

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

А.В. Поздняков
В.С. Золоторевский
М.Г. Хомутов

ГОРЯЧЕЛОМКОСТЬ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Монография



Москва 2014

УДК 669.715

П47

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *Б.Ф. Якушин* (МГГУ им. Н.Э. Баумана);
канд. техн. наук, доц. *Т.А. Базлова*

Поздняков А.В.

П47 Горячеломкость литейных алюминиевых сплавов : моногр. /
А.В. Поздняков, В.С. Золоторевский, М.Г. Хомутов. – М. : Изд.
Дом МИСиС, 2014. – 88 с.

ISBN 978-5-87623-868-9

В книге рассмотрена связь показателя горячеломкости с эффективным интервалом кристаллизации в сплавах на основе алюминия, проведен анализ влияния усадки и структуры в температурном интервале хрупкости на склонность сплавов к образованию кристаллизационных трещин. Проведен подробный критический анализ наиболее востребованных в настоящее время литейных проб на горячеломкость, рассмотрена связь показателя горячеломкости с экспериментально определенным эффективным интервалом кристаллизации, представлена методика расчетного определения интервала на примере двух-, трех- и многокомпонентных сплавов на основе алюминия. Рассмотрены критерии оценки горячеломкости сплавов. Показана возможность расчетного определения показателя горячеломкости по эффективному интервалу кристаллизации ЭИК в экспериментальных и промышленных литейных алюминиевых сплавах.

Для научных и научно-технических работников НИИ и предприятий металлургической промышленности, а также для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Металлургия».

УДК 669.715

ISBN 978-5-87623-868-9

© А.В. Поздняков,
В.С. Золоторевский,
М.Г. Хомутов, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Технологические пробы на горячеломкость	6
2. Эффективный интервал кристаллизации и его влияние на горячеломкость	9
2.1. Понятие эффективного интервала кристаллизации	9
2.2. Термодинамические расчеты эффективного интервала кристаллизации	13
2.3. Связь эффективного и полного интервалов кристаллизации в сплавах двух- и трехкомпонентных систем на основе алюминия....	30
3. Усадка и структура в температурном интервале хрупкости	33
3.1. Усадка в интервале кристаллизации	33
3.2. Температурный интервал хрупкости	37
3.3. Структура сплавов в твердо-жидком состоянии	46
4. Критерии оценки показателя горячеломкости	51
4.1. Критерий пластичности или запас пластичности	51
4.2. Критерий скорости деформации	54
4.3. Критерий прочности	59
4.4. Альтернативный критерий	66
5. Расчет показателя горячеломкости в многокомпонентных сплавах на основе алюминия	69
5.1. Термодинамические расчеты эффективного и полного интервалов кристаллизации в сплавах многокомпонентных систем на основе алюминия	69
5.2. Расчет показателя горячеломкости в сплавах на основе системы Al–Si–Mg–Cu	73
5.3. Расчет показателя горячеломкости в сплавах на основе системы Al–Mg–Zn	79
Библиографический список	83

ВВЕДЕНИЕ

В производстве алюминиевых сплавов исходной заготовкой в большинстве случаев остается слиток для деформируемых сплавов и фасонная отливка – для литейных. Одним из наиболее распространенных видов брака при производстве отливок и слитков является образование кристаллизационных трещин. Склонность к образованию кристаллизационных трещин является литейным свойством сплава, называемым горячеломкостью. Горячеломкость – склонность металлов и сплавов к хрупкому межкристаллитному разрушению при наличии жидкой фазы по границам зерен [1–11]. Такое разрушение широко распространено при литье и сварке с плавлением в слитках, фасонных отливках и сварных швах, оно встречается также при горячей обработке давлением, термической обработке и эксплуатации изделий при повышенных температурах.

Горячие трещины – один из наиболее распространенных и трудно устранимых видов брака. Если оплавление границ зерен при горячей обработке давлением, термообработке и эксплуатации изделий можно более или менее легко предотвратить, очищая металл от легкоплавких примесей, вводя в него малые добавки для связывания этих примесей в тугоплавкие соединения или, наконец, просто ограничивая температуру нагрева точкой солидуса, то при литье и сварке с плавлением переход через интервал кристаллизации всегда неизбежен. Поэтому горячеломкость чаще всего проявляется в двух последних процессах.

Известно, что горячие трещины при литье большинства промышленных цветных сплавов являются кристаллизационными – они зарождаются и развиваются в «эффективном» интервале кристаллизации, понятие о котором было введено А.А. Бочваром [1, 12, 13]. В этом температурном интервале кристаллиты образуют каркас с распределенной внутри него жидкой фазой, и сплав обладает основным свойством твердого тела сохранять ранее приданную ему форму. Такое состояние сплавов было условно названо твердо-жидким [14]. Выше некоторой температуры в интервале кристаллизации жидкая фаза полностью отделяет друг от друга кристаллиты, и сплав обладает основным свойством жидкого тела – повышенной текучестью. Это состояние сплава в отличие от твердо-жидкого, было условно названо жидко-твердым [14].

Противоречивость проблемы горячих трещин обусловлена главным образом тем, что горячеломкость – свойство технологическое и, как

всякое технологическое свойство, оно является комплексным, сложносоставным, зависящим от протекания в металле одновременно нескольких «элементарных» процессов. Любая технологическая проба на горячеломкость, как бы хорошо она ни была приспособлена к условиям конкретной производственной задачи, не может в чистом виде выявить те элементарные процессы и соответственно те «составные» свойства сплава, комплекс которых определяет его горячеломкость [15].

На склонность сплава к образованию кристаллизационных трещин, как и склонность к любому другому разрушению, важное влияние должны оказывать механические свойства (прочность и пластичность) в температурном интервале образования этих трещин. Но анализ горячеломкости, в общем случае, нельзя свести к изучению только механических свойств: горячеломкость, проявляющаяся при литье и сварке, зависит также от термического сжатия, линейной усадки в интервале кристаллизации. На горячеломкость влияют также состав сплавов, форма и размер зерен, толщина и сплошность межзеренных жидких прослоек, газосодержание [15, 16].

За последние десятилетия было предложено несколько критериев оценки склонности сплавов к образованию кристаллизационных трещин: критерии прочности, пластичности и скорости деформации и другие альтернативные критерии [7, 15, 16, 17–40]. Все перечисленные критерии определяются либо экспериментальным, либо экспериментально-расчетным путем. Выбор необходимого критерия (или разработка нового) зависит от специфики технологии литья, наличия необходимых свойств и параметров и должен быть подтвержден проведением экспериментальных исследований. При этом ни один из критериев не позволяет рассчитывать показатель горячеломкости литейных сплавов по технологическим пробам. Критерий, позволяющий рассчитывать показатель горячеломкости, является неотъемлемым дополнением к методам математического моделирования и термодинамическим расчетам, которые начинают широко использоваться при разработке новых сплавов для прогнозирования практически полного комплекса эксплуатационных свойств.

Значительная часть книги написана по материалам кандидатской диссертации А.В. Позднякова «Расчет показателя горячеломкости и его использование при разработке новых литейных алюминиевых сплавов».

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЫ НА ГОРЯЧЕЛОМКОСТЬ

Среди более чем 30 существующих технологических проб определения показателя горячеломкости (ПГ) наиболее востребованными и часто используемыми являются: кольцевая, кольцевая полукокильная и карандашная пробы [15, 16, 41].

Кольцевая полукокильная проба представляет собой песчаную форму со стальным стержнем диаметром от 7 до 97 мм. Схема пробы представлена на рис. 1.1. Показателем горячеломкости служит максимальная ширина кольца (мм), при которой появляются первые трещины. Чем меньше эта ширина, тем меньше склонность исследуемого сплава к образованию горячих трещин. Минимальная ширина кольца в этой пробе составляет 5 мм в случае, если трещины не обнаруживались на данном стержне, ПГ условно считают 4 мм. Данная проба весьма чувствительна к изменению склонности сплавов к образованию кристаллизационных трещин, но является одноразовой и отличается большой трудоемкостью.



Рис. 1.1. Схема кольцевой полукокильной пробы «ВИАМ» [15, 16]

Карандашная проба позволяет легко и быстро определять ПГ. Она представляет собой стальной разъемный кокиль, в котором получают набор стержней с головками (рис. 1.2). Стержни имеют переменное

сечение с рабочими диаметрами 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 мм и головками постоянного диаметра 20 мм. Если трещины не образуются на диаметре 16 мм, то ПГ условно можно считать равным 17 мм, однако его реальное значение могло быть и больше. В реальности, и как будет показано далее, сплавы с ПГ по карандашной пробе более 16 мм – это сплавы с наихудшими литейными характеристиками, такие, например, как алюминиево-медные [17].

Показателем горячеломкости служит минимальный диаметр стержня с головками, при котором не наблюдались трещины на поверхности образца. Таким образом, чем больше ПГ, тем больше склонность сплава к образованию горячих трещин.

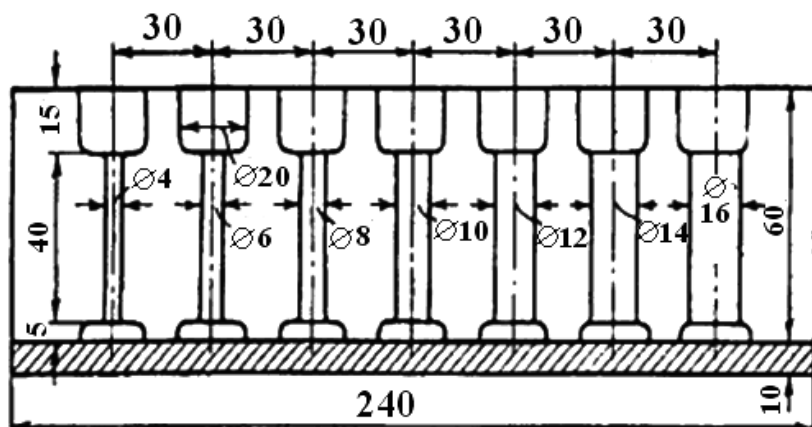


Рис. 1.2. Карандашная проба на горячеломкость [15]

На рис. 1.3 представлена кольцевая проба на горячеломкость. Проба представляет собой стальной кольцевой кокиль со стержнем. Варьируя диаметр стержня, можно изменять жесткость пробы. Для каждой серии исследуемых сплавов необходимо предварительно подбирать диаметр стержня, чтобы самый горячеломкий сплав давал наибольшую трещину. Кольцевая проба на горячеломкость является очень чувствительной к образованию кристаллизационных трещин. показателем горячеломкости может служить суммарная длина трещин, либо длина максимальной трещины, отнесенная к общей длине трещин на поверхности отливки. Основными недостатками про-

бы является большая трудоемкость и некорректность сравнения ПГ для разных групп сплавов, определенного при использовании разных стержней.

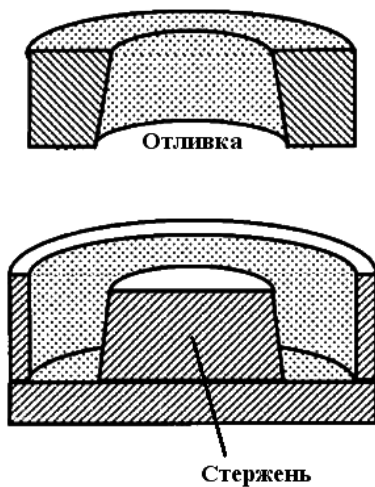


Рис. 1.3. Кольцевая проба на горячеломкость [15, 16]

Существует также ряд проб на горячеломкость для алюминиевых сплавов, таких как кольцевая, проба «Лира», двутавр и др. [15]. Основным их недостатком является высокая трудоемкость.