

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 38

Москва
Новокузнецк
2017

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 38 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2017 – 230 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 45, табл. 28, библиогр. назв. 222.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спирин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., АО «Евраз – ЗСМК», г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2017

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	8
<i>Чжан Кэ</i>	
Проектно-исследовательский институт цветной металлургии Китая: научно-технологический потенциал, проектирование, строительство, инжиниринг, рециклинг горно-металлургических, энергетических и водохозяйственных объектов	9
<i>И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов</i>	
Влияния щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe в нейтральной среде	13
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на управление пластической деформацией зародышей в технологии производства окатышей, основанной на принудительном зародышеобразовании	22
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на организацию предварительного влагоудаления на участке окомкования в производстве железорудных окатышей	30
<i>В.М. Павловец</i>	
Анализ технических решений, направленных на управление процессом зародышеобразования в производстве окатышей, основанном на принудительном зародышеобразовании	37
<i>В.Б. Деев, Е.С. Прусов, С.В. Сметанюк, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева</i>	
Влияние железа на характер кристаллизации, литейные и механические свойства заэвтектического силумина	43
<i>М.В. Темлянец, К.С. Коноз, О.В. Кузнецова, Э.Я. Живаго, В.Я. Целлермаер</i>	
Исследование высокотемпературного окисления рессорно-пружинной стали марки 40С2 и особенностей строения ее окарины	48
<i>А.А. Уманский, В.В. Дорофеев, А.В. Головатенко, В.Н. Кадыков, А.В. Добрянский</i>	
Совершенствование режимов прокатки острых рельсов на универсальном рельсобалочном стане	55
<i>Е.С. Прусов, В.Б. Деев</i>	
Перспективы применения ультразвука при вводе наночастиц в алюминиевые расплавы.	64
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев, С.Н. Кратько, Р.Е. Крюков</i>	
Поиск оптимальных технологических параметров режима работы рельсосварочной машины К1000	70
<i>Р.А. Шевченко, С.Н. Кратько, П.Е. Шишкин, Н.А. Козырев, В.И. Базайкин</i>	
Применение методов математического моделирования для оптимизации технологических параметров процесса контактной сварки рельсов на машине К1000	76
<i>Р.А. Шевченко, В.И. Базайкин, С. Н. Кратько, Н.А. Козырев, А.О. Патрушев</i>	
Анализ токового режима работы сварочной машины К1000 при сварке рельсов на этапе оплавления	81
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	88
<i>Т.И. Алексеева, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i>	
Термодинамическое моделирование плазмосинтеза карбида циркония	89
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>	
Исследование механизма плазмосинтеза диборида титана	97

<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, К.А. Ефимова</i>	
Окисление нанокристаллического диборида титана при хранении и нагревании в воздушной среде.....	107
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	117
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчеты энергии атомных систем в приближении постоянной электронной плотности.	118
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Исследование взаимодействия электронных оболочек атомов с различным набором квантовых чисел	123
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Выполнение теоремы Купманса в приближении постоянной электронной плотности.	128
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчет корреляционной поправки первого порядка в модели постоянной электронной плотности.	133
<i>В.Б. Деев, О.Г. Приходько, А.И. Куценко, И.Ф. Селянин</i>	
Расчет корреляционной поправки в движении электронов в поле точечного положительного заряда ядра.	142
<i>А.И. Гусев, Н.А. Козырев, Н.В. Кибко, Р.Е. Крюков, И.В. Осетковский</i>	
Свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co	147
<i>И.В. Осетковский, Н.А. Козырев, А.И. Гусев, Р.Е. Крюков, М.В. Попова</i>	
Свойства металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W - V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V.....	155
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.	163
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, В.С. Александров</i>	
Мировое и отечественное производство алюминия: оценка, тенденции, прогнозы.....	164
<i>Т.А. Михайличенко, А.Г. Гальчун</i>	
Использование возобновляемых биоэнергетических ресурсов в разных странах.	171
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.	175
<i>Д.И. Оршанский, Е.Г. Оршанская</i>	
Личностно ориентированная модель деятельности современного преподавателя	176
<i>Т.Г. Моисеенко</i>	
Формы и методы повышения квалификации учителей.....	182
<i>Е.Г. Оршанская</i>	
Мастер-класс как средство повышения уровня владения иностранным языком.	186
<i>Ю.К. Осипов</i>	
Архитектура, образование, проблемы и реальность.	193
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ.	197
<i>Г.Г. Волокитин</i>	
Рецензия на учебное пособие «Оборудование и технология алюминиевого производства» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Наука : Флинта, 2017 – 265 с.).....	198
<i>Г.Г. Волокитин</i>	
Рецензия на учебное пособие «Технологические и конструктивные измерения и расчеты в производстве алюминия» (Авторы Галевский Г.В., Минцис М.Я., Руднева В.В. – М. : Флинта : Наука, 2017. – 218 с.).....	200

<i>Н.В. Немчинова</i>	
Рецензия на монографию «Применение буроугольного полукокса в процессах металлизации и карбидизации техногенного металлургического сырья» (Авторы Аникин А.Е., Галевский Г.В. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2017. – 156 с.)	202
<i>В.В. Лавров</i>	
Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.).....	205
<i>В.В. Дорофеев</i>	
Рецензия на монографию «Разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки металлов давлением» авторы (М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, М.В. Темлянцев. – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2016. – 269 с.).....	207
<i>Ф.И. Иванов</i>	
Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой.....	209
<i>А.В. Маркидонов</i>	
Рецензия на монографию «Эволюция структуры и свойств легких сплавов при энергетических воздействиях», авторов В.Е. Громова, С.В. Коновалова, К.В. Аксеновой, Т.Ю. Кобзаревой.....	211
<i>А.Н. Смирнов</i>	
Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева	213
<i>В.А. Москинов</i>	
Рецензия на серию монографий из двух книг «Водород и деформируемые сплавы Al - 1÷50% Si» и «Металлография чугуна» авторского коллектива под руководством профессора В.К. Афанасьева	214
<i>Е.П. Вольнкина</i>	
Рецензия на монографию Л.Б. Павлович, А.В. Салтанова, Н.Ю. Соловьевой «Утилизация отходов в коксохимическом производстве».....	216
<i>Б.И. Ермаченко</i>	
Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель – заслуженный архитектор РФ, профессор кафедры архитектуры СибГИУ.....	218
<i>Г.И. Стороженко</i>	
Рецензия на монографию «Новокузнецк. История создания генерального плана города». Автор: В.И. Магель	220
<i>А.А. Бабенко</i>	
Рецензия на учебное пособие «Энерготехнология твердого топлива» авторы Школлер М.Б., Протопопов Е.В., Юрьев А.Б.....	222
К 65-летию со дня рождения и 40-летию научной и педагогической деятельности Галевского Геннадия Владиславовича	2244
К 65-летию Андрея Ростиславовича Фастыковского.....	2266
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	2288

В.Б. Деев¹, Е.С. Прусов², С.В. Сметанюк¹, О.Г. Приходько³,
К.В. Пономарева³

¹ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», г. Москва

²ФГБОУ ВО «ВлГУ», г. Владимир

³ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк

ВЛИЯНИЕ ЖЕЛЕЗА НА ХАРАКТЕР КРИСТАЛЛИЗАЦИИ, ЛИТЕЙНЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

В статье приведены экспериментальные данные по влиянию различного содержания железа (0,3; 1,15; 2,0 масс. %) на свойства и характеристики заэвтектического силумина Al-15 % Si, полученного из вторичного сырья. Показано, что присутствие примеси железа в концентрациях, близких к критическим (~1,08 %), может оказывать положительное влияние на жидкотекучесть опытных сплавов. Дальнейшее повышение содержания железа существенно снижает механические и литейные свойства.

The paper presents experimental data on the influence of different iron content (0,3; 1,15; 2,0 wt. %) on properties and characteristics of hypereutectic silumin Al-15 % Si produced from secondary raw materials. It is shown that the presence of iron impurity at concentrations close to critical (~1,08 %) can have positive effects on the fluidity of experimental alloys. Further increasing of iron content significantly reduces mechanical and casting properties.

При изготовлении отливок из вторичных алюминиевых сплавов проблема загрязненности исходных шихтовых материалов вредными примесями, в первую очередь железом, привлекает неослабевающее внимание исследователей и практикующих специалистов [1 – 6]. Примесь железа в алюминиевых сплавах способствует образованию различных интерметаллических фаз с грубокристаллическим строением, существенно снижающих качество отливок [7]. Многие вопросы, связанные с влиянием разной концентрации железа на механические и литейные свойства силуминов, до настоящего времени изучены недостаточно. Особенно это касается силуминов заэвтектического состава. Заэвтектические алюминиево-кремниевые сплавы могут рассматриваться как естественные композиты, в которых роль эндогенной армирующей фазы играют частицы первичного кремния [8]. В этой связи характер влияния примесных элементов на изменение структурно-морфологических характеристик, технологических и эксплуатационных

свойств заэвтектических силуминов целесообразно анализировать с учетом особенностей поведения литейных композиционных сплавов [9].

В настоящей работе исследовали влияние различного количества железа (0,3; 1,15; 2,0 % (по массе)) на процесс кристаллизации, литейные и механические свойства силумина с содержанием 15 % Si (по массе). Экспериментальные плавки проводили в печи ИСТ-0,06 с использованием флюса, содержащего: 13 % KCl, 62 % NaCl, 25 % NaF. Шихта состояла из возврата и лома сплава Al-15 % Si (по массе), возврата отливок из сплава АК12, лигатуры Al-Fe (45 %). После загрузки расчетного количества шихтовых материалов в печь расплав перегревали до температуры 800-850 °С. Температура заливки проб и образцов составляла 730-740 °С. Для определения жидкотекучести использовали кокильную прутковую пробу (с диам. прутка 5 мм). Заливали образцы для изучения механических свойств. При исследовании свойств и характеристик опытных сплавов в ходе прямых измерений для каждой серии экспериментов рассчитывали среднее арифметическое полученных значений измеряемой величины.

Для исследования кристаллизационных и усадочных процессов использовали специальное устройство [10], в работу которого заложены методы термического анализа, дифференциального термического анализа, а также метод термо ЭДС. В состав устройства входят первичные датчики (хромель-алюмелевые термопары), аналого-цифровой преобразователь ИРС CON 7018 и персональный компьютер. Исследования проводили на образцах опытных сплавов длиной 300 мм и диаметром 26 мм.

В таблице 1 приведены результаты исследований процесса кристаллизации и свойств заэвтектического силумина Al-15 % Si с различным содержанием железа.

Таблица 1 – Свойства сплава Al-15 % Si (по массе) с различным содержанием железа

Свойства сплава	Содержание железа в сплаве, %		
	0,3	1,15	2,0
Температура ликвидус, °С	651	619	630
Температура солидус, °С	575	572	584
Время эвтектической кристаллизации, мин.	6,2	7,6	7,2
Жидкотекучесть, мм	94	137	115
Линейная усадка, %	1,55	2,32	2,20
σ_B , МПа	183	152	132
δ , %	1,36	1,11	0,51

Из таблицы 1 видно, что повышение количества железа до 1,15 % снижает температуру ликвидус сплава. Однако с увеличением железа до 2,0 % температура ликвидус становится выше, чем при 1,15 % Fe, но остается значительно ниже, чем у сплава с 0,3 % Fe. Температура солидус при содержании 1,15 % Fe несколько ниже, чем у исходного сплава, а при 2 % Fe выше. Железо увеличивает и время эвтектической кристаллизации. При этом это увеличение не пропорционально росту содержания железа – при 1,15 % Fe оно больше, чем у исходного сплава, а при 2 % Fe снова уменьшается, но незначительно.

При содержании 1,15 % Fe в заэвтектическом силумине жидкотекучесть последнего существенно увеличивается (более чем на 45 %). Однако увеличение концентрации железа до 2 % Fe вновь ее снижает, хотя и не до значений исходного сплава. Это явление можно объяснить с позиций физико-химических и гидродинамических процессов. Известно, что алюминий является очень активным металлом и образует при взаимодействии с кислородом плотную и прочную пленку Al_2O_3 , которая тормозит течение расплава. Наличие в сплаве железа разрыхляет эту оксидную пленку и тем самым увеличивает жидкотекучесть.

Наряду с этим, повышению жидкотекучести сплава может способствовать изменение дисперсности и морфологии кристаллов первичного кремния. Сделано предположение [11], что тройные железосодержащие интерметаллидные соединения $\delta-Al_4FeSi_2$ и $\beta-Al_5FeSi$ могут выступать как подложки для кристаллизации первичного кремния в заэвтектических силуминах. Зависимость критической для литейных и механических свойств концентрации железа от содержания кремния в алюминиево-кремниевых сплавах предложена Дж. Тэйлором [12]:

$$Fe_{кр} \approx 0,075 \cdot [Si, \text{масс.}\%] - 0,05$$

Превышение критической концентрации железа приводит к резкому ухудшению литейных и механических свойств отливок вследствие формирования крупных интерметаллидных включений неблагоприятной формы. Согласно приведенному уравнению, для рассматриваемого силумина критическое содержание железа составит $\sim 1,08$ %, что близко к его содержанию в сплаве, показавшем наилучший результат по жидкотекучести в проведенной серии экспериментов. Повышение содержания железа до 2 % приводит к образованию двойных интерметаллидов $FeAl$, $FeAl_3$ и др., что увеличивает вязкость сплава и уменьшает жидкотекучесть. Физическая природа жидкотекучести композиционных сплавов, содержащих взвешенные частицы, более сложна по сравнению со стандартными литейными сплавами и в основном определяется объемной долей присутствующих частиц. В наиболее простом случае характер такого изменения описывается уравнением Эйнштейна для эффективной вязкости суспензий:

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + k \cdot V_p),$$

где η и η_0 – значения динамической вязкости композиционного и неармированного расплавов, соответственно; V_p – объемная доля частиц; k – коэффициент формы частиц. Уравнение справедливо только в области низких концентраций дисперсных частиц (до 1 % (по объему)). Анализируемые сплавы содержат более высокие концентрации частиц, в роли которых выступают кристаллы первичного кремния и интерметаллидные соединения различной стехиометрии, поэтому зависимость изменения их вязкости будет иметь более сложный характер [13]:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = A + B \cdot V_p + C \cdot V_p^2 + \dots,$$

где $A = 1$; $B = 2,5$; $C = 6,2..7,35$ по различным оценкам.

Результаты выполненных экспериментальных исследований влияния железа на критические точки и литейные свойства заэвтектического силумина свидетельствуют о неоднозначном характере изменения свойств и характеристик опытных сплавов при увеличении концентрации железа. Свойства, связанные с кристаллизацией сплава – время кристаллизации эвтектики, жидкотекучесть, усадка – при содержании 1,15 % Fe имеют более высокие значения, чем при 0,3 % Fe, однако дальнейший рост содержания железа до 2 % вновь уменьшает эти свойства. Таким образом, различное количество железа в заэвтектическом силумине оказывает существенное влияние на его процесс кристаллизации. При 1,1 % Fe в силуминах образуется эвтектика, а при 2 % Fe – перитектика [14]. Наряду с описанными выше закономерностями, эти различные реакции в сплаве также будут оказывать влияние на литейные свойства.

Однако с увеличением содержания железа выше критического значения механические свойства сплава значительно снижаются (таблица 1). При содержании 2 % Fe прочность на растяжение σ_B уменьшается в 1,4 раза, а пластичность δ – в 2,6 раза по сравнению со сплавом с 0,3 % Fe. В то же время, наличие примеси железа в количестве 1,15 % приводит к сравнительно небольшому снижению прочности и пластичности опытных сплавов. Детальное объяснение наблюдаемых закономерностей изменения литейных и механических свойств заэвтектических силуминов в зависимости от содержания примеси железа требует проведения дальнейших экспериментальных исследований в этом направлении.

Выводы: Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что присутствие примеси железа в концентрациях, близких к критическим (~1,08 %), может оказывать положительное влияние на жидкотекучесть заэвтектического силумина Al-15 % Si. Дальнейшее повышение содержания железа до 2 % существенно снижает механические и литейные свойства вследствие формирования крупных интерметаллидных включений неблагоприятной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каленик О.Н. 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.
2. Батышев К.А. Алюминиевый лом в литейном производстве / К.А. Батышев // *Рынок вторичных металлов*. – 2005. – № 4(30). – С. 50–52.
3. 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.
4. Деев В.Б. Эффективные технологии обработки расплавов при получении литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, Ри Хосен и др. // *Литейщик России*. – 2012. – № 10. – С. 19–21.
5. Деев В.Б. Развитие научных основ тепловых и электромагнитных воздействий на расплавы и разработка ресурсосберегающих технологий получения высококачественных отливок из алюминиевых сплавов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольск-на-Амуре государственный технический университет, 2012. – 35 с.
6. Деев В.Б. Исследование технологических параметров и расчет количества твердой фазы при кристаллизации литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, И.Ю. Кольчурина и др. // *Литейщик России*. – 2007. – № 8. – С. 18–23.
7. Mbuya T.O. Influence of Iron on Castability and Properties of Aluminum Alloys: Literature Review // *International Journal of Cast Metals Research*. – 2003. – Vol. 16. – No. 5. – P. 451-465.
8. Wang H. In-Situ Si/Al Composite Produced by Semisolid Metal Processing // *Materials and Manufacturing Processes*. – 2007. – Vol. 22. – Iss. 6. – P. 696-699.
9. Кечин В.А., Прусов Е.С. Элементы в первичном алюминии: генезис и классификация // *Металлургия машиностроения*. – 2016. – № 1. – С. 18-21.
10. Патент РФ на полезную модель № 88353. Устройство комплексного контроля качества сплавов / В.Б. Деев, О.Г. Приходько, И.Ф. Селянин и др. // Заявка № 2009124954/22. Приоритет 29 июня 2009 г. Опубл. 10.11.2009 г. Бюл. № 31.
11. Suarez M.A., Figueroa I., Cruz A., Hernandez A., Chavez J.F. Study of the Al-Si-X System by Different Cooling Rates and Heat Treatment // *Materials Research*. – 2012. – Vol. 15. – No. 5. – P. 763-769.
12. Taylor J.A. Iron-containing Intermetallic Phases in Al-Si Based Casting Alloys // *Procedia Materials Science*. – 2012. – Vol. 1. – P. 19-33.
13. Ходаков Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование / Г.С. Ходаков // *Российский химический журнал*. – 2003. – Т. XLVII, № 2. – С. 33–44.
14. Металловедение алюминия и его сплавов / Беляев А.И., Бочвар О.С., Буйнов Н.И. и др. // М.: *Металлургия*, 1983. – 230 с.

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.
Отделение металлургии**

Сборник научных трудов

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Подписано в печать 22.09.2017 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 13,5 Уч.-изд.л. 14,4 Тираж 300 экз. Заказ № 447

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