

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN 2542-1093 (Online)

Том 8, Номер 1–2

2021

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ACTUAL PROBLEMS IN MACHINE BUILDING

<http://journals.nstu.ru/machine-building>

НОВОСИБИРСК



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ISSN 2313-1020 (Print)
ISSN: 2542-1093 (Online)

Том 8 № 1-2 2021 г. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель совета

Батаев Анатолий Андреевич - доктор технических наук, профессор, почётный работник высшего профессионального образования, ректор НГТУ, г. Новосибирск (Российская Федерация)

Члены совета

Федеративная Республика Бразилия: **Альберто Морейра Хорхе**, профессор, доктор технических наук, Федеральный университет, г. Сан Карлос

Федеративная Республика Германия: **Монико Грайф**, профессор, доктор технических наук, Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук, г. Рюссельсхайм, **Томас Хассел**, доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен, **Флориан Нюрнбергер**, доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен

Республика Беларусь: **Пантелеенко Ф.И.**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Украина: **Ковалевский С.В.**, доктор технических наук, профессор, Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Российская Федерация: **Анисименко Г.Е.**, директор производственно-технической фирмы «Сигма-инструмент», г. Новосибирск, **Атапин В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Балков В.П.**, зам. ген.директора АО «ВНИИинструмент», канд. техн. наук, г. Москва, **Батаев В.А.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Буров В.Г.**, доктор техн. наук, профессор, НГТУ, г. Новосибирск, **Герасенко А.Н.**, директор ООО НПКФ «Машсервисприбор», г. Новосибирск, **Иванцовский В.В.**, доктор техн. наук, доцент, НГТУ, г. Новосибирск, **Кирсанов С.В.**, доктор техн. наук, профессор, ТПУ, г. Томск, **Коротков А.Н.**, доктор техн. наук, профессор, академик РАЕ, КузГТУ, г. Кемерово, **Кудряшов Е.А.**, доктор техн. наук, профессор, Засл. деятель науки РФ, ЮЗГУ, г. Курск, **Макаров А.В.**, доктор техн. наук, с.н.с., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, **Овчаренко А.Г.**, доктор техн. наук, профессор, БТИ АлтГТУ, г. Бийск, **Сараев Ю.Н.**, доктор техн. наук, профессор, ИФПМ СО РАН, г. Томск, г. Барнаул, **Янюшкин А.С.**, доктор техн. наук, профессор, ЧГУ, г. Чебоксары

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Скиба Вадим Юрьевич - доцент, канд. техн. наук

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Лобанов Дмитрий Владимирович - профессор, доктор техн. наук

Мартынова Татьяна Геннадьевна - доцент, канд. техн. наук

Плотникова Наталья Владимировна - доцент, канд. техн. наук

Перепечатка материалов из журнала «Актуальные проблемы в машиностроении» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

ИЗДАЕТСЯ С 2014 г.

Периодичность – 2 номера в год

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

Журнал зарегистрирован 31.10.2016 г. Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-67566.

Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Адрес редакции и издателя:

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), корп. 5,
Тел. (383) 346-17-75

Сайт журнала:

<http://journals.nstu.ru/machine-building>
E-mail: machine-building@mail.ru
machine-building@corp.nstu.ru

Цена свободная

16+

СОДЕРЖАНИЕ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Михалёв О.Н., Янюшкин А.С. Искусственный интеллект в автоматизации технологических процессов	7
Борисов М.А., Лобанов Д.В. Программируемое устройство для управления электрическими параметрами комбинированной обработки высокопрочных материалов	14
Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э. Совершенствование методики проектирования технологических процессов обработки деталей свободными абразивами	22
Гартфельдер В.А., Васильев С.А., Янюшкин А.С., Секлетина Л.С., Борисов М.А. Перспективы развития новых направлений подготовки инженерных кадров	28

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА И ИНСТРУМЕНТЫ

Керженцев В.А., Перова Н.В. Разработка структурной модели шнекового конвейера пиццеперерабатывающей машины функционально-логическими методами	35
Керженцев В.А., Перова Н.В. Моделирование структурных параметров шнекового конвейера. расчет технических характеристик.	42
Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Савельева Е.А., Разработка структурной схемы комбинированного токарного оборудования для плазменной и механической обработки	50
Зверев Е.А., Савельева Е.А., Гиззатуллин А.С. Применение автоматизированного измерительного комплекса для исследования энергоэффективности привода токарного станка	58

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Афанасьев В.К., Попова М.В., Долгова С.В., Сагалакова М.М., Черныш А.П. Воздействие обработки расплава и циклической деформации на микроструктуру доменного чугуна	65
Прудников А.Н., Прудников В.А. Влияние режимов старения на линейное расширение малокремнистого поршневого силумина	72
Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Попова М.В., Прудников В.А. Совершенствование режимов термической обработки поршневых алюминиевых сплавов	78
Афанасьев В.К., Попова М.В., Прудников А.Н., Сагалакова М.М. Новый модификатор для алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния	84
Рекомендации по написанию научной статьи	92
Подготовка аннотации	94
Правила для авторов	96

УДК 669.715.017.16

**НОВЫЙ МОДИФИКАТОР ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КРЕМНИЯ**

В.К. АФАНАСЬЕВ¹, академик РАЕН, доктор техн. наук, профессор,
М.В. ПОПОВА¹, доктор техн. наук, профессор,
А.Н. ПРУДНИКОВ¹, доктор техн. наук, профессор,
М.М. САГАЛАНОВА², канд. техн. наук, доцент
(¹ СибГИУ, г. Новокузнецк,
² ХТИ-филиал СФУ, г. Абакан)

Попова М.В. – 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42,
Сибирский государственный индустриальный университет,
e-mail: m.popova@rdtc.ru

Введение. Для улучшения структурных характеристик и повышения механических свойств высококремнистых силуминов широко используют модифицирование. Для силуминов заэвтектического состава задача модифицирования структуры усложняется тем, что необходимо добиться диспергирования кристаллов не только эвтектического, но и первичного кремния. Поэтому разработка способов модифицирования высококремнистых сплавов системы Al-Si по-прежнему является актуальной задачей. **Цель работы:** изучение структуры и механических свойств сплавов алюминия с 15÷50% кремния после модифицирования их смесью фосфористой меди, гидроксида лития и бора. **Методы исследования:** металлографический анализ, определение механических свойств. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что модифицирование предложенным способом способствует формированию мелкодисперсной структуры сплавов Al-(15÷50)%Si, особенно после высокоскоростной кристаллизации. Наибольший эффект достигается для сплавов, содержащих 30–50%Si. Показано, что обработка расплава комплексным модификатором состава (Cu₃P + LiH + B) в сочетании с наводороживанием и высокой скоростью кристаллизации существенно повышает прочность и пластичность сплавов Al-(15÷50) % Si: предел прочности увеличивается в 1,5–2,6 раза, относительное удлинение – в 1,8–2,0 раза. применение разработанного способа позволяет уже в литом состоянии получать в слитках высокие механические свойства, что исключает необходимость упрочняющей термической обработки.

Ключевые слова: алюминий, кремний, модифицирование, микроструктура прочность, пластичность.

Введение

В последние годы заэвтектические силумины (сплавы алюминия с кремнием, в которых содержание кремния превышает эвтектическую концентрацию) вызывают значительный интерес как у разработчиков материалов, так и потенциальных потребителей таких сплавов. Это объясняется тем, что силумины заэвтектического состава обладают сочетанием уникальных характеристик: отличными литейными свойствами, малой плотностью, относительно высоким модулем упругости, низким коэффициентом теплового расширения, повышенной износостойкостью, хорошей свариваемостью и обрабатываемостью резанием, а также низкой стоимостью [1–4]. В современном

машиностроении заэвтектические силумины широко используют для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания автомобилей методами фасонного литья или жидкой штамповки, а также в точном приборостроении для изготовления деталей приборов, от которых требуется малая изменчивость размеров в широком диапазоне температур [5–9]. Применение же таких сплавов для изготовления деталей методами обработки давлением затруднено из-за образования в их структуре грубых кристаллов первичного кремния (КПК), резко снижающих технологическую пластичность и эксплуатационные свойства силуминов [10, 11].

С целью улучшения структурных характеристик проводят модифицирующую обработку расплава силуминов. Введение веществ-модификаторов изменяет термодинамику процесса кристаллизации сплавов таким образом, что обеспечивает измельчение кристаллов первичного и эвтектического кремния. По мнению авторов [12], по механизму воздействия на кристаллизацию расплава все модификаторы можно условно разделить на два класса: зародышевого и поверхностно-активного действия. К настоящему времени разработано множество способов модифицирования сплавов алюминия с кремнием, в которых для улучшения структуры и механических свойств в расплав вводят соединения щелочных и щелочно-земельных металлов, наноразмерные частицы тугоплавких металлов, а также применяют смеси, включающие модификаторы как зародышевого, так и поверхностно-активного действия [13–22]. В работах [23–25] показано, что эффект модифицирования усиливается в случае применения высоких скоростей кристаллизации. Однако большинство составов модификаторов разработаны для силуминов доэвтектического состава, т.к. для заэвтектических сплавов задача модифицирования структуры усложняется тем, что необходимо добиться диспергирования кристаллов не только эвтектического, но и первичного кремния. Поэтому для них используют различные комплексные модификаторы, в состав которых, как правило, входит фосфористая медь [13, 14, 16, 26]. Но подбор других компонентов модифицирующих смесей, а также их количество и температурно-временные условия обработки расплава зависят от конкретного состава сплавов [12, 26]. Поэтому разработка способов модифицирования высококремнистых сплавов системы Al-Si по-прежнему является актуальной задачей.

В связи с этим, целью настоящей работы являлось изучение структуры и механических свойств сплавов алюминия с 15÷50% кремния после модифицирования их смесью фосфористой меди, гидрида лития и бора.

Методика экспериментального исследования

Сплавы выплавляли в закрытой лабораторной печи сопротивления СШОЛ. После расплавления алюминия А7 вводили кремний Кр0. Затем осуществляли обработку расплава комплексным модификатором ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$) в количестве 0,20–0,35% от массы расплава в течение 5–15 минут при температуре 800 – 1100°C. Для сплавов с 15 и 20% кремния обработку модифицирующей смесью совмещали с дополнительным наводороживанием расплава по методике, приведенной в [27]. Использовали два вида кристаллизации: в алюминиевый кокиль (скорость охлаждения ~ 20 °C/c) и между двумя массивными медными плитами – имитация жидкой штамповки (скорость охлаждения ~ 100 °C/c).

Из полученных слитков изготавливали образцы для металлографического анализа и определения механических свойств. Изучение микроструктуры сплавов осуществляли с помощью оптического микроскопа OPTON. Прочность и пластичность сплавов определяли при испытаниях на одноосное растяжение [28]. Статистическую обработку результатов механических испытаний проводили по известным методикам проверки статистических

гипотез и вычисления выборочных числовых характеристик при малом объеме выборки ($n < 50$) в режиме «Описательная статистика» Microsoft Excel [29, 30].

Результаты и обсуждение

При исследовании влияния обработки расплава смесью, состоящей из фосфористой меди, гидроксида лития и бора, на структуру и механические свойства сплавов, содержащих 15÷50% кремния, было установлено, что после модифицирования по разработанному способу происходит значительное диспергирование не только КПК, но и кремния, входящего в состав эвтектики.

Микроструктура сплавов, содержащих 20 и 50% кремния, обычного приготовления и модифицированных фосфористой медью, а также разработанным способом показана на рис. 1 и 2.

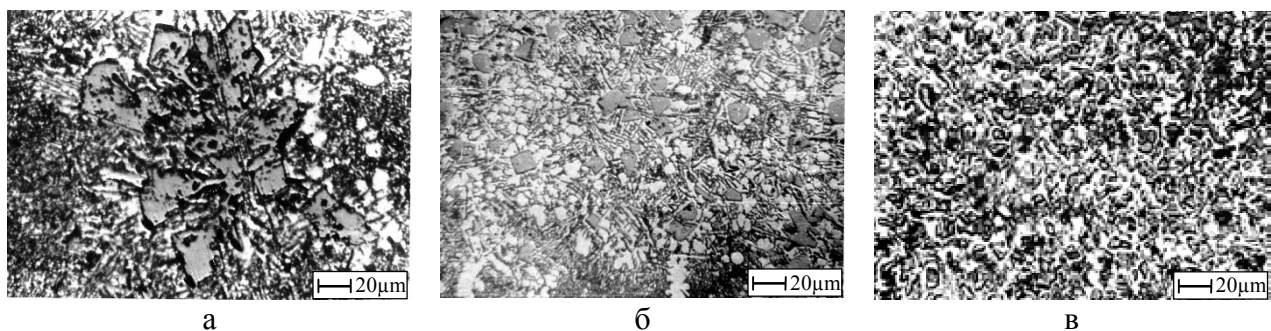


Рис. 1. Микроструктура сплава Al–20%Si: а – без модифицирования, б – модифицирование 0,1% Cu_3P ; в – модифицирование по новому способу

Микроструктура немодифицированных сплавов характеризуется крупными первичными выделениями кремнистой фазы размером до 250 мкм в сплаве Al–20%Si и до 3000–5000 мкм в сплаве Al–50%Si, эвтектика у выделений кремнистой фазы пластинчатая, в других зонах – модифицированная. В результате обработки расплава фосфористой медью в сплаве Al–20%Si размер выделений уменьшается до 50–62 мкм, в то время как микроструктура сплава Al–50%Si практически не меняется. При обработке расплава предлагаемым способом формируются тонкодисперсные выделения кремнистой фазы, размер которых в сплаве Al–20%Si составляет 5–20 мкм, в сплаве Al–50%Si частицы кремния несколько крупнее – до 50–80 мкм.

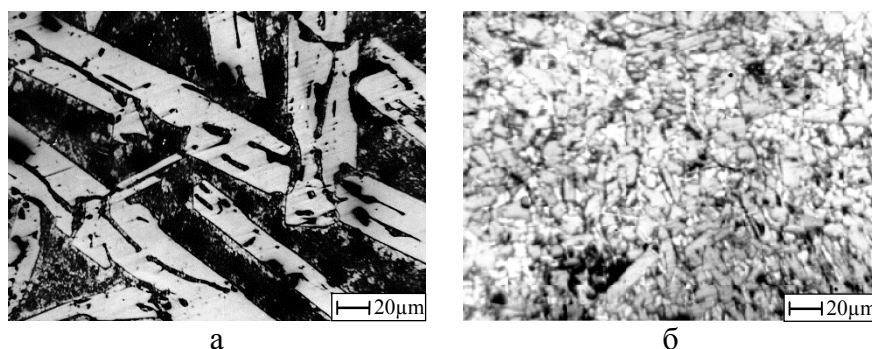


Рис. 2. Микроструктура сплава Al–50%Si: а – модифицирование 0,1% фосфористой меди; б – модифицирование по новому способу

Указанные структурные изменения приводят к значительному повышению механических свойств сплавов, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические свойства сплавов, обработанных известным и новым способом

Сплав	Способ обработки	Механические свойства	
		σ_b , МПа	δ , %
Al–15%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	150	2,2
	новый способ	186	2,2
Al–20%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	168	1,5
	новый способ	198	1,6
Al–30%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	75	0,7
	новый способ	150	0,5
Al–40%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	20	0,2
	новый способ	100	0,2
Al–50%Si	0,1% (масс.) фосфористой меди	–	–
	новый способ	79	0,1

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, разработанный способ обработки расплава для заэвтектических сплавов Al–15÷50% Si имеет достаточно высокую эффективность. По сравнению со известным способом обработки расплава фосфористой медью, применение данного способа повышает предел прочности сплавов в 1,2–5 раз. Наибольший эффект достигается для сплавов, содержащих 30–50%Si.

Разработанный способ модифицирования может быть использован при выплавке сплавов из заэвтектических силуминов, предназначенных для изготовления узлов и деталей двигателей внутреннего сгорания и других изделий.

Известно, что регулируя условия кристаллизации, можно в широких пределах изменять структуру сплавов, например получать эвтектическую структуру в заэвтектических сплавах при высоких скоростях кристаллизации [7, 8]. Отмечается, что при этом резко увеличивается содержание водорода в сплавах. Учитывая, что водород при кристаллизации преимущественно растворяется в выделениях кремнистой фазы или концентрируется на межфазных границах, он оказывает существенное влияние на количество, размеры и форму частиц кремнистой фазы в силуминах [31]. При проведении данной работы было установлено, что сочетание наводороживания расплава с последующей его обработкой смесью ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$), а затем кристаллизация с высокой скоростью ($\sim 10^2$ °C/с), позволяет усилить эффект модифицирования структуры сплавов алюминия с 15 и 20% кремния и резко повысить механические свойства слитков.

После расплавления алюминия и растворения кремния расплав перегревали и проводили его обработку в атмосфере водяного пара в течение 10 минут, после чего вводили модифицирующую смесь ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$). Кристаллизацию проводили методом имитации жидкой штамповки. Микроструктуру и механические свойства сплавов изучали на слитках диаметром 80 мм, приготовленных указанным способом. На рис. 3 показана микроструктура сплава Al–20%Si, приготовленного обычным способом и по разработанной технологии, в табл. 2 приведены механические свойства сплава Al–20%Si и литейного сплава марки АК18.

Таблица 2

Механические свойства сплавов Al–20%Si и АК18, выплавленных известным
и новым способом

Сплав	Способ обработки	Механические свойства	
		σ_B , МПа	δ , %
Al–20%Si	заливка в кокиль без обработки расплава	97	0,8
	модифицирование фосфористой медью (0,1% от массы расплава)	168	1,5
	новый способ: наводороживание расплава и обработка 0,3% смеси ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$)	198	1,6
АК18 (Al + 18%Si + 1,1%Cu + 1,0% Mg + 1,0%Ni)	заливка в кокиль без обработки расплава	148	0,8
	новый способ: наводороживание расплава и обработка 0,35% смеси ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$)	258	1,5

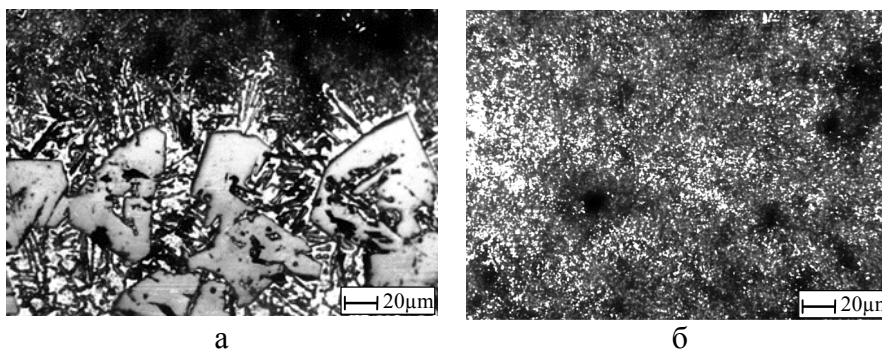


Рис. 3. Микроструктура сплава Al–20%Si в зависимости от технологии модифицирования:
а – модифицирование 0,1% фосфористой меди;
б – наводороживание и модифицирование по новому способу

На основании сравнения приведенных в табл. 2 данных можно сделать заключение, что после обработки по новому способу временное сопротивление как двойного сплава Al–20%Si, так и легированного сплава АК18 увеличивается в 1,5–2,6 раза по сравнению с известными способами, относительное удлинение возрастает в 1,8–2,0 раза. Столь существенное повышение механических свойств обусловлено структурными изменениями: применение указанного способа позволяет получать в заэвтектических сплавах (как двойных, так и легированных) эвтектическую тонкодисперсную структуру.

Заключение

Установлено, что модифицирование сплавов Al–(15÷50) % Si путем обработки расплава модификатором, включающим фосфористую медь, гидрид лития и бор, обеспечивает диспергирование всех структурных составляющих. Совместное применение наводороживания и высокоскоростной кристаллизации модифицированных сплавов способствует дополнительному измельчению и более равномерному распределению кристаллов первичного кремния.

Показано, что обработка расплава комплексным модификатором состава ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$) существенно повышает прочность и пластичность сплавов $\text{Al}-(15\div 50) \% \text{Si}$: предел прочности увеличивается в 1,5–2,6 раза, относительное удлинение – в 1,8–2,0 раза.

Можно отметить, что применение указанного способа позволяет уже в литом состоянии получать в слитках высокие механические свойства, что исключает необходимость упрочняющей термической обработки.

Список литературы

1. *Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б.* Сплавы алюминия с кремнием. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
2. Алюминий: свойства и физическое металловедение: справочник / [У. Х. Энтони и др.]; под ред. Дж. Е. Хэтча; пер. с англ. Э. З. Непомнящей; под ред. И. Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1989. – 423 с. – ISBN 5-229-00088-0.
3. *Мондольфо Л.Ф.* Структура и свойства алюминиевых сплавов / пер. с англ.; под ред. Ф.И. Квасова и др. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
4. *Polmear I.J.* Light alloys: from traditional alloys to nanocrystals. – Amsterdam: Elsevier, 2005. – 421 p. – DOI: 10.1016/B978-0-7506-6371-7.X5000-2.
5. Перспективы развития поршневых заэвтектических силуминов / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников, А.А. Ружило, М.В. Попова // Металлургия машиностроения. – 2003. – № 4. – С. 16–18.
6. О влиянии кремния на тепловое расширение алюминия А7 / В.К. Афанасьев, А.В. Горшенин, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.А. Старостина // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 23–26.
7. *Добаткин В.И., Елагин В.И.* Гранулируемые алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1981. – 176 с.
8. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / [В.Г. Гопиенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин; под ред. М.Е. Смагоринского]. – М.: Металлургия, 1993. – 320 с. – ISBN 5-229-00908-X.
9. *Афанасьев В.К., Попова М.В.* Перспективы развития легких сплавов с малым тепловым расширением для космической техники // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 6. – С. 8–13.
10. Об особенностях структуры и теплового расширения Al -сплавов с высоким содержанием Si . Ч. 1. Сплавы $\text{Al}-15\ldots 30\% \text{Si}$ / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, С.В. Долгова, Н.Б. Лаврова, М.В. Попова // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 3. – С. 22–27.
11. О природе процессов пластической деформации сплавов $\text{Al}-1\ldots 50\% \text{Si}$ / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.В. Горшенин, С.В. Долгова, В.В. Герцен // Металлургия машиностроения. – 2014. – № 3. – С. 2–9.
12. *Напалков В.И., Махов С. В., Поздняков А. В.* Модифицирование алюминиевых сплавов. – М.: МИСИС, 2017. – 347 с.
13. *Афанасьев В.К., Попова М.В.* Новые способы обработки жидких сплавов алюминия с 30–50% кремния // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2001. – № 2. – С. 29–31.
14. Модифицирование силуминов – разные подходы для одной системы легирования / А.О. Кузнецов, Д.А. Шадаев, В.Ю. Конкевич, С.Т. Бочвар, Т.М. Кунявская // Технология легких сплавов. – 2014. – № 4. – С. 75–81.
15. *Ушакова В.В., Попова М.В., Лузянина З.А.* О влиянии обработки расплава на линейное расширение сплавов $\text{Al}-20\div 40\% \text{Si}$ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1995. – № 4. – С. 69.

16. Попова М.В., Ружило А.А. Наследственное влияние обработки шихты и расплава на терморасширение заэвтектических силуминов // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 4–6.
17. Modification of eutectic Si in Al–Si based alloys / J.H. Li, M. Albu, T.H. Ludwig [et al.] // Materials Science Forum. – 2014. – Vol. 794–796. – P. 130–136. – DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.794-796.130.
18. Effect of Ca level on the formation of silicon phases during solidification of hypereutectic Al–Si alloys / A.-H. Kawther, W. Yun, S. Ian, F. Zhongyun // Materials Science Forum. – 2013. – Vol. 765. – P. 117–122. – DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.765.117.
19. Study on dual modification of Al–17%Si alloys by structural heredity / J. Zhang, H. Chen, H. Yu, Y. Jin // Metals. – 2015. – Vol. 5. – P. 1112–1126. – DOI: 10.3390 / met5021112.
20. Haitham R.S. Mechanical properties of the modified Al–12%Si alloy reinforced by ceramic particles // Engineering and Technology Journal. – 2010. – Vol. 28, iss. 2. – P. 289–300.
21. Sarada B.N., Srinivasamurthy P.L., Swetha Microstructural characteristics of Sr and Na modified Al–Mg–Si alloy // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2, iss. 8. – P. 3975–3983.
22. Martyushev N.V., Bashev V.S., Zyкова A. P. Influence of soaking time of modifier in melt on microstructure of Al–12%Si alloys // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177. – P. 012118. – DOI:10.1088/1757-899X/177/1/012118.
23. Cais J., Weiss V., Svobodova J. Relation between porosity and mechanical properties of Al–Si alloys produced by low-pressure casting // Archives of Foundry Engineering. – 2014 – Vol. 14, iss. 1. – P. 97–102.
24. Structural and mechanical properties of Al–Si alloys obtained by fast cooling of a levitated melt / S.P. Nikanorov, M.P. Volkov, V.N. Gurin [et al.] // Materials Science and Engineering: A. – 2005. – Vol. 390, iss. 1/2. – P. 63–69. – DOI: 10.1016/j.msea.2004.07.037.
25. Srivastava V.C., Mandal R.K., Ojha S.N. Microstructure and mechanical properties of Al–Si alloys produced by spray forming process // Materials Science and Engineering: A. – 2001. – Vol. 304–306. – P. 555–558.
26. Zu F., Li X. Functions and mechanism of modification elements in eutectic solidification of Al–Si alloys: a brief review // China Foundry. – 2014. – Vol. 11, iss. 4. – P. 287–295. – DOI: 10.1016/S0921-5093(00)01514-8.
27. О влиянии водяного пара на формирование свойств высококремнистых Al-сплавов / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, С.В. Долгова [и др.] // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 5. – С. 17–21.
28. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
29. Степнов М.Н., Шаврин А.В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 399 с.
30. Everitt B.S., Dunn G. Applied multivariate data analysis. – London: Arnold; New York: Oxford University Press, 2001. – 342 с.
31. Водородная обработка расплава для увеличения деформируемости высококремнистых Al-сплавов / В.К. Афанасьев, В.В. Герцен, Г.Т. Коровин, С.В. Долгова, М.В. Попова // Металлургия машиностроения. – 2015. – № 4. – С. 14–18.

NEW MODIFIER FOR ALUMINIUM ALLOYS WITH HIGH SILICIUM CONTENT

Afanasyev V.K.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: in_afanaseva@mail.ru

Popova M.V.¹, D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: m.popova@rdtc.ru

Prudnikov A.N., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: a.prudnikov@mail.ru

Sagalakova M.M.², Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: m_sagalakova@mail.ru

¹ Siberian State Industrial University, 42 Kirov st., Novokuznetsk, 654007, Russian Federation

² Khakass Technical Institute of the Branch of Siberian Federal University, 27 Shchetinkina st., Abakan, 655017, Russian Federation

Abstract

Introduction. Modification is widely used to improve structural characteristics and mechanical properties of high-silicon silumins. For silumines of the eutectic composition, the task of modifying the structure is complicated by the fact that it is necessary to achieve dispersion of crystals not only eutectic, but also primary silicon. Therefore, the development of methods for modifying high-silicon alloys of the Al-Si system is still an urgent task. **The purpose of the work:** is to study the structure and mechanical properties of aluminum alloys with a 15-50% silicon after modifying them with a mixture of phosphorous copper, lithium hydride and boron. **Research methods:** metallographic analysis, determination of mechanical properties. **Results and discussion.** It was found that the modification by the proposed method contributes to the formation of the fine structure of Al - (15÷50) % Si alloys, especially after high-speed crystallization. The greatest effect is achieved for alloys containing Si 30-50%. It is shown that treatment of liquid alloy by the complex modifier ($\text{Cu}_3\text{P} + \text{LiH} + \text{B}$) in combination with hydrogen saturation and high speed of crystallization significantly increases mechanical strength and plasticity of Al-alloys (15÷50) of Si %: strength increases by 1.5-2.6 times, relative lengthening - by 1.8-2.0 times. Use of the developed method makes it possible to obtain high mechanical properties in ingots already in cast state, which eliminates the need for strengthening heat treatment.

Keywords

Aluminium, Silicium, modification, microstructure strength, ductility