

УДК 621.745.552:669.356

А. В. Наривский, В. А. Туник, О. А. Наривский, В. В. Перехода
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИННОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВА ПЛАЗМОЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БРОНЗЫ

Исследование проводили на бронзе БрА9ЖЗЛ, которую плавил в индукционной печи с графитовым тиглем. Сплав обрабатывали в печи погруженным в жидкий металл плазмотроном мощностью 20 кВт при расходе аргона ~ 7 л/мин. Время продувки расплава плазменной струей изменяли от 5 до 25 мин. После каждого цикла обработки расплав выдерживали 10 мин и сливали его из печи в разливочный ковш. Металлом при температуре 1140 °С заливали сухие песчаные формы, в которых получали цилиндрические отливки ($\varnothing = 30$ мм, $l = 250$ мм). Из отливок изготавливали образцы для исследования.

Установили, что после плазменной обработки расплава в течение 5 мин уменьшается средний размер α -фазы в сплаве от 46 до 30 мкм, а дендритной ячейки – от 35 до 32 мкм (табл. 1). После 10-минутной обработки расплава плазмой средний размер микрзерна в α -твердом растворе бронзы уменьшается от 46 до 21 мкм (на 54 %), дендритной ячейки – на 34 %. Это объясняется тем, что при увеличении продолжительности обработки сплава возрастает масса металла, который проходит через высокотемпературную зону плазменной струи. Под влиянием более длительных плазменно-кинетических воздействий на расплав изменяются в большей мере его строение, структура и свойства сплава. Так, в обработанной плазмой бронзе в течение 15-20 мин средний размер микрзерна α -твердого раствора уменьшается на 60-65 %, дендритной ячейки – на 51-54 % (табл. 1).

Таблица 1. – 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

Средний размер смешанной $(\alpha+\beta)$ и отдельной β -фазы в бронзе слабо зависит от продолжительности обработки расплава плазмой и не превышает 4-6 мкм (табл. 1). По мере увеличения времени продувки металла плазменной струей фазовый состав сплава также не изменяется. В бронзе, обработанной плазмой в течение 5-20 мин, объемные доли структурных составляющих находятся на уровне: α -твердого раствора – 0,72-0,84 %; $(\alpha+\beta)$ - фазы – 0,11-0,17 %; β -фазы – 0,05-0,1 % (табл. 2).

Таблица 2.– Влияние плазменной обработки на фазовый состав бронзы

Время обработки, мин	Объемная доля фаз в сплаве, %		
	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 более 10 мин в структуре сплава образуются включения компактной формы (рис. 1). Химический состав таких включений отличается от основного сплава (табл. 3). Видно, что включения содержат повышенную концентрацию железа и кремния по сравнению с основным сплавом. Эти элементы имеют разную плотность и значительно отличаются температурами испарения. Можно предположить, что такие включения могут образоваться в бронзе при слиянии газовых пузырей с разным содержанием в них парообразных элементов. Концентрация элементов в пузырях будет определяться поверхностными явлениями на границе раздела «расплав – газовая фаза». В зависимости от температуры пограничного слоя в газовую фазу может поступать разное количество парообразных элементов.

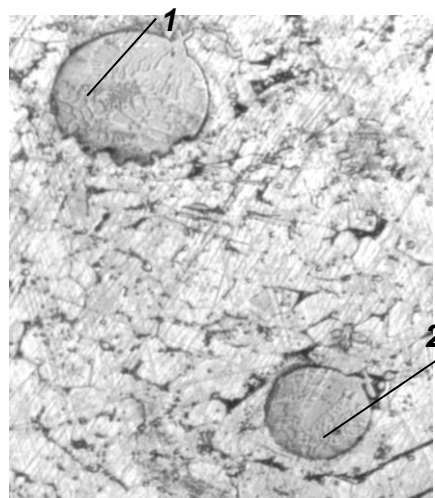


Рис. – Микроструктура (× 200) бронзы и включений в отливке после обработки расплава плазмой в течение 20 мин.

Микроструктура в закристаллизованных включениях более дисперсная, чем в отливке (рис.). Из этого следует, что формирование структуры во включениях происходило раньше, чем затвердевал основной сплав. Если это так, то структурные составляющие включений образовались из более перегретого (жидкого, парообразного) состояния по сравнению со среднемассовой температурой расплава.

Таблица 3. – Химический состав включений в бронзе

Элемент	Массовая доля, %		
	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

Процесс образования таких включений в медном сплаве требует уточнения и проведения дополнительных исследований.

Изменения в структуре и дегазация сплава, которые происходят при обработке расплава плазменной струей, оказывают влияние на прочностные свойства отливок (табл. 4).

Таблица 4. – 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	0,13
Предел прочности бронзы при растяжении, МПа	402	418	519	521	526
Относительное удлинение сплава, %	23	34	42	41	45

Предел прочности сплава при растяжении после обработки расплава плазмой в течение 5 и 10 мин 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 и свойства литого металла практически не изменяются по сравнению со сплавом, который обрабатывали 10 мин. Прочность бронзы на разрыв при этом повышается до 526 МПа, а относительное удлинение – до 45 %.

С увеличением времени обработки расплава плазмой повышаются энергозатраты на проведение технологических операций. Учитывая это и незначительное влияние продолжительности обработки металла на процесс дегазации и свойства сплавов, плазменную обработку медных расплавов массой до 0,3 т целесообразно проводить не более 10-15 мин.