
ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 621.747:669.356:533.9

А. В. Наривский, д-р техн. наук, директор института,
e-mail: opprs@ptima.kiev.ua

В. А. Туник, аспирант

О. А. Наривский, гл. технолог

В. В. Перехода, ведущ. инженер

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ ОБРАБОТАННОЙ ПЛАЗМОЙ БРОНЗЫ

Представлены результаты исследования процессов дегазации сплава, формирования структуры свойств отливок из бронзы, которую обрабатывали заглубленной в расплав плазменной струей.

Ключевые слова: расплав, бронза, плазма, рафинирование, микроструктура, свойства.

Представлено результати дослідження процесів дегазації сплаву, формування структури і властивостей виливок із бронзи, яку обробляли плазмовим струменем, зануреним у розплав.

Ключові слова: розплав, бронза, плазма, рафінування, микроструктура, властивості.

The results of study of the processes of degassing of the alloy, forming the structure and properties in bronze castings, processed a plasma jet submerged into melt are presented.

Keywords: melt, bronze, plasma, refining, microstructure, properties.

С помощью разных воздействий на расплав можно эффективно рафинировать сплавы от газов и избыточных компонентов, а также эффективно их легировать и модифицировать. При направленных на сплавы воздействиях изменяется строение жидкого металла и формируется заданная кластерная структура в нем. В результате этого интенсифицируются процессы аморфизации и структурообразования в сплавах, повышаются прочностные и эксплуатационные характеристики литого металла.

В данной статье рассмотрены процесс рафинирования расплава от водорода, структура и свойства отливок из бронзы БрА9ЖЗЛ, которую плавил в индукционной печи ИСТ-016 с графитовым тиглем. Перед заливкой в формы сплав обрабатывали в печи погруженным в жидкий металл плазмотроном мощностью ~20 кВт при расходе аргона 6–7 л/мин. Время продувки расплава плазменной струей изменяли от 5 до 25 мин. После каждой продувки расплав выдерживали 10 мин и сливали его из печи в разливочный ковш. Металл при температуре 1135–1140 °С заливали ковшом в сухие песчаные формы, в которых получали цилиндрические отливки

($\varnothing = 30, l = 250$ мм). Из отливок изготавливали образцы для исследования структуры и прочностных характеристик сплава.

Вначале изучили влияние времени выдержки расплава после обработки его плазмой на степень рафинирования бронзы от водорода. Для этого рафинированный сплав выдерживали в печи 5, 10, 15 и 20 мин. После выстаивания металл заливали в медный кокиль и получали образцы ($\varnothing = 6, l = 100$ мм). Содержание водорода в бронзе определяли методом вакуум-плавления этих образцов. Среднее значение концентрации водорода в сплаве рассчитывали по результатам 3-х измерений на образцах (табл. 1).

Таблица 1

Содержание водорода в бронзе при разном времени выдержки расплава после плазменного рафинирования

Время выдержки, мин	Сплав до обработки	5	10	15	20
Содержание водорода в сплаве, см ³ /100 г металла	0,46	0,28	0,17	0,16	0,18

Видно, что после выстаивания в печи обработанного плазмой расплава в течение 10–20 мин достигается самая низкая (0,16–0,18 см³/100 г) концентрация водорода в отливках из бронзы. Поэтому для эффективного удаления газов из сплава после продувки плазменной струей металл перед заливкой в форму необходимо выдерживать в печи или ковше не менее 10 мин.

На втором этапе исследовали структуру и свойства литого металла после разной продолжительности обработки бронзы плазмой. Для этого сплав продували заглубленной в расплав плазменной струей в течение 5, 10, 15, 20 и 25 мин. После каждой обработки металл выдерживали в печи 10 мин и получали из него отливки в песчаных формах.

Микроструктура исходной бронзы (рис. 1, а) содержит α -твердый раствор, средний размер микрозерна в котором составляет 46 мкм, а также β - и γ -фазы. Включения γ -фазы образуются в результате распада β -фазы в бронзах, легированных алюминием в количестве 9,4–12 %мас. Распад и выделение γ -фазы в структуре этих бронз происходит при температуре ~ 565 °С и медленном охлаждении сплава

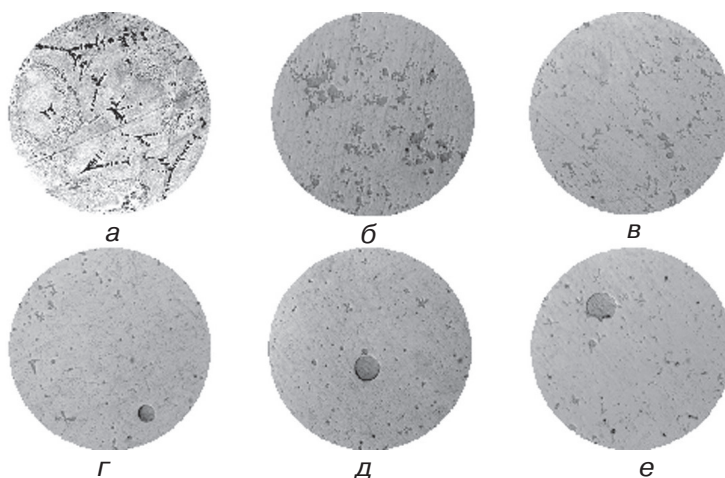


Рис. 1. Микроструктура бронзы после разной продолжительности обработки расплава плазмой, мин: а – без обработки; б – 5; в – 10; г – 15; д – 20; е – 25, $\times 200$

Получение и обработка расплавов

(в нашем случае отливки затвердевали в сухих песчаных формах). Образование в бронзе таких включений в виде непрерывных цепочек значительно снижает пластичность литого металла.

После продувки расплава плазменной струей в течение 5 мин структурные составляющие в бронзе диспергируются и равномернее распределяются в отливке (рис. 1, б). Средний размер α -фазы в сплаве при этом уменьшается в 1,5 раза (от 46 до 30 мкм), а дендритной ячейки – от 35 до 32 мкм (табл. 2).

Таблица 2
Величина структурных составляющих в сплаве после обработки расплава плазмой

Время обработки, мин	Средний размер, мкм			
	α -твердый раствор	$(\alpha + \beta)$ -фаза	β -фаза	дендритная ячейка
0	46	4	5	35
5	30	4	3	32
10	22	6	3	23
15	18	5	4	16
25	16	6	4	17

С увеличением времени обработки расплава плазмой степень диспергирования структуры в бронзе повышается. Так, после продувки расплава плазменной струей в течение 10 мин средний размер микрозерна в α -твердом растворе уменьшается от 46 до 22 мкм (на 52 %), дендритной ячейки – на 34 % (рис. 2, в). Это обусловлено тем, что при более продолжительной обработке сплава увеличивается масса расплава, которая проходит через высокотемпературную зону плазменной струи. В результате этого изменяются в большей мере строение расплава, структура и свойства сплава. После обработки плазмой расплава в течение 20–25 мин средний размер α -твердого раствора в структуре бронзы уменьшается в 2,7–3,0 раза, дендритной ячейки – на 51–54 % (рис. 1, д, е).

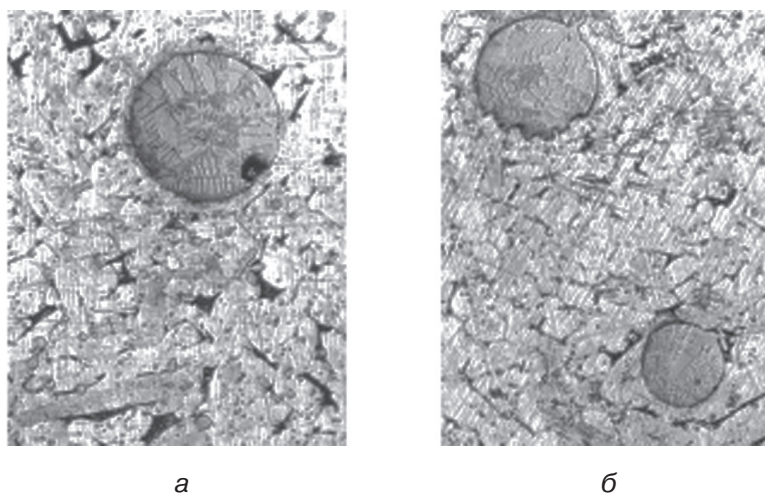


Рис. 2. Микроструктура бронзы и включений в ней после обработки расплава плазмой в течение 15 мин (а) и 20 мин (б), $\times 200$

Получение и обработка расплавов

Дисперсность смешанной ($\alpha+\beta$) и отдельной β -фазы в бронзе мало зависит от продолжительности плазменной обработки сплава. Средняя величина этих фаз не превышает 4–6 мкм (табл. 2). По мере увеличения времени обработки металла плазмой наблюдаются незначительные изменения фазового состава в структуре бронзы. После плазменной обработки в течение 5–20 мин объемная доля разных фаз в бронзе составляет: α -твердый раствор – 0,72–0,84; ($\alpha+\beta$)-фазы – 0,11–0,17; β -фаза – 0,05–0,1 % (табл. 3).

Таблица 3
Влияние плазменной обработки на фазовый состав в структуре бронзы

Время обработки расплава, мин	Объемная доля фаз, %		
	α	$\alpha + \beta$	β
0	0,76	0,14	0,10
5	0,78	0,17	0,06
10	0,84	0,11	0,07
15	0,80	0,16	0,05
20	0,72	0,17	0,06

При обработке расплава 15 мин и более в структуре сплава образуются включения компактной формы (см. рис. 1, г, д, е). Химический состав таких включений отличается от основного сплава, о чем свидетельствуют результаты рентгеноспектрального анализа (табл. 4).

Видно, что включения содержат повышенную концентрацию железа и кремния. Эти элементы имеют разную плотность и значительно отличаются температурами испарения. Микро-

Таблица 4
Химический состав включений в бронзе

Элемент	Массовая доля элементов, %		
	Включение 1	Включение 2	Сплав БрА9ЖЗЛ
Алюминий	7,75	9,19	9,91
Кремний	2,53	1,41	0,2
Марганец	0,55	0,52	0,33
Железо	31,51	14,43	2,56
Никель	0,23	0	0,21
Медь	57,44	74,45	86,79
Сумма	100,00	100,00	100,0

структура в закристаллизованных включениях более дисперсная по сравнению с бронзой в отливке (рис. 2). Это свидетельствует о том, что включения затвердевали раньше, чем основной сплав в отливке. Кристаллизация таких включений происходила за счет отвода тепла от них жидким металлом. А если это так, то включения образовались из более перегретого (жидкого, парообразного) состояния сплава по сравнению со среднемассовой температурой металла. Процесс образования рассматриваемых включений в сплаве изучен недостаточно и требует проведения дополнительных исследований.

Степень дегазации сплавов и изменения в их структуре, которые происходят при обработке расплава плазменной струей, оказывают влияние на прочностные свойства отливок. За 5 мин продувки расплава высокотемпературным газом содержание водорода в бронзе снижается от 0,38 до 0,23 см³/100 г металла (табл. 5).

Увеличение продолжительности обработки сплавов плазмой до 10 мин позволяет уменьшить газосодержание в отливках на 68 % (от 0,38 до 0,12 см³/100 г металла). Предел прочности сплава при этом увеличивается на 4 и 22,5 %, относительное удлинение литого металла – в 1,5 и 1,8 раз соответственно.

При дальнейшем увеличении времени продувки расплава плазменной струей до 15–20 мин концентрация водорода в бронзе практически не изменяется по сравнению со сплавом, который обрабатывали 10 мин. Прочностные характеристики литого

Таблица 5

Содержание водорода и свойства бронзы после обработки плазмой

Показатели	Время обработки бронзы плазмой, мин				
	0	5	10	15	20
Содержание водорода в сплаве, см ³ /100 г металла	0,38	0,23	0,12	0,1	–
Предел прочности бронзы при растяжении, МПа	402	418	519	521	526
Относительное удлинение сплава, %	23	34	42	41	45

металла при этом увеличиваются незначительно. Так, прочность бронзы на разрыв повышается на 1 % (до 526 МПа), а относительное удлинение – на 6 % (до 45 %). Необходимо также учитывать, что с увеличением времени обработки расплава плазмой повышаются затраты на проведение операций рафинирования (модифицирования) сплавов. Представленные результаты исследований свидетельствуют о том, что плазменную обработку медных расплавов массой до 0,3 т целесообразно проводить не более 10–15 мин.

Поступила 22.08.2017

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