
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ, МЕТАЛЛУРГИИ И ИХ КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ III-ЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ



**МАТЕРИАЛЫ
III-ей ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ, МЕТАЛЛУРГИИ
И ИХ КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ»**

20–21 апреля 2017 года

Чебоксары
2017

УДК 621+621.74

ББК 34.4+34.61

М 341

Материалы III-ей Всероссийской научно-практической конференции «Проектирование и перспективные технологии в машиностроении, металлургии и их кадровое обеспечение» (Чебоксары, 20–21 апреля 2017 г.): под редакцией д.т.н., проф. И.Е. Илларионова. – Чебоксары : Чуваш. гос. ун-та, 2017. – 364 с.

ISBN 978-5-7677-2448-2

Сборник включает материалы III-ей Всероссийской научно-практической конференции «Проектирование и перспективные технологии в машиностроении, металлургии и их кадровое обеспечение», состоявшейся 20 – 21 апреля 2017 г. в ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»

УДК 621+621.74

ББК 34.4+34.61

ISBN 978-5-7677-2448-2

© ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», 2017

<i>Баринов А.Ю., Дьячков В.Н., Никитин К.В.</i> Применение быстрого прототипирования для получения единичных и мелкосерийных отливок литьем по выплавляемым моделям	123
<i>Киреев А.В., Кечин В.А., Феклеева Е.Д., Полевая Н.Ю.</i> Влияние кальция на электрохимические свойства сплавов системы Al-Zn	128
<i>Деев В.Б., Рахуба Е.М., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Приходько О.Г.</i> Экономическая обоснованность применения сплавов на основе олова для изготовления художественного литья	132
<i>Деев В.Б., Сметанюк С.В., Куценко А.И., Приходько О.Г., Пономарева К.В.</i> Нейтрализация влияния железа в алюминиевых сплавах на их структуру	135
<i>Илларионов И.Е., Стрельников И.А., Королев А.В., Моисеева О.В., Никитин А.В.</i> Исследование отхода электросталеплавильного производства Чебоксарского завода промышленных тракторов (ЧЗПТ)	141
<i>Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Савинов А.С., Дерябин Д.А., Хренов И.Б.</i> Изучение влияния легирования стали Гадфильда ванадием на ее эксплуатационные свойства	145
<i>Грачев А.Н.</i> Особенности анализа состава отходов производства для использования в литейно-металлургических технологиях	151
<i>Соколов Е.С., Илларионов И.Е.</i> Исследование внепечной обработки жидкой стали (рафинирование и микролегирование)	155
<i>Кривопалов Д.С., Никитин В.И., Вахламов Г.А.</i> Влияние параметров обработки расплава на свойства сплава АК9ч при литье в кокиль	162
<i>Илларионов И.Е., Бакиров Р.Б., Стрельников И.А.</i> Изготовление стержней, форм и противопригарных покрытий для отливок из черных и цветных металлов и сплавов в современных условиях	166
<i>Илларионов И.Е., Бакиров Р.Б., Стрельников И.А., Шалунов Е.П., Журавлев А.Ф.</i> Металлофосфатные смеси в литейном производстве и особенности их применения	176
СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»	183
<i>Заживихина Е.И., Маркова С.А., Смирнова С.Н.</i> Очистка металлических поверхностей от медных отложений	184
<i>Борисов М.А., Мишин В.А., Дементьев Д.А.</i> Разработка программируемого устройства для управления параметрами тока при электрохимической обработке	188
<i>Терентьев Е.А., Зорина М.М.</i> Динамическое изменение подачи в процессе обработки контура на фрезерных станках с ЧПУ	193
<i>Максимов В.М., Иванова С.П., Гартфельдер В.А., Секлетина Л.С.</i> Особенности разработки конструкции исполнительного механизма коммутационного устройства	197
<i>Тимофеев И.А., Андрианов Б.А.</i> Концепция разработки поляризованного реле	205
<i>Прусов Е.С., Кечин В.А., Кононов Д.М.</i> Влияние титана на коэффициент трения цинковых антифрикционных сплавов в трибопаре со сталью	211
<i>Кечин В.А., Киреев А.В.</i> Повышение эффективности использования протекторных сплавов для защиты металлических сооружений от электрохимических коррозий	215
<i>Кечин В.А.</i> Теория и технология получения магниевых сплавов высокой чистоты	219
<i>Баранов Д.А., Паркин А.А., Жаткин С.С., Никитин К.В., Попов А.С.</i> Исследование структуры и элементный анализ лазерного сварного шва после термической обработки жаропрочного сплава ХН68ВМТЮК-ВД	225
<i>Лопаткина Е.А., Сантеев В.К.</i> Возможности применения втулочной муфты в планетарных редукторах типа к-h-v	231
<i>Васильев П.А., Шведов М.А., Христофоров О.В., Григорьев В.С.</i> Изготовление биметаллических алюминий-медных соединений методом сварки трением с перемешиванием	234
<i>Салов П.М., Воронцов Ю.И., Сайкин С.С.</i> Абразивная зачистка отливок	240
<i>Воронцов Ю.И., Салов П.М., Ильина А.А., Григорьев Р.Е., Петров Е.В.</i> Воздушно-дуговая резка при зачистке отливок	243
<i>Салов П.М., Салова Д.П.</i> Применение целевых функций для оптимизации процесса шлифования глубоких отверстий	246

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ЖЕЛЕЗА В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ НА ИХ СТРУКТУРУ

NEUTRALIZATION OF IRON INFLUENCE IN ALUMINUM ALLOYS ON THEIR STRUCTURE

ДЕЕВ В.Б.¹, СМЕТАНИУК С.В.¹, КУЦЕНКО А.И.²,
ПРИХОДЬКО О.Г.², ПОНОМАРЕВА К.В.²

¹(Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС», г. Москва, Российская Федерация)

²(Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Российская Федерация)

DEEV V.B.¹, SMETANYUK S.V.¹, KUTSENKO A.I.²,
PRIKHODKO O.G.², PONOMAREVA K.V.²

¹(NUST "MISiS", Moscow, Russia)

²(Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia)

Аннотация

Проведен анализ существующих в настоящее время основных способов нейтрализации влияния железа на структуру и свойства промышленных литейных алюминиевых сплавов.

Abstract

The article analyzes the currently existing main ways to neutralize the effect of iron on the structure and properties of cast aluminum alloys industry.

Ключевые слова: железо, свойства, алюминиевые сплавы, фазы

Keywords: iron, properties, aluminum alloys, phases

Железо – основная примесь в большинстве промышленных алюминиевых сплавов. Его содержание необходимо поддерживать на самом низком уровне из-за вредного влияния на пластичность и коррозионную стойкость [1 – 10]. Источники насыщения алюминиевых расплавов железом – чугунные тигли раздаточных и плавильных печей, заливочные ковши, переплавляемый алюминиевый лом, содержащий стальные вкладыши и элементы кремния, не удаленные перед плавкой. В отливках, полученных литьем в песчаные формы и кокиль, предельная концентрация железа составляет обычно 0,6...0,7%. В некоторые поршневые сплавы железо добавляют специально, а в отливках, полученных под давлением, допускается до 3% железа.

В алюминиевых сплавах в зависимости от содержания кремния и железа образуются фазы различного состава. При небольших содержаниях железа в малокремнистых силуминах железосодержащая фаза выпадает в форме химического соединения Fe_2SiAl_8 (α), кристаллизующаяся в виде скелетообразных кристаллов (китайских иероглифов). При увеличении содержания кремния и железа образуется фаза FeSiAl_5 (β), выпадающая в форме игл или пластин. Фаза FeSi_2Al_4 (δ) часто присутствует в сплавах, богатых кремнием (> 14%); фаза FeSiAl_3 (γ) имеется в сплавах, богатых железом (> 6%) и кремнием (> 14%) [11].

Основными структурными составляющими доэвтектических силуминов являются первичные кристаллы α_{Al} твердого раствора и двойная эвтектика ($\alpha_{\text{Al}} + \text{Si}$), заэвтектических – эвтектика ($\alpha_{\text{Al}} + \text{Si}$) и первичные кристаллы кремния. Фаза α

(Fe_2SiAl_8) в промышленных силуминах практически не образуется. В отсутствие меди железо ($0,5\% > \text{Fe} < 0,7\%$) обычно входит в эвтектику ($\beta + \alpha_{\text{Al}} + \text{Si}$) в виде тонких пластинок, распределенных среди иголок и стерженьков кремния. При кристаллизации этой эвтектики β -фаза (Al_5SiFe) является ведущей, от нее начинается рост кристаллов кремния совместно с алюминием. Следует заметить, что β -фаза (Al_5SiFe) – нежелательный элемент структуры силуминов, так как на острие игольчатых кристаллов легко зарождаются трещины, которые затем распространяются вдоль всей длины. Если количество железа превышает $0,7\%$, появляются первичные кристаллы FeSiAl_5 [12].

Наличие грубых выделений железосодержащих фаз приводит к снижению механических свойств силуминов. Особенно резко снижаются ударная вязкость и относительное удлинение. При содержании железа $0,8...1\%$ ударная вязкость силумина уменьшается в $4...5$ раз, а относительное удлинение более чем в 3 раза [13].

Эвтектический кремний и железосодержащие фазы имеют ковалентный тип межатомных связей, что обуславливает их направленность при кристаллизации. Для уменьшения анизотропии силовых полей валентных электронов в образующемся зародыше при кристаллизации необходимо изменить характер межатомного взаимодействия. Один из возможных вариантов изменения формы и размеров включений фаз с ковалентным типом межатомных связей – введение в расплав примесей, атомы которых, растворяясь в растущем кристалле, ослабляют ковалентную составляющую связи между его атомами и тем самым уменьшают ориентирующее действие кристалла на соприкасающуюся с ним жидкую фазу. Если в отношении изменения формы включений эвтектического кремния этот вопрос успешно решен, то применительно к модифицированию железосодержащей фазы имеются существенные трудности в его практической реализации. Для нейтрализации вредного воздействия примесей железа в алюминиевые сплавы вводят кобальт, хром, марганец, молибден и никель [4, 6 – 10, 14 – 18]. При введении этих добавок образуются четырехкомпонентные химические соединения типа AlFeSiMn , AlFeSiCr , которые выпадают в форме компактных кристаллов. Однако, чтобы получить желаемый эффект, требуется сравнительно большое количество марганца и хрома [$\text{Fe}:\text{Mn}(\text{Cr})=1:1$], что при повышенном содержании железа приводит к сильному изменению химического и фазового состава сплава.

Железо связывается с марганцем в α -фазу $(\text{FeMn})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$, часто имеющую форму китайских писем, таким образом ослабляется эффект охрупчивания, обусловленный фазой FeSiAl_5 . Однако, если суммарное содержание марганца и железа превышает $0,8\%$, могут появиться первичные кристаллы $(\text{FeMn})_3\text{Si}_2\text{Al}_{15}$ в виде гексагональных глобул (хотя само соединение относится к кубическому типу). Эти глобулы не вызывают охрупчивания сплава, но заметно ухудшают обрабатываемость резанием, поэтому содержание марганца регулируют таким образом, чтобы ограничить и вредный эффект от железа и предотвратить возникновение первичных кристаллов [11].

Хром и никель также используют для нейтрализации действия железа, но соединения $(\text{CrFe})_4\text{Si}_4\text{Al}_{13}$ или $(\text{CrFe})_5\text{Si}_8\text{Al}_2$ и FeNiAl_9 отличаются удлиненной формой и приводят к некоторому охрупчиванию. Наилучшим образом вредное действие железа нейтрализует кобальт, который не соединяется с кремнием и таким образом уменьшает количество ненужных соединений. Эффект от молибдена аналогичен эффекту от кобальта [11].

В работе [19] указывается о дополнительной обработке расплава элементами VI группы – серой, селеном и теллуром. Модифицирование железо-содержащей фазы серой или теллуром при соотношении, %, $\text{Fe/Mn} = 2/1$ способствует увеличению количества фазы с гексагональной решеткой и сопровождается некоторым изменением ее параметра, а включения приближаются к правильным многогранникам. При этом добавки серы и теллура концентрируются в компактных включениях β -фазы.

Предлагается [20] использовать процесс затвердевания при неравновесных условиях для устранения формирования грубых первичных железосодержащих фаз. Сплав с содержанием железа до 4%, полученный при скорости охлаждения в жидком состоянии 10^5 К/с, характеризовался равномерной структурой без выделения грубых первичных Fe-содержащих фаз. Скоростное литье позволило в 2 раза улучшить пластические свойства сплава.

Исследовали [17] возможность реализации процесса рафинирования вторичных алюминиевых сплавов от примеси железа в условиях небольших предприятий по рециклингу при переработке низкосортных отходов алюминия по схеме свободной фильтрации при движении расплава вниз без использования внешних воздействий. Исследования проводили на вторичных сплавах с различными содержаниями железа и соотношением вводимых присадок-осадителей – марганца и хрома. Установлено, что при высоком содержании железа и присадок-осадителей выход фильтрата уменьшается. Процесс сопровождается закупориванием каналов фильтра из-за высокой вязкости расплава и большого количества образующихся интерметаллидов. Поэтому оптимально соотношение марганца к железу 1,5 : 1, хрома к железу 1 : 1, а содержание железа – 2,7%. В этом случае выход фильтрата – 65% при степени удаления железа 55%. Предельная концентрация железа, при которой целесообразно проведение рафинирования, составляет около 2%.

С проблемой повышенного содержания железа в алюминиевых расплавах постоянно сталкиваются специалисты машиностроительных и литейных цехов при производстве отливок из промышленных сплавов.

В ранней работе [21] экспериментально определяли влияние ряда примесей (железа, марганца, олова, цинка, никеля и др.) на механические и коррозионные свойства алюминиевых сплавов АЛ5, АЛ7, АЛ8 и АЛ9. Результаты исследований показали, что увеличение содержания железа сопровождается снижением предела прочности всех исследованных сплавов и уменьшением их относительного удлинения. Это авторы объяснили тем, что железо с алюминием и основными легирующими элементами образует нерастворимые фазы CuFeAl_3 и Cu_2FeAl_7 , $\alpha\text{-(AlFeSi)}$ и FeSiAl_5 , кристаллизующиеся в виде пластин или игл, отрицательно влияющих на механические свойства. Никель образует нерастворимые фазы AlCuNi_7 , Al(CuNi)_2 и NiAl_3 . Количество этих фаз увеличивается с ростом содержания никеля, а прочностные и пластические свойства сплавов при этом снижаются. Олово образует легкоплавкие эвтектики с температурой плавления около 220 °С, снижая предел прочности и относительное удлинение сплавов. Цинк в исследуемых сплавах входит в твердый раствор, не образуя соединений и не оказывая существенного влияния на механические свойства сплавов. В отношении коррозионной стойкости наиболее опасными являются примеси железа и никеля. Примеси свинца и цинка оказывают ничтожно малое влияние на коррозионную стойкость сплавов АЛ7, АЛ9 и АЛ5. Коррозионная стойкость сплава АЛ9 более чем в два раза снижается под влиянием примеси никеля.

При рассмотрении фазового состава сплавов типа «силумин» необходимо обязательно учитывать специфическую роль железа, содержание которого как примеси в промышленных сплавах составляет обычно не менее 0,2...0,4%. В твердом алюминии железо растворяется от 0,02% при комнатной температуре и до 0,1% при температуре закалки. Фазы, содержащие железо, имеют грубокристаллическое строение, поэтому присутствие его в сплавах довольно сильно ухудшает механические свойства, особенно пластичность [11].

Следует отметить, что степень вредности железа снижается по мере измельчения микроструктуры сплавов. Поэтому при литье в песчаные формы допускается содержание железа до 0,6%, при литье в кокиль – до 1%, при литье под давлением – до 1,5% [10, 17].

В зависимости от содержания железа и кремния, а также в зависимости от скорости кристаллизации железо может присутствовать в алюминиевых сплавах в виде двойного соединения типа Al_3Fe , тройного соединения Al_2Si_2Fe , кристаллизующегося в форме пластин, и Al_5SiFe , кристаллизующегося в форме сильно разветвленной скелетообразной эвтектики ($\alpha + Al_5SiFe + Si$) [22].

Добавка марганца в сплав АЛ4 позволяет компенсировать вредное влияние примеси железа и повысить прочность по сравнению со сплавом АЛ9 на 10...15% [22].

И.Ф. Колобневым и М.Б. Альтманом [23] было установлено, что при дополнительном легировании сплава АЛ4 медью и марганцем возможно повысить его прочность. Также в этой работе даны результаты исследования влияния добавок кобальта, марганца, ванадия, хрома и никеля на свойства сплава АЛ4. Авторы считают, что наряду с уменьшением вредного влияния примеси железа эти добавки способствуют некоторому повышению прочности сплава. Причем действие этих добавок более резко проявляется на термически обработанных сплавах, чем на сплавах в литом состоянии.

В работе [24] нейтрализация вредного влияния железа на свойства сплавов решалась путем микролегирования. Структурный анализ позволил установить, что наиболее перспективными добавками, приводящими к изменению формы железосодержащей фазы в силуминах, являются молибден, хром и марганец совместно с серой и некоторыми другими элементами.

В НИТУ «МИСиС» разработано [25] несколько новых вторичных алюминиевых сплавов на базе композиции $Al - (2...3)\% Si - (2...3)\% Fe - (до 2\%) Cu - (до 2\%) Mg$ с пластичностью выше, чем у известных вторичных силуминов с 1% Fe.

На сегодняшний день проблема нейтрализации вредного влияния железа в алюминиевых сплавах еще не решена, и это затрудняет широкое использование низкосортных материалов в шихте [10, 14, 17]. Необходимо отметить также, что если бы удалось создать надежные условия для кристаллизации железистой составляющей в силуминах в компактной форме, была бы получена возможность разработки дешевых сплавов (из-за экономии чушковых материалов), обладающих требуемыми свойствами.

Перспективы в этом направлении имеют способы физических воздействий на расплавы в процессе кристаллизации [26 – 36], не изменяющие химический состав сплавов, а именно – электрический ток. Однако механизм воздействия электрического тока на процесс кристаллизации исследован недостаточно как в экспериментальном, так и теоретическом плане. Так, отрывочный характер носят результаты о влиянии электрического тока на морфологию железосодержащих фаз, образующихся при кристаллизации алюминиевых сплавов.

Выводы: Анализ общих положений влияния различных способов нейтрализации негативного влияния железа на структуру и свойства литейных алюминиевых сплавов показал наиболее перспективные возможные технологии в промышленных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об использовании железосодержащих отходов для получения алюминиевых лигатур и сплавов / К.В. Никитин, В.И. Никитин, И.Ю. Тимошкин, П.И. Понаморенко // *Металлургия машиностроения*. 2010. № 2. С. 16–20.
2. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: *Металлургия*, 1979. – 192 с.
3. Альтман М.Б. Плавка и литье легких сплавов / М.Б. Альтман, А.А. Лебедев, И.В. Чухров. – М.: *Металлургия*, 1969. – 680 с.
4. Строганов Г.Б. Высокопрочные литейные алюминиевые сплавы / Г.Б. Строганов. – М.: *Металлургия*, 1985. – 216 с.
5. Постников Н.С. Плавка алюминиевых сплавов / Н.С. Постников, А.В. Мельников, В.М. Лебедев. – М.: *Металлургия*, 1971. – 152 с.
6. Производство отливок из сплавов цветных металлов / А.В. Курдюмов, М.В. Пикунов, В.М. Чурсин, Е.Л. Бибилов. – М.: *Металлургия*, 1986. – 416 с.
7. Цветное литье: Справочник / Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега, Д.Ф. Иванчук и др.; Под общ. ред. Н.М. Галдина. – М.: *Машиностроение*, 1989. – 528 с.
8. Юдкин В.С. Производство и литье сплавов цветных металлов / В.С. Юдкин. – М.: *Металлургия*, Т. 1. 1967. – 384 с.
9. Колобнев И.Ф. Справочник литейщика. Цветное литье из легких сплавов / И.Ф. Колобнев, В.В. Крымов, А.В. Мельников. – М.: *Машиностроение*, 1974. – 416 с.
10. Металлические примеси в алюминиевых сплавах / А.В. Курдюмов, С.В. Инкин, В.С. Чулков, Г.Г. Шадрин. – М.: *Металлургия*, 1988. – 143 с.
11. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. – М.: *Металлургия*, 1979. – 640 с.
12. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: Справ. изд. / А.Г. Пригунова, Н.А. Белов, Ю.Н. Таран и др. – М.: *МИСиС*, 1969. – 175 с.
13. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов / М.В. Мальцев. – М.: *Металлургия*, 1970. – 364 с.
14. Кечин В.А. Ликвационное рафинирование алюминиевых сплавов от железа / В.А. Кечин, С.В. Скитович // *Литейное производство*. 1998. № 8. С. 6, 7.
15. Шнитко В.К. Влияние механического измельчения первичных фаз на свойства алюминиевых сплавов / В.К. Шнитко, В.Ю. Шейгам, Ю.Д. Сезоненко // *Литейное производство*. 1989. № 1. С. 23, 24.
16. Закономерности кристаллизации алюминиевых сплавов с различным содержанием железа и марганца / И.Ф. Селянин, В.Б. Деев, А.П. Войтков и др. // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2005. № 6. С. 48–50.
17. Снижение концентрации железа во вторичных алюминиевых сплавах / О.Н. Каленик, Б.М. Немененок, Г.В. Довнар, В.Л. Трибушевский // *Металлургия машиностроения*. 2004. № 3. С. 23–25.
18. Современные подходы к безопасной обработке алюминиевых сплавов / Б.М. Немененок, С.П. Задруцкий, С.П. Королев и др. // *Литейное производство*. 2006. № 3. С. 12–14.
19. Bergmann H.W., Nemenjonok B.M., Kalinichenko A.S. Et. Al. / Complex grain refining of Al-Si alloys with a high Fe content // *Aluminum*. 1996. V. 72, № 5. P. 354–356.
20. Калиниченко А.С. Снижение негативного влияния повышенного содержания железа в алюминиевых сплавах / А.С. Калиниченко, Б.Н. Немененок, В.А. Калиниченко // *Литейное производство*. 2004. № 3. С. 21, 22.
21. Стромская Н.П., Смирнова Т.И., Климова В.А. – «Алюминиевые сплавы». Вып. 1. – М.: *Оборонгиз*, 1963. С. 55–72.
22. Постников Н.С. Высокогерметичные алюминиевые сплавы / Н.С. Постников. – М.: *Металлургия*, 1972. – 160 с.
23. Альтман М.Б., Колобнев И.Ф. Газы в алюминиевых сплавах. Брошюра ЦИТЭИН, 1947.