

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Harry, R.C.* // Elec. Furnace Conf. Proc. Dallas. 1988. V. 44. P. 63 – 71.
2. *Suzuki, A.* [et al.] //Steelmaking Conf. Proc. Toronto, Ontario, Canada. 1988. V. 71. P. 125 – 131.
3. *Евтеев, Д. П.* Непрерывное литье стали / Д.П. Евтеев, И.Н. Колыбалов. М.: Металлургия, 1984. 200 с.
4. *Толве, Р.* Внепечная обработка расплава в промежуточном ковше МНЛЗ / Р. Толве, А. Прайттона, В. Рамагиотти // Стил тайме интернешнл. 1987. С. 128 – 134.
5. Плазменная система для нагрева стали в промежуточном ковше. Доклад фирмы «Тетроникс» // Стил тайме интернешнл. 1989. 25 с.
6. Нагрев стали разрядом постоянного тока на установках внепечной обработки / Г.Н. Окорочков [и др.] // Сталь. 1994. № 2. С. 36 – 40.
7. *Окорочков, Г. Н.* Дуговые сталеплавильные печи за рубежом: Новости черной металлургии за рубежом// Ин-т «Черметинформация». 1995. Вып. 1. С. 48 – 54.
8. Технологические особенности выплавки стали в дуговых печах постоянного тока и перспективы их использования / Г.Н. Окорочков [и др.] // Сталь. 1994. № 5. С. 24 – 30.
9. Возможности автоматического предупреждения о прорывах на выходе из кристаллизатора / С.М. Чумаков [и др.] // Сталь. 1998. № 5. С. 22 – 26.
10. *Чумаков, С. М.* Опыт использования акселерометрической системы технологического контроля кристаллизатора / С.М. Чумаков, А.Н. Сорокин // Сталь. 1998. № 6. С. 17 – 19.
11. Трение между заготовкой и кристаллизатором при разливке стали на МНЛЗ / Э. Ферстер [и др.] //Черные металлы. 1994. № 2/3. С. 34 – 41.
12. Виброобработка стали в кристаллизаторе МНЛЗ – перспективный способ улучшения качества заготовок / В.А. Денисов [и др. ] // Сталь. 1993. № 5. С. 32 – 34.

УДК 621.074

И.В. ЗЕМСКОВ, канд. техн. наук,  
Г.И. СТОЛЯРОВА, И.К. ФИЛАНОВИЧ (БНТУ)

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Исследование процесса и разработку технологии вертикального непрерывного литья заготовок из сплавов на основе меди производили для безоловянных бронз (Бр А9ЖЗЛ, Бр С30), оловянных бронз (Бр О5Ц5С5) и латуней (ЛЦ40С).

Методика исследований предполагала проведение всех экспериментов в условиях, максимально приближенных к производственным: плавка металла – в высокочастотной индукционной печи, получение отливок – на лабораторной установке полупромышленного типа. Температурный режим кристаллизатора изучали методом анализа температурных полей всей системы, участвующей в тепло-

обмене при литье и затвердевании отливки. Выбор схемы и конструкции заливочного устройства (подача металла в полость кристаллизатора, в которой формируется отливка) производили путем моделирования. Изучение структуры и механических свойств металла отливок осуществляли известными стандартными методами.

Одним из решающих показателей в оценке вертикального непрерывного литья является стабильность процесса, которая зависит от таких факторов, как температура заливаемого металла, скорость литья, режим охлаждения, режим вытягивания отливки из кристаллизатора. Эти факторы взаимосвязаны, поэтому исследования проводили комплексно, варьируя значения и технологических, и металлургических параметров.

На основании анализа результатов экспериментов определяли оптимальные параметры процесса для исследуемых сплавов, их взаимосвязь и влияние на качество отливки, меры предотвращения отрицательных явлений. Были выявлены специфические особенности и определены требования для разработки технологии непрерывного литья отдельных сплавов.

Так, особенность сплава Бр А9ЖЗЛ выражена в склонности к образованию оксидных плен, вызванному присутствием алюминия. При подаче в полость кристаллизатора расплава открытой струей образующиеся оксидные пленки попадают в тело затвердевающей отливки. Помимо внутренних и наружных дефектов в отливке возможны прорывы жидкого металла в местах, где пленки расположены близко к поверхности. Поэтому при литье Бр А9ЖЗЛ необходимо предусматривать в литниковой системе устройство для задержания плен, шлака и других неметаллических включений, обеспечивать минимально возможную высоту падения струи, избежать ее разрыва и разбрызгивания.

Достаточно низкая пластичность сплава Бр А9ЖЗЛ вследствие строго ориентированного роста кристаллов при затвердевании отрицательно сказывается на качестве отливки при вторичном охлаждении. Резкое увеличение интенсивности теплоотвода (водяное вторичное охлаждение) при выходе отливки из кристаллизатора может привести к образованию трещин, короблению. Как показали исследования, при непрерывном литье Бр А9ЖЗЛ целесообразно применять водовоздушное (увлажненный воздух) вторичное охлаждение в основном для крупных полых отливок с толщиной стенки более 50 мм.

Свинцовистые бронзы характеризуются большой гравитационной ликвацией. Для предотвращения ликвации при литье рекомендуется использовать диспергирование и ускоренное охлаждение, которое оптимально можно обеспечить при непрерывном литье.

Кристаллизация Бр С30 начинается при температуре 960 °С и заканчивается при температуре плавления свинца 320 °С. Струк-

тура металла состоит из ранее выделившихся кристаллов меди, вокруг которых в виде оболочки расположен свинец. Это явилось причиной того, что при температуре выше температуры плавления свинца происходит нарушение связи между кристаллами меди и при вытягивании отливки из кристаллизатора возможно ее разрушение. Кроме того, наблюдается разогрев отливки после выхода ее из кристаллизатора, который выше у отливок с большей толщиной стенки. Поэтому необходимым условием стабильного непрерывного литья Бр С30 является интенсивный теплоотвод как в кристаллизаторе, так и после выхода отливки из него. Исходя из этого же условия, необходимо производить заливку при минимально допустимой температуре и увеличивать продолжительность интенсивного теплоотвода. Продолжительность теплоотвода можно увеличить путем использования высоких кристаллизаторов и вторичного охлаждения. Предпочтителен циклический режим вытягивания.

Структура свинцовистой бронзы при непрерывном литье мелкозернистая, однородная по сечению отливки. Механические свойства выше, чем при литье в кокиль: прочность на разрыв 75 МПа (60 МПа – в кокиль), относительное удлинение 15% (4% – в кокиль), твердость 30 НВ (25 НВ – в кокиль).

Оловянные литейные бронзы из-за большого интервала кристаллизации обладают умеренной жидкотекучестью. С большим температурным интервалом связан объемный характер затвердевания, который проявляется в образовании значительной усадочной пористости и небольшой усадочной раковины. Высокая теплопроводность оловянных бронз, которая возрастает с повышением температуры, способствует увеличению двухфазной зоны. Это затрудняет получение крутых температурных градиентов в затвердевающих отливках и способствует их объемному затвердеванию. При высоких скоростях охлаждения (водоохлаждаемый кристаллизатор) двухфазная зона вследствие более крутого градиента температур значительно сокращается. При этом образуется структура с малой протяженностью дендритных ветвей и повышается плотность металла.

У отливок из Бр О5Ц5С5, получаемых непрерывным литьем, со стороны кристаллизатора образуется структура дендритного строения. Она состоит из неоднородного твердого раствора замещения олова и меди с кристаллической решеткой гранцентрированного куба. Оси дендритов, обогащенные медью, темные, а межосевые пространства с повышенной концентрацией олова – светлые. К центру отливки структура укрупняется.

Показатели механических свойств Бр О5Ц5С5 в непрерывнолитых заготовках следующие: предел прочности на разрыв 195... 215 МПа, относительное удлинение 9,5...10,8%; твердость 65... 75 НВ, распределение твердости по сечению равномерное.

Латуни кристаллизуются в узком интервале температур (50...60 °С), что исключает дендритную ликвацию. Однако узкий интервал кристаллизации способствует образованию столбчатой структуры и транскристаллизации. Латуни имеют хорошую жидкотекучесть. В отливках из латуни образуются небольшая, в основном осевая, пористость и сосредоточенная усадочная раковина. Отливки имеют более однородные свойства по сечению, обладают высокой герметичностью.

Так, у непрерывнолитых отливок из латуни ЛЦ40С по сравнению с отливками, полученными другими способами литья, менее разветвленная дендритная структура. Измельчение и равномерное распределение фаз способствует хорошему распределению смазки при трении. Основные показатели механических свойств латуни ЛЦ40С следующие: прочность на разрыв 230...260 МПа, относительное удлинение 25...30% ; твердость 90...95 НВ.

Проведенные исследования позволили определить основные технологические параметры (табл. 1) и характерные приемы при литье заготовок из сплавов на основе меди.

Таблица 1

**Рекомендуемые параметры получения заготовок из сплавов на основе меди методом вертикального непрерывного литья**

Наружный диаметр отливки/ толщина стенки, мм	Температура заливаемого металла, °С	Время выдержки в начале процесса, с	Время движения, с	Время остановки, с	Шаг протяжки, мм	Средняя скорость литья, м/мин
<i>Бронза Бр О5Ц5С5</i>						
60...70/15	1160...1165	3	2,7	2,1	30...35	0,56
100...110/20	1160...1165	5	2,5	2,5	40...45	0,50
140...150/20	1150...1155	7	2,3	3,0	45...50	0,42
<i>Бронза Бр А9Ж3Л</i>						
60...70/12	1180...1185	2	1,9	1,1	10...15	0,63
100...110/20	1160...1165	3	1,8	1,5	15...20	0,55
140...150/25	1160...1165	5	1,7	1,8	15...20	0,48
<i>Бронза Бр С30</i>						
90...120/30	1180...1200	10	3	5	60...65	0,45
<i>Латунь ЛЦ40С</i>						
60...70/12	940...945	2	1,8	1,2	10...15	0,58
100...110/15	930...935	3	1,7	1,7	15...20	0,50
140...150/20	920...925	5	1,6	2,0	15...20	0,44

Так, для заливки расплава в полость кристаллизатора необходимо использовать специальное заливочное устройство, обеспечивающее рассредоточенное распределение расплава по сечению. Хорошие результаты получены с использованием литниковой системы в виде приемной заливочной чаши и литникового хода с короткими каналами, расположенного по периметру заполняемого сечения.

Сплавы на основе меди характеризуются тем, что отливка в горячем состоянии обладает низкой прочностью. В процессе непрерывного литья при извлечении затвердевающей отливки из кристаллизатора прочность образовавшейся оболочки может оказаться недостаточной и возможен ее разрыв. Поэтому процесс непрерывного литья (извлечение отливки) необходимо проводить в циклическом режиме: в начале процесса заполнение кристаллизатора производится при стационарном положении механизма вытягивания (время стационарной заливки зависит от скорости затвердевания металла в затравочных элементах), затем осуществляются перемещение на заданный шаг протяжки и выдержка.

Для интенсификации процесса затвердевания и охлаждения отливки после выхода из кристаллизатора эффективно вторичное водовоздушное охлаждение.

Разработанная НИЛ прогрессивных технологических процессов производства отливок БНТУ технология вертикального непрерывного литья заготовок из сплавов на основе меди опробована и используется на ряде предприятий Республики Беларусь и стран СНГ.

*УДК 669.18.046*

**Э.Ф. БАРАНОВСКИЙ**, канд. техн. наук,  
**В.А. ПУМПУР**, канд. техн. наук,  
**Г.П. КОРОТКИН** (ИТМ НАН Беларуси)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПИТАТЕЛЯ ПРИ ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ ЗАГОТОВОК МАССИВНЫХ ХЛОРИСТО-МЕДНЫХ КАТОДОВ**

Целью настоящего исследования является создание технологии изготовления массивных катодов для водоактивируемых химических источников тока (ХИТ). В последние годы растет спрос на водоактивируемые ХИТ различного назначения и мощности. Так, батареи с массивным хлористо-медным катодом способны работать в непрерывном режиме более двенадцати месяцев. Для создания такого ХИТ актуальна проблема изготовления литьем в кокиль качественных отливок в виде брусков из сплавов на основе хлористой меди.