

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С НАНОПОРОШКАМИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ БРОНЗОВОГО ЛИТЬЯ*

Н.В. МАРТЮШЕВ, канд. техн. наук
Ю.Н. ПЕТРЕНКО, аспирант
И.В. СЕМЕНКОВ, аспирант
(ТПУ, г. Томск)
Н.В. СТЕПАНОВА, аспирант
(НГТУ, г. Новосибирск)

Статья поступила 26 ноября 2012 года

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

Представлены данные о применении нанопорошков в составе покрытий формы при литье из свинцово-содержащих бронз. Исследовалось влияние состава применяемого защитно-разделительного покрытия литейной формы на качество поверхности и свойства отливок. Для экспериментальной работы были выбраны следующие покрытия (патент № 2297300): смесь нанопорошка диоксида циркония с индустриальным маслом и такого же состава, но уже на основе нанопорошка оксида алюминия. Показано, что применение данных покрытий литейной формы при литье приводит к снижению количества дефектов на поверхности, снижается шероховатость поверхности отливок. В то же время проникновения частиц порошка из литейного покрытия в отливку не происходит.

Ключевые слова: медь, бронза, кристаллизация, защитно-разделительные покрытия, шероховатость поверхности, бронзовые отливки.

В промышленности бронзы с высоким содержанием свинца применяются, как правило, для изготовления деталей, работающих на износ, и от них не требуется высоких механических свойств. Но существует группа изделий из бронзы, например уплотнения и поршневые кольца компрессоров высокого давления, работающих на износ в условиях циклических нагрузок. В производственной практике они выходят из строя из-за разрушения. Свинец повышает триботехнические свойства таких бронз. Не растворяясь в меди при низких температурах, свинец образует включения в медной матрице, имеющие, как правило, неправильную форму с равной межфазной поверхностью. Обладая очень низкими прочностными характеристиками, эти включения становятся концентраторами напря-

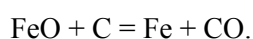
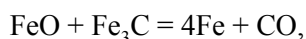
жения. Исходя из этого одним из эффективных способов повышения прочностных характеристик таких бронз является изменение формы свинцовых включений (по аналогии с графитом в чугунах). Для формирования определенной морфологии свинцовых включений отливки охлаждаются с определенными скоростями [1, 2]. Низкие скорости охлаждения приводят к сфероидизации свинцовых включений, высокие – к получению вытянутой формы включений с равной, неровной поверхностью [3]. Оптимальной формой включения, с точки зрения прочности, будет сферическая форма, получаемая при низких скоростях охлаждения. Снизить скорость охлаждения при литье в кокиль можно путем его нагрева. Однако при нагреве кокиля до температур 600...800 °С часто происходит приваривание

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, соглашение № 14.В37.21.2065.

отливки к литейной форме, что значительно затрудняет её извлечение и приводит к быстрому выходу из строя самого кокиля. Кроме того, литье в кокиль дает структуру с разной зернистостью по сечению отливки.

Одним из путей решения этих проблем может стать использование защитно-разделительных покрытий литейной формы с добавкой специальных теплоизолирующих веществ. В качестве таких веществ предлагается использовать нанопорошок диоксида циркония, обладающий очень низкой теплопроводностью (1,7...1,8 Вт/(м·К)) и нанопорошок оксида алюминия (30...13 Вт/(м·К)). В настоящей работе проведены сравнительные исследования структуры и свойств поверхности отливок из свинцовистых и свинцово-оловянистых бронз, полученных с использованием защитно-разделительных покрытий, содержащих нанопорошки диоксида циркония и оксида алюминия. Кроме этого в статье рассмотрена возможность легирования поверхностного слоя отливки нанопорошком покрытия.

Проведенные ранее эксперименты показали, что использование защитно-разделительных покрытий такого состава в значительной мере влияет на скорость охлаждения поверхности и, как следствие, на её структуру. Однако помимо изменения структуры свинцовистых бронз применение обмазок позволило существенно снизить шероховатость полученных отливок. Так, проведенные эксперименты показали, что заливка расплава в стальные или чугунные формы, нагретые даже до небольших температур 300...400 °С, приводит к интенсивному газообразованию на поверхности формы. Такое газообразование также начинается, когда заливается большое количество расплава (>4 кг) в стальные и чугунные формы с низким отношением массы отливки к массе формы. Согласно [4] в стальной или чугунной изложнице поверхность окисляется при чередовании нагрева и охлаждения. При этом, если изложница содержит цементит или свободный углерод в структуре, будут идти реакции:



В результате этих реакций между слитком и изложницей образуется газ, порождающий сви-

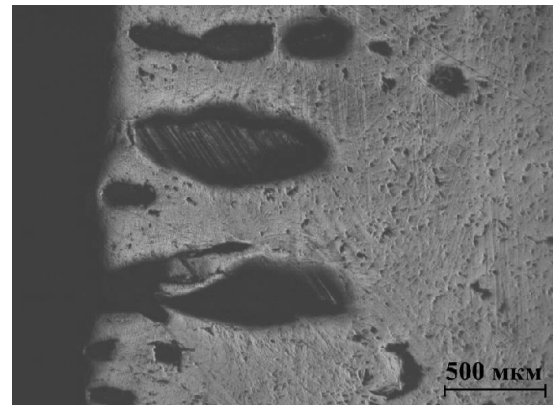


Рис. 1. Свищи, образующиеся на поверхности бронзовых отливок

щи при заливке. Так как количество газа небольшое, то форма свища близка к его форме, получающейся в результате адсорбции, т. е. свищ с острыми краями. На рис. 1 приведен пример свищей, образующихся на поверхности отливки из бронзы БрС10 в чугунную форму, нагретую до температуры около 600 °С. Подобные свищи образовывались и при литье в формы, нагретые до более низких температур (~200...400 °С), но в значительно меньших количествах. Их глубина, как правило, не превышает 1...1,5 мм. Такие дефекты отливки достаточно легко удаляются механической обработкой. В некоторых случаях вместе со свищами образуется газовая пористость, распределенная по всему объему отливки или на глубине до 7–8 мм. Как правило, это явление наблюдалось при заливке в металлические формы, нагретые до температур выше 600 °С или при литье сравнительно больших заготовок (>5 кг). Наблюдаемые в таких условиях газовые поры имели сферическую форму и, как правило, их диаметр не превышал 0,3–0,4 мм. Благодаря сферической форме газовые поры не вызывали значительного снижения механических свойств. Вместе с тем такие дефекты структуры уже не удается удалить механическим путем.

На рис. 2 показаны профилограммы поверхностей отливок из бронзы БрС10, залитых (рис. 2, а) в форму с использованием антипригарного противозадирного смазочного материала АСПФ-2/РГУ (рис. 2, б) – использовалась обмазка следующего состава:

- порошок диоксида циркония – 20 %;
- индустриальное масло – 80 %.

Такой состав обмазки позволяет достигать чистоты поверхности отливки Rz 30–40, использование же стандартной обмазки дает лишь

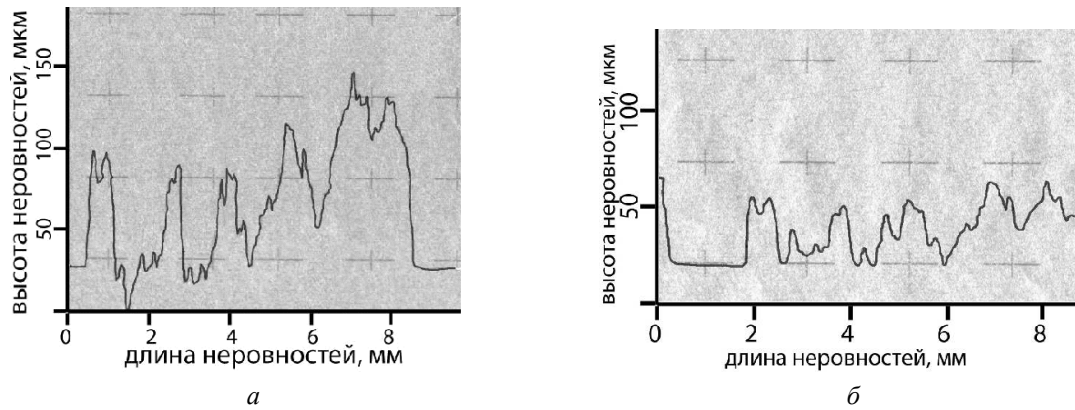


Рис. 2. Профилограммы поверхностей образцов, залитых в различных условиях:

a – с использованием стандартной обмазки;

б – с использованием обмазки на основе УДП диоксида циркония

Rz 100-150. При использовании обмазки на основе УДП оксида алюминия достигалась шероховатость поверхности Rz 40-50.

В первые моменты после заливки расплава в форму идет сгорание связующего, в данном случае индустриального масла, о чем свидетельствует пламя, идущее из литниковой системы. Обычно появляется газовый зазор между стенкой формы и жидким металлом [5]. Этот образовавшийся газ частично выходит вдоль поверхности формы наружу, а в тех местах, где расплав, коснувшись формы, затвердевает, образует свищи. При наличии частиц УДП в обмазке образуется газовая взвесь, состоящая из частиц нанопорошка и продуктов сгорания индустриального масла [4]. Порошок равномерно распределяется по поверхности формы из-за маленького размера частиц (<0,4 мкм). Визуальный осмотр формы после извлечения отливки подтверждает равномерность распределения частиц УДП – обмазанная поверхность получается покрытой сплошным белым налетом оставшихся на поверхности частиц порошка. При этом часть порошка выносятся из зоны заливки выходящими газами. Это хорошо иллюстрирует белый налет на поверхности формы рядом с литником. Таким образом, частицы УДП препятствуют контакту жидкого металла с поверхностью формы и вместе с тем способствуют удалению газов сквозь себя. Залитый металл из-за крайне низкой теплопроводности порошковой взвеси более длительное время находится в жидком состоянии, что позволяет ему затекать в поверхности разъема формы толщиной до 0,2-0,3 мм, чего без использования подобных обмазок не наблюдалось. В итоге нахождение в жидком состоянии более длительное

время позволяет вывести газы без образования свищей, заполнить все пространство формы без образования газовых дефектов и недоливов и получать отливки с более низкой шероховатостью поверхности.

Таким образом, применение УДП в качестве наполнителя в обмазке формы позволило решить проблему образования пор, свищей и других газовых дефектов. В результате поверхность отливки получается чистой, без образования вышеперечисленных дефектов (рис. 3).

Одной из задач проводимых экспериментальных работ было исследование возможности микролегирования поверхностного слоя отливок. Как показал литературный обзор, в ряде случаев возможно насыщение поверхностного слоя легирующими элементами из обмазки [6, 7]. При этом легирующий компонент вводится в обмазку в виде мелкодисперсных порошков. Для того чтобы проникшие в металл частицы порошка могли выступать в качестве зародышей зерен,

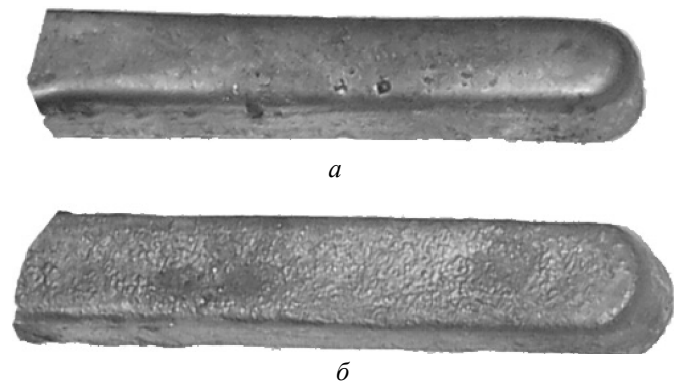


Рис. 3. Внешний вид отливок, полученных:

a – с использованием обмазки на основе УДП диоксида циркония ($\times 2$); *б* – с использованием стандартной обмазки, смеси индустриального масла с порошком оксида хрома ($\times 2$)

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов, полученных при различных условиях

Условия заливки	Cu	Pb	Ni	Co	Si	P	Cl	Ti	Fe	Sn
С обмазкой	90,01	9,66	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02
Без обмазки	90,91	8,92	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,04	0,01

они должны обладать той же кристаллической решеткой, что и заливаемый металл, и отличаться периодом решетки не более чем на 10–15 % [8]. Используемый в составе разработанных и применяемых в экспериментальных работах обмазок диоксид циркония имеет ГЦК – кристаллическую решетку такую же, как и у меди, вместе с тем отличие по периоду решетки не превышает 15 %. Как уже было подтверждено ранее, низкая теплопроводность порошка диоксида циркония (1,7...1,8 Вт/(м·К)) обеспечивает более длительное нахождение расплава в жидком виде.

Для сравнения составов были проведены РФА исследования образцов, отлитых с использованием обмазки, содержащей в качестве наполнителя УДП диоксида циркония и без использования обмазки, результаты анализа приведены в таблице.

Проведенный анализ показал, что состав обоих образцов приблизительно одинаков. Существенные отличия наблюдаются лишь по содержанию свинца, что объясняется снова более низкой скоростью охлаждения, обеспечиваемой применением УДП в составе обмазки. Более медленная скорость охлаждения уменьшает выделение свинца на поверхности в результате явления обратной ликвации. Содержания циркония в поверхностном слое образца, полученного с использованием обмазки, не было обнаружено, что говорит о том, что легирования не произошло. С большой долей вероятности это можно объяснить тем, что порошок диоксида циркония не смачивается жидкой медью.

Изменения в структуре образцов, создаваемых при использовании обмазки для литейной формы, отражаются на их механических свойствах. Были проведены испытания на ударную вязкость. Для испытаний взяли две группы образцов. Первая – стандартные образцы Шарпи получили фрезерованием отливок (снималось ~2 мм металла с каждой стороны заготовки) и вторая группа – необработанные отливки. Испытания показали, что на обработанных образцах Шарпи ударная вязкость составила 21,8 Дж/см²

для образцов, полученных с использованием УДП диоксида циркония в качестве наполнителя обмазки; 21,5 Дж/см² при использовании оксида алюминия и 21,3 Дж/см² без использования обмазки формы. Таким образом, максимальное отличие результатов составило не более 3 %, в то время как разброс значений ударной вязкости составил ±8 %, что является нормальным для испытаний на ударную вязкость. Исходя из этих данных не представляется возможным говорить о возрастании механических свойств для обработанных образцов.

Испытания же необработанных образцов дали существенные отличия в значениях, выходящих за пределы погрешности измерений и разброса значений. Там, где в качестве наполнителя использовался порошок диоксида циркония, значения ударной вязкости максимальны, использование УДП оксида алюминия дает немного меньшую ударную вязкость. Ударная вязкость образцов, полученных без использования обмазки, значительно ниже 28 %. По анализу изломов, представленных на рис. 4, можно определить причину таких расхождений. Все представленные изломы имеют одинаково развитую структуру, отсюда работа на развитие трещины для этих образцов была равной. Если же посмотреть на края изломов, то видны существенные отличия. По периметру изломов образцов, полученных без использования обмазок, тянется красная каемка, представляющая собой различные литейные дефекты поверхности. На образцах же, полученных с использованием обмазок, таких дефектов поверхности не наблюдается. Благодаря этим дефектам работа на зарождение трещины для образцов, полученных без использования обмазок, значительно ниже, чем у остальных образцов. В итоге ударная вязкость необработанных отливок, при литье которых применялись УДП, выше.

На основании всего вышесказанного можно сделать следующие выводы: применение обмазок литейной формы, содержащих УДП оксидов металлов, позволяет в несколько раз (2-4)

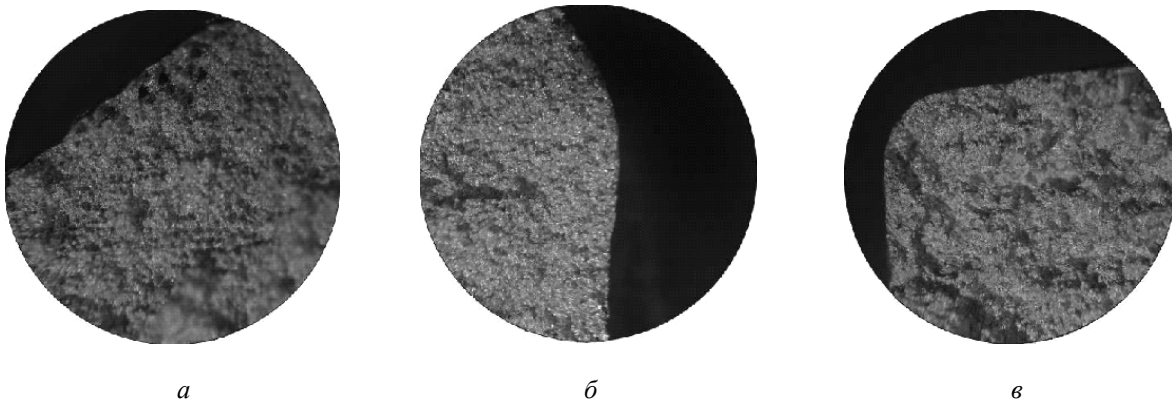


Рис. 4. Фотографии изломов образцов Шарпи свинцовистых бронз при различных составах обмазок литейной формы:

a – без обмазки (x8); *б* – обмазка с Al_2O_3 (x8); *в* – обмазка с ZrO_2 (x8)

снизить шероховатость поверхности отливок, устранить газовые дефекты на поверхности. Это дает возможность значительно снизить припуски на механическую обработку. Такой эффект достигается за счет небольших размеров частиц порошка (<1 мкм); газы, выделяющиеся с поверхности литейной формы, при сгорании связующего обмазки проходят между частицами порошка и выводятся таким образом из зоны заливки металла. Образующаяся в результате этого прослойка между стенками литейной формы и залитым металлом, состоящая из УДП обмазки и выходящих газов, позволит дольше находиться расплаву в состоянии расплава. В результате расплав занимает все пространство литейной формы без образования газовых дефектов и недоливов.

Список литературы

1. Кац А.М. Исследование распределения включений свинца в литой латуни ЛС 63-3 // Цветные металлы. – 1968. – № 5.

2. Мысик Р.К. Структура литых заготовок из свинцовых латуней и механические свойства прутков из этих сплавов // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 1995. – № 2. – С. 35–38.

3. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 4. – С. 32–36

4. Горшков И. Е. Литые слитки цветных металлов и сплавов : учеб. пособие – М. : Металлургиздат, 1952. – 416 с.

5. Барсукова Т.А. Краткие сообщения по научно-исследовательским работам МИЦМиЗ им. М.И. Калинина. – М.: Металлургиздат – 1960. – С. 240.

6. Крушенко Г.Г., Москвичев В.В., Буров А.Е. Применение нанопорошков химических соединений при производстве металлоизделий // Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 9. – С. 22–25.

7. Усков И.В., Крушенко Г.Г., Миллер Т.Н., Пинкин В.Ф. Формирование и свойства поверхностно-легированного слоя в отливке // Литейное производство. – 1992. – № 11. – С. 3–10.

8. Пикунов М.В. Литейное производство цветных и редких металлов – М.: Металлургия, 1982. – 352 с.

Influence of casting coverings with nanopowders on bronze molding surface quality

N.V. Martyushev, Yu.N. Petrenko, I.V. Semenov, N.V. Stepanova

In work are submitted data of casting mold coverings with nanopowders application for molding lead bronze. Influence of a structure of used protective - separating coating of a foundry core on a microstructure of castings was investigated. For experimental work following coverings (the patent № 2297300) – a mix dioxide zirconium nanopowder with industrial oil, and the same structure, but already on a basis on oxide aluminum nanopowder have been chosen. It is shown that these coverings application leads to decrease in quantity of surface defects, the roughness of a cast surface decreases. At the same time penetration of particles of a powder from a foundry covering in casting doesn't occur.

Key words: copper, bronze, coverings of a casting mold, surface roughness, bronze casting.