**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»**

# НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ЧАСТЬ I

***Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 19 – 21 мая 2020 г.***

**выпуск 24**

Под общей редакцией профессора М. В. Темлянцева

**Новокузнецк**
**2020**

ББК 74.580.268
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Темлянцев М.В.,
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,
д-р геол.- минерал. наук, профессор Гутак Я.М.,
д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.,
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
д-р техн. наук, профессор Галевский Г.В.,
д-р техн. наук, доцент Фастыковский А.Р.,
д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
канд. техн. наук, доцент Коротков С.Г.

Н 340 Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Министерство науки и высшего образования РФ, Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк : Издтельский центр СибГИУ, 2020. – Вып. 24. – Ч. I. Естественные и технические науки. – 480 с., ил. – 164 , таб. – 88.

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых, металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования, экологии, безопасности, рационального использования ресурсов.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2020

производстве: сборник трудов научно-технической конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана. Под общей редакцией К.А. Батышева, К.Г. Семенова. – М. : ИИУ МГОУ, 2019. С. 340-345.

УДК 669.715:539.21

# ИЗМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

**Абатурова А.А. [1], Шляров В.В. [1], Петрикова Е.А. [2], Тересов А.Д. [2], Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А. [1] , д-р физ.-мат. наук, профессор Иванов Ю.Ф. [2]**

[1]*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, e-mail: abaturova372412@gmail.com,*
[2]*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, e-mail: elizmarkova@yahoo.com*

В работе выполнено модифицирование поверхности доэвтектического силумина АК10М2 электронным пучком, в режимах, различающихся плотностью энергии пучка электронов (10, 30 и 50) Дж/см$^2$ и длительностью импульсов (50 и 200) мкс. Показано, что износостойкость исследуемого материала, облученного интенсивным импульсным электронным пучком (50 Дж/см$^2$, 200 мкс.), превосходит износостойкость силумина в литом состоянии на 197%. Установлено, что максимальное увеличение микротвердости наблюдается при параметрах пучков электронов 30 Дж/см$^2$, 200 мкс и 50 Дж/см$^2$, 50 мкс, значения микротвердости для каждого из режимов составляют 860 МПа и 950 МПа соответственно. Значение микротвердости литого сплава равно 520 МПа. Сопоставление данных по микротвердости и износостойкости выявило их корреляцию.

Ключевые слова: силумин доэвтектический, импульсный электронный пучок, облучение, износостойкость, микротвердость.

Алюминиевые сплавы – наиболее широко используемые металлические конструкционные материалы, после железа и стали. Данные сплавы имеют потенциал для применения в авиационной, аэрокосмической, автомобильной, военно-морской, оружейной промышленности из-за их низкой плотности, высокой удельной прочности и хорошей коррозионной стойкости [1-3].

По своему составу, микроструктуре и технологическим характеристикам алюминиевые сплавы можно разделить на литые и деформируемые. Как правило, содержание легирующих элементов в литых алюминиевых сплавах составляет 10–12%, а в деформируемых – 1–2% (в некоторых случаях оно может достигать 6–8%). Силуминами называют сплавы, химический состав которых включает в себя алюминии и кремний. Они не подвергаются термо-

обработке, а могут быть упрочнены твердым раствором и процессами механической деформации.

В настоящее время детали из алюминиевых сплавов изготавливаются в основном традиционными методами, такими как литье, ковка, экструзия и порошковая металлургия [4]. Несмотря на то, что изделия из алюминиевых сплавов широко используются, все еще существует много проблем в процессе производства и их применения. Во-первых, низкая скорость охлаждения в процессе литья делает микроструктуру грубой, с множеством дефектов, которые снижают механические свойства деталей [5]. Во-вторых, процесс подготовки и формования компонентов с высокими эксплуатационными характеристиками состоит из большого количества операций, что приводит к длинной технологической цепочке с ограниченной гибкостью. Кроме того, с современными промышленными разработками, требования к структуре и рабочим характеристикам деталей постоянно возрастают. Например, для удовлетворения технических требований высокой теплопроводности, легкого веса и высокой удельной прочности систем тепловой защиты двигателей авиационно-космических аппаратов, обычно используют материалы, которые имеют решетчатую или ячеистую структуру. Интегральное формирование сложных конструктивных элементов не только сокращает время и количество используемых инструменты для изготовления и сборки компонентов малого и среднего размера, но также уменьшает вес и концентрацию напряжений, обычно связанные со сваркой и другими подходами соединения деталей [6-8]. Производство деталей из алюминиевого сплава с разнообразной структурой, высокой точностью размеров и формой, будет основной целью исследований и разработок в будущем.

Электронно-пучковая обработка считается одной из наиболее перспективных технологий обработки поверхности изделии для придания повышенных физико-технических характеристик, а также формирования уникальной структуры алюминиевых сплавов.

Целью настоящей работы являлся анализ изменений износостойкости и микротвердости поверхностного слоя образцов доэвтектического силумина, подвергнутого облучению интенсивным импульсным электронным пучком в различных режимах.

В качестве материала исследования использован силумин марки АК5М2, химический состав которого, определенный по результатам рентгеноспектрального анализа, приведен на рисунке 1а. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами 15х15х5 мм (рисунок 1б).

Облучение образцов силумина интенсивным импульсным электронным пучком осуществляли на установке «СОЛО», общий вид которой приведен на рисунке 1в [9].

Электронный пучок ориентировался по нормали к поверхности образца с размерами 15х15 мм$^2$, а диаметр пучка выбирался из условий охватывания всей площади поверхности образца (Рисунок 1г).

Параметры пучка электронов: энергия ускоренных электронов 17 кэВ, плотность энергии пучка электронов (10, 30, 50) Дж/см$^2$, длительность импульсов (50 и 200) мкс, количество импульсов 3, частота следования импульсов 0,3 с$^{-1}$; давление остаточного газа (аргон) в рабочей камере установки 2*10$^{-2}$ Па.

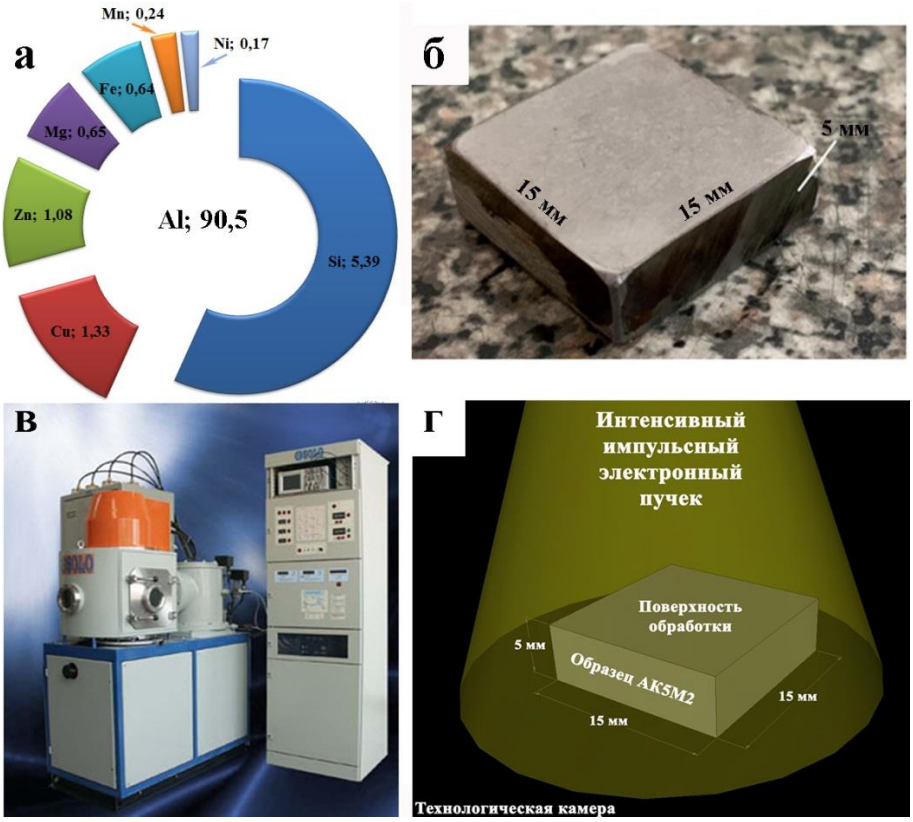


Рисунок 1- Результаты рентгеноспектрального анализа исследуемого материала (а), геометрические размеры образцов (б), внешний вид установки «СОЛО» (в) [9], ориентация образца относительно электронного пучка (г).

Трибологические свойства материала оценивали по параметру износа (k), величине обратной износостойкости на приборе TRIBOtester, схема Pin-On-Disc. Тестирование проводили в условиях сухого трения при параметрах: нормальная нагрузка 2 Н; скорость вращения образца 25 мм/с, пройденное расстояние 100 м; радиус трека 2 мм; контртело – шарик из твердого сплава ВК7 диаметром 6 мм.

Микротвердость измеряли методом восстановленного отпечатка (Виккерса), непосредственно на поверхности подвергнутой облучению, в соответствии с международным стандартом ISO 6507: 2005, нагрузка на индентор составляла 1Н (микротвердомер HVS-1000). Время нагружения составило 10 с, а время снятия нагрузки - 5 с (средние значение микротвердости определяли по 10 отпечаткам не менее чем на 3-х образцах для каждого режима).

Результаты трибологических испытаний и данные по микротвердости образцов силумина, облученных интенсивным импульсным электронным

пучком, приведены на рисунке 2 (красные и синие столбики). Отчетливо видно, что при облучении электронным пучком с длительностью импульса тока пучка 200 мкс параметр износа (величина, обратная износостойкости) снижается с ростом плотности энергии пучка электронов, демонстрируя тенденцию к выходу на насыщение (рисунок 2, красные столбики). Более сложным образом изменяется износостойкость силумина, облученного электронным пучком с длительностью тока пучка 50 мкс (рисунок 2, синие столбики). В данном случае износостойкость незначительно снижается при плотности энергии пучка электронов 30 Дж/см$^2$ и вновь увеличивается при облучении электронным пучком с плотностью энергии 50 Дж/см$^2$. Максимальное увеличение износостойкости (k = 0,37•10$^{-3}$ мм$^3$/Н•м) наблюдается при параметрах обработки 50 Дж/см$^2$ 200 мкс, и составляет 197 %.

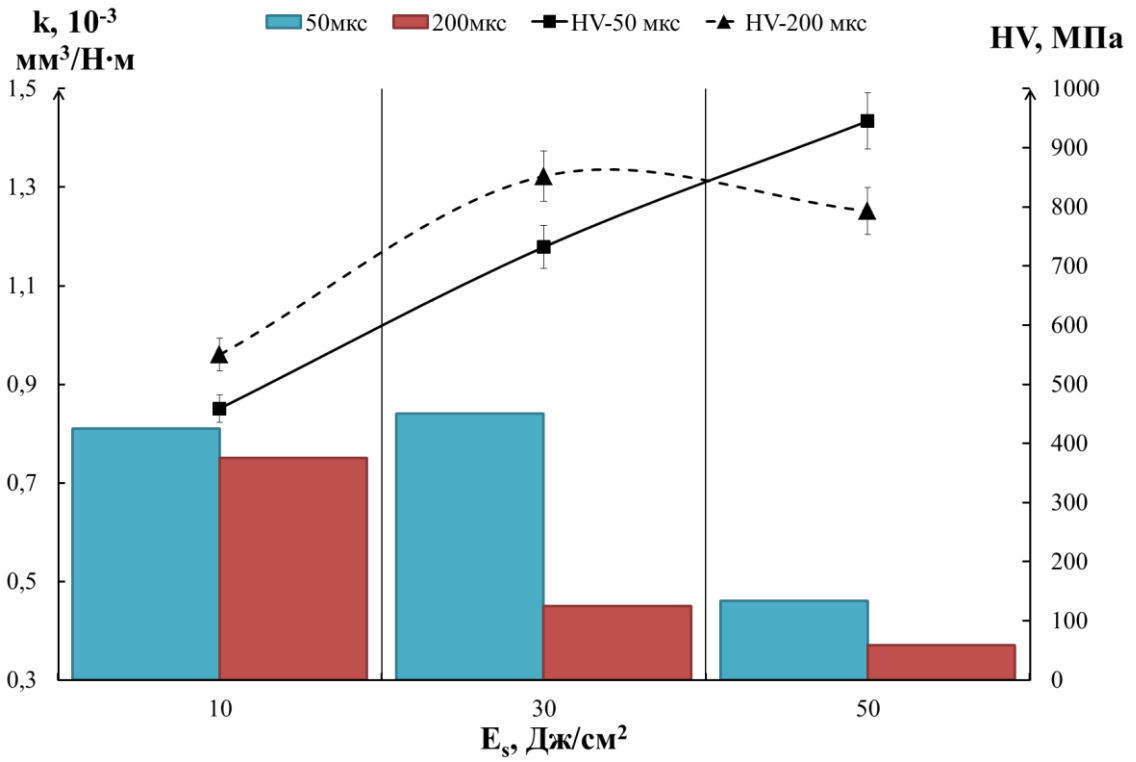


Рисунок 2 - Зависимости параметра износа k и значения микротвердости HV от плотности энергии пучка электронов (10, 30 50 Дж/см$^2$) и длительности импульса (50 и 200 мкс). Значение k и HV литого силумина равно 1,1•10$^{-3}$ мм$^3$/Н•м и 520 МПа соответственно.

Анализируя данные по изменению микротвердости можно отметить, что при длительности импульсов 50 мкс (сплошная кривая) микротвердость поверхностного слоя увеличивается с ростом плотности энергии пучка электронов, достигая максимального значения 950 МПа, при плотности энергии пучка электронов 50 Дж/см$^2$, что превышает микротвердость исходного материала на 83 %. При длительности импульсов 200 мкс (пунктирная кривая) микротвердость поверхностного слоя достигает максимального значения при

плотности энергии пучка электронов 30 Дж/см$^2$ и составляет 860 МПа, что превышает микротвердость исходного материала на 65 %.

Таким образом, исходя из анализа изменении миктротвердости и износостойкости в зависимости от плотности энергии пучка электронов и времени импульсов, оптимальным можно считать режим электронно-пучковой обработки с параметрами 50 Дж/см$^2$, 200 мкс.

Сопоставляя данные по параметру износа с величиной микротвердости можно отметить их корреляцию, а именно при увеличении плотности энергии пучка электронов происходит снижение параметра износа (как следствие увеличение износостойкости) и увеличение микротвердости. Оба факта указывают на упрочнение поверхностных слоев материала.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10059).*

Библиографический список

1. James C.W. Progress in structural materials for aerospace systems/ C.W. James, A.S.Jr. Edgar // Acta Materialia. – 2003. – Vol. 51. – P. 5775–5799.

2. A. Heinz Recent development in aluminium alloys for aerospace applications/ A. Heinz, A. Haszler, C. Keidel, S. Moldenhauer, R. Benedictus, W.S. Miller // Materials Science and Engineering A280. – 2000. – P. 102–107.

3. Xu W. Comparative study on local and global mechanical properties of bobbin tool and conventional friction stir welded 7085-T7452 aluminum thick plate/ W. Xu, Y. Luo, W. Zhang, M. Fu // Journal of Materials Science & Technology. – 2018. – Vol. 34(1). – P. 173-184.

4. Cui C.X. Review on fabrication methods of in situ metal matrix composites/ C.X. Cui, Y.T. Shen, F.B. Meng, S.B. Kang // Journal of Materials Science and Technology. – 2000. – Vol. 16(6). – P. 619-626.

5. Porosity and the fatigue behavior of hypoeutectic and hypereutectic aluminum-silicon casting alloys/ H.R. Ammar, A.M. Samuel, F.H. Samuel // International Journal of Fatigue. – 2008. – Vol. 30(6). – P. 1024-1035.

6. Li W. Solid-state additive manufacturing and repairing by cold spraying: A review/ W. Li, K. Yang, S. Yin, X. Yang, Y. Xu, R. Lupoi // Journal of Materials Science & Technology. – 2018. – Vol. 34(3). – P. 440-457.

7. Mishra R.S. Friction stir welding and processing/ R.S. Mishra, Z.Y. Ma // Materials Science and Engineering R 50. – 2005. – P. 1-78.

8. Nie F. Microstructure and Mechanical Properties of Pulse MIG Welded 6061/A356 Aluminum Alloy Dissimilar Butt Joints/ F. Nie, H. Dong, S. Chen, P. Li, L. Wang, Z. Zhao, X. Li // Journal of Materials Science & Technology. – 2018. – Vol. 34(3). – P. 551-560.

9. Zaguliaev D.V. Microstructure and micro-hardness behavior of Ti–$Y_2O_3$–Al–Si composite coatings prepared in electron-plasma alloying / D.V. Zaguliaev, S.V. Konovalov, Yu.F. Ivanov, V.E. Gromov // Materials Characterization. – 2019. –Vol. 158. – 109934.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ УЛАВЛИВАНИЯ АММИАКА ИЗ КОКСОВОГО ГАЗА
**Литвинов А.П.** ..... **224**

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТК НА АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
**Новиков М.В.** ..... **228**

НЕТРАДИЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ШТРИПСОВОЙ ЛЕНТЫ ПОД ПОРОШКОВУЮ ПРОВОЛОКУ
**Густова Д.О., Иванкина И.В.** ..... **231**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ И ВОЛОЧЕНИЯ ДЛЯ ВЗАИМОВЫГОДНОГО ПАРТНЕРСТВА ОАО “НКАЗ” И АО “ЕВРАЗ ЗСМК”
**Иванкина И. В., Густова Д. О., Вахроломеев В.А.** ..... **235**

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ШАРОВ В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
**Курбангалеев Д.К.** ..... **240**

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ШАРОВ В УСЛОВИЯХ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
**Курбангалеев Д.К.** ..... **243**

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТРАМВАЙНЫХ РЕЛЬСОВ
**Чудов А.Е., Хузин А.М.** ..... **246**

УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА АК9пч МОДИФИЦИРОВАНИЕМ
**Зеневич А.В., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Михно А.Р., Сычев А.А.** ..... **249**

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО (СТОЙКСТЬ) СЕКЦИИ ПРЯМОЙ ГАЗОСБОРНОГО КОЛОКОЛА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА
**Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Михно А.Р., Белов Д.Е., Зеневич А.В.** ..... **254**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ
**Прохоренко Д.А., Масалова Д.А., Гулидов А.А., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.** ..... **258**

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ
**Абатурова А.А., Шляров В.В., Петрикова Е.А., Тересов А.Д.** ..... **263**

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ОБРАЗЦОВ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ СВАРКИ НА МАШИНЕ МС 20.08
**Азаренков И.А., Алимарданов П.Э.** ..... **268**

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОД ФЛЮСОМ, ИЗГОТОВЛЕННЫМ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
**Апанина В.О., Михно А.Р., Постников А.В.** ..... **270**

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ, ПОЛУЧЕННЫХ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКОЙ С ПОСЛЕДУЮЩИМ КОНТАКТНЫМ ПОДГРЕВОМ
**Бутакова К.А., Гостевская А.Н., Алимарданов П.Э., Азаренков И.А.** ..... **274**

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В МЕТАЛЛЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э76ХФ
**Гостевская А.Н., Бутакова К.А., Азаренков И.А., Алимарданов П.Э.** ..... **279**

РАЗРАБОТКА САМОФЛЮСУЮЩЕЙСЯ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ НАПЛАВКИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
**Гусева Д.А., Шамрай В.Р., Комаров А.А.** ..... **282**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-НП-35В9Х3СФ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
**Денисов П.А. Белов Д.Е.** ..... **285**

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ МАРКИ ПП-НП-25Х5ФМС
**Кашин С.С., В. Белов Д.Е.** ..... **288**

ВЛИЯНИЕ ХРОМА И УГЛЕРОДА В ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКЕ СИСТЕМЫ FE-C-SI-MN-CR-NI-MO-V НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЯЕМОГО МЕТАЛЛА
**Комаров А.А. Осетковский И.В. Сычев А.А.** ..... **291**

СВОЙСТВА НАПЛАВОЧНЫХ ФЛЮСОВ, НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА
**Михно А.Р., Кречетов Е.К., Евсюков И.А., Киселев П.В., Тюрин А.А.** ..... **295**

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ ШВОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ФЛЮСОВ
**Михно А.Р. Киселев П.В., Тюрин А.А.** ..... **298**

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СВАРНЫХ ШВОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
**Постников А.В., Михно А.Р., Апанина В.О.** ..... **303**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ
**Шавлов И.С.** ..... **307**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКРАСКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ СЫПУЧИХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
**Домнин К.И.** ..... **312**

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА СЛОЕВОЙ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ
**Акенфиев А.А.** ..... **317**

Научное издание

# НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Часть I**

***Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых***

**Выпуск 24**


| | |
|---|---|
| Под общей редакцией | М.В. Темлянцева |
| Технический редактор | Г.А. Морина |
| Компьютерная верстка | Н.В. Ознобихина |
| | В.Е Хомичева |

Подписано в печать 11.06.2020 г.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 28,2 Уч.-изд. л. 30,6 Тираж 300 экз. Заказ № 99

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ