

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ

**Международной научно-практической конференции
«Эффективные технологии производства цветных, редких и
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,
члена-корреспондента Академии наук РК,
лауреата Государственной премии Республики Казахстан
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

PROCEEDINGS

**of International scientific and practical conference
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy
science and industry concerns and in memory of well-known scientist
of metallurgy, Associate Member of the National Academy
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

Алматы 2018

УДК 669
ББК 34.3
Э94

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

Жауапты редактор: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

Редакционный совет: д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

Редакциялық алқа: т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»: Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»: Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

ISBN 978-601-323-132-7

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

УДК 669
ББК 34.3

ISBN 978-601-323-132-7

© АО «ИМиО», 2018

ОЦЕНКА ГОРЯЧЕЛОМКОСТИ СПЛАВОВ ТИПА АД31

<https://doi.org/10.31643/2018-7.34>

***Майлыбаева А.Д., Смагулов Д.У.**

ORCID: 0000-0002-5188-3013

0000-0002-0599-8741

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан, *3321940@mail.ru

Аннотация. *Изучено влияние химического состава и условий затвердевания на процессы образования горячих трещин в сплавах на основе алюминия систем Al-Mg-Si и Al-Mg-Si-Fe. Определена склонность сплавов к образованию кристаллизационных трещин, т.е. к появлению горячеломкости сплавов. Показано, что измельчение зерен приводит к уменьшению хрупкости, повышению относительного удлинения сплавов.*

Одним из важнейших факторов, влияющих на литейные свойства и горячеломкость сплавов является их температурный интервал кристаллизации который в свою очередь зависит от химического состава, температур начала и конца кристаллизации, взаимной растворимости компонентов сплавов в твердом и жидком состоянии и других физико-химических свойств сплавов. Любые процессы формирования фазового состава и структуры сплавов происходящие при кристаллизации, можно объяснить с помощью фазовых диаграмм соответствующих систем. При этом, чистые металлы и сплавы эвтектического состава кристаллизуются при постоянной температуре, имеют нулевой интервал кристаллизации. Сплавы с интервалом кристаллизации менее 10-30°C относятся к узко-интервальным сплавам. В процессе охлаждения сплавов с широким интервалом кристаллизации (более 100°C) очень часто образуются горячие или кристаллизационные трещины. Склонности сплавов к образованию кристаллизационных трещин называют горячеломкостью [1, 2].

На горячеломкость влияют величина эффективного температурного интервала хрупкости (ТИХ), в котором возникают трещины, величина и темп свободной усадки в эффективном интервале кристаллизации и деформационная способность материала, т. е. характеристика пластичности в ТИХ.

Кристаллизационные трещины образуются в эффективном интервале кристаллизации - температурном интервале хрупкости (ТИХ), который выше температуры реального неравновесного солидуса, когда сплав обладает весьма малой прочностью и очень хрупок из-за наличия жидкой фазы по границам зерен. Кристаллизационные трещины проходят извилистым путем по границам зерен, имеют в разных точках по длине различную ширину и располагаются в участках отливки, затвердевающих в последнюю очередь или вблизи этих участков [2].

Влияние состава и структуры на горячеломкость оценивают, используя специальные технологические пробы. Многие из них относятся к пробам кольцевого типа.

Другая распространенная проба, часто называемая карандашной, это кокиль для литья стержневых образцов с головками. В варианте карандашной пробы длина отливок одинакова, но различаются диаметры стержня. Мерой горячеломкости является наименьший диаметр, при котором в отливке появляется трещина.

Как показывает опыт, максимальная горячеломкость должна быть у сплава, практически совпадающего по составу с концентрационной границей появления эвтектики в данных неравновесных условиях кристаллизации, или же у сплава, содержащего очень небольшое количество эвтектики в виде тонких прожилок по границам зерен с объемной долей 0,05-0,15 %. Такая близость максимума горячеломкости к концентрационной границе появления эвтектики обусловлена тем, что на этой границе максимальны эффективный интервал кристаллизации и линейная усадка

в интервале кристаллизации. Однако, часто сплав с максимальной горячеломкостью лежит немного правее концентрационной границы появления неравновесной эвтектики.

Добавки, делающие включения эвтектики более дисперсными, могут поднять нижнюю границу интервала хрупкости и существенно снизить горячеломкость.

Если эффективный интервал кристаллизации равен нулю, горячих трещин быть не должно, однако в реальных условиях, когда существует градиент температур из-за неравномерности охлаждения, возникают дополнительные напряжения, которые могут вызвать появление горячих трещин и в отливках из чистых металлов и эвтектических сплавах.

Воздействие примесей на горячеломкость, проявляется главным, образом в изменении пластичности сплава: они могут расширить и сузить интервал хрупкости, увеличить и уменьшить относительное удлинение в нем. Регулирование содержания примесей, регламентация не только их верхних, но и нижних пределов может поднять точку солидуса, изменить количество и характер распределения легкоплавкой составляющей и существенно снизить горячеломкость[2].

Объектами исследования в работе являлись промышленные слитки малолегированных вторичных сплавов на основе системы Al-Mg-Si и Al-Mg-Si-Fe. В таблице 1 представлены химические составы соответствующих сплавов АД31, и зарубежных аналогов этих систем 6060 и 6063 согласно ГОСТ 4784-97 [3] и спецификации Алюминиевой ассоциации [4].

Таблица 1 – Химический состав сплавов АД31, 6060 и 6063

Марка	Содержание легирующих элементов, масс. %					
	Mg	Si	Cu	Mn	Cr	Fe
АД31	0,45-0,9	0,20-0,6	<0,1	<0,1	<0,10	<0,5
6063	0,45-0,9	0,2-0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,35
6060	0,35-0,6	0,3-0,7	<0,1	<0,1	<0,05	0,1-0,3
Испытуемый сплав	0,45-0,50	0,41-0,48	0,001-0,015	0,001-0,01	0,001-0,003	0,18-0,21

Сплавы отливали в лабораторных условиях с использованием тех же печей, графитовых изложниц и температур. В качестве шихты использовали алюминий марки А99, промышленные слитки состава ~0,47 % Mg, ~0,45 % Si и ~0,2 % Fe, магний Mg90, технический кремний Кр0, лигатуры Al-10 % Mn, Al-10 % Cr, Al-33 % Cu, Al-10 % Fe.

Для определения склонности сплавов к образованию горячих трещин при литье, определяли по карандашной пробе, которая отличается высокой жесткостью. Литье проводили в холодную изложницу (комнатной температуры) (рисунок 1) от минимального диаметра к максимальному. Окончательное определение ПГ проводят путем заливки одного диаметра в холодную изложницу. Кроме того, оценку уровня литейных свойств проводили по внешнему виду тонкостенных отливок на отсутствие трещин, не проливов и других видимых дефектов.



Рисунок 1 – Карандашная проба на горячеломкость

Сплавы заливали в холодную изложницу (температура изложницы составляла 25°C) и в горячую (температура изложницы составляла 150°C). Проведение экспериментов при различной температуре изложницы обусловлено тем, что при литье в холодную изложницу возникают большие напряжения и скорость кристаллизации достаточно высока, соответственно, вероятность образования трещин так же высока. Данная схема позволяет определить является ли сплав свариваемым. При литье в горячую изложницу, условия являются более мягкими и большинство промышленных алюминиевых высокопрочных сплавов на производстве заливают именно в горячие изложницы, в противном случае невозможно даже получить слитки без дефектов. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Горячеломкость сплавов

Сплавы	ПГ ^{25°C} , мм (холодная изложница)	ПГ ^{150°C} , мм (горячая изложница)
АЦ4Мг [5]	>16	16
ВАЛ 12 [5]	>16	>16
AD33	16	14
Al-Mg-Si-Fe (AD31)	14	14

Измельчение зерна и особенно переход от столбчатой структуры к равноосной сужают температурный интервал хрупкости и повышают относительное удлинение, снижают температуру начала линейной усадки и уменьшают величину ее в интервале кристаллизации. Все это приводит к повышению запаса пластичности в твердожидком состоянии, снижает горячеломкость. Укрупнение зерна и развитие зоны столбчатых кристаллов, вызываемые увеличением перегрева расплава и длительным его выстаиванием, как правило, усиливают горячеломкость. Модифицирование зерна малыми добавками может значительно снизить горячеломкость

ЛИТЕРАТУРА

1. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. - М.: Металлургия, 1972
2. Высокопрочные деформируемые алюминиевые сплавы.- И.Н.Фридляндер, Москва, ГНТИ ОБОРОНГИЗ, 1960
3. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. ИПКИздателъствостандартов, 2001.
4. International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys. The Aluminium Association, Inc., 2006.
- 5.Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – М.: МИСиС, 2005

EVALUATION OF HOT BRITTLENESS OF ALUMINUM ALLOY AD31

***Mailybaeva A.D., Smagulov D.U.**

“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev” NJSC,
Almaty, Kazakhstan, *3321940@mail.ru

Abstract. The effect of the chemical composition and solidification conditions on the hot cracks formation of in aluminum alloys of Al-Mg-Si and Al-Mg-Si-Fe systems has been studied. The tendency of alloys to form crystallization cracks is determined, i.e. to the appearance of hot brittleness of alloys. It is shown that grinding of grains leads to decreasing in brittleness, and to increasing of aluminum alloys elongation indicator.