

Найдек В. Л., Наривский А. В.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Показано влияние вакуумно-плазменной обработки расплава на процесс дегазации, структуру и прочностные характеристики деформируемых алюминиевых сплавов, полученных из шихты с разным содержанием металлоотходов.

Ключевые слова: алюминий, расплав, обработка, сплавы, структура, дегазация, шихта, металлоотходы.

Одной из основных тенденций в развитии цветной металлургии является расширение объемов применения вторичного алюминия, который все больше заменяет в изделиях первичный. В развитых странах доля вторичного алюминия в общем потреблении превышает 30 %, при этом качество его 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 данной работе приведены результаты исследований по влиянию вакуумно-плазменной обработки расплава на процесс дегазации, структуру и механические свойства алюминиевых сплавов АД 31 (ГОСТ 23855-79), полученных из разной шихты.

Для приготовления сплавов использовали стандартные чушки и разное количество металлоотходов. Половину этих отходов составляли бывшие в эксплуатации строительные конструкции (уголки, профили), остальное – прессостатки после экструзионного получения изделий из сплава АД 31. Химический состав шихтовых материалов, из которых получали сплавы представлен в таблице.

Шихту с разным содержанием отходов плавил в печи сопротивления с тиглем из чугуна емкостью 100 кг. Перед каждой плавкой тигель чистили и окрашивали краской фирмы «SCHAFER GmbH»

Химический состав шихтовых материалов

Материал	Содержание элементов, %мас.									
	Cu	Si	Mn	Zn	Mg	Fe	Ni	Cr	Ti	Al
Чушка	0,027	0,513	0,017	0,022	0,376	0,24	0,002	0,002	0,029	98,772
Отходы	0,184	0,422	0,01	0,024	0,412	0,168	0,002	0,003	0,043	98,732

(Германия). Обработку жидкого металла проводили в течение 10 мин при температуре 730-735 °С по схеме (рис. 1). Расплав продували плазменной или холодной газовой струей при одинаковом расходе аргона 7,5 л/мин и остаточном давлении в вакуумной камере 8 КПа. Холодный аргон подавали в глубь металла через отключенный от источника тока плазмотрон. Вакуумно-плазменную обработку сплава проводили при напряжении на плазмотроне 35-40 В и токе 550-560 А.

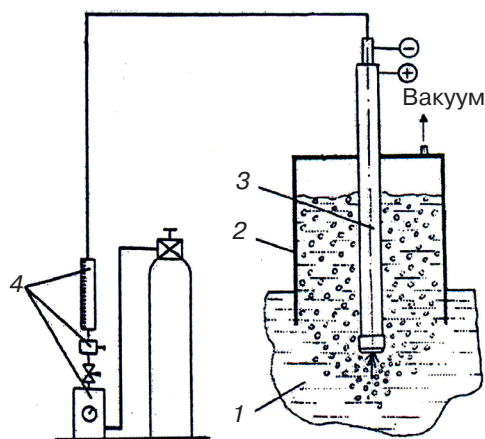


Рис. 1. Схема вакуумно-плазменной обработки жидкого металла: 1 – расплав; 2 – камера вакуумная; 3 – плазмотрон; 4 – система подачи газа в плазмотрон

Сплавы рафинировали в условиях, приближенных к процессу непрерывной их разливки.

Металл при температуре 725-730 °С заливали в нагретые до 250 °С кокили без выстаивания его после рафинирования. Из полученных отливок изготавливали образцы для исследований (рис. 2).

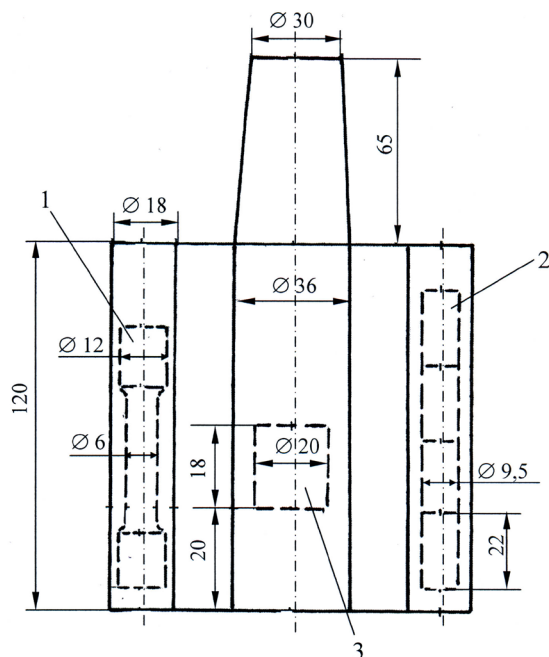


Рис. 2. Схема отливки и отбора образцов для: 1 — механических испытаний; 2 — определения содержания водорода в металле; 3 — исследования структуры сплавов

Содержание водорода в сплавах определяли по результатам измерений его в 4-х образцах из одной отливки на установке RHEN-602 фирмы «LECO». Микроструктуру сплавов исследовали на микроскопе «Неофот-2» при увеличении до 400 крат, макроструктуру — с помощью микроскопа МБС-9 при увеличении 8 крат. Механические свойства литого металла определяли на «гагаринских» образцах при комнатной температуре.

Из рис. 3. видно, что с увеличением доли металлоотходов в шихте до 80 % содержание водорода в сплавах повышается в 2,3-2,4 раза. Рафинирование расплава холодным аргоном в вакууме позволяет снизить концентрацию водорода в сплавах на 42-45 %. При вакуумно-плазменной обработке дегазация сплавов проходит эффективнее и содержание водорода в них уменьшается на 61-64 %.

Остаточная концентрация водорода в закристаллизованных сплавах зависит от качества шихтовых материалов. После вакуумно-плазменной обработки полученного из чушки сплава содержание водорода в нем снижается до 0,13 см³/100 г. По мере увеличения доли металлоотходов в шихте до 30, 50 и 80 % остаточная концентрация водорода в сплавах повышается до 0,17; 0,20 и 0,25 см³/100 г соответственно.

После плазменного рафинирования в вакууме остаточное содержание водорода в сплавах на 30-38 % ниже, чем в обработанных холодным аргоном. Это достигается за счет увеличенных объема и поверхности пузырей рафинирующе-

го газа в расплаве при плазменной обработке. По результатам физического моделирования определили, что при расходе аргона 7,5 л/мин, которым обрабатывали сплавы, площадь межфазной поверхности пузырей в реакционной зоне плазменной струи составляет 84 см², а холодной — не превышает 23. Также при глубинной обработке сплавов плазменной струей интенсифицируется массоперенос водорода в жидком металле и через границу раздела в нагретые пузыри аргона [1].

Водород в алюминиевых расплавах при наличии оксидов может находиться в двух состояниях: растворенном и связанном в комплексы H₂-Al₂O₃. Образование таких комплексов авторы работ [2-4] объясняют предположением о том, что водород и оксиды в жидком металле находятся в виде заряженных частиц. В то же время известно, что при температурах расплава выше 600 °С оксиды алюминия хорошо адсорбируют водород [5]. Поэтому более вероятным является образование указанных комплексов за счет адсорбционного осаждения водорода на поверхности оксидов. Теплота адсорбции водорода на включениях Al₂O₃ при этом не превышает 12 ккал/моль [6], что свидетельствует о низкой прочности такой связи.

При повышенных (≈ 1000 °С) температурах в алюминиевых сплавах происходит превращение γ-Al₂O₃ в корунд (α-Al₂O₃) [7]. Образующийся в расплаве корунд полностью теряет адсорбционные свойства по отношению к водороду [5]. В результате этого дегазация сплавов с оксидами в виде корунда происходит так же, как и чистого металла [8]. В перегретом плазменной струей объеме металла (на 400-600 °С выше среднемассовой температуры) низкотемпературная форма оксидов превращается в корунд более интенсивно.

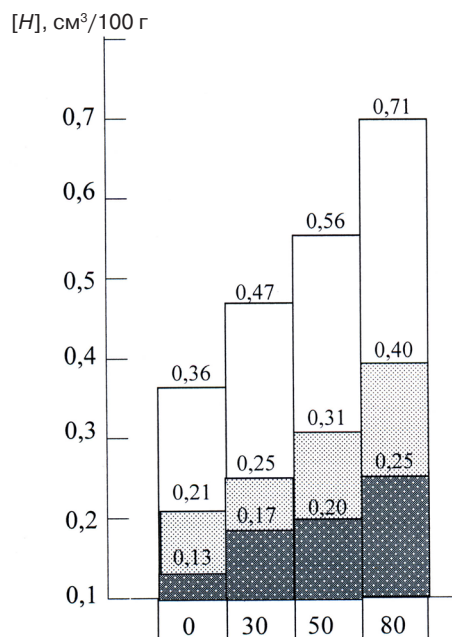


Рис. 3. Концентрация водорода в сплавах после обработки их в вакууме: □ — без обработки; ▒ — холодным аргоном; ■ — плазменной струей

В результате этого водород удаляется из сплавов более эффективно по сравнению с обработкой расплава холодным аргоном, при которой образование корунда затруднено или исключается полностью.

В процессе дегазации из жидкого металла удаляются оксидные включения. При вакуумировании алюминиевых сплавов с концентрацией водорода в них на уровне растворимости из расплава удаляются относительно крупные оксиды. При газовом перемешивании расплава в вакууме из него могут выносятся и более мелкие включения. В процессе вакуумно-плазменного рафинирования сплавов из них удаляется до 60 % оксидов [10].

Дисперсные оксиды, которые остаются в расплаве, способствуют зародышеобразованию в сплавах, а их количество зависит от загрязненности шихтовых материалов. Поэтому с увеличением содержания металлоотходов в шихте размеры структурных составляющих в сплавах уменьшаются (рис. 4). Средний размер (L_{cp}) зерен в сплаве из чушки составляет 68 мкм. При до-

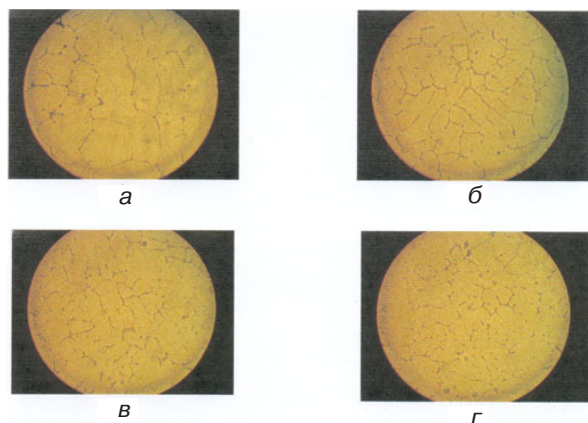


Рис. 4. Микроструктура (x400) нерафинированных сплавов из шихты с содержанием металлоотходов, %мас.: 0 (а); 30 (б); 50 (в); 80 (г)

бавлению в шихту металлоотходов в количестве 30, 50 и 80 % величина зерна в сплавах уменьшается до 57, 49 и 36 мкм соответственно (рис. 5).

После обработки расплава холодным аргоном в вакууме L_{cp} в сплаве из чушки уменьшается до 62,0 мкм, а в сплавах из шихты с 30 и 50 % отходов – до 55,0 и 47,5 мкм. Вакуумирование перемешиваемого аргоном расплава из шихты с 80 % металлоотходов слабо влияет на структуру сплава и L_{cp} в нем практически не изменяется.

В сплавах, обработанных плазменной струей в вакууме, величина зерна зависит от качества шихты и L_{cp} на 3,5-15,0 % меньше по сравнению с продувкой расплава холодным аргоном. Это можно объяснить, во-первых, разной интенсивностью перемешивания сплавов, под действием которого уменьшается масштаб микрогруппировок в расплаве. Мощность перемешивания жидкого металла плазменной струей в 4,0-4,5 раза больше по сравнению с холодной [1]. Поэтому в процессе плазменного рафинирования раз-

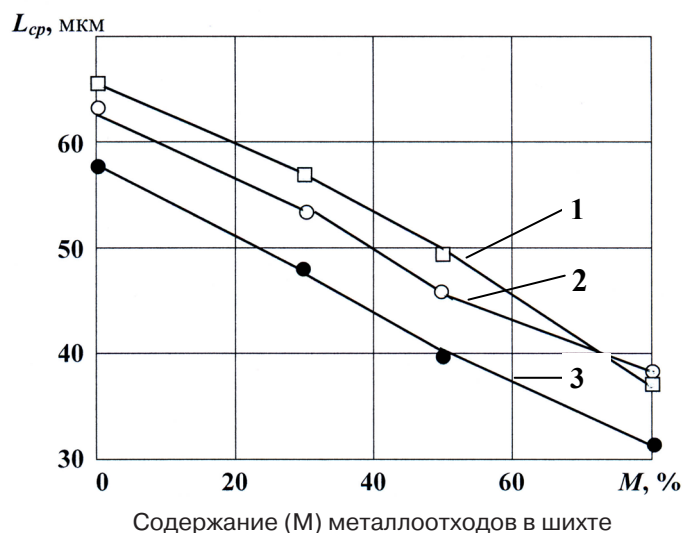


Рис. 5. Средний размер зерна в сплавах после обработки расплава в вакууме: 1 – без обработки; 2 – холодной струей аргона; 3 – плазменной струей

рушение микрогруппировок в расплаве происходит интенсивнее и уменьшаются их размеры. Во-вторых, при плазменной обработке в сплавах могут образовываться дополнительные дисперсные включения за счет разрушения интерметаллидов и оксидов под воздействием высокотемпературной струи («тепловой удар»). При этом уменьшается негативное влияние железа на свойства сплавов за счет дробления его соединений в расплаве.

Наряду с указанным в реакционной зоне плазменной струи происходит испарение компонентов сплава. Образующиеся пары металлов при выходе из реакционной зоны плазменной струи быстро охлаждаются до среднemasсовой температуры металла («конденсируются»). Частицы такого «конденсата» способствуют возникновению пузырьков водорода в расплаве и интенсифицируют процесс зародышеобразования в сплавах. В зависимости от энергетических параметров плазмотрона масса испарившихся компонентов в сплаве может изменяться в широких пределах. Так, за одну минуту обработки алюминиевого сплава АК7 погружным плазмотроном мощностью 18-20 кВт в глубинных слоях ванны испаряется до 0,18 кг металла [1].

Изменения, которые происходят в расплаве и структуре сплавов при разных способах их обработки, оказывают влияние на механические свойства литого металла (рис. 6). С повышением содержания отходов в шихте предел прочности на разрыв в нерафинированных сплавах уменьшается. Относительное удлинение сплавов из шихты с содержанием отходов до 60 % составляет 20-22 %. Дальнейшее добавление содержания металлоотходов в шихту приводит к снижению пластичности металла.

После рафинирования расплава холодным аргоном в вакууме прочность сплавов увеличивается на 3-6 % при их относительном удлинении 16-20 %. Вакуумно-плазменная обработка

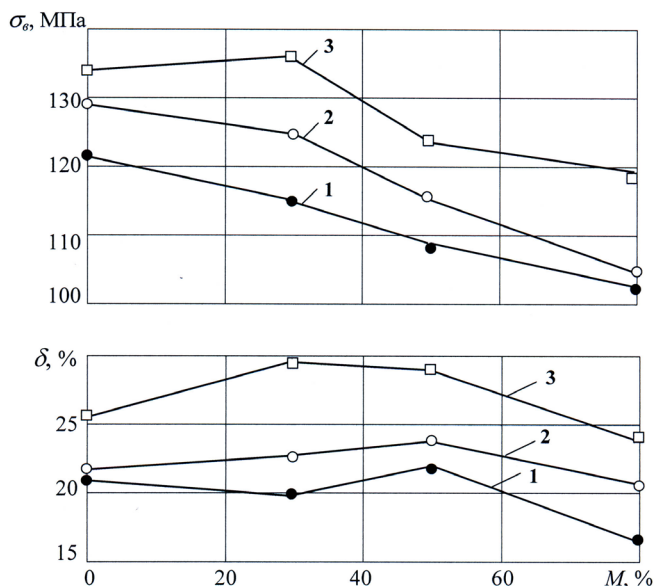


Рис. 6. Прочностные характеристики сплавов из шихты с разным содержанием металлоотходов: 1 – без обработки; 2 – рафинированные аргоном в вакууме; 3 – после вакуумно-плазменной обработки

расплава позволяет повысить предел прочности на разрыв в сплавах на 10-14 %, пластичность – на 23-32.

Повышенные значения механических свойств металла после обработки его плазмой в вакууме обусловлены эффективным рафинированием сплавов и измельчением структурных составляющих в них. Кроме этого, при плазменном рафинировании расплав подвергается термовременной обработке в реакционной зоне высокотемпературной струи, что также способствует повышению прочностных характеристик в литом металле.

Выводы

Представленные данные свидетельствуют о том, что вакуумно-плазменная обработка расплава позволяет получить прочностные характеристики в деформируемых сплавах на уровне гостированных (металл из чушки) при содержании отходов в шихте до 80 %. При рафинировании металла холодным аргоном в вакууме такие значения свойств достигаются в сплавах из шихты, количество металлоотходов в которой не превышает 50 %.



ЛИТЕРАТУРА

1. Найдек В. Л., Наривский А. В. Повышение качества отливок из алюминиевых и медных сплавов плазмореагентной обработкой их расплавов. – Киев: Наук. думка, 2008. – 184 с.
2. Чернега Д. Ф., Бялик О. М., Иванчук Д. Ф., Ремизов Г. А. Газы в цветных металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
3. Альтман М. Б. Неметаллические включения в алюминиевых сплавах. – М.: Металлургия, 1965. – 127 с.
4. Постников Н. С., Черкасов В. В. Прогрессивные методы плавки и литья алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
5. Егоров М. М. О природе поверхности каталитически активной окиси алюминия // Докл. АН СССР, – 1961. Т. 140. – № 2. – С. 401-404.
6. Топчиева К. В., Московская Н. Ф. Хемосорбция водорода на алюмосиликатах и окислах алюминия и кремния // Вестник МГУ. Химический раздел. – 1960. – № 2. – С. 22-26.
7. Ветчинкина Т. Н. Исследование физико-химических свойств оксида алюминия, полученного щелочным и кислотным способами // Металлы. – 2009. – № 2. – С. 30-40.
8. Пименов Ю. П. Изучение чистоты алюминия по неметаллическим включениям при обработке его в жидком состоянии // Технология легких сплавов (ВИЛС). – 1967. – № 2. – С. 29-36.
9. Котлярский Ф. М., Борисов Г. П., Бялик О. М., Дука В. М. Водородное рафинирование алюминиевых сплавов от твердых неметаллических включений // Процессы литья. – 2008. – № 4. – С. 48-55.
10. Найдек В. Л., Наривский А. В. Технологический процесс вакуумно-плазменной обработки неметаллических расплавов // Современная спецэлектрометаллургия. – 2005. – № 1. – С. 33-34.

НАЙДЕК В. Л., НАРИВСЬКИЙ А. В. Вплив вакуумно-плазмової обробки розплаву на структуру та властивості алюмінієвих сплавів, що деформуються

Показано вплив вакуумно-плазмової обробки розплаву на процес дегазації, структуру та міцнісні характеристики алюмінієвих сплавів, що деформуються, які одержані із шихти з різною кількістю металовідходів.

NAYDEK V., NARIVSKY A. Influence of the vacuum-plasma treatment of fusion on structure and properties of the deformed aluminium alloys

The effect of vacuum-plasma treatment of the melt on the process of degassing, structure and strength characteristics of the wrought aluminium alloys smelted from a charge with different contents of metal wastes is showed.