовленной в ФГБОУ ВО «СибГИУ» [12]. Установка состоит из жесткого металлического каркаса, в котором установлен источник магнитного поля (значение индукции МП регулировалось путем изменения силы тока в катушках и составило 0,4 Тл) с измерительной аппаратурой и датчиком движения. Датчик движения позволяет зафиксировать удлинения образца во время испытания. Данные времени и удлинения с установки передаются на ПК в виде текстового документа, далее по полученным данным с использованием средств программы Microsoft Excel строятся кривые ползучести и выполняется анализ линейной стадии процесса, в частности определяется скорость ползучести.

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. 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.

Усталостные испытания осуществлялись по схеме циклического несимметричного консольного изгиба в условиях усталости с частотой нагружения 3,3 $с^{-1}$ и одновременном воздействии магнитного поля. Образцы для усталостных испытаний имели форму параллелепипеда с параметрами 4x12x130 $мм^3$. Имитация трещины осуществлялась двумя надрезами в виде полуокружности радиусами 22 мм.

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 0,4 Тл (рисунок 1).

На рисунке 1 представлены кривые ползучести технически чистого поликристаллического свинца в исходном состоянии - $\varepsilon_{исх}$, и с воздействием магнитного поля с индукцией 0,4Тл – $\varepsilon_{мп0,4}$. Проведем анализ полученных данных.

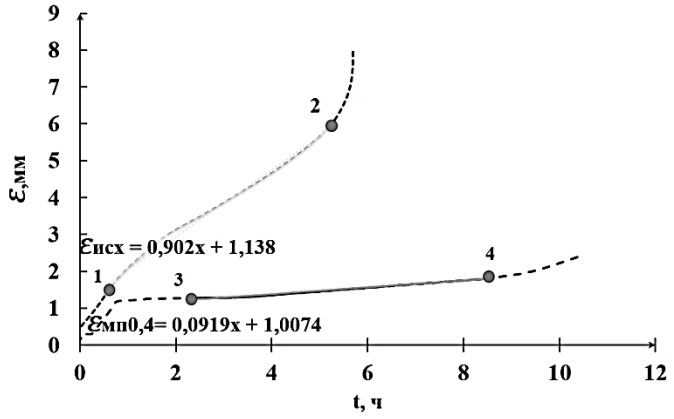

Рисунок 1 - Кривые ползучести свинца в исходном состоянии (εисх) и подвергнутого воздействию магнитного поля (εмп0,4) с индукцией B=0,4 Тл

Линейная стадия на кривой εисх выявлена на отрезке 1-2, а на кривой εмп0,4 линейная стадия процесса ползучести показана на отрезке 3-4. По данным отрезкам осуществлен расчет скорости ползучести поликристаллического свинца. Среднее значение скорости, рассчитанное по 3 испытаниям на ползучесть в исходном состоянии, составило 0,6 %/час. Среднее значение скорости ползучести при воздействии магнитного поля с индукцией 0,4 Тл составило 0,06 %/час, что показывает снижение скорости ползучести свинца по сравнению с исходным значением на 89 %.

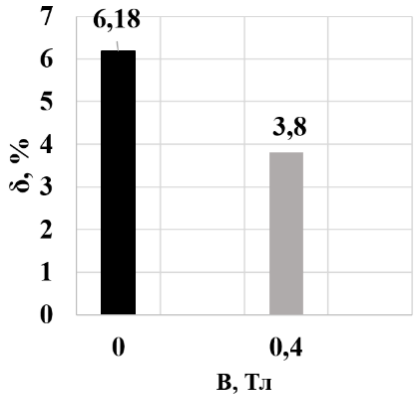

Рисунок 2 - Значения деформации образцов в испытании на ползучесть без воздействия магнитного поля (0) и после воздействия магнитным полем с индукцией B=0,4Тл

Деформация образцов до разрушения, не подвергнутых магнитному влиянию в процессе ползучести в среднем составляет 6,18 % (рисунок 2 (0). Значение деформации образцов подвергнутых воздействию магнитного поля составило 3,8 % (рисунок 2 (0,4)), по сравнению с исходным значением, деформация уменьшилась на 2,4 %.

Экспериментальные результаты, полученные на титане ВТ1-0 показали, что разрушение образцов титана, в магнитном поле или без него, происходит при степени деформации в среднем 41,65 %. Также установлено, что время необходимое на разрушение образца в постоянном магнитном поле 0,4 Тл сокращается на 10,43 % и составляет 11,77 часа, против 13,14 часа в усло-

виях ползучести без магнитного поля. Применение постоянного магнитного поля с индукцией 0,5 Тл в процессе ползучести приводит к уменьшению времени, необходимого на разрушение образца, на 27,25 % и составляет 9,56 часа. В магнитном поле – 3,5 %/ч, наблюдается увеличением скорости ползучести на установившейся стадии на 44,94 %. Расчет скорости показал, что средняя скорость ползучести титана без применения магнитного поля составляет 2,41 %/ч. Разрушение образцов титана в условиях ползучести в постоянном магнитном поле 0,4 Тл приводит к увеличению скорости деформации на 44,94 % и составляет 3,5 %/ч, при индукции магнитного поля 0,5 Тл увеличение составило 49,83 %, что соответствовало 3,61 %/ч. На алюминии А5М были получены следующие данные: без магнитного поля – 10,6 %/ч; 0,4 Тл – 4,78 %/ч. Таким образом, магнитное поле снижает скорость ползучести сплава А5М на 55%.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты косвенно свидетельствуют о разупрочнении титана ВТ1-0 и алюминия А5М, приводящему к более быстрому разрушению.

Исследования микротвердости технически чистого поликристаллического свинца позволили определить эффект воздействия магнитного поля на материал. Начальный эффект воздействия магнитного поля на материал отражают 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 рисунке 3.

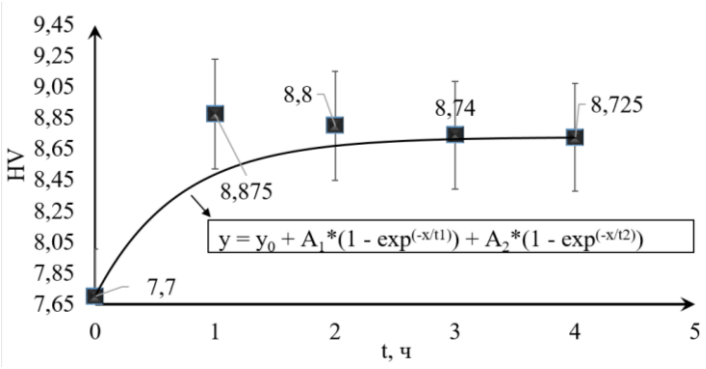

Рисунок 3 - Начальный эффект влияния магнитного поля на микротвердость свинца С2 при В=0,4Тл.

Значение микротвердости до обработки свинца составило HV_0 = 7,65 (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 выдержки образца в магнитном поле, наблюдается резкое повышение микротвердости до HV_1 = 8,875 (точка 2, рисунок 3) на 16,1 %. Далее в точках 3-5 не происходит значительного повышения значений микротвердости. В точке 3 (рисунок 3) HV_2 = 8,8, в точках 4, 5 значения составили HV_3 = 8,74 и HV_4 = 8,725. Таким образом, начальный эффект влияния магнитного поля выражен уве-

личением микротвердости, что позволяет сделать предположение о повышении прочности свинца.

Рассмотрим начальный эффект влияния магнитного поля для различных значений индукции при времени выдержки 1,25 часа на микротвердость алюминия А5М и титана ВТ1-0. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

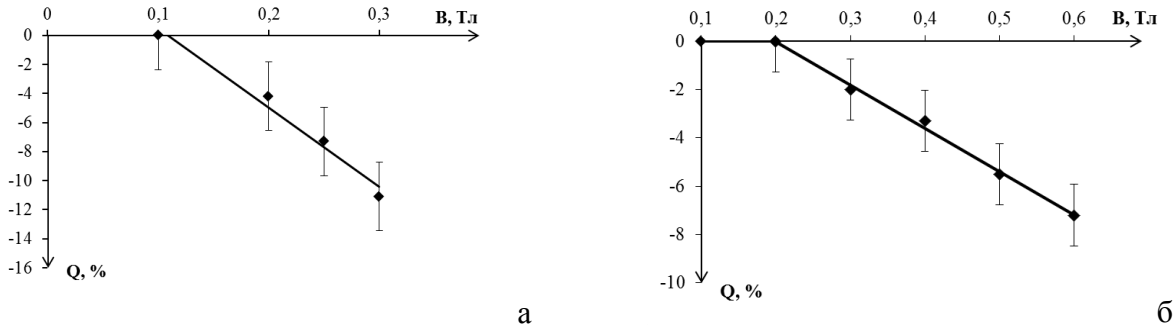

Рисунок 4 – Зависимость относительного изменения микротвердости от индукции магнитного поля сразу после обработки (параметры обработки: 0 Тл ≤ B ≤ 0,3 Тл; t = 1,25 часа для А5М(а); 0,1 Тл ≤ B ≤ 0,6 Тл; t = 1,25 часа для ВТ1-0(б))

Анализируя данные зависимости можно утверждать, что при одних и тех же параметрах обработки эффект влияния магнитного поля на титан менее выражен, чем на алюминий. При воздействии магнитным полем 0,3 Тл на микротвердость исследуемых металлов было установлено, что микротвердость алюминия А5М под воздействием магнитного поля в течение 1,25 часа снижается на 10-11 %, при этом воздействие на титан ВТ1-0 оказывается менее выраженным, где микротвердость снижается на 2 %. Для алюминия эффекты магнитного воздействия наблюдаются, начиная с индукции 0,1 Тл, однако для титана данные параметры магнитной обработки не оказывают никакого влияния, а заметные изменения микротвердости начинают проявляться со значения индукции 0,3 Тл, но в то же время качественно зависимости подобны. Аппроксимация полученных данным методом линейного приближения показывает, что полученные зависимости подчиняются уравнениям Q = -54,514B + 5,9343(рисунок 4, а) и Q = -17,9B + 3,56 (рисунок 4, б).

По результатам усталостных испытаний образцов титана ВТ1-0 и алюминия А5М выявлено, что воздействие постоянным магнитным полем 0,3 Тл приводит к значительному увеличению усталостной долговечности. Установлено, что применение постоянного магнитного поля 0,3 Тл при усталостных испытаниях технически чистого алюминия А5М приводит к увеличению количества циклов до разрушения в 4 раза. С технически чистым титаном ВТ1-0 наблюдается аналогичная картина, происходит увеличение циклов до разрушения в 2,2 раза, относительно испытаний без применения магнитного поля.

Типичное изображение структуры поверхности излома алюминия марки А5М представлено на рисунке 5.

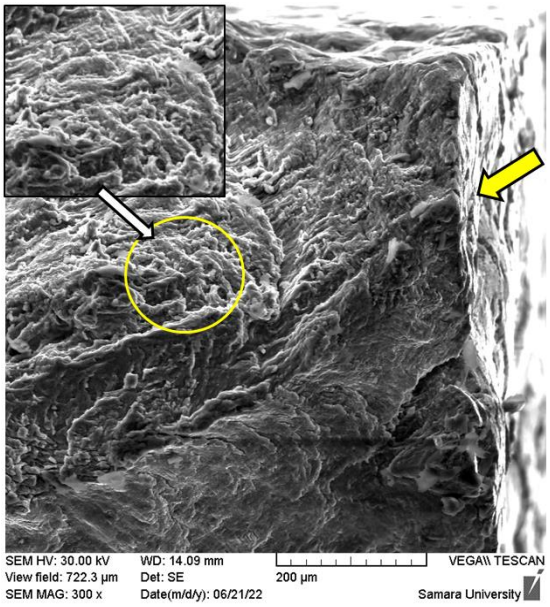

Рисунок 5 – Структура поверхности излома алюминия марки А5М

На рисунке 5 желтой стрелкой указано устье трещины, видно, что фронт распространения трещины представляет собой расходящиеся гребни, устремляющиеся от устья в глубь образца лучами разной величины. На поверхности излома имеются не только признаки хрупкого разрушения в виде фасеток квазискола, но и признаки пластической деформации (гребни). Также стоит отметить наличие в структуре ямок (указано на рисунке кругом), которые можно охарактеризовать как ямки отрыва, этот элемент структуры проявляется в основном в вязком характере разрушения.

Аналогичная морфология поверхности излома наблюдается и на образцах технически чистого титана марки ВТ1-0. Типичное изображение поверхности разрушения образцов титана в магнитном поле и без него представлено на рисунке 6.

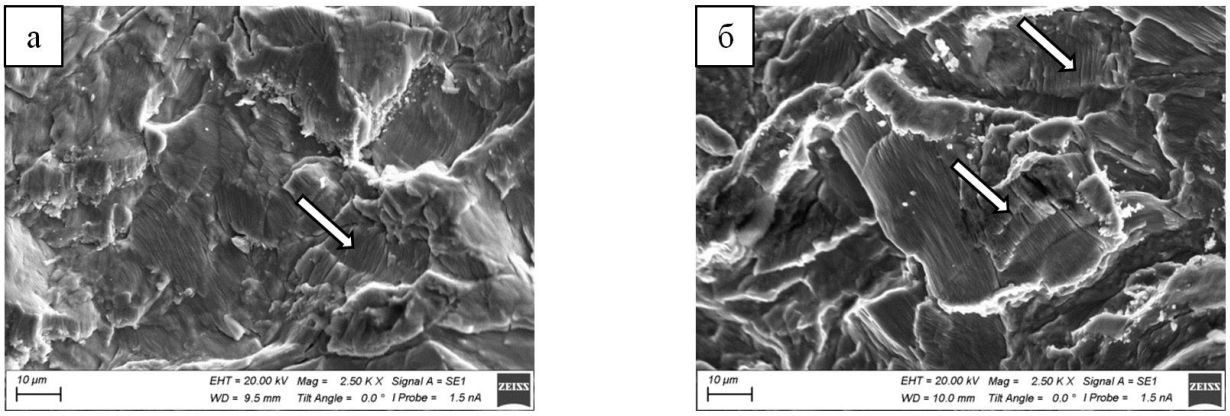

Рисунок 6 – Структура поверхности разрушения титана ВТ1-0:
а - без магнитного поля; б – 0,5 Тл

Также стоит отметить, что на поверхности титановых образцов отчетливо видны бороздки усталости. В изломах, возникших в результате многоцикловой усталости сплава ВТ1-0, наблюдаются хорошо выраженные борозды усталости (указаны стрелками на рисунке 6). Под термином «бороздки

усталости» понимаются полосы последовательно расположенных углублений и выступов или полосы со ступенями разлома, ограниченные этими углублениями, расположенные параллельно фронту трещины. При каждом цикле нагружения трещина (изгиб) продвигается вперед на определенное расстояние. При этом на поверхности излома остается последовательный ряд полос.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00118).

Библиографический список

1. Aswegen D.C., Polese C. Experimental and analytical investigation of the effects of laser shock peening processing strategy on fatigue crack growth in thin 2024 aluminium alloy panels // International Journal of Fatigue. – 2021. – Vol. 142. – P. 105969.

2. Осинцев К.А., Шляров В.В., Бутакова К.А., Романов Д.А. Исследование электровзрывных электроэрозионностойких покрытий системы Ag-W, полученных на меди // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии. – 2018. – Т. 8. – № 2. – С. 32-40.

3. Zagulyaev D., Konovalov S., Gromov V., Melnikov A., Shlyarov V. Research into morphology and phase structure in the surface of Al-Si alloy modified by yttrium oxide // Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences. – 2019. – Vol. 67. Issue 1. – P. 1-5.

4. Шляров В.В., Загуляев Д.В., Абатурова А.А., Леонов А.А., Устинов А.М. Эволюция микроструктуры и микротвердости поршневого сплава Al-10Si-2Cu, облученного импульсным электронным пучком // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2020. – Т. 17(1). – С. 32-39

5. Li Y., Li M., Utaka Y., Yang C. Wang M. Effect of copper surface modification applied by combined modification of metal vapor vacuum arc ion implantation and laser texturing on anti-frosting property // Energy and Buildings. – 2020. – Vol. 223. – P. 110132.

6. Zagulyaev D., Konovalov S., Shlyarov V., Chen X. Influence of constant magnetic field on plastic characteristics of paramagnetic metals // Materials Research Express. – 2019. – Vol. 6. – 096523.

7. Levitin V.V., Loskutov S.V. The effect of a current pulse on the fatigue of titanium alloy // Solid State Communications. – 2004. – V. 131(3-4). – P. 181-183.

8. Li G.R., Li Y.M., Wang F.F., Wang H.M. Microstructure and performance of solid TC4 titanium alloy subjected to the high pulsed magnetic field treatment // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – V. 644. – P. 750-756.

9. Белецкий В.М. Алюминиевые сплавы. КОМИНТЕХ. – 2005.

10. Тарасов А.В. Металлургия титана. Москва, – 2003. – 328 с.

11. Романтеев Ю.П. Металлургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий; МИСИС - М., – 2010. – 374 с.

12. Коновалов С.В. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести металлов и сплавов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – С. 64-66.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 3: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ *4*

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБРАЗЦОВ
ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛООТВОДА
Чинахов Д.А., Акимов К.О., Полегешко С.А. *4*

ВИХРЕВОЕ ТЕЧЕНИЕ В КАПЛЕ ПРИ ЭЛЕКТРОСВАРКЕ
Сарычев В.Д., Чинахов Д.А., Грановский А.Ю., Устюжанин С.В., Сарычев Д.В., Коновалов С.В. *12*

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАПЫЛЕНИЯ НА СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВОВ AL-5SI,
ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ СВАРКИ
Су Ч., Коновалов С.В., Чэнь С., Хуанг Л. *18*

ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ МЕТАЛЛУРГИЧЕКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Жуков А.В., Бендре Ю.В. *22*

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВОВ А5М, ВТ-1, С2
ПОДВЕРГНУТЫХ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКЕ
Шляров В.В., Серебрякова А.А., Аксенова К.В., Загуляев Д.В., Устинов А.М. *27*

РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
СИСТЕМЫ SN-SB-CU ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ
Михеев Р.С., Калашников И.Е., Катин И.В., Быков П.А. *35*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБШИРНОЙ ДИФФУЗИОННОЙ ЗОНЫ, СФОРМИРОВАННОЙ
НА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ
В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ
Шевчук Е.П., Плотников В.А., Макаров С.В. *40*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Федоров В.В., Клименов В.А., Черепанов Р.О. *49*

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА AL-CO-CR-FE-MN-NI
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
Осинцев К.А., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Панченко И.А., Воробьев С.В., Бессонов Д.А. *56*

КАВИТАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ИНТРЕМЕТАЛЛИДНОГО ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО
ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ TI-AL
Яковлев В.И., Собачкин А.В., Логинова М.В., Мясников А.Ю., Барсуков Р.В. *61*

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ
В УСЛОВИЯХ ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СТРУКТУРУ
И МИКРОТВЕРДОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 45
Чинахов Д.А., Рзаев Э.Д. *70*

ОСОБЕННОСТИ СПЛАВЛЕНИЯ, СТРУКТУРО- И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ
И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ,
ФОРМИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Клименов В.А., Федоров В.В., Черепанов Р.О., Хань Ц., Стрелкова И.Л. *80*

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ АДДИТИВНОМ ПРОВОЛОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 88
Колубаев Е.А., Рубцов В.Е., Чумаевский А.В., Панфилов А.О., Зыкова А.П., Осипович К.С., Николаева А.В., Добровольский А.Р., Утяганова В.Р., Шамарин Н.Н., Никонов С.Ю. *88*