

УДК 621.743.669.713

**Ф. М. Котлярский**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ОТЛИВОК С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

*Разработана простая комбинированная форма, состоящая из металлической оболочки и дисперсной засыпки, с широким диапазоном интенсивности затвердевания алюминиевых сплавов в зависимости от толщины оболочки и материала засыпки. С использованием этой формы исследовано влияние наводороживания, модифицирования стронцием, перегрева расплава и выдержки после обработки на пористость и механические свойства вторичного сплава АК9, затвердевающего с интенсивностью на уровне песчаной формы. Установлены технологические параметры, обеспечивающие сочетание гостовских показателей механических свойств с газовой пористостью, компенсирующей значительную часть усадки затвердевания.*

**Ключевые слова:** отливки, интенсивность затвердевания, свойства, методика определения, исследования.

*Розроблена проста комбінована форма з металевої оболонки та дисперсної засипки з широким діапазоном інтенсивності тверднення алюмінієвих сплавів в залежності від товщини оболонки та матеріалу засипки. З використанням цієї форми досліджено вплив наводнення, модифікування стронцієм, перегріву розплаву та витримки після обробки на густину та механічні властивості вторинного сплаву АК9, тверднучого з інтенсивністю на рівні піщаної форми. Визначено технологічні параметри, що забезпечують сполучення гостівських показників механічних властивостей з газовою пористістю, яка компенсує значну частку усадки тверднення.*

**Ключові слова:** виливки, інтенсивність тверднення, властивості, методика визначення, дослідження.

*The simple combined form that consists of metal shell and dispersion filling and has a wide range of aluminum alloys' hardening intensity depending on shell's thickness and filling material is developed. It was used for research on influence of hydrogenation, strontium modification, melt overheating and exposure after treatment on porosity and mechanical properties of secondary alloy AK9, which hardening intensity is alike sand form. Technological parameters that provide combination of GOST standards' mechanical properties and gas porosity, compensating substantial part of hardening shrinkage are stated.*

**Keywords:** castings, intensity of solidification, properties, technique of determination, investigation.

**М**еханические свойства сплавов, определенные по заготовкам, полученным в массивных неокрашенных кокилях с исходной комнатной температурой [1, 2], отражают максимальные (или близкие к ним) механические возможности этих сплавов, но не реальных отливок, особенно фасонных и крупногабаритных, которые обычно получают либо в песчаных (в том числе оболочковых, керамических),

## Затвердевание сплавов

зачастую нагретых формах, либо в окрашенных кокилях с рабочей температурой 250-400 °С. Копировать эти условия при получении заготовок на механические свойства не просто как в плане технологии, так и оборудования.

Проще воспользоваться предоставленной на рис.1 комбинированной формой, сочетающей металлическую оболочку (листовая сталь) с дисперсной засыпкой. Изменяя толщину оболочки и материал засыпки (асбест, песок, металлическая дробь), можно в широких пределах изменять интенсивность затвердевания расплава без нагрева формы в исходном состоянии. Форма простая по конструкции и удобная в обслуживании. Для ее сборки металлический коробок 1 ставится на боковую стенку А, внутрь на эту же стенку укладывается металлическая пластина 2 и кусок листового асбеста 3, на который устанавливается стальная профильная оболочка 4. Сверху на оболочку в обратном порядке укладываются асбест и металлическая пластина, после чего собранная конструкция сжимается винтом 5. Коробок ставится на донную стенку, рабочая полость формы закрывается жестяной крышкой с загнутыми по периметру краями, и в зазор между крышкой и коробком засыпается дисперсный материал. Форма готова к заливке. Сразу после заливки, с целью улучшения условий питания нижней части отливки, которая будет использоваться для определения пористости и изготовления разрывного образца, поверхность прибыльной части закрывается огнеупорной ватой. После затвердевания отливки форма разбирается. Если отливка сама не выпадает из стальной оболочки, последнюю можно слегка раздвинуть. При размещении частей разобранной формы на холодной металлической плите через 10-15 мин форму можно готовить к следующей заливке.

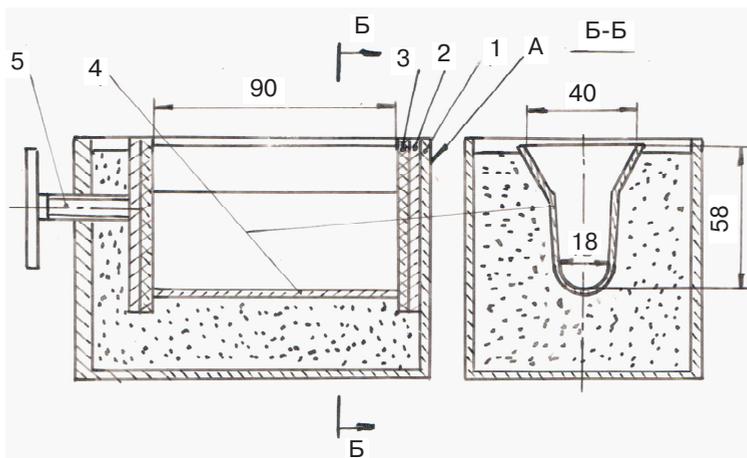


Рис.1. Комбинированная форма для изучения свойств сплавов при низкой интенсивности затвердевания

Для проверки направленности затвердевания отливку разрезали на нижнюю, среднюю и верхнюю части примерно равной высоты и методом гидростатического взвешивания определяли их плотность и пористость. Значения последней были равны соответственно 1,03; 2,1; 2,32 %. А поскольку величина пористости определяется продолжительностью затвердевания, то полученные данные подтверждают, что, в первую очередь, затвердела нижняя часть, а затем уже последовательно средняя и верхняя.

В данной работе с помощью такой формы исследовали влияние наводороживания (2 мин влажным асбестом), модифицирования стронцием (0,07 %) и перегрева расплава на пористость и механические свойства (разрывные образцы диаметром 10 мм) вторичного сплава АК9, затвердевающего с интенсивностью на уровне песчаной формы, в зависимости от выдержки после обработки. Для этого толщина стальной оболочки составляла 1,3 мм, а в качестве засыпки использовали сухой кварцевый песок. При приведенной толщине отливки 11,3 мм и температуре заливки расплава

## Затвердевание сплавов

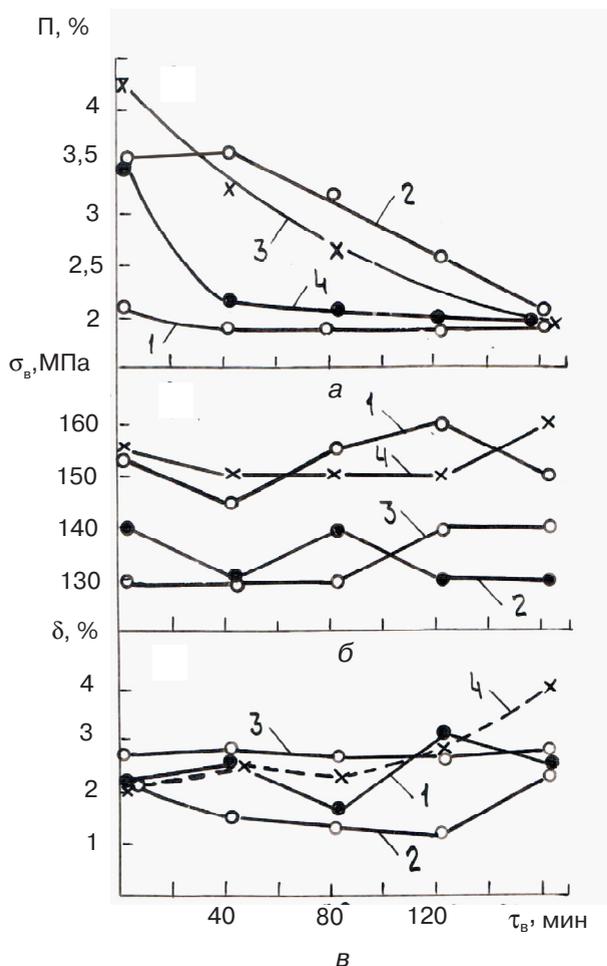


Рис. 2. Изменение пористости (а), прочности (б) и пластичности (в) в зависимости от времени выдержки ( $\tau_b$ ) и видов обработки: 1 – наводороживание влажным асбестом 2 мин при  $615 \pm 5^\circ\text{C}$ ; 2 – то же при  $710 \pm 5^\circ\text{C}$ ; 3 – наводороживание + модифицирование стронцием (0,07 %) при  $745 \pm 10^\circ\text{C}$ ; 4 – наводороживание переплава после эксперимента 3 при  $620-625^\circ\text{C}$

$750^\circ\text{C}$  время затвердевания составило 240 с. По закону квадратного корня значение коэффициента затвердевания ( $K_3$ ) получается равным  $0,73 \text{ мм}\cdot\text{с}^{-0,5}$ , то есть соответствует поставленной задаче.

Для получения сравнительных свойств сплава без обработки при интенсивном затвердевании ( $K_3 = 3 \text{ мм}\cdot\text{с}^{-0,5}$ ) в массивный чугунный кокиль отливали бруски сечением  $15 \times 15 \text{ мм}$  и длиной  $80 \text{ мм}$ , нормально питаемые при затвердевании по всей длине верхней прибылью [1]. Из них изготавливали разрывные образцы диаметром  $8 \text{ мм}$ .

Проведено четыре эксперимента:

- наводороживание расплава влажным асбестом 2 мин при  $615 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- то же при  $710 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- наводороживание и модифицирование стронцием (0,07 %) при  $745 \pm 10^\circ\text{C}$ ;
- наводороживание переплава после эксперимента 3 при  $620-625^\circ\text{C}$ .

Полученные данные приведены в таблице и на рис. 2. Для анализа этих данных следует указать, что температура ликвидуса исследуемого сплава составляет  $\sim 600^\circ\text{C}$  (установлено термическим анализом), а после переплава наводороженного металла (что осуществлялось неоднократно) его склонность к порообразованию оказывается на уровне или даже несколько ниже необработанного [3].

### Свойства вторичного сплава АК9 до обработки расплава

Номер эксперимента	Свойства сплава в зависимости от интенсивности затвердевания					
	$K_3 = 0,73 \text{ мм}\cdot\text{с}^{-0,5}$			$K_3 = 3 \text{ мм}\cdot\text{с}^{-0,5}$		
	П, %	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	П, %	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
1	0,72	169	2,4	0	250	3,7
2	1,3	150	2,2	0,12	190	2,0
3	-	-	-	0,16	250	4,9
4	-	-	-	0,13	230	5,0

Из таблицы видно, что для слабоперегретого ( $615^\circ\text{C}$ ) необработанного расплава (эксперимент 1) снижение  $K_3$  от 3 до  $0,73 \text{ мм}\cdot\text{с}^{-0,5}$  приводит к повышению пористости от нуля до 0,72 % и снижению механических свойств примерно на треть. Повышение перегрева на  $100^\circ\text{C}$  (эксперимент 2) увеличивает пористость до 1,3 % и снижает

прочность на 21 % при практически неизменной пластичности. Складывается впечатление, что снижение интенсивности затвердевания менее вредно для сплава с повышенным перегревом. Однако нетрудно заметить, что так получается по относительным показателям. Что же касается действительных значений пористости и механических свойств, то они при малом перегреве предпочтительнее.

На рис. 2 представлены данные, полученные на сплаве с низкой интенсивностью затвердевания. 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. 2, 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. 2, 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. 2, 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. 2, б) и пластичности (рис. 2, в) сложно логически увязать с характером кривых изменения пористости (рис. 2, а), разве что кривые пластичности 1, 4 (рис. 2, 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. 2, б, 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,  $\delta = 2$  % [4, с. 174]. Причем, роль модифицирования практически не проявляется. Литой металл хотя после обработки расплава и 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, которые несколько ниже гостовских, хотя следует отметить, что пластичность модифицированного сплава (рис. 2, в, кривая 3) оказалась наиболее стабильно высокой (~2,6 %) для всех интервалов выдержки.



### Список литературы

1. Выбор литой заготовки для исследования прочностных свойств алюминиевых сплавов / В. И. Белик, Ф. М. Котлярский, Г. П. Борисов и др. // Процессы литья. – 2009. – № 2. – С. 17-24.
2. Котлярский Ф. М., Белик В. И., Борисов Г. П. Влияние стронция на свойства наводороженного силумина АК9 // Там же. – 2009. – № 5. – С. 28-33.
3. Котлярский Ф. М., Белик В. И., Борисов Г. П. Влияние режимов газонасыщения расплава на формирование и герметичность отливок из алюминиевых сплавов // Там же. – 1998. – № 2. – С. 53-58.
4. Цветное литье: Справочник / Под ред. Н. М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.

Получено 10.09.2010