

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2021»**

Труды

XXII Международной научно-практической конференции

10 – 11 ноября 2021 г.

Часть 1

**Новокузнецк
2021**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 326 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и наукоемким технологиям металлургических процессов, обработки металлических материалов: литейное производство, обработка давлением, термическая обработка.

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»
Журнал «МАТЕС Web of Conferences »
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

2. Колесников А.Г., Третьяков А.Ф., Кременский И.Г. Восстанавливаемый фильтровальный материал тонкой очистки из консолидированных металлических сеток Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. № 6. С. 21-23
3. Колесников А.Г., Плохих А.И., Власова Д.В. Multilayer structural materials with a laminar structur. Metallurgiya mashinostroeniya. 2016. № 2. С. 20-22
4. Плохих А.И., Сафонов М.Д., Колесников А.Г. Псевдо-инварный эффект в многослойных материалах на основе сталей. В сборнике: VII Международная конференция "Деформация и разрушение материалов и наноматериалов. 2017. С. 424-426.,
5. Плохих А.И., Колесников А.Г., Сафонов М.Д. Высокотемпературный псевдоинварный эффект в многослойных материалах на основе сталей. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2017. Т. 19. № 2. С. 7-20.
6. Семёнов А.П. Сватывание металлов. -М.:МАШГИЗ, 1958.- 280 с.
7. Колесников А.Г., Плохих А.И., Шинкарев А.С., Миронова М.О. Прокатка стального многослойного материала Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 8. С. 39-42.
8. Колесников А.Г., Плохих А.И., Миронова М.О. Исследование структуры и свойств многослойных материалов на основе алюминиевых сплавов. Производство проката. 2011. № 4. С. 32.
9. Туманов, А.Т. Авиационные материалы. Т.4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы: Справочник / под ред. А.Т. Туманова - М.: Metallurgiya, 1958. – 528 с.
10. Антипов В.В., Клочкова Ю.Ю., Романенко В.А. Современные алюминиевые и алюминий-литиевые сплавы Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 195-211.

УДК 669.715: 621.78

ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ

Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.

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

Аннотация. Исследовано влияние добавок марганца в количестве 0,3-1,0 % на формирование структуры и свойств слитков из заэвтектического силумина на основе Al – 20 % Si, закристаллизованного с использованием выдержки в твердодожидком состоянии в атмосфере водяного пара и последующей закалки в воду. Определено оптимальное содержание марганца (1,0 %), которое позволяет повысить прочность и твердость слитков на ~ 5 % (до 233-264 МПа) при сохранении уровня пластичности заэвтектического силумина 2-4 %.

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

INFLUENCE OF MANGANESE ON THE FORMATION OF THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF INGOTS FROM HYDRO-EUTECTIC SILUMINES

Afanas`ev V.K., Prudnikov A.N., Popova M.V., Fastykovskii A.R.

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

Abstract. The influence of manganese additions in the amount of 0.3-1.0 % on the formation of the structure and properties of ingots from hypereutectic silumin based on Al – 20 % Si, crystal-

lized using holding in a solid-liquid state in an atmosphere of water vapor and subsequent quenching in water, has been investigated. The optimal content of manganese (1.0%) has been determined, which makes it possible to increase the strength and hardness of ingots by ~ 5 % (up to 233-264 MPa) while maintaining the level of plasticity of hypereutectic silumin 2-4 %.

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

Введение.

Слитки заготовительного литья из заэвтектических силуминов до настоящего времени в промышленности не изготавливают в связи с их низкой пластичностью. Уровень развития теории и практики модифицирования не позволяет уменьшить размер кристаллов первичного кремния (КПК) в структуре слитков до необходимой величины, позволяющей деформировать высококремнистые заэвтектические силумины [1, 2]. В связи с этим строение слитков заготовительного литья из заэвтектических силуминов и формирование их структуры практически не изучено. Исключение составляет несколько работ, посвященных исследованию структуры слитков полунепрерывного литья из заэвтектических силуминов [3-8]. Одним из путей улучшения структуры и свойств алюминиевых сплавов является создание таких условий кристаллизации слитка, которые бы способствовали формированию структуры с измельченными выделениями промежуточных фаз, в том числе кристаллов первичного кремния (КПК) в заэвтектических силуминах.

Ранее разработан способ изготовления слитков из заэвтектических силуминов с использованием кристаллизации, предусматривающей заливку в тонкостенную изложницу, подстуживание до твердожидкого состояния с последующей выдержкой в атмосфере водяного пара и закалкой в воду [9,10]. При использовании такого способа кристаллизации в центральной и донной частях слитка из сплава Al-20 % Si формируется «псевдоэвтектическая» структура с очень мелкими кристаллами первичного кремния или без них. При этом содержание кремния в центральной части слитка с такой структурой может изменяться от 13-14 до 18-19 %, а механические характеристики значительно превышают свойства силуминов с обычной для заэвтектических сплавов структурой. В периферийной (поверхностной) зоне и прибыльной части слитка наблюдается структура, характерная для необработанных заэвтектических силуминов. Содержание кремния в периферийной и прибыльной частях слитка несколько выше шихтового значения. Так, для сплава Al-20 % Si оно составляет 21÷24 %.

В работе [9] было показано, что формирование «псевдоэвтектической» зоны обусловлено временем нахождения сплава в области твердожидкого состояния, то есть между температурами ликвидуса (T_L) и солидуса (T_S) при кристаллизации слитка. Объем эвтектической зоны и дисперсность структурных составляющих в ней зависит от условий охлаждения, и в первую очередь, от скорости кристаллизации и содержания водорода в расплаве. В связи с этим целью работы являлось определение влияния марганца на механические характеристики слитка из заэвтектического силумина с 20 % Si.

Материалы и методика исследований

Сплавы готовили в электрической печи сопротивления вертикального типа с карбидокремниевыми нагревателями в тигле из нержавеющей стали. Для предотвращения взаимодействия расплава с материалом тигля последний окрашивали огнеупорным составом на основе оксида цинка (ZnO). В качестве шихтовых материалов использовали алюминий технической чистоты А7, кремний Кр0 и лигатуру Al-10 % Mn. Для получения слитков расплав заливали в тонкостенный алюминиевый кокиль квадратного сечения со стороной 80 мм.

Технология изготовления слитков (включала) предусматривала использование способа формирования эвтектической структуры в заэвтектических силуминах за счет выдержки сплава в твердожидком состоянии [9,10]. Для реализации этого способа расплав заэвтектического силумина заливали в кокиль, охлаждали до температур интервала кристаллизации и вновь помещали в печь с такой же температурой для проведения изотермической выдержки. Причем в рабочем пространстве печи создавалась атмосфера водяного пара влажностью 100

– 150 г/м³ для увеличения содержания водорода в сплаве. Время изотермической выдержки слитка в твердожидком состоянии составляло 15 минут. Затем кокиль извлекали из печи, и слиток охлаждали в воде (закалка в воду из твердожидкого состояния).

Изучение микроструктуры слитков проводили на металлографическом микроскопе “OLIMPUS GX-51”. Для определения механических характеристик использовали стандартные методики. Твердость по Бринеллю (НВ) определяли на приборе ТШ-2 при помощи шарика диаметром 10 мм под нагрузкой 10 кН и временем выдержки 30 с. Для измерения температур использовали хромель-алюмелевую термопару и потенциометр постоянного тока ПП63 (класс 0,05). Точность измерения температур изотермических выдержек составляла $\pm 5^\circ\text{C}$.

Экспериментальные результаты и обсуждение

При изготовлении слитков из заэвтектических силуминов установлено, что использовании способа кристаллизации, предусматривающего заливку расплава в кокиль, подстуживание до твердожидкого состояния, выдержку в атмосфере водяного пара при этой температуре, и последующее ускоренное охлаждение (закалка в воду), в центральных и донных его частях формируется эвтектическая структура с очень мелкими КПК или без них. Для установления влияния марганца, являющегося одним из основных легирующих элементов поршневых силуминов, на структуру и механические свойства слитков из сплава Al-20 % Si в состав вводили его добавки.

Микроструктура и ее характеристики, а также механические свойства опытных слитков из двойного силумина Al-20 % Si и дополнительно содержащих марганец в количестве 0,3 %, 0,5 % и 1,0 % приведены на рисунке и в таблице.

В центральной части слита из двойного силумина отмечается только наличие мелкозернистой эвтектики Al-Si и тонких дендритов α -твердого раствора алюминия. Такая структура занимает большую часть площади поперечного сечения металлографического шлифа (в среднем 85 %). Средняя толщина периферийной зоны изменяется от 2 до 5 мм от края слитка. Эта зона характеризуется структурой, присущей обычному заэвтектическому силумину с крупными выделениями КПК, эвтектической составляющей и незначительным количеством участков α -твердого раствора алюминия. Причем средний размер КПК составляет 80–140 мкм, а наряду с мелкозернистой эвтектикой присутствует участки с грубопластинчатым эвтектическим кремнием.

Введение в состав сплава 0,3 % Mn существенно изменяет структуру слитка. В центральной части наряду с аналогичной структурой двойного сплава формируются крупные КПК, соизмеримые с кристаллами периферийной части, что не позволяет выделить зону эвтектической структуры в слитке. Небольшая добавка марганца приводит к некоторому уменьшению размеров КПК и наличию дисперсной эвтектики (Al+Si) в периферийной зоне слитка (рисунок, таблица). Увеличение содержания марганца до 0,5 % приводит к дальнейшему модифицированию КПК во всем объеме слитка, что выражается в уменьшении их средних размеров до 45–120 мкм. Однако при данном содержании марганца также в центральной зоне слитка не формируется эвтектическая структура без КПК. Легирование заэвтектического силумина 1,0 % марганца приводит к формированию эвтектической структуры в центральной части слитка с тонкими дендритами (толщина дендритных ветвей 1–2 мкм) α -твердого раствора алюминия. Причем эта величина несколько выше, чем в слитке из двойного силумина. В структуре периферийной зоны легированного слитка присутствуют крупные КПК до 170 мкм, а средняя толщина ее составляет 7–15 мм, что несколько больше, чем в двойном сплаве Al-20 % Si (таблица).

Из данных таблицы по результатам механических характеристик слитков видно, что твердость периферийной зоны в основном определяется количеством и размерами КПК в их структуре. Поэтому твердость при легировании марганцем различается незначительно. Однако анализируя экспериментальные данные можно видеть некоторое увеличение твердости (на 3 %) при введении в состав 1,0 % Mn. Если сравнивать показатели твердости в центральной зоне с эвтектической структурой, то следует отметить ее увеличение для сплава, легированного 1,0 % марганца, в среднем на 4 % по сравнению с твердостью слитка из двойного

заэвтектического силумина. Характеристики прочности (σ_B) и пластичности (δ – относительное удлинение) опытных слитков из наводороженных заэвтектических силуминов соответствуют структуре, полученной при их кристаллизации. Поэтому временное сопротивление разрыву слитков из двойного заэвтектического силумина находится в пределах 222-256 МПа, в то время как добавки в состав сплава марганца в количестве 0,3 и 0,5 % значительно снижают значения σ_B в почти 2 раза (до 118-142 МПа) и δ от 2,0-4,2 до 1,0-1,8 %. Причиной такого снижения механических характеристик является наличие крупных КПК в структуре центральной зоны слитков.

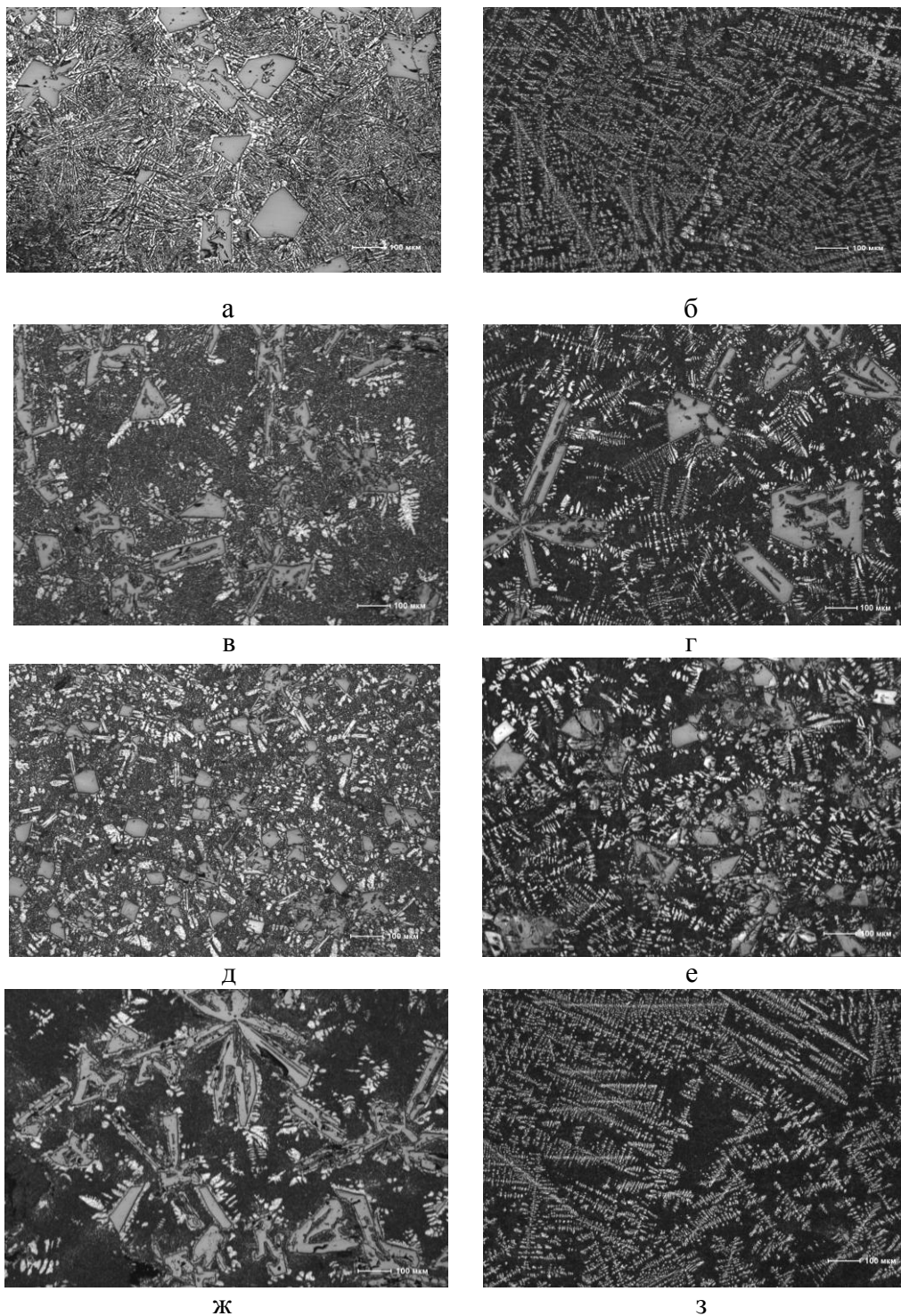


Рисунок – Влияние легирования марганцем на микроструктуру слитка из заэвтектического силумина Al-20 % Si: а, б – без добавки; в, г – 0,3 % Mn %; д, е – 0,5 % Mn; ж, з – 1,0 % Mn; а, в, д, ж – периферийная зона и б, г, д, з – центральная зона слитка

Таблица 1 – Влияние добавок марганца на микроструктуру и механические свойства слитков из наводороженного заэвтектического силумина Al-20 % Si

Содержание марганца, %	Размер КПК в периферийной зоне	Микроструктура центральной зоны	Механические характеристики			Средняя толщина периферийной зоны	
			Твердость по зонам, НВ, МПа	σ_B , МПа	δ , %		
–	80-140	Эвтектика + α -твердый раствор на основе алюминия	1030 - 1108	920- 991	222- 256	2,0- 4,2	2-5
0,3	65-130	Эвтектика + α -твердый раствор на основе алюминия + КПК	1028- 1112	1015- 1089	118- 142	1,0- 1,4	–
0,5	45-120	Эвтектика + α -твердый раствор на основе алюминия + КПК	1042- 1102	1050- 1120	136- 158	1,0- 1,8	–
1,0	100-170	Эвтектика + α -твердый раствор на основе алюминия	1068- 1140	954- 1016	233- 264	2,0- 3,6	7-15

Увеличение содержания марганца до 1,0 % вновь приводит при использовании данного способа кристаллизации к формированию эвтектической структуры в центральной части слитка, что способствует повышению временного сопротивления разрыву до величины $\sigma_B = 233-264$ МПа при одинаковом уровне пластичности. Однако периферийная зона слитка в этом случае занимает больший объем, нежели в слитке из двойного силумина. Средняя толщина периферийной зоны, измеренная по поперечному сечению слитка, приблизительно в 3 раза больше чем в слитках из сплава Al-20 % Si.

Выводы:

1. Изучено влияние марганца (0,3-1,0 %) на формирование структуры и механических свойств слитков из заэвтектического силумина с 20 % Si, закристаллизованных с использованием выдержки в атмосфере водяного пара в твердожидком состоянии и последующей закалки в воду.

2. Определено оптимальное содержание марганца (1,0 %), позволяющее повысить уровень прочностных характеристик (σ_B , НВ) в среднем на 5 % при сохранении пластичности по сравнению со свойствами слитков из сплава Al-20 % Si, закристаллизованных по указанному выше способу.

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. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва: Металлургия, 1977. – 271 с.
3. Белов М.В. Об изготовлении слитков из поршневого заэвтектического силумина методом полунепрерывного литья / М.В. Белов, В.Д. Белов, Э.Б. Тен // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. – 2005. – № 5. – С. 30 – 33.
4. Марукович Е.И. Непрерывное литье алюминиевых сплавов без модификаторов / Е.И. Марукович, В.Ю. Стеценко // Металлургия машиностроения.– 2007.– № 3.– С.37-39

5. Прудников А.Н. Формирование структуры заэвтектического силумина при литье слитков полунепрерывным способом / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017.– Т. 4.– № 3.– С. 78-83.

6. Prudnikov, A. Production, structure and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumin // Steel in Translations – 2009 –v. 39.– pp. 391-393.

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. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8 - 11.

9. Прудников А.Н. Формирование эвтектической структуры в сплаве Al – 20 % Si при кристаллизации / А.Н. Прудников // Металлургия машиностроения. – 2009.–№ 4.– С. 10-13.

10. Прудников А.Н. Роль условий кристаллизации в формировании структуры и свойств слитков и поковок из заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников // Материаловедение. – 2014.–№ 1.– С. 10-13.

УДК 62-405

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ И ОТЖИГА

Штырова А.А., Носова Е.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика Королёва С.П., Самара, Россия, 4103.ssau@mail.ru*

***Аннотация.** Исследование влияния холодной деформации при получении образцов из алюминия в виде трубок и порошкового титана показало, что при холодной деформации микротвёрдость алюминия повышается, однако при степенях обжатия свыше 80% микротвёрдость алюминия начинает снижаться. Микротвёрдость титана оказалась ниже в 1.5..1.7 раза, чем в исходном состоянии, а при степенях обжатия свыше 85% происходит снижение микротвёрдости титановой прослойки. Отжиг при температуре 650°C в течение 1...3 часов приводит к росту микротвёрдости только алюминия, в образце, деформированном с обжатие 85%, для остальных структур изменения микротвёрдости не происходит.*

***Ключевые слова:** холодная деформация, отжиг, алюминий, титан, слоистая заготовка, микротвёрдость.*

INVESTIGATION OF THE MICROHARDNESS OF STRUCTURES IN A LAYERED ALUMINUM-TITANIUM BILLET OBTAINED AS A RESULT OF ROLLING AND ANNEALING

Shtyrova A.A., Nosova E.A.

*Samara National Research University named after Academician S. P.Korolev,
Samara, Russia, 4103.ssau@mail.ru*

***Abstract.** Investigation of the effect of cold deformation in the production of samples from aluminum tubes and powder titanium showed that during cold deformation with 80-87.5 %, the microhardness of aluminum increases in comparison to initial state, but at degrees of compression over 80 %, the microhardness of aluminum begins to decrease. The microhardness of titanium turned out to be 1.5 ... 1.7 times lower than in the initial state, and at degrees of compression over*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЗВЕСТНЯКА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ <i>Уманский А.А., Козырев Н.А., Жутов С.В., Николаев В.К., Гизатулин Р.А.</i>	87
ПОВЕДЕНИЕ МАРГАНЦА В ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Гизатулин Р.А., Дмитриенко В.И., Дмитриенко А.В., Носов Ю.Н., Ноздрин И.В.</i>	92
РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСОПЛОВЫХ КИСЛОРОДНЫХ ФУРМ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	95
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКЦИИ ДВУХЪЯРУСНОЙ КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ ДЛЯ 350-ТОННЫХ КОНВЕРТЕРОВ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Щипанов С.С., Чернышева Н.А., Сафонов С.О.</i>	101
РАСЧЕТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ В КОЛОННОМ СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОМ РЕАКТОРЕ <i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Roos К.</i>	107
ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПЛАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ В ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТОМ РАСПЛАВЕ <i>Заякин О.В., Ренёв Д.С., Жучков В.И.</i>	112
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА, ВАНАДИЯ И ТИТАНА ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ОБЖИГЕ ТИТАНОМАГНЕТИТА <i>Агамирова А.С.</i>	116
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДОЖИГАНИЯ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ В ПОЛОСТИ 160-ТОННОГО КОНВЕРТЕРА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Протопопов Е.В., Солоненко В.В., Темлянцев М.В., Якушев Н.Ф., Полях О.А.</i>	121
МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕРИЯ МЕЖДУ ШЛАКОМ СИСТЕМЫ SAO-SIO ₂ -SE2O ₃ -15%AL ₂ O ₃ -8%MGO И НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫМ МЕТАЛЛОМ <i>Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Уполовникова А.Г.</i>	126
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СМЕННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Лубяной Д.А., Юрьев А.Б., Кузнецов И.С., Маркидонов А.В., Лубяной Д.Д.</i>	131
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ С ПРЯМЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ МАРГАНЦЕМ <i>Лубяной Д.Д., Юрьев А.Б., Маркидонов А.В., Кузнецов И.С., Лубяной Д.А.</i>	136
РАЗРАБОТКА В PASCALABC.NET ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА СОСТАВА ШИХТЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Хоанг В.В., Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Плакуций А.В.</i>	141
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	147
ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА, ОБЛУЧЕННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ <i>Абатурова А.А., Загуляев Д.В., Иванов Ю.Ф., Леонов А.А., Аксенова К.В.</i>	147
О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ ИНВАРОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-SI-CU <i>Афанасьев В.К., Попова М.В., Малюх М.А.</i>	154
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Князев С. В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.</i>	159

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИНДУКЦИЕЙ 0,3 ТЛ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО СВИНЦА <i>Серебрякова А.А., Загуляев Д.В., Шляров В.В.</i>	261
ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2 <i>Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.</i>	266
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1424БТ, АМГ5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ <i>Ахкильгов Г.В., Носова Е.А.</i>	271
ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ НАВОДОРОЖЕННЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Фастыковский А.Р.</i>	276
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУР В СЛОИСТОЙ АЛЮМИНИЙ-ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКЕ, ПОЛУЧЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОКАТКИ И ОТЖИГА <i>Штырова А.А., Носова Е.А.</i>	281
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗЕРВА СИЛ ТРЕНИЯ КАЛИБРОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОЧЛЕНЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОДОЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ <i>Фастыковский А.Р., Вахроломеев В.А.</i>	286
СИЛОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ <i>Фастыковский А.Р., Осколкова Т.Н., Юрьев А.Б., Прудников А.Н.</i>	290
УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ЗАГОТОВОЧНЫХ И СОРТОВЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Леонтьев В.В., Губарев Е.И., Перминов Д.А., Зайков И.Г.</i>	296
ОСОБЕННОСТИ СИЛОВОГО БАЛАНСА УНИВЕРСАЛЬНЫХ КАЛИБРОВ СОВРЕМЕННЫХ РЕЛЬСОБАЛОЧНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Добрянский А.В., Дорофеев В.В.</i>	299
ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Князев С.В., Куценко А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Куценко А.А.</i>	304
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЕЛЮЩИХ ШАРОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ ОТБРАКОВКИ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК <i>Уманский А.А., Симачев А.С., Думова Л.В.</i>	309
КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ОТЛИВОК ПОСЛЕ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ <i>Приходько О.Г., Деев В.Б., Пруссов Е.С., Куценко А.И., Пономарева К.В., Сметанюк С.В., Сокорев А.А.</i>	316