

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. Темлянец, 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

РЕЖИМ СТАРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА ТИПА АК21

Прудников А.Н., Прудников В.А.

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

Аннотация: Исследовано влияние температуры и времени старения при 100-300 °С на микроструктуру и тепловое расширение поршня двигателя ЯМЗ 5363 из заэвтектического силумина АК21. Установлено, что низкотемпературное старение при 100 °С в течение 1 ч, позволяет снизить ТКЛР в области рабочих температур тяжело нагруженных двигателей (250-350 °С) на 3-6 %. При этом низкотемпературное старение не приводит к существенным изменениям структуры поршней двигателей в состоянии поставки.

Ключевые слова: поршень, заэвтектический силумин, структура, тепловое расширение, фазовый состав, эвтектика, первичный кремний, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР).

AGING MODE FOR REDUCING HEAT EXTENSION OF PISTON FROM ALLOY TYPE AK21

Prudnikov A.N., Prudnikov V.A.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russian Federation, a.prudnikov@mail.ru*

Abstract: The effect of aging temperature and time at 100-300 °C on the microstructure and thermal expansion of the engine piston ЯМЗ 5363 from the hypereutectic silumin AK21 was studied. It is established that low temperature aging at 100 °C for 1 hour, allows to reduce TKLR in the operating temperature range of heavy-loaded engines (250-350 °C) by 3-6%. Moreover, low-temperature aging does not lead to significant changes in the structure of engine pistons in the delivery state.

Key words: piston, hypereutectic silumin, structure, thermal expansion, phase composition, eutectic, primary silicon. temperature coefficient of linear expansion (TCLE).

В настоящее время возросла потребность в мощных и многофункциональных автомобилях, что повлекло за собой необходимость сбалансированности экономии топлива, долговечности и надежности работы двигателя. Перед автомобилестроителями всегда стояла проблема не только конструктивных изменений деталей и самого двигателя, но и разработки легких материалов с улучшенными свойствами, в том числе механическими, физическими, эксплуатационными. Одной из наиболее ответственных деталей двигателя является – поршень. Он выдерживает механические нагрузки от сил давления газов и сил инерции, а также тепловые нагрузки от соприкосновения днища с горячими газами и трения его боковой поверхности о стенки цилиндра. Поэтому к поршневым сплавам предъявляют высокие требования, такие как высокая теплопроводность и жаропрочность, хорошие антифрикционные свойства, низкий удельный вес, малый температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Наибольшее распространение среди поршневых сплавов для тяжело нагруженных двигателей получили заэвтектические легированные силумины системы Al-Si-Cu-Mg-Ni, отливаемые различными способами литья на кокильных машинах. Широкое применение этих сплавов связано с их комплексом свойств.

Однако до настоящего времени полный ресурс свойств поршневых сплавов, используемых для тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания, не выработан, особенно в области физических свойств (теплового расширения, теплопроводности, удельного веса). Для улучшения структуры и характеристик поршней ДВС используют различные способы обработки на всех этапах их изготовления, начиная от подготовки шихты и заканчивая получением готового изделия. В частности, тепловая или деформационная подготовка шихты [1-2]; металлургическая – рафинирование и модифицирование с использованием реагентов и физических способов воздействия на расплав при произ-

водстве отливок и слитков (ультразвуковая и электромагнитная обработки) [3-7]; специальные методы обработки термической, термоциклической (ТО, ТЦО) [8-9] и деформационно-термоциклической обработки (ДТЦО) [2,4,10]. Более привлекательно использовать для улучшения свойств поршней наиболее экономически выгодные и эффективные, а также реализуемые на стадии готового изделия.

В качестве объекта исследования был выбран поршень двигателя ЯМЗ 5363 производства Ярославского моторного завода автомобиля серии МАЗ 5550 в состоянии поставки. Химический состав поршня был определен на эмиссионном спектрометре ARL 3460 и приведен в таблице.

Таблица – Химический состав исследуемого поршня

Материал	Химический состав, % (алюминий остальное)								
	Si	Cu	Mg	Ni	Mn	Fe	Cr	Ti	Zn
Поршне- вой сплав	22,1	2,91	0,64	1,23	0,08	0,49	0,26	0,08	0,01

Состав исследуемого сплава соответствует составу поршневого заэвтектического силумина АК21М2,5Н2,5 (ГОСТ 1583-93) и отличается несколько меньшим содержанием никеля, марганца и незначительно большим количеством магния, что обусловлено требованиями ТУ предприятия. Образцы, вырезанные из юбки поршня, подвергали термической обработке (старению) в электропечи СНОЛ-1,6,2,5,1/9-ИЗ по следующим режимам: нагрев и выдержка в течение 1÷10 ч при 100 и далее через 50 °С до 300 °С с охлаждением на воздухе. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе ЛабоМет-И1. Для дилатометрического анализа использовали высокотемпературный оптический дифференциальный дилатометр типа DIL. При определении истинного значения ТКЛР погрешность метода составила $1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

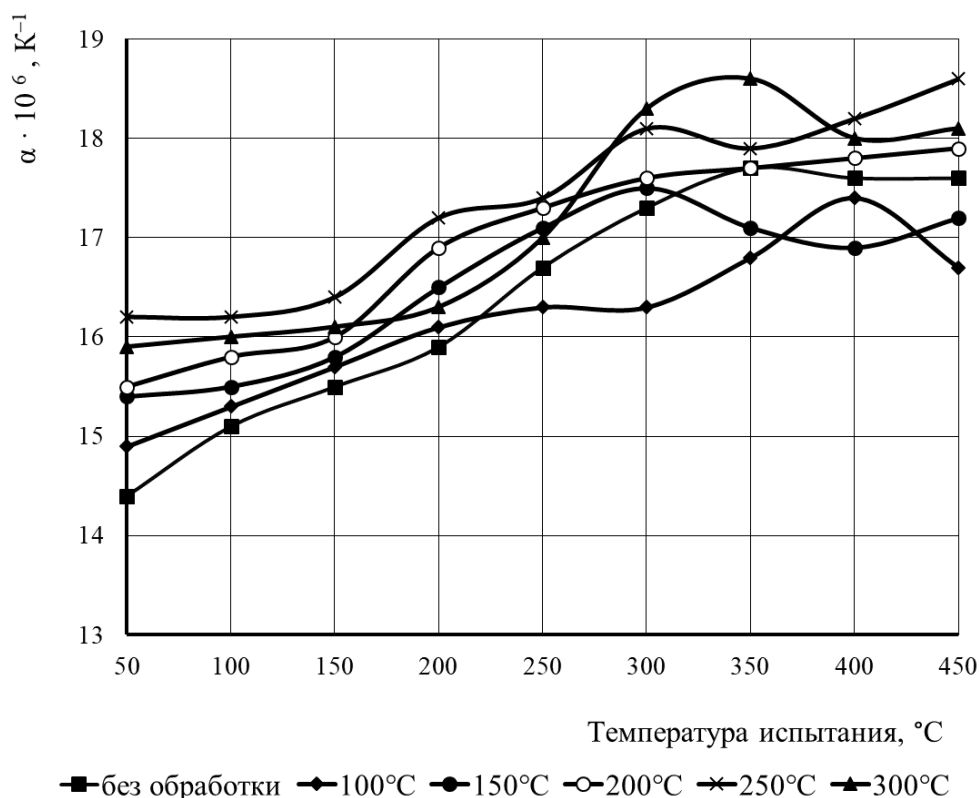


Рисунок 1 – Влияние температуры старения при времени выдержки 1 ч на линейное расширение поршня из сплава АК21

Результаты исследования влияния температуры старения в интервале 100-300 °С через 50 °С при времени выдержки 1 ч на ТКЛР поршня двигателя ЯМЗ из сплава АК21 приведены на рисунке 1. Анализ кривых $\alpha - T$ показал, что старение при температурах выше 100 °С со временем выдержки 1 ч повышает значение ТКЛР поршневого сплава по сравнению со сплавом без термической обработки во всем температурном интервале испытаний. Величина такого повышения для каждой температуры старения различна. Так, для температур старения 150 и 200 °С она составляет в среднем 2÷7 %, для

температур 250 и 300 °С – 1,1÷12 и 1,8÷10 % соответственно. Для низкотемпературного старения (100 °С) образцов из поршня отмечается иное изменение величины теплового расширения. В области низких температур работы поршня (до 200 °С) ТКЛР незначительно возрастает в среднем на 1÷3 % относительно исходного состояния сплава. При высоких эксплуатационных температурах двигателя (выше 200 °С) способность поршневого сплава к расширению снижается в среднем на 3÷6 % в области 250÷350 °С по сравнению с нетермообработанными сплавами.

Последовательное увеличение времени выдержки образцов из поршня при наиболее перспективной температуре 100 °С (рисунок 1) до 3-х, 5 и 10 ч не приводит к дальнейшему снижению ТКЛР во всей области температур испытания (рисунок 2). Тенденция повышения величины теплового расширения при увеличении времени выдержки в процессе старения практически аналогична влиянию фактора температуры. Причем, максимальный прирост ТКЛР поршневого сплава соответствует наибольшему времени старения (10 ч) при 100 °С и составляет от 3 до 7,5 % для эксплуатационных температур 20-300 °С по сравнению с образцами, состаренными в течение 1 ч. И только при температуре испытаний 350 °С увеличение ТКЛР становится несущественным (около 1 %).

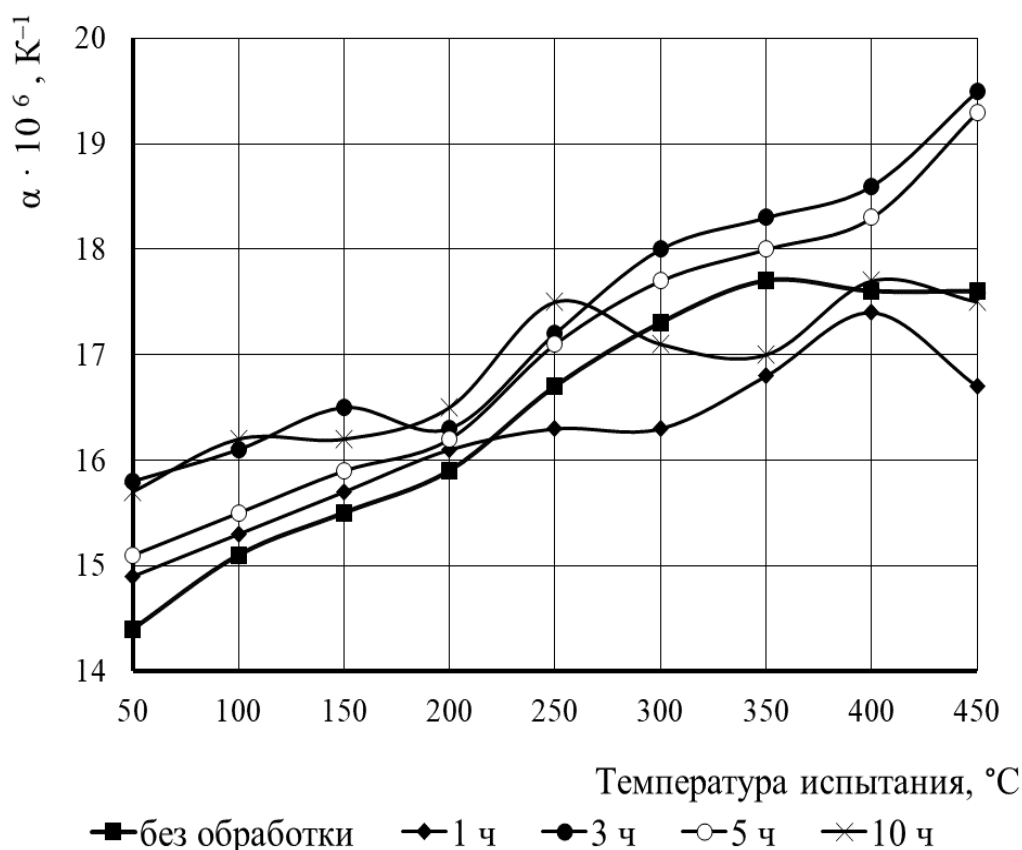


Рисунок 2 – Влияние времени выдержки при температуре старения 100 °С на линейное расширение поршня из сплава АК21

Сплав, из которого изготовлен поршень двигателя ЯМЗ, имеет довольно сложный фазовый состав, который характерен для литейных поршневых заэвтектических силуминов типа АК21. Основными структурными составляющими поршневого силумина являются: α -твердый раствор алюминия (Al_a), кристаллы первичного кремния Si_p , алюминиево-кремниевая эвтектика ($Al + Si$). Кроме того, в структуре присутствуют медьсодержащие фазы, прежде всего, упрочняющая фаза $W-CuSi_4Mg_5Al_4$ и некоторое количество $CuAl_2$. Также обнаруживаются фазы, содержащие Ni и Mg и более сложные эвтектики на основе Al, Ni, Fe, Si. В структуре исследуемого поршня КПК имеют средний размер 30-64 мкм и довольно равномерно распределены в структуре поршня, причем в днище поршня размер КПК больше по сравнению с кристаллами в юбке. Это прежде всего связано с большей толщиной днища и, соответственно, более низкой скоростью охлаждения при кристаллизации заготовки в кокиле.

Микроструктура поршневого сплава после старения при 100-300 °С в течение 1 ч приведена на рисунке 3, а влияние времени выдержки при старении от 1 до 10 ч – на рисунке 4.

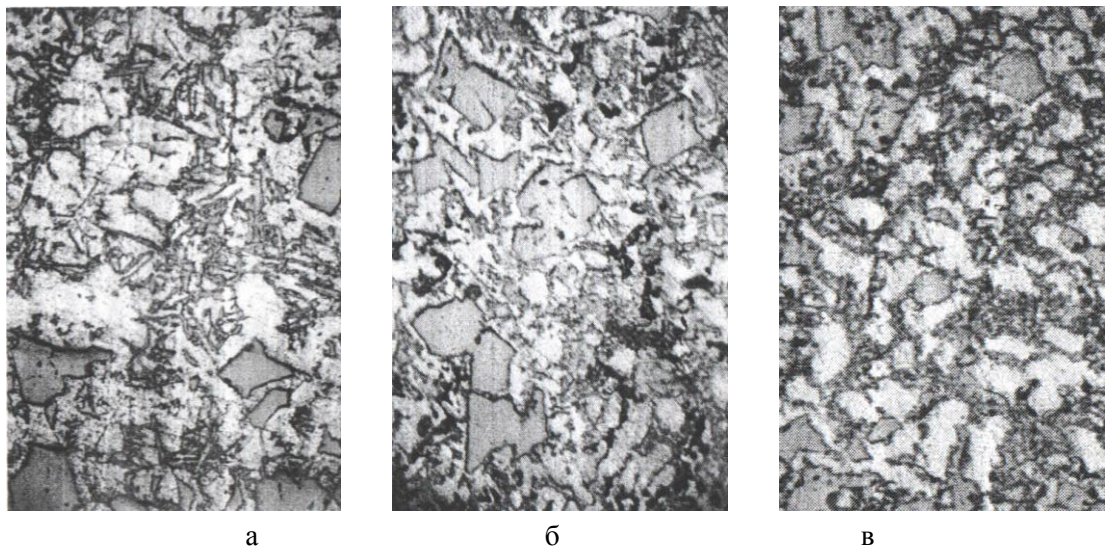


Рисунок 3 – Влияние температуры старения на микроструктуру поршня из сплава АК21 (время выдержки 1 ч); а – без обработки, б - 100 °С, в - 300 °С, ×300

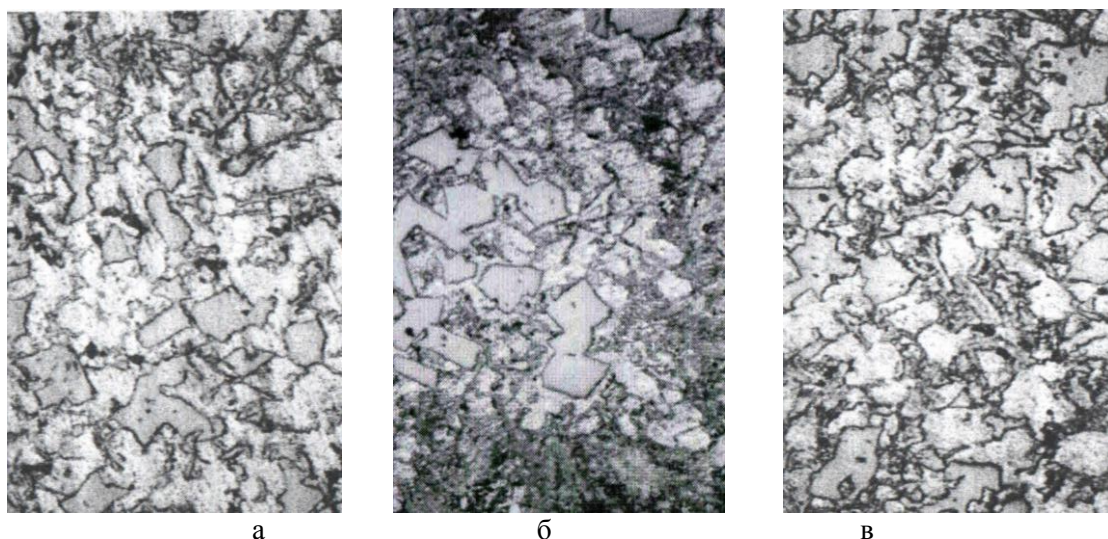


Рисунок 4 – Влияние время выдержки при температуре старения 100 °С на микроструктуру поршня из сплава АК21; а – 1 ч, б -5 ч, в – 10 ч, ×300

Можно отметить, что при увеличении времени старения происходит некоторое дробление и сфероидизация эвтектического кремния. Причем, чем выше температура старения, тем этот процесс начинается раньше по времени и протекает интенсивнее. Однако, выдержка в течение 1 ч при температуре старения 100 °С недостаточно для существенного изменения структуры поршневого силумина. Так, установлено, что практически ни время, ни температура не оказывают существенного влияния на размер и распределение КПК, размер которых остается в пределах 30-64 мкм, что видимо, связано с низкой температурой старения 100-300 °С для заэвтектического силумина.

Таким образом, в качестве режима для снижения линейного расширения поршня из сплава АК21 можно рекомендовать дополнительное низкотемпературное старение при 100 °С в течение 1 ч, позволяющее снизить ТКЛР в области рабочих температур тяжело нагруженных двигателей (250-350 °С) на 3-6 %. Причем низкотемпературное старение не приводит к существенным изменениям структуры и свойств поршней двигателей.

Библиографический список

1. Прудников А.Н. Структурная наследственность шихты в силуминах / А.Н. Прудников // Технология металлов.–2014.– № 3.–С.16 - 22.
2. 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.
3. Прудников А.Н. Линейное расширение легированных и наводороженных силуминов, за-

- кристаллизованных под давлением / А.Н. Прудников // Литейное производство.– 2009.– № 2 – С. 2-5.
4. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов.– 2014.– № 2.–С.14 - 20.
5. Prudnikov A.N. Structure formation in ingots of hypereutectic silumin during melt treatment and inoculation// A.N. Prudnikov // Металлургия машиностроения. – 2009. – № 3 –С. 28-31.
6. Деев В.Б. Практика использования физических модифицирующих воздействий в технологиях получения литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев [и др.] // Литейное производство. – 2012. – № 5. – С. 16-18.
7. Прудников А.Н. Технология приготовления и обработки алюминиевого сплава для стекло-металлических соединений / А.Н. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).– 2009.– № 2.– С. 26-31.
8. Прудников А.Н. Термическая обработка поршневых силуминов для снижения их линейного расширения и улучшения эксплуатационных параметров двигателя //А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2004. – № 4. – С. 40-42.
9. Прудников А.Н. Совершенствование термической обработки поршневых деформируемых силуминов с добавками фосфора и водорода // А.Н. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).– 2009.–№ 1.– С. 8-11.
10. Прудников А.Н. Использование термоциклической деформации для получения полуфабрикатов из заэвтектических силуминов сплавов / А.Н Прудников, В.А. Прудников – В сб.: Металлургия: технологии, инновации, качество. Труды IXX Межд. науч.-практ. конф.: Ч.2. Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2015. – С. 15-18.

УДК .2/ 8. 017

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ЗОНЕ КОНТАКТА НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Анфилофьев В. В., Шелепова С. Ю., Туякбаев Б. Т., Джес А.В.

*Восточно-Казахстанский Государственный университет им. С. Аманжолова,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан, lana.shelepova.97@mail.ru*

Аннотация: Работа посвящена исследованию структуры и свойств композиционного материала алюминий-никель. Композит был получен путем холодной сварки. В процессе его исследования было обнаружено образование фазы Ni_3Al с ГЦК-решеткой. Проведены испытания на микротвердость.

Ключевые слова: Холодная сварка, многослойный композит, твердофазные механохимические реакции, суперсплав, микротвердость.

STRUCTURE AND PROPERTIES IN THE ZONE OF NICKEL AND ALUMINIUM CONTACT AT THE PLASTIC STRAIN

Anfilofiev V. V., Shelepova S. Y., Tuyakbaev B. T., Jess A.V.

*East Kazakhstan State University. S. Amanzholov,
Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, lana.shelepova.97@mail.ru*

Abstract: Work is devoted to a research of composite aluminum-nickel structure and properties. The composite was received by cold welding. The formation of the phase Ni_3Al with the FCC-lattice was revealed. Tests on a microhardness are carried out.

Keywords: Cold welding, multilayer composite, solid-phase mechanochemical reactions, superalloy, microhardness.

Актуальность

Развитие современных высокотехнологичных отраслей промышленного производства невозможно без разработки новых материалов, обладающих высоким комплексом механических и эксплуатационных характеристик.

Многослойные композиты Al-Ni представляют особый интерес для исследования, ввиду использования в высокотехнологичных областях техники, как материалы, обладающие высокими пока-

ГАЗОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ХРОМУРУДНОГО СЫРЬЯ.....	90
Заякин О.В., Жучков В.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА В ЗАДАЧАХ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА	92
Гилева Л.Ю., Мясоедов С.В., Загайнов С.А., Титов В.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СЭР	97
Рыбенко И.А., Цымбал В.П. ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА АРГОНОМ	101
Лубяной Д.А., Толстикова Ю.А., Черепанов А.Г. МЕТОД И ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И СОЗДАНИИ НОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	107
Рыбенко И.А. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ В ХОДЕ КАМЕРНОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ	113
Сафонов В.М., Еланский Д.Г., Кислица В.В., Мурысев В.А., Мороз Д.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОСИЛИЦИДОВЫХ ПЕЧЕЙ И ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	116
Кашлев И.М.	

СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА 124

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ.....	124
Громов В.Е., Белов Е.Г., Коновалов С.В., Комиссарова И.А., Иванов Ю.Ф. КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ БОРА И АЗОТА НА ОБРАТИМУЮ ОТПУСКНУЮ ХРУПКОСТЬ.....	128
Мазничевский А.Н., Сприкут Р.В., Заславский А.Я., Гойхенберг Ю.Н. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЛИБРОВАННЫХ ПРУТКОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6082	134
Сидельников С.Б., Берсенов А.С., Загиров Н.Н., Беспалов В.Н. РЕЖИМ СТАРЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА ТИПА АК21	140
Прудников А.Н., Прудников В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ В ЗОНЕ КОНТАКТА НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....	144
Анфилофьев В. В., Шелепова С. Ю., Туякбаев Б. Т., Джес А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХОЛОДНОКАТАНЫХ, ОТОЖЖЕННЫХ И СВАРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ОПЫТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-MG, ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ	149
Баранов В.Н., Сидельников С.Б., Фролов В.Ф., Зенкин Е.Ю., Орелкина Т.А., Константинов И.Л., Ворошилов Д.С., Якивчук О.В., Белоконова И.Н. КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛИ 110Г13Л ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ	154
Балановский А.Е., Штайгер М.Г., Кондратьев В.В., Карлина А.И. РАЗРАБОТКА НОВОЙ СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТЕЙНЕРА В УСТАНОВКЕ КОНФОРМ.....	159
Горохов Ю.В., Губанов И.Ю., Иванов А.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ В ШТАМPE С ПОДВИЖНОЙ МАТРИЦЕЙ	165
Евстифеев В.В., Александров А.А., Евстифеев А.В., Ковальчук А.И. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ КАТАНКИ ИЗ СПЛАВА АВЕ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕЩЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ	169
Сидельников С.Б., Лопатина Е.С., Клейменова Ю.Ю., Самчук А.П., Терентьев А.А.	

Научное издание

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

Труды XX Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Технический редактор	В.Е. Хомичева
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 23.10.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 27,6 Уч.-изд. л. 30,0 Тираж 300 экз. Заказ № 521

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