

Сущность метода итераций заключается в следующем: после первого шага расчета равновесного состава газовой смеси при условии, что в ней находится только диоксид углерода, производится перерасчет газовой смеси с учетом константы равновесия между диоксидом и оксидом углерода. Следующим шагом расчета является определение H_2O и H_2 в равновесном составе за счет увеличения объема смеси при возрастании в ней доли CO . Далее, в полученной сумме объемов диоксида и оксида углерода, используя константу равновесия между ними, определяются их новые значения. После вычисления разности значений между содержанием CO в шагах расчета осуществляется новый итерационный цикл расчета равновесия, определяя изменение равновесного состава за счет разности CO . При достижении заданной разности значений CO в циклах итераций расчет прекращается.

В табл. 4 приведены значения рассчитанных равновесных составов газов при различных температурах и давлениях в газовой фазе.

Рассмотренные реакции существенно влияют как на тепловую работу плавильных агрегатов, так и на экологию окружающего их пространства. Как видно из представленных в таблицах расчетных данных, выбором определенных значений давления и температуры в газовой среде можно в процессе выплавки стали корректировать состав газовой атмосферы в агрегатах, изменяя тепловой эффект реакций в зависимости от свойств металлургического сырья и материалов, а также условий их работы.

Список литературы

1. Доменное производство: Справочное издание. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Е. Ф. Вегмана. - М.: Металлургия, 1989. - Т 1. - 496 с.

Поступила 28.03.2008

УДК 621.745.56.08

Ф. М. Котлярский, В. И. Белик

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЖИДКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

На основании результатов анализа существующих технологических проб для оценки газосодержания жидких алюминиевых сплавов указаны их недостатки, связанные с неконтролируемым удалением водорода из затвердевающей пробы, а также предложены усовершенствованные варианты, исключающие эти недостатки.

На основі результатів аналізу існуючих технологічних проб для оцінки газомісту рідких алюмінієвих сплавів вказані їхні недоліки, пов'язані з неконтрольованим видаленням водню із тверднучої проби, а також запропоновані удосконалені варіанти, які виключають ці недоліки.

On the base of analysis of the existing technological samples results for the estimation of gas content in liquid aluminum alloys the defects of these alloys are shown that are related with non-controlled removal of hydrogen from solidified sample. As well as the improved variants that exclude such defects are supposed.

Ключевые слова: *алюминиевый расплав, газосодержание, технологические пробы, преимуущества, достоверность, оперативность.*

Технологические пробы для оценки газосодержания жидких алюминиевых сплавов используются давно. Об этом свидетельствует хотя бы тот факт, что еще в 1961 г. считали,

что они не удовлетворяют растущим требованиям к качеству расплава [1]. Тем не менее, технологические пробы привлекали простотой конструкции и обслуживания, не требовали сложной оснастки и могли быть за короткий срок реализованы на любом литейном участке. Поэтому даже сами критики продолжали их использовать, в частности, для оценки газосодержания расплава АМг [2]. Определяли плотность вакуумных проб гидростатическим взвешиванием. Кроме этого делали продольный разрез проб и макрошлиф. Оказалось, что этот метод весьма чувствителен к небольшим содержаниям водорода и мало зависит от загрязненности металла окислами. В тот же период времени в работе [3] с помощью вакуум-проб исследовали газонасыщенный расплав. Через 10 мин выдержки после насыщения 75 г расплава заливали в тигелек, который помещался под стеклянный колпак вакуум-прибора, где создавалось разрежение со скоростью 15 мм рт. ст. /с. В процессе кристаллизации под остаточным давлением 300 мм рт. ст. на поверхности металла наблюдали прорывы окисной пленки выделяющимся водородом. Использование этого метода, но без вакуума, описано в более поздней работе [4]. Металл заливают в открытые металлические формы диаметром 60 мм и толщиной 10 мм либо в графитовые тигельки диаметром 25–40 мм и высотой 50–60 мм. В зависимости от содержания газов в металле на поверхности проб в процессе кристаллизации образуется определенное количество выделяющихся пузырьков, что служит условным критерием, характеризующим пористость отливки. Более полное суждение о пористости металла возможно при рассмотрении продольного макрошлифа пробы. Касаясь технологической вакуумной пробы, наличие газов в металле предлагать оценивать в этой же работе по величине выпуклости поверхности закристаллизовавшейся в вакууме пробы, а также по характеру пористости при рассмотрении макротемплета разрезанной пробы.

От технологических проб для определения склонности расплавов к газовой пористости не забывают и в третьем тысячелетии [5]. Параллельно отливают две пробы. Одна из них затвердевает под атмосферным давлением, а вторая — под вакуумом (80 мбар). Гидростатическим взвешиванием определяют их плотности и главный показатель — относительную пористость вакуумной пробы. Во втором варианте затвердевшие в вакууме (от 30 до 50 мбар) пробы жидкого металла массой около 230 г разрезаются вдоль, а поверхности разреза полируются. Затем сравнивают полученные поверхности со стандартными пробами, причем о содержании газа судят по форме, величине и расположению пор.

Все описанные пробы имеют существенные недостатки. Так, использование в качестве показателя газосодержания или пористости следов выделяющихся пузырьков ненадежно тем, что эти следы остаются после образования на поверхности расплава устойчивой окисной пленки, а при повышенном газосодержании они сливаются в сплошную матовость. С образованием в поверхностном слое расплава сплошного кристаллического каркаса всплывание пузырьков прекращается. Но главным недостатком является неконтролируемое удаление газов, выделяющихся из пробы, в окружающее пространство, поэтому фиксируемые на макрошлифах пористость и выпуклость поверхности определяются оставшимся в пробе газом, количество которого также неизвестно, как неизвестно и соотношение между оставшимся газом и его общим содержанием. Поэтому нет оснований утверждать, что воздействие на пробу оставшегося газа отражает сравнительно реальную качественную картину. Подтвердить это можно результатами экспериментальных исследований, приведенными в работах [6, 7]. Для получения количественных данных по миграции водорода в теле отливки и удалению всплывающих пузырьков через прибыль в окружающее пространство клинообразную отливку заливали в положении «горизонтально на ребро». Питание клина осуществлялось прибылью, установленной на толстостенной части. В данном случае интерес представляют смежные участки (вернее их верхние полосы высотой 25–27 мм как наиболее контрастные), один из которых со средней толщиной 24 мм расположен вне прибыли, а другой со средней толщиной 31 мм — непосредственно под прибылью. Благодаря горизонтальному расположению клина на первом участке исключалась возможность удаления всплывающих пузырьков, тогда как на другом этот процесс не ограничивался вплоть до образования сплошного кристаллического каркаса. Полученные данные для сплавов АК7, АК9 и АК12 приведены в табл. 1–3. В каждом эксперименте использовался металл одной плавки. При анализе этих данных следует

иметь ввиду, что, как установлено в работах [6, 7], в условиях невозможного удаления всплывающих пузырьков с увеличением толщины стенки отливки газовая пористость обычно также увеличивается. И для сплава АК7 (табл. 1) в первом эксперименте эта закономерность также соблюдается: пористость более толстого подприбыльного участка выше, чем внеприбыльного. В третьем эксперименте наблюдается обратная картина, а второй как бы выполняет функцию переходного.

Таблица 1. Пористость (%) смежных участков отливки из сплава АК7: внеприбыльного (I) и подприбыльного (II)

Участок отливки	Номер эксперимента											
	1						2		3			
I	0,35	0,6	0,64	0,75	1,14	1,96	2	3,2	1,5	2,3	4,2	5,1
II	1	0,77	1,9	1,05	2	3	3,1	3,2	1,5	2,0	2,8	2,3

Для сплава АК9 (табл. 2) согласно большей части данных (эксперименты 1 и 2) более пористым оказался внеприбыльный участок, хотя встречаются и обратные значения (эксперимент 3), но разница между ними небольшая.

Таблица 2. Пористость (%) смежных участков отливки из сплава АК9: внеприбыльного (I) и подприбыльного (II)

Участок отливки	Номер эксперимента								
	1		2				3		
I	0,84	1,5	3,2	3,4	4,3	8,8	1,25	1,7	
II	0,63	0,88	2	1,1	2,1	1,3	1,5	1,9	

Для сплава АК12 (табл. 3) практически всегда внеприбыльный участок значительно превосходит по пористости подприбыльный.

Таблица 3. Пористость (%) смежных участков отливки из сплава АК12: внеприбыльного (I) и подприбыльного (II)

Участок отливки	Номер эксперимента										
	1	2	3		4		5		6		
I	4,5	6	6,5	3,1	5,1	1	7,3	2,2	3,2	2,2	1
II	1,35	1,5	0,7	0,4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5

Следует вывод, чем выше степень эвтектичности сплава, тем больше смещение газовой пористости в сторону внеприбыльного участка. Причем, это правило работает и в рамках каждого сплава в отдельности, поскольку, согласно ГОСТу, для исследованных силуминов содержание определяющего степень эвтектичности кремния колеблется в пределах 2-3 %, что влияет на разброс данных в каждой таблице. Этот разброс, а также тот факт, что в отдельных случаях (табл. 3, эксперименты 5 и 6) пористость подприбыльного участка может оставаться практически постоянной (0,5-0,6 %), тогда как пористость внеприбыльного закономерно (в соответствии с видами обработки расплава) изменяется в 7 раз (от 1 до 7,3 %), говорит о том, что высказанные полвека назад критические замечания в адрес рассматриваемых технологических проб [1] актуальны и сегодня. Такие пробы допустимо использовать только для грубой оценки, и, в основном, для сплавов с низкой степенью эвтектичности. Для всех сплавов в качестве технологической пробы с целью более точной оценки может быть рекомендована внеприбыльная часть использованной в работе [7] клинообразной отливки, на которой и были получены данные, приведенные в табл. 1-3.

Следует отметить еще один недостаток традиционных технологических проб и методов газового анализа алюминиевых сплавов. Дело в том, что, как показано в работе [7],

существуют вредные и полезные формы водорода в расплавах и водородной пористости в отливках. Вредным назван водород, выделяющийся в пузырьки на стадии жидко-твердого состояния отливки и всплывающий на ее верхние участки, образуя там скопления мелких пор или крупные газовые раковины, что может стать причиной брака. Полезным назван водород, выделяющийся внутри кристаллического каркаса и остающийся в местах зарождения в виде обособленных микропузырьков. Такая рассредоточенная междендритная микропористость при сохранении требуемых механических свойств позволяет решить ряд важных вопросов: устранение утяжин, рассредоточение внутренних концентрированных усадочных дефектов, повышение герметичности, сокращение расхода жидкого металла на прибыль. В работе [7] даже указаны методы снижения вредной пористости при одновременном повышении полезной. В то же время ни один из традиционных методов газового анализа, включая пробы, не разделяет общее газосодержание на вредное и полезное. В работах [8-10] описаны устройство и метод решения такой задачи, однако они еще не доведены до промышленной реализации. Результаты выполненных исследований [7] говорят о том, что и эта задача может быть решена с помощью технологической пробы, разработанной на базе использованной в работе [7] опытной отливки в виде заливаемого горизонтально на ребро и хорошо питаемого при затвердевании клина. Два варианта металлических форм для такой пробы представлены на рис.1. Получаемые отливки отличаются по массе (рис. 1, а - 1,8 кг; рис.1, б - 1,05 кг) и механической обработке.

В пробе массивной отливки (назовем ее пробой № 1) со стороны, противоположной питающему узлу, отрезается вертикальный слой, расположенный в зоне торцевого эффекта, где газовыделение меньше из-за ускоренного затвердевания. В облегченной отливке (проба № 2) такая зона торцевого эффекта ослаблена тем, что стенка пробы, противоположная питающему узлу, формируется металлической пластинкой толщиной 3 мм. В конечном счете размеры самих внеприбыльных проб получают примерно одинаковыми. После

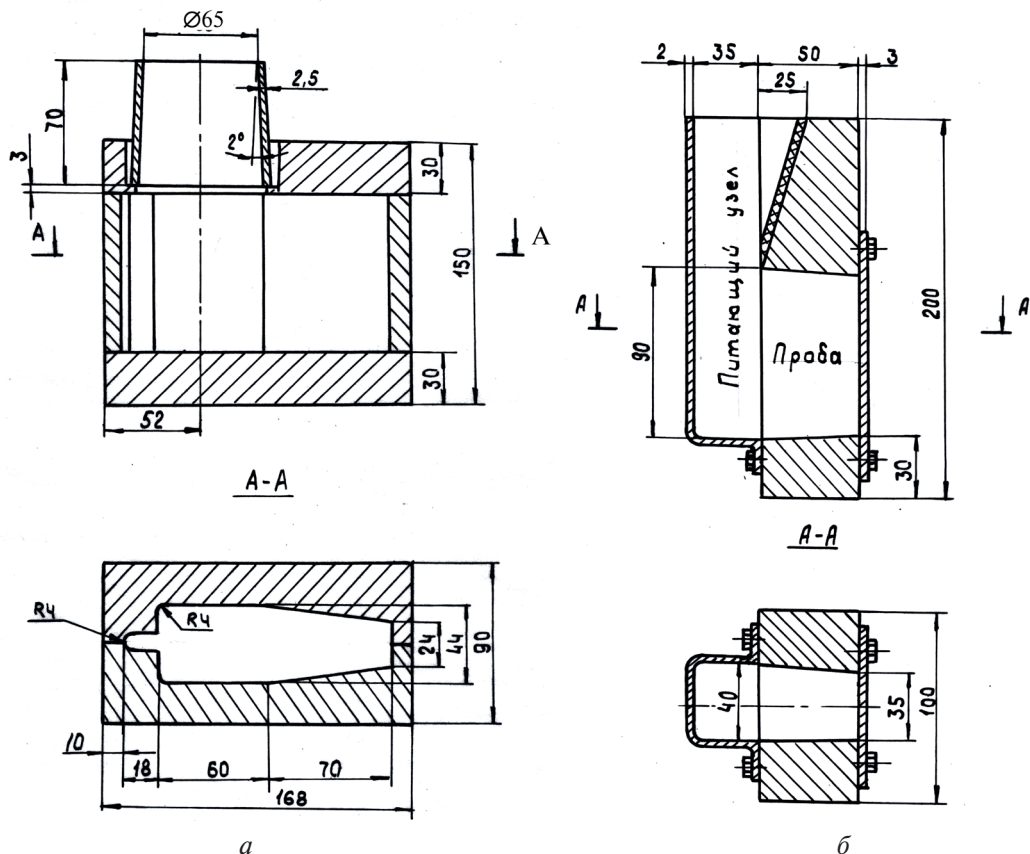


Рис. 1. Формы технологических проб № 1 (а) и 2 (б)

Получение и обработка расплавов

отрезки от питающего узла пробы разделяются горизонтальными резами на три части (верхняя, средняя и нижняя), толщины которых по высоте уточняются экспериментальным путем. Каждая часть подвергается гидростатическому взвешиванию для определения плотности. Сравнивая плотности верхней и нижней частей, формирующихся практически в равных условиях затвердевания, определяем степень всплывания образующихся пузырьков. А сравнение плотности нижней части со средней, затвердевающей дольше из-за отсутствия охлаждаемых торцев, дает информацию о газовой междендритной пористости.

В процессе выполненных исследований на сплавах АК7 и АК12 первые пробы разделяли горизонтальными резами на 6 равных по высоте частей, которые вертикальным резом разделялись пополам на образцы, примыкающие к питающему узлу и удаленные от питающего узла.

Исследовали три вида обработки расплава: 3-минутное наводороживание влажным асбестом, выдержка 5-6 мин; то же, выдержка 50-60 мин; рафинирование дегазером Т-200 (0,3 %), выдержка 10 мин.

Полученные результаты представлены на рис. 2, а, б. Сравнение рисунков говорит о сходстве характера кривых, соответствующих одному виду обработки расплава, в количественном плане существенная разница наблюдается только при минимальной выдержке после наводороживания (кривые 1, 2), когда из-за высокого темпа изменения газосодержания может сказаться даже очередность заливки проб.

Характерной особенностью пробы № 1 является то, что после удаления торцевой зоны шириной 25 мм плотность оставшихся частей одного уровня по высоте как со стороны питающего узла, так и с противоположной стороны оказалась практически одинаковой, то

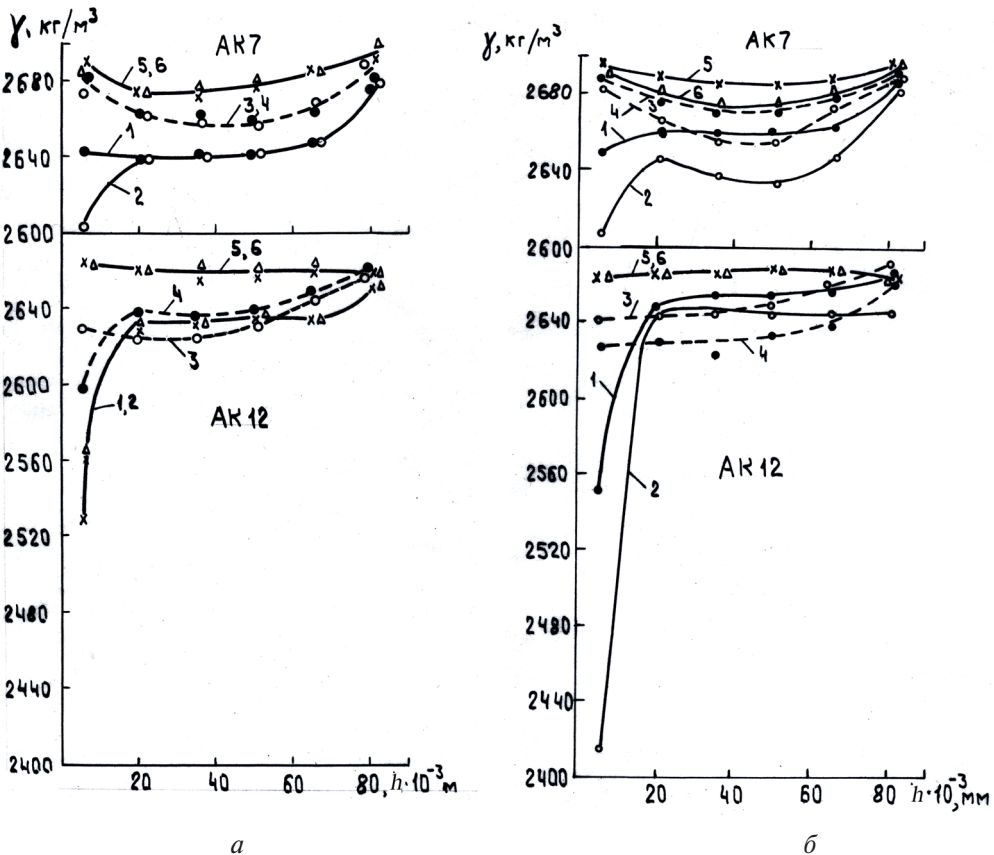


Рис. 2. Распределение плотности по высоте проб № 1 (а) и 2 (б): 1, 3, 5 – со стороны, противоположной питающему узлу; 2, 4, 6 – со стороны питающего узла; 1, 2 – расплав наводороженный, выдержка 5-6 мин; 3, 4 – расплав наводороженный, выдержка 50-60 мин; 5, 6 – расплав, рафинированный дегазером Т-200

есть кривые 1 совместились с кривыми 2, кривые 3 - с кривыми 4, кривые 5 - с кривыми 6. В пробе № 2 такое совмещение имело место только в случае рафинированного сплава АК12. В остальных же случаях плотность образцов со стороны питающего узла была несколько ниже, чем с противоположной стороны, то есть металлическая пластинка толщиной 3 мм формировавшая удаленную от питающего узла стенку пробы, все же создавала небольшой торцевой эффект, однако если усреднить кривые 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, то получим примерно те же кривые, что и на рис. 2, а.

Таким образом, выполненные исследования подтвердили адекватность предлагаемых проб для оценки газосодержания различных сплавов. Причем, для получения нужной информации достаточно вырезать из пробы три пластинки толщиной 10 мм (верхняя, средняя и нижняя) и путем гидростатического взвешивания определить их плотность, а затем и пористость средней и верхней пластинок относительно нижней, пористость которой условно принимается равной нулю. Полученные таким образом данные представлены в табл. 4, из которой видна та же картина, что и на рис. 2.

Таблица 4. Относительная пористость (%) металла на контролируемых участках пробы

Сплав	Вид обработки	Участок пробы					
		верх		середина		низ	
		проба 1	проба 2	проба 1	проба 2	проба 1	проба 2
АК7	наводороженный, выдержка 5-6 мин	2,23	2,16	1,49	1,49	0	0
	наводороженный, выдержка 50 мин	0,22	0,37	1,08	1,15	0	0
	рафинированный дегазером Т-200	0,26	0,11	0,74	0,67	0	0
АК12	наводороженный, выдержка 5-6 мин	4,0	6,48	0,72	0,19	0	0
	наводороженный, выдержка 60 мин	1,69	1,13	0,98	0,94	0	0
	рафинированный дегазером Т-200	0	0,04	0	0	0	0

Для узкоинтервальных сплавов (в данном случае АК12) показательной является пористость верхней пластинки, ее значения практически всегда самые высокие. Для широкоинтервальных сплавов (в данном случае АК 7) максимальная пористость верхней пластинки говорит об очень высоком газосодержании, тогда как при средних и низких газосодержаниях главным показателем становится пористость средней пластинки.

Более простой и менее металлоемкой может оказаться проба, получаемая путем погружения формы в расплав или всасывания, когда роль питающего узла выполняет ванна расплава. Для анализа такой пробы можно воспользоваться методикой и результатами исследований кинетики образования газовых дефектов в работе [11]. Из алюминиевых сплавов доэвтектического (6 % Si) и примерно эвтектического (12 % Si) составов получали образцы диаметром 58 и высотой 86 мм. Степень газонасыщенности жидкого металла регулировали обработкой влажным асбестом в течение 3 мин и последующей выдержкой 5, 30, 60 и 120 мин. Подачу в форму расплава, перегретого на 130-150 °С выше температуры ликвидуса, осуществляли как сверху (обычной заливкой), так и снизу (вакуумным всасыванием). Это позволяло, как и в предыдущих исследованиях, учесть возможность удаления всплывающих пузырьков через открытую верхнюю прибыль и скопления таких пузырьков под затвердевшей сверху корочкой. Неокрашенная металлическая форма состояла из двух частей: толстостенной (20 мм), в которой формировалась опытная отливка, и тонкостенной (1,5 мм) высотой 80 мм, выполняющей роль прибыльной надставки при

заливке сверху, либо носика формы при заливке снизу. Исходная температура формы составляла 25-30 °С.

Для установления характера изменения плотности γ по мере удаления от прибыли h опытные образцы разрезали на пять равных частей, каждую из которых подвергали гидростатическому взвешиванию. Полученные результаты представлены на рис. 3. Кривые 1 отражают уровень и типичный характер распределения плотности в отливках из необработанного сплава, а также из наводороженного сплава после выдержки 60 и 120 мин. Снижение плотности по мере приближения к прибыли объясняется ростом продолжительности затвердевания и соответственно увеличением количества газа, выделившегося из расплава. Направление заливки (сверху или снизу) в этих случаях не влияло на результаты.

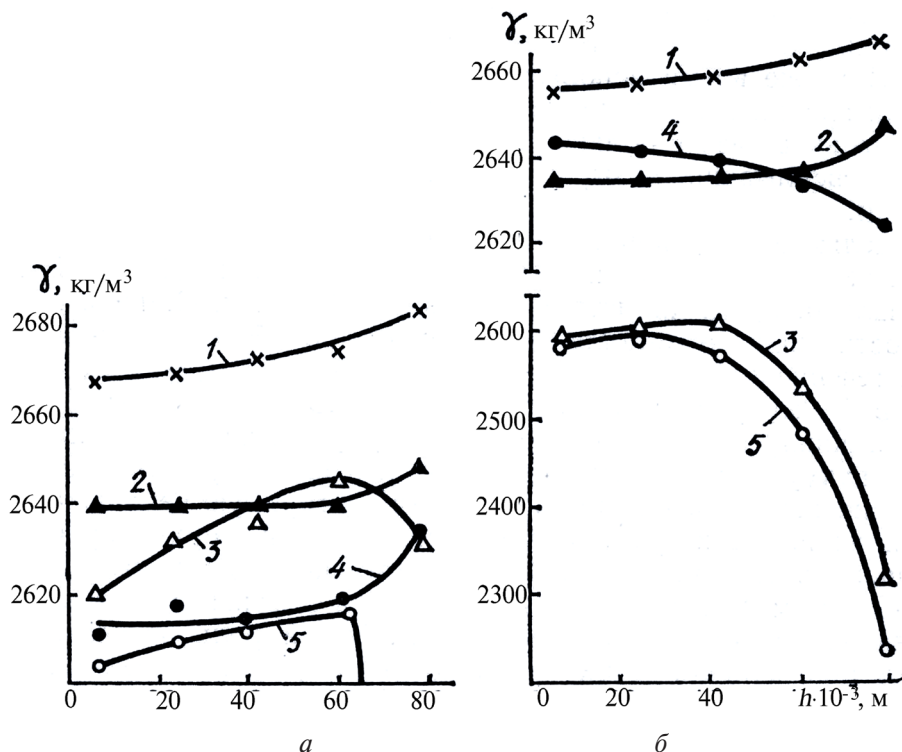


Рис. 3. Распределение плотности по высоте отливки из сплавов Al + 6% Si (а) и Al + 12% Si (б) в зависимости от газонасыщенности расплава и направления заливки

Сокращение выдержки после наводороживания до 30 мин привело к значительному снижению плотности (рис. 3, кривые 2 и 3) и усилению роли направления заливки и типа сплава. Так, плотность эвтектического и доэвтектического сплавов при заливке сверху (кривые 2) уменьшилась соответственно на 0,75 и 1,2 %, а характер ее распределения по высоте образцов остался примерно тем же. При заливке снизу (кривые 3) уровень средней плотности уменьшался более значительно, особенно для сплава с 12 % Si (примерно на 4 %). Изменился и характер кривых: их отличает резкое падение плотности на удаленных от прибыли участках, причем и эта особенность ярче выражена для сплава с 12 % Si. Причиной падения плотности в верхней части образцов, затвердевающей наиболее быстро, может быть только скопление всплывших пузырьков газа.

После 5-минутной выдержки (кривые 4 и 5) в сплаве с 6 % Si высокое газосодержание привело к дальнейшему снижению плотности, однако на значительной части образцов, полученных заливкой сверху (кривая 4) и снизу (кривая 5), разница в плотности незначительная. Лишь самый верхний участок при заливке снизу поражен газом, всплывшим в кратковременной начальной стадии затвердевания до образования сплошного кристаллического каркаса. В сплаве с 12 % Si уровень и разница в плотности между образцами, полученными заливкой сверху и снизу, остались примерно такими же, как и после 30 мин выдержки.

Недостатком рассматриваемой отливки с позиции разрабатываемой пробы является отсутствие в ней удобного для сравнения беспористого или малопористого участка независимо от газосодержания сплава. Этот недостаток устранили с помощью проливаемого в верхней части отливки (диаметром 60 мм и высотой ~70 мм) тонкостенного (6-7 мм) кольца шириной 17 мм с уклоном, обеспечивающим нормальное питание при затвердевании. Форма такой пробы № 3 представлена на рис. 4. Проба формируется, в основном, толстостенной (20 мм) частью корпуса 1 и крышкой 2 такой же толщины. Небольшая выпуклость центральной части крышки улучшает газовый режим формы при заполнении расплавом. Между крышкой и корпусом выполнены венты. Для предупреждения подъема крышки расплавом при заливке вакуумным всасыванием предусмотрено прижимное устройство (на рисунке не показано). Для этого же случая кожух герметично закрывается фланцем 4 через резиновую прокладку 5 (при литье погружением прокладка асбестовая), а штуцер 6 соединяется с вакуумной системой на базе пылесоса, которая отлажена на скорость заливки 4-5 см/с. Расплав АК9 после плановой обработки зачерпывали ковшиком диаметром 140 мм и высотой 45 мм, который устанавливали на асбестовую подкладку. При включенном пылесосе форму опускали носиком в ковшик с расплавом и выдерживали 40-50 с. Расстояние между носиком и дном ковша составляло около 5 мм. В этих условиях конвективные потоки развивались только в объеме полости формы и не оказывали существенного влияния на затвердевание пробы. Если же форму опустить в ванну расплава со значительным перегревом, то, как показывает опыт, в конвекцию включается большая масса расплава

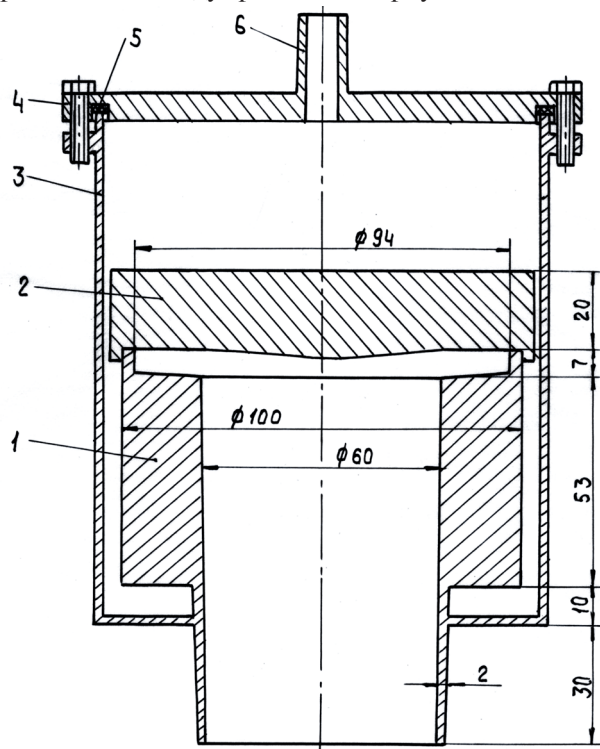


Рис. 4. Форма пробы № 3: 1 - корпус; 2 - крышка; 3 - кожух; 4 - фланец; 5 - резиновая (асбестовая) прокладка; 6 - штуцер

и получение отливки нужного размера может оказаться проблематичным. В таких случаях ниже носика формы на расстоянии 5-7 мм целесообразно устанавливать специальную заслонку. В наших экспериментах таких проблем не было, высота пробы составляла 70-75 мм, а масса - около 650 г. Из пробы вырезали три части: кольцо, верхний диск толщиной 12 мм и такой же толщины диск, удаленный от верха на 35-40 мм (средняя по высоте часть). Параллельно для сравнения отливали пробу № 2.

Исследовали три режима подготовки расплава в печи сопротивления: I - перегрев до температуры 715 ± 5 °С; II - 3-минутное наводороживание влажным азбестом и выдержка 4,0-5,5 мин.; III - выдержка после наводороживания 60 мин.

Полученные данные приведены в табл. 5. Пористость колец в пробах № 3 и нижних пластин в пробах № 2 (как и в табл. 4) условно принята равной нулю, что позволяет сделать оценку газосодержания сплава по одной пробе. Данные обеих проб хорошо согласуются с видом обработки расплава и отражают склонность сплава к формированию всплывающей пористости. Причем, последнее более контрастно отражено пробой № 3 (режимы II и III, верхний участок).

Следует признать, что необходимость порезки и гидростатического взвешивания образцов предлагаемых проб с кристаллизующейся верхней поверхностью снижает их экспрессность. При наличии нужного оборудования и приспособлений продолжитель-

крышки расплавом при заливке вакуумным всасыванием предусмотрено прижимное устройство (на рисунке не показано). Для этого же случая кожух герметично закрывается фланцем 4 через резиновую прокладку 5 (при литье погружением прокладка асбестовая), а штуцер 6 соединяется с вакуумной системой на базе пылесоса, которая отлажена на скорость заливки 4-5 см/с. Расплав АК9 после плановой обработки зачерпывали ковшиком диаметром 140 мм и высотой 45 мм, который устанавливали на асбестовую подкладку. При включенном пылесосе форму опускали носиком в ковшик с расплавом и выдерживали 40-50 с. Расстояние между носиком и дном ковша составляло около 5 мм. В этих условиях конвективные потоки развивались только в объеме полости формы и не оказывали существенного влияния на затвердевание пробы. Если же форму опустить в ванну расплава со значительным перегревом, то, как показывает опыт, в конвекцию включается большая масса расплава

Таблица 5. Распределение плотности (кг/м³, числитель) и пористости (% , знаменатель) по высоте проб из сплава АК9

Режим обработки	Участок пробы					
	верх		середина		низ, кольцо	
	проба 2	проба 3	проба 2	проба 3	проба 2	проба 3
I	$\frac{2715}{0,33}$	$\frac{2721}{0,04}$	$\frac{2724}{0}$	$\frac{2722}{0}$	$\frac{2724}{0}$	$\frac{2722}{0}$
II	$\frac{2601}{4,23}$	$\frac{2406}{11,38}$	$\frac{2683}{1,22}$	$\frac{2688}{0,99}$	$\frac{2716}{0}$	$\frac{2715}{0}$
III	$\frac{2703}{0,77}$	$\frac{2694}{1,03}$	$\frac{2698}{0,85}$	$\frac{2707}{0,55}$	$\frac{2721}{0}$	$\frac{2722}{0}$

ность анализа занимает не менее получаса. Однако есть вариант, сокращающий эту продолжительность примерно на порядок. Он базируется на уже упоминавшейся методике исследования кинетики образования газовых дефектов при атмосферном давлении [11]. Используется та же форма, заполняемая вакуумным всасыванием (рис. 4, можно без проливаемого верхнего кольца). Особенность метода состоит в том, что ковшик с исследуемым расплавом устанавливается на электрические весы. После включения вакуума и опускания носика формы в ковшик с расплавом нужно зафиксировать два веса: в момент окончания заполнения формы и в конце затвердевания отливки. Разница этих весов покажет вес питающего расплава. Разделив этот вес на вес отливки, получим часть усадки, скомпенсированную питающим расплавом, а сравнив эту часть с общей усадкой затвердевания данного сплава, увидим, какая часть усадки оказалась скомпенсированной выделившимся газом, что и является показателем оценки газосодержания расплава.

При продолжительности затвердевания пробы около 1 мин общая продолжительность анализа может уложиться в 3-4 мин. Более того, не обязательно ожидать окончания затвердевания и взвешивать пробу. Зная установленную экспериментальным путем кинетику поступления питающего расплава в затвердевающую пробу из хорошо дегазированного расплава, можно пользоваться промежуточными значениями веса питающей фазы исследуемого расплава, и таким образом сократить продолжительность анализа до 1 мин.

Следует иметь в виду, что показания весов хотя и отражают изменение веса на их тарелке в граммах, тем не менее по отношению к поступающему в форму расплаву они условны и требуют соответствующего пересчета, сводящегося к делению на коэффициент К

$$K = \frac{S_k}{S_k - S_\phi},$$

где S_k - площадь горизонтального сечения полости ковша; S_ϕ - площадь горизонтального сечения погруженной в расплав части формы (носика) по наружному контуру. Суть данного пересчета в том, что при неизменяющейся плотности расплава весы реагируют только на снижение его уровня в ковше, а при переходе одинакового количества расплава из ковша в форму уровень снизится тем больше, чем меньше разница в площадях сечений ковша и формы. В то же время, если в процессе многократных анализов эта разница не меняется, то можно пользоваться и условными показаниями весов без пересчета.

Что касается общей усадки затвердевания, то такие сведения для ряда сплавов имеются в литературе [12-15]. Недостающую информацию можно получить по описанной методике на дегазированных расплавах.

В качестве примера воспользуемся экспериментальными данными, полученными в работе [11] на первичных сплавах Al + 6 % Si и Al + 12 % Si, заливаемых вакуумным всасыванием в формы с рабочей полостью диаметром 58 мм и высотой толстостенной части 86 мм. Температура заливки составляла соответственно 740-750 и 720-740 °С. Эти данные

сведены в табл. 6, из которой видно, что сравнением исследуемого расплава с необработанным или рафинированным уже на 20-й секунде можно получить информацию для оценки газосодержания, но без дифференциации пористости.

Таблица 6. Масса питающего расплава (г), поступившего в затвердевающую отливку

Вид обработки расплава	Сплав					
	Al+6 % Si			Al+12 % Si		
	время после заливки, с					
	20	40	60	20	40	60
Необработанный	35,5	42,5	48	20	28	33,5
Рафинированный	35,5	42,5	48	20	28	35,5
Наводороженный, выдержка 5 мин	18	19	20	-6*	-6	-2
Наводороженный, выдержка 30 мин	27	28,5	29,5	-6	-5	-3
Наводороженный, выдержка 60 мин	28,5	30,5	31,5	7	8,5	9,5
Наводороженный, выдержка 120 мин	28,5	31	33	14,5	20	23,5

* Знак «минус» говорит о том, что под действием выделяющихся газов расплав выдавливается из отливки в ковшик

Таким образом, приведенные в статье данные подтверждают возможность использования существующих технологических проб для оценки газосодержания сплавов, затвердевающих в сравнительно широком температурном интервале, и, главное, образующих сплошной кристаллический каркас вскоре после заливки в форму. Эти же данные отрицают такую возможность по отношению к сплавам, близким по составу к эвтектике. В то же время предлагаемые пробы с кристаллизующейся верхней поверхностью годятся для всех сплавов. При этом можно получить дополнительную информацию о всплывающей и междендритной пористости.

Список литературы

1. Гудченко А. П., Леонтьев А. И. Определение содержания водорода в алюминиевых сплавах методом вакуумной экстракции // Вопросы технологии литейного производства. Труды МАТИ. - 1961. - № 49. - С. 137-159.
2. Гудченко А. П. Исследование рафинирования и дегазации алюминиевых сплавов при фильтрации // Производство отливок из легких сплавов. Труды МАТИ. - 1965. - № 63. - С. 5-22.
3. Иванов В. П., Спаский А. Г. Влияние окислов алюминия на процессы газонасыщения и газовыделения в алюминии и его сплавах // Литейн. пр-во. - 1963. - № 1. - С. 26-28.
4. Чернега Д. Ф., Бялик О. М., Иванчук Д. Ф., Ремизов Г. А. Газы в цветных металлах и сплавах. - М.: Металлургия, 1982. - 176 с.
5. Эйгенфельд К., Клан С., Вексельбергер О. Содержание водорода в алюминиевых сплавах - относительные измерения методом «CHAPEL» и устройством «Alu Speed Tester» // Литейщик России. - 2003. - № 5. - С. 45-49.
6. Отчет по теме НИР 1.6.5.476. Разработка научных основ повышения качества и эффективности производства отливок из алюминиевых сплавов путем водородной обработки расплава и литья под давлением. - Киев: ФТИМС НАНУ, 2004. - 378 с.
7. Котлярский Ф. М., Борисов Г. П., Белик В. И., Вернидуб А. Г., Шеневидько Л. К. Факторы эффективности водородной обработки силуминовых расплавов // Процессы литья. - 2005. - № 2. - С. 61-69.
8. А. с. 1528613 СССР, МКИ⁴ В22Д 18/00, G01 N7/14. Устройство для исследования газовыделения из расплава при вакуумировании / Ф. М. Котлярский, В. И. Белик, Г. П. Борисов, В. С. Гавриш. - Оpubл. 15.12.89, Бюл. № 46.
9. А. с. 1651157 СССР, МКИ⁴ G01 N7/14. Способ определения объема газа, выделившегося из металла / Ф. М. Котлярский, В. И. Белик, Г. П. Борисов, В. С. Гавриш. - Оpubл. 23.05.91, Бюл. № 19.

Получение и обработка расплавов

10. *Котлярский Ф. М., Белик В. И.* Кинетика газовыделения из жидких и кристаллизующихся сплавов в условиях разрежения // Литье с применением давления. - Киев: ИПЛ АН УССР, 1991. - С. 44-52.
11. *Котлярский Ф. М.* Формирование отливок из алюминиевых сплавов. - Киев: Наук. думка, 1990. - 216 с.
12. *Милицын К. Н.* Усадка металлов и сплавов в жидком состоянии и методы ее определения // Усадочные процессы в металлах. - М.: АН СССР, 1960. - С. 65-73.
13. *Милицын К. Н.* Экспериментальное определение объемной усадки в жидком состоянии и при затвердении металлов и сплавов систем алюминий-цинк и алюминий-кремний // Теплофизика в литейном производстве. - Минск: АН БССР, 1963. - С. 319-325.
14. *Дубицкий Г. М., Сафаров Р. Ш.* Исследование объемной усадки алюминиево-кремниевых сплавов // Литейные свойства металлов и сплавов. - М.: Наука, 1967. - С.179-182.
15. *Дэвис В.* Определение области питания отливок методом численного расчета распределения тепла // 40-й Международный конгресс литейщиков. - М.: НИИМАШ, 1975. - Ч. II. - С. 112-139.

Поступила 28.02.2008

ВНИМАНИЕ!

Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу Вашей продукции или рекламный материал о Вашем предприятии. Редакция также может подготовить заказной номер журнала.

Стоимость заказного номера - 4000 грн.

**Расценки на размещение рекламы
(цены приведены в гривнях с учетом налога на рекламу и НДС)**

Размещение	Рекламная площадь	Стоимость, грн.
Рекламные блоки в текстовой части журнала		
Цветные	1/2 страницы	900
	1/3 страницы	600
	1/4 страницы	300
Черно-белые	1/2 страницы	550
	1/3 страницы	380
	1/4 страницы	200
Цветная реклама на обложке		
Третья страница обложки	1 страница	2800
	1/2 страницы	1400
	1/4 страницы	700
Четвертая страница обложки	1 страница	3100
	1/2 страницы	1550
	1/3 страницы	1000

При повторном размещении рекламы - скидка 15 %

Наш адрес: **Украина, 03680, г. Киев-142, пр. Вернадского, 34/1**
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины

Справки

телефон: (044) 424-12-50, 424-03-50

факс: (044) 424-35-15; **E-mail:** proclit@ptima.kiev.ua