



*The peculiarities of consolidation of hollow cylinder casts received by freezing over without use of a kernel.*

В. Ф. БЕВЗА, В. С. МАЗЬКО, В. Ю. СТЕЦЕНКО, ИТМ НАН Беларуси

## ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ИЗ БРОНЗЫ БрА9Ж4 МЕТОДОМ НАМОРАЖИВАНИЯ

УДК 621.74.047

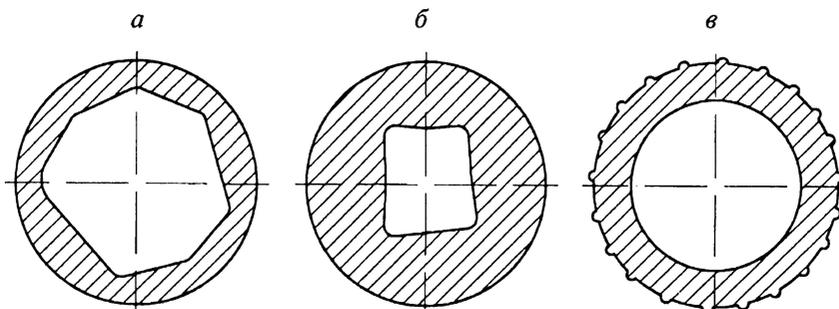
В настоящее время среди литейных сплавов на медной основе, не содержащих олова, широкое распространение получают алюминиевые бронзы преимущественно с добавками марганца, железа, никеля. Эти бронзы имеют высокие механические и хорошие антифрикционные свойства, они не магнитны, не дают искры при ударах, обладают высокой коррозионной стойкостью.

Отличительной особенностью алюминиевых бронз является большая величина линейной усадки (около 2 %) и очень малый интервал кристаллизации, составляющий 10–30 К, что вызывает склонность к образованию столбчатой структуры в процессе затвердевания. [1]. Поэтому на отливках приходится предусматривать значительные прибыли. Однако часто и эта мера не гарантирует получение качественных заготовок. При литье в разовые формы отливки имеют крупнозернистое строение и характеризуются повышенной междендритной пористостью. Основными видами дефектов при литье в металлические формы могут быть усадочные раковины и пористость. При центробежном литье отливки бракуются в основном из-за неслитин и полосчатости по сечению стенки [2].

Одним из факторов получения качественных заготовок из любых сплавов является создание условий направленного затвердевания металла. Метод непрерывно-циклического литья намораживанием предусматривает интенсивный радиальный теплоотвод от затвердевающей отливки при обильном питании фронта кристаллизации жид-

ким расплавом, что позволяет получать полые цилиндрические заготовки без применения стержня с повышенной плотностью [3]. Затвердевание металла в кристаллизаторе происходит непрерывно в течение всего времени литья, а извлечение отливок и подачу металла осуществляют циклически. Причем в каждом цикле затвердевает только периферийная часть объема жидкого металла, находящегося в кристаллизаторе. Наружная поверхность отливки формируется на стенке рабочей втулки кристаллизатора, а внутренняя — непосредственно из расплава и определяется фронтом затвердевания. При этом толщина стенки отливки зависит от интенсивности отвода тепла, времени намораживания, теплофизических характеристик и температуры заливаемого расплава.

Первые эксперименты по литью бронзы БрА9Ж4 намораживанием показали, что отливки получаются с высокой плотностью и заданной твердостью, но с очень большой разностенностью: заготовки в поперечном сечении по внутренней поверхности имели форму многогранника и резко неравномерную по периметру толщину стенки. Это обусловлено специфическими особенностями затвердевания. В начальный момент внутренняя поверхность отливки приобретает форму многоугольника (см. рисунок, а). Дальнейшее время кристаллизации приводит к слиянию соседних граней и количество их уменьшается, при этом внутренняя поверхность отливки образует явно выраженный четырехугольник (см. рисунок, б).



Поперечное сечение отливки

Следует указать, что подобные результаты получили и другие исследователи при литье полых заготовок из алюминиевых бронз без применения стержня [4]. Это явление можно объяснить следующим образом. Кроме того, что алюминиевые бронзы сами склонны к образованию столбчатой структуры, росту таких кристаллов способствует также интенсивный радиально направленный теплоотвод. При этом неравномерность отвода тепла по периметру отливки является одним из главных условий развития зон преимущественной ориентации. При литье намораживанием скорость охлаждения отливки в начальный момент очень велика. В таких условиях оси дендритов могут расти со скоростью до 15 мм/с [5]. Рост кристаллов с менее благоприятной ориентацией заглушается, что приводит к полигональности отливок.

Различная интенсивность отвода тепла по периметру определяется неодинаковой величиной газового зазора между отливкой и кристаллизатором, который образуется за счет температурных изменений размеров рабочей втулки кристаллизатора и линейной усадки отливки, а также возможной деформации затвердевающей корки, вызываемой градиентом температур по толщине ее стенки.

При литье в гладкий стальной кристаллизатор степень полигональности  $\varepsilon = (\Delta\xi/\xi_{\max}) \cdot 100\%$  может достигать 50 % и более, где  $\Delta\xi = \xi_{\max} - \xi_{\min}$ ;  $\xi_{\max}$ ,  $\xi_{\min}$  — соответственно максимальная и минимальная толщина стенки отливки.

Для снижения степени полигональности необходимо было обеспечить в первую очередь равномерный по периметру теплоотвод от поверхности отливки и снизить его интенсивность. Уменьшение интенсивности отвода тепла было достигнуто за счет применения комбинированного кристаллизатора, состоящего из графитовой рабочей втулки, запрессованной в стальную водоохлаждаемую рубашку. Это позволило снизить степень полигональности до 30 %. Равномерность теплоотвода по периметру отливки обеспечили путем специального профилирования рабочей поверхности кристаллизатора: нанесение продольных пазов с шагом 8—10 мм, глубиной 0,6—0,8 мм. Кинетику затвердевания в данном случае можно представить следующим образом. В результате контакта жидкого металла с поверхностью рабочей втулки пазы заполняются расплавом и на первоначально затвердевшей корочке образуются продольные приливы, которые повышают жесткость затвердевшей оболочки. Образовавшаяся оболочка вследствие усадки начинает деформироваться. При этом общая деформация по сечению отливки складывается из деформаций на отдельных участках периметра. Количество этих участков определяется числом пазов на рабочей поверхности кристаллизатора, что обеспечивает равномерность усадки по контуру отливки. При этом приливы на наружной поверхности не выходят из пазов кристаллизатора,

что обеспечивает равномерный по периметру и изменяющийся только во времени зазор между кристаллизатором и отливкой в течение всего времени ее затвердевания. Одинаковый по периметру зазор создает равномерный теплоотвод от поверхности отливки, что способствует значительному уменьшению степени полигональности.

Для снижения склонности сплава к столбчатой кристаллизации и измельчения структуры часто используют внешние воздействия на расплав и литейную форму. Наложение вибрации на кристаллизатор при литье намораживанием способствует торможению развития столбчатых кристаллов. Наибольший эффект действия вибрации достигается при наложении колебаний частотой 15—20 Гц и амплитудой 0,2—0,3 мм. Зарождающиеся кристаллы под действием вибрационных импульсов не способны удерживаться на фронте затвердевания, а отталкиваются в расплав, при этом создают дополнительные центры кристаллизации. В результате возрастает однородность структуры по толщине стенки отливки и снижается степень полигональности.

Уменьшению степени полигональности отливок и получению мелкозернистой разориентированной структуры способствует также модифицирование расплава. Эффективным модификатором по отношению к алюминиевым бронзам является железо. Его рекомендуется вводить в сплав не менее 1 %. В качестве модификаторов используют также ванадий, марганец, хром и др. [5]. Для снижения склонности сплава к столбчатой кристаллизации и уменьшения полигональности расплав в зону затвердевания (в кристаллизатор) необходимо подавать при возможно меньших перегревах (около 50 К над ликвидусом).

Таким образом, применение комплекса разработанных мероприятий по созданию оптимальных условий затвердевания металла и теплоотвода от поверхности затвердевающей корки позволило получать методом намораживания отливки из алюминиевых бронз правильной геометрической формы (см. рисунок, в) с высокой производительностью. Например, производительность процесса при литье заготовок наружным диаметром 140 мм, толщиной стенки 20 мм и высотой 200 мм из бронзы БрА9Ж4 на установке модели ЛЗМ-1М составляет 130 шт/ч. При этом плотность материала заготовок составляет не менее 7,55 г/см<sup>3</sup>, а твердость в литом состоянии — 145—155 НВ.

### Литература

1. Лакисов П. А. Процессы плавки сплавов на медной основе. Л., 1995. Вып. 5. С. 23—30.
2. Курдюмов А. В. и др. Литейное производство цветных и редких металлов. М.: Металлургия, 1982.
3. Специальные способы литья: Справ. Под ред. В. А. Ефимова. М.: Машиностроение, 1991.
4. Ксенофонов Б. М. Литье методом вакуумного всасывания. М.—Свердловск: Машгиз, 1962.
5. Лебедев К. П., Райнес Л. С., Шеметев Г. Ф., Горячев А. Д. Литейные бронзы. Л.: Машиностроение, 1973.