

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 400-летию города Новокузнецка

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2017»

15 – 16 ноября 2017 г.

Труды
XX Международной научно-практической конференции
Часть 2

Новокузнецк
2017

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор А.В. Феоктистов,
д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.ф.-м.н., профессор В.Е. Громов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев,
к.т.н., профессор С.Г. Коротков, к.т.н., доцент С.В. Фейлер

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XX Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 474 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

Конференция проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 17-08-20433.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»
ОАО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2017

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СИЛУМИНА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ИТТРИЯ

Громов В.Е.¹, Иванов Ю.Ф.², Загуляев Д.В.¹, Толкачев О.С.²,
Петрикова Е.А.², Коновалов С.В.³

¹Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru

²Института сильноточной электроники СО РАН,
г. Томск, Россия, yufi55@mail.ru

³Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева,
г. Самара, Россия, ksv@ssau.ru

Аннотация: В настоящей работе был проведен анализ структуры и свойств силумина, модифицированного путем нанесения на поверхность оксида иттрия, методом электровзрывного легирования (легирование капельно-плазменным потоком, образующимся при электрическом взрыве токопроводящей фольги с навеской порошкового материала). Исследования структуры и фазового состава, исследуемого силумина, проводили методами сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопией. Образовавшиеся покрытия характеризуются высоким уровнем шероховатости и пористости.

Ключевые слова: электровзрывное легирование, оксид иттрия, микроскопия, силумин, структура.

RESEARCH OF CHANGES IN THE PROPERTIES OF SILOMIN SURFACE LAYERS MODIFIED BY YTTRIUM OXIDE

Gromov V.E.¹, Ivanov Yu.F.², Zagulyaev D.V.¹, Tolkachev O.S.²,
Petrikova E.A.², Konovalov S.V.³

¹Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru

²Institute of High Current Electronics SB RAS,
Tomsk, Russia, yufi55@mail.ru

³Samara National Research University,
Samara, Russia, ksv@ssau.ru

Abstract: In the present work, an analysis was made of the structure and properties of silumin, modified by deposition on the surface of yttrium oxide, by electric-explosive doping (doping with a droplet-plasma flow produced by the electric explosion of a conductive foil with a sample of powder material). The structure and phase composition studied by silumin were studied by scanning and transmission diffraction electron microscopy. Formed coatings are characterized by a high level of roughness and porosity.

Key words: electric explosive alloying, yttrium oxide, microscopy, silumin, structure.

Известно, что алюминий является самым распространённым из металлов и занимает первое место по содержанию в земной коре, на 1 тонну земной коры приходится 81,3 кг. алюминия, что на 31,3 кг. больше чем железа [1]. В виду его распространённости он вызывает повышенный интерес у научной общественности в направлении изучения его свойств и возможностей их модифицирования [2-4]. Одним из распространённых методов модификации алюминия является добавление легирующих элементов, например кремния, в процессе литья, полученные сплавы называют силуминами.

Силумины – самые распространённые литейные сплавы на основе алюминия [5-8]. Они широко используются как конструкционный материал из-за сочетания комплекса высоких эксплуатационных и литейно-технологических свойств. В частности, поршни двигателей внутреннего сгорания и компрессоров изготавливают преимущественно из эвтектических и заэвтектических силуминов [5-10]. Не смотря на это, учитывая непрерывно возрастающие требования к качеству литых изделий, эконо-

мичности и экологичности технологического процесса, актуальным остается поиск новых резервов совершенствования технологического процесса и эффективных методов улучшения свойств силуминов, основанных на модифицировании, микролегировании и интенсификации процесса затвердевания (кристаллизации сплава) в литейной форме. Одним из таких методов, сочетающий введение в расплав различных элементов и тугоплавких частиц с высокой скоростью кристаллизации материала, является электровзрывное легирование [10].

Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств силумина эвтектического состава, подвергнутого модифицированию частицами оксида иттрия методами электровзрывного легирования.

В качестве материала исследования использовали эвтектический силумин, элементный состав которого приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты рентгеноспектрального анализа образцов силумина (масс. %; Al остальное)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Ti	Cr	Zn	Pb
11,1	0,25	2,19	0,029	0,58	0,92	0,047	0,005	нет	нет

Исследования фазового состава и состояния кристаллической решетки силумина осуществляли методами рентгенофазового анализа (дифрактометр XRD-7000s, Shimadzu, Япония). Исследование элементного и фазового состава, дефектной субструктуры силумина проводили методами сканирующей (прибор Philips SEM 515, оснащенный микроанализатором EDAX ECON IV) и просвечивающей дифракционной (прибор JEM-2100F, JEOL, Япония) электронной микроскопии. Фольги (объект исследования материала методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии) изготавливали методами ионного утонения тонких (100 мкм) пластинок на приборе Ion Slicer EM 09100IS.

Ранее в [9] было установлено, что электровзрывное легирование (далее по тексту ЭВЛ) силумина эвтектического состава сопровождается формированием слоя с высокоразвитым рельефом поверхности модифицирования. Действительно, выполненные в настоящей работе исследования показали, что в результате ЭВЛ силумина формируется поверхностный слой, характеризующийся высоким уровнем шероховатости, содержащий в большом количестве микропоры, микрократеры и микротрещины (рисунок 1).

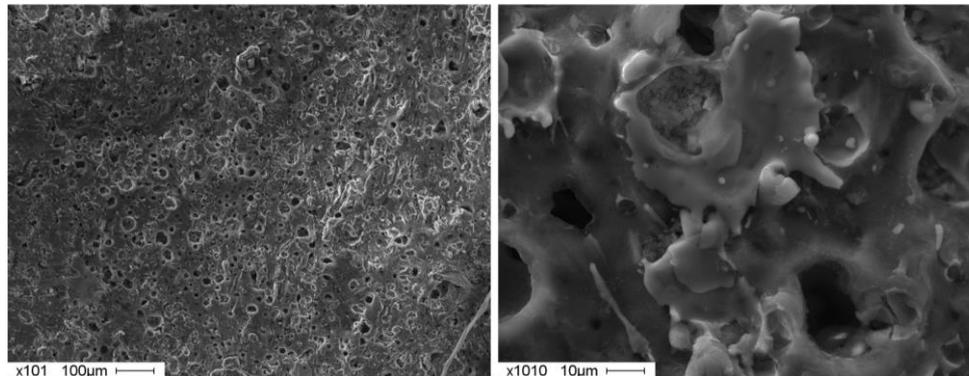


Рисунок 1 - Структура поверхности силумина эвтектического состава, подвергнутого электровзрывному легированию. Сканирующая электронная микроскопия.

Методами микрорентгеноспектрального анализа были проведены исследования элементного состава поверхностного слоя силумина, подвергнутого электровзрывному легированию. Результаты выполненных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Элементный состав поверхностного слоя силумина, подвергнутого электровзрывному легированию, выявленный методами микрорентгеноспектрального анализа областей, представленных на рисунке 2. Сканирующая электронная микроскопия. Результаты представлены в вес. %.

Область	Al	Si	Mg	Ti	Fe	Ni	Cu	Y	O	C
Рис. 2, а	47,2	3,0	0,6	1,0	0,7	1,3	1,8	16,2	10,8	17,4
Рис. 2, в	0,8	0,0	0,0	0,2	0,7	0,5	0,7	34,0	28,1	35,0

Анализируя результаты, представленные в таблице 2, можно отметить, что электровзрывное легирование приводит к формированию поверхностного слоя с высоким уровнем неоднородности

распределения легирующих элементов, что наиболее заметно по распределению атомов иттрия и кислорода. Данные результаты подтверждают факт присутствия в плазменном потоке частиц порошка легирующего материала, выявленный ранее во многих исследованиях [9, 10].

Структуру объема силумина, подвергнутого электровзрывному легированию, анализировали методом поперечных шлифов. Характерное изображение структуры легированного слоя, выявленное методами сканирующей электронной микроскопии, приведено на рис. 2. Анализируя полученные результаты, можно отметить, во-первых, что толщина модифицированного слоя изменяется в пределах (30-50) мкм. Во-вторых, высокий уровень пористости; размеры пор изменяются от единиц до десятков микрометров.

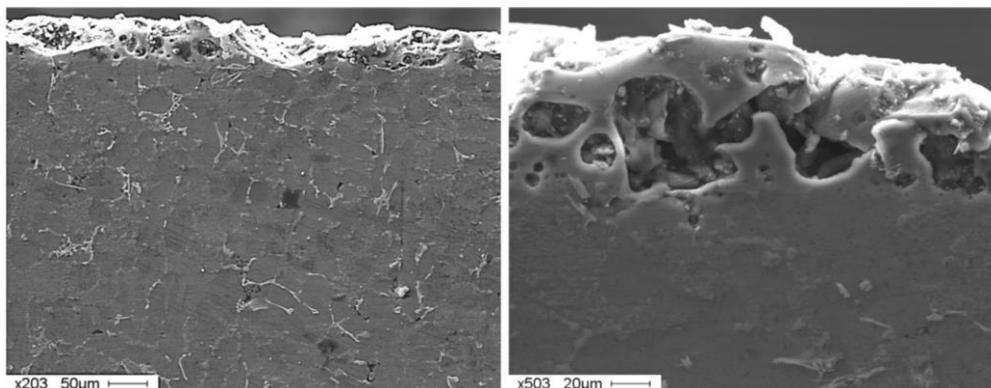


Рисунок 2 - Структура поперечного шлифа силумина эвтектического состава, подвергнутого электровзрывному легированию. Сканирующая электронная микроскопия

Таблица 3 - Результаты рентгеноструктурного анализа образца силумина эвтектического состава, подвергнутого электровзрывному легированию.

Фаза	Содержание, отн. %	Параметр решетки, нм	D(ОКР), нм	$\Delta d/d, 10^{-3}$
Al	68.2	0,40485	75,01	0,24
Si	30.1	0,54231	16,4	0,80
Y ₂ O ₃	1.7	1.06010	16,6	7,88

Фазовый состав модифицированного ЭВЛ силумина исследовали методами рентгеноструктурного анализа. Количественные результаты фазового анализа рентгенограммы, полученной с изучаемого материала представлены в таблице 3.

Анализируя результаты, представленные в таблице 3, можно отметить, во-первых, существенно высокий уровень кремния в поверхностном слое силумина, что может указывать на испарения некоторого слоя алюминия при электровзрывном легировании. Во-вторых, присутствие фазы Y₂O₃, что может быть обусловлено внедрением частиц исходного порошка оксида иттрия в поверхностный слой силумина при электровзрывном легировании.

Методом электровзрывного легирования осуществлено модифицирование поверхностного слоя силумина эвтектического состава частицами оксида иттрия. Установлено, что электровзрывное легирование силумина сопровождается формированием высокопористого поверхностного слоя толщиной до 50 мкм, характеризующегося неоднородностью в распределении легирующих элементов (кремния, иттрия и кислород), субмикро- и наноразмерной многофазной структурой, упрочняющими фазами которой являются частицы кремния, Y₂O₃, YSi₂ и Y₂Si₂O₇.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания № 3.1283.2017/ПЧ и частичной финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект №16-58-00075-Бел_а).

Библиографический список

1. Алюминий. Тринадцатый элемент: энциклопедия / сост.: А. Дроздов. – М.: Библиотека РУСАЛа, 2007. – 239 с.
2. Загуляев, Д. В. Влияние слабых магнитных полей на микротвердость поликристаллического алюминия / Д. В. Загуляев, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2010. – № 9. – С. 53–56.

3. Zagulyaev, D.V. Change of deformation characteristics and dislocation substructure of nonferrous metals under influence of magnetic field / D. V. Zagulyaev, S. V. Konovalov, V. V. Shlyarov, E. A. Anuchina, I. A. Komissarova, V. E. Gromov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 150. - P. 1-6.

4. Загуляев Д.В. Характер влияния импульсного магнитного поля на микротвердость алюминия / Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, М.В. Пономарева, В.Е. Громов, // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2010. – №1. – С. 32-35.

5. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: Металлургия, 1977. – 272 с.

6. Белов Н.А. Фазовый состав и структура силуминов / Н.А. Белов, С.В. Савченко, А.В. Хван. - М.: МИСИС, 2008. - 282 с.

7. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов - М.: МИСИС, 2005. - 376 с.

8. Белов Н.А. Фазовый состав алюминиевых сплавов. - М.: Издательский Дом МИСИС, 2009. – 392 с.

9. Ласковнев А.П., Иванов Ю.Ф., Петрикова Е.А. [и др.]. Модификация структуры и свойств эвтектического силумина электронно-ионно-плазменной обработкой / под ред. А.П. Ласковнева. – Минск: Беларус. Наука, 2013. – 287 с.

10. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электро-взрывного легирования металлов и сплавов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.

УДК 669.18.017: 621.79

ФОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДВУХФАЗНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ DP780

Хуанг Л.¹, Чэнь С.^{*1,2}, Коновалов С.², Ма Х.³

¹*Школа механики и электротехники, Университет Вэньчжоу, Вэньчжоу, Китай, kernel.chen@gmail.com*

²*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия.*

³*Jiangsu Beiren Robot System CO., LTD, Сучжоу, Китай*

Аннотация: Двухфазные оцинкованные стали DP780 толщиной 0,8 мм были сварены непрерывным 4 кВт волоконным лазером для исследования образования пористости. В результате анализа параметров и процесс сварки с помощью высокоскоростных камер, был предложен механизм формирования внутренней пористости и внешней пористости. Основываясь на механизме формирования пористости, установлена модель выхода паров цинка, выходящих из расплавленного металла во время процесса сварки, путем управления динамическим балансом пор каждого канала для уменьшения сварных внутренних пор и внешней пористости, а также улучшения качества сварки.

Ключевые слова: лазерная сварка; оцинкованная сталь; пар цинка; пористость

THE FORMATION AND CONTROL OF POROSITY DURING LASER WELDING OF DP780 DUAL-PHASE GALVANIZED STEELS

Lei Huang¹, Xizhang Chen^{*1,2}, Sergey Konovalov², Hongbo Ma³

1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wenzhou University, Wenzhou, China, kernel.chen@gmail.com

2. Samara National Research University, Samara, Russia

3. Jiangsu Beiren Robot System CO., LTD, Suzhou, China.

Abstract: DP780 dual-phase galvanized steels with 0.8mm thickness were lap welded by 4kw contin-

КЛАСТЕРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА.....	267
Джес А.В., Носков Ф.М., Квеглис Л.И., Казначеева А.М. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ.....	273
Вотинова Е.Б., Шалимов М.П., Табатчиков А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ СТРУКТУРЫ СИЛУМИНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНЕСЕНИЕМ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ $Al-Y_2O_3$ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ.....	277
Осинцев К.А., Бахриева Л.Р., Бутакова К.А., Мусорина Е.В., Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Громов В.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ СТРУКТУРЫ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0, СФОРМИРОВАННЫХ ПОСЛОЙНЫМ СПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ НАПЛАВЛЕНИЕМ.....	283
Батрагин А.В., Федоров В.В., Клименов В.А., Клопотов А.А., Абзаев Ю.А., Волокитин Г.Г., Курган К.А. ЦИРКУЛЯЦИЯ ЙОДИДОВ ЖЕЛЕЗА И ХРОМА ПРИ ДИФФУЗИОННОМ ХРОМИРОВАНИИ.....	288
Христюк Н.А. Богданов С.П. ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭПФ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	293
Насакина Е.О., Байкин А.С., Коношкин С.В., Сергиенко К.В., Каплан М.А., Федюк И.М., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Клименко С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ КАРБИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КАЧЕСТВО ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ WC-CO.....	295
Чушенков В.И., Крутский Ю.Л., Квашина Т.С. РАШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРУЮЩИХ ФЛЮСОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРЕМНИЯ.....	300
Иванчик Н.Н., Балановский А.Е., Кондратьев В.В., Сысоев И.А., Карлина А.И. ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА $Al + 2,18\% Fe$ В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ.....	305
Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Амонов И.Т., Эсанов Н.Р. ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗОВОГО ИЗМЕНЕНИЯ СПЛАВА И РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА СЛОЯ ПОКРЫТИЯ.....	311
Шувень Сюй, Сичжан Чен ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СИЛУМИНА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ИТТРИЯ.....	318
Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Загуляев Д.В., Толкачев О.С., Петрикова Е.А., Коновалов С.В. ФОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ПОРИСТОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ДВУХФАЗНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЕЙ DP780.....	321
Хуанг Л., Чэнь С., Коновалов С., Ма Х. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА И ЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА НАПРЯЖЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ.....	327
Зиу С., Чэнь С. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАРБИДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ $Ti - C - N - N$, $Ti - O - C - N - N$	334
Гарбузова А.К., Галевский Г.В., Руднева В.В. О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БИНАРНОГО СПЛАВА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ТУГОПЛАВКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ.....	338
Черепанов А.Н., Черепанова В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СВАРКИ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕБРИСТЫХ ТИТАНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ УСП-5000.....	344
Григорьев В.В., Бахматов П.В. ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ТРУБОПРОВОДА НА ПОРООБРАЗОВАНИЕ.....	350
Ващук И.А., Бахматов П.В. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ.....	358
Чинахов Д.А., Солодский С.А., Майорова Е.И., Григорьева Е.Г.	