

УДК 621.74.045.072.2

В.С. Дорошенко, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: doro55v@gmail.com

П.Б. Калюжный, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: kpb.cmw@ukr.net

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев, Украина

Концепции охлаждения отливок с помощью криотехнологии, новых сыпучих материалов и способов литья

Литейное производство служит одним из лучших примеров ресурсоэффективности, поскольку отливки практически полностью доступны для переработки по окончании эксплуатационного цикла путем переплавки при производстве новых. В разрезе тематики повышения ресурсоэффективности производства описаны новые способы литья, сыпучие низкотемпературные и огнеупорные материалы для регулирования охлаждения отливок. Исследования выполнены под руководством проф. О.И. Шинского в ходе выполнения научной тематики ФТИМС НАН Украины. Процессы регулирования в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме позволяют как оптимально сокращать время охлаждения отливки в форме, так и влиять на формирование структуры металла. В первом случае создаются основания уменьшения длины конвейерной ветки формовочно-заливочных линий, на которой охлаждают отливки в формах, или площадей под формы на заливочном плацу, а также для комплектации литейных роторно-конвейерных комплексов соразмерными по величине роторными модулями, на которых выполняют операции формовки, заливки и охлаждения отливок, приведя их к примерно одинаковой длительности. Во втором случае увеличение скорости кристаллизации и охлаждения отливки имеет пределы, превышение которых может привести к ухудшению служебных свойств металла, в частности, для графитизированных чугунов. Поэтому привлечены процессы термообработки металлов и показаны примеры взаимного дополнения процессов литья и термообработки металла. Для отливок из чугуна предложены способы литья в сочетании с изотермической закалкой отливок. Применение для такой закалки твердо-газовых дисперсных сред (в отличие от традиционных жидких) повышает экологические условия производства. А охлаждение отливок, вплоть до их закалки, при помощи криотехнологии с плавлением льда, испарением воды и конденсацией пара в контакте со льдом приближают процесс производства к природоподобным технологиям.

Ключевые слова: литье, охлаждение отливок, криотехнология, изотермическая закалка, термообработка, высокопрочный чугун, лед, пропант.

Литейное производство является одним из лучших примеров ресурсоэффективности, поскольку отливки практически полностью доступны для переработки, по окончании «жизненного» цикла отливки переплавляют для производства новых, ежегодно закупая миллионы тонн металлолома. Кроме того, современные системы позволяют регенерировать до 95 % песка для его возврата в производство форм. Таким образом, литейная промышленность заслуживает особой оценки в том, что касается переработки [1]. Многие литейные заводы вкладывают средства в технологию и сокращают потребление ресурсов на постоянной основе. Особенности этого процесса и движущим инструментом является оцифровка при моделировании производства, а 3D-печать позволяют не только лить очень сложные детали, но и заменить энерго-, ресурсо- и трудоемкий метод проб и ошибок, что повышает не только конкурентные позиции литейных цехов, но и позволяет реализовать устойчивые стратегии [1].

В плане развития теории и практики теплообменных процессов и структурообразования при течиении,

охлаждению и кристаллизации сплавов в литейной форме, создания методов литья с использованием вакуума и криотехнологий, а также рентабельных ресурсосберегающих технологических процессов получения литых деталей рассматривали способ литья в оболочковые формы с опорным наполнителем (ОН) в контейнерах. Такие формы получают по разовым моделям или по горячей металлической модельной оснастке. ОН (чаще кварцевый песок) упрочняет извне оболочку и препятствует вытеканию из нее металла при появлении в ней трещин или других нарушений целостности стенок. С целью ускорения на 25–50 % литейного процесса, согласно справочнику [2, с. 181], опорный слой вакуумируют во время заливки металлом оболочек, удаляя выделяющиеся газы. После образования на отливке достаточно толстой твердой корки вакуумирование прекращают.

Учитывая опыт литья в вакуумируемые [3] и замороженные формы [4], а также формовку песчаной смеси с сыпучим зернистым льдом, входящим в ее состав [5, 6], предложено использовать для оболочковых форм ОН из такой смеси с зернистым льдом

в количестве 5–100 %. Зернистый (гранулированный или чешуйчатый) лед получают на серийно выпускаемых льдогенераторах (с обширной номенклатурой по производительности) преимущественно для пищевой промышленности и охлаждения пищевых продуктов. При засыпке песчаной оболочки таким ОН в контейнере она с комнатной температуры в течение нескольких минут охладится до температуры, близкой к температуре ОН со льдом. Затем заливка металлом такой оболочки, затвердевание и охлаждение отливки будет подобно литью в замороженной форме, для которой отмечено получение более мелкозернистой структуры для отливок из чугуна с незначительным ускорением охлаждения, по сравнению с песчано-глинистыми формами без применения криотехнологии [4].

Подключение к песчаной форме трубопровода от вакуумного насоса и вакуумирование сыпучего ОН обеспечит направленный газоотвод и даст эффект вакуумного всасывания, которое улучшит формозаполнение металла, сравнимое с таким показателем для прокаленных форм и нагретых до температуры около 800 °С. Замороженные формы рекомендуют заливать в течение не более 3 мин [7], во избежание конденсации на холодной поверхности их полости влаги из воздуха цеха. В нашем случае также следует принять меры, чтобы до заливки металлом лед ОН не начал таять и не увлажнил песчаную оболочку в среде низкотемпературного наполнителя.

Песчаная оболочка служит «теплоизолятором» для металла при заливке, но таяние льда, особенно при ОН на 100 % изо льда, позволит оболочке с отливкой двигаться вниз ко дну контейнера, проплавляя лед в контейнере. Быстрое охлаждение отливки будет подобно операции закалки в литейной форме. В конечном итоге отливка быстро окажется в контейнере с водой. Оболочковая форма осыплется с отливки из-за перепада температур и разной усадки металла и неметаллических материалов. Наличие льда в ОН от 5 до 100 % обеспечит версии взаимодействия отливки и формы от варианта литья в замороженные формы до варианта литья с самозакалкой отливки в литейной форме путем ее контакта с плавящимся льдом и водой, заполняемой формовочный контейнер. Толщиной оболочковой формы в зависимости от вида металла и толщины стенки отливки можно регулировать скорость процесса кристаллизации, степень зернистости структуры и нередко фазовый состав металла отливки. А температурой и массой ОН и долей в нем льда также можно в некоторых пределах регулировать операции, свойственные термообработке.

Многие сплавы металлов для литья в кокиль с быстрым охлаждением могут входить в область применения такого литейного способа с термообработкой, а именно, закалки отливок в литейной форме. При этом процессы плавления льда, испарения воды и конденсации пара в контакте со льдом напоминают привычные для нас процессы круговорота воды, наблюдаемые в природе. Поэтому их относят к экологическим природоподобным технологическим про-

цессам литейного производства, как это подробнее описано в работе [8].

Исследуя научные предпосылки, создавая теоретические основы и развивая технологию регулирования в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме [3, 4], мы достигаем двух положительных эффектов, которые позволяют не только оптимально сокращать время охлаждения (выдержки) отливки в форме (1), но и влиять на формирование структуры металла (2). Первый эффект полезен для сокращения длины конвейерной ветки для охлаждения отливок на формовочно-заливочных линиях или площадях на заливочном плацу, а также для комплектации литейных роторных линий соразмерными по величине роторными модулями, разбивая процесс формовки и литья на операции примерно одинаковой длительности. Второй эффект показывает, что увеличение скорости кристаллизации и охлаждения отливки имеет свои технологические пределы с той точки зрения, что может привести к потере свойств пластичности и прочности металла, как это отмечал д-р техн. наук В.Б. Бубликов для высокопрочного чугуна (ВЧ). Это вынуждает литейщика учитывать соответствующие отработанные технологии в области металловедения и термообработки (ТО) металлов и действовать по ним.

Таким образом, в вышеописанном способе с применением криотехнологии, процесс литья неизбежно дополняется другим металлургическим переделом – технологией ТО металлопродукции. Развивая такую взаимодополняемость (комплементарность) литья и ТО в исследовательской работе под руководством профессора О.И. Шинского «Научные и технологические основы создания высокопроизводительных литейных процессов получения литых конструкций из железоуглеродистых сплавов в песчаных формах» для отливок из ВЧ, предложен способ литья в сочетании с изотермической закалкой отливок [9]. Этот и ряд аналогичных способов [10–12] основаны на литье ВЧ в вакуумируемой (на момент заливки металлом) форме из сухого песка без связующего с удалением отливок в горячем аустенитном состоянии из сыпучего песка формы. Затем отливку в течение до 15 с переносят на закалку с изотермической выдержкой для получения бейнитной структуры металлической матрицы. Традиционную изотермическую закалку с аустенитного состояния отливки изменили таким образом, что отливку в аустенитном состоянии извлекают из формы, а не достигают этого состояния длительным нагревом в термопечи с выдержкой при температуре насыщения аустенита углеродом нередко до получаса и более.

Такой процесс литья с ТО (особенно с толщиной стенки отливки выше 20 мм) дает возможность получения отливки быстрее, чем при традиционном ее охлаждении в сухом песке формы. Изотермически закаленный ВЧ (Austempered Ductile Iron, ADI) может достигать прочности $\sigma_B = 1200\text{--}1300$ МПа и выше. Кроме того, предложен способ закалки отливки из ВЧ в псевдооживленном (кипящем) слое песка [13], который по скорости охлаждения отливки находится

между двумя процессами ее закалки при контакте с маслом и водой [14]. Сухой дисперсный компонент не дает пара и продуктов горения в контакте с горячей отливкой (это улучшает условия труда) и не требует мытья отливки после закалки, как часто требуется после охлаждения в жидкой (полимерные растворы) среде, а также уменьшает вероятность переохлаждения отливки.

Для случаев прилипания краски к поверхности отливки, песчаных слоев или местных зон пригара, особенно для крупных отливок и в местах подвода к ним металла, рассмотрен способ закалки подачи на горячую подвешенную и вращающуюся в камере отливку воздушно-песчаной смеси (как при пескоструйной обработке), включая использование щелевого сопла или двух и более сопел.

Пескоструйную обработку нередко используют в литейных цехах, как, например, по способу [15], согласно которому за такой обработкой следует выдержка отливки из чугуна при температуре до 400 °С в течение 2–3 часов. Отработанный материал осыпается вниз и поступает в сепаратор, а затем – снова на обработку. Разная степень усадки при охлаждении горячих металла и неметаллических слоев способствует их легкому отделению, что допустимо также для отливок, выбитых в аустенитном состоянии из форм из смесей по-сырому, практически всякий налет быстро удаляется с поверхности отливки

вместе с ее охлаждением. Традиционные способы пескоструйной обработки в ручном режиме (рисунок) доступны для автоматизации, в том числе с применением роботов-манипуляторов [16], а также нескольких форсунок, обеспечивающих равномерный поток дисперсного материала вокруг отливки.

Такие автоматы-манипуляторы все шире применяют на участках литья по выплавляемым и газифицируемым моделям. Причем типовые траектории подготовительных операций формовки: окунация блока (кластера) разовых моделей в емкость с жидкой суспензией или краской, обсыпания его песчаной композицией в барабане и помещения на конвейер в сушило, мало отличаются от нового цикла операций по режиму ТО: извлечения горячей отливки из сухого песка формы, помещения ее в камеру для закалки, а затем – в емкость для засыпки закаленной отливки нагретой песчаной средой для изотермической выдержки, на который несложно перепрограммировать такого типа автоматы-манипуляторы.

Способ сочетания литья и ТО экономит продолжительность производства металлопродукции, затраты на нагрев и выдержку для аустенизации отливок из ВЧ, присущих традиционно отдельным процессам литья и ТО. К сожалению, ВЧ типа ADI редок для цехов Украины, хотя в ряде стран Европы и США марки ADI стандартизированы, и эти чугуны быстро распространяются в машиностроении как материалы с



Примеры пескоструйной обработки металлоизделий в специальных камерах разной величины

повышенными прочностными и функциональными свойствами.

Среди новых сыпучих огнеупорных материалов рассмотрим применение в литейном производстве пропантов. Использование пропантов для литья по газифицируемыми моделям (ЛГМ) описано В.А. Андерсоном (НТП «Кварц», Киев) в качестве сыпучего формовочного материала высокой текучести для заполнения тонких каналов разовых моделей гидроаппаратуры [17]. Пропант (или пропант, от англ. Propping agent – расклинивающий агент) – гранулированный материал, созданный для повышения отдачи скважин в нефтедобывающей технологии гидро разрыва пласта (ГРП). Пропанты алюмосиликатные (ГОСТ Р 51761-2013) или магнезиально-кварцевые (ГОСТ Р 54571-2011) и др. закачивают в нефтяные или газовые пласты под давлением. Пропанты, имея высокую способность к проникновению сквозь скважину в трещины от ГРП, удерживают для скачивания без остатка нефти и газа из стареющих скважин. В Украине пропанты применяют с 1950-х гг. (<http://newgas.org.ua>) для добычи углеводородов на истощенных месторождениях. Алюмосиликатный пропант – гранулированный огнеупорный материал, каждая гранула которого – керамическое изделие, полученное высокотемпературным обжигом фракционированного глинозема. Для литейных форм пригодны алюмосиликатный или магнезиально-кварцевый (на основе силиката магния и кварцевого песка) пропанты, насыпной плотности около 1,8 г/см³, сферичности 0,9 и среднего размера 0,339 мм. Последний вид пропанта получают сначала выжиганием природного серпентинита при 750–1150 °С для удаления влаги и образования форстерита, а затем выполняют помол материала с кварцполевошпатным песком, гранулирование шихты и выжигание гранул при 1200–1350 °С [18].

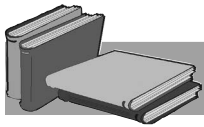
Высокую текучесть и проницаемость гранул пропанта, созданного для максимального заполнения трещин, в литейных процессах целесообразно реализовать для заполнения возможных пустот вокруг стенок разовой модели либо отливки. Последний способ аналогично способам [9, 11, 12] заключается в удалении горячей отливки из сыпучего песка формы и ТО в виде изотермической закалки ее (включая изотермическую выдержку при температуре бейнитного превращения) в горячей среде не песка, а пропанта, которым засыпают отливку в контейнере [10].

В дополнение к отмеченным выше преимуществам отметим: по сравнению с традиционной изотермической закалкой в нагретых жидких средах в виде расплавов солей или щелочей, способных к вредным выделениям, совмещение литья и изотермической закалки с удалением горячей отливки из формы сокращает охлаждение отливки в песчаной форме и экономит на ее нагревании до аустенитного состояния и выдержке (аустенизации). При этом удалением источника нагрева с песчаной формы также экономят на охлаждении сыпучего песка для повторного изготовления формы. Высокая текучесть гранул пропанта, нагретого до температуры бейнитного превращения, позволяет быстро засыпать отливки для

изотермической выдержки этими гранулами в контейнере и удалить гранулы по окончании ТО. Формовочные кварцевые пески для этого имеют худшую текучесть (песчинки могут не заполнять поднутрения отливки и после ТО оставаться в полостях отливки), а также меньшую теплопроводность, что потребует больше затрат для обеспечения изотермы нагретой сыпучей среды вокруг отливки.

Кроме того, высокая газопроницаемость пропанта также полезна при ЛГМ для уменьшения «потерь» вакуума по глубине формы при заполнении пропантом тонких каналов моделей в песчаной форме или формовке целиком из пропанта, это позволяет эффективно удалить газы от деструкции модели. Эта повышенная проницаемость гранул также позволит создавать металло-пропантовые композиты путем протекания расплава металла на сотни миллиметров сквозь поры пропанта под давлением на металл или засасыванием металла вакуумированием пропанта. Такие композиты на основе железоуглеродистых сплавов будут иметь значительно меньший удельный вес, чем монолитный сплав. Пропант с Al₂O₃ позволит изготавливать композитные слои на абразивном металлическом инструменте, а также изготавливать отливки с поверхностями «противоскольжения» частичной пропиткой металла через тонкий слой пропанта методом целенаправленного создания механического пригара на поверхности отливки [19].

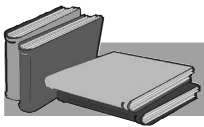
Таким образом, в статье изложены концепции охлаждения отливок с помощью криотехнологии, новых сыпучих материалов и способов литья. Регулирование в широких пределах охлаждения отливки в песчаной форме позволяет не только оптимально сокращать время охлаждения отливки в форме, но и влиять на формирование структуры металла. В первом случае имеются основания для уменьшения длины конвейерной ветки формовочно-заливочных линий, на которой охлаждают отливки в формах, или площадей под формы на заливочном плацу, а также для комплектации литейных роторно-конвейерных комплексов соразмерными по величине роторными модулями, на которых выполняют операции формовки, заливки и охлаждения отливок примерно одинаковой длительности. Во втором случае увеличение скорости кристаллизации и охлаждения отливки имеет пределы роста, превышение которых может привести к потере свойств пластичности и прочности металла, в частности, для графитизированных чугунов. Это требует от литейщика учитывать соответствующие технологии ТО металлов и действовать по ним, что показано на примерах дополнения процесса литья таким металлургическим переделом, как ТО металлопродукции. В частности, для отливок из ВЧ предложены способы литья в сочетании с изотермической закалкой отливок. Применение для закалки отливок твердо-газовых дисперсных сред (в отличие от традиционных жидких) повысит экологическую безопасность производства. А предложенные для охлаждения отливок элементы криотехнологии с плавлением льда, испарением воды и конденсацией пара в контакте со льдом приближают процесс производства к природоподобным технологиям.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Carina Hendricks*. Tremendous potential – environmental, economic and social sustainability in foundries. *GMTN 2019 – Specialist article*, no. 6. January 2019. URL: www.gifa.com
2. Специальные способы литья. Справочник / Под ред. В.А. Ефимова. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.
3. *Дорошенко В.С.* Регулирование охлаждения отливки в вакуумируемой форме фильтрацией хладагентов и движением частиц песка. *Литейное производство*. 2013. № 10. С. 32–37.
4. *Черновол А.В., Дорошенко В.С.* Способы воздействия песчаной вакуумируемой формы на кристаллизацию и охлаждение отливки. *Литье – 2007: Тез. докл. К.: Редакция журнала «Процессы литья»*, 2007. С. 37–38.
5. Патент 77595 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб виготовлення виробів з сипкого наповнювача / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.
6. Патент 95319 Україна, МПК В22С 9/02. Спосіб формування / О.Й. Шинський, В.С. Дорошенко; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.
7. *Солоненко Л.І.* Теоретичні та технологічні основи виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів в екологічно безпечні низькотемпературні кварцові форми: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04. Дніпро, 2018. 144 с.
8. *Дорошенко В.С.* Литейное производство как среда для природоподобных технологий. *Литье и металлургия*. 2018. № 2. С. 23–28.
9. Патент 123731 Україна, МПК В22 D7/00, В22 D23/00, С21D5/02, С21D1/20, В22 D27/04. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну з кулястим графітом / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.
10. Патент 131581 Україна, МПК В22D 7/00, В22D 23/00. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного залізвуглецевого сплаву (чавуну, сталі) / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.
11. Патент 131907 Україна, МПК В22D 7/00, В22D 23/00, В22D 27/04, С21D 1/20. Спосіб виготовлення виливків / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.
12. Патент 131968 Україна, МПК В22 D7/00, В22 D23/00, С21D 1/20, С21D 5/02. Спосіб виготовлення виливків з бейнітного або аусферитного чавуну / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський; опубл. 11.02.2019, Бюл. № 3.
13. Патент 133701 Україна, МПК В22D 7/00, В22D 23/00, В22D 27/04, С21D 5/02, С21D 1/20. Спосіб виготовлення виливків з ізотермічно загартованого бейнітного чавуну / В.С. Дорошенко, П.Б. Калюжний, В.О. Шинський; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8.
14. *Гуляев А.П.* Металловедение. 6-е изд. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
15. Патент 68163 Україна, МПК А47J 27/00, А47J 37/00, С21D 1/00, С21D 5/00. Спосіб виготовлення чавунного посуду / Ю.М. Згібнєв; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
16. *Дорошенко В.С., Гнатуш В.А.* Скільки ливарних машин випускають у світі та як застосовують роботи у ливарних процесах? *Промисленість в фокусі*. 2019. № 5. С. 40–44.
17. *Дорошенко В.С.* Застосування пропантів у ливарних процесах. *XI Міжнародна науково-технічна конф. Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2019: матеріали науково-техн. конф.*, 30–31.05.2019, м. Київ / ред. Р.В. Лютий, І.М. Гурія. Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2019. С. 68–70.
18. Патент 2613676 С1 Россия, С09К 8/80, С04В 35/20, С04В 35/622, С04В 35/64. Способ изготовления магнийсиликатного пропанта и пропант / В.Г. Пейчев и др.; опубл. 21.03.2017, Бюл. № 9.
19. *Дорошенко В.С.* Оболочковые литые конструкции с декоративным пригаром. *Литво. Металургія. 2017: Матеріали XIII міжнародн. науково-практич. конф.* (23–25.05.2017, м. Запоріжжя). Запоріжжя: АА Тандем. С. 48–50.

Поступила 02.06.2019



REFERENCES

1. *Carina Hendricks*. (2019). Tremendous potential – environmental foundations. *GMTN 2019 – Specialist article*, no. 6. January 2019. URL: www.gifa.com [in English].
2. *Efimov, V.A.* (Ed.) (1991). Special casting methods. Handbook. Moscow: Mashinostroenie, 436 p. [in Russian].
3. *Doroshenko, V.S.* (2013). Regulation of casting cooling in evacuated form by filtration of refrigerants and movement of sand particles. *Liteynoe proizvodstvo*, no. 10, pp. 32–37 [in Russian].
4. *Chernovol, A.V., Doroshenko, V.S.* (2007). Ways of the effect of a sandy vacuumized form on crystallization and cooling of a casting. *Lit'e – 2007: Tez. dokl. Kyiv: Redaktsiya zhurnala "Protsesty lit'ya"*, pp. 37–38 [in Russian].
5. *Shinskiy, O.Y., Doroshenko, V.S.* (2013). Patent 77595 Ukraine, MPK V22S 9/02. A method of making products from loose filler. Opubl. 25.02.2013, Byul. no. 4 [in Ukrainian].
6. *Shinskiy, O.Y., Doroshenko, V.S.* (2014). Patent 95319 Ukraine, MPK V22S 9/02. A molding method. Opubl. 25.12.2014, Byul. no. 24 [in Ukrainian].
7. *Solonenko, L.I.* (2018). Theoretical and technological bases for the development of willows in aluminum and alloys in ecologically safe low temperature quartz molds: Candidate's thesis: 05.16.04. Dnipro, 144 p. [in Ukrainian].
8. *Doroshenko, V.S.* (2018). Foundry production as a medium for nature-like technologies. *Lit'e i metallurgiya*, no. 2, pp. 23–28 [in Russian].

9. Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O. (2018). Patent 123731 Ukraine, MPK B22 D7/00, B22 D23/00, S21D5/02, S21D1/20, B22 D27/04. Method of making castings from bainite or ausferrite spheroidal graphite cast iron. Opubl. 12.03.2018, Byul. no. 5 [in Ukrainian].
10. Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O. (2019). Patent 131581 Ukraine, MPK B22D 7/00, B22D 23/00. Method of making castings from bainite or ausferrite iron-carbon alloy (cast iron, steel). Opubl. 25.01.2019, Byul. no. 2 [in Ukrainian].
11. Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O. (2019). Patent 131907 Ukraine, MPK B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 1/20. Method of manufacturing of castings. Opubl. 11.02.2019, Byul. no. 3 [in Ukrainian].
12. Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O. (2019). Patent 131968 Ukraine, MPK B22 D7/00, B22 D23/00, C21D 1/20, C21D 5/02. Method of making castings from bainite or ausferrite cast iron. Opubl. 11.02.2019, Byul. no. 3 [in Ukrainian].
13. Doroshenko, V.S., Kalyuzhnyi, P.B., Shinskiy, V.O. (2019). Patent 133701 Ukraine, MPK B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 5/02, C21D 1/20. A method for making castings from isothermal hardened bainite cast iron. Opubl. 25.04.2019, Byul. no. 8 [in Ukrainian].
14. Gulyaev, A.P. (1986). Metal science. 6th ed. Moscow: Metallurgiya, 544 p. [in Russian].
15. Zgibnev, Yu.M. (2012). Patent 68163 Ukraine, MPK A47J 27/00, A47J 37/00, C21D 1/00, C21D 5/00. Method of making iron dishes. Opubl. 12.03.2012, Byul. no. 5 [in Ukrainian].
16. Doroshenko, V.S., Gnatush, V.A. (2019). How many casting machines are produced in the world and applied work in foundry processes? *Promyshlennost' v fokuse*, no. 5, pp. 40–44 [in Ukrainian].
17. Doroshenko, V.S. (2019). Application of proppants in foundry processes. *XI Mizhnarodna naukovu-tekhnichna konf. Novi materialy i tekhnologii v mashynobuduvanni – 2019: materialy naukovu-tekh. konf.*, 30–31.05.2019, m. Kyiv. red. R.V. Lyutyj, I.M. Guriya. Kyiv: KPI im. I. Sikorskogo, 2019, pp. 68–70 [in Ukrainian].
18. Peychev, V.G. et al. (2017). Patent 2613676 C1 Russia, C09K 8/80, C04B 35/20, C04B 35/622, C04B 35/64. A method of manufacturing magnesium silicate proppant and proppant. Opubl. 21.03.2017, Byul. no. 9 [in Russian].
19. Doroshenko, V.S. (2017). Molded shell constructions with decorative burn-on. *Lytvo. Metalurgiya. 2017: Materialy XIII mizhnarodn. naukovu-praktych. konf. (23–25.05.2017, m. Zaporizhzhia)*. Zaporizhzhia: AA Tandem, pp. 48–50 [in Russian].

Received 02.06.2019

Анотація

В.С. Дорошенко, д-р техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: doro55v@gmail.com; **П.Б. Калюжний**, канд. техн. наук, ст. наук. співр., e-mail: kpb.cmw@ukr.net

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ, Україна

Концепції охолодження виливків за допомогою кріотехнології, нових сипучих матеріалів і способів лиття

Ливарне виробництво служить одним з кращих прикладів ресурсоефективності, оскільки виливки практично повністю доступні для переробки після закінчення експлуатаційного циклу шляхом переплавки при виробництві нових. З огляду підвищення ресурсоефективності виробництва описано нові способи лиття, сипучі низькотемпературні і вогнетривкі матеріали для регулювання охолодження виливків. Дослідження виконано під керівництвом проф. О.Й. Шинського у ході виконання наукової тематики ФТІМС НАН України. Процеси регулювання в широких межах охолодження виливка в піщаній формі дозволяють як оптимально скорочувати час охолодження виливка у формі, так і впливати на формування структури металу. У першому випадку створюються підстави для зменшення довжини конвеєрної гілки формувально-заливальної лінії, на якій охолоджують виливки в формах, або площ під форми на заливальному плацу, а також для комплектації ливарних роторно-конвеєрних комплексів пропорційними за величиною роторними модулями, на яких виконують операції формовки, заливки і охолодження виливків, привівши їх до приблизно однакової тривалості. У другому випадку збільшення швидкості кристалізації і охолодження виливка має межі, перевищення яких може призвести до погіршення службових властивостей металу, зокрема, для графітизованих чавунів. Тому залучено процеси термообробки металів і показано приклади взаємного доповнення процесів лиття та термообробки металу. Для виливків з чавуну запропоновано способи лиття в поєднанні з ізотермічним гартуванням виливків. Застосування для такого гартування твердо-газових дисперсних середовищ (на відміну від традиційних рідких) підвищить екологічні умови виробництва. А охолодження виливків, аж до їх гартування, за допомогою кріотехнології з плавленням льоду, випаровуванням води і конденсацією пари в контакт з льодом наближають процес виробництва до природоподібних технологій.

Ключові слова

Лиття, охолодження виливків, кріотехнологія, ізотермічне гартування, термообробка, високоціний чавун, лід, пропант.

Summary

V.S. Doroshenko, Dr. Sci. (Engin.), Senior Researcher,
e-mail: doro55v@gmail.com; **P.B. Kaliuzhnyi**, PhD (Engin.), Senior
Researcher, e-mail: kpb.cmw@ukr.net

*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Concepts of cooling castings using cryotechnology, new bulk materials and casting methods

Foundry is one of the best examples of resource efficiency, since castings are almost completely available for processing at the end of the operating cycle by re-melting in the production of new ones. In terms of increasing the resource efficiency of production, new casting methods, bulk low-temperature and refractory materials for regulating the cooling of castings are described. The studies were performed under the guidance of prof. O.I. Shinskii in terms of scientific topics of the PTIMA NAS of Ukraine. The regulation processes over a wide range of cooling of a casting in a sandy mold allow both to optimally shorten the cooling time of the casting in the mold, and to influence the formation of the metal structure. In the first case, bases are created to reduce the length of the conveyor branch of the molding and casting lines, on which castings in molds or areas for molds on the casting pad are cooled, as well as for assembling casting rotary conveyor complexes with proportional rotor modules on which molding, pouring and cooling castings operations are performed, bringing them to about the same duration. In the second case, an increase in the rate of crystallization and cooling of the casting has growth limits, the excess of which can lead to a deterioration in the service properties of the metal, in particular, for graphitized cast irons. Therefore, the processes of heat treatment of metals are involved and examples of the mutual complement of the processes of casting and heat treatment of metal are shown. For castings made of iron, casting methods have been proposed in combination with isothermal quenching of castings. The use of solid-gas dispersed media for such quenching (as opposed to traditional liquid) will increase the environmental conditions of production. And the cooling of castings, up to their hardening, using cryotechnology with ice melting, water evaporation and condensation of steam in contact with ice bring the production process closer to nature-like technologies.

Keywords

Casting, cooling of castings, cryotechnology, isothermal hardening, heat treatment, high-strength cast iron, ice, proppant.