

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 1

**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 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр.
ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 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. АНЫШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

Библиографический список

1. Leyens, C. Titanium and Titanium Alloys. Fundamentals and Applications / C. Leyens, M. Peters // Wiley-VCH: Weinheim, Germany. 2003. P. 1–499.
2. Godfrey, T.M.T. Titanium particulate metal matrix composites—Reinforcement, production methods, and mechanical properties / T.M.T. Godfrey, P.S. Goodwin, C.M. Ward-Close // Adv. Eng. Mater. 2000. V. 2. P. 85–91.
3. Lindroos, V.K. Recent advances in metal matrix composites / V.K. Lindroos, M.J. J. Talvitie // Mater. Process. Technol. 1995. V. 53. P. 273–284.
4. Saito, T. Development of low cost titanium matrix composite. In Advances in Titanium Metal Matrix Composites, the Minerals, Metals and Materials Society / T. Saito, T. Furuta, T. Yamaguchi // 1995; pp. 33–44.
5. Radhakrishna Bhat, B.V. Preparation of Ti-TiB-TiC & Ti-TiB composites by in-situ reaction hot pressing / B.V. Radhakrishna Bhat, J. Subramanyam, V.V. Bhanu Prasad // Mater. Sci. Eng. A. 2002. V. 325. P. 126–130.
6. Ozerov, M. Orientation relationship in a Ti/TiB metal-matrix composite / M. Ozerov, M. Klimova, A. Vyazmin, N. Stepanov, S. Zharebtsov // Mater. Lett. 2017. V. 186. P. 168–170.
7. Morsi, K. Processing and properties of titanium–titanium boride (TiBw) matrix composites - a review / K. Morsi, V.V. Patel // J. Mater. Sci. 42 (2007) 2037–2047.
8. Ragulya, A.V. Fundamentals of Spark Plasma Sintering, in Encyclopedia of Materials / A.V. Ragulya // Science and Technology (Eds. K. H. Jürgen Buschow et al.). 2010. P. 1–5.
9. Feng, H. Growth Mechanism of In Situ TiB Whiskers in Spark Plasma Sintered TiB/Ti Metal Matrix Composites / H. Feng, Yu Zhou, D. Jia, Q. Meng, and J. Rao // Crystal Growth & Design. 2006. V. 7. P. 1626–1630.

УДК 669.715: 621.78

ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексиус В.С.

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

Аннотация. Исследовано влияние различных режимов термической обработки на структуру и механические свойства прессованных прутков, изготовленных из легированных заэвтектических силуминов с содержанием 20 % Si в промышленных условиях ОАО СМК (г. Ступино). Установлено, что режим термической обработки, включающий ступенчатую закалку ($500^{\circ}\text{C} \rightarrow 535^{\circ}\text{C}$) со временем выдержки 1–2 ч при каждой температуре и

охлаждение в воду с последующим старением при 150 °С в течение 10 ч позволяет повысить прочностные свойства на 70-85 % по сравнению с необработанными прутками.

Ключевые слова: заэвтектический силумин, слиток, структура, эвтектика, кристаллы первичного кремния, механические свойства.

THERMAL STRENGTHENING OF PRESSES FROM HYPEREUTECTIC SILUMIN

Prudnikov A.N., Prudnikov V.A., Reksius V.S.

Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, a.prudnikov@mail.ru

Abstract. The effect of various heat treatment regimes on the structure and mechanical properties of pressed rods made of alloyed hypereutectic silumins with a content of 20 % Si in the industrial conditions of OAO SMK (Stupino) has been studied. It has been established that the heat treatment regime, including stepwise hardening (500 °C → 535 °C) with a holding time of 1–2 h at each temperature and cooling into water, followed by aging at 150 °C for 10 h, makes it possible to increase the strength properties by 70 -85 % compared to untreated bars.

Keywords: hypereutectic silumin, ingot, structure, eutectic, primary silicon crystals, mechanical properties.

Введение

В настоящее время в России и за рубежом для изготовления поршней внутреннего сгорания широко применяются эвтектические и заэвтектические силумины. Это связано с тем, что требованиям, предъявляемым к поршневым сплавам, наиболее полно удовлетворяют сложнелегированные силумины [1]. При этом в нагруженных, форсированных дизельных двигателях для поршней наиболее целесообразным является применение деформируемых сплавов, которые отличаются высокими механическими свойствами и эксплуатационной надежностью.

Общепринятой схемой производства поршней из деформируемых сплавов является последовательное выполнение технологических операций: отливка слитков, их прессование на прутки, штамповка заготовки, механическая и термическая обработка, размерная доводка детали. Однако при изготовлении деформируемых поршней в промышленности заэвтектические силумины не используются из-за своей низкой пластичности. Работ, выполненных в этой области, явно недостаточно для реализации и освоения технологий получения заготовок из высококремнистых силуминов обработкой давлением. Однако, можно отметить ряд работ, которые посвящены технологии отливке слитков из заэвтектических силуминов, их структуре, изучению процессов деформирования слитков и заготовок, определению параметров прессования,ковки, штамповки и исследованию структуры в деформи-

рованном и термически обработанном состояниях [2-10]. В связи с этим целью настоящей работы являлось определения возможности прессования слитков из заэвтектического легированного силумина и определение механических свойств прессованных заготовок после термической обработки.

Материалы и методика исследований

Для изготовления прессовок отливали слитки полунепрерывным способом из заэвтектических легированных силуминов в ЦЗЛ ОАО «СМК» (г. Ступино). двух составов с различными способами обработки расплава. Химический состав и способ обработки расплава приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав и способ обработки расплава заэвтектических силуминов

Сплав	Массовая доля легирующих элементов, % (остальное алюминий)	Обработка расплава
1	20 Si-1,0 Cu-0,6 Mg-0,8 Mn-0,2 Ti-0,4 Sb	наводороживание
2	20 Si-1,0 Cu-0,6 Mg-0,8 Mn-0,2 Ti-0,1 Zr	наводороживание и модифицирование P ₂ O ₅

Сплавы готовили в электрической печи сопротивления в графитошамотном тигле емкостью 60 кг на технически чистом силумине Сил 0, кристаллическом кремнии Кр1 с использованием технически чистых магния, сурьмы и лигатур Al-Mn, Al-Ti, Al-Zr. Для обработки расплава силуминов использовали в первом случае наводороживание водяным паром, а во втором – наводороживание и введение оксида фосфора при температуре 800-820 °С. Отливку слитков проводили из миксера при температуре 750 °С на машине полунепрерывного литья ПН-2 с дюралюминиевым кристаллизатором скольжения диаметром 165 мм со скоростью литья 77 мм/мин. В дальнейшем слитки осаживали с диаметра 165 мм до 275-295 мм при температуре 420-450 °С на вертикальном прессе усилием 20 МН. Прессование прутков проводили в кузнечно-прессовом цехе на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 30 МН с коэффициентом вытяжки 9 при температуре 420-450 °С. Диаметр прессованного прутка составлял 100 мм. Микроструктуру прессовок изучали на поперечных темплетах с использованием оптического микроскопа ЛабоМет-1И при увеличении × 100 и 200. Для определения механических свойств прессованных прутков изготавливали образцы с диаметром рабочей части 6 мм в соответствии с ГОСТ 1497-84. Испытания механических образцов проводили на гидравлической разрывной машине Р-10.

Экспериментальные результаты и обсуждение

В работе исследование влияния термической обработки на структуру и механические свойства прессованных прутков проводили на двух составах с различной обработкой расплава: наводороживанием и совместной обработкой наводороживания с модифицированием оксидом фосфора.

Пруток из сплава, приготовленного с применением одного наводороживания (состав 1), имеет довольно грубую структуру, кристаллы первично-

го кремния (КПК) модифицированы слабо, их средняя величина достигает 100 мкм. Имеет место неравномерность микроструктуры в поперечном сечении прутка. Причем в центральной зоне прутка размер структурных составляющих несколько больше, как и их объемная доля.

В микроструктуре прутка из сплава, приготовленного с применением наводороживания совместно с модифицированием оксидом фосфора (P_2O_5) (состав 2) наблюдается более значительное измельчение КПК (50-75 мкм) при более равномерном распределении их по поперечному сечению прутка. Такое измельчение КПК в микроструктуре прессовок состава 2 приводит существенному повышению пластичности (δ) от 1,6 (состав 1) до 3,7 %.

Результаты влияния режимов термической обработки на механические свойства прессованных прутков из легированных заэвтектических силуминов (составы 1 и 2) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние термической обработки на механические свойства прессованных прутков из легированных заэвтектических силуминов

Пруток из сплава	Режим термической обработки	Механические свойства	
		σ_B , МПа	δ , %
1	–	200	1,6
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 1 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	362	1,0
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 1 ч) + старение при 170 °С, 10 ч	353	1,1
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 0,5 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	330	1,1
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 6 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	370	0,7
	закалка (нагрев: 500 °С, 1 ч ↔ 535 °С, 0,5 ч; 3 цикла)	309	1,8
	закалка (нагрев: 500 °С, 1 ч ↔ 535 °С, 0,5 ч; 3 цикла) + старение при 150 °С, 10 ч	373	1,3
2	–	211	3,7
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 1 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	364	1,3
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 1 ч) + старение при 170 °С, 10 ч	366	1,2
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 1,5 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	361	1,2
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 0,5 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	316	3,0

Продолжение таблицы 2

Пруток из сплава	Режим термической обработки	Механические свойства	
		σ_B , МПа	δ , %
	закалка (500 °С, 1 ч → 535 °С, 6 ч) + старение при 150 °С, 10 ч	356	2,3
	закалка (нагрев: 250 – 300 °С, 0,2 ч ↔ 500 – 515 °С, 0,5 ч; 2 цикла) + старение при 150 °С, 10 ч	339	1,3
	закалка (нагрев: 250 – 300 °С, 0,2 ч ↔ 500 – 515 °С, 0,5 ч; 4 цикла) + старение при 150 °С, 10 ч	347	1,0
	закалка (нагрев: 250 – 300 °С, 0,2 ч ↔ 500 – 515 °С, 0,5 ч; 6 циклов) + старение при 150 °С, 10 ч	353	1,2

Для прессованных прутков применяли ступенчатый нагрев под закалку при температурах 500 и 535 °С, при этом варьировали время выдержки под закалку, температуру старения и параметры термоциклического нагрева под закалку. Анализ результатов таблицы 2 показал, что максимальное упрочнение после термической обработки наблюдается в том случае, если суммарная длительность выдержки при температурах закалки составляет 2-3 ч, а температура старения – 150 °С. При этом необходимо учесть, что длительность выдержки на верхней ступени нагрева 535 °С не должна быть менее 1 ч. Более короткой выдержки (0,5 ч) оказывается недостаточно для завершения процессов растворения упрочняющих компонентов вследствие чего наблюдается меньший прирост прочности. Увеличение длительности выдержки под закалку более 3 ч нецелесообразно, в связи с отсутствием дальнейшего увеличения механических характеристик.

В дальнейшем было исследовано влияние циклического нагрева под закалку и последующего старения при в течение 10 ч на свойства опытных прессовок. Для прутков состава 1 режим термоциклического нагрева под закалку включал выдержки при температурах 500 °С – 1 ч и 535 °С – 0,5 ч (один цикл). Количество циклов изменяли от 2 до 5. После термоциклического нагрева образцы подвергали охлаждению в холодную воду. В качестве примера в таблице 2 приведены механические характеристики прутков состава 1 после использования трех циклов термоциклического нагрева с последующей закалкой и старением при 150 °С в течение 10 ч. Закалка после циклического нагрева приводит к повышению временного сопротивления разрыву при сохранении относительного удлинения образцов из прессовок. Последующее старение увеличивает эффект упрочнения прутков, но при этом несколько снижает их пластичность. Определено, что увеличение числа циклов обработки под закалку больше трех при прочих равных условиях нецелесообразно, в

связи с возрастанием времени обработки при незначительном повышении прочностных характеристик.

Для прутков состава 2 циклический нагрев проводили при температурах 250-300 °С и 500-515 °С с выдержками при указанных температурах 0,2 и 0,5 ч соответственно. Количество используемых циклов обработки составляло 2-8. Верхняя температура цикла была снижена до 500-515 °С с учетом возможности присутствия более легкоплавкой тройной эвтектики Al-Si-Cu. Термоциклический нагрев под закалку в интервале 250-300 ↔ 500-515 °С приводит к повышению временного сопротивления разрыву прутков. Причем с увеличением количества циклов до 6 степень упрочнения возрастает в среднем на 6 % (таблица 2). Однако сравнение механических характеристик опытных прутков не выявило преимуществ режимов термической обработки с применением циклического нагрева под закалку по предложенным схемам по сравнению с обычными видами закалки, в том числе ступенчатой. Очевидно, что необходим более детальный подбор параметров циклической обработки (температура и длительность цикла, количество цикла и др.) с учетом особенностей структуры и свойств прессованных прутков. Деформируемые полуфабрикаты, полученные из сплавов, близких по химическому составу, после одинаковых режимов термической обработки разнятся по механическим характеристикам. Это связано с различиями в технологии приготовления и обработке расплава, с различной степенью деформации при прессовании слитков, с действием масштабного фактора (размеры слитков, выплавленных в промышленных и лабораторных условиях, размеры деформируемых заготовок и прутков, изготовленных на промышленных прессах и в лабораторных условиях и др.). В данном случае основным фактором является разница между используемыми видами обработки расплава.

Таким образом, механические характеристики прессованных прутков из легированных заэвтектических силуминов после термической обработки, предусматривающей ступенчатую закалку и старение, составляют временное сопротивление разрыву $\sigma_B = 350-375$ МПа, относительное удлинение $\delta = 1,2-2,3$ %.

Выводы:

1. Изучена микроструктура и свойства прессованных прутков, изготовленных из легированных силуминов на основе Al- 20 % Si с различной обработкой расплава (наводороживание и наводороживание с обработкой расплава P_2O_5). Установлено, что микроструктура прутков, полученных из слитков, изготовленных с совместной обработкой расплава, отличается более однородным распределением эвтектического и первичного кремния в поперечном сечении прутка и меньшими размерами кристаллов первичного кремния.

2. Показана возможность повышения прочности прессовок из легированных заэвтектических силуминов за счет термической обработки, включающей ступенчатую закалку (500 °С → 535 °С) со временем выдержки 1-2 ч при каждой температуре и охлаждение в холодную воду с последующим старением при 150°С в течение 10 ч, на 70-85 % по сравнению с термически необработанными прутками.

Библиографический список

1. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.
2. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – Т. 39. – № 6. – С.456-459.
3. Прудников А.Н. Структура и свойства жаропрочного силуминового поршня // А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 8.– С. 28-30.
4. Прудников А.Н. Использование термоциклической деформации для получения полуфабрикатов из заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников, В.А. Прудников / В сборнике материалов 19-й Межд. научно-практической конф. «Металлургия: технологии, инновации, качество», 15-16 ноября 2015 г., г. Новокузнецк.– Новокузнецк, СибГИУ, 2015.–С. 15-18.
5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов. – 2014.– № 2.– С. 8 - 11.
- 6 Эскин Г.И., Артес А. Е.Э., Панов Е.И. и др. Исследование технологии изготовления деформированных полуфабрикатов из заэвтектических силумина 01392 с использованием поперечно-винтовой прокатки // Технология легких сплавов. 2008. №1. С. 83–89.
7. Афанасьев В.К. Технология получения слитков, деформированных заготовок и поршней из заэвтектического жаропрочного силумина и их свойства / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).– 2010.–№ 3.– С. 28-31.
8. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов.– 2014.– № 2.– С. 14 - 20.
9. Прудников А.Н. Технология производства, структура и свойства поршней двигателей из заэвтектического деформируемого силумина / А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2009.– № 5.–С. 45-48.
- 10 Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 1999.– № 10.– С. 33-35.

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КОМПОЗИТА Ti/TiB, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ <i>Озеров М.С., Поволяева Е.А., Громишова Д.В., Волокитина Е.И.</i>	298
ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПРЕССОВОК ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Прудников А.Н., Прудников В.А., Рексис В.С.</i>	303
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА В КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Жибинова И.А.</i>	310
ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Жибинова И.А.</i>	315
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ К76Ф НА УДАРНУЮ СТОЙКОСТЬ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В., Сафонов С.О.</i>	323
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ДОБАВКАМИ ДИОКСИДА ТИТАНА <i>Хамид. Махан М., Коновалов С.В., Куценко А.А., Цветков А.В., Панченко И.А.</i>	327
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Васильев А.А., Колбасников Н.Г.</i>	332
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСЫ В НЕПРЕРЫВНОЙ ГРУППЕ КЛЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QFORM <i>Белопищевская Е.С., Соловьев В.Н.</i>	341
УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРУКТУРОЙ ТРУБНЫХ МАРК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ <i>Колбасников Н.Г., Жуков Н.В.</i>	348
ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ТИПА «МОРЩИНА» ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ СОРТОВОЙ СТАЛИ <i>Колбасников Н.Г., Адигамов Р.Р., Шишов И.А., Зайцев А.М.</i>	356
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГООУПРУГОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СПЛАВЫ СЕРИИ AL-MG-SI С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И НЕБОЛЬШИМИ ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ <i>Арышенский Е.В., Лапинов М.А., Солопаев М.В., Коновалов С.В.</i>	367
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ РЕЛЬСОВ <i>Сарычев В.Д., Филяков А.Д., Чумаков И.И., Коновалов С.В.</i>	374
ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА СТРУКТУРУ И ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ СПЛАВОВ AL – 40%Si <i>Афанасьев В. К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	379