



ния источника питания или глубины шлаковой ванны. Влияние этих параметров на интенсивность дополнительных источников теплоты вблизи торцов патрубка показано рис. 4.

Влияние диаметра патрубков на интенсивность тепловыделения вблизи их торцов исследовали отдельно для заготовок корпусов ДУ-80 и ДУ-50. Результаты моделирования приведены на рис. 5.

Как видно из рис. 5, с уменьшением диаметра патрубка тепловыделение возле его приплавляемого торца возрастает. Это дополнительное тепловыделение способствует увеличению глубины проплавления торца патрубка, зафиксированному на макроструктуре зоны соединения патрубков заготовок корпусов задвижек с условным проходом 50 (ДУ-50) и 80 мм (ДУ-80) (рис. 6).

Таким образом, в результате математического моделирования определены зависимости интенсивности источников теплоты в дополнительной зоне тепловыделения, появляющейся в шлаковой ванне вблизи торцов приплавляемых патрубков, от технологических параметров и геометрии плавильного пространства.

Полученные зависимости позволяют определять технологический режим процесса ЭШЛП при выплавке корпусов задвижек различных типоразмеров.

1. Вайсберг Г. Л., Римчук Д. В. Фонтанна безпека: Запитання. Відповіді. — Харків, 2002. — 474 с.
2. Стальные поковки вместо стального литья: Рекламный проспект фирмы «Самегон» // Выставка «Нефтегаз-90».
3. Электрошлаковое литье заготовок корпусов фланцевых задвижек с приплавлением патрубков / М. А. Полещук, Л. Г. Пузрин, В. Л. Шевцов и др. // Современ. электрометаллургия. — 2009. — № 2. — С. 13–17.
4. Полещук М. А., Пузрин Л. Г., Шевцов В. Л. Электрошлаковое литье — самый прогрессивный способ производства корпусов арматуры высокого давления // Арматуростроение. — 2009. — № 4. — С. 49–54.
5. Исследование области соединения в заготовках корпусов фланцевых задвижек высокого давления, полученных способом ЭШЛ с приплавлением / М. А. Полещук, Т. Г. Солонийчук, Г. М. Григоренко и др. // Современ. электрометаллургия. — 2009. — № 4. — С. 8–12.
6. Мужиченко А. Ф., Полещук М. А., Шевцов В. Л. Математическое моделирование тепловыделения в шлаковой ванне при электрошлаковом литье с приплавлением заготовок корпусов фланцевых задвижек // Там же. — 2010. — № 2. — С. 17–20.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 16.02.2011

УДК 669.187.56:621.74.043:6211

## КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЛИТЬЯ

С. В. Скрипник, Д. Ф. Чернега

Рассмотрены критерии выбора конструкции металлической неохлаждаемой формы, основными из-которых являются материал, способ изготовления формы, уровень центробежных сил, геометрические параметры отливки. Описаны варианты конструкции литейных форм для изготовления простых и сложных по конфигурации отливок.

Criteria of selection of design of metallic non-cooled mould, the main of which are material, method of mould manufacture, level of centrifugal forces, geometric parameters of casting, are considered. Options of design of casting moulds are described for producing castings, both simple and intricate in configuration.

**Ключевые слова:** кокиль; толщина стенок кокиля; материал; шлаковый гарнисаж; теплоизолирующее покрытие; центробежная сила

Вопросам энергетической эффективности производства машиностроительных заготовок по мере удорожания энергоносителей уделяется все большее внимание. Наиболее дешевыми, а в случае ис-

пользования труднодеформируемых и трудносвариваемых жаропрочных сталей и сплавов, наиболее целесообразными являются литые заготовки. Сдерживающим фактором широкого применения литых заготовок, например в газовых турбинах, являются жесткие требования к их качеству и свойствам.

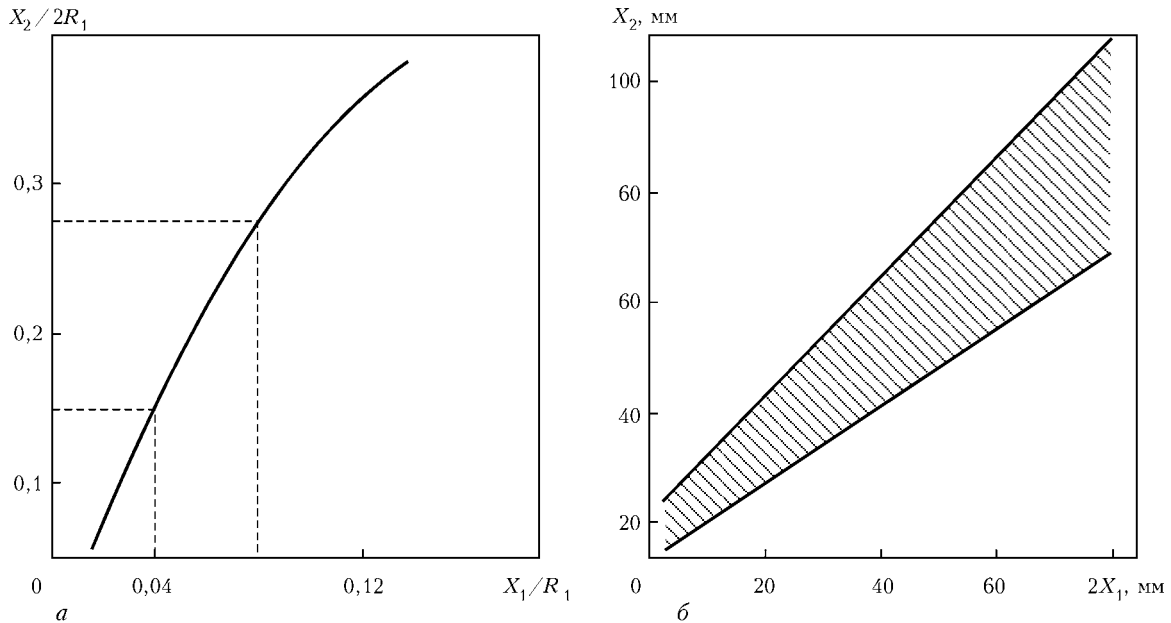


Рис. 1. Зависимость  $X_2/2R_1$  от  $X_1/R_1$  (а) и  $X_2$  от  $2X_1$  (б):  $X_1$  — половина толщины стенки отливки;  $X_2$  — толщина стенки кокиля;  $R_1$  — наружный радиус отливки

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработан способ центробежного электрошлакового литья (ЦЭШЛ), позволяющий получать высококачественные заготовки со свойствами на уровне кованных [1]. При изготовлении машиностроительных заготовок способом ЦЭШЛ металл, полученный в электрошлаковой тигельной печи, разливают во вращающиеся вокруг вертикальной оси литейные формы вместе со шлаком, используемым при плавке. Разливка всего накопленного в тигле расплава может осуществляться в закрепленную на вращающейся планшайбе одно- или многоместную литейную форму для получения соответствующего количества отливок.

В качестве литейных форм для ЦЭШЛ используют металлические неохлаждаемые формы (кокили). Возможна и комбинированная литейная форма — кокиль и керамический стержень или облицованный кокиль с различной толщиной покрытия для каждого формообразующего элемента и стержень.

Основным вопросом при проектировании кокилей является выбор материала и толщины рабочих стенок. Эти параметры конструкции определяют долговечность литейной формы — стойкость против трещин и коробления.

Наиболее распространенными материалами для изготовления крупногабаритных кокилей для ЦЭШЛ являются углеродистые сталь 10, сталь 20, 25Л, Ст3 и высокопрочный чугун марок ВЧ 42-12, ВЧ 45-5. Преимущество чугуновых кокилей состоит в повышенной стойкости, в сравнении со стальными, недостаток — в сложности их ремонта. Существующие способы ремонта чугуновых кокилей с использованием сварки (кроме сварки в нагретом состоянии) не обеспечивают получения однородного по структуре и свойствам слоя наплавленного металла.

Стальные литые или сварные кокили, в отличие от чугуновых, можно многократно ремонтировать посредством заварки дефектов и наплавки. Процесс их ремонта с использованием сварки прост, требуется лишь тщательная подготовка мест заварки.

Выбор способа изготовления кокиля зависит от многих факторов: габаритных размеров и конфигурации отливки, норм точности, материала и производственных возможностей предприятий.

Термическая обработка литейной формы при получении стальных или чугуновых заготовок кокилей является обязательной. Это обусловлено необходимостью изменения литой структуры, а также снятия остаточных технологических (литейных, сварочных и т. п.) напряжений. Остаточные напряжения могут вызывать разрывы рабочей стенки формы либо ее коробление вследствие релаксации [2].

Принято считать, что толщина стенки кокиля  $X_2$  должна равняться глубине прогрева формы к моменту окончания затвердевания отливки. При большом значении  $X_2$  термические условия формирования отливки не изменяются.

Существуют несколько методов расчета толщины стенки формы, однако ни один из них не является универсальным. В первом приближении рекомендуются, например, эмпирические зависимости:  $X_2 = 13 + 0,6 \cdot 2X_1$  [2];  $X_2 = 11 \sqrt{2} X_1$  [3], где  $X_1$  — половина толщины стенки отливки.

На основании теоретического анализа напряженно-деформированного состояния рабочих стенок кокилей различных конструкций  $X_2$  для цилиндрических кокилей (рис. 1, а) полых отливок принимается по критерию  $X_1/R_1$ , где  $R_1$  — наружный радиус отливки [4, 5]. Положительным моментом в этом случае является учет конфигурации кокиля через наружный радиус отливки. Однако рассчитанные по указанному методу кокили получаются довольно массивными и громоздкими.

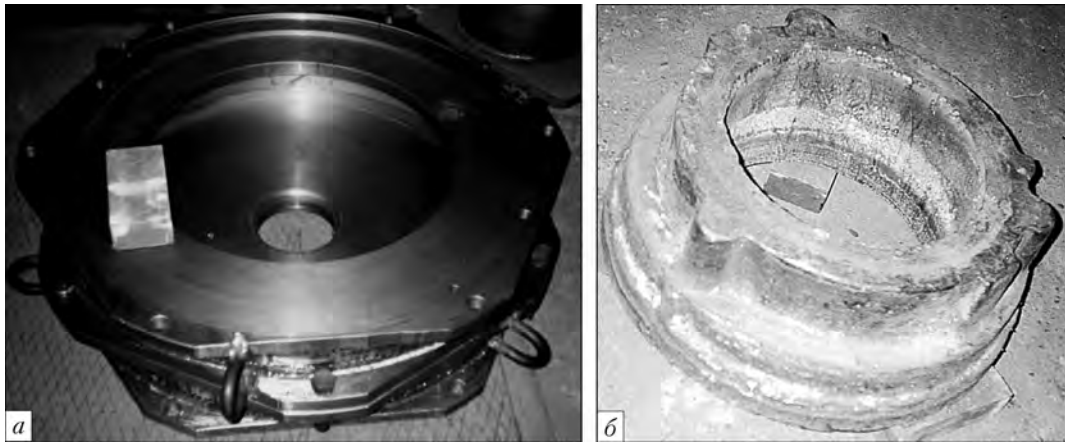


Рис. 2. Цельный «вытряхной» одноместный кокиль ЦЭШЛ (а) и заготовка зубчатого колеса для карьерного автомобиля МАЗ (б)



Рис. 3. Секционный одноместный кокиль ЦЭШЛ (а) и корпусная заготовка для газовой турбины (б)

Согласно ГОСТ 16237–70, значение  $X_2$  определяют с помощью графика (рис. 1, б). Для стальных рабочих стенок и высокопрочного чугуна значение  $X_2$  находится ближе к нижней границе заштрихованной области. Расчет толщин стенок литейной формы по упомянутым вариантам позволяет получить усредненное их значение и принять оптимальное конструктивное решение.

Следует принимать во внимание, что заливка металла со шлаком во вращающуюся форму сопровождается образованием на стенках рабочей полости теплоизолирующего слоя шлакового гарнисажа, принимающего на себя существенную часть тепловой нагрузки. При этом уменьшаются термические напряжения в стенках формы, увеличивается ее срок службы.

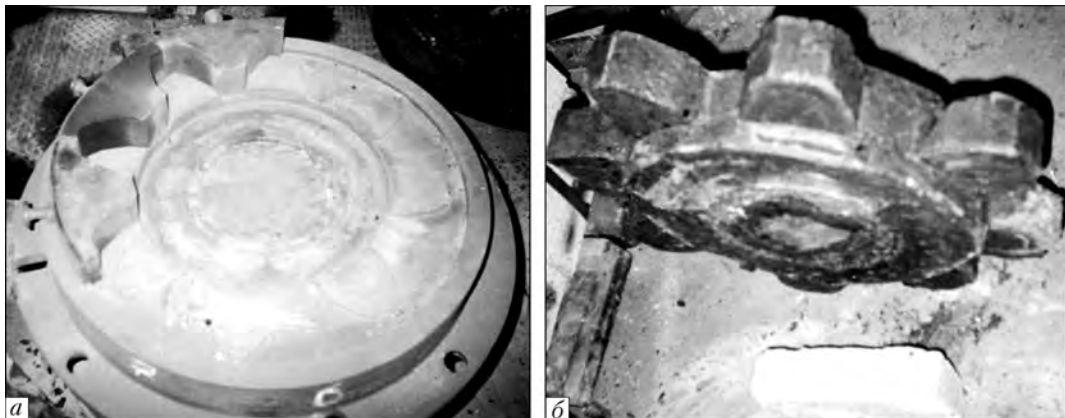
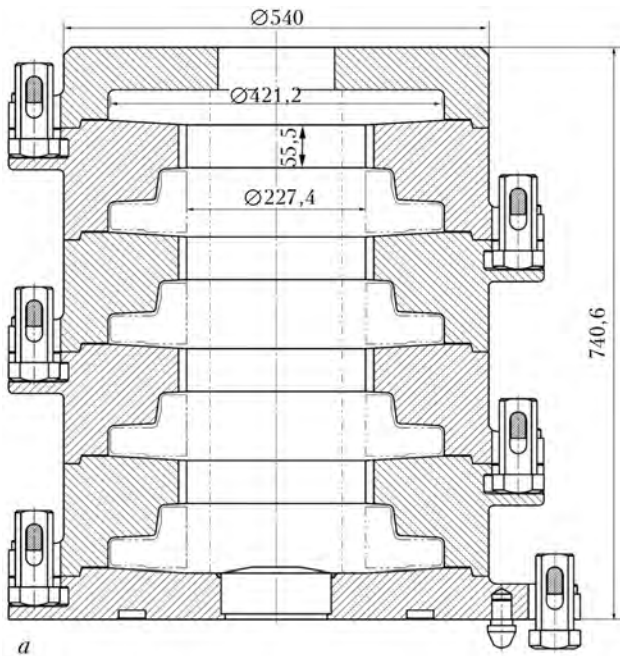


Рис. 4. Секционный одноместный кокиль ЦЭШЛ (а) и литая заготовка звездочки тяговой цепи (б)



а



б

Рис. 5. Конструктивная схема многоместного «вытряхного» кокиля с дозирующим карманом (а) и литая заготовка фланца трубопровода (б)

Снижение термических напряжений позволяет уменьшить при проектировании толщину стенки формы. С другой стороны, при ЦЭШЛ литейная форма подвергается нагрузке от действия силового центростремительного поля.

В зависимости от конструктивных и служебных требований к конфигурации и качеству отливки гравитационный коэффициент может колебаться в широких пределах (вплоть до 100 и более единиц). При этом масса жидкого металла и шлака во столько же раз утяжеляется под действием центробежных сил. Поэтому прочность литейной формы после предварительного выбора толщины стенок необходимо рассчитывать, как и сосуды высокого давления.

В конечном итоге, конструкция кокиля зависит от уровня рабочих напряжений, сложности и жесткости изделия, а также от требуемой безопасности.

Наиболее простыми по конструкции являются «вытряхные» формы с горизонтальной плоскостью разбега (рис. 2). Они могут длительное время эксплуатироваться без поворотов и коробления. Срок их службы зависит в основном от массы получаемых от-

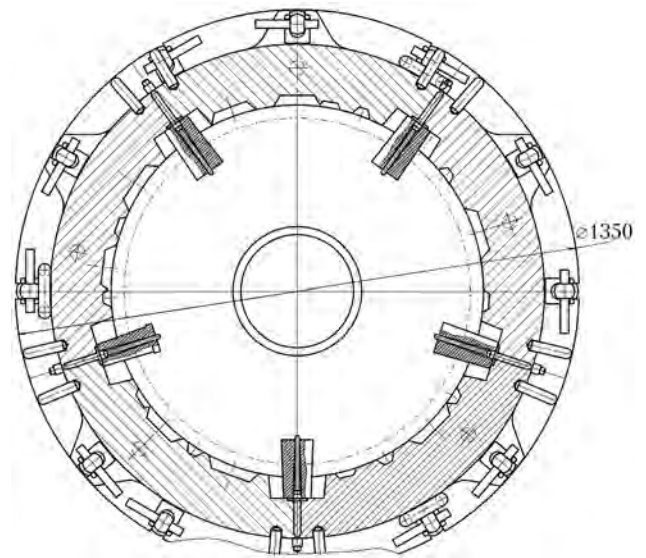


Рис. 6. Схема секционного кокиля со стержнями из податливого материала, установленными в формообразующих полостях

ливок: чем крупнее и массивнее отливка, тем он короче.

Для получения отливок сложной конфигурации применяют секционные формы с вертикальной (рис. 3) и горизонтальной (рис. 2) плоскостями разбега. Они обеспечивают быстрое извлечение затвердевших отливок. Толщину стенок таких форм приходится увеличивать с целью снижения склонности отдельных секций к короблению. После определенного количества заливок приходится растачивать полость таких форм на некоторую глубину для свободного извлечения получаемых отливок. При этом несколько увеличивается припуск на механическую обработку литых заготовок.

Приведенная на рис. 3 отливка характеризуется разнотолщинностью стенок. Поэтому для создания условий одновременного их затвердевания на полости на формирующие тонкостенные элементы отливки необходимо наносить слой изолирующего покрытия.

Способ ЦЭШЛ позволяет получать изделия практически любой конфигурации, например зубчатую звездочку для приводных цепей. В этом случае кокиль содержит отдельные секторы, формирующие зубья звездочки (рис. 4).

Для получения нескольких отливок сравнительно небольшой высоты возможно использование многоместной формы, состоящей из соответствующего количества одинаковых формообразующих элементов и дозирующего кармана в верхней части формы. Последний предназначен для приема избыточного количества металла, заливаемого из тигля в многоместную вращающуюся форму (рис. 5).

Особенности литейных свойств стали требуют иного подхода, чем для других случаев. Сталь заливается при высокой температуре, она имеет большую усадку при затвердевании, отличается низким уровнем жидкотекучести и повышенной склонностью к трещинообразованию. Поэтому при полу-



чении стальных отливок сложной формы целесообразно применять комбинированные металлические формы со слоем теплозащитного покрытия различной толщины на отдельных формообразующих элементах. Таким образом, можно регулировать теплоотвод в боковые стенки формы, торцы и формообразующие полости, обеспечивать одновременное затвердевание стенок отливки различной толщины. При этом снижается вероятность образования горячих и холодных трещин в отливке.

Для отливок, характеризующихся наличием тепловых узлов, возможно устранение последних путем использования податливых стержней, закрепленных в соответствующих частях формы (рис. 6). При этом выравнивается толщина отливки в различных ее сечениях, что благотворно сказывается на затвердевании.

Стержни содержат металлическую ось с клиновым креплением и упорной шайбой, а также втулку из стержневой огнеупорной массы с небольшой конусностью (рис. 7), которые устанавливаются в форму при сборке. Кольцевой зазор между осью стержня и втулкой обеспечивает им податливость.

В этом случае частота оборотов формы определяется в зависимости от допустимого давления жидкого металла, исключающего разрушение стержней. Прочность материала стержней при ЦЭШЛ должна быть не ниже  $(12... 15) \cdot 10^2$  кПа. Удаление стержней производится путем выбивки их в направлении оси отливки.

### Выводы

1. Кокили для ЦЭШЛ являются изделиями наиболее ответственного назначения с точки зрения как производства высококачественного продукта, так и промышленной безопасности и охраны труда, поэтому для их изготовления необходимо использовать последние достижения науки.

2. Перспективным процессом изготовления заготовок стальных кокилей является электрошлаковое литье, позволяющее получать плотные, изот-

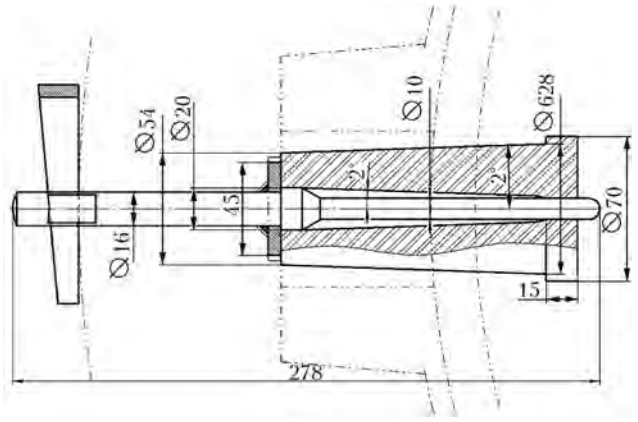


Рис. 7. Схема комбинированного стержня, установленного по оси теплового узла

ропные заготовки, имеющие повышенные значения ударной вязкости при высоких значениях температуры, что является одним из основных факторов стойкости стальных кокилей [3].

3. Перспективным способом изготовления заготовок стальных кокилей является способ ЦЭШЛ, при котором возможно получение биметаллических заготовок с внутренним слоем из жаропрочного сплава, например ХН78Т (ЭИ435), который при необходимости можно заваривать или наплавлять широко распространенными жаропрочными электродами ОЗЛ-25Б аналогичного состава.

1. Медовар Б. И., Маринский Г. С., Шевцов В. А. Центробежное электрошлаковое литье. — Киев: О-во «Знание», 1983. — 48 с.
2. Емельянов А. А. Технология литейной формы. — М.: Машиностроение, 1979. — 240 с.
3. Вейник А. И. Литье в кокиль. — М.: Машиностроение, 1980. — 415 с.
4. Серебро В. С. Расчет температурного поля металлической литейной формы // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1968. — № 11. — С. 163–167.
5. Серебро В. С. Математическое исследование охлаждения отливок в облицованных кокилях // Литейные свойства сплавов. — Киев: ИПЛ АН УССР, 1972. — С. 43–44.

НТУУ «Киевский политехнический институт»

Поступила 02.03.2011

<http://www.ukrrudprom.com>

ОАО «Днепропетровский МК им. Ф. Э. Дзержинского» (ДМКД, Днепропетровск) находится на завершающей стадии строительства 7-ручьевого сортового машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) №3.

После ввода оборудования в эксплуатацию на ДМКД будут три действующих машины непрерывного литья заготовки: МНЛЗ №1 и №3 годовой производительностью 1,4-1,7 млн т каждая и МНЛЗ №2 годовой производительностью до 0,7 млн т. Максимальное производство стали в конвертерном цехе комбината может достигать 4,2 млн. т в год. В связи с этим в пресс-службе ИСД (акционер предприятия) отмечают, что доля непрерывной разливки может достигать от 83 до 97 % (в зависимости от различных технологических факторов и конъюнктуры рынка).