

---

# ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМЫ

УДК 621.74.045

**О. И. Шинский**, д-р техн. наук., зав. отделом, e-mail: alupt@ukr.net

**В. С. Дорошенко**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: doro55@gmail.com

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## ПРОЦЕССЫ ПЕСЧАНОЙ ФОРМОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАДИЕНТОВ ДАВЛЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РЕАГЕНТОВ В ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

*В статье описан ряд процессов песчаной формовки, которые включают операции и явления, обладающие некоторой направленностью и описываемые градиентами давления, температуры и концентрации. Эти процессы разработаны на основе опыта литья в формы преимущественно с физическим способом упрочнения, а также с использованием криотехнологии. Их можно условно назвать градиентной формовкой, поскольку в них путем физического воздействия создается прочность песчаной формовочной смеси или запускается механизм (создаются условия) образования прочности сыпучей смеси.*

**Ключевые слова:** градиент, давление, температура, концентрация, литье по газифицируемым моделям, литье по ледяным моделям, песчаная форма, криотехнология, сухая сыпучая смесь.

*У статті описано низку процесів піщаного формування, які включають операції і явища, що мають деяку спрямованість і описуються градієнтами тиску, температури і концентрації. Ці процеси розроблено на основі досвіду лиття в форми переважно з фізичним способом зміцнення, а також з використанням криотехнології. Їх можна умовно назвати градієнтним формуванням, оскільки в них шляхом фізичного впливу створюється міцність піщаної формувальної суміші або запускається механізм (створюються умови) утворення міцності сипкої суміші.*

**Ключові слова:** градієнт, тиск, температура, концентрація, лиття за моделями, що газифікуються, лиття за льодяними моделями, піщана форма, криотехнологія, суха сипка суміш.

*The review describes a number of sand forming processes that include operations and phenomena that have a certain direction and are described using gradients of pressure, temperature and concentration. These processes are developed on the basis of the experience of casting in molds, mainly with a physical method of hardening, and also with the use of cryotechnology. They can be conditionally called gradient molding, because of the physical action to the strength of the sand molding mixture or starting the mechanism (conditions are created) for the formation of the strength of the free-flowing mixture.*

**Keywords:** gradient, pressure, temperature, concentration, Lost Foam Casting, casting on ice, sand mold, cryotechnology, dry loose mixture.

**Т**ермин «градиент» впервые появился в метеорологии, в математику был введен Максвеллом в 1873 г., и в применении для технических дисциплин означает изменение значения некоторой величины на единицу расстояния в заданном на-

правлении. Например, градиент концентрации – нарастание или уменьшение по какому-либо направлению концентрации растворенного вещества, градиент температуры – изменение по какому-то направлению температуры среды, градиент давления – изменение давления, отнесенное к единице длины.

Многим литейным и, в частности, формовочным технологиям свойственно применение целенаправленно заданных [1] или имманентно присущих характеристик процессов и явлений, обладающих некоторой направленностью. В технологии литейной песчаной формы такую направленность можно характеризовать градиентами давления, температуры и концентрации [2], которые создают, прежде всего, важнейшее свойство песчаной формы – прочность песчаной формовочной смеси или создают условия (запускают механизм) образования прочности сыпучей песчаной смеси путем физического воздействия на нее. В настоящей статье предложен обзор формовочных процессов, основанных на создании и поддержании градиентных характеристик, как необходимом условии производственного использования этих процессов, и аналогичные принципы использования градиентов в операциях формовки можно применить для создания новых процессов.

Например, вакуумирование песка без связующего при вакуумно-пленочной формовке (ВПФ, V-process) и наиболее распространенном варианте литья по газифицируемым моделям (ЛГМ, Lost Foam Casting), применение замороженной формы, формовки по ледяным моделям и фильтрационной формовки характеризуются наличием одного или более градиентов из вышеуказанных при образовании прочности формы. В частности, формированию полей газового давления (разрежения), температуры и концентрации технологической примеси в песчаной среде формы (продуктов деструкции синтетической пленки при ВПФ или газифицируемой модели при ЛГМ) присуще сопротивление этой пористой среде распространению указанных полей. При этом происходит убывание этих физических (или технологических) величин по мере удаления от несущего их источника, будь он в толще или на поверхности формы. Такая мера изменения характеристики технологического материала при перемещении на единицу длины характеризуется градиентом, вектор которого, как правило, совпадает с направлением максимальной интенсивности изменения.

О важности регулирования такой меры свидетельствуют следующие примеры. Если градиент газового давления в поверхностном слое песка у полости формы при ВПФ или ЛГМ снизится до нуля, то песок начнет осыпаться, создавая дефект в отливке. Если при ЛГМ в верхней части формы градиент этот невысокий, то вакуум формы не успевает откачать продукты деструкции модели, что создает борозды на отливке, часто сопровождается повышением ее газонасыщения и пористостью. Если градиент слишком высок из-за высокого разрежения в форме, то это нередко вызывает механический пригар на поверхности отливки.

Обычно способ производства, состоящий из перечня операций, носит название по признаку, отличающему его от других способов. Рассмотрим ряд выполненных исследований, приведших к пониманию ключевой роли градиентов давления, температуры и концентрации в ряде способов формовки преимущественно с физическим упрочнением песчаной формы, группу которых можно назвать градиентной формовкой.

С учетом накопленных знаний в продолжительном цикле исследований в области теории и технологии песчаной формовки, в некотором роде исходной для авторов работой для мониторинга градиентных характеристик, стали исследования регулируемого теплоотвода в системе «отливка – форма» [3]. Схематически это показано в верхней части рис. 1. Эти исследования создали основу для разработки способов получения отливок с заданными структурой и свойствами путем управления интенсивностью теплоотвода в литейной форме [4]. В них рассмотрены составляющие



Рис. 1. Взаимосвязь исследований и разработок по технологии литейной формы с созданием градиентных характеристик в материале литейной формы, а также приведших к созданию новых способов формовки использованию новых материалов

теплого потока, модель фильтрационных явлений при пропускании газовых и жидкостных хладагентов, а также расплава ледяной модели сквозь поры формы. Наряду с использованием сыпучего песка в качестве среды конвективного теплообмена [3, 4], задействовали опыт охлаждения замороженной формы [5].

Формовка с использованием сыпучего песка известна замечательной особенностью – низкой трудоемкостью засыпки-уплотнения и регенерации песка. В частности, на позиции формовки линий ЛГМ обычно присутствует один рабочий, и при этом, кроме вибрации 1,5–2 мин, не используют других силовых воздействий. Применяют вибростол с оборудованием, аналогичным для линий переработки сыпучих стройматериалов. Отметим, что формовочные линии традиционных видов формовки песчаными смесями со связующим, оснащенные капиталоемкими машинами встряхивания или прессования, в странах СНГ практически не выпускаются, а закупается дорогое импортное оборудование. В свою очередь, применяемые в процессах формовки химически твердеющие смеси с неорганическими связующими, как правило, имеют низкие возможности для регенерации, а с органическими связующими – ухудшают экологию производства.

Простота формовки сыпучим песком с его многократным оборотом основана на том, что при засыпании в форму и виброуплотнении он подобен «псевдожидкости» вокруг модели. Вибрация формы снижает внутреннее трение и, благодаря силе тяжести, создает градиент давления в песке, укладывает песчинки с минимальным зазором соответственно их крупности и конфигурации, в результате повышая плотность и внутреннее трение покоя песка по сравнению с насыпным состоянием.

Технологические возможности вакуумируемой песчаной формы схематично изображены на рис. 2 в виде схемы формовочно-фильтровальных возможностей, как сочетания действия вакуума в песчаной среде с реализацией потенциала ее сыпучести. На схеме указаны возможность регулирования прочности песчаного изделия путем изменения характеристик градиентного поля газового разрежения в толще песка [6], использования формы в герметичном контейнере для создания в нем избыточного давления [7], а также прокачивания газа или жидкости сквозь

## Проблемы технологии формы

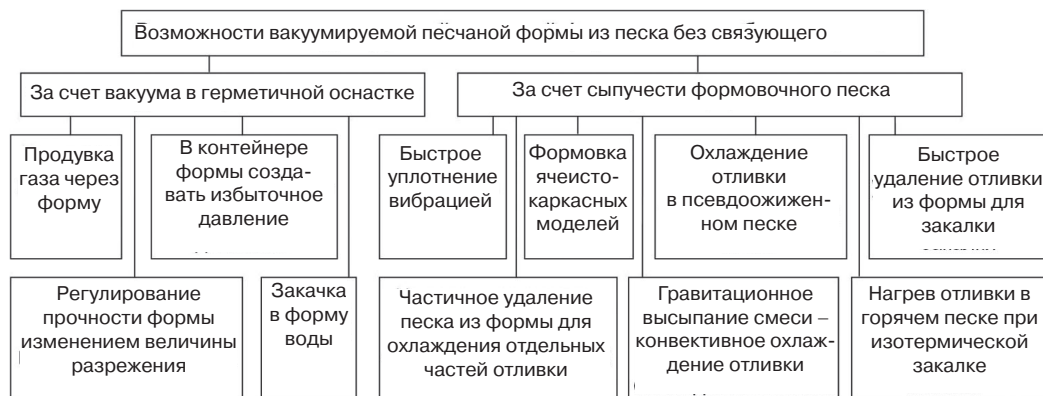


Рис. 2. Технологические возможности вакуумируемой песчаной формы как контейнера, содержащего сыпучую песчаную среду

поры песка – для ускорения охлаждения отливок [3, 4]. Подвижность зерен песка использовали для быстрой формовки сложнофасонных и каркасных моделей [8], а также охлаждения отливок в псевдооживленном слое [9] и быстрого извлечения горячей отливки из формы для ее термообработки.

В работе [10] описан пример изотермической заковки отливок из чугуна с шаровидным графитом путем извлечения отливок из сыпучего песка формы при температуре аустенитного состояния чугуна. Затем отливки заковывают, например, путем кратковременного окунания в воду или контактом с водо-воздушной смесью (аэрозолем) до заданной температуры. При этом в отливках могут получать мартенситную структуру либо помещать их обратно в форму с нагреваемым песком и изотермически выдерживать для получения аусферритной структуры (бескарбидного бейнита) чугуна. Такой литейный процесс со встроенной в него термообработкой путем изменения температурного градиента в среде вокруг отливки позволяет регулировать скорость ее охлаждения по программе этой обработки, минуя область перлитного превращения в железоуглеродистых сплавах, что показано на примере чугуна. Этот процесс [10] разработан для литейного цеха ЛГМ с использованием герметичных контейнерных опок и выглядит как вариант «двойной» формовки или «прерванного» остывания отливки в форме. Сначала формируют пенополистирольную модель, а затем аналогично формируют в нагретый песок отливку, перед этим извлеченную, для «ухода» от традиционной ферритной и перлитной структуры [11] к структуре с повышенными свойствами, причем длительность нового варианта охлаждения часто короче традиционного.

Стремление использовать выгодные свойства сыпучего песка привело к патентованию и исследованию новых сыпучих смесей не только из сухого песка, но и песка со связующим (преимущественно неорганическим) в виде сыпучих формовочных смесей (СФС). Эти смеси использовали для фильтрационной формовки по ледяным моделям [12], сочетая указанную сыпучесть смесей с операциями фильтрации их пористой сухой среды расплавом удаляемой из формы модели и отверждения оболочкового слоя смеси этим фильтрующимся расплавом [13]. Иллюстрации к теме литья по ледяным моделям представлены на рис. 3 в виде коллажа [14].

Для формовки по ледяным моделям применили сочетание следующих технологических решений или возможностей: 1) фильтрацию жидкости сквозь СФС, ведущую к отверждению этой смеси, 2) разовые модели из льда с 3) удалением таких моделей в толщу окружающей СФС и использованием 4) преимуществ сыпучести последней. Это позволило сформировать инновационные основы, на базе которых можно создавать новые многообещающие технологии, примеры которых иллюстрирует нижняя половина схемы на рис. 1.

Принцип фильтрационной формовки описан в работе [15] и в ряде вариантов показан в работе [13]. Он заключается в фильтрации жидким реагентом СФС, которая



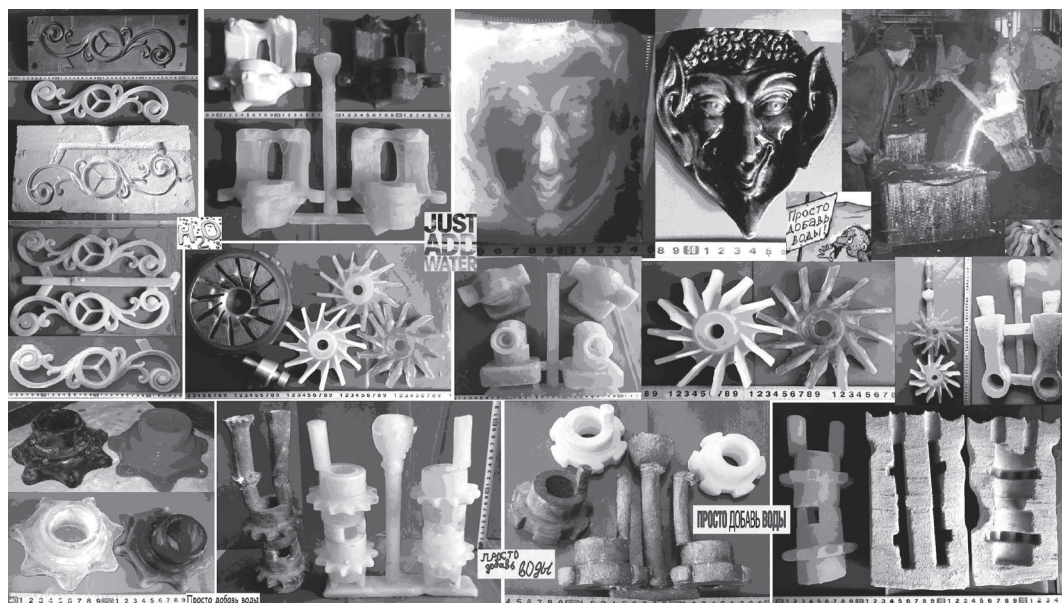


Рис. 3. Примеры моделей, форм и отливок из технологии литья по ледяным моделям [14]

содержит второй реагент, составляющий (вариант I) или иницирующий (вариант II) систему «связующее – отвердитель» связующей композиции, отверждающей слой СФС формы, в котором произошла химическая реакция этих реагентов. В варианте I реагенты связующей композиции содержатся: один – в модели, второй – в СФС, а в варианте II – оба содержатся в СФС в сухом виде и реагируют только при смачивании их фильтратом – расплавом ледяной модели [13]. Для плавления модели внутри песчаной формы использовали нагрев модели теплоносителями с различными теплофизическими свойствами, при применении которых возникает температурный градиент.

Фильтрацию осуществляли с применением давления на фильтрующуюся жидкость и (или) вакуумирования пористой песчаной среды формы при создании градиента давления в толще смеси формы, а также применяли наименее затратный способ – капиллярный транспорт [16, 17], связанный с градиентом капиллярного давления. Наглядный пример действия капиллярных сил можно наблюдать при раскапывании сухого песка на пляже у водоема до уровня влажного песка, в зависимости от размеров зерен песка вода поднимается на высоту 300–600 мм [18]. Прилегающие друг к другу песчинки образуют множество капилляров, и вода поднимается по стенкам капилляров за счет электрмолекулярных сил. Чем уже капилляры (мельче зерна песка), тем на большую высоту она поднимается.

Для описания потока влаги  $j$  в песчаной среде используется закон Фика:  $j = -D \text{grad} C$ , где коэффициент  $D$  имеет смысл суммарной массопроводности реального капиллярно-пористого материала,  $C$  – массосодержание рассматриваемого компонента (вода, лед, пар) в порах материала литейной формы [2, 13, 19]. Движущей силой влагопереноса расплава модели по этому закону является градиент влагосодержания. Обосновывая универсальность такого подхода, в этот закон вводят поправки на градиент температур (термодиффузия) и градиент избыточного давления, учитывающий молярный перенос.

Для формовки по ледяным моделям самопроизвольную капиллярную фильтрацию сквозь СФС обеспечить довольно просто, поскольку достаточно увлажнения на незначительную глубину (по сравнению с работой [15] при литье по воскообразной модели) для пропитки оболочкового слоя [20]. Практика отработки технологии показала увлажнение и отверждение песчаной оболочки (с кристаллогидратами) достаточной прочности толщиной 4–25 мм, в зависимости от массы ледяной модели. Чем

массивнее ледяная модель, тем больше масса ее расплава, фильтрация которого создает более толстую оболочку, а лимитирующей операцией по продолжительности является плавление модели в форме из СФС. При этом, чем тоньше оболочка требуется для литья, тем больше СФС без увлажнения переходит для повторного использования при получении следующей формы.

Для фильтрационной формовки по ледяным моделям использовали песчаные холоднотвердеющие смеси – ХТС (в сухом сыпучем состоянии) с порошковыми гидратационными вяжущими (такое название этих неорганических связующих принято в технологии строительных материалов), к классу которых относятся гипс, цемент и металлофосфаты. Упрочнение форм с гипсом и (или) цементом основано на гидратации при взаимодействии с водой (расплавом ледяной модели) их минералов с образованием кристаллогидратов, которые, срастаясь, создают связи (каркас) между песчинками СФС [21]. Формы, как правило, подсушивают, а также заливают металлом в вакуумируемой оснастке, обычно применяемой для ЛГМ [18].

Кристаллогидратные ХТС при тепловом воздействии металла отливки дегидратируются, теряя прочность [22], и способны вновь отверждаться при контакте их с водой. Такие положительные свойства и преимущества смеси, как сыпучесть и возможность уплотнения вибрацией, легкость регенерации, наличие неорганического связующего, изначально полученного обжигом минералов и отверждаемого при взаимодействии с водой, что способствует его невысокой стоимости и экологической безопасности, применили для создания новых сыпучих формовочных смесей (рис. 4). Кроме смесей для фильтрационной формовки по ледяным моделям [21], включая СФС из мелкодисперсных компонентов для порошковой краски, были разработаны СФС с зернистым сыпучим льдом [23] и для струйного смешивания СФС с водным аэрозолем при заполнении ими опочной оснастки [24]. Последний способ формовки позволил получать песчаные формы с дифференцированной прочностью при их послойном печатании [25]. Подвижность СФС с регулируемым уровнем вакуумирования позволила создать способ 3D-деформирования смеси при получении песчаного фасонного изделия [6].

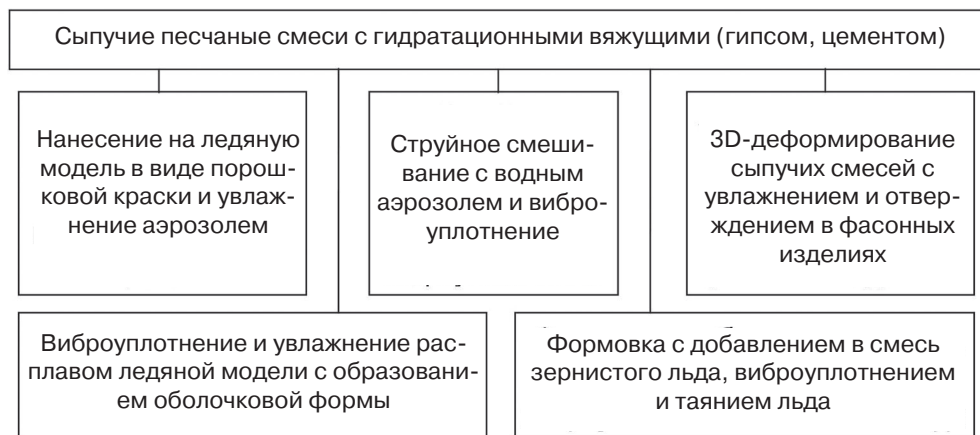


Рис. 4. Технологические возможности сыпучих смесей с гидратационными вяжущими

Таким образом, в статье описан ряд процессов песчаной формовки, которые включают операции и явления, обладающие некоторой направленностью и описываемые градиентами давления, температуры и концентрации. Эти процессы разработаны на основе опыта литья в формы преимущественно с физическим способом упрочнения, а также с использованием криотехнологии. Их можно условно назвать градиентной формовкой, поскольку в них путем физического воздействия создают

прочность песчаной формовочной смеси или запускается механизм (создаются условия) образования прочности сыпучей смеси.

Важность и необходимость повышения конкурентности технологий литья в песчаные формы [26] требует непрерывных инноваций в этой области на основе новых возможностей в связи с увеличением использования информации для повышения производительности производства («Индустрия 4,0» [27]), включая развитие 3D-технологий [6, 28]. В описанных примерах преимущество высокой текучести сыпучих легкорегенерируемых материалов реализовано за счет низкой трудоемкости формовки и простоте автоматизации заполнения ими оснастки с виброуплотнением. Одновременно сухая сыпучая смесь служит носителем реагентов связующей (твердеющей) композиции и является фильтруемым веществом (filterable substance) [13], отверждаемым на глубину фильтрации жидкости при химической реакции компонентов этой композиции.



### Список литературы

1. Дорошенко С. П., Шинский О. И., Дорошенко В. С. Трехединный подход к формированию направленных газового, усадочного и противоположно-прочностного режимов при литье в песчаную форму // Процессы литья. – 2007. – № 3. – С. 9–13.
2. Дорошенко В. С., Кравченко В. П. Взаимосвязанные процессы переноса в песчаной форме при литье по одноразовым моделям // Металл и литье Украины. – 2009. – № 9. – С. 15–18.
3. 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.
4. Дорошенко В. С. Регулирование охлаждения отливки в вакуумируемой форме фильтрацией хладагентов и движением частиц песка // Литейное производство. – 2013. – № 10. – С. 32–37.
5. Шинский О. И., Дорошенко В. С. Способы поддержания отрицательной температуры замороженной формы // Металл и литье Украины. – 2006. – № 9–10. – С. 33–35.
6. Дорошенко В. С. Трехмерная формовка из сыпучих материалов // Литейное производство. – 2013. – № 4. – С. 8–11.
7. Дорошенко В. С. Литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением // Литейное производство. – 2016. – № 1. – С. 25–28.
8. Дорошенко В. С. Способы получения каркасных и ячеистых литых материалов и деталей по газифицируемым моделям // Литейное производство. – 2008. – № 9. – С. 28–32.
9. Дорошенко В. С., Клименко С. И., Калужный П. Б. Интенсификация теплоотвода при охлаждении отливок в литейной форме с сыпучим наполнителем методом его псевдооживления // Металл и литье Украины. – 2016. – № 6. – С. 22–26.
10. Дорошенко В. С. О получении аусферритного чугуна из литого состояния при ЛГМ-процессе // Процессы литья. – 2017. – № 4. – С. 35–43.
11. Дорошенко В. С. Уйти от микроструктуры «бычий глаз» чугуна с шаровидным графитом изотермической закалкой с использованием ЛГМ // Литво. Металургія. 2017: Матеріали XIII Міжнарод. науково-практич. конференції (23–25.05.2016, м. Запоріжжя) / Під ред. Пономаренко О. І. – Запоріжжя: АА Тандем. – С. 44–46.
12. Дорошенко В. С. Криотехнология литья по ледяным моделям // Литейное производство. – 2013. – № 3. – С. 16–20.
13. Дорошенко В. С. Варианты твердения формовочных смесей при литье по ледяным моделям // Литейное производство. – 2016. – № 3. – С. 29–34.
14. Дорошенко В. С. Льодові моделі в ливарному виробництві металовиробів – технологія за методом «просто додай води» // Світогляд. – 2017. – № 1. – С. 52–59.
15. Фильтрационное формообразование гелеобразующих систем в точном литье / Л. Г. Знаменский, Б. А. Кулаков, В. К. Дубровин, С. В. Рожков // Литейное производство. – 1997. – № 4. – С. 34.
16. Doroshenko V. S., Myrzakov B. T. Materials collapsing after performing its functions, and

- spontaneous processes of foundry // *Central-Asian Materials Science Journal*. – 2016. – № 7. – pp. 33–38.
17. *Дорошенко В. С.* Интенсификация явлений проницаемости и пропитки в песчаной литейной форме // *Современные материалы и технологии в металлургии и машиностроении: Тез. докл.* – К., 2007. – С. 72–76.
  18. *Дорошенко В. С.* О системе мониторинга процесса литья по ледяным моделям // *Литейное производство*. – 2014. – № 5. – С. 11–16.
  19. *Дорошенко В. С., Кравченко В. П.* Создание математической модели пропитки поверхностного слоя песка связующим при получении оболочковых форм // *Процессы литья*. – 2008. – № 5. – С. 67–77.
  20. *Дорошенко В. С.* Самопроизвольные процессы, реализуемые в условиях градиентов термодинамических и физико-химических характеристик литейной формы // *Металл и литье Украины*. – 2016. – № 1. – С. 18–22.
  21. *Дорошенко В. С.* Получение по ледяным моделям оболочковых форм с кристаллогидратами // *Металл и литье Украины*. – 2011. – № 6. – С. 23–28.
  22. *Дорошенко В. С.* Материалы, разрушающиеся после выполнения своих функций в формовочных процессах // *Литейное производство*. – 2015. – № 9. – С. 15–17.
  23. *Дорошенко В. С., Шинский В. О.* Новые процессы песчаной формовки на основе взаимодействий различных дисперсных фаз // *Процессы литья*. – 2014. – № 4. – С. 49–56.
  24. *Дорошенко В. С.* Создание трехфазной дисперсной системы струйным смешиванием в процессах песчаного формообразования // *Металл и литье Украины* – 2015. – № 3. – С. 24–32.
  25. *Дорошенко В. С.* О послыном печатании песчаной формы с дифференцированной прочностью // *Литейное производство*. – 2015. – № 4. – С. 19–25.
  26. *Минаев А. А.* О конкурентности современных технологий литья в песчаные формы // *Литейное производство*. – 2007. – № 3. – С. 6–12.
  27. *Гнатуш В. А., Дорошенко В. С.* Перспективы развития рынка литья в контексте «Индустрия 4.0» // *Литье Украины*. – 2017. – № 6. – С. 18–21.
  28. *Дорошенко В. С.* Примеры 3D-технологии в литейном производстве. Снижение металлоемкости отливок // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 1. – С. 34–39.



## References

1. *Doroshenko, S. P., Shinskiy, O. I., Doroshenko, V. S.* (2007) Triedinyiy podhod k formirovaniyu napravlenykh gazovogo, usadochnogo i protivoprigranno-prochnostnogo rezhimov pri lite v peschanuyu formu [*The Triune Approach to the Formation of Directed Gas, Shrinkage, and Non-Stick-Strength Regimes during Sand Casting*]. *Protsessy litta*, no. 3, pp. 9–13. [in Russian].
2. *Doroshenko, V. S., Kravchenko, V. P.* (2009) Vzaimosvyazannyye protsessy perenosa v peschanoy forme pri lite po odnorazovym modelyam [*Interrelated transfer processes in sand form during casting using disposable patterns*]. *Metall i litie Ukrainy*, no. 9, pp. 15–18. [in Russian].
3. *Shinskiy, O. I., Doroshenko, V. S., Kravchenko, V. P.* (2009) Intensifikatsiya teploobmena otlivki s dispersnyim napolnitelem lityenoy formy pri primenenii hladagenta i vyinuzhdennoy konveksii [*Intensification of heat transfer of a casting with a disperse filler of a casting mold with the use of refrigerant and forced convection*]. *Protsessy litta*, no. 5, pp. 74–82. [in Russian].
4. *Doroshenko, V. S.* (2013) Regulirovanie ohlazhdeniya otlivki v vakuumiruemoy forme filtratsiey hladagentov i dvizheniem chastits peska [*Regulation of the cooling of the casting in the evacuated by filtration of the refrigerants and the movement of the sand particles*]. *Liteynoe proizvodstvo*, no. 10, pp. 32–37. [in Russian].
5. *Shinskiy, O. I., Doroshenko, V. S.* (2006) Sposoby podderzhaniya otritsatelnoy temperatury zamorozhennoy formy [*Methods of maintaining the negative temperature of the frozen mold*]. *Metall i litie Ukrainy*, no. 9–10, pp. 33–35. [in Russian].
6. *Doroshenko, V. S.* (2013) Trehmernaya formovka iz syupuchih materialov [*Three-dimensional molding from bulk materials*]. *Liteynoe proizvodstvo*, no. 4, pp. 8–11. [in Russian].



7. Doroshenko, V. S. (2016) Lite po gazifitsiruemyim modelyam s kristallizatsiey metalla pod davleniem [*Lost Foam Casting with crystallization of metal under pressure*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 1, pp. 25–28. [in Russian].
8. Doroshenko, V. S. (2008) Sposobyi polucheniya karkasnyh i yacheistyh lityih materialov i detaley po gazifitsiruemyim modelyam [*Methods of obtaining wireframe and cellular cast materials and parts for gasifying patterns*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 9, pp. 28–32. [in Russian].
9. Doroshenko, V. S., Klimenko, S. I., Kalyuzhnyi, P. B. (2016) Intensifikatsiya teplotovoda pri ohlazhdenii otlivok v lityenoy forme s syipuchim napolnitelem metodom ego psevdoozhizheniya [*Intensification of the heat sink for cooling castings in a mold with loose filler by the fluidization method*]. Metall i litie Ukrainy, no. 6, pp. 22–26. [in Russian].
10. Doroshenko, V. S. (2017) O poluchenii ausferritnogo chuguna iz litogo sostoyaniya pri LGM-protsesse [*On the reception of auxferritic cast iron from the cast state at the Lost Foam Casting process*]. Protsesty littia, no. 4, pp. 35–43. [in Russian].
11. Doroshenko, V. S. (2016) Uyti ot mikrostrukturyi «byichiy glaz» chuguna s sharovidnyim grafitom izotermicheskoy zakalkoy s ispolzovaniem LGM [*To escape from the microstructure of the «bullish eye» of cast iron with spherical graphite by isothermal quenching using Lost Foam Casting process*]. Lytvo. Metalurhiya. 2017: Materialy XIII Mizhnarod. naukovopraktych. konferentsiyi (23-25. 05.2016, m. Zaporizhzhya). Pid red. Ponomarenko O. I. Zaporizhzhya: AA Tandem, pp. 44–46. [in Russian].
12. Doroshenko, V. S. (2013) Kriotehnologiya litya po ledyanyim modelyam [*Cryotechnology of casting on ice patterns*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 3, pp. 16–20. [in Russian].
13. Doroshenko, V. S. (2016) Varianty tverdeniya formovochnyh smesey pri lite po ledyanyim modelyam [*Variants of hardening molding mixtures for casting on ice patterns*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 3, pp. 29–34. [in Russian].
14. Doroshenko, V. S. (2017) L'odovi modeli v lyvarnomu vyrobnytstvi metalovyrobiv - tekhnologiya za metodom «prosto doday vody» [*Ice patterns in the foundry of metal products - technology using the «just add water» method*]. Svitohlyad, no. 1, pp. 52–59. [in Ukrainian].
15. Znamenskiy, L. G., Kulakov, B. A., Dubrovin, V. K., Rozhkov, S. V. (1997) Filtratsionnoe formoobrazovanie geleobrazuyuschih sistem v tochnom lite [*Filtration Formation of Gel-Forming Systems in Fine Casting*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 4, pp. 34. [in Russian].
16. Doroshenko, V. S., Myrzakov, B. T. (2016) Materials collapsing after performing its functions, and spontaneous processes of foundry. Central-Asian Materials Science Journal, no. 7, pp. 33–38. [in English].
17. Doroshenko, V. S. (2007) Intensifikatsiya yavleniy pronitsaemosti i propitki v peschanoy lityenoy forme [*Intensification of the phenomena of permeability and impregnation in a sand casting mold*]. Sovremennyye materialy i tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii: Tez. dokl. K., pp. 72–76. [in Russian].
18. Doroshenko, V. S. (2014) O sisteme monitoringa protsesta litya po ledyanyim modelyam [*On the monitoring system of the casting process on ice patterns*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 5, pp. 11–16. [in Russian].
19. Doroshenko, V. S., Kravchenko, V. P. (2008) Sozdanie matematicheskoy modeli propitki poverhnostnogo sloya peska svyazuyuschim pri poluchenii obolochkovyih form [*Creating a mathematical model for impregnating the surface layer of sand with a binder in obtaining shell molds*]. Protsesty littia, no. 5, pp. 67–77. [in Russian].
20. Doroshenko, V. S. (2016) Samoproizvolnyie protsesty, realizuemyie v usloviyah gradientov termodinamicheskikh i fiziko-himicheskikh harakteristik lityenoy formy [*Spontaneous Processes Realized in Conditions of Gradients of Thermodynamic and Physico-Chemical Characteristics of the Foundry*]. Metall i litie Ukrainy, no. 1, pp. 18–22. [in Russian].
21. Doroshenko, V. S. (2011) Poluchenie po ledyanyim modelyam obolochkovyih form s kristallogidratami [*Receiving shell molds with crystalline hydrates according to ice patterns*]. Metall i litie Ukrainy, no. 6, pp. 23–28. [in Russian].
22. Doroshenko, V. S. (2015) Materialy, razrushayuschiesya posle vyipolneniya svoih funktsiy v formovochnyih protsessah [*Materials that collapse after performing their functions in molding processes*]. Liteynoe proizvodstvo, no. 9, pp. 15–17. [in Russian].
23. Doroshenko, V. S., Shinskiy, V. O. (2014) Novyye protsesty peschanoy formovki na osnove vzaimodeystviy razlichnyih dispersnyih faz [*New processes of sand molding on the basis of interactions of various disperse phases*]. Protsesty littia, no. 4, pp. 49–56. [in Russian].
24. Doroshenko, V. S. (2015) Sozdanie trehfaznoy dispersnoy sistemyi struynym smeshivaniem v protsessah peschanogo formoobrazovaniya [*The creation of a three-phase disperse system*

- by jet mixing in the processes of sand formation*]. Metall i litie Ukrainy, no. 3, pp. 24–32. [in Russian].
25. Doroshenko, V. S. (2015) O posloynom pechatanii peschanoy formy s differentsirovannoy prochnostyu [On layer-by-layer printing of sand mold with differentiated strength]. Liteynoe proizvodstvo, no. 4, pp. 19–25. [in Russian].
26. Minaev, A. A. (2007) O konkurentnosti sovremennykh tekhnologiy litya v peschanyie formy [On the competitiveness of modern casting technologies in sand molds]. Liteynoe proizvodstvo, no. 3, pp. 6–12. [in Russian].
27. Gnatush, V. A., Doroshenko, V. S. (2017) Perspektivy razvitiya ryinka litya v kontekste «Industriya 4.0» [Prospects for the development of the casting market in the context of «Industry 4.0»]. Litie Ukrainy, no. 6, pp. 18–21. [in Russian].
28. Doroshenko, V. S. (2016) Primery 3D-tehnologii v liteynom proizvodstve. Snizhenie metallo-emkosti otlivok [Examples of 3D technology in foundry. Decrease in metal capacity of castings]. Litie i metallurgiya, no. 1, pp. 34–39. [in Russian].

Поступила 24.07.2017

**К сведению читателей  
и подписчиков!  
Телефон редакции  
журнала "Процессы литья"  
(044) 424-04-10**