

УДК 621.746.6:669.715-41

Ф. М. Котлярский, В. И. Белик, Г. П. Борисов

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ЗАЛИВАЕМЫХ ПРИ НИЗКОМ ПЕРЕГРЕВЕ

Исследовано влияние водорода на пористость, герметичность и механические свойства отливок, получаемых в условиях нормального и недостаточного питания при затвердевании алюминиевых сплавов, заливаемых при низком перегреве.

Ключевые слова: отливки, алюминиевые сплавы, низкий перегрев, водород, пористость, герметичность, механические свойства

Досліджено вплив водню на пористість, герметичність та механічні властивості виливків, одержаних в умовах нормального та недостатнього живлення при твердненні алюмінієвих сплавів, які заливаються при низькому перегріві.

Ключові слова: виливка, алюмінієві сплави, низький перегрів, водень, пористість, герметичність, механічні властивості.

Research results of hydrogen influence on porosity, air-tightness and mechanical properties of castings which received in conditions of normal and under nutrition when solidifying of aluminium alloys with low overheat filling.

Keywords: asting, aluminium alloys, low overheat, hydrogen, porosity, air-tightness, mechanical property.

Многие исследователи и практики уделяли внимание влиянию водорода на формирование и свойства отливок из алюминиевых сплавов, однако обычно речь шла о широко используемых температурах заливки – 700-800 °С. В то же время в связи с развитием сравнительно нового процесса реолитья повысился интерес к низкотеперетым сплавам, которые фактически и используются в указанной технологии. А поскольку водород всегда присутствует в алюминиевых сплавах, причем его влияние на качество и технико-экономические показатели производства отливок в исследованных технологиях бывает как отрицательным, так и положительным, естественно предположить, что в какой-то степени эта роль может проявиться и при низких температурах заливки. Судя по профильным литературным источникам, этот вопрос изучен недостаточно и, как показал ранее накопленный опыт, при его исследовании, прежде всего, следует учитывать условия питания

Затвердевание сплавов

затвердевающей отливки, обращая внимание на пористость, механические свойства и герметичность.

Влияние наводороживания расплава при температуре заливки на газовую пористость нормально питаемой отливки исследовали на технологической пробе (рис. 1) [1], которую получали из расплава АК9, в % (8,9 Si; 0,29 Mg; 0,24 Mn; 0,41 Fe). В первом эксперименте наводороживание осуществляли погружением влажного асбеста на протяжении одной минуты с интенсивным перемешиванием (100 оборотов мешалки в минуту), во втором – на протяжении 2 мин без перемешивания, в третьем – без обработки. Выдержка после наводороживания составляла 3 мин, температура заливки после первого вида обработки – 730 и 605 °С (ликвидус), после второго – 610, без обработки – 730 °С.

Полученные данные представлены на рис. 2, а. Как видно, снижение температуры наводороживания с интенсивным перемешиванием и заливки от 730 °С (кривая 2) до ликвидуса (кривая 4) полностью устраняет скопление всплывающей пористости

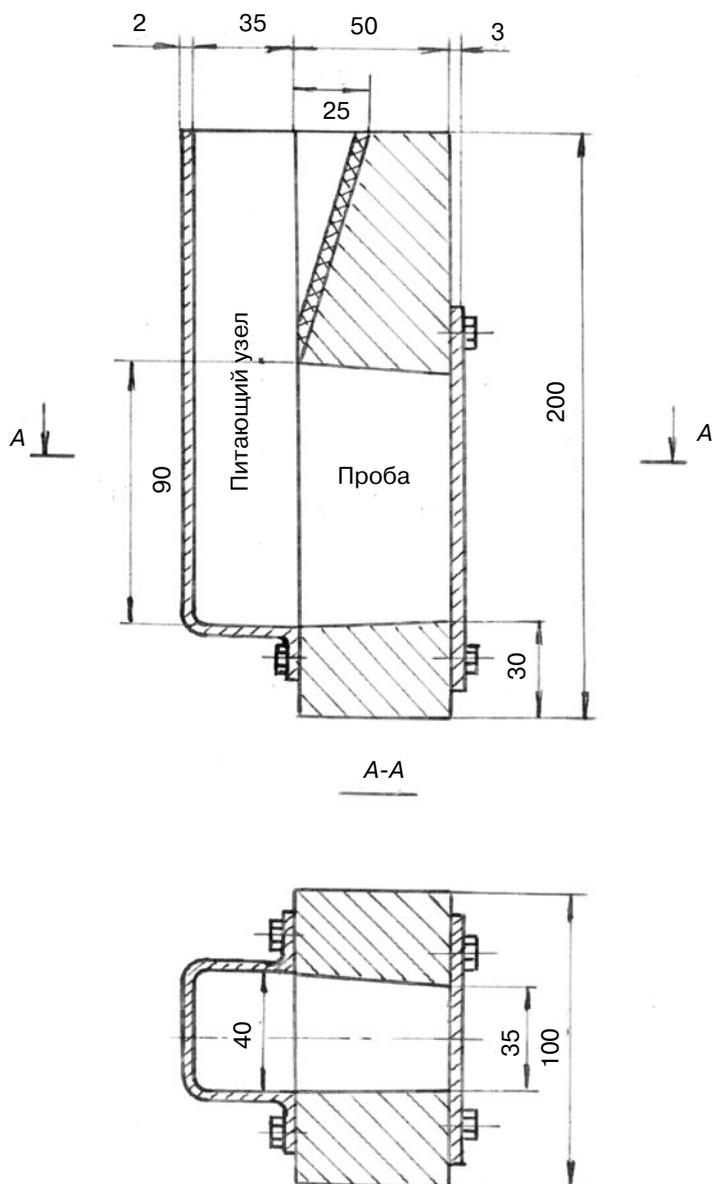


Рис. 1. Металлическая форма технологической пробы

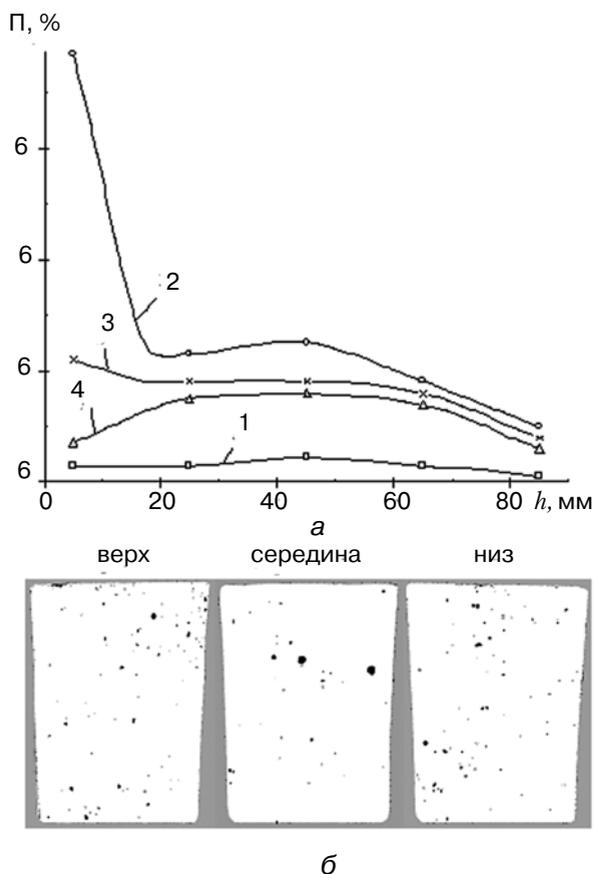


Рис. 2. Влияние перегрева расплава марки АК9 на величину и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца) (а) и сечения технологической пробы (б), полученной после обработки расплава влажным асбестовым тампоном 2 мин при 615–610 °С, заливка при 607–605 °С: 1 – до обработки, температура расплава (T_p) 730 °С; 2 – обработка влажным асбестом с интенсивным перемешиванием (1000 об/мин), выдержка 3 мин, $T_p = 730$ °С; 3 – обработка влажным асбестом 2 мин, выдержка 3 мин, $T_p = 610$ °С; 4 – обработка влажным асбестом с интенсивным перемешиванием (1000 об/мин) 1 мин, выдержка 3 мин, $T_p = T_{лик}$ (605 °С)

температуре 775 ± 5 °С подвергали 3-минутной обработке влажным асбестом и выдержке 4 и 30 мин. Во второй серии экспериментов делали то же самое, но перед заливкой расплав за 25 с охлаждали (переливом в промежуточный ковшик) до температуры 635 ± 5 °С. Полученные результаты приведены на рис. 3. Увеличение выдержки наводороженного расплава от 4 (рис. 3, кривая 1) до 30 мин (рис. 3, кривая 2) привело к резкому сокращению всплывающей пористости (верх отливки) при незначительных изменениях стационарной междендритной (средняя часть). Но практически такой же результат получается без увеличения выдержки, если перед заливкой в форму расплав быстро охладить на 140 °С (рис. 3, кривая 3). При этом наблюдается даже некоторый рост пористости в средней и нижней частях. Операция быстрого охлаждения наводороженного расплава после выдержки 30 мин (рис. 3, кривая 4) не дала дополнительного эффекта (верхняя и средняя части занимают примерно одинаковые положения).

в верхней части отливки, сохраняя на довольно высоком уровне (около 2 %) междендритную, которую можно использовать для компенсации усадки затвердевания. В то же время даже при незначительном перегреве до 610 °С и обычной обработке расплава погружением влажного асбестового тампона начинает фиксироваться всплывающая пористость (кривая 3). Кривая 1 свидетельствует о низком газосодержании исходного расплава. На макрошлифах пробы (рис. 2, б), полученной после обработки расплава влажным асбестовым тампоном при 615–610 °С и залитой при 607–605 °С, визуально наблюдаемая пористость представлена, в основном, редко и неравномерно рассеянными порами размерами 0,3–1,0 мм.

Таким образом, если при наводороживании расплава АК9, перегретого до 740–750 °С, для устранения вредной всплывающей пористости требуется выдержка от 36 до 80 мин [1], то после снятия перегрева такой же эффект достигается при самой короткой 3-минутной выдержке, не уступая при этом в объеме полезной междендритной пористости.

Влияние пористость нормально питаемой отливки быстрого охлаждения расплава от температуры наводороживания до температуры заливки исследовали на сплаве АК9, близком по составу к предыдущему. В первой серии экспериментов расплав при

Затвердевание сплавов

В следующем эксперименте с тем же сплавом после охлаждения расплава перед заливкой сделали промежуточную выдержку с целью дополнительного уменьшения всплывающей пористости. Для получения сравнительных данных из металла одной плавки повторили предыдущий эксперимент с охлаждением расплава перед заливкой. После 3-минутного наводороживания и 4 мин выдержки при 775 °С расплав охладили за 40 с до 610 °С (рис. 4, кривая 1), а затем то же самое сделали через 30 мин после водородной обработки (рис. 4, кривая 2). Как видно, эти данные удовлетворительно согласуются с соответствующими данными рис. 3 (кривые 3 и 4). Следующую серию заливок проводили по тем же режимам, но с дополнительной выдержкой 7 мин после операции охлаждения перед заливкой (рис. 4, кривые 3 и 4). В обоих случаях действительно происходило дальнейшее опережающее снижение всплывающей пористости (значения верхней части опустились ниже средней), однако и значения рассредоточенной стационарной пористости (средняя часть) уменьшились существенно. Такой результат следует считать неудовлетворительным, а выдержку после охлаждения перед заливкой – нецелесообразной.

Следует отметить, что опускание пористости верхней части пробы ниже средней отмечалось в ряде случаев и при отсутствии выдержки после охлаждения расплава

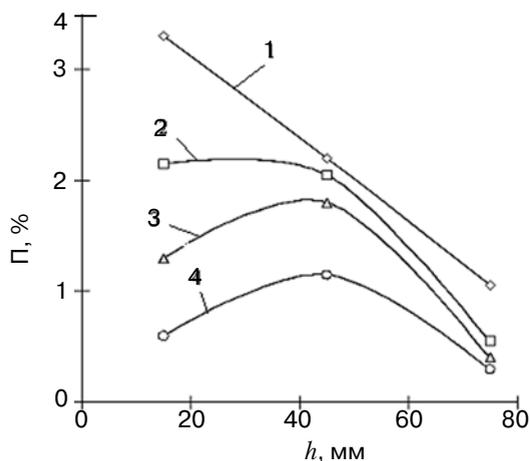


Рис. 4. Распределение пористости по высоте отливки из наводороженного (3 мин влажным асбестом) сплава марки АК12 в зависимости от режимов обработки расплава: 1 – выдержка 4 мин, охлаждение с 775 до 610 °С за 40 с; 2 – то же при выдержке 30 мин; 3 – первая выдержка 4 мин, охлаждение с 775 до 610 °С за 40 с, вторая выдержка 7 мин; 4 – то же при первой выдержке 30 мин

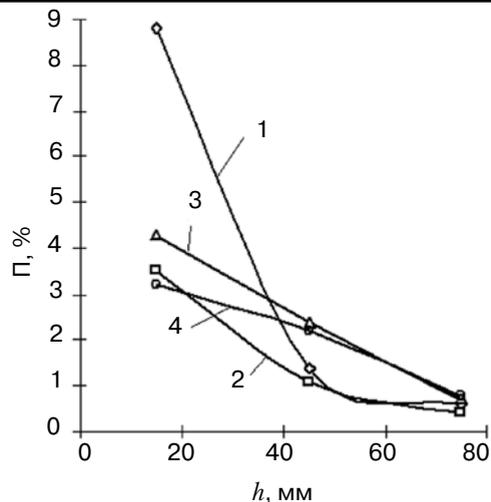


Рис. 3. Распределение пористости по высоте отливки (h – расстояние от верхнего торца) из наводороженного (3 мин влажным асбестом при температуре расплава 775 °С) сплава АК9 в зависимости от режимов обработки расплава: 1 – выдержка 4 мин; 2 – выдержка 30 мин; 3 – выдержка 4 мин, охлаждение до 635 ± 5 °С за 25 с; 4 – то же при выдержке 30 мин

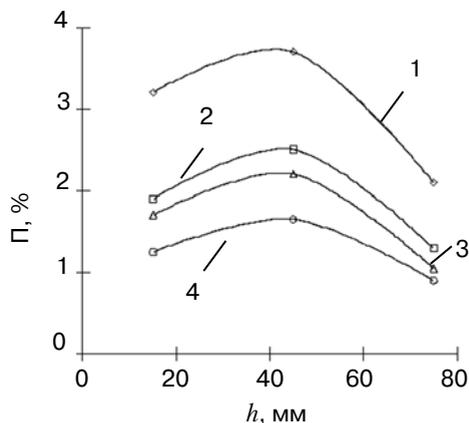


Рис. 5. Распределение пористости по высоте отливки из наводороженных (3 мин влажным асбестом) сплавов АК7М (1, 2) и АК9 (3, 4) в зависимости от режимов обработки расплава: 1 – выдержка 3 мин, охлаждение с 730 до 640 °С за 2 мин; 2 – выдержка 20 мин, охлаждение с 750 до 640 °С за 20 с; 3 – выдержка 21 мин, охлаждение с 735 до 615 °С за 25 с; 4 – выдержка 38 мин, охлаждение с 740 до 615 °С за 5 мин

Затвердевание сплавов

перед заливкой (рис. 5). При этом для сплава марки АК7М (рис. 5, кривые 1 и 2) значения рассредоточенной междендритной пористости приобретают столь большие значения (2,5-3,5%), достичь которые другими способами не удавалось. Для сплава марки АК9 (рис. 5, кривые 3 и 4) удовлетворительными можно считать результаты, получаемые при выдержке после наводороживания до 20 мин и быстром охлаждении перед заливкой. Более продолжительные выдержки пористость верхней части приближают к нижней (рис. 5, кривая 4, верх и низ). Однако и рассредоточенная междендритная пористость отливки опускается до 1,5% и ниже (средняя часть), то есть начинается переход к рафинированию вымораживанием.

Влияние на пористость нормально питаемой отливки медленного охлаждения расплава от температуры наводороживания до температуры заливки непосредственно в тигле плавильной печи исследовали на сплавах АК12 и АК7. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Пористость верха и низа пробы после наводороживания и медленного охлаждения

Сплав	Начальная температура, °С	Время охлаждения, мин	Конечная температура, °С	Пористость, %	
				верх	низ
АК12	730±5	42	735	4,4	0,2
			615	0,6	0,3
АК7	730±5	50	735	0,7	0,3
			640	1,0	0,6

Для сравнения приведены также значения пористости при той же выдержке, но без изменения температуры. Как видно, для сплава АК12 после снижения температуры от 735 до 615 °С на протяжении 42 мин пористость нижней части отливки осталась практически на уровне значений, полученных без охлаждения, зато пористость верхней части резко снизилась, то есть вместе с перегревом ушла всплывающая пористость. О сплаве АК7 этого сказать нельзя, так как после снижения температуры от 735 до 640 °С за 50 мин произошло повышение пористости как на нижнем, так и верхнем участках отливки.

Влияние водорода на свойства отливок из вторичного сплава АК9 с низкой интенсивностью затвердевания в зависимости от температуры заливки исследовали

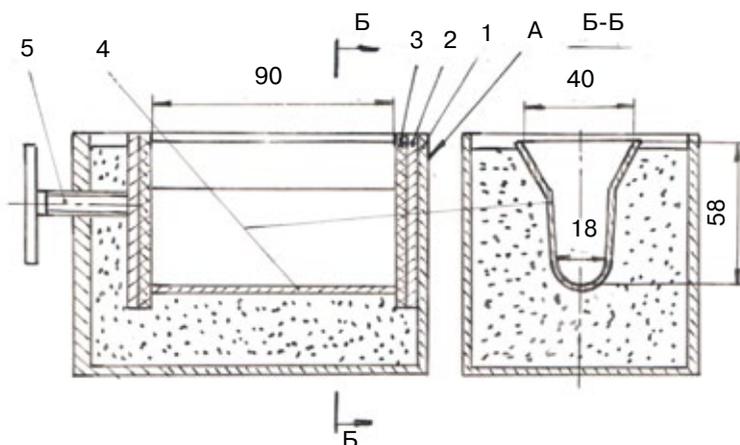


Рис. 6. Комбинированная форма для изучения свойств сплавов при низкой интенсивности затвердевания: 1 – металлический коробок; 2 – металлическая пластина; 3 – листовой асбест; 4 – стальная профильная оболочка; 5 – прижимной винт

в работе [2]. Литые заготовки получали в комбинированной форме (рис. 6) с интенсивностью затвердевания на уровне песчаной формы.

Полученные данные представлены на рис. 7. Судя по этим данным, наводороживание слабоперегретого расплава повышает пористость примерно в 2,5 раза по сравнению с необработанным и удерживает это значение (~2 %) при выдержке после обработки более 2,5 ч (рис. 7, а, кривая 1). После аналогичной операции с тем же расплавом при 710 °С пористость также повышается в 2,5-3,0 раза по сравнению с необработанным при малых выдержках, однако после 40 мин она начинает практически линейно снижаться и при выдержке 160 мин уравнивается с пористостью слабоперегретого расплава (рис. 7, а, кривая 2).

Дополнение наводороживания модифицированием стронцием слабоперегретого расплава (620 °С) отличается от немодифицированного, в основном, только существенным повышением пористости литого металла при малых выдержках (рис. 7, а, кривая 4), а по отношению к расплаву с повышенным перегревом (745 °С) – более низким расположением кривой 3 по сравнению с кривой 2. Интересно, что после выдержки 160 мин кривые пористости 3 и 4 приходят в точку пересечения кривых 1 и 2.

Переходя к механическим свойствам, следует отметить, что характер кривых изменения прочности (рис. 7, б) и пластичности (рис. 7, в) не просто логически увязать с характером кривых изменения пористости (рис. 7, а). Разве что кривые пластичности 1, 4 на рис. 7, в имеют тенденцию к росту в направлении снижения пористости. Расположение остальных кривых близко к горизонтальному, то есть не зависит от выдержки и тех факторов, на которые она влияет, включая пористость. Однако есть соответствие по уровню расположения. Кривые 1, 4 на рис. 7, б и в, отражающие полученный из слабоперегретого расплава металл с меньшей пористостью, четко поднялись на уровень соответствия ГОСТа 2685-75, согласно которому для сплава АЛ4 без термообработки $\sigma_B = 147$ МПа, $\delta = 2$ % [3, с. 174]. Причем, роль модифицирования практически не проявляется. И хотя литой металл после обработки расплава потерял ~8 % прочности, зато приобрел значительную газовую пористость (особенно наводороженный и модифицированный после малой выдержки – 3,5 %), которая может быть эффективно использована для компенсации усадки затвердевания фасонных и крупногабаритных отливок, формирующихся в условиях недостаточного питания. Расплав с повышенным перегревом (кривые 2, 3) дал металл с показателями несколько ниже гостовских.

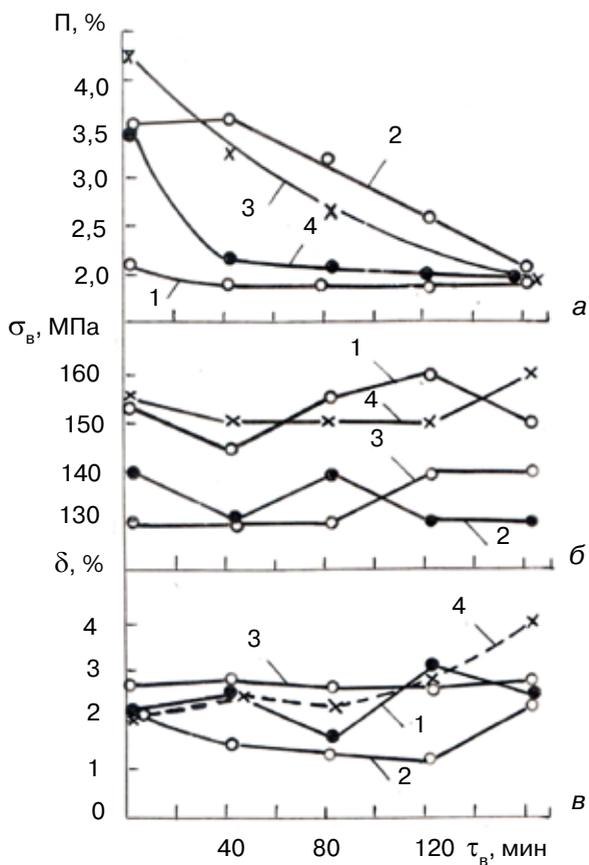


Рис. 7. Влияние выдержки (τ_B) после обработки расплава на пористость (а), прочность (б) и пластичность (в) вторичного сплава марки АК9 в зависимости от видов обработки: 1 – наводороживание влажным асбестом 2 мин при температуре 615 °С; 2 – то же при температуре 710±5 °С; 3 – наводороживание + модифицирование стронцием (0,07 %) при температуре 745±10 °С; 4 – наводороживание переплава после эксперимента 3 при температуре 620-625 °С

Затвердевание сплавов

Влияние водорода на пористость и герметичность недостаточно питаемых бесприбыльных отливок с низкой интенсивностью затвердевания в зависимости от температуры заливки исследовали на опытной отливке в виде цилиндра диаметром 50 мм и высотой 200 мм, который получали из сплава АК9 в чугунном кокиле с толщиной стенки 2 мм в сухой песчаной засыпке и с теплоизоляцией торцов – снизу асбест толщиной 8 мм, сверху минеральная вата. Расплав наводороживали погружением влажного асбестового тампона в течение 2 мин, после чего выдерживали 5 мин. Для получения сравнительных данных температуру заливки варьировали в пределах 615-710 °С. С целью проверки на герметичность отливку разрезали на диски толщиной 12 мм, из которых вырезали стаканчик с внутренним диаметром 36 мм и стачиваемой толщиной днища от 10 до 2 мм. С помощью специального устройства [4] такие стаканчики продували в воде сжатым воздухом под давлением 0,5 МПа. Перед изготовлением стаканчиков диски подвергали гидростатическому взвешиванию для определения плотности и пористости.

Полученные результаты представлены на рис. 8-10. Наиболее высокие показатели герметичности оказались у отливки с минимальной температурой заливки 615 °С (рис. 8). Большая часть стаканчиков выдержала проверку при толщине доннышка 2 мм, остальные оказались герметичными при толщинах до 4 мм. Наихудшие результаты показала отливка с максимальной температурой заливки 710 °С (рис. 10), половина которой имела практически сквозную негерметичность (5 стаканчиков не выдержали первой проверки). У отливки, залитой при температуре 625 °С, в средней по высоте части толщина герметичных доннышек остановилась на 10 мм, а по краям уменьшилась до 2-4 мм (рис. 9). В то же время следует отметить близкий характер распределения пористости у всех трех отливок. Во всяком случае, величина пористости на наиболее опасном среднем участке (в плане герметичности) была практически одинаковой. Главным фактором оказался размер пор, который

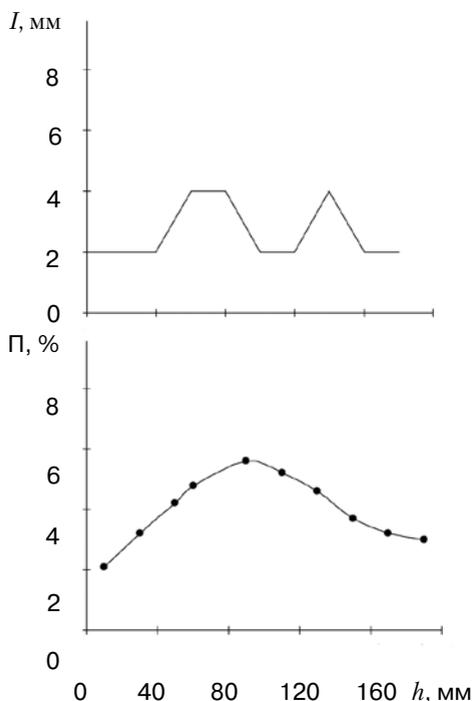


Рис. 8. Распределение пористости (П) и герметичности (I – минимальная толщина герметичного образца) по высоте отливки (h – расстояние от нижнего торца отливки) при температуре заливки 615 °С

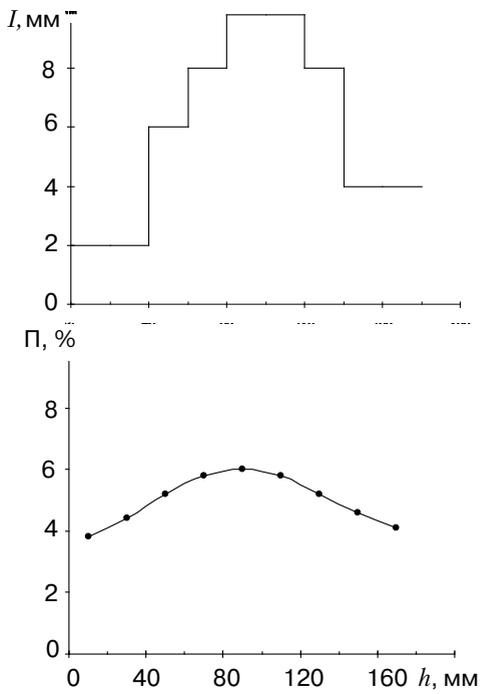


Рис. 9. Распределение пористости (П) и герметичности (I – минимальная толщина герметичного образца) по высоте отливки (h – расстояние от нижнего торца отливки) при температуре заливки 625 °С

с повышением температуры заливки ухудшился, то есть протяженность пор в осевом направлении увеличивалась, что могло быть связано со структурой.

Влияние водорода на характер газоусадочных дефектов и герметичность недостаточно питаемых прибылью металлоемких узлов отливок из малоперегретых алюминиевых сплавов исследовали на технологической пробе, хорошо зарекомендовавшей себя в предыдущих исследованиях [4, 5], в которой отливка диаметром 90 мм сообщалась с прибылью диаметром 95 мм питателем диаметром 32 мм. Металл в центральной части прибыли до окончания затвердевания питателя оставался в жидкоподвижном состоянии. Пробу получали заливкой в кокиль с исходной температурой 25-30 °С.

Пористость определяли по плотности отливок, полученной гидростатическим взвешиванием, относительно специально отлитых в массивный кокиль образцов с нормальным питанием при затвердевании.

Относительный объем утяжины, образующейся на нижней плоской поверхности отливки, определяли путем засыпки песком с известным объемным весом.

Для определения герметичности из отливки вырезали пластину толщиной 12 мм, одна поверхность которой совпадала с осевым сечением. С обратной стороны делали проточку диаметром 40 мм и глубиной 2 мм. Пластины зажимали в специальном устройстве и продували в воде сжатым воздухом 0,5 МПа. При отсутствии течи проточка углублялась на 2 мм, так повторялось до выявления течи.

Плавку сплава АК7 проводили в чугунном тигле печи сопротивления. Начальная масса расплава составляет 15 кг. Для сравнения наводороживание и заливку осуществляли как при низком перегреве (620-640 °С), так и обычном (720-740 °С) со сходными выдержками после наводороживания, которое осуществляли путем погружения в расплав колокольчика с влажным асбестом на 3 мин. Параметры литья и показатели качества отливок приведены в табл. 2, а макрошлифы осевых сечений отливок показаны на рис. 11.

Как видно из таблицы, снижение температуры наводороживания и заливки до 620-640 °С уменьшило пористость отливок почти в 2 раза по сравнению с наводороживанием и заливкой при температуре 720-740 °С, что связано со снижением растворимости. Увеличение выдержки от 3,0-3,5 до 15,0-16,5 мин существенно сказалось на пористости только при большем перегреве. Незначительный объем утяжин (0,15 %) зафиксирован также при большем перегреве. Проверку на герметичность выдержали отливки из низкоперегретого расплава при толщине пластины 10 мм. Образцы из высокоперегретого расплава такой проверки не прошли. Таким образом, низкоперегретый расплав АК7 обеспечивает некоторое улучшение качества отливок в условиях недостаточного питания при затвердевании, однако, судя по макрошлифам, уступает высокому перегреву по равномерности пористости, особенно в случае увеличения выдержки (образцы 2, 4): на поле мелких пор

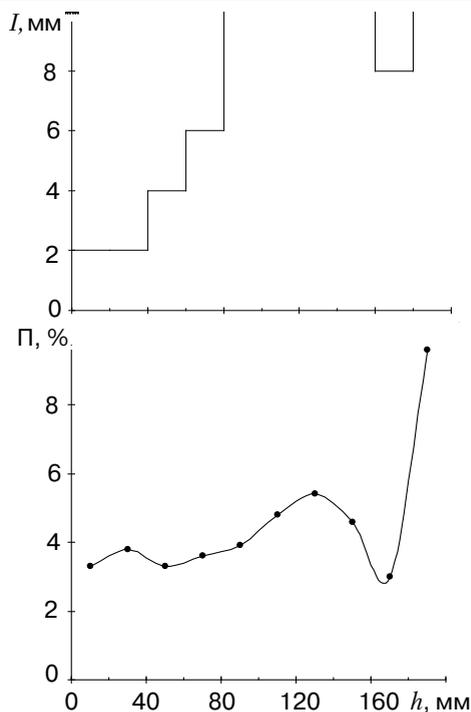


Рис. 10. Распределение пористости (П) и герметичности (I – минимальная толщина герметичного образца) по высоте отливки (h – расстояние от нижнего торца отливки) при температуре заливки 710 °С

Затвердевание сплавов

Таблица 2. Параметры литья и показатели качества отливок

Параметры и показатели	Номер отливки			
	1	2	3	4
Температура наводороживания и заливки, °С	620-640	620-640	720-740	720-740
Длительность выдержки после наводороживания, мин	3,5	16,5	3	15
Пористость отливки, %	2,37	2,34	4,22	3,35
Относительный объем утяжины, %	0	0	0,15	0,15
Минимальная толщина герметичной пластины, мм	10	10	>10	>10

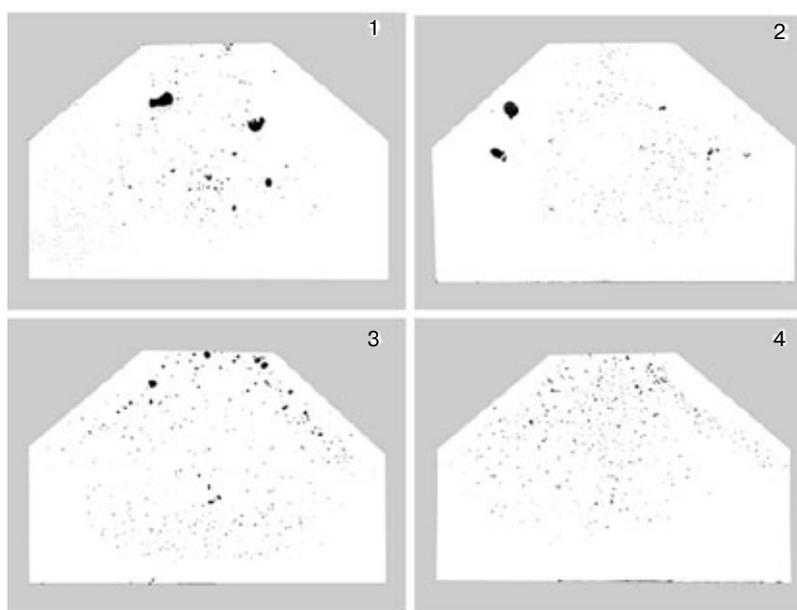


Рис. 11. Влияние температуры наводороживания и заливки расплава АК7 на характер газосадочных дефектов в недостаточно питаемых прибылью металлоемких узлах отливок

присутствуют несколько крупных раковин размером до 3-4 мм. В то же время при низком перегреве исчезает всплывающая в верхнюю часть отливки пористость, образующаяся, обычно, при малой выдержке (образцы 1, 2).

В следующей серии исследований сплава АК7 расплав наводороживали при температуре 740 °С, после выдержки 22 мин охладили в толстостенном ковше за 23 с до 640 °С, после чего получили отливку 5 (рис. 12). В другом эксперименте выдержку сократили до 6 мин, а время охлаждения в том же интервале увеличили до 2 мин 15 с, для чего использовали тонкостенный разливочный ковшик. Так была получена отливка 6. Для заливки пробы 7 газонасыщенный при температуре 740 °С расплав охлаждали в тигле выключенной печи 50 мин. Для сравнения из расплава с температурой 640 °С без обработки получили отливку 8. Технологические параметры литья и показатели качества отливок приведены в табл. 3. Как видно, величина пористости зависит как от выдержки, так и скорости охлаждения. При получении 5-й отливки расплав выдерживали почти в 4 раза дольше, чем при получении 6-й, зато время охлаждения было в 6 раз короче, а в итоге разница в пористости незначительная. При увеличении времени охлаждения до 50 мин (без выдержки)

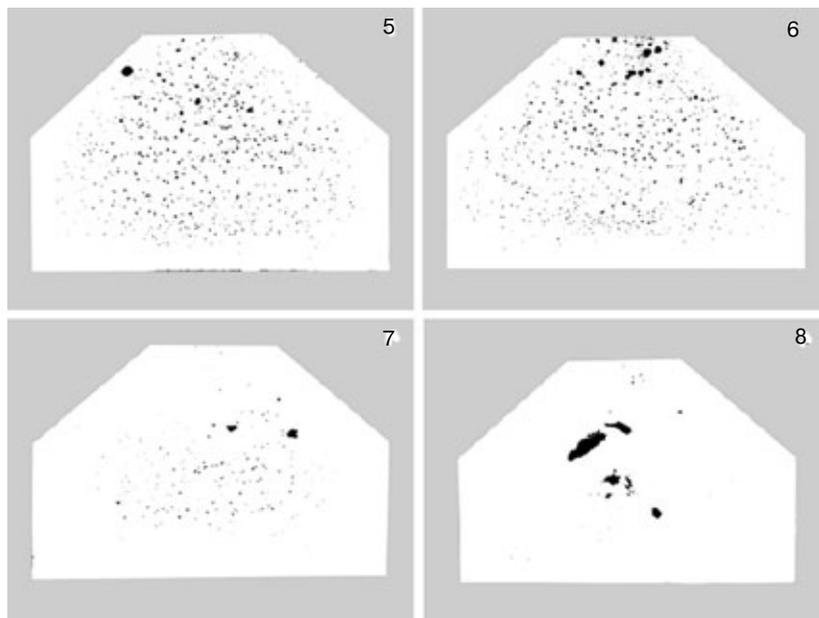


Рис. 12. Влияние интенсивности охлаждения расплава АК7 от температуры наводороживания до температуры заливки на характер газоусадочных дефектов в недостаточно питаемых прибылью металлоемких узлах отливки

Таблица 3. Параметры литья и показатели качества отливок

Параметры и показатели	Номер отливки			
	5	6	7	8
Температура наводороживания, °С	740	740	740	-
Длительность выдержки, мин	22	6	-	-
Время охлаждения, мин	0,38	2,25	50	-
Температура заливки, °С	640	640	640	640
Пористость отливки, %	3,2	3,41	1,95	1,98
Относительный объем утяжины, %	0,07	0,07	0,07	0
Минимальная толщина герметичной пластины, мм	10	>10	>10	>10

пористость 7-й отливки оказалась на уровне 8-й, полученной без наводороживания и залитой при температуре 640 °С.

Что касается всплывающей пористости, то для ее устранения действенными факторами оказались как быстрое охлаждение, так и медленное (отливки 5 и 7). При быстром охлаждении создается большое пересыщение водорода в расплаве и удаляются твердые неметаллические включения, являющиеся потенциальными зародышами всплывающих пузырьков, а при медленном происходит удаление значительной части водорода. Скопление пор в верхней части отливки 6 говорит о том, что при выдержке 22 мин скорость охлаждения (2 мин 15 с) была недостаточной. Интересным представляется сравнение макрошлифов 7 и 8. При равной пористости (около 2 %) газоусадочные дефекты существенно отличаются: в отливке 7 они более газовые, а в отливке 8 – более усадочные. По-видимому, играет роль разница в количестве твердых неметаллических включений (ТНМВ), участвующих в образова-

Затвердевание сплавов

нии газовых пузырьков. Согласно несимметричному закону распределения ТНМВ [6], максимальное количество включений в обычных расплавах примерно среднего размера. Очень больших и очень малых включений намного меньше (в пределе их количество сводится к единицам). Следовательно, в отливках из необработанного расплава после прекращения питания под действием усадочного разрежения и при небольшом количестве водорода образовывались поры (разрывы) на нескольких крупных включениях, что и отражено на макрошлифе 8. Что же касается шлифа 7, то в процессе наводороживания расплава произошло водородное рафинирование с удалением наиболее крупных включений. А поскольку размеры удаляемых включений определяются степенью водородного пересыщения расплава, то среди оставшихся ТНМВ количество наиболее крупных примерно одного размера оказалось намного больше, чем в необработанном расплаве, поэтому количество пор в отливке 7 также оказалось больше, но меньшего размера.

Утяжины на всех отливках практически отсутствовали, а проверку на герметичность прошла только отливка 5 при толщине пластины 10 мм, то есть фактор быстрого охлаждения оказался наиболее эффективным.

Аналогичные исследования влияния интенсивности охлаждения расплава от температуры наводороживания до температуры заливки выполнены на сплаве АК12. Параметры литья и показатели качества отливок представлены в табл. 4, а макрошлифы показаны на рис. 13. Расплав наводороживали по обычной методике при температуре 720-740 °С. При получении верхнего ряда отливок на рис. 13 длительность выдержки изменяли от 3,5 (отливка 9) до 29 мин (отливка 10), после чего производили заливку при той же температуре. При получении среднего ряда отливок выдержку изменяли от 9 (отливка 11) до 24 мин (отливка 12), затем расплав охлаждали до температуры заливки 615 °С с помощью специальных ковшиков на протяжении 0,4 (отливка 11) и 3,67 мин (отливка 12). Для получения нижнего ряда отливок наводороженный расплав охлаждали в тигле плавильной печи на протяжении 42 (отливка 13) и 62 мин (отливка 14) до температур заливки соответственно 610 и 600 °С.

Таблица 4. Параметры литья и показатели качества отливок

Параметры и показатели	Номер отливки					
	9	10	11	12	13	14
Температура наводороживания, °С	720-740	720-740	720-740	720-740	720-740	720-740
Длительность выдержки, мин	3,5	29	9	24	42	62
Время охлаждения, мин	-	-	0,4	3,67	42	62
Температура заливки, °С	720-740	720-740	615	615	610	600
Пористость отливки, %	3,88	2,69	2,66	2,68	1,97	1,79
Относительный объем утяжины, %	0,39	0,44	0,23	0,27	0,16	0,21
Минимальная толщина герметичной пластины, мм	4	>10	10	>10	4	10

В результате (как видно из таблицы) пористость отливки 9 получилась максимальной (3,88 %), чего и следовало ожидать при короткой выдержке 3,5 мин. А вот пористость отливок 10-12 с существенно отличающимися параметрами литья оказалась практически одинаковой (2,66-2,69 %): в первом случае за счет выдержки 29 мин, во втором – за счет сочетания более короткой выдержки 9 мин и наиболее быстрого охлаждения за 0,4 мин, а в третьем – за счет выдержки 24 мин и охлаждения за 3,67 мин. Тем не менее, судя по рис. 13, предпочтительней выглядит отливка 11 с наиболее мелкими порами. Только эта отливка выдержала и проверку на герметичность при толщине пластины 10 мм. Пористость отливок нижнего ряда минимальная (1,79-1,97 %) из-за снижения содержания водорода в процессе длительной выдержки

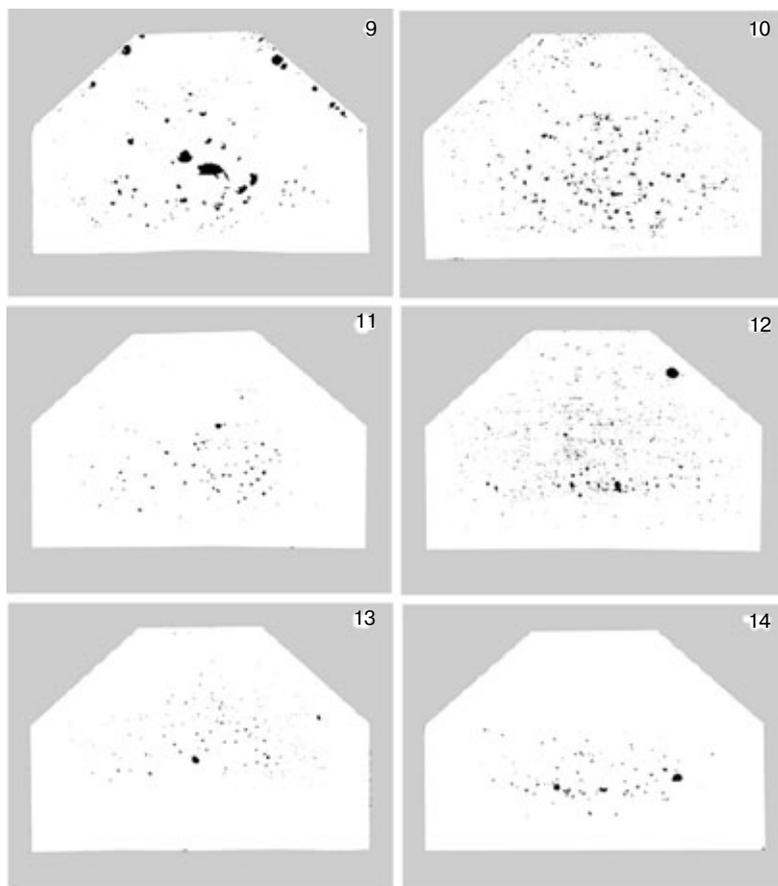


Рис. 13. Влияние интенсивности охлаждения расплава АК12 от температуры наводороживания до температуры заливки на характер газоусадочных дефектов в недостаточно питаемых прибылью металлических узлах отливки

в тигле плавильной печи, однако именно эта пара отливок, полученных при самой низкой температуре заливки, показала наилучшую герметичность при толщине пластин 4 и 10 мм и наименьший объем утяжин (0,16-0,21 %). Отливка 9 также показала герметичность при толщине пластины 4 мм, что говорит об обособленности ее пор, однако по виду некоторые из пор, как в центре отливки, так и ее верхней части быстрее являются раковинами, что явно ухудшает качество литого металла в плане других свойств, например, механических и обрабатываемости. Да и объем утяжин в этой отливке один из наибольших (0,39 %). Непривычный факт наличия максимальных утяжин в отливках 9, 10 с максимальной пористостью и минимальных в отливках 13, 14 с минимальной пористостью можно объяснить тем, что в первом случае сработало водородное рафинирование [1], а во втором – намораживание более прочной корки к моменту прекращения питания и возможность попадания в расплав или образования за счет коагуляции крупных неметаллических включений за время длительного выстаивания в тигле плавильной печи.

Таким образом, в целом по исследованным показателям качества следует назвать лучшими отливки 11, 13 и 14, полученные из расплава, наводороженного при обычном перегреве, но охлажденного до низких температур с большой и малой скоростью.

Выводы

- В связи с развитием и продолжающимся изучением сравнительно нового технологического процесса реолитья экспериментально исследовано с использованием разработанных в ФТИМС НАНУ технологических проб влияние водорода на формирование и свойства отливок из алюминиевых сплавов, заливаемых с низким перегревом.

Затвердевание сплавов

• На примере доэвтектических (АК7М) и эвтектических (АК9, АК12) силуминов показано, что снятие перегрева как до, так и после наводороживания устраняет недопустимые скопления всплывающей пористости в верхней части отливки, сохраняя на довольно высоком уровне междендритную газовую пористость (до 3,5 %), которую можно полезно использовать для компенсации усадки затвердевания. Лучшие результаты достигаются при быстром снятии перегрева после наводороживания.

• При свойственной для реолитья низкой интенсивности затвердевания отливки из наводороженного малоперегретого расплава (АК9) механические свойства литого металла (прочность, пластичность) соответствуют ГОСТу 2685-75 и превосходят аналогичные показатели, полученные при обычных температурах заливки (700–750 °С). Роль модифицирования стронцием практически не проявляется.

• В условиях недостаточного питания и низкой интенсивности затвердевания бесприбыльных отливок из наводороженного сплава АК9 наиболее высокие показатели герметичности оказались при температуре заливки 615 °С. Проверку выдержали образцы толщиной 2–4 мм. С повышением перегрева результаты ухудшались и при температуре заливки 710 °С половина цилиндрической отливки диаметром 50 мм и высотой до 200 мм имела сквозную негерметичность.

• В условиях интенсивного затвердевания непропитываемых металлоемких узлов из сплава АК7 снижение температуры наводороживания и заливки от 720–740 до 620–640 °С уменьшило пористость почти в 2 раза, что связано со снижением растворимости. Проверку на герметичность выдержали только отливки из низкоперегретого расплава при толщине вырезаемой пластины 10 мм. Низкий перегрев устраняет всплывающую в верхнюю часть отливки пористость, но уступает повышенному перегреву в равномерности пор – появляются раковины размером до 3–4 мм.

• В условиях интенсивного затвердевания непропитываемых металлоемких узлов из сплава АК12 наилучшие показатели по герметичности и утяжке были у отливок, полученных из расплава, наводороженного при повышенном перегреве (720–740 °С), но охлажденного до низких температур заливки (600–615 °С) с большой (0,4 мин) и малой скоростями (42–62 мин). Зафиксирован непривычный факт наличия максимальных утяжин в отливках с максимальной пористостью при высоких температурах наводороживания и заливки, также минимальных утяжин в отливках с минимальной пористостью при охлаждении расплава, наводороженного при 720–740, до температуры заливки 600–610 °С. Объяснить это можно тем, что в первом случае сработало водородное рафинирование, а во втором – намораживание более прочной корки к моменту прекращения питания и возможность попадания в расплав или образования за счет коагуляции крупных неметаллических включений за время длительного выстаивания в тигле плавильной печи.



Список литературы

1. Котлярский Ф. М. Водород в алюминиевых сплавах и отливках. – Киев: Освіта України, 2011. – 208 с.
2. Котлярский Ф. М. Определение свойств отливок с низкой интенсивностью затвердевания // Процессы литья. – 2011. – № 2. – С. 20–23.
3. Цветное литье: Справочник / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук и др. / Под ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
4. Котлярский Ф. М. Формирование отливок из алюминиевых сплавов. – Киев: Наук. думка, 1990. – 216 с.
5. 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.
6. Румшинский Л. З. Элементы теории вероятности. – М.: Наука, 1976. – 239 с.

Поступила 12.03.2014