

УДК 621.74.041:669.35

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАЛИВКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВИНЦОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СВИНЦОВООЛОВЯНИСТОЙ БРОНЗЕ

А.В. Корчмит, Ю.П. Егоров

Томский политехнический университет

E-mail: antonvk@mail2000.ru

Рассмотрены вопросы структурообразования свинцовооловянистой бронзы в зависимости от условий кристаллизации отливки, полученной центробежным способом. Обнаружена связь между дисперсностью свинцовых включений и размером зерен матрицы. Установлены зависимости количества и среднего размера свинцовых включений от температуры заливки в различных сечениях отливки.

Многокомпонентные свинцовооловянистые бронзы (МСОБ) применяют для изготовления ответственных деталей компрессоров сжатия этилена (сегментных уплотнений, поршневых колец и др.). Заготовки для них можно изготавливать различными способами литейного производства: литьем в металлические, земляные, оболочковые, песчаные формы, методом центробежного (ЦБ) литья. Для получения плотных отливок с высокими механическими характеристиками наиболее целесообразно применение метода центробежного литья [1].

МСОБ характеризуются широким интервалом кристаллизации, большой разницей в удельных весах компонентов, а главное, отсутствием смешиваемости меди и свинца в твердом виде и ограниченной растворимостью Cu и Pb в жидком состоянии, в связи с чем данные бронзы склонны к ликвации свинца. На образование структуры и свойств отливок из МСОБ, полученных ЦБ литьем, одновременно оказывают влияние ряд технологических факторов, таких как температура заливки (теплосодержание расплава), теплоаккумулирующая способность формы (скорость охлаждения), скорость вращения изложницы, скорость заливки расплава в изложницу, температура изложницы и некоторые другие. Результаты исследований [2–5] показывают, что формирование свойств МСОБ во многом зависит от температуры заливаемого расплава. Однако в предшествующих работах мало внимания уделялось изучению влияния температуры заливки на формирование структурных составляющих МСОБ, которые в конечном итоге определяют их свойства. Особенно противоречивы результаты исследований ряда авторов [6, 7] по влиянию ЦБ литья на распределение в структуре свинцовой составляющей.

и контролировали быстродействующим оптическим пирометром ТПТ90 с лазерным наведением. Перегретый на 50...80 °С расплав раскисляли фосфористой медью, а затем подстуживали до требуемой температуры и заливали во вращающиеся металлические формы с вертикальной осью вращения при частоте вращения 1000 об/мин. Наружный диаметр получаемых кольцевых отливок – 108 мм; внутренний – 36 мм; высота – 14 мм. Металлографические исследования проводили с применением оптического микроскопа МИМ-8М, цифрового фотоаппарата MDC-1500, и, разработанной на кафедре материаловедения и технологии металлов ТПУ, компьютерной программы обработки изображений "КОИ" [8] для расчета объемной доли и среднего размера частиц структуры. Шлифы вырезали из отлитых колец вдоль оси вращения. Шлифы изучали в двух направлениях: вдоль оси отливки (от периферии к центру) и поперек (от низа отливки до верха), рис. 1. Таким образом, осуществлялось исследование всей площади поперечного сечения отливки, позволяющее выявить закономерности распределения структурных составляющих в разных точках поверхности шлифа.

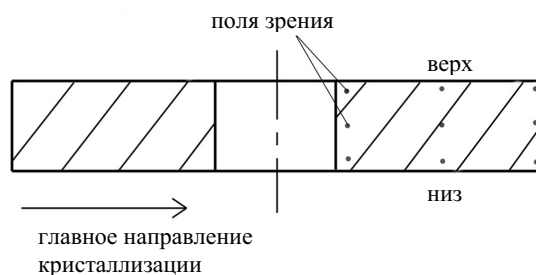


Рис. 1. Схема исследования образца

Таблица. Химический состав бронзы БрОСЦН10-13-2-2, % мас.

Sn	Pb	Zn	Ni	Cu	Раскислитель
9,5...10,0	13,0	2,0	2,0	остальное	0,5

Нами изучалось влияние температуры заливки на размер и распределение свинцовой составляющей в отливках из МСОБ, полученных ЦБ способом. МСОБ получали плавкой в графитовом тигле из технически чистых компонентов. Химический состав бронзы приведен в таблице. Температуру заливки меняли от 950 до 1250 °С с интервалом 50 °С

Микроструктура отливок состоит из матрицы α -твердого раствора олова, цинка и никеля в меди, эвтектоида (механической смеси кристаллов химического соединения $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ + α -твердого раствора) и включений свинца (рис. 2).

Количественная оценка объемной доли и размеров свинцовой составляющей проводили на нетравленных шлифах. Свинец представлен в виде темных включений различной дисперсности, имеющих преимущественно округлую либо зубчатую форму. Рассчитывали свинцовую составляющую по трем полям зрения в каждой точке образца.

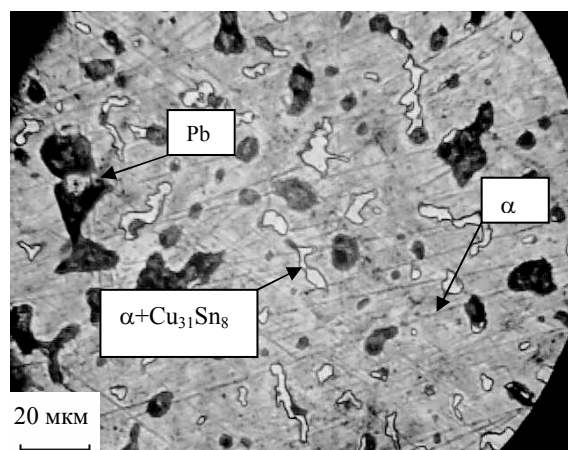


Рис. 2. Микроструктура пятикомпонентной бронзы

Проведенный металлографический анализ микроструктур образцов показал заметное различие в их строении в зависимости от температуры заливаемого расплава. При повышении температуры заливки (рис. 3, а,б) идет измельчение свинцовой составляющей.

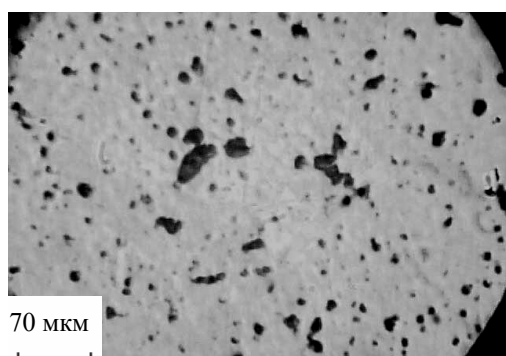
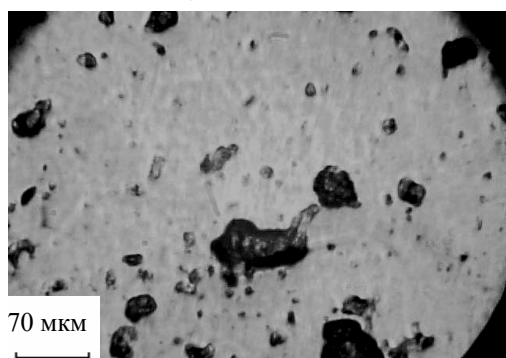


Рис. 3. Влияние температуры заливки на распределение свинца в ЦБ-литой отливке из МСОБ. Низ формы, заливка при: а) 1000, б) 1250 °С

Наибольшее количество включений свинца и более крупные частицы наблюдаются во внутренней части отливки при низких (1000 °С) температурах литья (рис. 4, а,б).

На рис. 5, а,б представлены зависимости объемной доли и среднего размера зерен свинца от температуры заливки, в направлении от внутреннего диаметра отливки к наружному. Практически на всех графиках количество и средний размер свинца

уменьшается от края к середине.

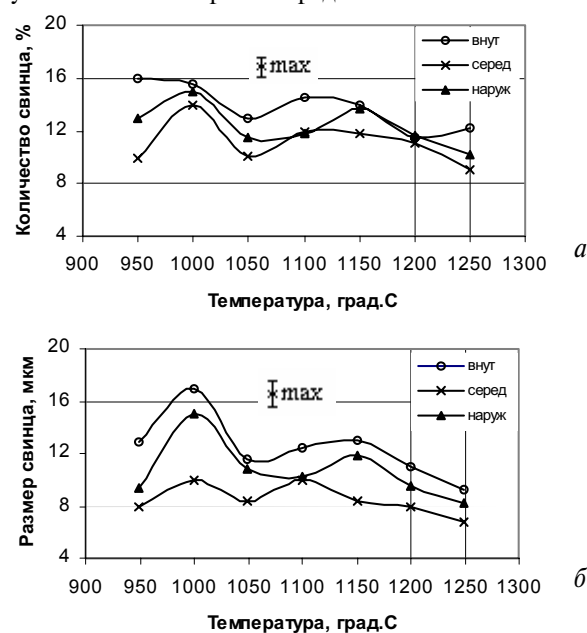


Рис. 4. Влияние температуры заливки на: а) количество и б) размер включений свинца

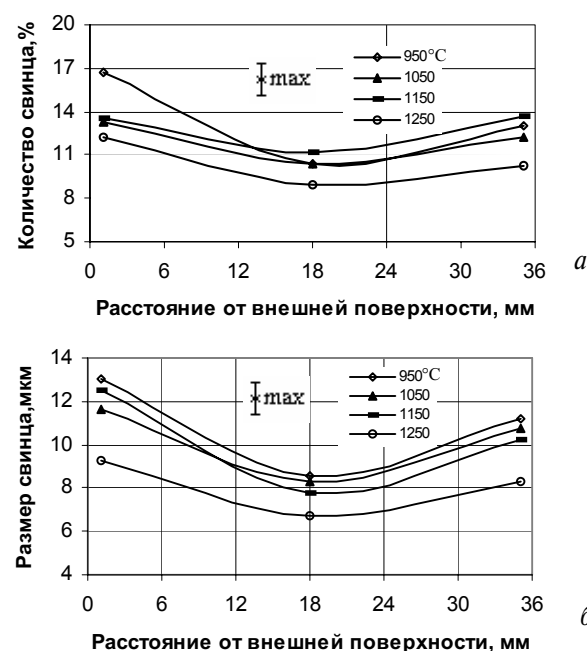


Рис. 5. Влияние температуры заливки на: а) количество и б) размер включений свинца в различных сечениях отливки

Уменьшение объемной доли включений свинца в серединной части отливки можно объяснить явлением обратной ликвации, характерной для МСОБ. В начальный момент заливки кристаллизуется наружный слой отливки (корочка). Этот слой кристаллизуется очень быстро, и в нем ликвации свинца практически не наблюдается. Исключение составляет заливка при предельно низкой температуре 950 °С, когда идет расслоение жидкости. Затем, в процессе заполнения формы, количество

свинца уменьшается в середине и доходит до максимума по мере приближения и внутреннему диаметру отливки. Такое перемещение легкоплавкого свинца, имеющего более высокий удельный вес, в направлении, противоположном действию центробежных сил, можно объяснить действием кристаллизационных сил [9]. Кристаллизационные силы развиваются растущими кристаллами α -твердого раствора олова, никеля, цинка в меди, которые по мере роста оттесняют легкоплавкий свинец во внутреннюю поверхность отливки.

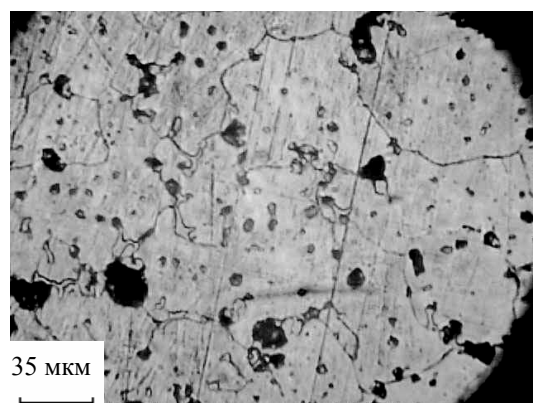
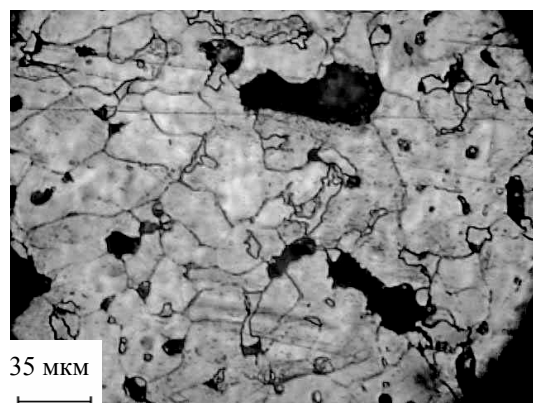


Рис. 6. Укрупнение зерна матрицы при повышении температуры заливки от: а) 1000 до б) 1250 °С

Характерной особенностью МСОБ является их склонность к дендритной кристаллизации из-за наличия широкого интервала затвердевания. Кристаллизация многокомпонентных бронз, содержащих свинец, начинается с образования зародышей α -твердого раствора, формирования первичных зерен α -твердого раствора и заканчивается кристаллизацией свинцовой фазы. Поэтому формирование свинцовой фазы при кристаллизации зависит, прежде всего, от формирования зерен α -твердого раствора. Для выявления границ зерен α -фазы шлифы травили 10 %-м раствором FeCl_3 в HCl . Как видно из рис. 6, а, б, повышение температуры заливки ведет к заметному укрупнению зерен матрицы.

Влияние температуры перегрева на кристаллизацию МСОБ выражается, главным образом, в уменьшении скорости образования центров кристаллизации и укрупнении зерен-кристаллов, полу-

чаемых в результате кристаллизации. Перегрев сказывается на кристаллизации зерен матрицы только в присутствии взвешенных в жидкости частиц малорастворимых примесей. Эти частицы служат центрами кристаллизации, т.к. для образования устойчивых кристаллических зародышей на таких "активных" частицах требуется меньшее переохлаждение, чем для самозарождения. В результате перегрева расплава выше температуры дезактивации частицы примесей растворяются или утрачивают свою активность, т.е. теряют способность быть центрами кристаллизации [10]. При низкой температуре заливки частицы свинца выталкиваются растущими дендритами, сталкиваются друг с другом и образуют многозвенные скопления. После затвердевания получается мелкозернистая матрица с крупными, расположенными преимущественно по границам зерен, частицами свинцовой фазы (рис. 6, а). При высокой температуре заливки дендриты первичной α -фазы крупнее и разветвленное. Поэтому, часть жидкости, обогащенной свинцом, не выталкивается, а захватывается по мере роста дендритов, оказывается "зажатой" в межосевых пространствах (рис. 7, а, б). Структура после кристаллизации – крупные зерна α -фазы и равномерно распределенные внутри зерна матрицы свинцовые включения (рис. 6, б). Этим можно объяснить снижение ликвации свинца по сечению отливки при высоких температурах заливки (рис. 4, а). Равномерное распределение свинцовой фазы в виде компактных частиц при высоких температурах заливки должно благоприятно сказаться на механических свойствах МСОБ.

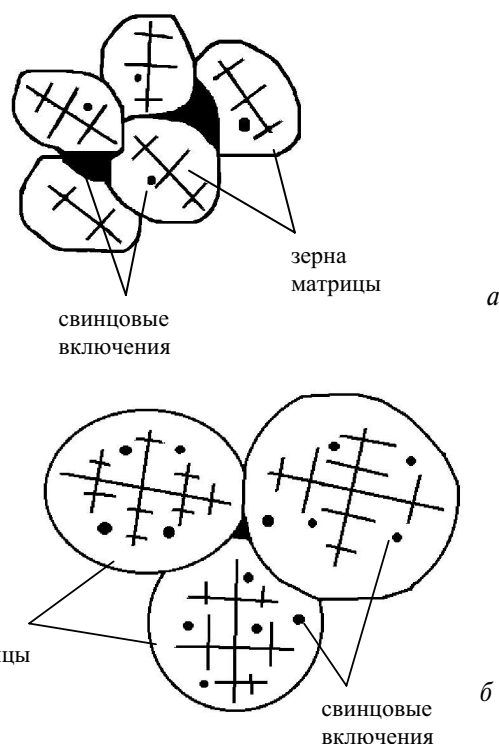


Рис. 7. Структура, образующаяся при: а) низкой и б) высокой температуре заливки

Выводы

1. Формирование свинцовой фазы в МСОБ зависит от условий кристаллизации зерен α -фазы: измельчение зерна матрицы приводит к укрупнению свинцовых включений.

2. При повышении температуры заливки от 950 до 1250 °С укрупняются зерна матрицы до трех раз; свинцовые включения измельчаются в 1,5...2,2 раза.
3. Ликвация свинца снижается с увеличением температуры заливки МСОБ в указанном интервале температур при ЦБ литье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сучков Д.И. Медь и ее сплавы. — М.: Металлургия, 1967. — 248 с.
2. Чурсин В.М., Коган Л.Б. Температуры заливки оловянных бронз при изготовлении герметичных отливок // Литейное производство. — 1961. — № 4. — С. 14.
3. Чурсин В.М. Условия получения равнопрочных отливок из медных сплавов // Литейное производство. — 1963. — № 9. — С. 6–10.
4. Медведев А.И. Особенности получения герметичных отливок из оловянных бронз типа БрОЦ и БрОЦС: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: МВМИ, 1971. — 26 с.
5. Медведев А.И., Чурсин В.М. Получение герметичных отливок из оловянных бронз // Литейное производство. — 1970. — № 8. — С. 14–16.
6. Юдин С.Б., Розенфельд С.Е. О некоторых особенностях кристаллизации центробежных отливок // Литейное производство. — 1959. — № 6. — С. 40–41.
7. Лошкарёв Б.И. К вопросу о теории и практике центробежного способа литья // Литейное производство. — 1957. — № 8. — С. 1–6.
8. Свидетельство на ПО 2004610217 РФ. Система компьютерной обработки изображений (система КОИ) / Ю.П. Егоров, Н.В. Мартюшев / Заявлено 24.11.2003; Оpubл. 19.01.2004.
9. Лошкарёв Б.И. Исследование процесса заливки свинцовистых бронз центробежным способом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 1954. — 22 с.
10. Флемингс М. Процессы затвердевания. — М.: Мир, 1977. — 396 с.

УДК 539.3

ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.А. Бочкарева*, Б.А. Люкшин, А.И. Реутов*

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН. г. Томск

E-mail: borisljuk@mail.2000.ru

*Томский университет систем управления и радиоэлектроники

При анализе надежности конструкций из полимерных и полимерных композитных материалов применяется вероятностный подход, поскольку для реальных материалов всегда существует некоторый разброс количественных характеристик их свойств, для конструкций — отклонения размеров от их номинальных значений, для нагрузок — отклонения от средних эксплуатационных значений. Обработка массива параметров напряженно-деформированного состояния конструкций, полученных в результате численных и натурных экспериментов, проводится с помощью методов теории вероятности и математической статистики.

Введение

При анализе параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций и оценке их работоспособности распространенным является подход, который можно назвать детерминистским. Принимается, что все параметры, которыми определяется НДС конструкции, являются определенными с известной точностью величинами. Для задач анализа НДС деталей и конструкций это три группы параметров. Первая из них определяет свойства материала, вторая — геометрию конструкции, третья — способ приложения и интенсивность приложенных нагрузок. Все эти характеристики в той или иной степени носят случайный характер, а конкретные их величины, задаваемые в детерминистском подходе, являются некоторыми средними приближенными значениями. Существующий разброс параметров и их отклонение от средних значений учитывается введением коэффициента запаса прочности, чем компенсируется неопреде-

ленность информации о точных значениях. Можно говорить, что величина коэффициента запаса прочности — это характеристика уровня знания (вернее, незнания) точных значений этих параметров.

Возможность разрушения изделия, таким образом, носит вероятностный характер, и она должна оцениваться соответствующими количественными характеристиками. Вероятностный характер имеют не только выше перечисленные параметры материала, конструкции и нагрузки, но и сами критерии разрушения, поскольку они представляют собой обработку некоторого массива экспериментальных данных. При оценке вероятности безотказной работы (ВБР) необходимо сопоставлять расчетные или экспериментальные данные о НДС конструкции во всех ее точках, имеющие вероятностный характер, с критериями прочности, имеющими такой же смысл. Подобные подходы разрабатываются, например, в [1, 2]. Отличительные особенности предлагаемой работы заключаются в учете разбро-