

**А. Г. Борисов, Ф. М. Котлярский, А. Г. Вернидуб,
Т. Г. Цир, Л. К. Шеневидько**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЯМОГО ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА РЕОЛИТЬЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА БЕСПРИБЫЛЬНЫХ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК7

Исследованы особенности получения при атмосферном давлении бесприбыльных отливок из необработанного и наводороженного расплава АК7 по тепловым параметрам прямого термического метода реолитья в зависимости от температуры заливки в интервале 620-720 °С. Показано, что наилучший результат по герметичности достигается при использовании наводороженного расплава с минимальным перегревом, прочность литого металла на уровне госстандартов для отливок, получаемых в песчаных формах, пластичность превышает требования госстандартов, газоусадочные процессы развиваются аналогично обычным способам литья.

Ключевые слова: *алюминиевые сплавы, гравитационное реолитье, бесприбыльные отливки, усадочные процессы, герметичность, механические свойства.*

Досліджено особливості одержання при атмосферному тиску безналивних виливків з необробленого та наводненого розплаву АК7 за тепловими параметрами прямого термічного методу реолиття в залежності від температури заливки в інтервалі 620-720 °С. Показано, що найкращий результат з герметичності досягається при використанні наводненого розплаву з мінімальним перегрівом. Міцність литого металу на рівні держстандарту для виливків, одержаних в піщаних формах, пластичність перевищує вимоги держстандарту, газоусадкові процеси розвиваються аналогічно звичайним способам лиття.

Ключові слова: *алюмінієві сплави, гравітаційне реолиття, безналивні виливки, усадочні процеси, герметичність, механічні властивості.*

It was investigated the features of production at atmospheric pressure unprofitable castings from untreated and hydrogen-charged melt AK7 by thermal parameters of the direct thermal rheocasting method depending on the pouring temperature in the range of 620-720 method C. It is shown that the best result of the tightness is achieves by using hydrogen-charged melt with minimal overheating strength, cast metal for castings produced in sand molds is up to State Standard Specification, ductility exceeds Standards requirements, gas-shrink processes develops similarly to common methods of casting.

Keyword: *aluminium alloy, gravitational rheocasting, unprofitable castings, shrink processes, tightness, mechanical properties.*

Технологический процесс прямого термического метода реолитья предполагает получение отливок из алюминиевых сплавов с недендритной мелкозернистой структурой обычно в установках литья под давлением [1]. Что касается структуры, то некоторыми исследованиями [2, 3], выполненными в этом направлении, установлено, что для получения мелкого глобулярного зерна есть благоприятным сочетание сплава АК7, низкого перегрева и тонкостенного кокиля. Наиболее четко проявляется влияние перегрева: чем меньше перегрев, тем лучше результат даже при увеличении стенок кокиля. Это объясняется известными исследованиями В. И. Данилова [4], согласно которым дисперсные примесные

частицы практически любого состава, перешедшие из твердой шихты в жидкий сплав с низким перегревом, могут служить центрами кристаллизации благодаря образованию на их поверхности переходного слоя, близкого по кристаллическому строению к основному сплаву. С повышением перегрева происходит дезактивация примесей. Однако считать исследования влияния перегрева на структуру завершенными нельзя. Во-первых, из-за нечёткости величины перегрева, при которой примесные частицы дезактивируются. По данным одних исследователей эта величина составляет 8-10 [5], других – 10-20 [6], третьих – 50-60 [7], четвертых – 70-80 °С [7]. По-видимому, при разных перегревах дезактивируются разные частицы. Во-вторых, имеются данные [6], согласно которым для сплава А356 снижение температуры заливки от 715 до 635 °С приводит к переходу начальной α -фазы от дендритной к розеточной структуре, а дальнейшее уменьшение температуры до 615 °С вызывает появление грубых зерен. Оптимальной считают – 655 °С. В-третьих, следует учитывать очевидные неудобства литья с низким перегревом в плане получения тонкостенных, сложных и крупногабаритных отливок, то есть чем ниже перегрев, тем меньше потенциальная номенклатура литья.

Положительной стороной низкого перегрева является уменьшение усадки застывающей отливки, что благоприятно бесприбыльному литью. В этом плане целесообразно исследовать влияние тепловых параметров прямого термического метода реолитья на характер газоусадочных дефектов, герметичность и механические свойства бесприбыльной отливки. Все эти показатели качества могут быть повышены газонасыщением расплава, например, путем погружения влажного асбестового тампона. Известно [8], что в результате такой обработки происходит водородное рафинирование расплава от крупной фракции твердых неметаллических включений, а в процессе затвердевания отливки, за счет компенсации усадки дисперсной газовой пористостью, сокращается расход питающей фазы и устраняются нежелательные усадочные дефекты. Для упрощения технологии представляет интерес вариант заливки и формирования отливки при атмосферном давлении.

В экспериментах использовали вторичный сплав АК7 состава, %: Si-7,0; Cu-1,15; Fe-0,8; Mg-0,3; Zn-0,45; Mn-0,28. Чувку весом 13 кг разрезали пополам, одна часть пошла на исследования без газонасыщения, вторая – с газонасыщением. При температуре ликвидус 617 °С температура заливки и обработки расплава в случае отсутствия газонасыщения составляла, °С: 620, 645, 675, 720. Отклонения укладывались, в основном, в ± 2 °С. В качестве опытной отливки выбрали слиток диаметром 50 и высотой 190 ± 5 мм, который получали в чугунном тигле толщиной 2 мм, начиная с максимального перегрева расплава, а дальше по мере снижения температуры. Такой же порядок обработки и заливки расплава был в серии экспериментов с газонасыщением, которое осуществляли погружением в расплав влажного асбестового тампона в первом эксперименте на протяжении 1 мин, а в последующих экспериментах, в связи с удалением части водорода от первой обработки, производили дополнительное газонасыщение продолжительностью 40 с. Во всех экспериментах длительность выдержки после газонасыщения перед заливкой составляла 10 мин. При температурах необработанного расплава 640 и 620 °С выполнены еще два эксперимента, в которых заливку и обработку производили без предварительного повышения температуры, чтобы выяснить влияние этого фактора на исследуемые показатели.

В полученных слитках объем верхней открытой усадочной раковины определяли путем её заполнения песком с насыпным весом $0,6 \text{ см}^3/\text{г}$ и последующим взвешиванием песка, а стрелу прогиба – глубиномером штангенциркуля (рис. 1). Как и следовало ожидать, объем и стрела прогиба раковин существенно уменьшились после наводороживания (точки 6-9). Новинкой представляется экстремальный характер зависимости геометрических параметров раковин от температуры заливки расплава с минимумом при 675 и максимумом при 645 °С. Отрицательным моментом является наличие значительных раковин при низкой температуре заливки (620 °С),

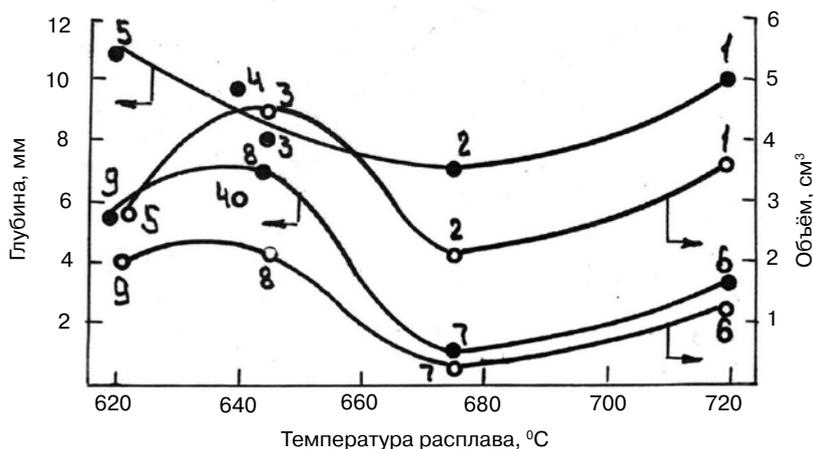


Рис. 1. Влияние температуры расплава на параметры верхней усадочной раковины; цифрами на кривых указана очередность заливки; до наводороживания 1-5; после наводороживания 6-9

наиболее благоприятной для получения мелкозернистой недендритной структуры. Ведь верхняя открытая раковина является внешним показателем склонности сплава к усадке или, другими словами, к малоотходности литья. Аналогичным внутренним показателем является средняя пористость слитков (рис. 2), которую определяли путем гидростатического взвешивания и сравнивали со специально отлитым беспористым образцом. Наличие значительной пористости не только в специально наводороженных слитках (точки 6-9), но и в слитках из необработанного сплава (точки 1-5), говорит о том, что технология получения плотных отливок прямым термическим методом реолитья нуждается в тех же мероприятиях по организации направленности затвердевания и питания, которые используются при обычных методах литья [9], а для получения бесприбыльных пористых отливок нужно целенаправленно наводороживать расплав, и, в комплексе с другими теплосиловыми воздействиями, компенсировать усадку затвердевающей отливки рассредоточенной газовой фазой [10].

Механические свойства и герметичность определяли соответственно на вырезаемых по схеме (рис. 3) разрывных образцах диаметром 8 мм и дисках толщиной

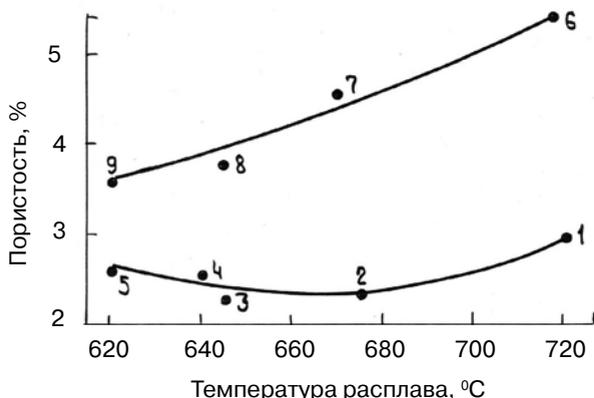


Рис. 2. Средняя пористость слитков в зависимости от температуры расплава; цифрами на кривых указана очередность заливки: 1-5 – необработанный расплав; 6-9 – наводороженный расплав

12 мм с последующим стачиванием по 2 мм согласно методике [8]. При выборе участков исследования механических свойств и герметичности учитывали накопленный опыт получения аналогичных бесприбыльных отливок [11], согласно которому нижняя часть слитка стабильно наименее пористая и наиболее герметична, что позволяет минимизировать непредвиденные факторы воздействия на механические свойства. В то же время этот участок наименее интересен в плане исследования герметичности, поскольку влияющие на этот параметр газоусадочные дефекты расположены выше,



Рис. 3. Схема порезки слитков на образцы для определения механических свойств и герметичности

особенно на среднем участке, что подтверждается характером распределения пористости по высоте исследуемых слитков (рис. 4). Механизм такого всплеска пористости описан в работе [11]. Что же касается зависимости от температуры заливки, то в слитках из необработанного расплава (рис. 4, а) максимальные значения пористости в зоне всплеска вначале растут по мере снижения температуры от 720 до 645 °С (кривые 1-4), достигая 6,5 %, а затем при температуре 620 °С резко опускаются вниз до 5,5 % (кривая 5), однако у подножья всплеска расположение кривых начинает меняться на обратное. То есть зона всплеска пористости выполняла роль питающей прибыли по отношению к смежным участкам, и чем выше был всплеск, тем лучше срабатывала прибыль и тем плотнее оказывались смежные участки. В слитках из наводороженного расплава (рис. 4, б) картина упростилась: по мере снижения температуры снижалась и пористость (кривые 6-9), что объясняется снижением растворимости водорода. Интересно, что высота всплесков до и после наводороживания отличается ненамного.

Результаты проверки на герметичность представлены на рис. 5. Они хорошо коррелируют с графиками пористости на рис. 4. На всех слитках, кроме девятого, в зоне

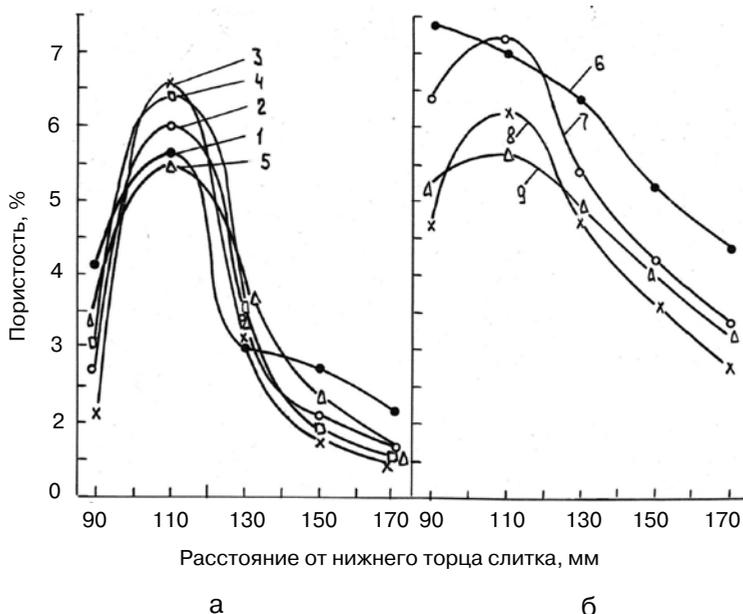


Рис. 4. Распределение пористости по высоте слитков в зависимости от температуры заливки: 1, 6 – 720; 2, 7 – 675; 3, 4, 8 – 645; 5, 9 – 620 °С; а – необработанный расплав; б – наводороженный расплав

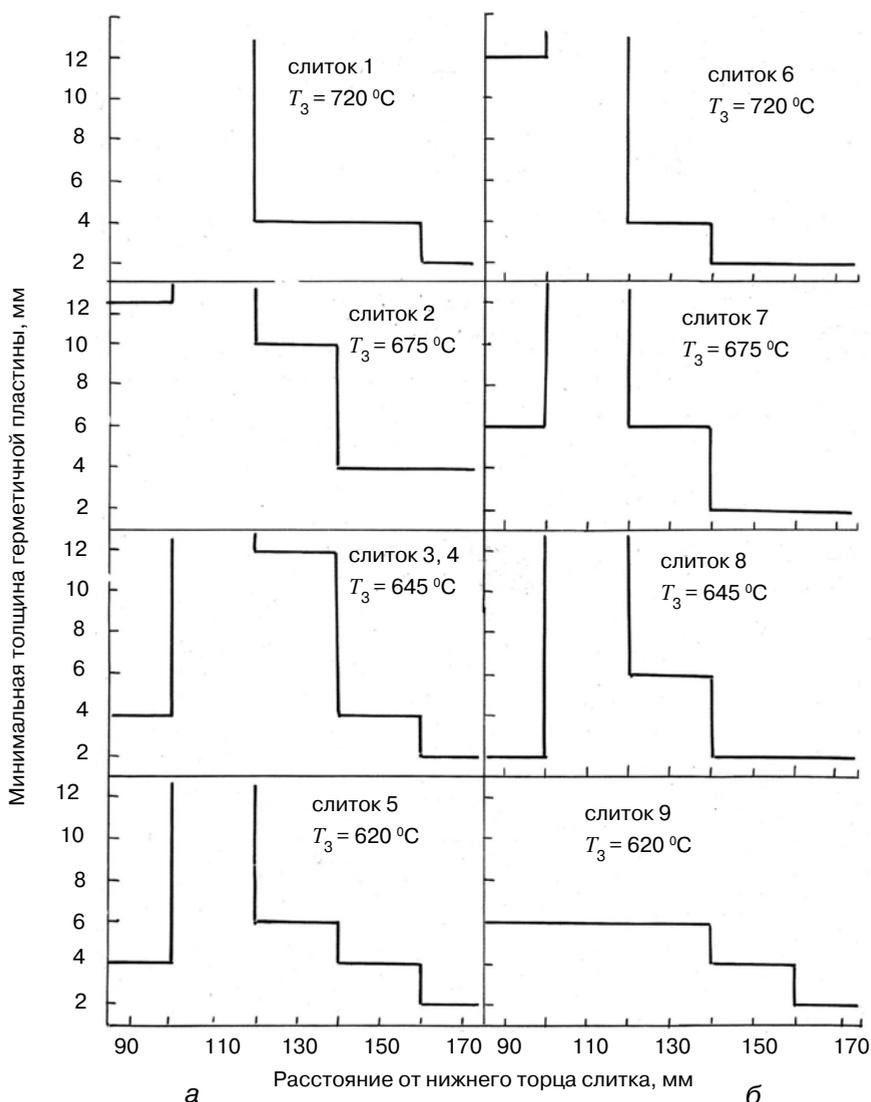


Рис. 5. Распределение герметичности по высоте слитков в зависимости от температуры заливки (указана на графиках): а – необработанный расплав; б – наводороженный расплав

всплеска пористости минимальная толщина герметичной пластины превысила 12 мм. По мере удаления от всплеска пористости эта толщина быстро понизилась до 2 мм. Наилучший результат показал слиток 9, полученный из наводороженного расплава при температуре 620 °C. Даже в зоне максимальной пористости минимальная толщина герметичной пластины не превышала 6 мм. Однако следует отметить, что у этого слитка и крутизна подъема пористости была минимальной среди всех слитков, а значение максимальной пористости было наименьшим среди наводороженных слитков и на уровне слитка 5 среди ненаводороженных. Кстати, слиток 5, залитый при температуре 620 °C, среди слитков из необработанного расплава имеет также наименьшую крутизну роста пористости и наилучшие показатели герметичности.

Таким образом, для исследуемого вторичного сплава АК7 герметичность, как и пористость, в значительной мере определяются условиями питания затвердевающей отливки, что подтверждается известными [12] результатами получения аналогичного слитка в кокиле с толщиной стенки 2 мм из вторичного сплава АК9,

Новые методы и прогрессивные технологии литья

залитого при температуре 615 °С. Там условия питания средней части слитка были улучшены путем устранения торцевых эффектов: снизу кокиля проложили сухой асбест толщиной 8 мм, а верх после заливки прикрывали минеральной ватой. В результате всплеск пористости отсутствовал и на большей части слитка минимальная толщина герметичной пластины составила 2 мм, а на остальной части – 4 мм.

Что касается механических свойств, то, упреждая возможную неравномерность плотности по сечению слитков из-за неконтролируемых условий питания при затвердевании и образования внешних локальных утяжин, из каждого слитка, согласно схеме (рис. 3), вырезали три образца: один по центру и два диаметрально удаленных от оси на 17 мм. Перед тем как рвать образцы путем гидростатического взвешивания определили их пористость (рис. 6). Как видно, неравномерность пористости по сечению действительно имеет место: в большинстве случаев в центральных образцах она выше. Пористость наводороженных образцов (рис. 6, б) примерно в два раза выше необработанных (рис. 6, а). Механические свойства представлены на рис. 7. По сечениям можно говорить о корреляции прочности с пористостью в том плане, что в большинстве случаев центральные образцы менее прочные. Из этой закономерности явно выпадают отлитые при температуре 620 °С слитки 1 и 6, у которых, несмотря на более высокую пористость, прочность центральных образцов оказалась выше периферийных. Интересно сравнивать залитые при одинаковой температуре 645 °С наводороженный слиток 8 и ненаводороженные слитки 3 и 4. Несмотря на то, что пористость первого в два раза выше, их прочности практически одинаковы. В остальных случаях прочность более пористых наводороженных слитков была ниже соответствующих им по температуре заливки ненаводороженных слитков. Только слитки 3, 4, 5 и 8 удовлетворяют по прочности ГОСТ 2685-75, согласно которому при литье сплава АК7 (АЛ9В) в песчаные формы прочность должна быть не ниже 128 МПа, а относительное удлинение – 0,5 %. Судя по данным рис. 7, пластичность всех слитков (вернее, их нижнего участка) намного выше требований госстандарта.

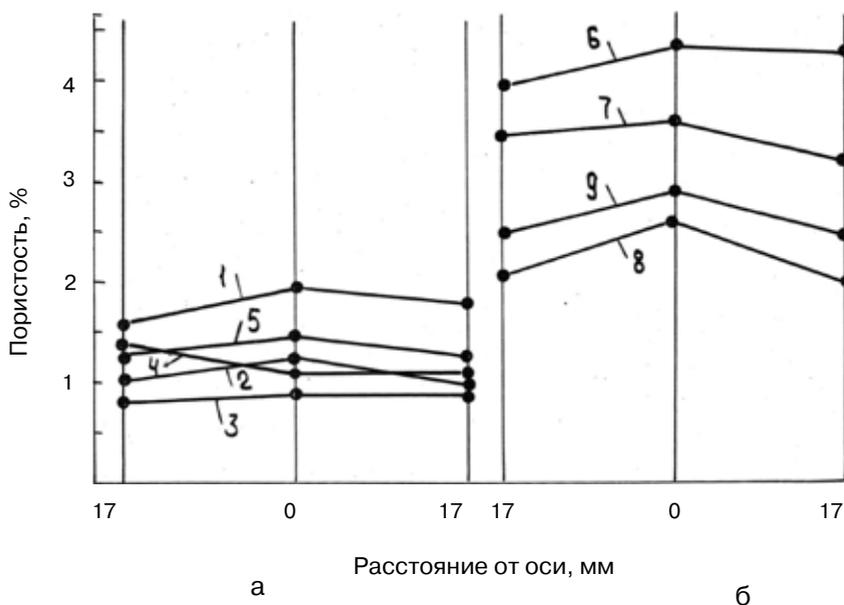


Рис. 6. Средняя пористость разрывных образцов в зависимости от расположения в нижней части слитков и температуры заливки; 1, 6 – 720; 2, 7 – 675; 3, 4, 8 – 645; 5, 9 – 620 °С; а – необработанный расплав; б – наводороженный расплав

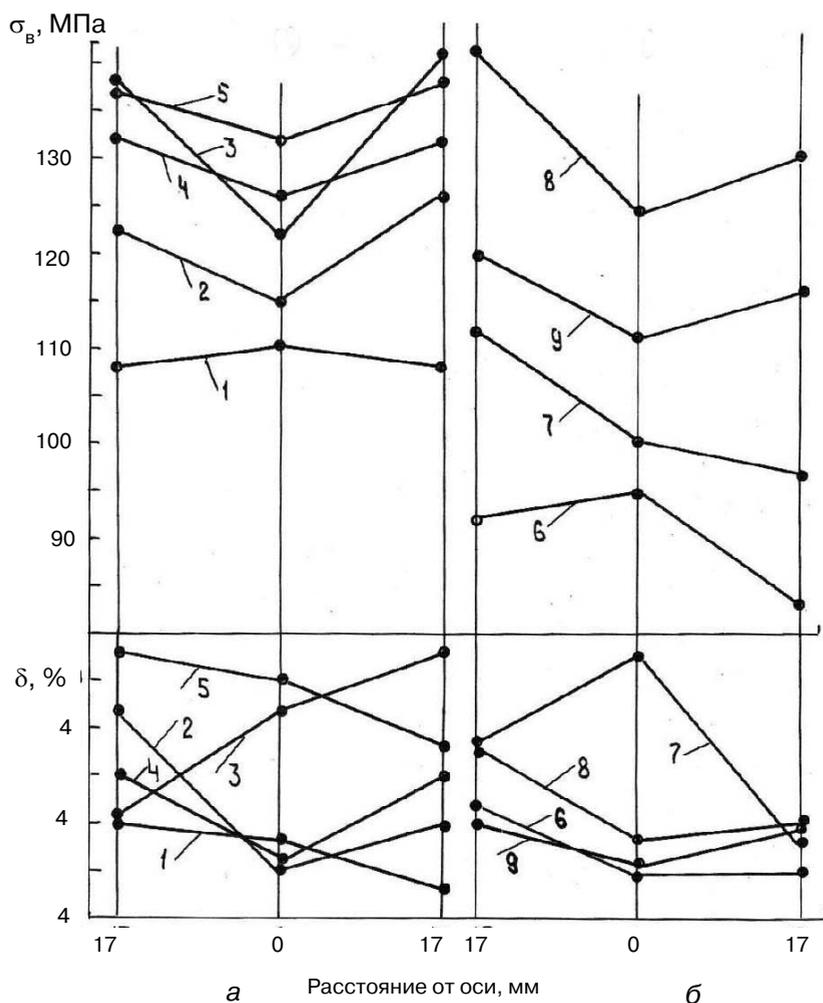


Рис. 7. Механические свойства литого металла в зависимости от зоны слитка и температуры заливки; 1, 6 – 720; 2, 7 – 675; 3, 4, 8 – 645; 5, 9 – 620 °С; а – необработанный расплав; б – наводороженный расплав

При этом слитки 1, 2, 4, 6, 9, несмотря на значительную разницу между ними по пористости, имеют одинаковые значения δ . Следует отметить более высокие значения пластичности у слитков 5 и 8, которые имеют наилучшие показатели и по прочности.

Выводы

- Исследованы особенности получения при атмосферном давлении бесприбыльных отливок диаметром 50 и высотой 190 мм из необработанного и наводороженного расплава АК7 по тепловым параметрам прямого термического метода реолитья в кокиль с толщиной стенки 2 мм в зависимости от температуры заливки в интервале 620-720 °С.

- Показано, что газоусадочные процессы развиваются аналогично обычным способам литья.

- Наилучший результат по герметичности (100 % при толщине вырезаемой пластины до 6 мм) получен из наводороженного расплава с минимальным перегревом.

- Прочность литого металла на участках слитков с наименьшей пористостью колеблется на уровне госстандарта для отливок, получаемых в песчаных формах. Пластичность превышает требования госстандарта.



Список литературы

1. Семенов Б. И., Куштаров К. М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 223 с.
2. Борисов А. Г. Розеткова та дендритна морфологія первинної фази при литті алюмінієвого сплаву у металевий кокиль // Металознавство та обробка металів. – 2010. – № 4. – С. 13-18.
3. Прогнозирование характера структуры слитков алюминиевого сплава, получаемого в тонкостенном металлическом кокиле / А. Г. Борисов, Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец, и др. // Процессы литья. – 2012. – № 6. – С. 25-29.
4. Данилов В. И. Некоторые вопросы кинетики кристаллизации жидкостей // Проблемы металловедения и физики металлов. Сб. 1. – М.: Metallurgizdat, 1949. – С. 7-45.
5. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. – М.: Машиностроение, 1979. – Ч. 2. – 335 с.
6. Эскин Г. И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. – М.: Metallurgiya, 1988. т– 232 с.
7. Баландин Г. Ф. Формирование кристаллического строения отливок. – М.: Машиностроение, 1965. – 256 с.
8. Котлярский Ф. М. Водород в алюминиевых сплавах и отливках. – Киев.: Освіта України, 2011. – 208 с.
9. Котлярский Ф. М. Формирование отливок из алюминиевых сплавов. – Киев: Наук. думка, 1990. – 216 с.
10. Котлярский Ф. М. О факторах формирования бесприбыльных отливок из алюминиевых сплавов // Процессы литья. – 2012. – № 4. – С. 27-44.
11. Котлярский Ф. М. О влиянии газовой пористости на герметичность отливок из алюминиевых сплавов // Там же. – 2011. – № 3. – С. 30-33.
12. Котлярский Ф. М., Белик В. И., Борисов Г. П. Влияние водорода на формирование и свойства отливок из алюминиевых сплавов, заливаемых при низком перегреве // Там же. – 2014. – № 3. – С. 10-22.

Поступила 03.02.2015

**К сведению читателей
и подписчиков!
Телефон редакции
журнала «Процессы литья»:
(044) 424-04-10**