

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**

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»

Результаты анализа содержания Сг в керамике, изготовленной методом б), наиболее близки к расчетным значениям для исследуемых составов.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ (научный проект №С22-11)

Библиографический список

1. Zhang, X. // Effect of pressure on densification behavior, microstructures and mechanical properties of boron carbide ceramics fabricated by hot pressing. X. Zhang, H. Gao, Z. Shang, R. Wen, G. Wang, J. Mu, H. Che // Ceramics International. 2017. V. 43. P. 6345–6352.
2. Thévenot F. Boron carbide-A comprehensive review // Journal of the European Ceramic Society. 1990. № 4 (6). С. 205–225.
3. Yamada S., Hirao K., Yamauchi Y. and Kanzaki S. Sintering behavior of B₄C-CrB₂ ceramics. 2002. J. Mater. Sci. Lett. V. 21. P. 1445–7.
4. Suzuya Yamada, Kiyoshi Hirao, Yukihiro Yamauchi S. K. B₄C- CrB₂ composites with improved mechanical properties. 2003 . J. Eur. Ceram. Soc. V. 23. P. 561–5.
5. Krutskii Y. L. , Dyukova K.D., Kuz'min R.I., Netskina O.V., Iorkh A.E.. Synthesis of finely dispersed chromium diboride from nanofibrous carbon // Izvestiya Ferrous Metallurgy. 2018. № 10 (61). С. 800–806.

УДК 620.170: 621.791

ПОВЕРХНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ И СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА И ФД-УФС

Крюков Р.Е., Михно А.Р., Жуков А.В., Бендре Ю.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк Россия, rek_nzrmk@mail.ru*

Аннотация. Выполнен количественный анализ параметров структуры и дислокационной субструктуры металла сварных швов выполненных с использованием разработанных флюсов и флюс-добавки на основе техногенных металлургических образований Кузбасса. Оценены вклады скалярной и избыточной плотности дислокаций в прочность металла сварных швов. Исследованы структурно-фазовое состояние и поверхность разрушения металла сварных швов методами СЭМ и ПЭМ.

Ключевые слова: сварочный флюс; шлак силикомарганца; микроструктура; сканирующий электронный микроскоп, просвечивающий электронный микроскоп, поверхность разрушения, фазовый состав.

FAULT SURFACE AND STRUCTURAL-PHASE STATE OF METAL OF WELDED JOINTS MADE WITH USE OF FLUX BASED ON

SILICOMANGANESE SLAG AND PD-UFS

Kryukov R.E., Mikhno A.R., Zhukov A.V., bendre Yu.V.

Siberian State Industrial University
Novokuznetsk, Russia, rek_nzrmk@mail.ru

Abstract. *A quantitative analysis of the parameters of the structure and dislocation substructure of the metal of welds made using the developed fluxes and flux additives based on technogenic metallurgical formations of Kuzbass was carried out. The contributions of the scalar and excess dislocation density to the strength of the weld metal are estimated. The structural-phase state and fracture surface of the weld metal were studied by SEM and TEM methods.*

Keywords: *welding flux; silicomanganese slag; microstructure; scanning electron microscope, transmission electron microscope, fracture surface, phase composition.*

На данный момент в условиях нестабильной глобальной экономики, когда наше государство находится под санкциями, производство вынуждено перейти на новый уровень, чтобы обеспечить экономическую независимость от других государств.

В настоящее время ситуация в сварочном производстве в России весьма противоречива. В условиях санкции большинство сварочных предприятий пользуются либо услугами параллельного импорта либо услугами производителей сварочных материалов находящиеся на территории Российской Федерации [1,2]. Использование сварочных материалов поставляемых параллельным импортом приводит к удорожанию производства металлических сварных конструкции, что в свою очередь подталкивает разработчиков сварочных материалов наладить выпуск собственно разработанных сварочных материалов [3-5].

В условиях НПЦ «Сварочные процессы и технологии» ФГБОУ ВО «СибГИУ» разрабатывается широкий спектр сварочных материалов изготавливаемых, в том числе из техногенных образований [6-9], одним из таких материалов является флюс - добавка на основе отходов пыли газоочистки алюминиевого производства (углеродфторсодержащий материал) .

Использование углеродфторсодержащих материалов во флюсах открыло новые технологические возможности в повышении качества макроструктуры стальных сварных соединений по содержанию неметаллических включений и газовых пор [10-12]. Однако недостаток данных о структурно-фазовых состояниях, дислокационной субструктуре и морфологии поверхностей разрушения сварных швов, полученных с использованием новых флюсов из шлака силикомарганца и углеродфторсодержащей добавки (ФД-УФС), сдерживает прогресс этого перспективного направления.

Сварку под флюсом, на основе шлака производства силикомарганца с применением ФД-УФС в количестве 6 % (образец 1) и без нее (образец 2) производили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером

500×75 мм толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА с использованием сварочной установки АСАW-1250 при режимах: $I_{св} = 700$ А; $U_d = 30$ В; $V_{св} = 35$ м/ч.

Исследования структуры поверхности разрушения и поверхности травления металла сварного шва анализировали методами сканирующей электронной микроскопии. Травление поверхности образцов осуществляли путем облучения импульсным электронным пучком на установке «СОЛО» [13]. Параметры облучения: энергия ускоренных электронов 18 кэВ, плотность энергии пучка электронов 10 Дж/см², длительность импульса воздействия пучка электронов 50 мкс, количество импульсов 3, частота следования импульсов 0,3 с⁻¹, облучение проводили в среде остаточного инертного газа (аргон) при давлении 0,02 Па. Исследование морфологии фаз, дефектной субструктуры и фазового состава металла сварного шва осуществляли методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии.

Исследование химического состава полученных образцов (таблица 1) показывает, что образцы сварного шва отличаются по степени легирования, а именно, суммарная концентрация легирующих элементов (С, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, Nb, Al) в образце с добавкой ФД-УФС составляла 2,413 вес.%; в образце без нее – 1,487 вес.%. При этом основное отличие в элементном составе металла шва исследуемых образцов наблюдается по концентрации марганца и углерода.

Таблица 1 – Химический состав металла сварного шва (ост. Fe, вес. %)

Образец	Массовая доля элементов, %									
	С	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Al	S	P
1	0,12	0,66	1,43	0,02	0,06	0,10	0,011	0,012	0,027	0,008
2	0,09	0,71	0,51	0,03	0,10	0,11	0,014	0,023	0,018	0,012

Следующей отличительной особенностью изломов данных сварных швов, является наличие неметаллических включений, характерных преимущественно для сварного шва №2 - без добавки (рисунок 1). Размеры неметаллических включений изменяются в пределах от 10 мкм до 15 мкм. Следует ожидать, что присутствие в сварном шве таких включений будет способствовать его охрупчиванию. Таким образом, анализ структуры поверхности разрушения позволяет говорить о том, что сварной шов образца №2 (без добавки), содержащий сравнительно большое количество неметаллических включений, может быть более хрупким по сравнению со сварным швом образца №1 (с добавкой ФД-УФС).

Фазовый состав и дефектную субструктуру металла сварного шва изучали методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии [14]. Установлено, что основной фазой исследуемых сварных швов, независимо от введения добавки, является твердый раствор на основе α -железа (феррит, ОЦК кристаллическая решетка, α -фаза). Кроме α -железа в сварном шве присутствуют частицы карбида железа (цементит) и, преимущественно

в образце №2 (без добавки), силицида железа состава Fe_3Si (ОЦК кристаллическая решетка, $a = 0.28277 \text{ нм}$).

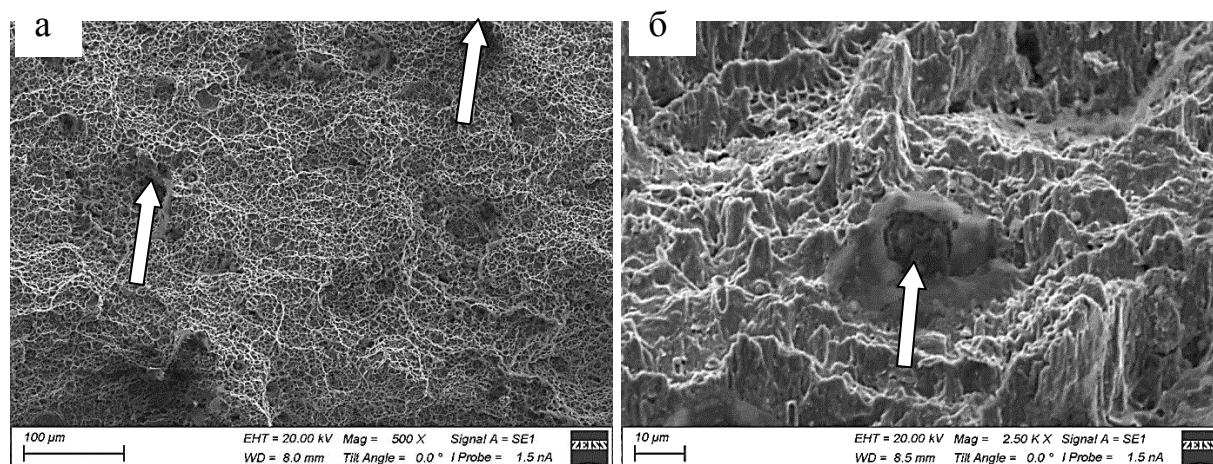


Рисунок 1 - Поверхность вязкого излома металла сварного шва образца №2. Стрелками указаны неметаллические включения.

На рисунке 2 представлены области с фрагментированной дислокационной субструктурой. Средний размер фрагментов в образце №1 составляет 450 нм, в образце №2 – 550 нм. В объеме фрагментов присутствует дислокационная субструктура в виде хаотически распределенных дислокаций. Скалярная плотность дислокации в такой структуре одинакова и составляет в образце №6 $2,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, а в образце №2 - $2,65 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

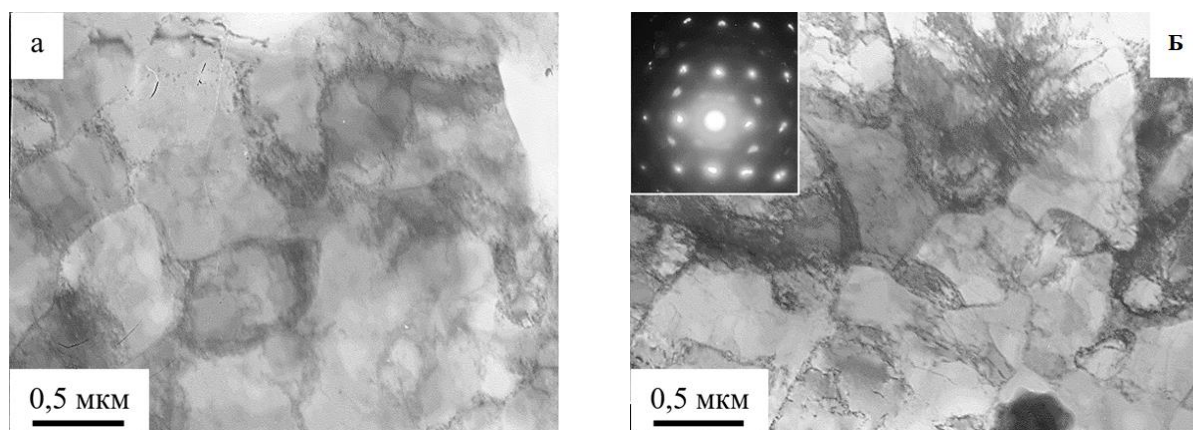


Рисунок 2 - Фрагментированная дислокационная субструктура сварного шва

Амплитуда внутренних полей напряжений, напрямую связана с поперечным размером изгибных контуров. При этом, чем меньше поперечный размер контура, тем выше амплитуда полей напряжений в данной области материала. Анализируя электронно-микроскопические изображения структуры сварного шва, было замечено, что наиболее узкие контуры формируются у межфазных границ включение / матрица (рисунок 3).

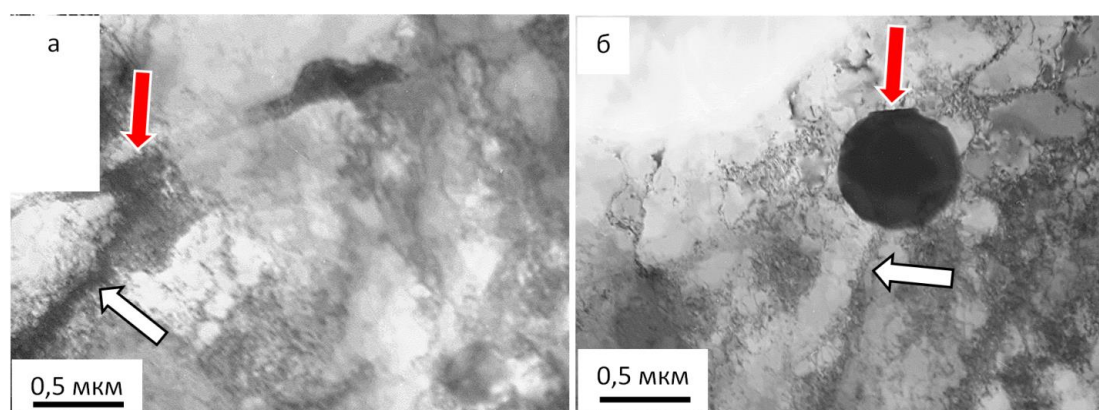


Рисунок 3 - Изгибные контуры экстинкции, присутствующие на электронно-микроскопических изображениях структуры сварного шва. Контуры указаны светлыми стрелками, включения второй фазы – красными стрелками.

Таковыми включениями, выявленными методами просвечивающей электронной микроскопии, могут являться частицы цементита, расположенные в объеме и на границах зерен феррита (рисунок 4, а), и частицы силицида железа, имеющие округлую (сферическую) форму и расположенные в объеме зерен феррита (рисунок 4, б). Следовательно, включения второй фазы, присутствующие в сварном шве, являются концентраторами напряжений и могут быть центрами зарождения микротрещин при механическом воздействии на материал.

Электронно-микроскопические исследования металла сварного шва позволили привести количественный анализ характеристик структуры стали, результаты которого представлены в таблице 2. Определяли скалярную (ρ) и избыточную ($\rho_{\pm}$) плотность дислокаций, проводили оценку упрочнения металла вследствие присутствия дислокационной субструктуры и внутренних полей напряжений.

Таблица 2 – Результаты анализа дефектной субструктуры и фазового состава сварного шва

Параметры структуры*	Обр. № 1 (с добавкой ФД-УФС)	Обр. № 2 (без добавки)
$\rho, 10^{10}, \text{см}^{-2}$	2.92	3.22
$\rho_{\pm}, 10^{10}, \text{см}^{-2}$	2.04	2.87
$\sigma_L, \text{МПа}$	340	360
$\sigma_{\partial}, \text{МПа}$	285	465
*Обозначено: ρ - скалярная плотность дислокаций; $\rho_{\pm}$ - избыточная плотность дислокаций; σ_L – вклад в упрочнение металла, обусловленный торможением подвижных дислокаций дислокациями «леса»; σ_{∂} – вклад в упрочнение металла, обусловленный внутренними полями напряжений;		

Скалярная и избыточная плотность дислокаций в структуре металла сварного шва №2 выше, чем в металле сварного шва №1. Более высокая скалярная и избыточная плотность дислокаций привела к более высокому значению вклада в упрочнение металла, обусловленного торможением подвижных

ных дислокаций дислокациями «леса» (σ_L) и вклада в упрочнение металла, обусловленного внутренними полями напряжений сварного шва №2, относительно металла сварного шва №1. Последнее указывает на более высокий уровень внутренних напряжений в сварном шве №2 и, возможно, на более значительное количество концентраторов напряжений, которые могут приводить к охрупчиванию материала данного образца.

Выводы

Методами сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопии проведены исследования структуры и фазового состава, поверхности разрушения металла сварного шва. Показано, что в сварном шве №1 (флюс из шлака силикомарганца с добавкой ФД-УФС) частицы второй фазы расположены хаотически, а в сварном шве №2 (без добавки) частицы второй фазы декорируют границы зерен феррита. Анализ структуры поверхности разрушения исследуемых сварных швов выявил наличие неметаллических включений, характерных преимущественно для сварного шва №2 (без добавки), что может указывать на его повышенную хрупкость, по сравнению со сварным швом №1 (с добавкой ФД-УФС). Показано, что структура металла сварного шва №2 характеризуется более высоким уровнем внутренних полей напряжений (относительно металла сварного шва №1) и, возможно, большим количеством концентраторов напряжений, которые могут приводить к охрупчиванию материала.

Библиографический список

1. Маковецкая, О. К. Современный рынок сварочной техники и материалов / О. К. Маковецкая // Автоматическая сварка. – 2011. – № 6(698). – С. 23-38.
2. Порошковые проволоки на мировом и региональных рынках сварочных материалов / А. А. Мазур, О. К. Маковецкая, С. В. Пустовойт, Н. С. Бровченко // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5-6(742). – С. 68-74.
3. Зудинова, К. Ю. Импортзамещение в судостроении: путь к экономической и политической безопасности, или новый этап в стремительном повышении конкурентоспособности отрасли на мировой арене / К. Ю. Зудинова // Экономические науки. – 2016. – № 143. – С. 69-72.
4. Рухлин, Г. В. Использование природно-сырьевых ресурсов РСО-Алания в производстве сварочных электродов / Г.В. Рухлин, Н. И. Рухлина // Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы : Материалы III Международной научно-практической конференции, Коломна, 30 апреля 2016 года. – Коломна: Коломенский институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)", 2016. – С. 132-137.
5. Ремонт вооружения, военной и специальной техники при помощи сварки под флюсом с использованием сварочных материалов из минерального сырья Уральского региона / А. Г. Журба, С. В. Наумов, В. А. Белинин [и др.] // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. –

2020. – Т. 11. – № 1. – С. 59-61.

6. Патент № 2772822 С1 Российская Федерация, МПК В23К 35/362. Флюс для механизированной сварки и наплавки сталей : № 2021128315 : заявл. 27.09.2021 : опубл. 26.05.2022 / А. Б. Юрьев, Н. А. Козырев, А. Р. Михно [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный индустриальный университет", ФГБОУ ВО "СибГИУ".

7. Патент № 2772824 С1 Российская Федерация, МПК В23К 35/362. Флюс для механизированной сварки и наплавки сталей : № 2021128316 : заявл. 27.09.2021: опубл. 26.05.2022 / А. Б. Юрьев, Н. А. Козырев, А. Р. Михно [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный индустриальный университет", ФГБОУ ВО "СибГИУ".

8. Патент № 2779557 С1 Российская Федерация, МПК В23К 35/368. Порошковая проволока: № 2022106815 : заявл. 15.03.2022 : опубл. 09.09.2022 / А. Б. Юрьев, Н. А. Козырев, П. В. Киселев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный индустриальный университет" ФГБОУ ВО "СибГИУ".

9. Патент № 2683164 С1 Российская Федерация, МПК В23К 35/362. Флюс для механизированной сварки и наплавки сталей : № 2018117404 : заявл. 10.05.2018 : опубл. 26.03.2019 / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, А. А. Усольцев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный индустриальный университет", ФГБОУ ВО "СибГИУ".

10. Крюков Р. Е. Физико-химические принципы выбора углеродсодержащих материалов для электродуговых способов соединения и упрочнения металлов / Р. Е. Крюков // Физическое материаловедение. Актуальные проблемы прочности : Сборник материалов X Международной школы, посвященной 10-летию лаборатории "Физика прочности и интеллектуальные диагностические системы" и LXIII Международной конференции, Тольятти, 13–17 сентября 2021 года. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2021. – С. 216-217.

11. Влияние введения добавок углерода и фтора во флюсы, изготовленные из шлака силикомарганца / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, А. Р. Михно [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2020. – Т. 63. – № 1. – С. 34-39. – DOI 10.17073/0368-0797-2020-1-34-39.

12. Крюков Р. Е. Теоретические и технологические основы создания углеродсодержащих сварочных и наплавочных материалов / Р. Е. Крюков // Сварка в России - 2019: современное состояние и перспективы : тезисы докладов Международной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Б.Е. Патона , Томск, 03–07 сентября 2019 года / Институт физики прочности и материаловедения СО РАН. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью "СТТ", 2019. – С. 170-171.

13. Эволюция структуры поверхностного слоя стали, подвергнутой

электронно-ионно-плазменным методам обработки / под ред. Н.Н. Коваля и Ю.Ф. Иванова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 304 с.

14. Томас Г., Гориндж М. Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. – М.: Наука, 1983. – 320 с.

УДК 669.713.017:538.9

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЗУЧЕСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИНДУКЦИЕЙ 0,5 ТЛ

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. 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 0,5Тл. 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 0,5Тл. Проанализированы показатели по результатам испытаний. Выявлена корреляция скорости ползучести и изменений микротвердости материала, подвергнутого воздействию магнитного поля с магнитной индукции 0,5Тл.*

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

INVESTIGATION OF THE CREEP RATE AND MICROHARDNESS OF COMMERCIALY PURE LEAD IN A MAGNETIC FIELD WITH INDUCTION 0.5 TL

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 0,5 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 0,5 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 0.5 T was revealed.*

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 3: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ	4
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НАПЛАВЛЕННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛОТВОДА <i>Чинахов Д.А., Акимов К.О., Полегешко С.А.</i>	4
ВИХРЕВОЕ ТЕЧЕНИЕ В КАПЛЕ ПРИ ЭЛЕКТРОСВАРКЕ <i>Сарычев В.Д., Чинахов Д.А., Грановский А.Ю., Устюжанин С.В., Сарычев Д.В., Коновалов С.В.</i>	12
ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАПЫЛЕНИЯ НА СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВОВ AL-5SI, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ СВАРКИ <i>Су Ч., Коновалов С.В., Чэнь С., Хуанг Л.</i>	18
ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Жуков А.В., Бендре Ю.В.</i>	22
ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЛАВОВ А5М, ВТ-1, С2 ПОДВЕРГНУТЫХ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКЕ <i>Шляров В.В., Серебрякова А.А., Аксенова К.В., Загуляев Д.В., Устинов А.М.</i>	27
РАЗРАБОТКА НАПЛАВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ SN-SB-CU ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ <i>Михеев Р.С., Калашников И.Е., Катин И.В., Быков П.А.</i>	35
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБШИРНОЙ ДИФфуЗИОННОЙ ЗОНЫ, СФОРМИРОВАННОЙ НА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ <i>Шевчук Е.П., Плотников В.А., Макаров С.В.</i>	40
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ <i>Федоров В.В., Клименов В.А., Черепанов Р.О.</i>	49
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА AL-CO-CR-FE-MN-NI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ <i>Осинцев К.А., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Панченко И.А., Воробьев С.В., Бессонов Д.А.</i>	56
КАВИТАЦИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ИНТРЕМЕТАЛЛИДНОГО ГАЗОДЕТОНАЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ TI-AL <i>Яковлев В.И., Собачкин А.В., Логинова М.В., Мясников А.Ю., Барсуков Р.В.</i>	61
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В УСЛОВИЯХ ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 45 <i>Чинахов Д.А., Рзаев Э.Д.</i>	70
ОСОБЕННОСТИ СПЛАВЛЕНИЯ, СТРУКТУРО- И ФАЗООБРАЗОВАНИЯ И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ <i>Клименов В.А., Федоров В.В., Черепанов Р.О., Хань Ц., Стрелкова И.Л.</i>	80
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ АДДИТИВНОМ ПРОВОЛОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	88
<i>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.</i>	88

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ И РАДИУСА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ИНСТРУМЕНТА НА ОБРАЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И МИКРОСТРУКТУРУ ПЕРИФЕРИЙНОЙ ЗОНЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Джигвишов В.Ф., Рзаев Э.Д.</i>	98
МИКРОСТРУКТУРА КЕРАМИКИ V_4C-CrV_2 , СИНТЕЗИРОВАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА	
<i>Дик Д.В., Гудыма Т.С., Филипов А.А., Крутский Ю.Л.</i>	107
ПОВЕРХНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ И СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА И ФД-УФС	
<i>Крюков Р.Е., Михно А.Р., Жуков А.В., Бендре Ю.В.</i>	114
ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОЛЗУЧЕСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ С ИНДУКЦИЕЙ 0,5 ТЛ	
<i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i>	121
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕДИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ С ОСНОВОЙ МЕТАЛЛА ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКЕ	
<i>Будовских Е.А., Романов Д.А., Филяков А.Д., Бащенко Л.П., Ионина А.В.</i>	126
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА ПУТЕМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНО СОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОШОК ТИТАНА	
<i>Киселев П.В., Комаров А.А., Михно А.Р., Дробышев В.К.</i>	131
ОБ ИЗГОТОВЛЕНИИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ БЕСКИСЛОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМАХ V_4C-MeV_2 ($Me = Ti, Cr, Zr$)	
<i>Гудыма Т.С., Крутский Ю.Л., Крутская Т.М., Дик Д.В., Шестаков А.А., Апарнев А.И., Логинов А.В.</i>	138
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КЕРАМИКИ ИЗ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ	
<i>Непочатов Ю.К., Плетнев П.М.², Гудыма Т.С.</i>	143
ПЕРСПЕКТИВЫ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ МЕТОДОМ ЭШН	
<i>Быстров В.А.</i>	149
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА AL7075 ПОСЛЕ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ	
<i>Дробышев В.К., Михно А.Р., Панченко И.А., Лабунский Д.Н.</i>	158
СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Mo-Au	
<i>Филяков А.Д., Романов Д.А., Соснин К.В., Московский С.В.</i>	162
ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОКАТА ИЗ ОТБРАКОВКИ ЗАГОТОВОК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ	
<i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	168

СЕКЦИЯ 4: РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА, ОХРАНА ТРУДА.....	176
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ УГЛЕОТХОДОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ <i>Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Улмасов А.Б., Куниц О.А.</i>	<i>176</i>
ПРОВЕРКА ЗНАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА И КРИТЕРИИ ГОТОВНОСТИ РАБОТНИКА К БЕЗОПАСНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>Чернов К.В.</i>	<i>182</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИРОСТА МАССЫ ШИХТОВЫХ АГРЕГАТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ <i>Павловец В.М., Домнин К.И.</i>	<i>193</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИЗБИРАТЕЛЬНОМУ СМЕШИВАНИЮ <i>Павловец В.М., Домнин К.И.</i>	<i>203</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИЙ С МИКРОКРЕМНЕЗЕМОМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТОГО СТЕКЛОКОМПОЗИТА <i>Скирдин К.В., Казьмина О.В.</i>	<i>211</i>
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА <i>Баженова Н.Н., Водолеев А.С., Гибадуллин Р.М.</i>	<i>219</i>
КЕДР КАК ОБЪЕКТ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ КУЗБАССА <i>Водолеев А.С., Захарова М.А., Толстикова А.Ф., Баженова Н.Н.</i>	<i>227</i>
АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ <i>Водолеев А.С., Захарова М.А., Постельников В.Н., Ким В.И., Бондарев М.Р.</i>	<i>232</i>
СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОБИОМОНИТОРИНГА ПРИ КОНСЕРВАЦИИ СКЛАДИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Захарова М.А., Водолеев А.С., Лубенцева Ю.А., Толстикова А.Ф., Баженова Н.Н.</i>	<i>240</i>
ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ <i>Корнилов Д.А., Водолеев А.С., Грибкова Е.О., Гибадуллин Р.М., Конаков С.В.</i>	<i>247</i>
ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО ВОДНОГО РАСТЕНИЯ ЭЙХОРНИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗОВАННЫХ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Гашикова А.О., Михайличенко Т.А.</i>	<i>259</i>
ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. НОВОКУЗНЕЦКА И ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ <i>Коноплев Д.Д., Коротков С.Г., Домнин К.И.</i>	<i>265</i>
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Вахтарова К.О., Михайличенко Т.А.</i>	<i>274</i>
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ АССОРТИМЕНТА И КАЧЕСТВА УГОЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ УГЛЕЙ <i>Мурко В.И., Карпенков В.И., Темлянцева Е.Н., Аникин А.Е.</i>	<i>279</i>
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <i>Грибкова Е.О., Водолеев А.С., Гибадуллин Р.М., Конаков С.В., Корнилов Д.А., Макшанов Д.В.</i>	<i>289</i>

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Волченкова О.А., Михайличенко Т.А.</i>	297
ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К АГЛОСИХТЕ <i>Урусов Д.Н., Михайличенко Т.А.</i>	306
РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ЗА ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Големинов С.П., Михайличенко Т.А.</i>	314
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ <i>Павловец В.М.</i>	322
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОКОМКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ДОБАВКИ <i>Павловец В.М.</i>	329
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Романова В.А., Дробышев В.К.</i>	338
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОВОСТРЕБОВАННЫХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА НА СТАДИИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Филиппов В.А.</i>	344
СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	352
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ <i>Немчинова Н.В., Тузов А.В., Геройменко А.В., Анончук И.И.</i>	352
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ЗАВИСИМЫМИ ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ <i>Свинцов М.М., Скударнова Н.В., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Мышляев Л.П.</i>	358
ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СО СТРУКТУРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТЬЮ <i>Загидулин И.Р., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Свинцов М.М.</i>	363
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Коровин Д.Е., Грачев В.В., Макаров Г.В., Кулюшин Г.А., Скударнова Н.В.</i>	369
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ "ПЧ-АД" <i>Клевицов С.А., Модзелевский Д.Е.</i>	376
СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ, ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ <i>Макаров Г.В., Мышляев Л.П., Чинахов Д.А., Ивушкин К.А.</i>	384
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УДАЛЕННОЙ ПУСКОНАЛАДКИ НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Кулюшин Г.А., Мышляев Л.П., Грачев В.В., Коровин Д.Е.</i>	391
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «АЛЮМИНИК» ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МИКСЕРЕ ЛИТЕЙНОГО ОТДЕЛЕНИЯ <i>Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А.</i>	400

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2022»

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор

Г.А. Морина

Компьютерная верстка

Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офисная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 24,0 Уч.-изд. л. 26,4 Тираж 300 экз. Заказ № 296

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ