



УДК 669.018.6/7:533.9

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

В. Л. Найдек, А. В. Наривский

Представлены результаты исследования влияния вакуумно-плазменной обработки расплава на эффективность рафинирования, структуру и прочностные характеристики алюминиевых сплавов.

Results of investigation of effect of vacuum-plasma treatment of melt on effectiveness of refining, structure and strength characteristics of aluminium alloys are presented.

Ключевые слова: вакуум; плазма; струя; расплав; рафинирование; микроструктура; интерметаллиды; оксиды; продувка

Эффективным методом рафинирования сплавов от вредных и избыточных примесей является вакуумирование расплава. Однако при вакуумной обработке в качестве единственной операции не всегда достигается требуемый уровень очистки от газов, неметаллических включений и вредных примесей. Кроме того, для вакуумирования металлических расплавов требуется сложное оборудование, при этом возникают трудности, связанные с герметизацией вакуумных камер и отдельных узлов в установках, эксплуатируемых при высоких температурах. Этим можно объяснить некоторое снижение за последние два десятилетия интереса к использованию процессов вакуумирования цветных сплавов.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработан способ обработки жидкого металла [1], при котором герметизацию вакуумной камеры осуществляют рафинируемым расплавом. Новая технология позволяет производить вакуумно-плазменную обработку цветных сплавов при порционном и непрерывном режимах разливки металла с помощью простых устройств (рис. 1). Работающий плазматрон вместе с камерой погружают в расплав, после чего включают вакуумный насос или подают сжатый воздух на эжектор. Под действием разрежения металл поднимается на определенную высоту в зависимости от остаточного давления в камере. Вакуумное уплотнение камеры обеспечивается за счет расплава, в который она заглублена.

Диаметр камеры и расположение сопла плазматрона выбирают таким образом, чтобы все пузырьки газа при продувке металла попадали в камеру. В этом случае поверхность расплава за пределами камеры находится в спокойном состоянии; оксидная пленка или наведенный на ее поверхности флюс препятствуют поступлению водорода из атмосферы в расплав при рафинировании.

Необходимые для обработки сплава реагенты предварительно загружают в дозатор, а затем подают в камеру в процессе рафинирования металла. Реагенты поступают в верхние слои вакуумируемого расплава, где при продувке газовыми струями

достигается самая высокая интенсивность массообмена. В результате вводимые добавки хорошо замешиваются и равномерно распределяются в металле.

Исследование эффективности процесса вакуумно-плазменной обработки расплава проводили на алюминиевом сплаве АК7. Металл массой 80 кг плавил и обрабатывали в печи сопротивления. С целью сравнения расплав рафинировали четырьмя способами в течение 10 мин при одинаковом расходе аргона 0,48... 0,50 м³/ч: продували холодной или плазменной струей при атмосферном давлении или в условиях низкого вакуума. Об эффективности указанных способов рафинирования расплава и физико-механических свойствах металла можно судить по данным, представленным в таблице.

После продувки расплава при атмосферном давлении холодной струей аргона содержание водорода в сплаве снижается до 0,30 см³/100 г, а плазменной — до 0,18 см³/100 г. При создании небольшого разрежения (остаточное давление 6 кПа) в камере над расплавом при обработке его газовыми струями степень дегазации сплава увеличивается на 35... 40 % по сравнению с рафинированием металла в атмосферных условиях.

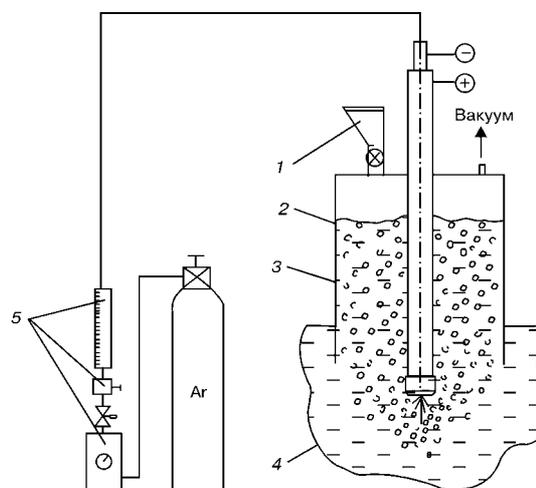


Рис. 1. Схема процесса вакуумно-плазменной обработки расплава: 1 — дозатор реагентов; 2 — плазматрон; 3 — камера; 4 — расплав; 5 — система подвода газа

© В. Л. НАЙДЕК, А. В. НАРИВСКИЙ, 2005

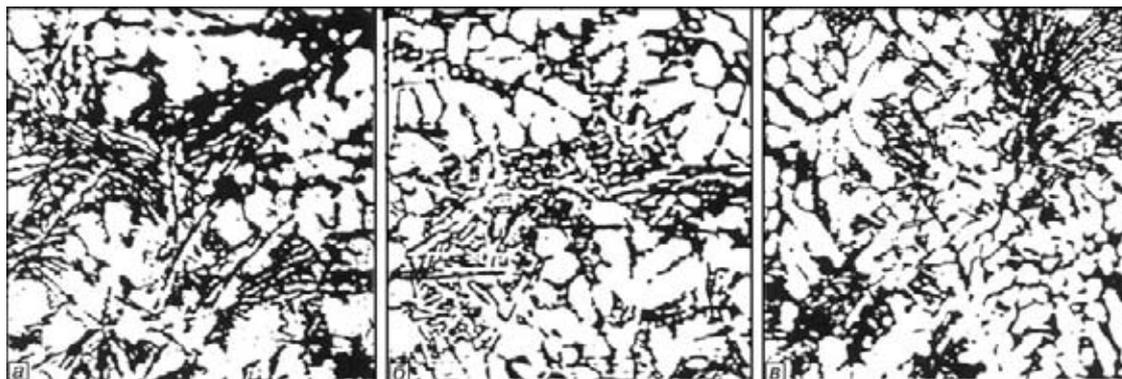


Рис. 2. Микроструктура ($\times 100$) сплава АК12 + 80 % стружки в исходном состоянии (а) и после обработки в течение 10 (б) и 20 мин (е): а — $\sigma_b = 138$ МПа, $\delta = 1,2$ %; б — $\sigma_b = 147$ МПа, $\delta = 1,9$ %; е — $\sigma_b = 160$ МПа, $\delta = 2,6$ %

Зависимость содержания водорода, оксидных включений в сплаве и его прочностных характеристик от способа обработки расплава

Способ обработки	[H], см ³ /100 г	[Al ₂ O ₃], %	σ_b , МПа	δ , %
Без обработки	0,58	0,046	178	3,3
При атмосферном давлении	0,30	0,024	190	3,8
	0,18	0,020	212	5,5
В вакууме с остаточным давлением 6 кПа	0,21	0,029	203	4,2
	0,11	0,016	218	5,3

Примечание. В числителе — при обработке холодной струей аргона; в знаменателе — плазменной струей.

Загрязненность сплава неметаллическими включениями при вакуумировании практически не изменяется, а после обработки металла холодной струей аргона в вакууме она повышается, по сравнению с обычной продувкой. Это обусловлено тем, что при снятии остаточного давления вакуума оксидные включения вместе с металлом из камеры снова попадают в ванну. В случае непрерывного рафинирования расплава в потоке металла указанный недостаток исключается. При порционной обработке сплавов (в ковше, плавильном агрегате и др.) на поверхность жидкого металла в камеру подают флюс, который препятствует возвращению оксидов в расплав.

В процессе вакуумно-плазменного рафинирования металла измельчается структура сплавов. Это хорошо видно на примере сплава АК12, который, как известно, не поддается упрочнению термообработкой. Микроструктура силумина, выплавленного из низкосортной шихты, содержащей 80 % стружки, после обработки расплава с разной продолжительностью представлена на рис. 2. Благодаря продувке металла плазменной струей в течение 10 мин уменьшаются размеры структурных составляющих в сплаве и повышаются его прочностные характеристики. Микроструктура его при этом отличается значительной измельченностью. С увеличением времени обработки расплава до 20 мин микроструктура сплава измельчается в большей степени, а колонии эвтектики равномернее распределяются между α -твердым раствором. При этом прочность и относительное удлинение металла повышаются до значительных, определенных для данного сплава государственным стандартом.

Структурные изменения в сплаве обусловлены наличием высокотемпературного объема расплава в зоне истечения плазменной струи. В перегретом

объеме сплав подвергается термовременной обработке, препятствующей образованию в нем интерметаллидных фаз [2]. Кроме того, под температурным воздействием плазменной струи («тепловой удар») в расплаве могут разрушаться интерметаллиды и оксидные включения. В локальных объемах металла вблизи сопла плазматрона возможно также испарение компонентов сплава с последующим охлаждением паров («конденсацией») при удалении от зоны истечения струи. В случае охлаждения паров в расплаве образуются частицы «конденсата» и микрообъемы, которые в зависимости от размеров способствуют кристаллизации сплава и служат, подобно оксидным включениям, зародышами для пузырьков водорода. Остальным микрообъемы могут кратковременно находиться в расплаве в виде отдельных группировок с большим количеством активированных атомов [3], в результате чего изменяется строение расплава и структура сплава в литом состоянии [4]. С увеличением времени обработки сплава возрастает объем металла, на который оказывает высокотемпературное воздействие плазменная струя, и более полно протекают указанные процессы в расплаве.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что вакуумно-плазменная обработка расплава позволяет одновременно с рафинированием модифицировать сплавы без использования специальных реагентов и флюсов. Глубинная обработка расплава плазмой также способствует уменьшению или устранению негативного влияния наследственности шихтовых материалов на свойства цветных сплавов. Применение такого способа обработки перспективно в рециклинговых технологиях, а также в процессе непрерывной разливки металла, где время газореагентного взаимодействия в расплаве ограничено.

1. Пат. 69091А Украина. Способ обработки жидкого металла / В. Л. Найдек, А. В. Наривский, Н. С. Ганжа и др. — Оpubл. 16.08.2004; Бюл. № 8.
2. Новохатский И. А., Архаров В. И., Ладьянов В. И. К механизму структурных превращений в жидких металлах // ДАН СССР. — 1982. — 267, № 2. — С. 367–369.
3. Еришов Г. С., Позняк Л. А. Микронеоднородность металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1985. — 216 с.
4. Найдек В. Л., Наривский А. В. Влияние способа обработки расплава на структуру и свойства алюминиевых сплавов // Литейное пр-во. — 2003. — № 9. — С. 2–3.

Физико-технический ин-т металлов и сплавов
НАН Украины, Киев
Поступила 10.12.2004