УДК 621.74.041

В.С. Дорошенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ст. науч. сотр. отдела физико-химии литейных процессов,
e-mail: doro55v@gmail.com

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

Концепция роторно-конвейерного комплекса для литья по газифицируемым моделям и термообработки отливок

Роторно-конвейерные комплексы (РКК) обеспечивают совмещение транспортных и технологических операций литейных процессов. Такие конвейерные технологии литья в песчаные формы позволяют получать заготовки высокого качества и способствуют автоматизации производственного процесса. Следуя концепции проф. О.И. Шинского о модульной комплектации высокопродуктивного, экологически безопасного, автоматизированного оборудования и РКК на основе новых технологий с использованием физически связанных разрежением и криотехнологиями формовочных материалов, выполнено объединение линии для производства разовых пенополистирольных моделей с роторными формовочными модулями, заливочным конвейером и термической печью. Включение в РКК кольцевой термической печи, в качестве одного из роторных транспортно-технологических конвейерных модулей, позволяет выполнить термообработку отливок для получения бейнитных структур металла с высокими эксплуатационными характеристикам, что дает основание назвать такой РКК литейно-термическим. Описанная концепция сочетания технологии литья по газифицируемым моделям, применения вакуумируемых форм с песком без связующего, выбивки отливок в горячем состоянии и, минуя перлитное превращение для железоуглеродистых сплавов, изотермической их закалки (аустемперинга) позволяет использовать новейшие научные и прикладные знания в области синтеза конструкционных и специальных чугунов и сталей с высокими механическими свойствами. Описанный РКК обеспечит рост производительности производства, сокращение его энерго- и трудоемкости, производственных площадей, соответствует современному высокотехнологичному оборудованию, проектирование которого основано как на учении акад. Л.Н. Кошкина, так и на научно-технологических разработках и патентах ФТИМС НАН Украины.

Ключевые слова: *роторно-конвейерный комплекс, литье по газифицируемым моделям, отливка, модульная конструкция, высокопрочный чугун, термообработка, бейнитная структура, изотермическая закалка.*

В глобальном масштабе среднесрочное будущее литейного производства прогнозируется позитивно. По мнению гендиректора Foundry-Planet Томаса Фрича, история развития литейного производства в течение нескольких тысяч лет свидетельствует, что наша отрасль была и остается прекрасным «сейсмографом» тенденции экономического развития в целом, и сейчас мы ощущаем явные признаки изменений [1]. Переход на электромобили (E-Mobility), освоение цифрового мира, который бесконечно быстрее нашего восприятия, осознание и принятие концепции «Интернета вещей» (IoT) – в числе задач, подлежащих решению литейщиками.

При этом актуальным остается рост производительности литейного производства, который способны обеспечить роторно-конвейерные линии (РКЛ), конкурируя с традиционными автоматическими формовочными линиями (АФЛ). Принцип работы и ряд примеров РКЛ для машиностроения описал академик Л.М. Кошкин [2]. Ранее реализация оборудования типа РКЛ в литейном производстве не имела успеха, так как использование таких комплексов, прежде всего, нуждается в новых технологических процессах песчаной формовки, охлаждения отливок в форме, а также изготовления моделей. Основные принципы построения РКЛ легче всего осуществить в цепи операций, выполняемых с примерно одинаковой продолжительностью на синхронно вращающихся столах или каруселях, в свою очередь выстроенных так, что обработка изделий совмещается с их транспортированием вместе с формообразующей оснасткой, инструментами и исполнительными органами.

Анализ условий реализации модельно-формовочных, заливочных и охлаждающих отливку технологий для РКЛ показал, что ближе всего к таким условиям подходят способы литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), которые благодаря использованию разовых моделей позволяют быстро изменять номенклатуру литья и расширить диапазон серийности выпускаемой РКЛ продукции. О преимуществе быстрого перехода на новый вид отливки на линиях ЛГМ отмечается в материалах недавнего симпозиума, посвященного рассмотрению новых достижений в области ЛГМ-процесса [3], что кратко прокомментируем ниже.

Симпозиум проходил на базе института технологии материалов в г. Бремен (Германия) и включал экскурсию в данный институт, где наряду с последними достижениями технологии ЛГМ, участников ознакомили с перспективами применения этого процесса для производства отливок электромобилей. Эти работы институт проводит совместно с концерном «Folkskvagen», который с 2020 г. переходит на серийный выпуск электромобилей. Среди 13 докладов представителей различных стран, в том числе Германии, Китая, Нидерландов, Великобритании, Мексики, США, Ирана и др., Россия была представлена докладом «Новое оборудование и технология ЛГМ для получения отливок из стали и высокопрочного чугуна» [3].

Китайским представителем на симпозиуме были приведены примеры ЛГМ различных типов отливок, в том числе для тракторов, блоков и головок двигателей, а также крупных отливок весом до 10 тонн. В настоящее время Китай ежегодно выпускает более 2 млн тонн отливок методом ЛГМ, являясь мировым лидером такого производства. Это было достигнуто практически за последние 10 лет путем организации 10–15 крупных литейных производств, а большинство (~ 750) составляют литейные цехи с годовым количеством 3–5 тыс. тонн.

Особый интерес вызвал доклад представителя Мексики о самом крупном литейном заводе с годовым выпуском 50 тыс. тонн отливок из серого и высокопрочного чугунов для всемирно известных фирм «John Deere», «Caterpillar» и др. Большинство докладов было посвящено контролю технологических параметров ЛГМ-процесса для обеспечения высокого качества отливок. Российскими участниками был представлен доклад о новом оборудовании для производства высококачественных отливок широкой номенклатуры с практически полным контролем параметров процесса ЛГМ компьютерными программами и возможностью перехода на новую модель отливки в течение не более 10–15 минут, что достигается за счет специальной конструкции модельных автоматов. Разработанный и освоенный комплекс ЛГМ позволяет получать отливки, исключая человеческий фактор, что актуально для создания мелких литейных цехов с годовой мощностью до 5 тыс. тонн [3].

Отечественные разновидности ЛГМ-процесса, созданные в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины, включают ускоренное охлаждение отливок в песчаной форме путем интенсификации конвективного теплоотвода [4, 5], что актуально для регулирования длительности выдержки отливки в форме при синхронизации операций на РКЛ. Применение принципов проектирования РКЛ для ЛГМ-процесса в совокупном, комплексном использовании научно-технологического опыта и конструкторских решений позволит увеличить производительность, уменьшить операционные запасы материалов, сократить цеховые площади, а также энергоемкость, трудоемкость, себестоимость литья и капитальные затраты с ускорением их окупаемости. ЛГМ-процесс обладает потенциалом снижения массы литых конструкций по сравнению с современной литой металлопродукцией Украины и стран СНГ примерно в 1,5 раза, а по сравнению с Западной Европой – в 1,3 раза, что, соответственно, ведет к сокращению энергоносителей, шихтовых материалов, трудоемкости производства отливок в 1,5–2,0 раза.

Предварительно проведенный обзор патентной информации о конструкциях линий изготовления литейных форм, как ближайших «конкурентов» РКЛ, с целью оптимизации концепции их проектирования показал следующее. Например, формовочная линия (А. с. СРСР № 1131588А) включает один автомат для изготовления нижних и верхних полуформ с механизмами установки и выбивки форм. Она имеет технологический и транспортный конвейеры для верхних и нижних полуформ с двумя параллельными ветвями. Технологические возможности такой линии обусловлены совмещением операций изготовления полуформ одним автоматом, удаления и составления полуформ на одной позиции, что снижает ее эксплуатационную надежность.

Рассмотрена также автоматическая линия безопочной формовки (А. с. СССР №651887) с двумя последовательно расположенными формовочными автоматами. Она также оснащена транспортным конвейером, двумя устройствами для перестановки и кантования полуформ в виде приводной решетки, на которой установлена рамка с приводом ее вращения. К недостаткам этой линии можно отнести конструктивную сложность, низкую надежность и недолговечность приводной каретки с установленной на ней рамкой и приводом вращения, что с высокой вероятностью приведет к ее заклиниванию, остановкам в работе и снизит надежность и производительность всей линии.

При обзоре конструкций линий для производства разовых моделей к аналогам для нашего проектирования отнесена автоматическая РКЛ преимущественно для изготовления парафино-стеариновых выплавляемых моделей (А. с. СССР № 1603612А1), содержащая два перегрузочных роторных автомата, размещенных между встречными ветвями конвейеров, в которых количество мест крепления пресс-форм кратное количеству перегрузочных роторных автоматов. Роторные автоматы и конвейеры объединены в технологический поток, что отвечает сути РКЛ, но эти автоматы конструктивно сложны, показанный вид крепления пресс-форм к кронштейнам конвейеров приведет к остановкам в работе и снижению производительности. Отсутствие в этой РКЛ ряда устройств для обработки исходного пенополистирола (ППС), роторного автомата и другого оборудования для получения пенополистирольных моделей значительно снижает производительность и технологические возможности использования линии для получении качественных газифицируемых моделей, применяемых в процессе ЛГМ, а также повышает удельные расходы материалов, энергоресурсов и ухудшает условия труда.

Разработанная под руководством проф. Шинского О.И. концептуальная конструкция РКЛ [6] оптимально обеспечивает процесс изготовления газифицируемых моделей путем оснащения ее устройствами и оборудованием, последовательно выполняющими технологически необходимые операции, и, приняв на входе исходный материал, выдает на выходе готовые кусты или кластеры газифицируемых моделей (рис. 1). Методом преодоления недостатков рассмотренных аналогов и на основе опыта проектирования комплексов ЛГМ [7] создана такая конструкция РКЛ.

Она состоит из последовательно расположенного следующего оборудования: устройства предварительного рассева гранул полистирола *1*, пневмотранспортного элеватора *2*, дозировочной установки для подвспенивания прошедших рассев гранул *3*, расположенной под установкой роторного автомата *4* для получения пенополистирольных моделей, оснащенного устройством *5* для задувки пенополисти-

рола в разъемные пресс-формы *6*, закрепленные на подвижных плитах *7*. Также имеется устройство *8* для спекания ППС в пресс-формах и устройство *9* для охлаждения разъемных пресс-форм *6* с полученными пеномоделями *10*. Подвижные плиты *7* расположены в кольцевых камерах *11* туннельного типа. По касательной к автомату расположен конвейер выдержки пенополистирольных моделей *12*, конвейер *13* сборки кустов таких моделей, конвейер *14* покраски кустов моделей, конвейер *15* сушки кустов моделей и транспортный конвейер *16* готовых кустов *17* газифицируемых моделей.

РКЛ оснащена приводной станцией *18* и работает следующим образом. Исходный материал – гранулированный полистирол после прохождения через устройство предварительного рассева *1* приобретает необходимый гранулометрический состав и пневмотранспортным элеватором *2* подается в дозирующую установку подвспенивания гранул. Подвспенный подготовленный ППС подается в расположенный под установкой *3* роторный автомат *4* для получения пенополистирольных моделей. В этом автомате устройством для задувки *5* выполняется задувание ППС в разъемные пресс-формы *6*, закрепленные на подвижных плитах *7*.

Устройством для спекания пенополистирола *8* выполняется спекание задутого в пресс-формы ППС, а устройством *9* – охлаждение разъемных пресс-форм *6* с пеномоделями. Охлажденные пеномодели *10* извлекаются из разъемных пресс-форм *6* и подаются на конвейер *12* для выдержки этих моделей. На конвейере *13* выполняется сборка пенополистирольных моделей в кусты, а на конвейере *14* – покраска этих кустов. На конвейере *15* кусты пенополистирольных моделей сушат, и транспортным конвейером *16* подают готовые кусты газифицируемых моделей по назначению. Движение и синхронная работа всех составляющих частей линии обеспечивается приводной станцией *18*. В случае необходимости для тонкостенных моделей с развитой поверхностью возможно оснащение линии дополнительным конвейером для сушки окрашенных моделей [8].

Следуя концепции проф. Шинского О.И. о модульной комплектации высокопродуктивного, экологически безопасного, автоматизированного оборудования и литейных роторно-конвейерных комплексов (РКК) на основе новых технологий с использованием физически связанных разрежением и криотехнологиями формовочных материалов, в развитие проектирования конструкций РКЛ выполнили объединение линии для производства разовых моделей с роторными формовочными модулями и другим описанным ниже оборудованием. Пример аналогичного модуля описан в работе [9]. Также данная РКЛ (рис. 1) по производству моделей пригодна для встраивания в действующие литейные комплексы, типа описанных в патенте [7]. Кроме того, по мнению автора, перспективным направлением является совмещение модельных и литейных линий с РКЛ, на которых производится термообработка отливок для оптимизации их механических свойств, улучшения обрабатываемости, в том числе для дальнейшей механообра-

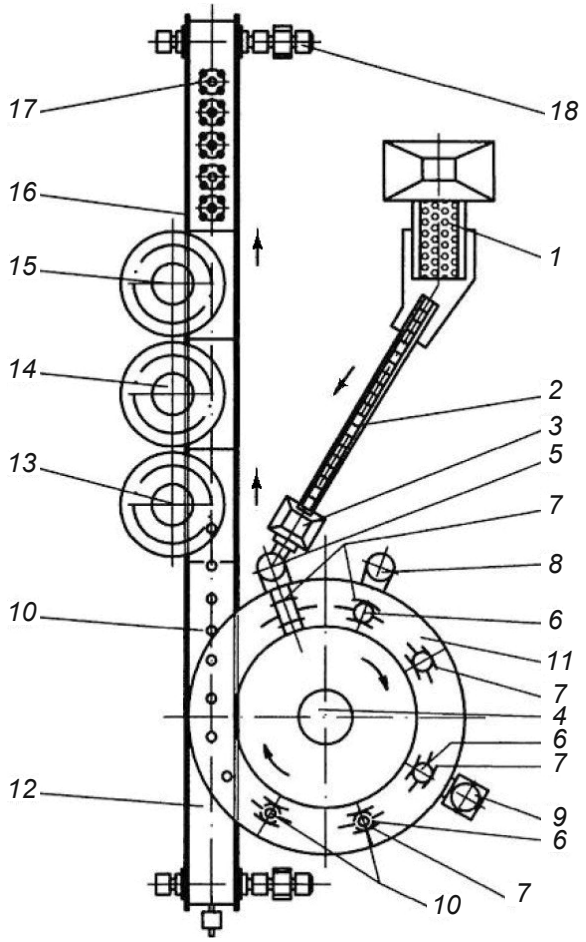

Рис. 1. РКЛ для производства пенополистирольных моделей [6]

ботки на РКЛ или станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В целом, идеальное решение задачи представляется в получении готовых к сборке металлических заготовок с максимальным использованием возможностей РКЛ.

Далее рассмотрим изложенную в этой статье концепцию комплектации РКК роторными формовочными модулями в сочетании с линией термообработки отливок, что относится к основным положениям новизны этой статьи. Роторный формовочно-заливочный модуль (рис. 2, оборудование схематично показано на схеме в составе РКК) устроен таким образом, что по настилу движется роторная карусель *1*, которая опирается на настил через шаровые пары и по центру карусели имеет вертикальную стойку с шестью рычагами (спицами) [9]. Пошаговое перемещение на 60° роторной карусели с тележками *2*, имеющими по четыре катка, по настилу осуществляют пневмоприводом *3*, который имеет пневмоцилиндр с закрепленным на штоке упорно-возвратным механизмом.

Контейнеры и контейнерные формы устанавливаются на 6 тележек, имеющих центрирующие элементы. Загрузочное устройство *4* для подачи формовочного песка в контейнер закреплено на стойке и обладает подвижностью в вертикальном и горизонтальном направлениях. Устройство *5* для перестановки формы на заливочный конвейер имеет привод *6*, который позволяет перемещать готовые контейнерные формы. Для манипуляций с формой она

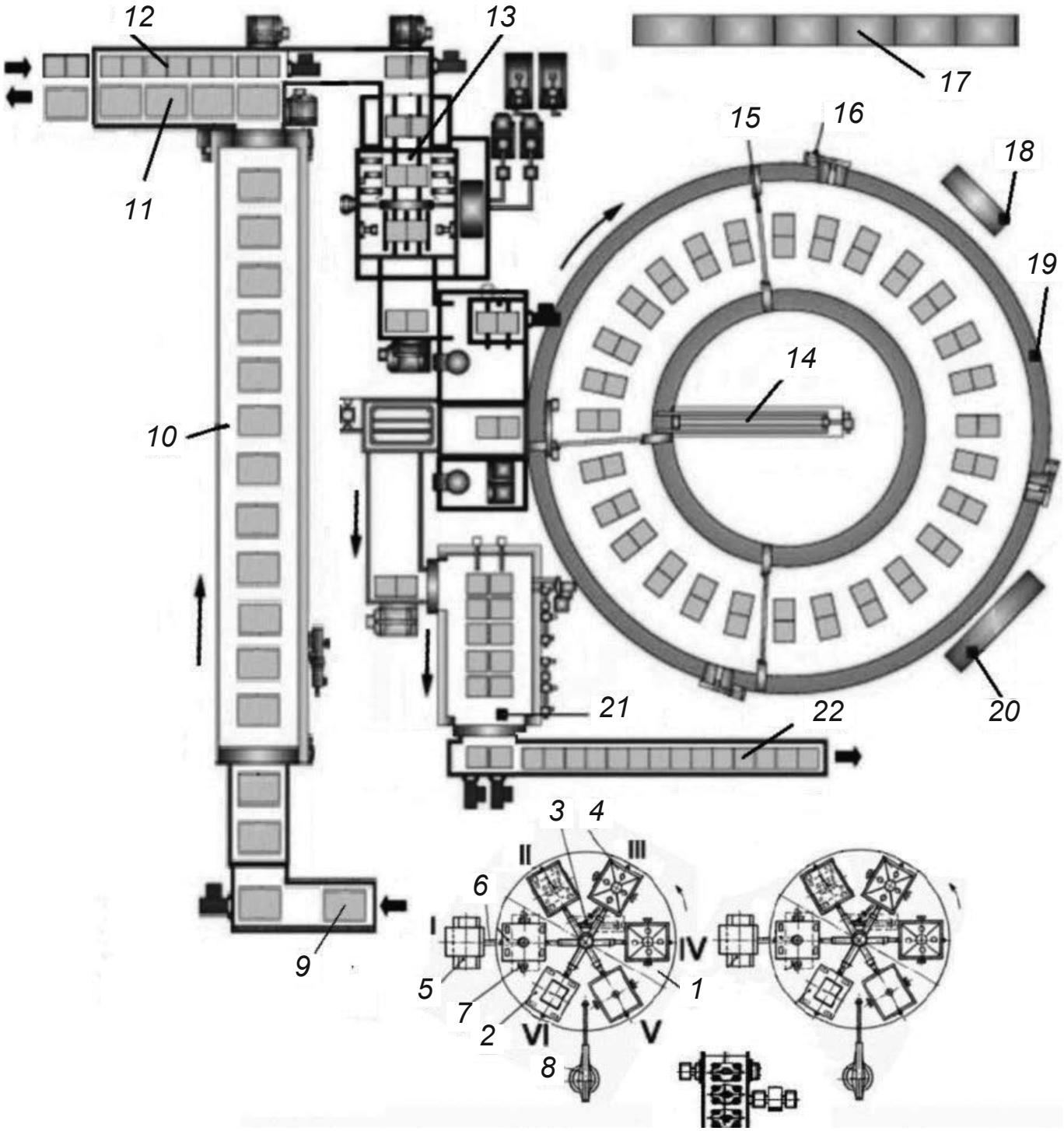

Рис. 2. Схема РКК с двумя роторными формовочными модулями и кольцевой термической печью непрерывного действия

может подключаться к вакуумной системе с помощью устройства *7* модуля для вакуумирования (откачки воздуха) через клапаны формы. Установка пустых контейнеров на тележки *2* осуществляется консольным краном *8*.

Данная конструкция модуля обеспечивает автоматизацию изготовления песчаной формы по газифицируемым моделям, подаваемым из РКЛ (рис. 1), часть выдающей конвейерной ветки с моделями которого условно изображена в нижней части рис. 2. Получаемая контейнерная форма состоит из уплотненного и загерметизированного сверху синтетической пленкой формовочного песка с пенополистирольными моделями и литейной воронкой. Удаление формы с формовочного модуля выполняют на поз. I с помощью устройства *5* или специальным краном. Такие формы *9*, переставленные на конвейер под заливку металлом, показаны окрашенные серым цветом.

Функционирование формовочного модуля производится следующим образом. На поз. VI или V (в разных вариантах формовки) устанавливают пустую контейнерную опоку (контейнер), опуская на центровочные штыри тележки роторного модуля при помощи консольного крана *8*, и начинают цикл операций формовки. На поз. IV производят засыпку песчаной подушки на дно контейнера. Формовочный песок подают четырьмя питателями загрузочного устройства *4*, которое перемещают при помощи пневмопривода

по вертикали и вращая вокруг вертикальной стойки, а запыленный воздух отсасывают через центральный гофрированный трубопровод. Четыре питателя загрузочного устройства позволяют подать песок не на верхнюю поверхность модели, а по четырем углам контейнера с затеканием песка к стенкам модели после отражения от стенок контейнера. Это уменьшает пылеобразование и трение песка о модель. На поз. III после установки модели (кустов моделей) на песчаную подушку производят засыпку основной массы песка, на поз. II производят его виброуплотнение, досыпку и герметизацию контейнера синтетической пленкой. Длительность цикла работы такого модуля определяется продолжительностью технологических операций на поз. II, как наиболее трудоемких, и находится в пределах 4–6 минут [9].

На рис. 2 показан комплекс с двумя роторными формовочными модулями. Если с РКЛ (рис. 1) поставляются сравнительно крупные модели и формуются в режиме «одна модель – одна форма», то задействуют оба формовочных модуля. Также в контейнере могут формовать модельные кусты (кластеры), смонтированные из 4–6 и более отдельных моделей, в свою очередь каждая из которых может состоять из двух и более частей, выполненных роторным автоматом на РКЛ (рис. 1). В этом случае будет достаточно работы одного формовочного модуля в соответствии с производительностью модельной РКЛ. Такая двухмодульная компоновка расширяет номенклатуру и серийность выпускаемой продукции проектируемого комплекса.

После подачи на конвейер *10*, формы заливаются металлом в соответствие с известными способами ЛГМ, отливки затвердевают, движутся в формах вдоль конвейера и охлаждаются до определенной температуры. Для отливок из железоуглеродистых сплавов, в частности из высокопрочных чугунов (ВЧ), которые по массе составляют около 25 % мирового производства литья, в последнее время, согласно обширному объему технической информации на эту тему [5, 10–14], целесообразно проводить термообработку для получения бейнитной структуры, что значительно упрочняет металл, как показано на рис. 3 [10]. Поэтому в данной концепции проектирования РКК линия термообработки отливок включена в предлагаемый комплекс (рис. 2), на основе разработок ФТИМС НАН Украины [5, 13–14], а также с учетом статьи [11] по проектированию преимущественно конвейерных установок для упрочнения металла путем получения его с бейнитной структурой (plant design for bainite hardening).

Кольцевая термическая печь в составе литейно-термического РКК (рис. 2) подобна конструкциям кольцевых термических печей непрерывного действия, схемы которых показаны в работе [12]. Такие печи пригодны для термообработки заготовок с литого состояния, согласно способу [13]. Этот способ состоит в быстром извлечении из сыпучего песка формы затвердевшей горячей отливки с аустенитной структурой ВЧ и быстром охлаждении отливки (закалки), исключающем перлитное превращение, до температуры начала образования бейнитной структуры. Затем производится изотермическая выдержка отливки в интервале температур бейнитного превращения, которая «закрепляет» в отливке эту структуру, после чего отливку охлаждают на воздухе.

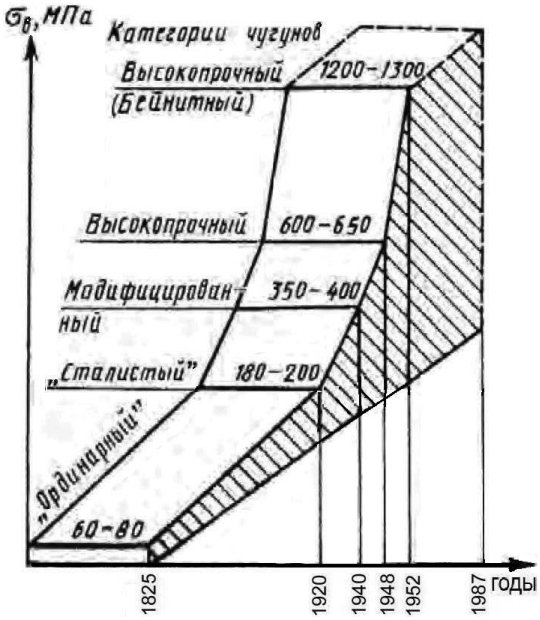

Рис. 3. Развитие научных и прикладных знаний в области синтеза конструкционных и специальных чугунов с высокими эксплуатационными характеристиками [10]

В нашем примере формы с охлаждающими в них отливками движутся по конвейеру *10* и затем попадают в тамбур извлечения отливки из формы. Далее контейнеры *11* с песком (формы без отливки) удаляются с конвейера (по стрелке на рис. 2), а отливки перегружаются на лотки *12* и вместе с ними перемещаются на операцию закалки в системе *13* с закалочными ваннами в жидких средах. Для упрощения извлечения горячих отливок из формы внутрь контейнера перед подачей на тележку *2* формовочного модуля могут вставлять сетчатую (проволочную) корзину, за проушины которой удобно извлечь эту корзину с отливкой и установить ее на лоток *12* [14]. Такой способ выгрузки и дальнейшего перемещения отливок в корзине по последующим технологическим операциям удобен для мелких отливок, получаемых в кустах, он предотвращает случайное отламывание и потерю отливок, например, в закалочной ванне или термической печи.

Пройдя закалку, отливки на лотках попадают через систему тамбуров в кольцевую печь *19*, в которой загрузка – выгрузка отливок выполняется толкателем *14* [12]. Печь также имеет промежуточные перегородки (двери) *15* для создания требуемого режима термообработки (различных зон нагрева), двери *16* для сборки и ремонта, шкаф управления *17*, нагреватель *18* и систему для подачи газа *20*. Выйдя из печи, отливка на лотке проходит сквозь тамбур охлаждения *21* и попадает на конвейер *22* для окончательного охлаждения и удаления из литейно-термического РКК.

Печи с вращающимся или рольганговым подом оптимально подходят для непрерывных процессов на небольшой площади. Они нагреваются электричеством (с использованием вентиляторов для циркуляции

газов) или газовыми горелками, производительность кольцевых печей составляет 500–1000 кг/ч [12] в диапазоне рабочих температур 150–980 °С. Печи применяют для таких видов термообработки изделий из различных сплавов: закалка, нормализация, отжиг, науглероживание, карбонитрация и др.

Дополнительно следует отметить некоторую особенность формовки оболочковых корпусных отливок с закрытыми – «глухими» полостями при ЛГМ. К ним относятся чугунные корпуса боеприпасов, закрытые (с одним отверстием) полости моделей которых традиционно засыпают формовочным песком сверху, и эти полости формуют в виде висячих песчаных «болванов». Очевидно, что стоячие песчаные конструкции из песка без связующего менее склонны к осыпанию при заливке метала в форму, чем висячие. В первом случае силы веса песка увеличивают силы его внутреннего трения, сжимая «болван», а во втором – уменьшают, растягивая его. Кроме того, при извлечении горячей отливки из формы, согласно способам [13, 14], следует быстро высыпать песок из полостей, для чего необходимо кантование на 180° куста отливок, что трудно будет сделать для отливок в аустенитном состоянии с температурой порядка 900 °С.

Исходя из описанных условий литья таких оболочковых отливок способом ЛГМ с термообработкой из горячего литого состояния, предложен вариант способа формовки моделей с засыпкой их полостей сверху и виброуплотнением песка, герметизацией формы пленкой и вакуумированием, а затем кантованием формы на 180° [15] при перестановке ее с роторной карусели *1* формовочного модуля на заливочный конвейер *10* (рис. 2). Тогда при формовке модельный куст устанавливают литниковой воронкой книзу на тележке *2* (в варианте на направляющем штыре), предварительно застелив верхнюю поверхность тележки пленкой. Затем сверху устанавливают не контейнерную, а рамочную опоку, которую засыпают песком и герметизуют сверху пленкой после его виброуплотнения. В вакуумируемом состоянии формы обе пленки прижимаются к форме, таким образом, упрочненную форму снимают с тележки, кантуют и устанавливают в положение *9* в начале заливочного конвейера. При этом воронка оказывается сверху, «болваны» оказываются стоячими, и песок из них легко высыпается из затвердевших отливок при извлечении последних из формы вверх. Отсутствует операция создания песчаной подушки (постели) для установки на нее модельного куста. В таком способе литья приемлема как сифонная, так и дождевая литниковая система, вторая – более экономная по расходу металла.

Описанные конструкции конвейерных устройств могут служить примерами реализации ранее не раскрытых инновационных возможностей литья по разовым моделям путем применения высокой текучести сухого песка, как внутреннего резерва такого вида формовки, в процессе быстрой выбивки отливки из формы и подачи ее на термообработку в горячем состоянии. Также и сама термообработка для достижения повышенных механических свойств, например, показанных на рис. 3, способствует раскрытию внутреннего потенциала, свойственного многим железоуглеродистым сплавам, что отмечено в описаниях патентов [13, 14, 16].

Ниже показаны типовые примеры моделей и отливок, которые целесообразно использовать и получать при эксплуатации описанного РКК (рис. 4). Они взяты из последней практики ЛГМ-процесса и разработок отдела физико-химии литейных процессов под руководством проф. Шинского О.И. Для экономии места фотографии изображены методом коллажа.

Выводы

Предложенная схема РКК на основе ЛГМ-процесса достигает следующих преимуществ по сравнению с аналогами: расширенные технологические возможности РКЛ [6] для производства моделей при обеспечении гарантированного равномерного гранулометрического состава исходного материала ППС; необходимая дозированная подача подвспененного материала внутрь пресс-формы; спекание в автоматической режиме; охлаждение пенополистирольных моделей и их подача на конвейер для выдержки, составления, окрашивания, сушки и транспортировки готовых кустов газифицируемых моделей с последующей подачей их на роторные формовочные модули [9] или стационарные действующие формовочные установки [7]. Расширение технологических возможностей линии, повышение ее надежности и производительности приведет к росту качества изготовления газифицируемых моделей, расчетному сокращению удельных расходов материалов и энергоресурсов на 12–14 %, по сравнению с действующими участками ЛГМ, а также к улучшению условий труда [6].

Включение в РКК термической печи с ротационным подом и неподвижным кольцевым каналом за счет возможности быстрого удаления отливки из сыпучего песка формы позволяет с горячего аустенитного состояния отливки (из многих железоуглеродистых сплавов), исключая перлитное превращение, выполнить ее изотермическую закалку для получения бейнитных структур с высокими эксплуатационными характеристиками. Описанный РКК позволит экономить энерго- и капитальные затраты, производственные площади, соответствует современному высокотехнологичному оборудованию, концепция которого во многом основана на научно-технологических разработках и патентах ФТИМС НАН Украины.

Рис. 4. Примеры моделей и отливок, использование и получение которых возможно на РКК

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fritsch T.* Seismograph: Casting Production // *Global Casting Magazine*. – 2018. – Vol. 8. – Iss. № 4. – P. 9.
2. *Кошкин Л.Н.* Роторные и роторно-конвейерные линии: 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1991. – 400 с.
3. *Котович А.В.* Международный симпозиум по технологии литья по газифицируемым моделям (г. Бремен 7–8.11.2018). URL: http://simbirsk-furnace.ru/informatsiya/novosti/146
4. *Шинский О.И., Дорошенко В.С., Кравченко В.П.* Интенсификация теплообмена отливки с дисперсным наполнителем литейной формы при применении хладагента и вынужденной конвекции // Процессы литья. – 2009. – № 5. – С. 74–82.
5. *Дорошенко В.С., Калюжный П.Б.* Технологические принципы создания скоростных процессов литья в вакуумируемые формы для роторно-конвейерных комплексов // *Процессы литья*. – 2018. – № 3. – С. 23–34.
6. Патент Украины 43781, МПК B22C 7/00, B22C 11/00. Роторно-конвейерная линия для изготовления газифицируемых моделей / И.О. Шинский, О.И. Шинский, П.Н. Каричковский и др. – Опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.
7. Патент Украины 45814, МПК B22D27/00; B22D47/00. Литейный комплекс для изготовления отливок по газифицируемым моделям / И.О. Шинский, О.И. Шинский, П.Н. Каричковский и др. – Опубл. 25.11.09, Бюл. № 22.
8. *Дорошенко В.С., Бердыев К.Х.* Расчет конвейера для сушки окрашенных пенопластовых моделей серийного литья // *Литье Украины*. – 2014. – № 7. – С. 13.
9. *Дорошенко В.С. , Бердыев К.Х.* Конвейеры непрерывного действия для литья по разовым моделям в песчаных формах, упрочняемых под воздействием вакуума // *Процессы литья*. – 2011. – № 5. – С. 49–56.
10. *Бобро Ю.Г.* Металловедение литейных сплавов. Достижения и проблемы // *Библиотека литейщика*. – 2018. – № 3. – С. 9–15.
11. *H. Altena, K. Buchner.* Process technology and plant design for bainite hardening // *La Metallurgia Italiana.* – 2016. – № 3. – P. 23–26.
12. *H. Altena, F. Schrank.* Modern gas-carburizing technology for the automotive industry // *Heat treating progress.* – 2007. – March/April. – P. 17–22.
13. Патент Украины 123731, МПК B22 D7/00, B22 D23/00, C21D5/02, C21D1/20, B22 D27/04. Способ изготовления отливок из бейнитного или аусферитного чугуна с шаровидным графитом / В.С. Дорошенко, В.О. Шинский. – Опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.
14. Заявка u201807139 Украина, от 25.06.2018, МПК B22D 7/00, B22D 23/00, B22D 27/04, C21D 1/20. Способ изготовления отливок / В.С. Дорошенко, В.О. Шинский. Решение о выдаче патента от 1.10.2018.
15. Патент Украины 82837, МПК B22C 9/02. Способ формования // О.И. Шинский, В.С. Дорошенко. – Опубл. 12.08.2013, Бюл. № 15.
16. Заявка u201807117 Украина, от 25.06.2018, МПК B22 D7/00, B22 D23/00, C21D5/02, C21D1/20, B22D27/04. Способ изготовления отливок из бейнитного или аусферитного железоуглеродистого сплава (чугуна, стали) / В.С. Дорошенко, В.О. Шинский. Решение о выдаче патента от 06.11.2018.

Поступила 15.01.2019

REFERENCES

1. *Fritsch, T.* (2018). Seismograph: Casting Production. *Global Casting Magazine*, Vol. 8, Iss. no. 4, p. 9 [in English].
2. *Koshkin, L.N.* (1991). Rotary and rotary conveyor lines: 3rd ed. reclaiming and add. Moscow: Mashinostroenie, 400 p. [in Russian].
3. *Kotovich, A.V.* (2018). International symposium on casting technology for gasified models (Bremen, 7–8.11.2018). URL: http://simbirsk-furnace.ru/informatsiya/novosti/146 [in Russian].
4. *Shinskiy, O.I., Doroshenko, V.S., Kravchenko, V.P.* (2009). Intensification of casting heat exchange with a dispersed filler of a mold when using a refrigerant and forced convection. *Casting processes*, no. 5, pp. 74–82 [in Russian].
5. *Doroshenko, V.S., Kalyuzhnyi, P.B.* (2018). Technological principles for creating high-speed casting processes in evacuated molds for rotary conveyor complexes. *Casting processes*, no. 3, pp. 23–34 [in Russian].
6. *Shinskiy, I.O., Shinskiy, O.I., Karichkovskiy, P.N.* et al. (2009). Rotary conveyor line for fabricated gasified patterns. Patent UA, no. 43781. Opubl. 25.08.2009, Biul. no. 16 [in Russian].
7. *Shinskiy, I.O., Shinskiy, O.I., Karichkovskiy, P.N.* et al. (2009). Foundry complex for the manufacture of castings for gasified models. Patent UA, no. 45814. Opubl. 25.11.09, Biul. no. 22 [in Russian].
8. *Doroshenko, V.S., Berdyev, K.Kh.* (2014). Calculation of a conveyor for drying colored foam models of serial casting. *Lit'e Ukrainy*, no. 7, P. 13 [in Russian].
9. *Doroshenko, V.S., Berdyev, K.Kh.* (2011). Continuous conveyors for casting by one-off models in sandy forms, hardened under the influence of vacuum. *Casting processes*, no. 5, pp. 49–56 [in Russian].
10. *Bobro, Yu.G.* (2018). Metal science of foundry alloys. Achievements and problems. *Biblioteka liteishchika*, no. 3, pp. 9–15 [in Russian].
11. *Altena, H., Buchner, K.* (2016). Process technology and plant design for bainite hardening. *La Metallurgia Italiana*, no. 3, pp. 23–26 [in English].
12. *Altena, H., Schrank, F.* (2007). Modern gas-carburizing technology for the automotive industry. *Heat treating progress*, March / April, pp. 17–22 [in English].

13. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2018). A method of manufacturing castings from bainite or ausferitic nodular cast iron. Patent UA, no. 123731. Opubl. 12.03.2018, Biul. no. 5 [in Russian].
14. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2018). A method of manufacturing castings. Zaiavka u201807139 Ukraina, ot 25.06.2018. Reshenie o vydache patenta ot 1.10.2018 [in Russian].
15. *Shinskiy O.I., Doroshenko, V.S.* (2013). Method of forming. Patent UA, no. 82837. Opubl. 12.08. 2013, Biul. no. 15 [in Russian].
16. *Doroshenko, V.S., Shinskiy, V.O.* (2018). A method of manufacturing castings from bainitic or ausferitic iron-carbon alloy (iron, steel). Zaiavka u201807117 Ukraina, ot 25.06.2018. Reshenie o vydache patenta ot 06.11.2018 [in Russian].

Received 15.01.2019

Анотація

В.С. Дорошенко, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр. відділу фізико-хімії ливарних процесів, e-mail: doro55v@gmail.com

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

Концепція роторно-конвеєрного комплексу для лиття за моделями, що газифікуються, та термообробки виливків

Роторно-конвеєрні комплекси (РКК) забезпечують поєднання транспортних і технологічних операцій ливарних процесів. Такі конвеєрні технології лиття в піщані форми дозволяють отримувати заготовки високої якості і сприяють автоматизації виробничого процесу. Згідно з концепцією проф. О.І. Шинського щодо модульної комплектації високопродуктивного, екологічно безпечного, автоматизованого обладнання і РКК на основі нових технологій з використанням фізично зв'язаних розрідженням і кріотехнологією формувальних матеріалів, виконано поєднання лінії для виробництва разових пінополістирольних моделей з роторними формувальними модулями, заливальним конвеєром і термічною піччю. Включення в РКК кільцевої термічної печі, в якості одного з роторних транспортно-технологічних конвеєрних модулів, дозволяє виконати термообробку виливків для отримання бейнітних структур металу з високими експлуатаційними характеристиками, що дає підставу назвати такий РКК ливарно-термічним. Описана концепція поєднання технології лиття за моделями, що газифікуються, застосування вакуумованих форм з піском без в'яжучого, вибивання виливків у гарячому стані і, оминаючи перлітне перетворення для залізовуглецевих сплавів, ізотермічного їх гартування (аустемперінга) дозволяє використовувати новітні наукові і прикладні знання в області синтезу конструкційних і спеціальних чавунів і сталей з високими механічними властивостями. Описаний РКК забезпечить зростання продуктивності виробництва, скорочення його енерго- і трудомісткості, виробничих площ, відповідає сучасному високотехнологічному устаткуванню, проектування якого засноване як на вченні акад. Л.Н. Кошкіна, так і на науково-технологічних розробках і патентах ФТІМС НАН України.

Ключові слова

Роторно-конвеєрний комплекс, лиття за моделями, що газифікуються, виливок, модульна конструкція, високоміцний чавун, термообробка, бейнітна структура, ізотермічне гартування.

Summary

V.S. Doroshenko, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Senior Researcher at the Department of Physics and Chemistry casting processes, e-mail: doro55v@gmail.com

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

The concept of a rotor-conveyor complex for Lost Foam Casting process and heat treatment of metal castings

Rotor conveyor complexes (RCC) provide a combination of transport and technological operations of metal casting processes. Such conveyor of sand casting technologies allow obtaining high quality blanks and help automatization the production process. Following the concept of prof. O.I. Shinskiy about modular configuration of highly productive, environmentally friendly, automated equipment and RCC based on new technologies using physically related dilution and cryotechnologies of molding materials, the line for the production of single foam polystyrene patterns with rotary molding modules, casting

conveyor and thermal furnace was combined. The inclusion in the RCC of the annular heat-treatment furnace, as one of the rotary transport-technological conveyor modules, allows heat treatment of the casting to produce bainitic metal structures with high performance characteristics, which gives grounds to call this RCC as foundry-thermal. The described concept of combining casting technology using gasified patterns, using vacuum molds with sand without a binder, knocking out hot castings and, bypassing pearlite transformation for iron-carbon alloys, isothermal hardening (austempering), allows you to use the latest scientific and applied knowledge in the field of structural and special synthesis cast iron and steel with high mechanical properties. The described RCC will ensure an increase in the productivity of production, a reduction in its energy and labor intensity, production space, corresponds to modern high-tech equipment, the design of which is based on the teaching of Acad. L.N. Koshkin, as well as on the scientific and technological developments and patents of the PTIMA NAS of Ukraine.

Keywords

Rotor-conveyor complex, Lost Foam Casting, metal casting, modular construction, high-strength cast iron, heat treatment, bainite structure, isothermal hardening, austempering.