

УДК 621.074

И. В. ЗЕМСКОВ, канд. тех. наук,  
И. К. ФИЛАНОВИЧ (БНТУ)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СПОСОБА ВЕРТИКАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Приближение отливки по конфигурации и размерам к обрабатываемой детали, снижение припусков на механическую обработку, увеличение выхода годного и снижение брака, повышение коэффициента использования металла – первостепенные задачи литейного производства. Наряду с усовершенствованием традиционного метода литья в песчаные разовые формы эти задачи в настоящее время успешно решают путем разработки и освоения специальных способов литья. Особенно перспективен способ вертикального непрерывного литья, который вписывается в поточное производство, обеспечивает высокое качество отливок, позволяет применять механизацию и автоматизацию технологических процессов, получать литые заготовки с наилучшими технико-экономическими показателями.

Технологический процесс литья может быть непрерывным, когда разделение затвердевающей отливки на заготовки определенной длины происходит без прекращения заливки металла путем ее резки после выхода из кристаллизатора в зону охлаждения, или полунепрерывным, когда процесс заливки и извлечения отливки заканчивается после получения заготовки заданной длины.

Возможность периодичности процесса определила область использования вертикального непрерывного литья – заготовительное производство машиностроения, где постоянно ведется поиск новых технологических разработок, не требующих значительных затрат на освоение и больших производственных площадей.

Непременным условием для осуществления процесса вертикального непрерывного литья в сквозной кристаллизатор скольжения является отсутствие на наружной поверхности отливаемой заготовки поднутрений, поперечных выступов и ребер, уклонов и т. п., т. е. заготовка должна иметь так называемое проходное сечение предпочтительно замкнутого контура. Это ограничение определяет номенклатуру непрерывнолитых заготовок.

На основании анализа характерных групп деталей разработаны принципиальные технологические схемы вертикального непрерывного литья, предназначенные для получения заготовок определенной номенклатуры. За основу принята принципиальная технологическая схема вертикального непрерывного литья заготовок сплошного сечения, используемая для разливки металла в слитки.

Любая схема непрерывного литья включает несколько обязательных элементов и технологических приемов, необходимых для осуществления процесса. Заливочное устройство, формообразующие элементы, механизм перемещения в определенной последовательности выполняют функции заливки, охлаждения в кристаллизаторе поступающего из заливочного устройства расплавленного металла с приобретением заданной формы при затвердевании и постепенное извлечение затвердевающей отливки.

Взаимосвязь элементов и техническое исполнение технологических схем зависят от конфигурации заготовки, ее размеров, сплава. Разработаны и исследованы различные варианты технологических схем, которые позволяют получать заготовки сплошного сечения, с внутренними полостями различного профиля, коробчатого сечения замкнутого и незамкнутого контура, мерные заготовки.

Заготовки сплошного сечения можно получать заливкой металла непосредственно в кристаллизатор открытой струей, под слой шлака или через заливочную воронку под уровень металла в кристаллизаторе. Такую схему используют в литейных цехах машиностроительных предприятий и организаций при переработке неделовых отходов черных и цветных сплавов в заготовки, являющиеся заменителями проката. При необходимости по оси кристаллизатора направляют металлический стержень, являющийся внутренним холодильником для устранения осевой рыхлоты или центральной частью

биметаллической заготовки. По такой схеме отливаются валки для тербления льна, у которых сердцевина выполнена из стали 45, а наружная часть – из хромистого чугуна, и биметаллические полые и сплошные заготовки. Выбор варианта зависит от заливаемого сплава. Одним из вариантов вертикального непрерывного литья сплошных заготовок является схема литья в кристаллизатор с продольными ребрами по всей длине. В перспективе такая схема может быть использована для получения заготовок типа шестерен с литым прямым зубом.

В номенклатуру непрерывнолитых заготовок с внутренними полостями входят цилиндрические заготовки типа труб и втулок с различной толщиной стенок, цилиндрические полые заготовки с профильной внутренней поверхностью, заготовки квадратного и прямоугольного сечения с внутренней полостью.

Для получения полых заготовок разработана и исследована технологическая схема вертикального непрерывного литья с использованием разрушаемого стержня, оформляющего внутреннюю поверхность отливки. Разрушаемый стержень остается в полости отливки до полного ее затвердения, что позволяет получать полые заготовки, имеющие сложный внутренний профиль, замкнутого или незамкнутого цилиндрического и коробчатого сечения, с внутренними ребрами, выступами и поднутрениями. Эта технологическая схема значительно расширяет номенклатуру непрерывнолитых заготовок и позволяет процессу приобретать универсальность традиционного литья в песчаные формы. Сущность процесса вертикального непрерывного литья с разрушаемым стержнем заключается в непрерывной подаче расплавленного металла в полость кристаллизатора с одновременным перемещением вместе с затвердевающей отливкой стержня. Разрушаемый стержень, изготовленный преимущественно из песчаной смеси с упрочнителями, оформляет профильную поверхность и индивидуально или блоком подается в кристаллизатор. Стержень может иметь практически любую фасонную конфигурацию, так как находится в неподвижном состоянии относительно поверхности отливки до полного ее затвердевания и удаляется из нее после снятия с установки и охлаждения. Процесс можно осуществлять по принципу литья с закрытым и открытым уровнем (рис. 1). Наиболее ши-

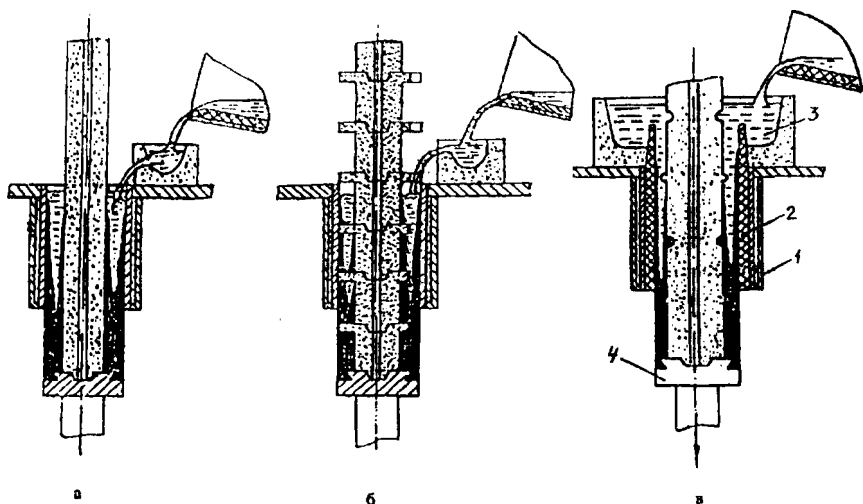


Рис. 1. Открытый (а, б) и закрытый (в) уровень при непрерывном литье заготовок машиностроения

рокое применение из приведенных схем находит схема непрерывного литья трубных заготовок с открытым уровнем (рис. 1, а). По такой схеме получают трубные заготовки из различных марок чугуна, сталей и цветных металлов.

Принципиальная технологическая схема вертикального непрерывного литья с закрытым уровнем предусматривает поступление расплавленного металла по всему сечению рабочей полости кристаллизатора из резервуара, расположенного над ним и полностью его перекрывающего. Возможный вариант такой схемы представлен на рис. 1, в: в водоохлаждаемом корпусе кристаллизатора 1 размещена рабочая втулка 2. Верхняя часть втулки выступает в резервуар 3 с жидким металлом. Уровень металла над выступающей частью должен создавать необходимый напор и обеспечивать стабильность температуры металла, чтобы не допустить намерзания на втулке корки. Быстрое охлаждение металла в резервуаре может привести к полному затвердеванию его в верхней части втулки и прекращению процесса литья. Поэтому при непрерывном литье с закрытым уровнем необходимо, чтобы верхняя часть рабочей втулки не только

не охлаждалась, но даже обогревалась. Подачу стержней в кристаллизатор производят посредством затравочного устройства 4, предназначенного также для сцепления отливки с механизмом перемещения.

Жидкий металл из заливочного ковша непрерывно поступает в резервуар 3 (так называемое литниковое устройство или чашу), заполняя его с поддержанием постоянного уровня, затем в полость кристаллизатора.

Начальная корка отливки образуется на поверхности выступающей части рабочей втулки. При перемещении вниз толщина ее непрерывно увеличивается, и полное затвердевание отливки происходит вне кристаллизатора или на выходе из него. При этом происходит непрерывное образование корки на месте уходящей. Процесс заканчивается в зависимости от варианта его ведения: разделение отливки на мерные заготовки производят, не прерывая подачу металла в кристаллизатор, или прекращают заливку и съем отливки производят после получения заготовки заданной длины.

Принцип вертикального непрерывного литья с закрытым уровнем (рис. 1, в) может быть использован для получения ряда ответственных фасонных отливок (типа поршневых колец, сепараторов подшипников, гильз, втулок с буртами и фланцами и др.) путем протягивания через резервуар с расплавленным металлом непрерывно подаваемых специальных форм, в которых полностью формируется отливка.

При непрерывном литье с разрушаемым стержнем, осуществляемым по принципу литья с открытым уровнем, жидкий металл в рабочую полость кристаллизатора подают струйным способом на мениск. В этом варианте рабочая втулка охлаждается по всей высоте. Образование корки начинается у мениска и в некоторой степени ее формирование зависит от направления, положения и глубины погружения струи заливаемого металла. Ограничение в применении схемы литья с открытым уровнем связано со сложностью подачи металла в полость, образованную рабочей поверхностью кристаллизатора и поверхностью стержня.

Широкое применение нашла схема вертикального непрерывного литья с открытым уровнем цилиндрических мерных заготовок типа втулок (рис. 1, б). Это достигается за счет стержней, имеющих спе-

циальные перегородки в поперечном сечении, расположенных друг от друга на расстоянии, равном высоте отливки, и полностью перекрывающих поперечное сечение рабочей полости кристаллизатора. Образованные таким образом формы для каждой отливки сообщаются между собой посредством прорезей или отверстий, которые выполняют роль каналов для поступления металла, подпитки нижележащих слоев отливок и связей отливок между собой, необходимых для извлечения заготовки из кристаллизатора во время осуществления процесса. Использование такой схемы на установке вертикального непрерывного литья с валковым приводом позволяет осуществить производство мерных полых заготовок производительностью, соизмеримой с производительностью автоматических линий.

Разновидностью схемы вертикального непрерывного литья с открытым уровнем является получение отливок сложного сечения с незамкнутым контуром, одна поверхность у которых профильная, другая соответствует неперемному условию непрерывного литья (наличие «проходного сечения»). Возможны разные варианты исполнения технологической схемы.

Один из вариантов заключается в том, что в кристаллизаторе формируется одновременно несколько отливок, расположенных таким образом, что профильные поверхности выполняются общим стержнем, а гладкие – кристаллизатором, образуя «проходное сечение». При этом полость кристаллизатора разделена знаковыми частями стержня на отдельные формы для каждой отливки (рис. 2). Подачу жидкого металла в такую форму производят литниковой системой с дифференцированным распределением его в каждую отливку и общением полостей форм между собой для выравнивания уровня металла в кристаллизаторе. Такая схема используется при получении реек строгального станка из чугуна СЧ20. В настоящее время разрабатывается технология получения заготовок брони барабанов для производства цемента из стали 110Г13Л, гладкая поверхность которых формируется кристаллизатором, а фасонная – песчаным стержнем. В кристаллизаторе расположены две отливки, разделенные стержнем.

Нашла применение схема получения одной отливки сложного профиля с незамкнутым контуром, имеющая одну наружную поверхность без выступов и поднутрений.

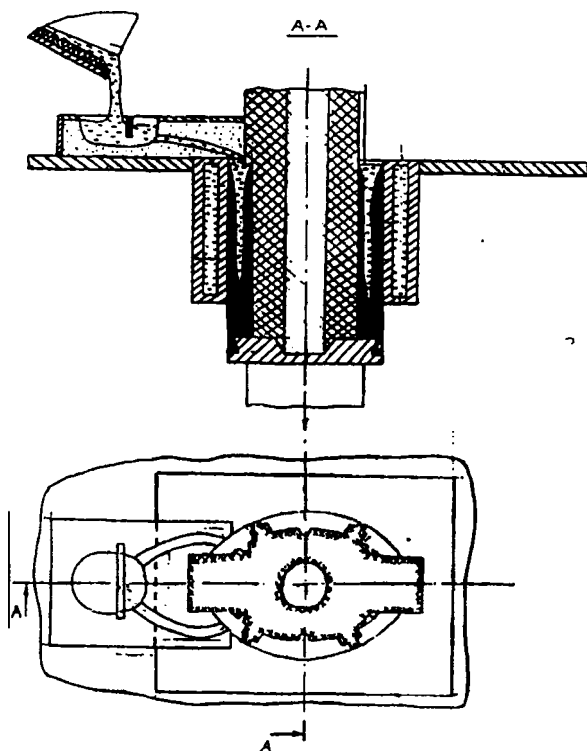


Рис. 2. Схема получения двух отливок

Сущность процесса заключается в том, что отдельный стержень или блок стержней установлен на стационарной заправке. Профильная поверхность стержня обращена к рабочей полости кристаллизатора, образуя с ним форму для отливки. Кристаллизатор связан с тянущим механизмом, перемещающим его в процессе литья вдоль стержня. На верхнем торце кристаллизатора установлено заливочное устройство. Начало процесса производят при нижнем положении кристаллизатора, при этом в нем расположена заправка. В стационарном состоянии подают жидкий металл в заливочное устройство и после выдержки, достаточной для затвердевания связывающих элементов заправки, начинают перемещение вверх, не прекращая подачу жидкого металла до получения отливки заданной длины. После

полного завершения цикла литья и затвердевания отливки формообразователь-кристаллизатор убирают с технологической оси, отливку со стержнем оставляют для окончательного охлаждения, затем снижают и удаляют стержень или его остатки.

Расширению номенклатуры непрерывнолитых заготовок способствует схема непрерывного литья с открытым уровнем в составные кристаллизаторы. Суть схемы заключается в использовании нескольких кристаллизаторов, каждый из которых служит для оформления только определенной части заготовки. По такой схеме получают фланцевые заготовки колонны радиально-сверлильного станка из чугуна СЧ20 и гильзы с буртами судовых двигателей из чугуна СЧ30, разрабатывается технология непрерывного литья заготовок ступицы заднего колеса карьерных автосамосвалов из стали 40Л, где используются кристаллизаторы двух типоразмеров: нижний – для формирования фланцевой части заготовки, а верхний – для остальной ее части.

Каждая из рассмотренных технологических схем вертикального непрерывного литья имеет достоинства и недостатки, не является универсальной, но при разработке и освоении подтвердила свою жизнеспособность и может быть осуществлена для получения широкой номенклатуры отливок из различных металлов и сплавов.

УДК 621.74:669.14

В. Ю. СТЕЦЕНКО, канд. техн. наук (ИТМ НАН Беларуси)

## **ТЕРМОДИНАМИКА ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ**

Термодинамические исследования процессов зародышеобразования при кристаллизации металлов имеют большое значение для теории модифицирования.

Считается, что термодинамическое равновесие между зародышем и расплавом устанавливается мгновенно и не зависит от условий протекания процесса кристаллизации. Поэтому для расчетов свободной энергии образования критического зародыша  $W$  используется уравнение Гиббса–Фольмера [1, 2]