

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

янию магнитного поля, снижается. Максимальное снижение происходит в течение 1 часа воздействия. Микротвердость после 1 часа уменьшается на 7,8 % по сравнению с исходным значением. Выявлено, что при последующей выдержке в магнитном поле, значение микротвердости остается на одном уровне. На основании этого, можно сделать вывод о том, что эффект влияния магнитного поля с индукцией 0,3 Тл на свинец не зависит от времени выдержки в нем исследуемого материала. Таким образом, наблюдается корреляция анализируемых характеристик, которые позволяют сделать вывод о том, что воздействие магнитного поля на поликристаллический свинец приводит к увеличению пластичности материала.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект 21-79-00118).

Библиографический список

1. Ida, N. The Static Magnetic Field / N. Ida // In book: Engineering Electromagnetics. 2021. - pp.377-418.
2. Cai, Q. Effects of magnetic field on the microstructure and mechanical property of Mg-Al-Gd alloys / Q. Cai, C. Zhai, Q. Luo, T.-Y. Zhang // Materials Characterization. 2019. - № 154. - pp. 233-240.
3. Bilal N., Effect of magnetic field on microstructure and mechanical properties of austempered 70Si3MnCrsteel / N. Bilal, L.Xiaoyan, Y. Zhinan, Z. Jiali, Z. Fucheng, L. Junkui // Materials Science and Engineering: A. -2019. - V.759.- pp. 11–18.
4. Загуляев, Д.В. Закономерности изменения деформационного поведения поликристаллической меди после магнитной обработки / Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, И.А. Комиссарова, Н.Г. Литвиненко (Ярополова), В.Е. Громов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. - Т.18. - №4-2. - С. 1763-1766.
5. Загуляев, Д. В. Влияние слабого магнитного поля на пластичность алюминия А85 / Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, М.В. Пономарева [и др.] // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. - 2010. - Т.15. - № 3-1. - С.820-821.
6. Pshonkin D.E., Effect of static magnetic fields on creep of aluminum alloy / D.E. Pshonkin // Solid state phenomena.2017. - № 269. - pp. 1-6.
7. Скворцов, А.А. Влияние магнитного поля на ползучесть алюминиевого сплава с Fe-содержащими включениями/ А.А. Скворцов, Д.Е. Пшонкин // «ФППК – 2018»: Тез. докл. международн. конф. Черноголовка. 2018. - С.91.
8. Коновалов, С. В. Автоматизированная установка для регистрации и анализа ползучести металлов и сплавов / С. В. Коновалов, В. И. Данилов, Л. Б. Зуев и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. - № 8. – С. 64 – 66.
9. Альшиц, В. И. О движении дислокаций в кристаллах NaCl под действием постоянного магнитного поля / В. И. Альшиц [и др.]. // ФТТ. – 1987. – № 2. – С. 467–471.

УДК 669.715. (043.3)

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ ПОРШНЯ ИЗ ДОЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА АК5М2

Прудников А.Н., Фастыковский А.Р., Прудников В.А.

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

Аннотация. Приведены результаты влияния температуры и времени старения на поршни средненагруженных двигателей ЗМЗ-672 в состоянии поставки, изготавливаемого из малокремнистого медистого силумина АК5М2. Изучены температура старения от 100 до 300 через 50 °С в течение 3 ч и время выдержки в течение 3, 6 и 9 ч при температуре 200 °С. Показано, что наиболее оптимальным режимом для снижения линейного расширения является старение при 200 °С с выдержкой 3 ч. Такой режим обработки приводит к сни-

жению температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) во всем интервале исследуемых температур 50÷450 °С. При этом уменьшение способности к линейному расширению поршневого силумина составляет 1–6 % по отношению к исходному состоянию поршня. Максимальное снижение ТКЛР сплава соответствует среднему интервалу эксплуатационных температур 150-300 °С.

Ключевые слова: сплав, доэвтектический силумин, поршень, старение, температурный коэффициент линейного расширения.

INFLUENCE OF AGING ON THE LINEAR EXPANSION OF A PISTON FROM HYPOEUTECTIC SILUMIN AK5M2

Prudnikov A.N., Fastykovskii A.R., Prudnikov A.N.

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

Abstract. *The results of the effect of temperature and aging time on the pistons of medium-loaded engines ZMZ-672 in the state of delivery, made from hypoeutectic cuprous silumin AK5M2, are presented. The aging temperature from 100 to 300 after 50 °C for 3 h and the holding time for 3, 6 and 9 h at 200 °C were studied. It has been shown that aging at 200 °C with holding for 3 h is the most optimal mode for decreasing linear expansion. This processing mode leads to a decrease in the temperature coefficient of linear expansion (TCLE) in the entire range of investigated temperatures 50÷450 °C. In this case, the decrease in the linear expansion of the piston silumin is 1–6 % in relation to the initial state of the piston. The maximum decrease in the LTEC of the alloy corresponds to the average operating temperature range of 150-300 °C. Increasing the aging time of the piston sequentially up to 6 and 9 h at a temperature of 200 °C does not lead to a decrease in LTEC in comparison with the initial state and therefore is not effective.*

Keywords: *alloy, hypoeutectic silumin, piston, aging, temperature coefficient of linear expansion.*

Введение.

Общеизвестно, что важнейшими свойствами поршневых силуминов являются механические свойства (временное сопротивление разрыву при обычной и повышенной температурах, обычная и горячая твердость, износостойкость и другие), тепловые (температурный коэффициент линейного расширения, теплоемкость) и технологические свойства. В настоящее время в качестве поршневых сплавов наиболее часто применяются легированные силумины, обладающие рядом специфических свойств, в том числе эти сплавы имеют низкий температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) [1]. Для улучшения комплекса свойств поршневых сплавов используют различные способы обработки при подготовке шихты [2], при приготовлении расплава (рафинирование и модифицирование) [3-8], при деформации и термической обработке [9, 10]. Имеются литературные данные о возможности снижения или стабилизации ТКЛР поршней за счет обработки расплава силуминов порошкообразным карбидом кремния (SiC₄) [1], использования режимов низкотемпературного старения [1, 9].

С экономической точки зрения наиболее целесообразно использование способов улучшения свойств на завершающей стадии изготовления деталей, например, путем совершенствования окончательной термической обработки или разработки принципиально новых способов. Известно, что для поршневых сплавов практически обязательной операцией является окончательная термическая обработка. В соответствии с ГОСТ 1583-93 – упрочняющая обработка по режиму Т6 (закалка и последующее старение) либо стабилизирующее старение по режиму Т1.

Для средненагруженных двигателей транспортных средств обычно используют силумины доэвтектического АК5М2, АК5М7 и эвтектического составов (типа АК12), для тяжело нагруженных двигателей большой мощности – заэвтектические силумины типа АК18, АК21. Поэтому целью работы являлось определение влияния режимов старения на тепловое

расширение поршневого доэвтектического медистого силумина АК5М2.

Материал и методика экспериментальных исследований

В качестве материала исследования был выбран поршень средненагруженного двигателя Заволжского моторного завода ЗМЗ-672, используемого в автобусах для городского пассажирского транспорта производства ОАО «Павловский автобус». Общий вид поршня представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид поршня двигателя ЗМЗ-672

Поршень двигателя изготавливают из силумина, легированного медью, АК5М2. Его диаметр составляет 92,0 мм, диаметр отверстия под поршневой палец – 25 мм, а общая высота поршня 92,0 мм с определенными допусками. Конструкция опытного поршня и его основные размеры приведены на рисунке 2.

Химический состав поршня определяли на эмиссионном квантометре ARL 4460. Результаты исследования приведены в таблице 1.

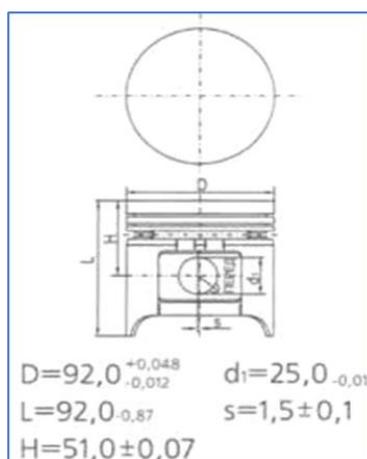


Рисунок 2 – Конструкция опытного поршня и его основные параметры

Таблица 1 – Химический состав исследуемого поршня, изготовленного из сплава системы Al-Si-Cu

Сплав	Химические элементы, % (вес.)							
	Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Ti	Al
АК5М2	5,27	1,89	0,28	0,20	0,14	0,73	0,08	ост.
ГОСТ 1583-93	4,0-6,0	1,5-3,5	0,2-0,8	0,2-0,8	≤0,5	≤1,3	0,05-0,2	ост.

Полученные данные показали соответствие составу сплава АК5М по ГОСТ 1583-93. Для исследования были взяты поршни производства Камского моторного завода (г. Набережные Челны) в состоянии поставки. Образцы для исследований вырезали из юбки и днища поршня и рассчитывали средние показатели линейного расширения. Старение поршней проводили в лабораторных сушильных шкафах типа СНОЛ 3,5.3,5.3,5/3,5-И1. Для определения

температурного коэффициента линейного расширения использовали дифференциальный оптический dilatометр системы Шевенара. Расчет значений истинного ТКЛР образцов проводили методом касательной. Точность метода составляет $0,1 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Микроструктуру поршневых заготовок в исходном и термически обработанных состояниях изучали на оптическом металлографическом микроскопе “OLIMPUS GX-51”.

3. Результаты и обсуждение

Поршни из сплава АК5М2 были подвергнуты старению в интервале температур 100÷300 °С через 50 °С в течение 3-х, 6-и и 9-и часов. Диаграмма влияния температуры старения поршневого сплава АК5М2 в течение 3-х часов на ТКЛР по интервалам температур испытания 20-150, 150-300 и 300-450 °С приведена на рисунке 3.

Из анализа полученных dilatограмм видно, что воздействие температуры старения поршней на кривые зависимости $\alpha - T_{исп}$ носит неоднозначный характер. В зависимости от температуры старения может наблюдаться как повышение, так и снижение значений ТКЛР для разных температур испытания за исключением старения при 200 °С. Данные диаграммы (рисунок 3) показывают, что старение при 200 °С в течение 3-х ч снижает средний ТКЛР во всех интервалах низко- средне- и высокотемпературном на 1, 6 и 5,5 % соответственно. Кроме того, старение медистого силумина практически при всех температурах 100, 150, 200 и 250 °С (за исключением 300 °С) обеспечивает снижение ТКЛР от 1,5 до 7 % по сравнению с исходным состоянием поршня в области высоких температур 300-450 °С.

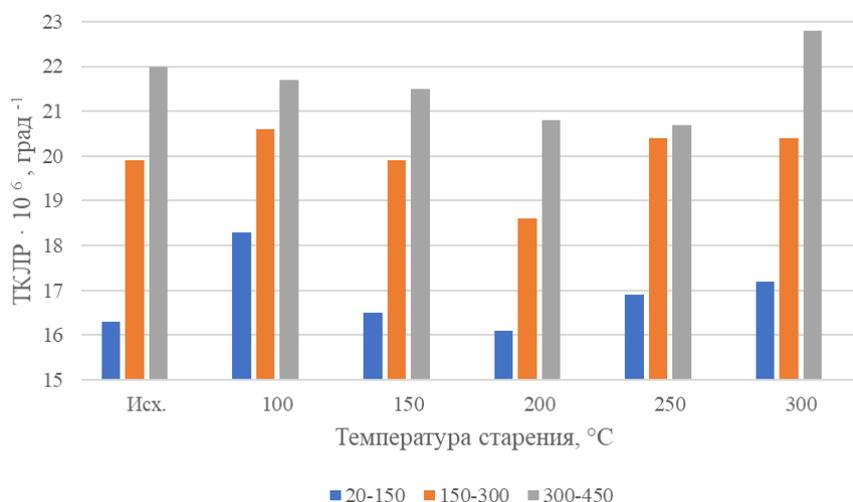


Рисунок 3 – Диаграмма влияния температуры старения (выдержка 3 ч) на ТКЛР по температурным интервалам для сплава АК5М2

Увеличение времени старения поршневого силумина при 200 °С от 3 до 6 и далее до 9 ч повышает средний ТКЛР во всем интервале температур испытания (20-450 °С). Причем наибольшее повышение ТКЛР соответствует высокотемпературному интервалу испытаний 300-450 °С и составляет около 10 % для времени старения 6 и 9 ч (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние времени выдержки при температуре старения 300 °С на линейное расширение сплава АК5М2 в интервалах температур

Время выдержки, ч	Средний ТКЛР в интервале температур °С, $\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹		
	20-150	150-300	300-450
-	16,3	19,9	22,0
3	16,1	18,7	20,8
6	17,9	20,3	22,5
9	17,6	20,0	22,6

Выводы

1. В качестве термической обработки для снижения линейного расширения поршня средненагруженных двигателей из легированного силумина АК5М2 можно рекомендовать старение при 200°C в течение 3 ч.
2. Такой режим старения позволяет снизить ТКЛР поршня в среднем на 1–6 % по сравнению с исходным состоянием во всем исследуемом интервале температур.

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. Прудников А.Н. Структурная наследственность шихты / А.Н. Прудников // *Технология металлов* – 2014. – № 3. – С. 16-22.
3. GaniPger B.M. The effect of modification of primary silicon on the microstructure, mechanical and sliding wear behavior of commercial LM-29 cast alloy // B.M Ganiger, T.M. Chandrashekharaiah, T.B. Prasad // *American Journal of Materials Science*. – 2015.–Vol. 5. – № 3.– P. 1-6.
4. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons / A.N. Prudnikov // *Steel in Translation*. – 2009. – Т. 39. – № 6. – С.456-459.
5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // *Технология металлов* – 2014. – № 2. – С. 8-11.
6. Development of Al-Nb-B master alloy with high Nb/B ratio for grain refinement of hypoeutectic Al-Si cast alloys / Xu J., Li Y., Hu B. et al // *Journal of Materials Science*. – 2019.–Vol. 54.– P. 14561–14576.
7. Прудников А.Н. Исследование комплексного модифицирования заэвтектических силуминов с содержанием кремния 20...30 % фосфидами и оксидами некоторых металлов / А.Н. Прудников // *Изв. ВУЗов. Цветная металлургия*. – 1995. – №2. – С. 38-41.
8. Прудников А.Н. Упрочнение земляных отливок из бинарных заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // *Актуальные проблемы в машиностроении*. – 2020.–Т. 7.– № 1-2.– С. 145-150.
9. The influence of artificial aging on the microstructure and hardness of an Al-Zn-Mg-Zr alloy processed by equal-channel angular pressing / Gubicza J., Lábár J. L., Lendvai J. et al // *Journal of Materials Science*. – 2019.– Vol. 54.– P.10918-10928.
10. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклическойковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов / А.Н. Прудников // *Деформация и разрушение материалов*. – 2014. – № 2. – С. 14 - 20.
11. Huifang H. The effect of La-Ce on the growth of the Si phase in the Al-24Si / H. Huifang, L. Huaji, X. Hansong // *Spec. Cast. and Nonferrous Alloys*. – 2010. –Vol. 30. – № 6. – P. 575-578.
12. Superplastic deformation of a heat resistant Al; Cu; Mg; Ag / D. Xiao, J. Wang, K. Chen et al // *Journal of materials processing technology* – 2009.–Vol. 209.– P. 3300-3305.
13. Birol Y. Impact of homogenization on recrystallization of a supersaturated Al-Mn alloy / Y. Birol // *Scripta Mater*. – 2009.– Vol. 60 – P. 5-8.
14. Simultaneous improvements of the strength and ductility of fine-grained AA6063 alloy with increasing number of ECAP passes / Samaee M., Najafi S., Eivani A.R. et al // *Materials Science and Engineering A*. – 2016.–Vol. 669 – P. 350-357.
15. Influence of the thermal route on the peak-aged microstructures in an Al-Mg-Si aluminum alloy / Pogatscher S., Antrekowitsch H., Leitner H. et al // *Scripta Materialia*. – 2013.– Vol. 68.–№ 2. – P. 158-161.
16. Natural ageing clustering under different quenching conditions in an Al-Mg-Si alloy / Yang Z., Jiang X., Zhang X. et al // *Scripta Materialia*. – 2021.– Vol. 190. – P. 179-182.
17. Ultrafast artificial aging of Al-Mg-Si alloys / Werinos M., Antrekowitsch H., Kozeschnik E. et al // *Scripta Materialia*. – 2016.– Vol. 112. – P. 148-151.

18. Захаров В. В. Влияние гомогенизации на структуру и свойства сплава системы Al-Zn-Mg-Sc-Zr / В.В. Захаров, И.А. Фисенко // *Металловедение и термическая обработка*. – 2018.– № 6.– С. 12-17.

19. Microstructural evolution of Al-Cu-Mg-Ag alloy during homogenization / Ünlü N., Gamble B.M., Shiflet G.J. et al. // *Metallurgical and Materials Transactions A*. – 2003. –Vol. 34. – С. 2757- 2769.

20. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.– 24 с.

УДК 669.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182 ПРИ СОЕДИНЕНИИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Ахкильгов Г.В., Носова Е.А.

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

Аннотация. Исследовано влияние холодной пластической деформации при совместном деформировании полос из алюминиевых сплавов 1424БТ, АМг5М, Д16, 5182. Установлено, что применение алюминия приводит к увеличению степени обжатия при совместном деформировании полос из указанных сплавов: для сплавов Д16 и 5182 степень деформации алюминия оказалась выше, чем у основных металлов, а для сплавов 1424 и АМг5 – преимущественно деформируются сплавы, а не прослойка.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, структура, пластическая деформация, механические свойства, микроструктурный анализ.

INVESTIGATION OF THE DEGREE OF DEFORMATION OF ALUMINUM SHEET ALLOYS 1424 B, AMg5M, D16, 5182 WHEN ATTACHED BY COLD PLASTIC DEFORMATION

Akhkilgov G.V., Nosova E.A.

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

Abstract. The effect of cold plastic deformation in the preparation of layered samples from aluminum alloys 1424, AMg5, D16, 5182 was investigated. It was found that the use of aluminum leads to an increase in the degree of reduction during joint deformation of strips from these alloys: for alloys D16 and 5182, the degree of deformation of aluminum was higher than that of the base metals, and for alloys 1424 and AMg5, alloys are predominantly deformed rather than the interlayer.

Keywords: Cold deformation, annealing, aluminum, titanium, layered billet, microhardness.

Введение.

В настоящее время широко применяются композиционные материалы типа СИАЛ и GLARE, в которых слои металла соединены с помощью пластика и клея. Однако при утилизации таких материалов неизбежно возникает вопрос их переработки. Многослойные материалы на основе металлических сплавов без использования пластика проявляют ряд уникальных свойств [1-3]. Например, многослойные материалы на основе сталей обладают инварным эффектом [4,5]. Изготовление многослойных материалов из алюминиевых сплавов, в котором отдельные слои высокопрочных сплавов соединяются с помощью пластической де-

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