

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ БРОНЗЫ БРОС10-10 НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЦИКЛИЧЕСКУЮ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОТЛИВОК

*Н.В. МАРТЮШЕВ, канд. техн. наук, доцент
(ТПУ, г. Томск)*

Н.В. ПЛОТНИКОВА, канд. техн. наук, доцент

В.Ю. СКИБА, канд. техн. наук, доцент

А.И. ПОПЕЛЮХ, канд. техн. наук, доцент

(НГТУ, г. Новосибирск)

И.В. СЕМЕНКОВ, аспирант

(ТПУ, г. Томск)

Статья поступила 3 сентября 2012 года

Мартюшев Н.В. – 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
Томский политехнический университет, e-mail: martjushev@tpu.ru

Изучалось влияние условий кристаллизации оловянно-свинцовой бронзы на параметры получаемой микроструктуры. Изменение условий кристаллизации осуществлялось изменением скорости охлаждения расплава через предварительный нагрев литейных форм. Представлены количественные закономерности влияния скорости охлаждения исследуемой бронзы на ее фазовый состав. Кроме того, опубликованы данные об усталостных свойствах исследуемого материала. Показано, что скорости охлаждения 40...60 °С/с (литье в нагретую до 300...400 °С с последующим охлаждением на воздухе) приводят к получению более высокой циклической долговечности.

Ключевые слова: медь, бронза, кристаллизация, скорость охлаждения, циклическая долговечность, свинцовые включения.

Значительное количество научных исследований в материаловедении посвящено проблемам формирования структуры и свойств материалов в процессе кристаллизации. Один из часто изучаемых параметров – это скорость охлаждения. Скорость охлаждения достаточно просто изменить путем изменения материала, нагрева или охлаждения литейной формы. При этом влияние этого фактора, оказываемое на структуру и свойства, зачастую становится весьма значительным. Например, для антифрикционных марок бронз (свинцовистых, свинцово-оловянистых) изменение скорости охлаждения в процессе кристаллизации приводит к изменению формы свинцовых включений, величины зерна, параметров дендритной ячейки матрицы и количества наиболее твердой фазы – эвтектоида. Все эти изменения сказываются на свойствах отливок. Среди уже проведенных исследований имеется множество работ, посвященных свойствам бронзовых отливок, получаемых в литейные формы из различных материалов. При этом количественные значения свойств, а также такие важнейшие характеристики, как циклическая долговечность, коэффициент трения, практически не приводятся. Несмотря на то что большое количество

деталей, изготавливаемых из свинцово-оловянистых бронз, работает исключительно на износ, существует обширный класс бронзовых деталей, которые помимо хорошей износостойкости должны обладать высокими прочностными характеристиками (уплотнения и поршневые кольца, маслоплотные и экспандерные кольца). Такие детали работают в условиях циклических нагрузок, иногда знакопеременных. В результате эти детали часто выходят из строя не из-за износа, а из-за разрушения. Замена их приводит к дополнительным затратам и потерям за счет простоя оборудования и снижения выпуска готовой продукции. Поэтому разработка бронзовых материалов и технологий, направленных на повышение циклической долговечности данных деталей, является актуальной.

В настоящей работе поставлена задача изучить влияние скорости охлаждения на структуру и циклическую долговечность свинцово-оловянистых бронз марки БРОС 10-10. Выбор данной марки обусловлен массовостью ее применения и использованием в условиях циклических нагрузок. Условия плавки и заливки бронзового расплава подробно описаны в [1]. Изменение скоростей охлаждения осуществля-

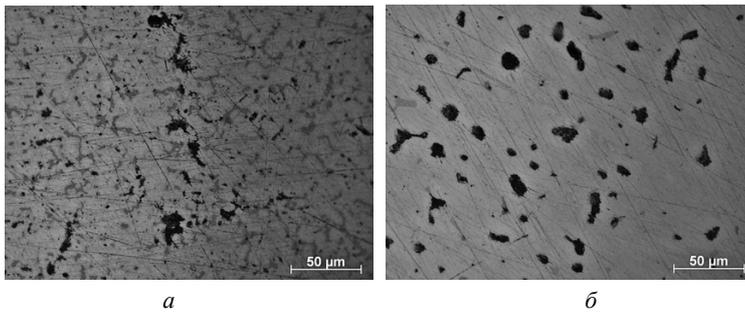


Рис. 1. Микроструктура бронзы марки БрОС-10-10, полученных: а – 158 °С/с (литье в форму комнатной температуры); б – 45 °С/с (заливка в форму, нагретую до 400 °С)

лось с помощью изменения температуры нагрева литейной формы. Скорость охлаждения расплава при этом измерялась с помощью прибора «Термограф» по методике, описанной в [2].

При проведении исследований в графитовые литейные формы, нагретые до различных температур (20, 200, 400, 600 °С), заливался расплав бронзы марки БрОС10-10. Для полученных отливок был исследован их фазовый состав, проведены металлографические исследования микроструктуры и испытания на циклическую долговечность. Фазовый состав определялся с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA. Анализ морфологии, среднего размера частиц и их формы производился по фотографиям, сделанным с помощью микроскопа Carl Zeiss AxioObserver A1m с фотокамерой AxioCam MRc5. Химический анализ фаз и фактограммы поверхности шлифов отливок были сде-

ланы с помощью растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50 с микроанализатором EDS X-Act (Oxford Instruments). Расчет среднего размера частиц производился с помощью программных средств и методик, изложенных в [3]. Усталостные испытания проводились с помощью универсальной системы типа Instron 8801.

Согласно диаграмме состояния системы медь-олово-свинец фазовый состав БрОС10-10 бронзы при комнатной температуре – это чистый свинец, α – твердый раствор олова в меди и эвтектоид на основе электронного соединения $Cu_{31}Sn_8$ [4]. На фотографиях микроструктуры (рис. 1) на фоне светлого серого α -твердого раствора олова в меди видны черные включения свинца и серые включения электронного соединения. Электронное соединение обладает более высокой прочностью в сравнении с матрицей твердого раствора.

Из рис. 1 видно, что образцы, полученные с высокой скоростью охлаждения, содержат значительно большее количество эвтектоида, чем образцы, охлаждаемые медленно. Проведенный рентгенофазовый анализ подтвердил данные металлографического анализа.

Образцы, отлитые с малой скоростью охлаждения, состоят из свинца и твердого раствора олова в меди (рис. 2). Согласно данным металлографического анализа, они содержат небольшое количество электронного соединения, порядка 1–2 %, но на рентгенограмме такое количество фазы уже не ото-

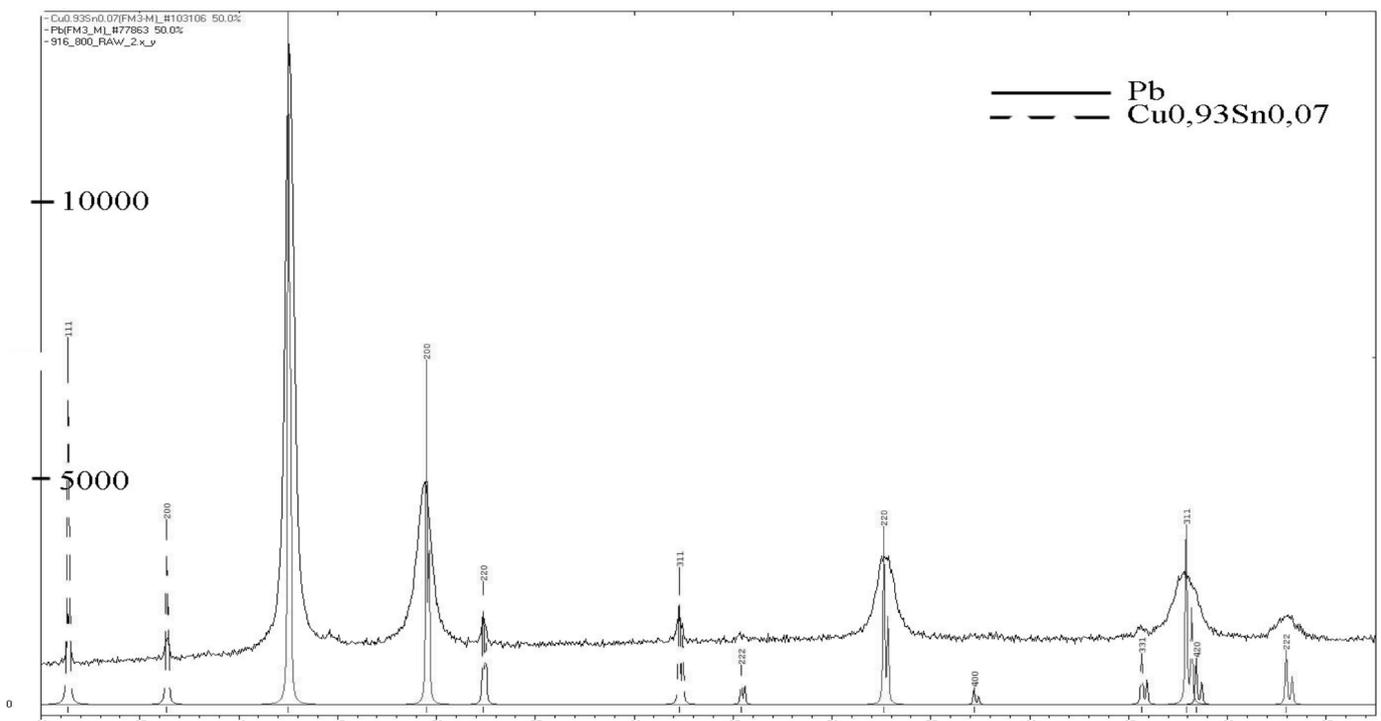


Рис. 2. Данные рентгенофазового анализа образца из БрОС10-10, полученного при скорости охлаждения 10 °С/с

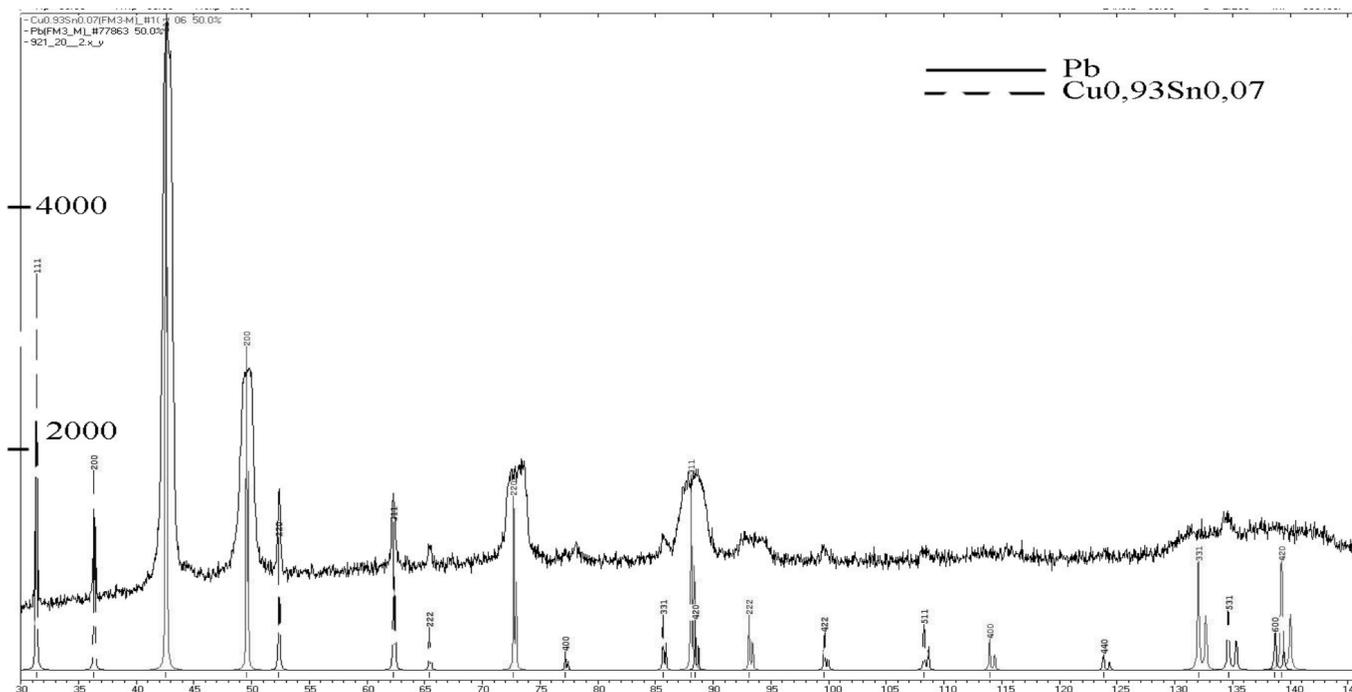


Рис. 3. Данные рентгенофазового анализа образца из БрОС10-10, полученного при скорости охлаждения 158 °С/с

бражается. У образцов же, полученных с высокой скоростью охлаждения, как видно из рис. 3, к матрице твердого раствора добавляется еще одна фаза, которую нельзя однозначно идентифицировать. Пики этой фазы на рентгенограмме очень близки к пикам твердого раствора олова в меди. Но количество этой невыявленной фазы уже весьма значительно. Металлографический анализ показывает, что этой дополнительной фазой является эвтектоид на основе электронного соединения $Cu_{31}Sn_8$ [4]. Количественный анализ микроструктур показывает, что при скорости охлаждения расплава 158 °С/с в структуре содержится ~9 % эвтектоида. Снижение скорости охлаждения до 10 °С/с снижает количество эвтектоида до ~1,5 %. Косвенно рост количества эвтектоида при увеличении скорости охлаждения подтверждается данными химического анализа фаз. Так, при скорости охлаждения 158 °С/с эвтектоид состоит из 24,8 % олова и 75,2 % меди, α -твердый раствор на основе меди содержит 4,6 % олова. При 10 °С/с состав эвтектоида остается тем же – 25,3 % олова и 74,7 % меди, а состав α -твердого раствора изменяется, в нем содержится уже 9,7 % олова.

Исследуемая свинцово-оловянистая бронза марки БрОС10-10 кроме эвтектоида и твердого раствора содержит также значительное количество свинца. Выполненный металлографический анализ образцов из БрОС10-10 показывает, что морфология включений свинца зависит от скорости охлаждения аналогичных бинарным свинцовистым бронзам образцов (рис. 1). Быстро охлаждаемые образцы, микроструктура которых показана на рис. 1, а, имеют разветвленные включения свинца с рваной, неровной меж-

фазной поверхностью. Образцы же, микроструктура которых показана на рис. 1, б, полученные с низкой скоростью охлаждения, имеют более крупные включения свинца с ровной межфазной поверхностью. При этом средний размер включений легкоплавкой фазы образцов, показанных на рис. 1, а, в 2-2,5 раза ниже, чем образцов, изображенных на рис. 1, б.

Такие изменения в фазовом составе и морфологии включений легкоплавкой фазы не могут не сказаться на циклической долговечности отливок. Испытания на циклическую долговечность проводились при частоте нагружения 5 Гц, нагрузка в цикле менялась от 0 до 1000 кг. Испытания проводились по трем образцам на каждую точку. Из представленных на рис. 4 данных видно, что с ростом скорости охлаждения резко растет, затем немного снижается.

Такой сложный характер зависимости можно объяснить значительным количеством факторов, влияющих на циклическую долговечность. Исходя из

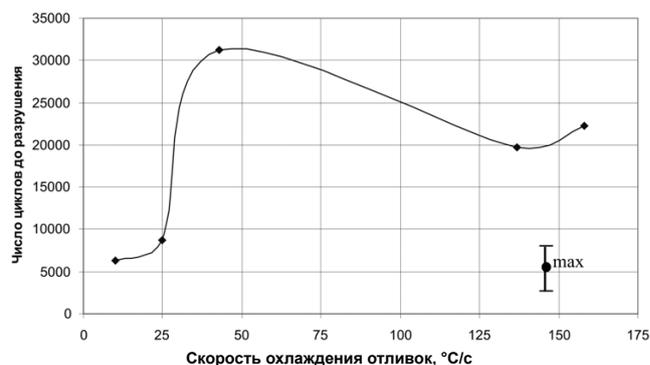


Рис. 4. Влияние скорости охлаждения отливки из бронзы Бр ОС 10-10 на ее циклическую долговечность

представленных данных рост скорости охлаждения приводит к образованию значительного количества концентраторов напряжения в виде низкопрочных свинцовых включений с неровными рваными границами. Но вместе с тем с ростом скорости охлаждения растет и количество твердого эвтектоида, что закономерно приводит к росту твердости и предела прочности при растяжении [5]. Кроме того, из фотографий микроструктуры (см. рис. 1) видно, что меняется не только форма свинцовых включений, но и форма включений эвтектоида.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сказать, что скорость охлаждения в значительной мере влияет на фазовый состав и свойства бронзы марки БрОС 10-10. Так, рост скорости охлаждения приводит к росту содержания твердого эвтектоида в отливках. При этом форма свинцовых включений будет рваной, с неровной межфазной поверхностью. Снижение же скорости охлаждения до значений 10...20 °С/с приводит к содержанию эвтектоида в структуре в пределах 1...2 %. Форма же свинцовых включений при этом стремится к сферической с ровной межфазной поверхностью. Такие изменения в структуре приводят к тому, что максимальной циклической прочностью будут обладать бронзовые образцы, полученные со скоростями охлаждения 40...60 °С/с. Такая скорость охлаждения соответствует охлаждению расплава в металлической литейной форме, нагретой до 300...400 °С на воздухе.

Представленные в статье исследования были выполнены при поддержке ОАО «НИИПП» в рамках постановления Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 года «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Список литературы

1. *Мартюшев Н.В.* Производство поршневых колец компрессоров высокого давления. // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24–25.
2. *Корчмит А.В., Егоров Ю.П.* Методика определения скорости охлаждения бронзы Бр. ОСЦН 10-13-2-2 в формах с разной теплопроводностью // Обработка металлов. – 2005. – № 1. – с. 23–25.
3. *Мартюшев Н.В.* Программные средства для автоматического металлографического анализа // Современные проблемы науки и образования. – 2012 – № 5. – С. 1-6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/105-t6745>
4. *Захаров А.М.* Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. – М.: Металлургия, 1980. – 256 с.
5. *Мартюшев Н.В.* Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы БрОС 10-10 // Литейное производство. – 2011. – № 6. – С. 11–13.

Influence of bronze C93700 cooling speed on structure, phase structure and cyclic durability of foundry

N.V. Martuyushev, N.V. Plotnikova, V.Yu. Skeebe, A.I. Popelyuh, I.V. Semenkov

In work was studied influence of lead-tin bronze crystallization conditions on received microstructure parameters. Crystallization conditions change was carried out by change melt cooling speed, through preliminary heating of casting molds. Quantitative regularities of cooling speed influence of studied bronze on its phase structure are presented. As data on fatigue properties of a studied material are published. It is shown that cooling speeds of 40-60 °С/с (in heated up to 300-400 °С with the subsequent cooling on air) lead molding to receiving higher cyclic durability.

Key words: copper, bronze, crystallization, cooling speed, cyclic durability, lead inclusions.