

действием вибрации обусловили изменения механических характеристик металла. Так, предел прочности возрос с 67,5 (заготовка № 1) до 86 МПа (заготовка № 3) при небольшом снижении пластичности (с 20,7 до 15,4 %). Предел прочности металла центральной зоны возрос с 55 до 99 МПа при том же снижении пластичности. Как видно, вибрация оказала более существенное влияние на формирование центральной зоны заготовки.

Вибрация обеспечила практически одинаковую плотность металла в периферийной и центральной зонах заготовок (2,707 и 2,702 г/см<sup>3</sup> соответственно). В контрольной заготовке плотность металла в периферийной зоне составляет 2,685 г/см<sup>3</sup>, а в центральной – 2,655.

Выполненные исследования показали, что наложение вибрации на затвердевающую полунепрерывнолитую заготовку из алюминиевого сплава АД31 устраняет поверхностные и подкорковые дефекты, транскристаллизацию, измельчает макро- и микроструктуру заготовки, повышает плотность и прочностные характеристики металла. Более эффективным является наложение вибрации на кристаллизатор и заготовку одновременно.



### Список литературы

1. Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. Технологии современной металлургии. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
2. Смутьский А. А., Семенов А. И., Елов С. М. Термический анализ алюминиевых сплавов // Процессы литья. – 2002. – № 1. – С.10-16.

Поступила 09.06.2011

УДК 621.744.4

**В. С. Дорошенко, К. Х. Бердыев**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **КОНВЕЙЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО РАЗОВЫМ МОДЕЛЯМ В ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ, УПРОЧНЯЕМЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВАКУУМА\***

*Описаны конструкции конвейерных устройств, которые служат примерами реализации инновационных возможностей литья по разовым моделям и применения высокой текучести сухого песка с целью получения (в том числе в непрерывном режиме) ячеистых отливок. Рассмотрены примеры получения вакуумируемой формы при непрерывной формовке, а также форм на карусельной установке с заливкой металла при помощи магнитодинамического насоса.*

**Ключевые слова:** отливки, литье, конвейер, непрерывный, ЛГМ, ледяные модели.

\*Работа выполнена под научным руководством О. И. Шинского

## Новые методы и прогрессивные технологии литья

Описано конструкції конвеєрних пристроїв, які служать прикладами реалізації інноваційних можливостей лиття за разовими моделями та застосування високої плінності сухого піску для отримання (в тому числі в безперервному режимі) комірчатих виливків. Розглянуто приклади отримання вакуумованої форми при здійсненні безперервного формування, а також форм на карусельній установці з заливанням металу за допомогою магнітодинамічного насоса.

**Ключові слова:** виливки, лиття, конвеєр, безперервний, ЛГМ, крижані моделі.

*Describes the design of conveyor devices, which are examples of innovation opportunities for onetime injection patterns, the use of high yield of dry sand for the reception, including in a continuous mode, cellular casting. An example of obtaining an evacuated mold the implementation of a continuous molding, as well as the receipt of such mold to the rotary apparatus with the metal pouring using a magneto-dynamic pump.*

**Keywords:** casting, molding, assembly line, continuous, Lost Foam Casting, ice patterns.

Технология литья в вакуумируемые формы из песка без связующего возникла благодаря двум изобретениям: в 1968 г. Е. Кржижановский получил патент ФРГ № 1301440 на литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) в такие формы [1], а в 1971 г. в Японии фирма Akita изобрела вакуумно-пленочную формовку (ВПФ) [2]. В этом году исполняется 40 лет со дня изобретения ВПФ. Эти способы нарушили традиции технологии литейной формы из кварцевого песка со связующим, привнеся в литейные цеха ресурсосберегающие и более экологически чистые, но в то же время наукоемкие процессы. Несмотря на достаточно большое число публикаций и сотни патентов (в том числе более сотни патентов отечественной научно-технической школы по технологии литейной формы), эти процессы продолжают опережать другие способы литья по темпам публикации нововведений и разновидностей, лидируя во многих случаях по динамике расширения объема, номенклатуры и географии производства литой продукции. При этом высокое качество отливок, полученных способом ЛГМ, по точности конкурирует с литьем под давлением, по качеству поверхности – с литьем в кокиль. А установка, изобретенная, например, фирмой Дженерал Моторс в 1982 г., двух литейных конвейеров с вакуумируемыми формами под одной крышей с механическим цехом может служить примером значительного снижения остроты экологических проблем литейного производства [1].

Описанные в этой работе два конвейерных модуля являются инновационными разработками ФТИМС НАН Украины из цикла работ по совершенствованию технологии литья в вакуумируемые формы по одноразовым моделям. Повышение текучести сухого песка путем вибровоздействия на него в процессе формовки позволяет сравнивать его в этом состоянии с псевдожидкостью. Причем, камневидное состояние песка при вакуумировании формы с пенопластовой моделью необходимо лишь при заливке формы одновременно с газификацией модели и последующем затвердевании отливки до такого состояния, когда она сама способна держать свою «геометрию» в песчаной среде. В остальных случаях вакуумирование не обязательно, что позволяет ограничивать его длительность 2-10 мин в зависимости от металлоемкости формы, однако его могут продолжить с целью принудительной вентиляции формы и откачки газообразных продуктов деструкции пенопласта, не удаленных из формы при заливке.

На принципе минимизации продолжительности вакуумирования формы в отечественной и зарубежной прессе [3, 4] построены и опубликованы ранее конструкции линий ВПФ, при которых движущийся конвейер представляет собой не вереницу отдельных форм, а одну литейную форму, например, в виде желоба с песком на вертикально замкнутом конвейере. Причем, в патентах по непрерывному литью такой желоб чаще называют подвижным кристаллизатором, облицованным песком [5-7]. При непрерывном движении этого желоба по ходу перемещения в него сначала насыпают слой сухого песка, а затем одновременно с герметизацией синтетической

пленкой слоя песка отформовывают в нем литейные полости, подключая вакуум к конвейеру на том участке, где необходимо удерживать форму в камневидном состоянии.

Поскольку вакуум из-за затрудненной фильтрации в песчаной среде на расстоянии 0,35-0,40 м от источника вакуумирования (сетчатого фильтра) снижается в 2,0-2,5 раза [8], то прочность формы регулируют величинами разрежения на фильтре, степени разгерметизации песка и удаления его от этого фильтра в стенке или дне желоба. При этом на участке заливки и затвердевания отливки эту прочность поддерживают максимальной, на участке формовки – достаточной для возможности выполнения литейных полостей, на участке охлаждения затвердевшей отливки форму не вакуумируют. Клапанная вакуумная система действует лишь на сравнительно непродолжительной зоне конвейера, вакуумирует его частично на участке формовки, подачи на заливку, а затем в полной мере лишь на участке заливки и затвердевания отливки. Полученная таким образом движущаяся на конвейере форма может рассматриваться как единая или в качестве нижней полуформы [3-7]. Для второго случая разработаны способы формирования верхней полуформы и сборки ее с нижней при формировании в итоге непрерывно движущегося песчаного слоя как литейной формы с одной вдоль конвейера или многими рабочими полостями. После заливки металлом и достаточного затвердевания отливки формы разупрочняют путем снижения и затем отключения вакуума (по мере выхода ленты конвейера из зоны подключения к системе вакуумирования), переводя песок из камневидного состояния в сыпучее.

В изобретениях [6, 7] предложили не возить на конвейере охлаждающиеся отливки в сыпучей песчаной среде, а подавать их в закрытый наклонный желоб (как продолжение конвейера), по стенкам которого отливки в песке движутся путем скольжения под собственным весом и находятся в желобе до достижения температуры, при которой предписана выбивка песчаных форм.

Упомянутые способы непрерывного литья в кристаллизаторе, содержащем слой облицовки [3-7], имеют ограниченные технологические возможности по номенклатуре отливок. Литые металлические профили, получаемые при формовке валком с кольцевыми моделями, часто требуют порезки при выходе из кристаллизатора, что снижает производительность линии непрерывного литья.

С целью расширения технологических возможностей литья и устранения затрат на порезку отливок в ФТИМС НАНУ разработан способ непрерывного литья по газифицируемым моделям на движущемся кристаллизаторе с песчаным облицовочным слоем. В слой в процессе насыпания помещают пенопластовую модель, предварительно составляя ее из частей и наращивая синхронно движению кристаллизатора. Модель могут наращивать как вдоль направления движения кристаллизатора, так и в других направлениях. Для удобства сборки составные части модели могут фиксировать выполненными на них знаками типа «штырь-паз» или другими методами, а также склеивать между собой предварительно нанесенным на стыкующиеся поверхности клеящим составом.

Такое техническое решение обеспечивает расширение технологических возможностей литейного процесса, сочетая преимущества ЛГМ и непрерывного литья, так как позволяет формовать профили моделей практически любой конфигурации (с возможностью засыпки ее поверхности песком), составляя модели различной длины. Способ ЛГМ в песчаную формовку дал возможность лить сложные для формовки, например, каркасно-ячеистые отливки, ряд изобретений конструкций которых запатентован под руководством профессора О. И. Шинского в ФТИМС НАНУ, а используемые сегодня способы непрерывного литья позволяют получать лишь изделия постоянного сечения с протяжного кристаллизатора. Предложенный способ (наряду с фасонными отливками) позволяет получать непрерывнолитые плоские или пространственные решетки.

Заливаемый металл газифицирует модель, заполняя и точно повторяя ее конфи-

гурацию. Во избежание смещения или перекоса частей, составляющих модель, их фиксируют или центрируют знаками, выполненными на стыкующихся поверхностях модели, а во избежание попадания в стык частей моделей мелкой фракции песка части моделей склеивают между собой по стыку клеем или закрывают по периметру липкой лентой. Указанным способом можно получать отливки многомерной длины, составляя модели из частей малой длины, например 0,2-1,0 м. Части моделей получают одним из четырех традиционных способов, присущим технологии ЛГМ, либо их сочетанием. Продукты газификации материала модели отсасывают сквозь песок облицовки кристаллизатора и фильтры вакуумной системы, вмонтированные в кристаллизатор аналогично контейнерным опокам для ЛГМ.

На рис. 1 изображена схема разработанной установки (линии); на рис. 2 – примеры формовки различных моделей, конструкции знаков-фиксаторов и сборки модели для непрерывного получения решетчатой отливки.

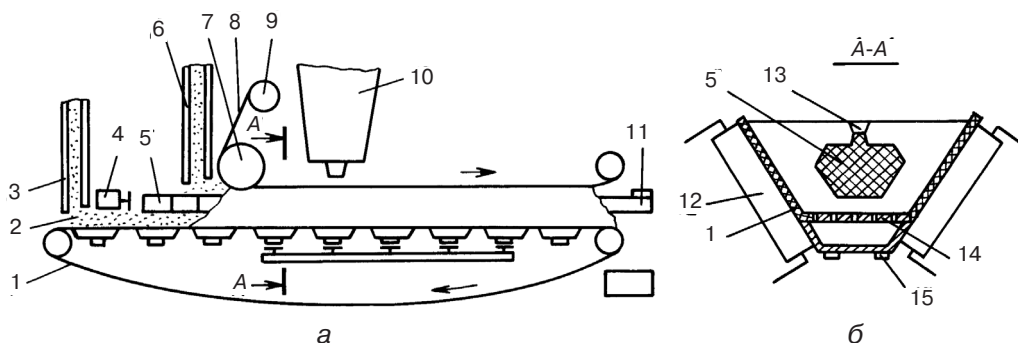


Рис. 1. Схема установки: а – вид сбоку; б – вариант конструкции бесконечной ленты, поперечный разрез

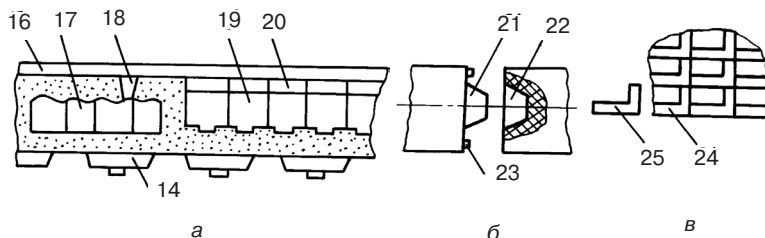


Рис. 2. Примеры выполнения: а – формовки различных моделей; б – конструкций знаков-фиксаторов; в – сборки модели для непрерывного получения решетчатой отливки

Конвейерная установка имеет непрерывную ленту 1, на которую слой песка 2 насыпают по трубчатому питателю 3. Механизм 4 служит для поддержания на конвейере отдельно устанавливаемой или составной модели 5, а второй трубчатый питатель 6 – для засыпки дополнительного слоя песка. Валком 7 наносят синтетическую пленку 8 из рулона 9. Заливку металла производят из ковша 10. В процессе литья получают отливку 11. Лента 1 движется по роликам 12. Аналогично изобретению [5] на валке 7 крепят модель воронки и при формовке в облицовке кристаллизатора получают отпечаток (полость) воронки 13. В ленту 1 вмонтированы фильтры 14 с клапанами 15 для подключения к вакуумной сети (на рис. 1, а она условно показана в центре с пятью клапанами). При непрерывном литье воронка 13 может быть выполнена в виде желоба (коллектора) 16.

Модель 17, собранную из четырех частей и имеющую небольшую длину, заливают через литниковый канал 18, выполненный на одной из частей моделей, а для непрерывной отливки 19 литниковый канал 20 выполняют на каждой части модели

(либо через одну часть модели). Для фиксирования (центрирования) частей модели применяют выпуклые знаки 21, вставляемые в знаки-углубления 22 соответствующего размера, также возможно склеивание частей при нанесении слоя 23 клея на одну из частей модели. Отливку 24 типа решетки собирают из частей 25, наращивая составную модель как в продольном, так и поперечном направлениях.

Конвейерная установка работает следующим образом. На движущуюся бесконечную ленту 1 насыпают слой песка 2 из питателя 3. На эту созданную песчаную постель укладывают и поддерживают механизмом 4 модель 5, состоящую из частей. Поверх модели 5 засыпают песок из питателя 6, затем валком 7 настилают на поверхность песчаной облицовки (лад) кристаллизатора синтетическую пленку 8 из рулона 9. Песок уплотняют в зоне засыпания модели с помощью вала 7 либо другими известными способами. Заливку металла производят из ковша 10, а на выходе кристаллизатора получают готовый продукт – отливку 11. Лента 1 кристаллизатора движется по роликам 12. На модели 5 может быть выполнен вертикальный канал, совмещаемый с литниковой воронкой 13 и формуемой моделью, закрепленной в виде выступа на валке 7. Технологически заданный участок песчаной облицовки кристаллизатора (на операциях облицовки пленкой – заливки – затвердевания отливки) вакуумируют через фильтры 14 путем сообщения расположенных на этом участке фильтров с внешней вакуум-системой через клапаны 15 аналогично установке [5], либо другими известными системами подключения вакуума к движущемуся конвейеру.

Для удобства заливки воронка 13 может выполняться в виде непрерывного желоба 16 вдоль кристаллизатора, для этого модель воронки, закрепленной на валке 7, имеет кольцевую форму. Модели 17 небольшой длины могут заливать из желоба 16 через литниковый вертикальный ход 18, выполненный из полистирола на одной части составной модели 17 (из четырех частей по рис. 2, а). Удобно также заливать из желоба 16 непрерывные модели отливки 19, у которых литниковые щелевые ходы 20 выполняют на всех или большинстве частях модели (через одну – для экономии металла). Если при получении толстостенных отливок в желобе 16 медленно затвердевает верхняя корка металла, то применяют известные средства для ускорения затвердевания поверхности металла в желобе 16 либо предупреждения его вытекания за пределы желоба. Для непрерывного литья отливки 24 типа решетки ее составляют (склеивают) из частей 25 либо более крупными блоками, наращивая по мере движения ленты 1 кристаллизатора не только в продольном направлении (как модель 19), но и сочетая последнее с поперечным (перпендикулярным движению) направлением.

Специалисты ФТИМС НАНУ имеют серьезный опыт проектирования и изготовления литейных роторно-конвейерных линий, в которых совмещением транспортных и технологических операций достигается повышение производительности производства при сокращении его трудоемкости. Однако для проектирования формовочно-заливочного модуля с контейнерными опоками 600-700 скорее подходит карусельно-тележечный принцип перемещения в цепи последовательного выполнения операций, аналогичный роторному.

При изготовлении мелких отливок способом ЛГМ модели собирают в кусты, типичный вид которых показан на рис. 3, а, в. Затем эти кусты формуют не по одному в контейнерной опоке, а по несколько (до десяти и более), чем экономят трудозатраты на формовке и транспортных операциях. Каждый куст заливают через отдельную воронку (рис. 3, в). При этом можно представить, что, мысленно выстроив встык формы с длинным рядом воронок, мы получим нечто подобное конвейеру, показанному на рис. 1, в том случае, если такие кусты формовать вдоль его движения, что можно назвать непрерывной формовкой. Аналогичный принцип множественности приемлем и для карусельных устройств ЛГМ.

Однако на рис. 4 показан карусельный модуль, каждую форму которого заливают по одному металлопроводу, подведенному снизу, поскольку в целях автоматизации



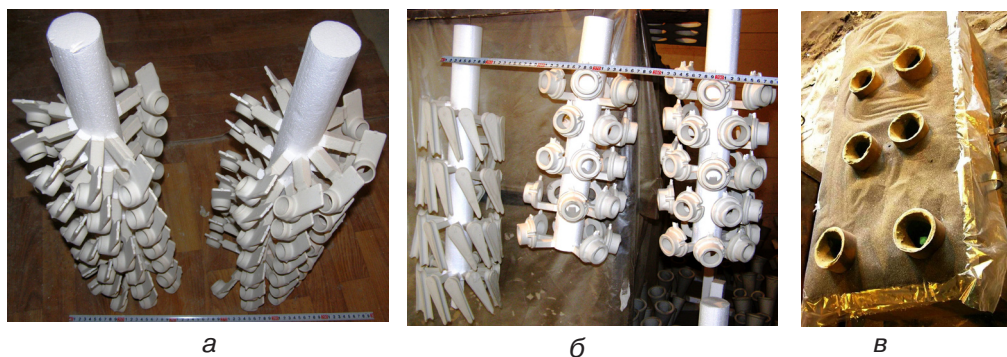


Рис. 3. Кусты моделей (а, б) и литейная форма (в) при виде сверху, содержащая 6 модельных кустов

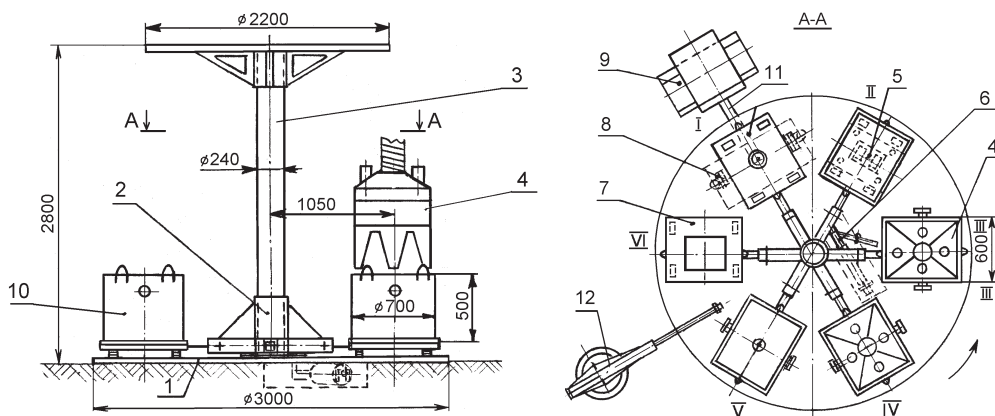


Рис. 4. Карусельный формовочно-заливочный модуль\*

процесса этот модуль оснащен магнито-динамическим насосом (МДН) для заливки форм под давлением, создаваемым МДН. Карусельный формовочно-заливочный модуль (рис. 4) устроен таким образом, что по настилу 1 движется карусель 2, которая состоит из стойки 3, опирающейся на настил через шаровые пары. Стойка имеет шесть рычагов (спиц). Пошаговое перемещение на  $60^\circ$  карусели с тележками 7, имеющими по четыре катка, по настилу осуществляют пневмоприводом 6, который имеет пневмоцилиндр с закрепленным на штоке упорно-возвратным механизмом. Контейнерные формы 10 устанавливаются на тележки, имеющие центрирующие элементы. Загрузочное устройство 4 (для подачи песка в контейнер) закреплено на стойке и обладает подвижностью в вертикальном и горизонтальном направлениях. МДН 9 для стыковки снизу к заливочному отверстию формы (чашей жидкого металла) имеет в конце металлопровода привод 11, который стыкует его с нижним отверстием контейнерной формы. Вакуумное откидное устройство 8 модуля подключается к штуцерам вакуумирования (откачки) формы. Виброплощадка 5 имеет привод для подъема и стыковки с дном контейнера. Съем залитых контейнеров и установка пустых на тележки осуществляется консольным краном 12.

Конструкция модуля обеспечивает автоматизацию заливки металлом формы без контакта струи металла с открытым воздухом. При этом контейнерная форма 10 состоит из уплотненного и загерметизированного сверху синтетической пленкой формовочного песка с пенопластовой моделью и нижней литейной чашей. Заливку металлом формы 10 выполняют на поз. I. Форму снизу подсоединяют к металлопро-

\* В разработке технологии литья и конструкции модуля принимали участие В. М. Фиксен и А. В. Семашко

воду МДН 9, а также одновременно – к вакуумной системе 8 модуля. Подачу жидкого металла в форму осуществляют с поста управления МДН. После окончания заливки подвижный элемент вакуумной системы отключают от контейнерной формы и перемещают вверх при помощи пневмоприводов. На поз. VI залитую форму снимают с тележки карусельного модуля при помощи консольного крана 12 и передают ее на площадку вблизи карусели для охлаждения и последующей выбивки.

Изготовление формы начинают с того, что пустой контейнер подают на тележку, поз. V. Контейнер с центровочными отверстиями опускают на центровочные штыри тележки. 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, 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 осуществляют установку модели (кустов моделей) на песчаную подушку и производят частичную засыпку песка. На поз. II производят досыпку, виброуплотнение и герметизацию контейнера. Длительность цикла работы карусельного модуля определяется по продолжительности технологических операций на поз. II, как наиболее трудоемких, и находится в пределах 4-7 мин.

Такой карусельный модуль позволяет производить отливки способом ЛГМ с нижним подводом металла под давлением [9], а также литьем в оболочковые формы. Для получения формы со связанной оболочкой вокруг рабочей полости и несвязанным сыпучим наполнителем вокруг оболочки разработан способ получения таких форм по ледяным моделям с выполнением коллектора для нижнего подвода металла к форме (заявка на изобретение UA № а200909850 от 28.09.2009). Этот способ предназначен для изготовления моделей на конвейере с удалением расплава модели вниз, что удобно совместить с рассмотренным карусельным модулем без кантования формы, выполняя на нем операции подсушки рабочей поверхности оболочки перед заливкой металла. Вентиляционный канал по способу [9, 10], соединяющий литейную полость формы с датчиком давления газов в этой полости, позволяет также регулировать давление подаваемого металла в оптимальном режиме и дает все основания для конвейерного производства отливок (способами ЛГМ или по ледяным моделям) стабильно высокого качества.

Описанные конструкции конвейерных устройств служат примерами реализации ранее не раскрытых инновационных возможностей литья в вакуумируемую форму. В первом примере путем регулирования текучести-прочности песка в основном удалением-приближением его к вакуум-фильтрам действуют по принципу «металл текучий – песок твердый» и, наоборот, с возможностью выполнения формовки в непрерывном режиме. Во втором – путем заливки формы снизу при помощи МДН с одновременным воздействием на металл отливки давлением со стороны насоса и вакуума со стороны формы действуют по принципу «насос давит на металл – форма впитывает газы», попутно впитывая газы газифицируемой модели и выполняя некоторое прессование металла в регулируемом режиме.



### Список литературы

1. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. – М.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
2. Барский В. Т. Производство литых заготовок методом вакуумно-пленочной формовки. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1985. – 42 с.
3. Дорошенко В. С., Шейко Н. И. Примеры способов непрерывной вакуумной формовки // Литейн. пр-во. – 1994. – № 4. – С. 25-26.

4. Doroshenko V. S., Sheiko N. I. New V-Process Technology Produces Bar, Strip and Shaped Casting on a Continuous Basis // Foundry International. – 1993. – № 3. – P. 224-225, 232.
5. Пат. 2015794 России, МКИ В22С 9/02/. Установка для непрерывного литья / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. – Оpubл. 15.07.1994, Бюл. № 13.
6. Пат. 2070469 России, МКИ В22С 9/02/. Установка для литья / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. – Оpubл. 12.20.1996, Бюл. № 35.
7. Пат. 2070470 России, МКИ В22С 9/02. Установка для литья / В. С. Дорошенко, Н. И. Шейко. – Оpubл. 12.20.1996., Бюл. № 35.
8. Минаев А. А., Хоткин Е. Б., Сазонов В. А. Вакуумная формовка. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
9. Пат. 93723 Украины, МПК8 В22D18/06, В22 С 9/02/. Спосіб лиття металу за одноразовими моделями в піщану форму під дією перепаду тиску / О.И. Шинский, В. С. Дорошенко. – Оpubл. 10.03.2011, Бюл. № 5.
10. Дорошенко В. С. Кравченко В. П. Постепенное обновление парадигмы в теории литейных процессов по теме взаимодействия металла с песчаной формой // Металл и литье Украины. – 2009. – № 10 – С. 28-33.

Поступила 11.02.2011

УДК 621.74.06

**Н. А. Слажнев**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

### **АДАПТАЦИЯ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МДН-6А-0,63-М ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ К СЕТЯМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ЧАСТОТОЙ 60 Гц\***

*Представлены теоретический и экспериментальный анализы методов адаптации электромагнитных систем магнитодинамической установки МДН-6А-0,63-М к условиям сетей электропитания с частотой 60 Гц. Приведены результаты экспериментальных исследований электрических характеристик работы адаптированных электромагнитных систем магнитодинамической установки и опытно-промышленной проверки модернизированной установки в промышленных условиях с сетями электропитания с частотой 60 Гц.*

**Ключевые слова:** магнитодинамическая установка, адаптация, напряжение, частота, индукция, мощность, индуктор, электромагнит, катушки, алюминиевый расплав.

*Подано теоретичний та експериментальний аналізи методів адаптації електромагнітних систем магнітодинамічної установки МДН-6А-0,63-М до умов мереж електроживлення з частотою 60 Гц. Наведено результати експериментальних досліджень електричних характеристик роботи адаптованих електромагнітних систем магнітодинамічної установки та дослідно-промислової перевірки модернізованої установки в промислових умовах із мережею електроживлення з частотою 60 Гц.*

**Ключові слова:** магнітодинамічна установка, адаптація, напруга, частота, індукція, потужність, індуктор, електромагніт, катушки, алюмінієвий розплав.

*The theoretical and experimental analysis of the electromagnetic systems of magnetodynamic installation MDN-6A-0.63-M to the terms of industrial power supply with frequency 60 Hertz*

\*Работа выполнена под руководством В. Н. Фикссена с участием А. О. Горшкова и С. В. Горюка