

Применение электрошлаковых технологий для получения полых заготовок сложной формы (обзор)

Рассмотрены электрошлаковые методы изготовления полых фасонных заготовок для машиностроительных деталей ответственного назначения. Выполнен сравнительный анализ преимуществ и недостатков различных технологий применительно к получению крупногабаритных полых заготовок сложной конфигурации. Сделан вывод о том, что наиболее приемлемым с точки зрения простоты оборудования и оснастки, технологических особенностей, мобильности производства является центробежное электрошлаковое литье.

Ключевые слова: электрошлаковый процесс, переплав, электрошлаковое литье, подпитка, кокильное литье, центробежное литье, полая фасонная заготовка, качество литого металла

В условиях жесткой конкуренции как со стороны украинских, так и зарубежных производителей машиностроительным предприятиям Украины требуется модернизация оборудования и внедрение перспективных технологических процессов. К таковым в области машиностроения высококачественных стальных заготовок можно с уверенностью отнести разработанные отечественными учеными и специалистами перспективные электрошлаковые технологии (ЭШТ). В пользу их перспективности говорит хотя бы то, что в экономически развитых странах электрошлаковые технологии продолжают развиваться достаточно интенсивно и масштабно [1]. Только за последние 3-5 лет введено в действие множество печей электрошлакового плавления (ЭШП) в Австрии, Австралии, Италии, Англии, Швеции, ФРГ, Японии, США, особенно в Китае, который имеет совершенно уникальные мощности по ЭШП. Внедрены и внедряются принципиально новые технологии, как, например, технология скоростного ЭШП (ESRR – Electroslag Rapid Remelting), заключающаяся в переплаве электрода большого диаметра в кристаллизаторе Т-образной формы. Такая технология освоена в Австрии, Словении, Италии, и в некоторых других странах находится в стадии опробования.

В данной работе авторы рассмотрели существующие ЭШ технологии получения полых фасонных заготовок и их перспективность на украинском рынке.

По традиционной технологии заготовки из катаного металла для придания им нужной конфигурации подвергаются дальнейшему переделу. В одном случае это экономически невыгодно из-за низкого выхода годного металла, в другом – из-за сложностей с ковкой труднодеформируемых сталей и сплавов, иногда кузнечно-прессовому оборудованию не хватает мощности для получения крупных заготовок нужной конфигурации. При этом электрошлаковые полые заготовки можно использовать в литом виде без дальнейшей деформации, поскольку литой электрошлаковый металл не уступает в прочности деформированному металлу обычного производства, но заметно превосходит его по пластичности и вязкости [1, 2]. Иногда электрошлаковый металл превос-

ходит его по служебным характеристикам в конкретных изделиях.

Одним из методов получения полых фасонных заготовок является метод электрошлакового литья (ЭШЛ). При ЭШЛ [3, 4] заготовок сложной формы конфигурацию внутренней полости медного охлаждаемого кристаллизатора, в котором переплавляют расходуемый электрод, максимально приближают к форме заготовки.

В зависимости от конфигурации выплавляемой заготовки применяют несколько способов получения отливок ЭШЛ: в стационарных кристаллизаторах и ЭШЛ с относительным перемещением получаемого изделия и короткого подвижного кристаллизатора [3, 5, 6].

Первый способ применяют, когда площадь поперечного сечения выплавляемых заготовок изменяется по высоте [7]. Например, заготовку корпуса запорной арматуры, представляющую собой отливку сравнительно небольшой высоты с наличием фланцевых частей и полостей, получают в стационарных кристаллизаторах. Для извлечения готовой отливки кристаллизатор изготавливают из двух разъемных в вертикальной плоскости полуформ, формирующих центральную часть корпуса и примыкающих к полуформам нескольких обечаек. Заготовка корпуса запорной арматуры имеет сложную форму с резким изменением площади поперечного сечения по ее высоте. Для электрошлаковой выплавки такой цельнолитой заготовки ее необходимо располагать так, чтобы участки с различным сечением формировались последовательно и были расположены по возможности симметрично относительно оси расходуемого электрода (рис. 1). В ходе электрошлаковой выплавки по такой технологической схеме несколько раз происходит изменение площади поперечного сечения плавильного пространства. Плавление расходуемого электрода начинается в полости, формирующей нижний фланец (рис. 1, а). Затем зона плавки переходит в более узкую полость патрубка, после чего – в самую широкую, в которой выплавляется центральная часть заготовки корпуса (рис. 1, б). В дальнейшем изменение площади

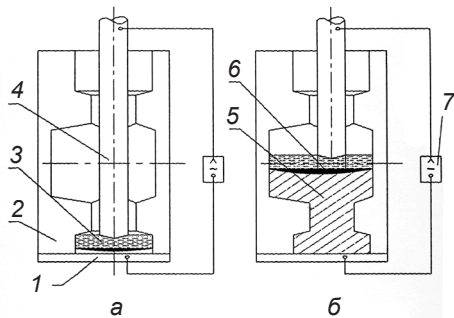


Рис. 1. Схема ЭШЛ заготовки корпуса задвижки с фланцами на концах патрубков: начало процесса (а), выплавка центральной части (б); 1 – поддон, 2 – кристаллизатор, 3 – шлаковая ванна, 4 – расходный электрод, 5 – выплавляемая заготовка, 6 – металлическая ванна, 7 – источник питания

сечения плавильного пространства происходит в обратном направлении. Заканчивается процесс выплавки заготовки формированием верхнего патрубка и выводом усадочной раковины.

При выплавке такого изделия методом электрошлакового кокильного литья (ЭКЛ) возникает ряд технических трудностей. По ходу плавки несколько раз меняются такие технологические параметры процесса, как коэффициент заполнения кристаллизатора, глубина шлаковой и металлической ванн, расстояние от зоны тепловыделения (межэлектродного промежутка) до стенок кристаллизатора и др. Полностью компенсировать изменение упомянутых параметров варьированием вводимой удельной мощности (тока и напряжения) не представляется возможным из-за наличия резких переходов от одного сечения к другому и инерционности электрошлакового процесса.

Еще одной проблемой при такой технологической схеме является отсутствие свободной линейной усадки вдоль вертикальной оси заготовки в процессе ее затвердевания и охлаждения. Усадке в продольном направлении препятствует неподатливый медный кристаллизатор, имеющий несколько наклонных к горизонту плоскостей, расположенных на разных уровнях. Это приводит к возникновению в отливке растягивающих напряжений, которые могут привести к усадочной пористости, снижающей механические свойства отливки, или вызвать появление горячих трещин. Кроме того, неизбежно зажатие кристаллизатора остывающей отливкой, что затрудняет последующее ее извлечение. Технологические трудности при получении подобных отливок с осевой цилиндрической полостью (рис. 2) дополнительно усложняются в результате использования подвижных или неподвижных дорнов.

Еще одной разновидностью ЭШЛ фасонных заготовок является способ, при котором осуществляется формирование наружной поверхности с большим количеством патрубков, расположенных на разных уровнях по высоте [8]. В этом случае в кристаллизаторе, формирующем цилиндрическую часть полого изделия, выполняют отверстия, в которые вставляют автономные охлаждаемые обечайки. По ходу плавки эти обечайки после затвердевания в них металла снимают с заготовок патрубков. Благодаря этому

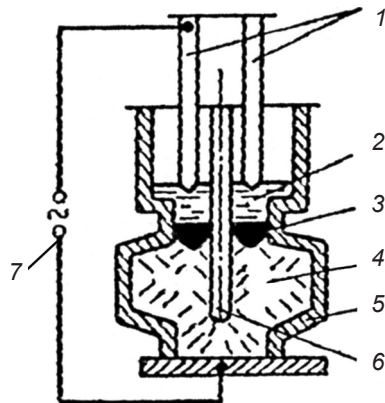


Рис. 2. Схема ЭШЛ заготовки корпуса запорной арматуры: 1 – расходные электроды, 2 – шлаковая ванна, 3 – металлическая ванна, 4 – заготовка, 5 – кристаллизатор, 6 – дорн, 7 – источник тока

обеспечивается свободная усадка изделий и предотвращается защемление кристаллизатора между патрубками, расположенными на разных уровнях по высоте выплавляемого изделия (рис. 3). Как и в

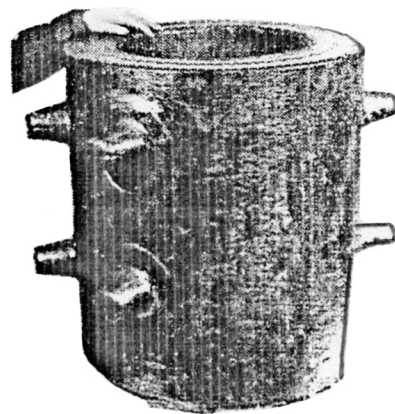


Рис. 3. Электрошлаковая отливка с патрубками, сформированными в процессе ее выплавки

предыдущем случае, существенным недостатком способа является достаточно сложная конструкция кристаллизатора, у которого каждая составная часть имеет индивидуальную систему водяного охлаждения. Это удорожает конструкцию и создает неудобство в эксплуатации кристаллизатора и системы водяного охлаждения в целом.

В некоторых случаях в готовой заготовке, например в сосуде высокого давления, наплавляют патрубки по следующей технологической схеме. На заготовке по оси будущего патрубка сверлят отверстие, соосно которому устанавливают охлаждаемый кристаллизатор. В полости кристаллизатора наводят шлаковую ванну, а затем переплавляют расходный электрод из металла, идентичного по химическому составу основному металлу (рис. 4). В результате происходит прочное приплавление патрубка к готовой заготовке. Целесообразность использования такой технологии зависит от конкретных условий производства, наличия оборудования и оснастки.

Технология ЭКЛ в стационарных кристаллизаторах уступает по производительности и стоимости

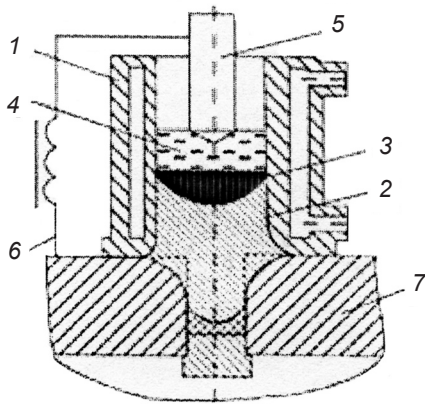


Рис. 4. Схема ЭШЛ патрубка на корпусе сосуда высокого давления: 1 – съемный кристаллизатор, 2 – электрошлаковая отливка, 3 – металлическая ванна, 4 – шлаковая ванна, 5 – расходный электрод, 6 – токоподвод, 7 – корпус сосуда

специализированной оснастки технологии получения литых заготовок в коротких подвижных кристаллизаторах при относительном перемещении кристаллизатора и получаемого изделия [3, 9]. Как правило, такая технология применяется, если площадь поперечного сечения выплавляемой заготовки остается постоянной.

Наибольшее распространение в промышленности получил способ ЭШЛ полых фасонных заготовок, при котором применяют наружный и внутренний кристаллизаторы, соединенные в один блок с относительным перемещением по ходу плавки выплавляемой заготовки и обоих кристаллизаторов. При этом конусный внутренний кристаллизатор располагают расширением вверх. Используют разные варианты этого способа. Один из них заключается в том, что выплавляемая полая заготовка остается неподвижной на поддоне, а по мере ее роста кристаллизаторы перемещают вверх (рис. 5, а). При другом варианте неподвижными остаются кристаллизаторы,

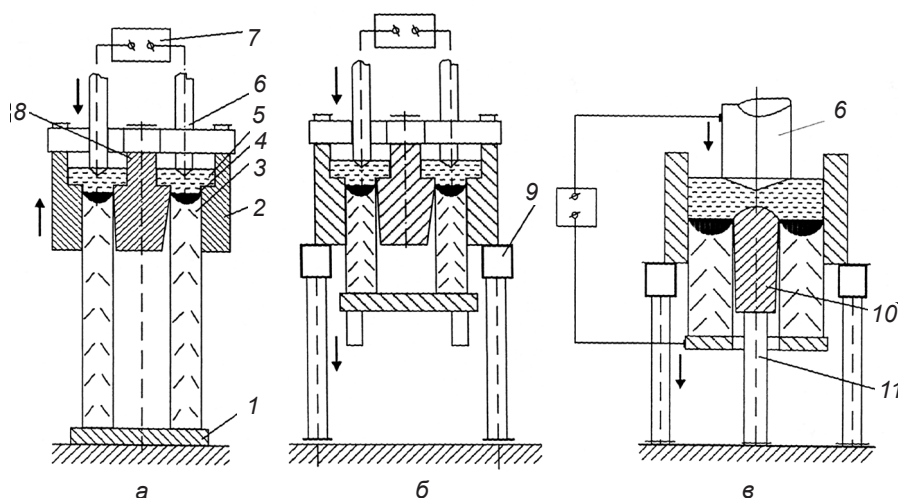


Рис. 5. Схемы ЭШЛ с относительным перемещением кристаллизаторов и выплавляемых полых заготовок: с неподвижной заготовкой и перемещающимся вверх блоком кристаллизаторов (а), с неподвижным блоком кристаллизаторов и перемещающейся вниз заготовкой (б), с перемещающейся вниз заготовкой и неподвижным наружным и подвижным дорном (в); 1 – поддон, 2 – кристаллизатор, 3 – заготовка, 4 – металлическая ванна, 5 – шлаковая ванна, 6 – расходный электрод, 7 – источник тока, 8 – подвижный дорн, 9 – опора, 10 – неподвижный дорн, 11 – шток

а выплавляемую заготовку вместе с поддоном перемещают вниз (рис. 5, б). Для выплавки заготовок этим способом используемые электроды располагают в виде частокола из круглого или прямоугольного проката. Частокол электродов между кристаллизаторами размещают так, чтобы элементы конструкции, удерживающие дорн в заданном положении, находились в промежутках между отдельными электродами. Кристаллизаторы, объединенные в общий блок, могут иметь в верхней части уширение. В нем во время переплава находится шлаковая ванна и происходит процесс плавления расходных электродов [10]. Кристаллизаторы с уширенной плавильной зоной позволяют применять более короткие электроды, поперечное сечение которых может превышать толщину стенки выплавляемой полой заготовки, что позволяет увеличить длину заготовки при заданной высоте электрошлаковой установки. При ЭШЛ в уширенном кристаллизаторе расплавленный металл с оплавленных торцов расходных электродов стекает в узкую часть зазора, в котором формируется полая заготовка. Перемещая кристаллизатор или слиток со скоростью плавки, зеркало металлической ванны удерживают на заданном уровне ниже порога уширения. Поверхность шлаковой ванны в уширенной части кристаллизатора также остается практически неподвижной относительно его стенок.

При ЭШЛ с относительным перемещением выплавляемого полого слитка и кристаллизаторов скорость перемещения должна соответствовать скорости роста слитка. В случае, если скорость перемещения превысит скорость его роста, расплавленный металл вытекает через образовавшийся зазор между слитком и конусным дорном. Если же скорость перемещения окажется ниже скорости его роста, дорн зажимается выплавляемым полым слитком, и кристаллизатор при своем дальнейшем движении начнет отрывать от слитка обжимающую его корочку металла. В этом случае для регулирования скорости взаимного перемещения кристаллизаторов и слитка применяют специальные датчики, следящие за уровнем металлической ванны. Разработаны и используются датчики индукционного [11], теплового [12] и потенциального [13] типов, которые устанавливают в стенке кристаллизатора ниже порога уширения.

Способами ЭШЛ с относительным перемещением обоих кристаллизаторов в промышленных условиях производят длинные полые заготовки \varnothing до 1500 мм, с толщиной стенки от 40 до 350 мм [9, 14].

Из нержавеющей стали марки 07X16N6 выплавляют заготовки барабанов массой 6 т, длиной 2,5 м, диаметром 1460 мм, с толщиной стенки 80 мм [15]. Из стали марки

12X18H10T изготавливают заготовки корпусов сосудов, работающих при температуре жидкого азота и давлении 7 МПа, длиной 2,5 м, диаметром 715 мм, с толщиной стенки 170 мм [16].

Существует разновидность технологии ЭШЛ, при которой слиток вытягивают вниз, а наружный кристаллизатор и дорн не соединяют в общий блок. В этом случае дорн устанавливают на жестком штоке, через который также подводят и отводят охлаждающую воду. В процессе ЭШЛ верхний торец внутреннего кристаллизатора удерживают ниже уровня шлака так, чтобы он лишь немного выступал над металлической ванной. При этом пространство внутри кристаллизатора выше зеркала шлаковой ванны остается свободным для размещения расходуемых электродов [17]. Схема такого процесса ЭШЛ приведена на рис. 5, в. Преимуществом этого варианта ЭШЛ полых слитков является возможность применять для переплава один расходуемый электрод большого сечения. В ходе процесса ЭШЛ происходит как бы прошивка сплошного электрода и формирование полой заготовки. Эта разновидность ЭШЛ получила название электрошлаковой прошивки, при которой отпадает необходимость использовать для переплава тонкий прокат из требуемой марки металла и изготавливать из него расходуемый электрод в виде частоккола прутков. Использование одного электрода упрощает процесс подготовки ЭШЛ и существенно снижает затраты на его проведение. Особенно эффективна прошивка при производстве полых заготовок из труднодеформируемых сталей и сплавов, из которых сложно получать тонкие прутки. На рис. 6 показаны формы поперечного сечения некоторых литых фасонных заготовок, полученных рассмотренными выше способами ЭШЛ.

Определенные трудности возникают при получении методами ЭШЛ длинномерных полых изделий постоянного профиля поперечного сечения, имеющих на концах фланцы. В подвижных кристаллизаторах для выплавки полых изделий обычной конструкции с закрепленными на них дорнами флан-

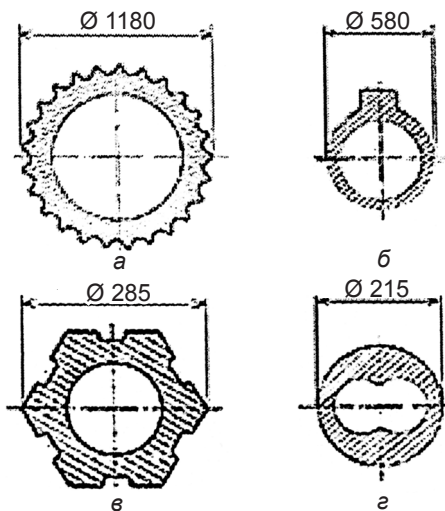


Рис. 6. Форма поперечного сечения фасонных электрошлаковых заготовок: ведущего колеса трактора (а); эксцентрично расположенная полость и прямоугольный выступ снаружи стенки (б); продольного суппорта станка-автомата (в); корпуса двухчервячного гранулятора (г)

цевые части получить невозможно. Обычно длинномерные полые изделия с фланцами изготавливают только путем приваривания фланцевых частей к основной части изделия. Такая технология трудоемкая, связана с необходимостью многократной термо- и мехобработки с большим расходом металла в стружку, большими объемами сварочных работ.

Опыт ЭШЛ полых слитков и труб в коротких подвижных кристаллизаторах позволяет применить эту схему и для получения полых фасонных изделий с фланцами [18]. При разработке конкретной технологии принимают специальные меры для увеличения коэффициента заполнения с тем, чтобы длина электродов была максимально приближена к длине готового изделия. Схема ЭШЛ для получения длинномерного изделия с одним или двумя фланцами и ребром по всей длине (рис. 7) предполагает относи-

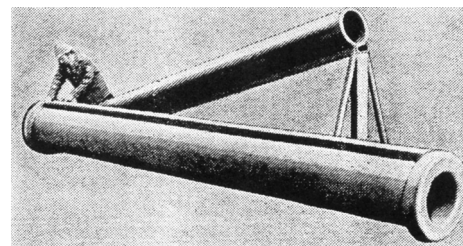


Рис. 7. Длинномерная двухфланцевая заготовка ЭШЛ \varnothing 600 мм с фланцами \varnothing 750 мм, длиной до 4 м

тельное перемещение дорна, короткого подвижного кристаллизатора и слитка при выплавке изделия. Кристаллизатор имеет полости для формирования фланцев и один разъем для извлечения готовой отливки. Расходуемые электроды имеют переменное сечение. Особые трудности возникают при формировании нижнего фланца изделия. Этот фланец формируется частью электродов, имеющих минимальное поперечное сечение в условиях переменной глубины шлаковой ванны. Наличие разной толщины стенок в поперечном сечении отливки обуславливает значительную разницу глубины металлической ванны по ее периметру. Так, в донной части изделия она составляет около 40 мм, а в районе наружного выступа достигает до 180. Это влечет за собой неравномерность затвердевания и остывания отливки по мере ее наплавления, что приводит к изгибу отливки. Специальными средствами удается свести к минимуму изгиб отливки в ходе выплавки (от 2 до 5 мм по всей длине изделия). При выплавке таких изделий необходимо обеспечивать надежный контроль уровня жидкой металлической ванны относительно как стенок кристаллизатора, так и дорна, что обосновывает повышенные требования к системе контроля уровня жидкой металлической ванны. Применение тепловых и индуктивных датчиков уровня металлической ванны позволяет успешно решать эти задачи. Полученные отливки не требуют механической обработки по наружной поверхности, а припуски на механически обрабатываемые поверхности обычно минимальные.

На основе ЭШП появился еще один процесс

получения высококачественных полых отливок – электрошлаковая подпитка [19]. Он заключается в следующем. В охлаждаемый стационарный кристаллизатор устанавливается внутренний кристаллизатор (дорн), разъемный в вертикальной плоскости (рис. 8), в зазор между кристаллизаторами – пар-

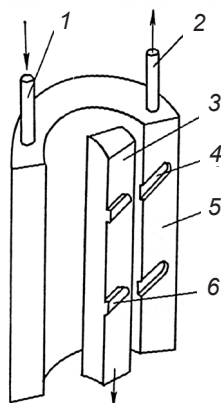


Рис. 8. Схема дорна: 1 – подвод воды, 2 – отвод воды, 3 – съемный блок, 4 – направляющий паз, 5 – внутренний кристаллизатор, 6 – направляющая шпонка

ное количество нерасходуемых графитовых электродов с зазором между ними и медным охлаждаемым поддоном. В отдельном шлакоплавильном агрегате готовят необходимую порцию жидкого шлака, который заливают в зазор между кристаллизаторами. Далее производят подогрев шлака в зазоре между кристаллизаторами до температуры 1650-1700 °С. После этого жидкий металл заливают в шлаковую ванну и с помощью упомянутых электродов, подключенных по бифилярной схеме питания, осуществляют процесс затвердевания отливок с выводом усадочной раковины. Этим методом выплавляют полые отливки с наружным Ø 500 мм и внутренним – 160. Механические свойства металла соответствуют предъявляемым требованиям. Основная трудность при использовании этого метода заключается в выбивке дорна, обжимаемого затвердевающим металлом.

В последнее время получает широкое развитие электрошлаковый процесс без расходуемых электродов [20], который может быть применен и при получении полых фасонных заготовок. Характерная особенность этого процесса состоит в том, что благодаря токоподводящему кристаллизатору шлаковая ванна постоянно поддерживается в нем в жидком состоянии и при этом вращается и перемещается, интенсивно рафинируя поступающий в нее жидкий металл.

Другая важная особенность электрошлакового процесса в токоподводящем кристаллизаторе – независимость скорости извлечения заготовки из кристаллизатора от температуры жидкого металла. Это позволяет создать оптимальные условия для затвердевания металла и формирования его однородной и мелкодисперсной структуры.

Известны способы и агрегаты для накопления и поддержания в жидком состоянии определенной порции жидкого металла. Это индукционные печи –

миксеры, электрошлаковые промышленные ковши, электрошлаковые тигельные печи, магнитодинамические установки [21] и др. Из таких агрегатов металл подается в шлаковую ванну, а затем попадает в зазор между наружным кристаллизатором и дорном (рис. 9). Относительное перемещение блока

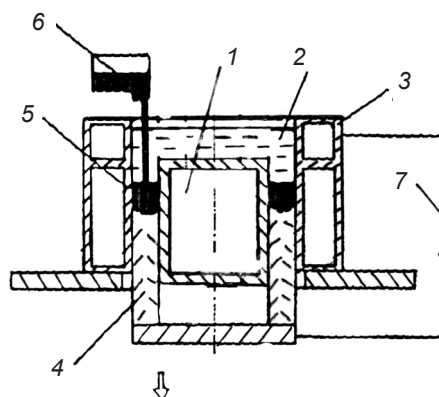


Рис. 9. Схема процесса ЭШП ЖМ при получении полых заготовок: 1 – дорн, 2 – шлаковая ванна, 3 – токоподводящий кристаллизатор, 4 – выплавляемая заготовка, 5 – металлическая ванна, 6 – устройство для заливки жидкого металла, 7 – источник питания

кристаллизаторов и получаемой заготовки аналогично тому, как это происходит при использовании расходуемых электродов.

Однако развитие электрошлаковых технологий с использованием жидкого присадочного металла сдерживается необходимостью дозирования и сравнительно длительного поддержания при заданной температуре жидкого присадочного металла. Упомянутые выше агрегаты для жидкого металла, используемые в большой металлургии, отличаются большими скоростями разлива. Например, разлива стали в кристаллизаторы непрерывного литья заготовок производится обычно со скоростью 1100-1300 кг/мин и более из ковшей с разливочными стаканами, имеющими выпускное отверстие Ø от 20 до 50 мм. Разливку же жидкой стали в электрошлаковых технологиях необходимо осуществлять со скоростью 2-10 кг/мин, то есть на два порядка меньше. Непрерывная разливка с такой скоростью должна производиться при диаметре выпускного отверстия всего 2-4 мм [22]. Естественно, что выпуск жидкой стали через отверстие такого диаметра невозможен без обогрева выпускного отверстия. В настоящее время портативных устройств, позволяющих производить заливку жидкого металла с требуемой скоростью, нет ни в большой металлургии, ни в литейном производстве.

Развитие электрошлакового процесса в свое время дало жизнь таким перспективным электрошлаковым технологиям, как кокильное (ЭКЛ) и центробежное (ЦЭШЛ) электрошлаковое литье [23, 24]. К сожалению, в последние годы как по объективным, так и субъективным причинам, применение и развитие этих, безусловно, перспективных технологических процессов замедлилось. В то же время возможности данных способов литья позволяют решать многие

задачи повышения эффективности и качества продукции. К ним относятся снижение материалоемкости, повышение коэффициента использования металла (КИМ), снижение массы и повышение эксплуатационных показателей деталей, увеличение производительности и улучшение условия труда.

По технологии ЭКЛ производят выплавку полых фланцев практически любых размеров. В случае необходимости получения крупногабаритных фланцев их изготовление деформационными методами весьма затруднено. Кроме фланцев из стали марки 20 изготавливают заготовки штампов горячего деформирования, из сталей марок Х12М, 6Х6В3МФС и других с наружным \varnothing 380-700 мм и внутренним – 80-330 мм, массой 60-200 кг.

Технология получения колец методом ЭКЛ (рис. 10)

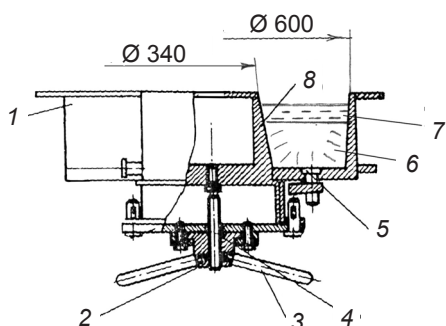


Рис. 10. Схема получения колец методом ЭКЛ в кокиле с подвижным дорном: 1 – кокиль, 2 – гайка, 3 – штурвал, 4 – винт, 5 – толкатель, 6 – отливка, 7 – шлаковая шапка, 8 – дорн

в кокиле с подвижным дорном [24] выгодно отличается от деформационных методов тем, что позволяет повысить коэффициент использования металла (КИМ) до 0,7-0,8. При этом имеется возможность переплавлять отходы конструкционной и инструментальной стали практически любой конфигурации, в том числе облой и кусковые присадочные материалы. В случае необходимости возможно делегирование стали недостающими элементами непосредственно в футерованном тигле. Кроме того, такая технология позволяет придать отливке практически любую форму и тем самым сократить объем механической обработки.

Были выполнены исследования макро- и микроструктуры, физической и химической однородности полученных заготовок и их служебные свойства.

Исследование механических свойств отливок ЭКЛ показало, что значения предела прочности, предела текучести, относительного удлинения и сужения выше значений, нормированных ГОСТ 1050-74 для катаного металла открытой выплавки. Ударная вязкость литого металла ЭКЛ значительно превышает требования стандарта Д1N.

Метод ЭКЛ дает возможность получать заготовки со сложной конфигурацией как по наружной, так и внутренней поверхностям. Однако он имеет существенный недостаток, который заключается в следующем. Необходимо в точно фиксированный момент извлекать дорн из затвердевающей заготовки. При раннем извлечении возможен пролив металла и шлака. В случае задержки возникают трудности с

извлечением из-за обжатия дорна затвердевающим металлом. При этом возможно образование горячих трещин.

Другой электрошлаковой технологией с применением тигельной плавки, как уже отмечалось, является ЦЭШЛ. Этот процесс объединяет центробежное и электрошлаковое литье. Предпосылкой создания метода ЦЭШЛ послужили разработки ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ в области электрошлаковой тигельной плавки металла и разлива его в стационарные литейные формы [24], а также работы по центробежному литью с применением твердых шлакообразующих смесей, проведенные в ИПЛ АН УССР (в настоящее время – Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины) [26].

Сущность процесса ЦЭШЛ заключается в расплавлении и накоплении жидкого металла электрошлаковым методом в футерованном тигле и последующей заливке металла вместе со шлаком, использованным ранее для переплава, во вращающуюся литейную форму. Применение центробежных сил для заполнения форм электрошлаковым металлом и использование в процессе разлива жидкого шлака обеспечивают преимущества, недостижимые как при каноническом электрошлаковом литье [24], так и обычном центробежном [27].

По сравнению с ЭШЛ с помощью ЦЭШЛ значительно проще получать полые заготовки, особенно фасонные. Не требуется контроль уровня жидкого металла в литейных формах, медные охлаждаемые кристаллизаторы заменяются неохлаждаемыми литейными формами из низкоуглеродистой стали и пр. ЦЭШЛ является ресурсосберегающим, так как для переплава в тигле используются любые виды твердых металлических отходов или жидкий присадочный металл, полученный в другом сталеплавильном агрегате.

Получение различных полых заготовок может осуществляться в формы с горизонтальной, наклонной или вертикальной осью вращения. Однако в случае изготовления сравнительно коротких машиностроительных заготовок предпочтение отдается формам с вертикальной осью вращения. Такой выбор связан с тем, что при вращении вокруг вертикальной оси в отливках не образуется полосчатая структура [26], полностью отсутствует дождевание.

По технологии ЦЭШЛ получают эксцентриковые втулки прессов из конструкционной стали марки 40Х массой 50 кг, заготовки полумуфты дорожных машин массой 15 кг [28]. Проведенные исследования качества литого металла этих изделий дают возможность сделать вывод о том, что отливки имеют хорошее качество поверхности и по своим служебным свойствам не уступают свойствам поковок.

Из жаропрочной стали марки 13Х11Н2В2МФ (ЭИ 961) выплавляют полые цилиндрические заготовки с толщиной стенки 12 и 34 мм, диаметром 300 мм, высотой 220 мм и массой 19 и 49 кг соответственно (рис. 11). Исследования полученных отливок показали, что они имеют хорошее качество поверхности, их механические свойства выше требований ГОСТ 5949-75 к прокату на эту сталь [29].



Рис. 11. Заготовки ЦЭШЛ из стали марки ЭИ 961 с толщиной стенки 34 мм

Более сложные по форме отливки выплавляют из нержавеющей стали 1Х16Н4Б. Они представляют собой полый цилиндр $\varnothing 286$ мм с толщиной стенки 33 мм и одним фланцем на торце отливки $\varnothing 426$ мм, высотой 242 мм, массой до 50 кг [30]. Исследования показали, что заготовки ЦЭШЛ из этой стали по основным качественным показателям приближаются к сорто-

му прокату ЭШП, но в то же время значительно превосходят требования ТУ.

Выводы

Проблема получения крупногабаритных полых отливок сложной формы для нужд машиностроения может быть решена методом ЦЭШЛ в литейные формы с вертикальной осью вращения.

Преимущества этого ресурсосберегающего метода перед другими электрошлаковыми способами заключается в его простоте и надежности, сравнительной дешевизне оснастки, возможности использования любых отходов твердого или жидкого присадочного металла, а также мобильности процесса в условиях мелкосерийного и серийного производств.

Высокое качество отливок ЦЭШЛ обеспечивается рафинированием его в процессе выплавки и заливки, заполнением формы в поле центробежных сил, направленным затвердеванием, возможностью управления скоростью затвердевания элементов отливки с различной толщиной путем регулирования отвода теплоты.



ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б. Е., Медовар Б. И. Электрошлаковому переплаву 40 лет. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1988. – № 1. – С. 24-25.
2. Электрошлаковый металл / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. – Киев: Наук. думка, 1981. – 680 с.
3. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье. – Киев: Наук. думка, 1981. – 191 с.
4. Бат Г. К. Производство фасонных отливок методом электрошлакового переплава // Электрошлаковый переплав. – 1975. – № 3. – С. 204-212.
5. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Бойко Г. А. Электрошлаковое литье (Обзор). – М.: НИИМАШ, 1974. – 70 с.
6. Жадкевич М. Л., Шевцов В. Л., Пузрин Л. Г. Электрошлаковое литье полых слитков и заготовок в промышленном производстве (обзор) // Современ. электрометаллургия. – 2008. – № 3 – С. 7-14.
7. Электрошлаковое литье заготовок корпусов фон-танной арматуры высокого давления / В. Л. Шевцов, В. Я. Майданик, М. Л. Жадкевич и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1998 – № 4. – С. 3-12.
8. Ковалев В. А., Емельяненко Ю. Г. Формирование наружной поверхности изделий с патрубками // Спец. электрометаллургия. – 1975. – № 28. – С. 48-49.
9. Полые слитки ЭШП – заготовки для горячей раскатки на кольца и обечайки / Б. П. Васильев, Б. Б. Федоровский, В. И. Ус и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1991 – № 4. – С. 6-9.
10. Развитие новой технологии для шлакового литья применительно к производству цилиндрических изделий / Электрошлаковый переплав.: Материалы IV Междунар. симп. по процессам электрошлакового переплава. – Токио (Япония), 1973. – Киев: Наук. думка, 1975. – Вып. 3. – С. 178-193.
11. Индуктивные датчики уровня металла для электрошлаковых печей / О. П. Бондаренко, А. М. Марченко, А. И. Кравчук и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1976. – № 5. – С. 6-10.
12. Проблемы электрошлаковой технологии / О. А. Геращенко, В. Л. Шевцов, А. М. Пальти и др. – Киев: Наук. думка, 1978. – С. 100-104.
13. Некоторые вопросы исследования потенциального поля шлаковой ванны в подвижных кристаллизаторах при электрошлаковом переплаве / Г. А. Тимашов, И. А. Генис, Б. Б. Федоровский и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1981. – № 14. – С. 25-27.
14. Жадкевич М. Л., Федоровский Б. Б., Бородин А. И. Высококачественные литые полые электрошлаковые заготовки / Литейн. пр-во. – 1988. – № 8. – С. 12-13.
15. Южанин Ж. И., Дубинский Р. С. ЭШЛ в ПО «Коломенский завод тяжелых станков» / Электрошлаковая технология. – Киев: Наук. думка, 1988. – С. 94-97.
16. Электрошлаковая выплавка заготовок сосудов высокого давления из аустенитной стали / Б. И. Медовар, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1981. – № 15. – С. 13-16.
17. Электрошлаковая технология / Г. А. Тимашов, Б. Б. Федоровский, Б. А. Хлебников и др. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 99-101.

18. Применение ЭШЛ для получения длинных фасонных отливок с фланцами / Б. Б. Федоровский, Г. А. Тимашов, И. Д. Нагаевский и др. // Элетрошлаковая технология. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 78-80.
19. Жао Пей, Лю Хайхон, Жу Дзуе. Процесс электрошлаковой подпитки – новый метод производства высококачественных полых слитков. Пробл. спец. электрометаллургии. – 1990. – № 1. – С. 28-31.
20. Электрошлаковые процессы без расходующих электродов / Б. И. Медовар, А. К. Цыкуленко, Л. Б. Медовар и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1997. – № 2. – С. 12-16.
21. Применение магнетодинамической установки в технологии электрошлаковой наплавки жидким металлом стальных прокатных валков / В. И. Дубоделов, В. К. Погорский, В. К. Шнурко и др. // Там же. – 2002. – № 4. – С. 8-10.
22. Цыкуленко К. А. Устройства для разлива жидкого металла. Требования к таким устройствам для ЭШТ ЖМ // Там же. – № 2. – 2002. – С. 12-14.
23. Патон Б. Е., Медовар Б. И., Орловский Ю. В. Электрошлаковое кокильное литье. – Киев: Знание, 1982. – 64 с.
24. Медовар Б. И., Маринский Г. С., Шевцов В. Л. Центробежное электрошлаковое литье. – Киев: Знание, 1983. – 48 с.
25. Получение полых фланцев для трубопроводов методом электрошлакового кокильного литья с подвижным дорном / С. В. Скрипник, А. Н. Семенов, В. П. Скрипник и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 2000. – № 2. – С. 15-18.
26. Шевченко А. И. Центробежное литье под флюсом. – Киев: Наук. думка, 1991. – 132 с.
27. Юдин С. Б., Розенфельд С. Е., Левин М. М. Центробежное литье. – М.: ГНТИ, 1972. – 280 с.
28. Исследование качества металла центробежных отливок из электрошлаковой стали 40Х / Г. А. Бойко, В. В. Лакомский, Н. Б. Швайковская и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. – 1981. – Вып 15. – С. 26-28.
29. Исследование качества кольцевых заготовок из жаропрочной стали ЭИ 961, полученных методом центробежного электрошлакового литья / Б. И. Медовар, А. П. Игнатов, В. Л. Шевцов и др. // Там же. – 1987. – № 2. – С. 28-32.
30. Исследование качества заготовок из стали 1Х16Н4Б, полученных методом центробежного электрошлакового литья / А. В. Чернец, Н. В. Жук, Б. И. Медовар и др. // Там же. – 1987. – № 2. – С. 14-19.

Аннотация

Скрипник С. В., Чернега Д. Ф.

Застосування електрошлакових технологій для отримання порожнистих заготовок складної форми (огляд)

Розглянуто електрошлакові методи виготовлення порожнистих фасонних заготовок для машинобудівних деталей відповідального призначення. Виконано порівняльний аналіз переваг і недоліків різних технологій стосовно отримання великогабаритних порожнистих заготовок складної конфігурації. Зроблено висновок про те, що найбільш прийнятним з точки зору простоти устаткування і оснащення технологічних особливостей, мобільності виробництва є відцентрове електрошлакове лиття.

Ключовые слова

електрошлаковий процес, переплав, електрошлакове лиття, підживлення, кокильне лиття, відцентрове лиття, порожниста фасонна заготовка, якість литого металу

Summary

Skripnyk S., Chernega D.

Applying of electroslag technologies for obtainment of tubular irregular-shaped billets (review)

Electroslag methods of tubular-shaped billet manufacturing for engineering details of high-duty casting are examined. Comparative analysis of advantages and disadvantages of various technologies was fulfilled in reference to producing of large tubular irregular-shaped billets. There was made a conclusion that the most plausible from the point of view of equipment simplicity, technological peculiarities and production mobility is spun electroslag casting.

Keywords

electroslag process, remelting, electroslag casting, replenishment, chill casting, spun casting, tubular-shaped billet, cast metal quality

Поступила 20.03.11