

УДК 669.2./8.017:621.78.5

Найдек В. Л., Наривский А. В.

ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО РАФИНИРОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Одной из основных тенденций в развитии литейного производства и цветной металлургии является расширение объемов применения вторичных алюминиевых сплавов, которые все больше заменяют в изделиях первичные. В развитых странах доля вторичного алюминия в общем потреблении превышает 30 % [1]. При этом его качество во многих случаях не уступает первичному металлу, который получают из руды. Такая замена стала возможной в результате освоения предприятиями новых технологий подготовки и плавки шихты, обработки жидкого металла и его разливки. Эти технологии отличаются от традиционных способами и видами воздействий на металл (электромагнитные поля, лазерное излучение, ультразвук, плазма и др.).

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины научно обоснованы и разработаны экологически чистые технологии обработки цветных сплавов заглубленной в расплав плазменной струей в вакууме [2–5]. В этих процессах герметизацию вакуумной камеры осуществляют жидким металлом, который рафинируют. Новые технические решения позволяют с помощью простого оборудования проводить вакуумно-плазменную обработку цветных сплавов при дозированном и непрерывном режимах разливки металла. Рафинирование сплавов в ковше или печи осуществляют по схеме (рис. 1).

Целью работы является разработка технологии вакуумно-плазменного рафинирования цветных сплавов.

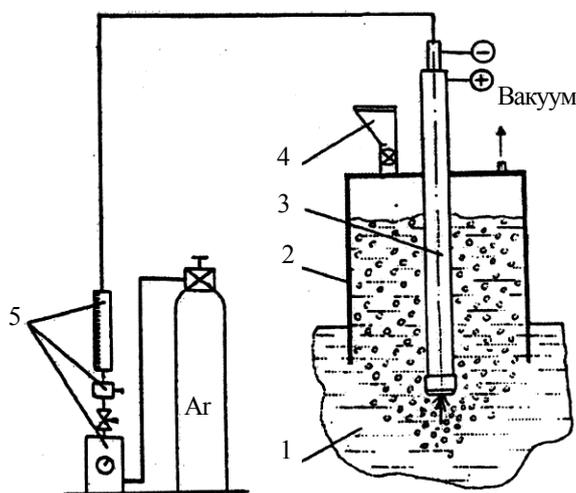


Рис. 1. Схема вакуумно-плазменной обработки жидкого металла:

1 – расплав; 2 – камера вакуумная; 3 – плазмотрон; 4 – дозатор для реагентов; 5 – система подачи газа в плазмотрон

Плазмотрон вместе с камерой погружают в расплав и создают вакуум. Под действием разрежения металл поднимается на определенную высоту, которая зависит от величины остаточного давления в камере. Размеры камеры и расположение сопла плазмотрона выбраны так, что все пузырьки газа при продувке металла поступают в камеру. При этом поверхность расплава за пределами камеры находится в спокойном состоянии. Оксидная пленка или наведенный на этой поверхности флюс препятствуют поступлению водорода из атмосферы

в расплавах при обработке. Необходимые для рафинирования (модифицирования) сплавов добавки предварительно загружают в дозатор и подают в камеру при вакуумировании металла. Реагенты без окисления поступают в верхние, интенсивно перемешиваемые нагретым газом слои расплава, и равномерно распределяются в жидкометаллической ванне.

Установлено, что высокая степень дегазации сплавов при плазменной обработке достигается за счет увеличенной в 2–3 раза поверхности газовых пузырей в зоне реакционной плазменной струи по сравнению с холодной продувкой расплава [6]. На процесс рафинирования сплавов при этом влияет температурное состояние расплава.

Известно, что с увеличением температуры алюминиевого расплава с 950 до 1250 К растворимость водорода в нем повышается в 6 и более раз [7]. В зоне истечения плазменной струи температура расплава на ≥ 400 град превышает его среднемассовую (определили прямым измерением с помощью вольфрам-ренийевых термопар, которые устанавливали на разных расстояниях от сопла плазматрона по глубине и радиусу ванны). Поэтому при плазменной обработке сплавов массоперенос водорода, обусловленный повышенной растворимостью, направлен из периферийных слоев ванны в высокотемпературную зону струи. В этой зоне объем и межфазная поверхность пузырей рафинирующего газа максимальны. Из-за большого перегрева сплавов в реакционной зоне плазменной струи увеличиваются скорости массопереноса водорода в нем. Например, при перегреве расплава лишь на 50 градусов (с 960 до 1010 К) коэффициент массопереноса водорода в алюминиевых сплавах увеличивается в 1,5–2,0 раза [7].

В зоне истечения холодной струи аргона температура жидкого металла на ≥ 100 град меньше по сравнению с его среднемассовой. Массоперенос водорода в расплаве при этом направлен из реакционной зоны струи в отдаленные, более нагретые объемы ванны. По мере удаления от этой зоны количество пузырей рафинирующего газа в жидком металле уменьшается и снижается эффект рафинирования сплавов.

При плазменной обработке сплавов поступающий в жидкометаллическую ванну нагретый в плазматроне газ быстро (за 1–4 мс) охлаждается до среднемассовой температуры расплава. Размеры пузырей при этом уменьшаются на 15–40 %. За счет мгновенного изменения объема газовых пузырей сокращается в 1,5–2 раза время обновления пограничного слоя на них. Кроме этого, при мгновенном сокращении газового объема выделяется энергия, передающая пузырь импульс в сторону, противоположную максимальной составляющей лапласовского давления в нем. В зависимости от размера пузыря импульс давления может достигать такого значения, при котором происходит его дробление или деформация. При этом происходит разрушение пограничного слоя или обновление его с повышенной частотой на поверхности пузырей. В результате этого увеличивается интенсивность массопереноса водорода из расплава через границу раздела в газовую фазу.

Определили, что максимальное перемешивание и турбулизация жидкого металла происходят в поверхностных слоях ванны независимо от глубины истечения газовых струй в расплавах. В условиях интенсивного перемешивания скорости массопереноса водорода в сплавах определяются совместным влиянием диффузии, конвективного переноса и турбулентных пульсаций в расплаве. Мощность перемешивания расплава высокотемпературным газом, в которую входит пульсирующая составляющая струи, в 4–4,5 раза больше, чем холодным [6]. При повышенной мощности перемешивания жидкого металла уменьшается толщина пограничного слоя на газовых пузырях, увеличивается частота его обновления [8] и повышается темп дегазации сплавов.

Наличие оксидной пленки на межфазной поверхности препятствует поступлению водорода в пузыри рафинирующего газа и замедляет процесс дегазации сплава. Оксидная пленка на пузырьках может разрушаться при температурах расплава ≥ 1100 К [8]. В производственных условиях алюминиевые сплавы до такой температуры не нагревают из-за больших энергозатрат и повышенной растворимости водорода в них. При плазменной обра-

ботке в реакционной зоне струи металл нагревается до более высоких температур в сравнении с указанной. В результате локального перегрева расплава и воздействия на него плазменной струей возможно разрушения оксидной пленки на газовых пузырях, что способствует увеличению скорости массопереноса водорода в них.

Плазменная обработка сплавов, наряду с эффективным рафинированием, позволяет уменьшить размеры микрогруппировок в жидком металле. Для количественной оценки изменений в строении расплава при разных способах обработки сплава АК7 применили рентгеноструктурный метод. Расплав при температуре 960–970 К продували 10 мин холодным аргоном, в течение такого же времени жидкий металл обрабатывали заглубленной плазменной струей и проводили термовременную обработку (ТВО) сплава один час при 1210–1220 К в аргоновой среде. Исследования проводили с помощью $\text{MoK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 0,07107$ нм) и монохроматора из фтористого лития. Рентгеновские лучи пропускали через термостатированный в вакууме слой расплава толщиной $0,5 \cdot 10^{-3}$ м. По дифракционным кривым, которые записывали при постоянном перегреве (10 град.) сплава над его температурой «ликвидус» (882 К), определяли средний размер блоков атомов когерентного рассеивания в расплаве.

Определили, что после продувки холодным аргоном средний размер микрогруппировок в жидком металле уменьшается с 26,8 до 20,3 нм и незначительно повышаются прочность и пластичность сплава. ТВО позволяет изменить размеры микрогруппировок на 30–35 % и увеличить $\sigma_{\text{в}}$ сплава на 13–15 %, δ – на 18–20 %. При воздействии заглубленной плазменной струей на расплав размеры микрогруппировок в нем уменьшаются в 2,0–2,5 раза и значительно повышаются прочность и пластичность сплава (табл. 1).

Таблица 1

Содержание водорода, оксидных включений и прочностные характеристики отливок из сплава АК7

Способ обработки	[H], см ³ /100 г	[Al ₂ O ₃], %	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
Без обработки	0,58	0,046	178	3,3
При атмосферном давлении	<u>0,32</u>	<u>0,029</u>	<u>190</u>	<u>3,8</u>
	0,19	0,020	212	5,3
В вакууме с остаточным давлением 8 КПа	<u>0,22</u>	<u>0,025</u>	<u>203</u>	<u>4,2</u>
	0,11	0,018	218	5,5

Примечание. В числителе после обработки расплава холодным аргоном, в знаменателе – плазменной струей.

Видно, что создание вакуума над расплавом позволяет повысить степень удаления водорода из него на 19–22 % по сравнению с рафинированием сплава в атмосферных условиях. При непрерывной разливке металл обрабатывают по схеме (рис. 2).

Известно, что при вакуумировании алюминиевых сплавов удаление водорода через поверхность расплава возможно из глубины ванны не более 0,05 м [9, 10]. Пропускание перемешиваемого газом жидкого металла через перегородку (см. рис. 2, поз. 4) с регулируемой глубиной потока позволяет эффективно дегазировать сплавы в диффузионном, промежуточном и кинетическом режимах удаления водорода из расплава при вакуумировании.

Вакуумно-плазменную обработку сплавов при непрерывной разливке можно также проводить по схеме (рис. 3). Такой способ позволяет использовать для обработки металла водоохлаждаемые плазмотроны с повышенной надежностью и сроком их эксплуатации.

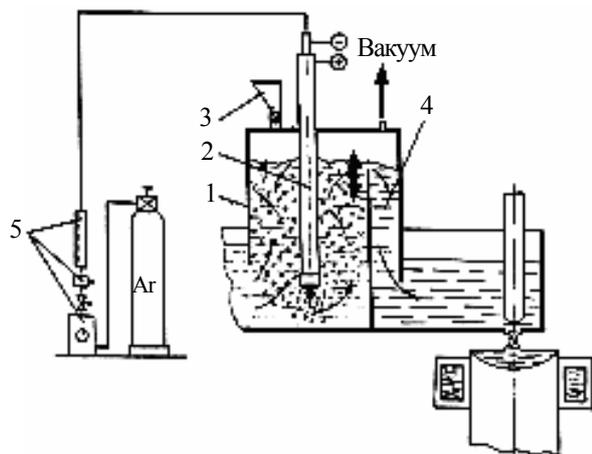


Рис. 2. Схема вакуумно-плазменной обработки сплавов в потоке:

1 – камера вакуумная; 2 – плазмотрон; 3 – дозатор для ввода реагентов в расплав; 4 – перегородка; 5 – система подвода газа к плазмотрону

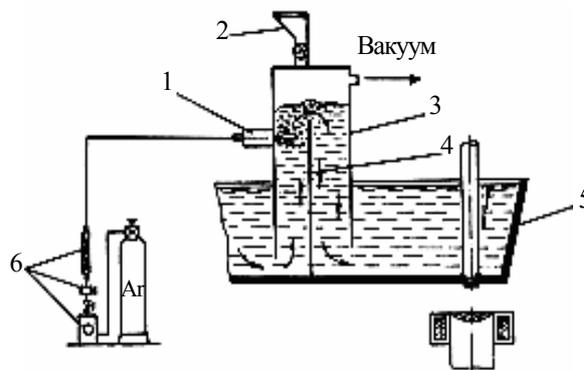


Рис. 3. Схема вакуумно-плазменной обработки сплавов при непрерывной разливке металла:

1 – плазмотрон; 2 – дозатор для ввода реагентов в расплав; 3 – вакуумная камера; 4 – перегородка; 5 – ковш; 6 – система подачи газа в плазмотрон

ВЫВОДЫ

Промышленное освоение созданных технологий на предприятиях Украины и других стран показало, что глубинная обработка алюминиевых и медных сплавов плазмой позволяет: нагревать расплав в процессе рафинирования; снизить содержание водорода до 80 % и более (зависит от химического состава сплава и концентрации водорода в нем), неметаллических включений – в 2–2,3 раза; увеличить предел прочности на разрыв литого металла на 14–26 %, относительное удлинение – на 35–54 %; сократить в 3–4 раза расход или исключить применение различных реагентов на обработку расплава; значительно улучшить экологическую обстановку на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Обзор. Мировое производство отливок // Литейное производство. – 2009. – № 2. – С. 27.*
2. Пат. 69091А (Украина) МКИ С22В 9/04. Способ обработки жидкого металла / Найдек В. Л., Наривский А. В., Ганжа Н. С. и др. – БИ, 2004. – № 8.
3. Пат. 75166 (Украина). МКИ С21С 7/10, С22В 9/00. Вакуумно-плазменная установка для обработки металлических расплавов / Найдек В. Л., Наривский А. В., Ленда Ю. П. и др. – БИ, 2006. – № 3.
4. Пат. 75751 (Украина). МКИ Н05В 7/18. Погружной электродуговой плазмотрон / Наривский А. В., Найдек В. Л., Беленький Д. М. и др. – БИ, 2006. – № 5.
5. Пат. 75829 (Украина) МКИ С22В 9/00, Н05Н 1/26. Способ вакуумно-плазменной обработки сплавов / Найдек В. Л., Наривский А. В., Курпас В. И. и др. – БИ, 2006. – № 5.
6. Найдек В. Л. Повышение качества отливок из алюминиевых и медных сплавов плазмореагентной обработкой их расплавов / В. Л. Найдек, А. В. Наривский. – К. : Наук. Думка, 2008. – 184 с.
7. Чернега Д. Ф. Газы в цветных металлах и сплавах / Д. Ф. Чернега, О. М. Бялик, Д. Ф. Иванчук, Г. А. Ремизов. – М. : Металлургия, 1982. – 176 с.
8. Макаров Г. С. Рафинирование алюминиевых сплавов газами / Г. С. Макаров. – М. : Металлургия, 1983. – 120 с.
9. Richly O. Aluminium / O. Richly. – 1981. – № 8. – S. 546–548.
10. Winterhager H. Giesserei / H. Winterhager, M. Koch. – 1978. – Bd. 15 – № 19. – S. 505–510.