

Ф. М. Котлярский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЖИДКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

С использованием новой технологической пробы для оценки газонасыщенности жидких алюминиевых сплавов исследовано влияние таких факторов, как модифицирование стронцием, повышение содержания окисных включений путем введения стружки, выдержка после обработки, температура расплава, затвердевание пробы при атмосферном давлении и в вакууме на величину и распределение газовой пористости в литом металле (АК9, АК7).

Ключевые слова: *алюминиевые сплавы, газовая пористость, литой металл, модифицирование, стронций.*

З використанням нової технологічної проби для оцінки газонасичення рідких алюмінієвих сплавів досліджено вплив таких чинників, як модифікування стронцієм, збільшення вмісту окисних включень шляхом введення стружки, витримка після обробки, температура розплаву, тверднення проби при атмосферному тиску та в вакуумі на величину та розподіл газової пористості в литому металі (АК9, АК7).

Ключові слова: *алюмінієві сплави, газова пористість, литий металл, модифікування, стронцій.*

For the estimation of liquid aluminum alloys gas saturation there was studied (with a new process sample) influence of factors such as modification by strontium, increase of oxide inclusions by chip insertion, holding time after processing, melt temperature, sample hardening at atmospheric pressure and at vacuum on value of gas porosity and its distribution in cast metal (AK9, AK7).

Keywords: *aluminum alloys, gas porosity, cast metal, modification, strontium.*

Главным недостатком используемых для оценки газонасыщенности жидких алюминиевых сплавов известных технологических проб [1-5] является неконтролируемое удаление выделяющихся при затвердевании газов 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. При таких обстоятельствах нет оснований утверждать, что воздействие на пробу оставшегося газа отражает качественную картину, близкую к реальной. Подтверждается это результатами экспериментальных исследований [6-8], которые допускают возможность использования существующих проб при выплавке сплавов с невысокой степенью эвтектичности, но категорически отрицают такую возможность по отношению к сплавам, приближающимся по составу к эвтектике.

Эти же результаты позволили разработать усовершенствованную технологическую пробу (рис.1), лишенную указанных недостатков и пригодную для всех алюминиевых сплавов независимо от химического состава и степени эвтектичности. Достигается это за счет того, что сразу после заполнения формы расплавом происходит кристаллизация верхней поверхности пробы, исключая

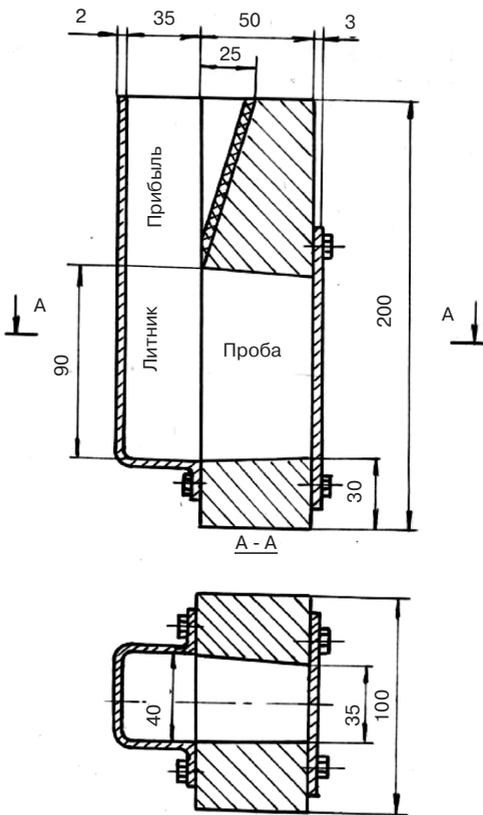


Рис. 1. Металлическая форма технологической пробы

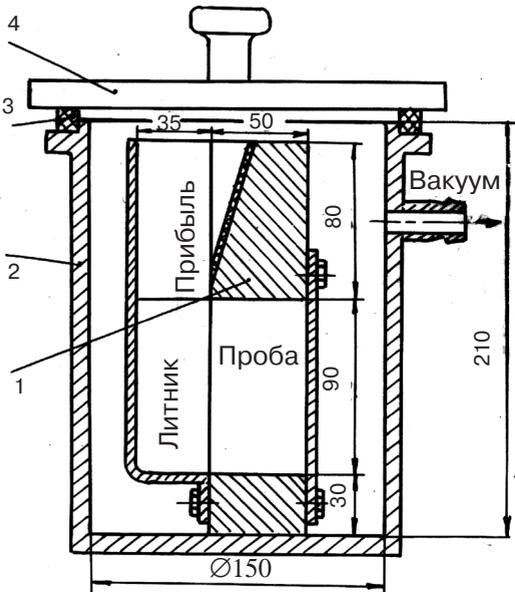


Рис. 2. Устройство для оценки газосодержания жидких алюминиевых сплавов повышенной точности: 1 – форма усовершенствованной технологической пробы; 2 – вакуумная камера; 3 – уплотнитель; 4 – крышка

потери всплывающего водорода. Более того, именно всплывающие пузырьки, понижающие плотность верхней части пробы по сравнению с затвердевающей в равных условиях нижней частью, являются главным показателем газосодержания расплава с высокой степенью эвтектичности (АК9, АК12). Для сплавов с низкой и средней степенью эвтектичности (АК7) из-за быстрого образования сплошного кристаллического каркаса процесс всплывания пузырьков также быстро прекращается, поэтому чаще более показательной является разница в плотности (пористости) нижнего и среднего по высоте участков пробы из-за более продолжительного затвердевания среднего участка [6, 7].

Кокиль для получения усовершенствованной технологической пробы (рис.1) выполнен таким образом, что сама проба формируется в массивной части (толщина стенок 30 мм и более), а литниково-питающая система – в тонкостенной приставке (2 мм), благодаря чему обеспечивается направленность затвердевания, исключая усадочную составляющую в пористости пробы.

Для повышения чувствительности новой пробы опытная оснастка выполнена с возможностью затвердевания расплава в вакууме (рис. 2). После установки формы 1 в камеру 2 и заливки расплава камеру герметизируют крышкой 4 через резиновую (микропористую) прокладку 3 (~7 с) и создают разрежение до остаточного давления 0,01 МПа (~3 с). Если в той же последовательности получить аналогичную пробу без вакуума, то отношение пористости проб отразит степень повышения чувствительности.

Разработанные пробы (без вакуума и с вакуумом) прошли опробование на сплавах с различной степенью эвтектичности АК9 и АК7, изучено также влияние наводороживания расплава и совмещенных с ним других факторов на характер газовой пористости. На рис. 3 в качестве таких факторов использовали модифицирование стронцием (0,1 % Sr) и повышение содержания окисных включений путем введения в расплав 15 % стружки. Пробы отбирали из расплава, перегретого до температуры 740-750 °С (рис. 3, а, кривая 1), а также

после наводороживания влажным тампоном и выдержки в тигле печи 4-6 (рис. 3, а, кривые 2-5) и 36-38 мин (рис. 3, б). Как видно, основные отличия между дополняющими наводороживанием видами обработки происходят в верхней части пробы, отражающей всплывающую пористость. При выдержке 4-6 мин первое место по силе воздействия на величину всплывающей пористости занимает введение стружки (кривая 4), второе – сочетание введения стружки с модифицированием стронцием (кривая 5), третье – модифицирование стронцием (кривая 3) и четвертое – просто наводороживание без каких-либо дополнительных воздействий (кривая 2). После выдержки 36-38 мин помимо общего понижения уровня пористости можно отметить, что кривая 3 опустилась ниже кривой 2, то есть стронций ускорил процесс разводороживания и практически устранил всплывающую пористость.

Что же касается пористости средних и нижних участков пробы, то она мало зависит от дополнительных факторов и практически остается на уровне, который обеспечивается только наводороживанием с помощью влажного тампона.

Аналогичная обработка повторно переплавленного сплава, в который в предыдущей плавке вместе с наводороживанием вводили стружку, практически не изменила соотношение ролей дополнительных факторов (рис. 4). Интересно отметить, что, несмотря на удаление части введенных стружкой включений всплывающими пузырьками в предыдущей плавке, после переплава влияние оставшихся включений почти не изменилось. В то же время уместно отметить многократно подтвержденный факт, что относительно величины и распределения пористости эффект от наводороживания расплава влажным тампоном в предыдущей плавке полностью исчезает в последующей.

Изменение пористости после введения стружки, наводороживания влажным тампоном и модифицирования расплава стронцием в процессе выдержки продолжительностью до 80 мин показано на рис. 5. Эксперименты с таким сочетанием воздействующих факторов интересны тем, что стружка своими окисными включениями тормозит процесс разводороживания, а стронций его ускоряет [9]. В данном случае, как видно из рисунка, пористость снижается до уровня 0,5-1,3 % и перестает всплывать (значения пористости верхнего и нижнего участков пробы очень близки).

Температура обработки и заливки расплава также является эффективным фак-

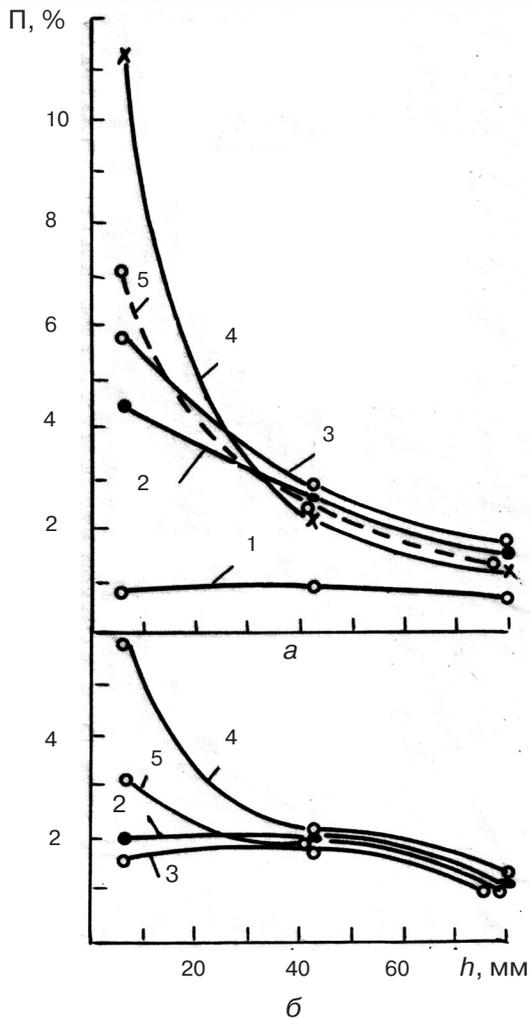


Рис. 3. Влияние видов обработки перегретого (740-750 °С) расплава марки АК9 на величину и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца): 1 – исходный, без обработки, 2 – наводороживание расплава (НР) влажным асбестом в течение 3 мин, 3 – НР+модифицирование стронцием (МС) до 0,1 % Sr, 4 – введение 15 % стружки (ВС)+НР, 5 – ВС+НР+МС; а – время выдержки после наводороживания 4-6 мин, б – время выдержки после наводороживания 36-38 мин

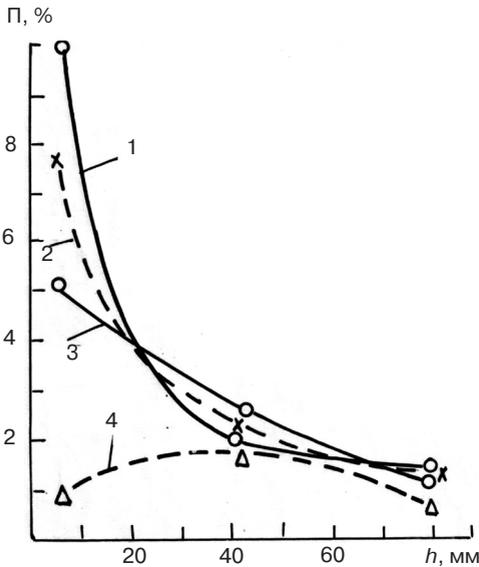


Рис. 4. Влияние видов обработки перегретого (740-750 °С) расплава марки АК9 на величину и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца), повторно переплавленного после ВС+НР: 1 – НР+выдержка 4-6 мин; 2 – НР+выдержка 36-38 мин; 3 – НР+МС+выдержка 4-6 мин; 4 – НР+МС+выдержка 36-38 мин

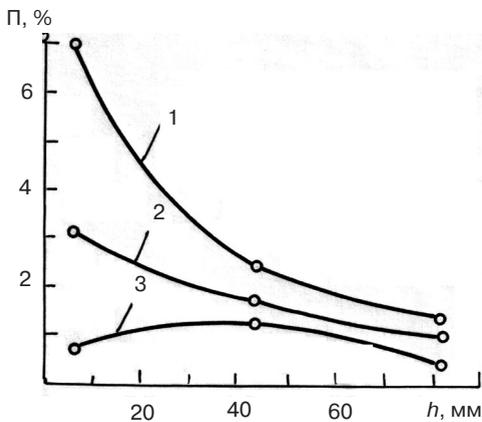


Рис. 5. Влияние выдержки после введения стружки, наводороживания влажным асбестом и модифицирования перегретого (740±5 °С) расплава марки АК9 стронцием на величину и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца), мин: 1 – 5; 2 – 37; 3 – 80

длиной 83 мм, отливаемых горизонтально также в массивном чугунном кокиле и питаемых верхней прибылью по всей длине.

На рис. 9 показана возможность существенного повышения чувствительности новой пробы путем организации ее затвердевания в вакууме (см. рис. 2). Как видно, при снижении давления затвердевания от 0,1 (кривая 1) до 0,01 МПа (кривые 2, 3)

тором воздействия на пористость наводороженного сплава, что подтверждается данными рис. 6. Как видно, снижение температуры обработки расплава АК9 влажным тампоном в процессе интенсивного перемешивания (1000 оборотов мешалки в минуту) от 730 °С (кривая 2) до ликвидуса (кривая 4) полностью устраняет всплывающую пористость, сохраняя на довольно высоком уровне (около 2 %) междендритную. В то же время даже при незначительном перегреве до 610 °С и обычной обработке расплава погружением влажного тампона начинает отчетливо фиксироваться всплывающая пористость (кривая 3). Кривая 1 еще раз доказывает разводороживание расплава после переплава. Таким образом, если при наводороживании перегретого расплава АК9 (740-750 °С) для устранения вредной всплывающей пористости требуется выдержка от 36-38 (рис. 4, кривая 4) до 80 мин (рис. 5, кривая 3), то после снятия перегрева такой же эффект достигается при самой короткой 3-минутной выдержке, не уступая при этом в объеме полезной междендритной пористости.

На рис. 7 и 8 приведены данные, полученные с помощью пробы на сплаве АК7 со средней степенью эвтектичности. Как видно из этих рисунков по кривым 2, процесс образования всплывающей газовой пористости даже при значительном перегреве (735-740 °С) и короткой выдержке после наводороживания (4-5 мин), ограничивается очень небольшими объемами по сравнению с более эвтектичным сплавом АК9. Заслуживает внимания зафиксированный в ряде экспериментов факт, что пористость пробы после наводороживания и выдержки (рис. 8, кривая 3) оказывается ниже, чем до обработки (кривая 1). Здесь следует отметить, что пористость определяли в сравнении со специально отлитыми в массивном чугунном кокиле конусообразными образцами диаметром 14 мм снизу и 18 мм сверху при высоте 78 мм, питаемыми конусообразной прибылью высотой 30 мм и диаметрами снизу и сверху соответственно 28 и 48 мм, либо на брусках сечением 15x15 мм и

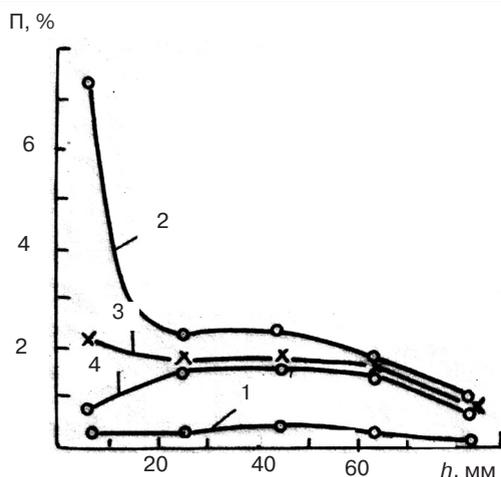


Рис. 6. Изменение пористости при различном перегреве расплава марки АК9 на величину и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца): 1 – до обработки, температура расплава (T_p) 730 °С; 2 – обработка влажным асбестом с интенсивным перемешиванием (1000 об/мин) 1 мин, 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, $T_p = T_{ликв}$ (605 °С)

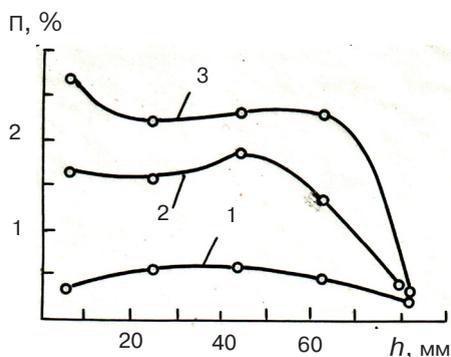


Рис. 9. Влияние вакуумного затвердевания необработанного сплава марки АК9 на величину и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца): 1 – затвердевание при атмосферном давлении; 2, 3 – затвердевание при остаточном давлении 0,01 МПа; температура расплава 740±5 °С

пористость верхних и средних участков пробы повысилась в 2,5-4,0 раза, что создает предпосылки возможности сравнительной оценки высокоэффективных методов рафинирования алюминиевых сплавов от водорода. Для нижнего участка все три кривые пористости практически сходятся в одну точку, поскольку начальная стадия затвердевания пробы в вакуумной камере проходит при атмосферном давлении (время на герметизацию и набор вакуума после заливки). Наличие такой точки на вакуумной кривой позволяет в рамках одного анализа дополнительно прогнозировать плотность реальной отливки, интенсивно затвердевающей при атмосферном давлении.

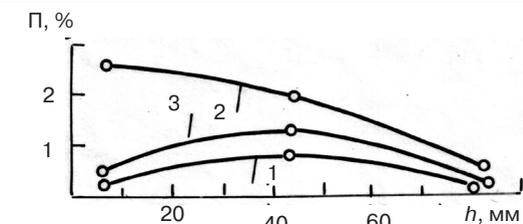


Рис. 7. Величина и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца) из расплава марки АК7 после рафинирования и наводороживания влажным асбестом при температуре 740 °С: 1 – рафинирование дегазером Т-200; 2 – обработка влажным асбестом, выдержка 5 мин; 3 – обработка влажным асбестом, выдержка 55 мин

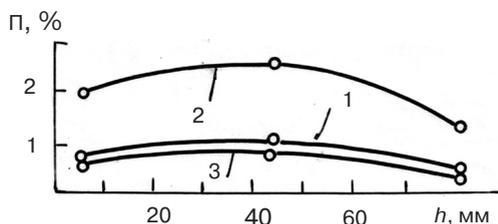


Рис. 8. Величина и распределение пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца) из расплава марки АК7 при температуре 735 °С после наводороживания влажным асбестом и времени выдержки после обработки: 1 – до обработки; 2 – после обработки влажным асбестом, выдержка 2-4 мин; 3 – после обработки влажным асбестом, выдержка 58 мин

Анализ представленных данных и накопленного опыта, включая работы [7, 8], приводит к выводу, что характер распределения газовой пористости по высоте пробы (отливки) определяется перегревом и степенью эвтектичности расплава, что схематично обобщено на рис. 10. Пористость верхнего

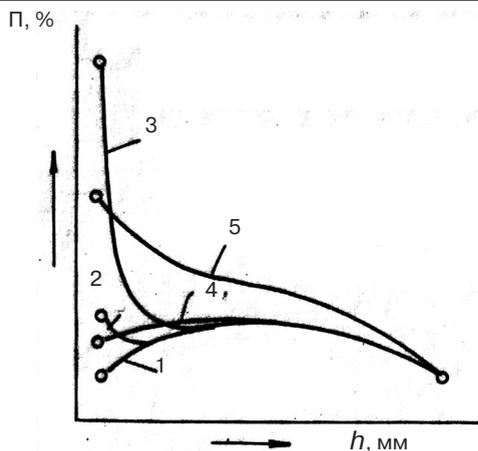


Рис. 10. Схема распределения пористости (П) по высоте пробы (h – расстояние от верхнего торца) в зависимости от перегрева и степени эвтектичности наводороженного расплава

(увеличивается) только пористость верхнего участка (кривая 2). Качественно то же самое происходит и при большом перегреве (кривая 3), только пористость верхнего участка увеличивается лавинообразно при некотором расширении пораженной всплывающей пористостью зоны.

Для наводороженных сплавов с низкой и средней степенью эвтектичности аналогичное повышение перегрева также увеличивает пористость верхнего участка (кривые 4, 5), но в значительно меньшей степени, зато больше расширяет пораженную всплывающей пористостью зону, распространяясь и на средние участки.

Не трудно заметить, что кривые для перегретого расплава (рис. 10) совпадают по характеру с кривыми рис. 6 и 9, построенными более точно по пяти точкам, и отклоняются от кривых остальных рисунков, построенных менее точно по трем точкам. Однако, как показали специальные экспериментальные исследования [8], именно этих трех точек (верх, середина, низ) вполне достаточно для оценки газонасыщенности расплава.



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., Спасский А. Г. Влияние окислов алюминия на процессы газонасыщения и газовыделения в алюминии и его сплавах // Литейн. пр-во. – 1963. – № 1. – С. 26-28.
4. Газы в цветных металлах и сплавах // Д. Ф Чернега., О. М. Бялик, Д. Ф. Иванчук, Г. А. Ремизов. – 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 эффектив-

- ности производства отливок из алюминиевых сплавов путем водородной обработки расплава и литья под давлением. – Киев: ФТИМС НАНУ, 2004. – 378 с.
7. Факторы эффективности водородной обработки силуминовых расплавов / Ф. М. Котлярский, Г. П. Борисов, В. И. Белик и др. // Процессы литья. – 2005. – № 2. – С. 61-69.
8. Котлярский Ф. М., Белик В. И. Предпосылки совершенствования технологической пробы для оценки газонасыщенности жидких алюминиевых сплавов // Там же. – 2009. – №1. – С. 17-27.
9. Котлярский Ф. М., Белик В. И., Борисов Г. П. Влияние стронция на свойства наводороженного силумина АК9 // Там же. – 2009. – № 5. – С. 28-33.

Поступила 15.09.2011

УДК 669.712

В. Ф. Сороченко

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ КАРБАМИДА НА ОПТИМАЛЬНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ.

Сообщение 2 *

Разработана количественная (~0,11 %) математическая модель наномолекулярного модифицирования $CO(NH_2)_2$ литейных алюминиевых сплавов (ЛАС) АК7 и АК12М2 на основе объединения кинетической теории броуновской коалесценции и теории статистической решетки в растворах Г. Крестова. Модель соответствует минимальному дополнительному (0,15-0,3 см³/100 г ЛАС) насыщению водородом исследованных ЛАС.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, рафинирование, наномодель, карбамид, водород.

Розроблена кількісна (~0,11 %) математична модель наномолекулярного модифікування $CO(NH_2)_2$ ливарних алюмінієвих сплавів (ЛАС) АК7 і АК12М2 на основі об'єднання кінетичної теорії броунівської коалесценції і теорії статистичної ґратки у розчинах Г. Крестова. Модель відповідає мінімальному додатковому (0,15-0,3 см³/100 г ЛАС) насиченню воднем досліджених ЛАС.

Ключові слова: алюмінієві сплави, рафінування, наномодель, карбамід, водень.

Developed quantitative (~0,11 %) mathematical model of nanomolekular modifying $(NH_2)_2$ foundry of aluminum alloys (FAA) AK7 and AK12M2 by combining kinetic theory of Brownian coalescence and statistical theory ripening lattices in solutions G. Krestov. Model corresponds to the minimum additional (0,15-0,3 cm³/100 g FAA) hydrogen saturation FAA studied.

Keywords: aluminum alloys, refining, nanomodel, urea, hydrogen.

* Сообщение 1 опубликовано в журнале «Процессы литья». – 2011. – № 3. – С. 23-29