

силицидами, а последующий ввод кремния не приводит к увеличению их объемной доли. Это объясняется тем, что кремний связывает все количество марганца и железа в силициды стехиометрического соотношения.

Из рис. 2 видно, что на участке с содержанием кремния 0–0,5 % начинает увеличиваться средний размер силицидных частиц. На участке 0,5–2,2 % средний размер их практически не изменяется (4–5 мкм), и после того как в образце с 2,2 % кремния начинают появляться игольчатые частицы, средний размер силицидов начинает снова увеличиваться. Средний размер частиц в образце с 2,7 % кремния достигает 17 мкм.

График зависимости расстояния между силицидами от содержания кремния (см. рис. 3) похож по поведению кривой на график влияния содержания кремния на объемную долю силицидов (см. рис.2). Это можно объяснить следующим образом: по мере роста силицидных частиц начинает увеличиваться расстояние между ними. По-видимому, кремний и железо образуют структуры ближнего порядка, и кремний связывает зародышевые центры (частички железа). В результате происходит огрубление структуры, а иглы вырастают размером порядка одного миллиметра.

Замер твердости лабораторных слитков позволил установить, что более сильное легирование сплава кремнием приводит к увеличению его твердости. Видимо, первоначально это связано с ростом в сплаве объемной доли и размеров силицидов, а впоследствии и с увеличением количества кремния в матричных фазах.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод: размеры силицидов непосредственно зависят от степени легирования сплава кремнием.

**И.А. Вайс, С.В. Брусницын,
Ю.Ю. Юрьев, М.В. Вавилова,
А.А. Телегин**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ПЛАВКИ И ЛИТЬЯ ХРОМЦИРКОНИЕВЫХ БРОНЗ

Хромциркониевые бронзы относятся к наиболее распространенным медным сплавам, что обусловлено свойствами, которыми они обладают. Основным из них является электропроводность. Сравнительно высоки

пластические свойства в широком температурном интервале, что способствует широкому применению хромциркониевых бронз. Высокие механические, эксплуатационные свойства также привлекают потребителя к данным сплавам. Эти бронзы относятся к группе низколегированных медных сплавов, особенность которых заключается в том, что в их состав входят легирующие элементы – хром, титан, цирконий, обладающие большим сродством к кислороду. Часто они применяются в цветной металлургии как раскислители, а в данном сплаве и как легирующие элементы.

Сложность производства хромциркониевых бронз заключается в том, что допуски по легирующим элементам очень невелики. Тот факт, что все легирующие элементы активно взаимодействуют с кислородом, еще больше усложняет получение качественной продукции. Решение этой задачи возможно только при грамотной разработке технологического процесса плавки и литья.

Легирование меди хромом и цирконием возможно двумя методами: лигатурами и чистыми металлическими материалами. Исследование в данном направлении показывает, что использование лигатур не только повышает стоимость сплава, но и делает его более загрязненным включениями, содержащимися в лигатуре. Кроме того, увеличивается время выдержки в печи металла, что способствует активному взаимодействию расплава с футеровкой печи. В связи с этим во избежание длительного взаимодействия расплава с футеровкой и окружающей атмосферой, плавку необходимо проводить форсированно, что приведет к получению металла с меньшим содержанием кислорода и примесей.

Для уменьшения потерь легирующих компонентов и упрощения технологического процесса получения хромциркониевых бронз целесообразно вводить легирующих компонентов осуществлять чистыми металлами взамен лигатур, несмотря на то что время плавки незначительно увеличивается.

Эксперименты показали, что если размер кусков чистого хрома находится в пределах 10–20 мм, то через 30 мин после ввода хрома его растворение составляет 70–80 %. Причем повышение температуры легируемого расплава с 1300 до 1350 °С приводит к увеличению скорости растворения хрома, и наоборот.

Таким образом, разработан термовременной режим плавки хромовой и хромциркониевой бронзы, основанный на исследовании скорости растворения хрома в меди при условии ее предварительного раскисления. Доказано, что 30–35 мин достаточно для растворения 80 % введенного хрома. Температура расплава в печи до присадки хрома должна быть не ниже 1260–1280 °С, а после присадки 1300–1350 °С.

Вопросы устойчивости литой структуры хромциркониевой бронзы представляет практический интерес, поскольку свойства сплава очень чувствительны к размеру зерен, рост которых при нагреве выше 800 °С приводит к сильному снижению пластичности после термической обработки. Кроме того, существенную роль играет выравнивание состава литых сплавов по сечению слитка, неравномерность которого связана с различными видами микроликвации (дендритная ликвация, наличие эвтектики).

Следует отметить, что образцы, отобранные у поверхности слитка, имеют более дисперсную структуру. Наблюдается значительная ликвация хрома по сечению слитка, которую в значительной степени удастся снизить отжигом при температуре 900–950 °С. Структура литого сплава состоит из α -твердого раствора хрома в меди и интерметаллида Zr_xCu_y .

Для получения оптимального сочетания механических, физических и эксплуатационных свойств, необходимо провести закалку с последующим старением. Холодная деформация между закалкой и старением, а также после старения существенно (на 20–50 %) увеличивает прочностные свойства хромовых бронз, при этом пластичность и электропроводность несколько снижаются.

Качество закалки, в результате которой образуется твердый раствор, максимально пересыщенный хромом, определяется в двойной и тройной хромциркониевой бронзах концентрацией хрома в твердом растворе.

Опыт показал, что наиболее технически оправданным режимом закалки двойных и тройных хромовых бронз следует считать нагрев до 1000–1020 °С с выдержкой при этой температуре 30–60 мин и охлаждением в воде.

Установлено, что температура 450 °С и выдержка при этой температуре 2–4 ч являются параметрами старения, дающими наиболее стабильные свойства для всех двойных сплавов Cu–Cr в пределах легирования от 0,4 до 1,0 % Cr (марочный состав бронзы БрХ).

Для тройной хромциркониевой бронзы БрХЦр, в которой основной фазой, выделяющейся при старении, является хром, температура старения 450 °С также близка к оптимальной.