

В. С. Дорошенко, Е. В. Кравченко*

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем МОН и НАН Украины

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА ПРИ ВНУТРИФОРМЕННОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ И ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ОТЛИВОК ПРИ СНИЖЕНИИ ИХ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ

Выполнена модификация способа термического анализа металла при включении в него элементов технологии отбора – литья проб по газифицируемым моделям. Описаны возможности этого способа для контроля качества высокопрочного чугуна при внутриформенном модифицировании и оптимизации конструкций отливок при снижении их металлоёмкости.

Ключевые слова: термический анализ, высокопрочный чугун, внутриформенное модифицирование, контроль качества, металлоёмкость, оптимизация конструкции, экономия металла.

Виконано модифікацію способу термічного аналізу металу при включенні в нього елементів технології відбору – лиття проб по моделях, що газифікуються. Описано можливості цього способу для контролю якості високоміцного чавуну при внутрішньоформовому модифікуванні та оптимізації конструкцій виливків при зниженні їх металоємності.

Ключові слова: термічний аналіз, високоміцний чавун, внутрішньоформове модифікування, контроль якості, металоємність, оптимізація конструкції, економія металу.

It was done a modification method of thermal analysis of metal with including in it elements of selection technology or moulding samples by Lost Foam process. There are described method capabilities to quality control of high-strength cast-iron by in mold process and to optimize castings design while reduce its metal quantity.

Keywords: thermal analysis, high-strength cast-iron, in mold process, quality control, metal content, design optimization, quantity of metal.

В последние годы высокопрочный чугун (ВЧ) с шаровидным графитом по росту объёма производства и разнообразию сфер применения занимает лидирующие позиции среди других литых конструкционных материалов. В технологически развитых странах сокращается выпуск отливок из стали и серого чугуна, а выпуск отливок из ВЧ даже в период кризиса ежегодно увеличивается на 2-3 % [1].

На предприятиях Украины действуют устаревшие технологии получения ВЧ модифицированием в открытых ковшах магнийсодержащими лигатурами, которое сопровождается значительным выбросом вредных веществ в атмосферу (сгорает 65-75 % магния, вводимого в жидкий чугун). Такой процесс модифицирования характеризуется определённой нестабильностью, что приводит к эпизодической дефектности отливок по структуре. В тонкостенных отливках образуется структурно-свободный цементит (отбел), для графитизации которого применяют энергоёмкую термическую обработку (отжиг при температуре 920-950 °С в течение 6-10 ч) [2]. Научные разработки ФТИМС НАН Украины [1-3] свидетельствуют, что плавка на качественных шихтовых материалах с содержанием серы 0,015-0,020 % и применение эффективных экологических методов модифицирования Fe-C-Si расплава в предкристаллизационном периоде позволяют предотвратить образование структурно-свободного цементита, измельчить включения шарообразного графита, получить

преимущественно ферритную металлическую основу с повышением технологических, механических и эксплуатационных свойств литых изделий из ВЧ.

Эффективным путём экономии материальных, энергетических и других видов ресурсов при производстве отливок из ВЧ является применение модифицирования по внутриформенному процессу – в проточных реакторах, расположенных в литейной форме. Сближение во времени процессов модифицирования и кристаллизации стимулирует зарождение дополнительных центров кристаллизации (инокуляцию), обеспечивает более высокий уровень сфероидизации графитовых включений и эффективно предотвращает образование отбела в структуре тонкостенных отливок. При таком ходе кристаллизации в отливках формируется измельчённая структура с феррито-перлитной металлической основой. Модифицирование в предкристаллизационном периоде обеспечивает получение облегчённых тонкостенных отливок с толщиной стенок 2,5-10,0 мм без структурно-свободных карбидов с повышенным уровнем механических свойств и снижением расхода ферросилиций-магниевого лигатур в 2-3 раза в сравнении с традиционным модифицированием в ковше, при котором минимальной для получения без отбела считается стенка отливки толщиной 5 мм [2, 3]. Экономится также ферросилиций за счёт ликвидации операции вторичного модифицирования, на 100-120 °С снижается температура модифицирования и, следовательно, перегрев расплава в печи, что снижает расход электроэнергии.

Значительную экономию энергоресурсов обеспечивает ликвидация операции отжига отливок, обязательная для большинства технологий ковшового модифицирования. Уменьшаются капитальные затраты для цехов ВЧ, снижается потребность в площадях и оборудовании термического отделения, ковшах для модифицирования, вентиляционных системах для отсоса продуктов модифицирования. Устранение термообработки и других затрат энергии экономит 300-400 кВт·ч электроэнергии при производстве 1 т отливок [3]. Обработываемость резанием ВЧ, полученного внутриформенным процессом, находится на уровне чугуна с пластинчатым графитом. По сравнению с ковшовым модифицированием улучшается экологическое состояние окружающей среды, обусловленное отсутствием выбросов в атмосферу оксидов магния и других вредных веществ.

Однако подобные внутриформенному процессу высокие технологии нередко представляются литейщикам как усложняющие производство, связанные с изменением режимов технологических операций и конструкции литниковой системы. Вероятно, это одна из причин низкого уровня применения такого модифицирования в отечественных литейных цехах, хотя не менее 10 % ВЧ в мире производится внутриформенным-процессом [4]. При этом процессе литниковая система снабжена реакционной камерой, которая выполняет функцию индивидуального для каждой отливки (куста отливок) проточного химического реактора. Отсюда, если при ковшевом модифицировании, как правило, довольствуются пробой из ковша, то для уверенности на 100 % в качестве металла, прошедшего такой реактор, приходится брать пробы из каждой формы, что часто усложняет процесс литья и является одним из препятствий для расширения внутриформенного-процесса.

В работе [4] описано внутриформенное модифицирование для технологи литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). Задачей настоящей статьи является рассмотрение новой методики контроля качества ВЧ при инмолд-процессе, а также возможности такой методики для оптимизации конструкций отливок при снижении их металлоёмкости и получения преимущественно тонкостенного литья. При этом подчеркнём актуальность научно-практических задач литейного производства по уменьшению массы литых конструкций для изделий машиностроения, в первую очередь транспортных средств с учётом роста их эксплуатационного ресурса.

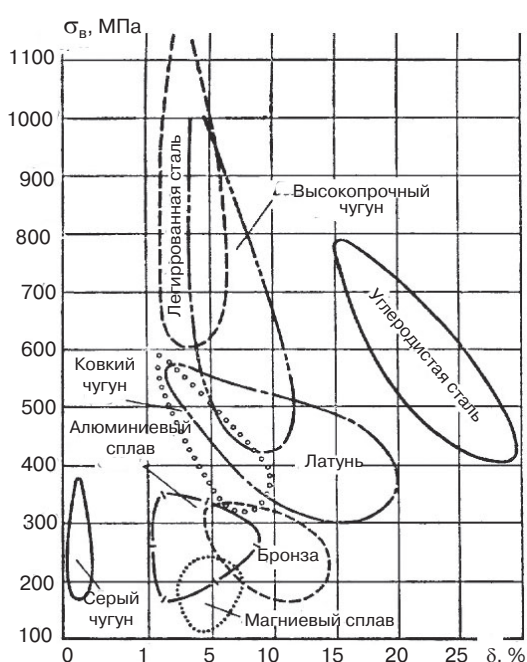
Такие исследования и разработки ведутся отделом физико-химии литейных процессов под руководством проф. О. И. Шинского по теме «Разработка научных и технологических основ по созданию литых конструкций из железуглеродистых и цветных сплавов, оптимальных процессов их получения и автоматизированных

Новые методы и прогрессивные технологии литья

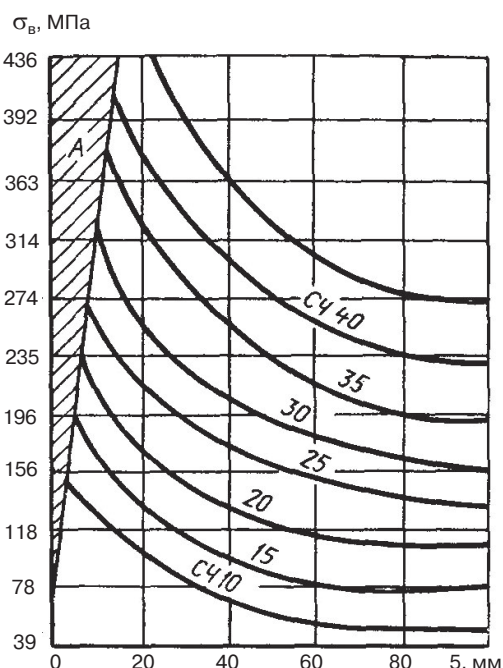
методов проектирования». Хотя известны рекомендации о выборе оптимальных свойств сплавов с учётом зависимости прочности, пластичности и необходимости стремления к минимальной толщине стенок отливок согласно графикам (см. рис.) [5, 6], эта проблема недостаточно подробно рассмотрена в ракурсе металлособережения при сочетании новейших процессов точного литья по разовым моделям с получением высокопрочных литейных сплавов.

Среди литейных сплавов зона, занимаемая ВЧ (рис. а), едва ли не наибольшая, что служит главной причиной расширения его применения при закономерно более низкой стоимости отливок против стального литья и для снижения металлоёмкости при сохранении прочности литой конструкции в сравнении с серым чугуном. На рисунке, в отражена возможность по твёрдости НВ оценивать (с некоторой точностью) другие механические свойства ВЧ [6, 7], например, по сечению стенки отливки, аналогично рис. б, где показана прочность серого чугуна в зависимости от толщины стенки отливки, получаемой в песчаной форме.

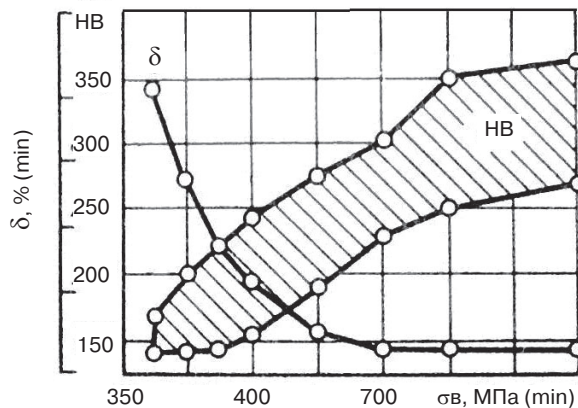
Многофакторная проблема металлособережения с учётом особенностей воз-



а



б



в

Механические свойства литейных сплавов: а – взаимозависимость прочности и пластичности сплавов; б – зависимость прочности серого чугуна от толщины стенки отливки, получаемой в песчаной форме (А – область отбела); в – взаимосвязь НВ и δ с σ_B для ВЧ

действия песчаной формы на структурообразование литой конструкции, а также новых способов литья рассматривается в работах [7-10]. В них показаны высокотехнологичные примеры следования современной инновационной тенденции металлосбережения, которая, как правило, сочетается с проблемой контроля качества отливок пониженной металлоемкости, легковесных и тонкостенных. По этой теме рассмотрим метод термического анализа (ТА), активно совершенствуемый учёными ФТИМС НАН Украины [11-13] для литейного производства и металлургии как технологию контроля качества металлов и сплавов на этапах выплавки, заливки литейных форм и кристаллизации отливки.

Нижеописанные разработки, в частности, предназначены для использования при производстве отливок в формах из сыпучего огнеупорного наполнителя, которые изготовлены вакуумной формовкой по газифицируемым моделям (ЛГМ-процесс) или при производстве отливок в песчаных формах других видов. Такой способ ТА рекомендован для контроля качества сплава при модифицировании его непосредственно в литейной форме, в том числе ВЧ, отливки из которого производят по внутриформенному процессу.

Из патентной информации известен способ определения легирующих примесных элементов и газов в сплавах с применением записи измерения температуры пробы в течение времени на установке ТА сплавов, включая отбор проб, которые изготавливают с помещёнными в них термодарами, и при их охлаждении записывают кривые «температура-время» для последующего анализа [11]. Примеры способа описаны для анализа алюминиевого сплава в тигле без указания о дальнейшем использовании сплава после проведения анализа их элементов. Подобный сплав может направляться для изготовления чушковой шихты для раскисления стали или для литья заготовок, а практическая реализация способа включает отбор проб при наличии ёмкостей для такого отбора проб, подачи в них металла, содержание их в нагретом состоянии при затвердевании в них металла при записи кривых, а также утилизацию проб. Эти операции связаны с некоторой трудоёмкостью, затратами времени и материалов, а также соблюдением безопасности работы с расплавом металла.

Одной из последних отечественных разработок является способ ТА жидкого чугуна, который включает получение термической кривой охлаждения образца сплава, в частности чугуна, подлежащего анализу, и кривых охлаждения референсных (справочных) образцов сплавов с заранее определёнными свойствами [13]. Одна из отличительных особенностей способа состоит в том, что для выполнения анализа отбор проб осуществляется с помощью стаканчика-пробоотборника погружения. Особенностью таких специально изготовленных пробоотборников, без которых невозможен анализ, является то, что они изготавливаются из высококачественных огнеупорных материалов, устойчивых к погружению в расплав металла или его заливки, без разрушения пробоотборников и инертных к взаимодействию с пробой. Пробоотборники используются по аналогии с калориметрами и подлежат изготовлению с высокой точностью для обеспечения одинаковых условий охлаждения образца сплава, подлежащего анализу, и многих референсных (справочных) образцов, что влияет на точность ТА. Погружение разовых керамических или песчаных пробоотборников в жидкий металл, или его заливки в их ёмкости, часто требует их предварительного нагрева и хранения в безопасной от влаги среде во избежание выделения газов при контакте с расплавом металла. Изготовление, подготовка к заполнению металлом пробоотборников, их заполнение расплавом металла, проведение измерений требует трудозатрат при работе с расплавом металла, предусматривает существенные меры безопасности во избежание ожогов и травм работника с квалификацией заливщика при заполнении вручную пробоотборников и непредвиденных случаев утечки или выплеска из них расплава металла.

Применение металлического теплоизолированного пробоотборника, согласно способу [13], требует специальных сплавов (достаточной прочности при погружении в расплав чугуна) для его изготовления и нанесения, и обновления огнеупорной

теплоизоляции. При этом материал формы отливки, в которую заливают металл после анализа, как правило, значительно отличается от материала пробоотборников, как и условия охлаждения проб от таких условий для металла отливки. В частности, среднюю твёрдость чугуна по Бринелю (НВ) по ГОСТ 1412-85 для образцов, полученных в металлическом пробоотборнике, рекомендовано соотносить с НВ отливки в металлическую форму. Но по статистике до 80 % отливок из металлов и сплавов получают в песчаные формы, поэтому согласно ГОСТ 24648-90 пробы для механических испытаний чугуна рекомендовано отливать в формы из кварцевого песка, и только для отливок, полученных в металлических формах, допускается отливать пробы в металлические формы.

Поскольку известные способы ТА металла [11, 13] практически никак не связаны с условиями кристаллизации отливки из анализируемого металла и лишь отвечают на вопросы о качестве металла в пробе, находящейся в пробоотборнике, при том, что часто условия кристаллизации металла в отливке совсем иные, чем в пробоотборнике, то очевидна обоснованность регламентации ГОСТ 24648-90, что пробы, в частности для чугуна, следует отливать в той же форме, в которой получают отливку.

Также способ контроля качества металла отливки методом ТА при модифицировании металла непосредственно в литейной форме, в том числе ВЧ, отливки из которого производят согласно внутриформенному процессу, вообще не разработан, что потребовало решения проблемы отбора для такого анализа образца жидкого металла, модифицированного в реакционной камере внутри литейной формы. Причём такое модифицирование (с целью сфероидизации графита) выполняется во время заливки металлом форм при производстве отливок различного назначения. Отсутствие метода контроля жидкого и твердеющего металла по результатам приобретения его заданного качества внутри формы служит дополнительным препятствием для распространения высокотехнологичного способа литья ВЧ по внутриформенному процессу и вообще затрудняет контроль любого металла или сплава, проходящего обработку в литейной форме.

Отсюда, разработка нового способа ТА металлов и сплавов преследовала цель снижения трудоёмкости, повышения экспрессности и безопасности ТА, а также создания условий для ТА металлов и сплавов, проходящих обработку в литейной форме при заливке её металлом или сплавом в процессе изготовления отливок.

Решение этой задачи осуществили так, что в способе ТА, включающем операции отбора проб жидкого металла или сплава, получение термической кривой охлаждения анализируемого образца и сравнение ее с кривыми охлаждения референсных (справочных) образцов сплавов с заранее определёнными свойствами, отбор пробы выполняли путем замещения жидким металлом или сплавом модели пробы, изготовленной из газифицируемого материала. Эту модель пробы формовали в тот же песчаный наполнитель, из которого изготовлена форма для получения отливки из анализируемого металла или сплава, причём модель пробы формовали в одну опочную оснастку с формой для получения отливки или в разные опочные оснастки. Кроме того, замещение жидким металлом или сплавом модели пробы, заформованной в одну опочную оснастку с формой для получения отливки, как правило, выполняли одновременно с заливкой формы для получения отливки, а отбор пробы выполняли путём приливания её к отливке или ее литниковой системе. Также песчаный наполнитель, в который заформована модель пробы во время отбора и ТА металла или сплава могут вакуумировать.

Новизна решения вопроса, как и с помощью чего выполнять отбор пробы и удерживать её (без чего невозможно выполнение ТА), состояла в том, что роль пробоотборника выполняла песчаная форма, в которую формовали модель пробы по технологии ЛГМ, в частности из газифицируемого материала – пенополистирола (ППС). Эта песчаная форма может изготавливаться отдельно (в отдельной опоч-

ной оснастке), или (наиболее целесообразный вариант) заодно (в одной опочной оснастке) с песчаной формой для изготовления отливки, для которого выплавляли металл и производили ТА. Опочной оснасткой могут быть рамочные опоки, контейнер, жакет, в которых изготавливают песчаную форму.

Изготовленная в отдельной опочной оснастке песчаная форма – пробоотборник служила той же задаче, которой достигают известные способы [11, 13]: ТА металла и сплава для различных целей. А при формовке разовой модели пробы в одной опочной оснастке с песчаной формой для получения отливки пробоотборник не является отдельным объектом от этой формы, потому что его функцию выполняет лишь небольшая часть формы вокруг модели пробы. При этом термопару помещают не в полость пробоотборника (как по [11, 13]), а в тело разовой модели, изготовленной из пенополистирола (ППС) (с плотностью 20-25 кг/м³) или других газонаполненных полимеров, как правило, углеводородов, по технологии ЛГМ (в англоязычной терминологии – «Lost Foam Casting Process»).

При этом наибольшая выгода по снижению трудоёмкости, повышению экспрессности и безопасности ТА металлов и сплавов достигается при ЛГМ, либо при внутрiformенном модифицировании, а также при совмещении этих двух процессов как ресурсоэффективного сочетания точного способа литья с производством отливок из высокопрочных сплавов высокотехнологичными способами. Для ЛГМ-процесса выгодно применение вакуумированных песчаных форм, в которых отбор проб уменьшает до минимума всплески металла по причине избыточного образования газов от газификации модели, поскольку газы всасываются через песчаный наполнитель вакуумированной литейной формы. Применение для изготовления пробоотборников песчаной смеси без связующего, традиционной для ЛГМ, как одного из наиболее ресурсосберегающего литейного процесса, исключает специальные трудозатраты и дорогостоящие материалы (как правило, импортные), характерные для изготовления песчаных пробоотборников-ёмкостей по известным способам ТА металлов и сплавов, в том числе на основе железа, с их высокой температурой в жидком состоянии (1400-1700 °С).

При изготовлении разовой модели пробы из ППС термопару помещали в пресс-форму, в которую задували гранулы ППС, спекали их по технологии, известной для ЛГМ, и получали модель пробы с вмонтированной в неё термопарой. В отличие от керамических или металлических пробоотборников металл заливается не в их полость, заполненную воздухом, а в полость, «упакованную» в заполненные воздухом шарики ППС, которые составляют монолитную модель пробы. Выпуклый цилиндр модели пробы значительно легче изготовить, чем огнеупорную негизотворную ёмкость-пробоотборник для выливания пробы. Кроме того, модель пробы также несложно изготовить методом вырезания из блочного ППС в частности вручную, на токарном станке или с применением инструмента с нагретой струной для резки ППС.

При отработке технологии модель изготавливали с небольшим питателем, который приклеивали к модели отливки из ППС или к модели его литниково-питающей системы в случае изготовления отливки по ЛГМ-процессу. Модель отливки с моделью пробы формовали в контейнерной форме в сухом оборотном кварцевом песке согласно известным операциям, обычно применяемым при ЛГМ. Свободные концы термопары удлинляли известными способами с использованием при необходимости компенсационных проводов, выходящих за пределы формы, которые подключали к известным устройствам и получали данные ТА по методике вычисления аналогично известным способам. В современных условиях развивается тенденция монтирования подобных устройств в составе современных компьютерных систем мониторинга литейных процессов.

Предложенной методикой отбора проб литьём металла или сплава с изготовлением пробы способом ЛГМ достигали снижения трудоёмкости, так как пробоотборник

(не являлся отдельным элементом) изготавливался по модели пробы из ППС без отдельных операций в одном процессе формовки модели отливки как прилив к стенке отливки или деталь его литниковой системы, выпора или питающей прибыли. При необходимости лёгкого отделения пробы от отливки этот прилив имел питатель с бороздкой пережима, по которой пробу отделяли, например, для дополнительных механических испытаний. Обычно практиковали прилив пробы к литниковой системе с утилизацией на повторный переплав вместе с ней.

Заливки металлом или сплавом с самопроизвольным отбором проб в одной форме с отливкой по одной модели из ППС, или по модельному кластеру, также проходили без трудозатрат и затрат времени (повышение экспресности). Отсутствовало традиционное для известных способов операции заливки, содержание на соответствующей огнеупорной и защищенной от утёчки металла опоре, заполненного расплавом пробоотборника до затвердевания пробы. Процессы ТА проходили самопроизвольно в одной форме с отливкой без необходимости соблюдения каких-то правил безопасности, присущих отдельной заливке из ковша пробоотборника или заполнения его путём погружения в расплав. При этом отсутствует окисление металла пробы кислородом воздуха при нахождении пробы в вакуумированной форме с восстановительной атмосферой в её полости, обусловленной газификацией ППС, а условия затвердевания пробы аналогичны такому для отливки в одной с ней песчаной форме. Постоянству заполнения объёма предложенных вариантов пробоотборника (точности пробы) способствует вакуум формы, увеличивая заполняемость металлом формы благодаря эффекту вакуумного всасывания металла.

Предложенный способ ТА решает проблему контроля внутриформенного процесса при вариантах формовки моделей проб из ППС практически в любых указанных технологом или контроллером местах, например, между реакционной камерой и отливкой, в зоне выпора или прибыли. К новизне предложенного решения также можно отнести возможность формовки более одной модели пробы и отбор ряда проб в одной операции заливки вместе с получением отливки в одной форме. Это применимо для исследования или усовершенствования процесса модифицирования при наличии более одной реакционной камеры, или анализа металла до и после такой камеры, или для отливок, имеющих различный состав металла в разных частях, или для контроля постоянства свойств металла в стенках отливок с крупными габаритами или разностенных и т. п. Формовать простую по конструкции модель пробы при стыковке к литниковым системам несложно для всех видов песчаных форм. Модель из ППС указанной плотности примерно в 300 раз легче, например, жидкого чугуна, который легко её замещает при заливке в песчаную форму.

Формовка модели пробы в различных опочных оснастках с формой для получения отливки рекомендована для предварительного анализа металла или сплава с возможностью коррекции его состава (дошихтовки) перед заливкой формы для получения отливки. Рассмотренные варианты ТА обеспечивают его гибкость, расширяя возможности его использования по сравнению с известными способами для оперативного прогнозирования технологических и эксплуатационных свойств (химического состава, структуры, литейных, физико-механических и других свойств) металла и сплава в производстве отливок различного назначения.

В настоящее время отделом Физико-химии литейных процессов ФХЛП под руководством проф. О. И. Шинского проводится анализ параметрических признаков конструкций отливок и процессов их получения для уменьшения металлоёмкости путём оптимизации литых конструкций и технологий формообразования при сопоставлении с базой данных высокопрочных материалов. Применение предложенной модификации ТА с многими пробами и в комплекте с многоканальной компьютерной системой анализа позволит исследовать кристаллизацию, твёрдость, прочность и другие эксплуатационные свойства отливки в любой точке, где устанавливается

разовая модель пробы и выполняется её отбор из жидкого металла. Анализом проб на разных стенках отливки можно реализовать механизм практической оптимизации, например, по критерию зависимости металлоёмкости-прочности отливок для выбора оптимальных вариантов их конструкции, оптимизации толщины их стенок при уточнении методики ТА для этих целей. Это позволит адаптировать компьютерные методы определения и прогнозирования эксплуатационных свойств базовых литых деталей, создать библиотеку данных для автоматизированных систем проектирования отливок с учётом технико-экономических показателей нового класса литых конструкций малой металлоёмкости.



Список литературы

1. Бубликов В. Б. Влияние качества шихтовых материалов на механические свойства высокопрочного чугуна // Литье. Metallургия. 2016: Материалы XII Международной научно-практической конференции (24-26.05.2016, г. Запорожье) / Под ред. Пономаренко О. И. – Запорожье, ЗТПП. – С. 48-49.
2. Бубликов В. Б. Вплив модифікування в передкристалізаційному періоді на структуроутворення тонкостінних виливків із високоміцного чавуну // Литье. Metallургия. 2016: Материалы XII Международной научно-практической конференции (24-26.05.2016, г. Запорожье) / Под ред. Пономаренко О. И. – Запорожье, ЗТПП. – С. 46-47.
3. Бубликов В. Б., Нестерук Е. П. Эффективность модифицирования чугуна в проточных реакторах литниковых систем // Литье. Metallургия. 2016: Материалы XII Международной научно-практической конференции (24-26.05.2016, г. Запорожье) / Под ред. Пономаренко О. И. – Запорожье, ЗТПП. – С. 50-51.
4. Дорошенко В. С. Формообразование реакционной камеры для внутриформенного модифицирования высокопрочного чугуна при ЛГМ-процессе // Процессы литья. – 2016. – № 2. – С. 52-58.
5. Коробко В. Н., Сычёв М. М., Гринёва С. И. Литьё в песчаные формы. – СПб.: ПБГТИ(ТУ), 2007. – 33 с.
6. Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
7. Дорошенко В. С. Предложения по металлосбережению при литье высокопрочного чугуна в песчаных формах // Металл и литье Украины – 2016. – № 2. – С. 28 -35.
8. Дорошенко В. С. Способы и примеры оптимизации конструкций тонкостенных технических и декоративных отливок // Металл и литье Украины – 2016. – № 3. – С. 28 -36.
9. Дорошенко В. С. Примеры 3D-технологии в литейном производстве. Снижение металлоёмкости отливок // Литье и металлургия. – 2016. – № 1. – С. 34 - 39.
10. Дорошенко В. С., Шинский В. О. Примеры расчетов технико-экономических показателей процессов литья по разовым моделям // Процессы литья – 2015. – № 6. – С. 35 - 47.
11. А. с. СССР №1636766, МПК G01N 33/20. Способ определения легирующих примесных элементов и газов в сплавах / Н. А. Абрамов, Б. А. Грешищев, В. А. Динерштейн, С. А. Козлов, М. Д. Молчанов, А. А. Смутьский. – Оpubл. бюл. №11, 1991.
12. Захарченко Э. В., Жуков Л. Д., Сиренко Е. А., Богдан А. В., Гончаров А. Л., Кравченко Е. В. Усовершенствование универсального метода термического экспресс-анализа жидких чугунов, основанного на распознавании формы кривых охлаждения // Процессы литья. – 2015. – № 2. – С. 3-9.
13. Патент України № 99968, МПК G01N 33/20, G01N 25/04. Спосіб термічного аналізу рідкого чавуну/Е. В. Захарченко, К. А. Сиренко, О. Л. Гончаров, О. В. Богдан. - Оpubл. бюл. № 12, 2015.



References

1. *Bublikov V. B.* (2016). Vlianiie kachestva shikhtovykh materialov na mekhanicheskie svoystva vysokoprochnogo chuguna [*Influence of the quality of the raw materials on the mechanical properties of ductile iron casting*]. Litie. Metallurgii: Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (24-26.05.2016, Zaporozhie), pp. 48-49. Ponomarenko O. I. (Ed.). Zaporozhie, ZTPP. [in Russian].
2. *Bublikov V. B.* (2016). Vplyv modyfikuvannya v peredkrystalizatsiynomu periodi na cstrukturoutvorennia tonkostinnykh vylyvkiv iz vysokomitsnogo chavunu [*Influence in the Before modification period on cstrukturoutvorennia walled castings of ductile iron casting*]. Lit'e. Metallurgii: Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (24-26.05.2016, Zaporozhie), pp. 46-47. Ponomarenko O. I. (Ed.). Zaporozhie, ZTPP. [in Russian].
3. *Bublikov V. B., Nesteruk E. P.* (2016). Effektivnost modifitsirovaniia chuguna v protochnikh reaktorakh litnikovyykh sistem [*Efficiency modification of cast iron in a flow reactor gating systems*]. Litie. Metallurgii: Materialy XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (24-26.05.2016, Zaporozhie), pp. 50-51. Ponomarenko O. I. (Ed.). Zaporozhie, ZTPP. [in Russian].
4. *Doroshenko V. S.* (2016). Formoobrazovaniie reaktsionnoi kamery dlia vnutfornennogo modifitsirovaniia vysokoprochnogo chuguna pri LGM-protseste [*Shaping the reaction chamber for mold inoculation of ductile iron with Lost Foam Process*]. Processy litta, № 2, pp. 52-58. [in Russian].
5. *Korobko V. N., Sychiov M. M., Griniova S. I.* (2007). Litio v peschanye formy [Casting in sand molds]. SPb.: PbGTI (TU). [in Russian].
6. *Ivanov V. N.* (1990). Slovar-spravochnik po liteinomu proizvodstvu [*Dictionary of foundry*]. Moscow: Mashinostroeniie. [in Russian].
7. *Doroshenko V. S.* (2016). Predlozheniia po metallosberezeniiu pri litie vysokoprochnogo chuguna v peschanykh formakh [-]. Metall i litie Ukrainy, № 2, pp. 28-35. [in Russian].
8. *Doroshenko V. S.* (2016). Sposoby i primery optimizatsii konstruktsii tonkostennykh tekhnicheskikh i dekorativnykh otlivok [*Methods and examples of design optimization of thin-walled castings of technical and decorative*]. Metall i litie Ukrainy, № 3, pp. 28-36. [in Russian].
9. *Doroshenko V. S.* (2016). Primery 3D-tehnologii v liteinom proizvodstve. Snizheniie metalloiemkosti otlivok [*Examples of 3D-technology in the foundry industry. Reduction of metal castings*]. Litie i metallurgii, № 1, pp. 34-39. [in Russian].
10. *Doroshenko V. S., Shinskii V. O.* (2015). Primery raschetov tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei protsessov lit'ia po razovym modeliam [*Sample calculations of technical and economic parameters of the casting process for the expendable pattern casting process*]. Processy litia, № 6, pp. 35-47. [in Russian].
11. A. s. USSR №1636766, MPK G01N 33/20. (1991). Sposob opredeleniia legiruiushchikh primesnykh elementov i gazov v splavakh [*A method for determining dopant impurity elements and gases in alloys*]. Abramov N. A., Greshishhev B. A., Dinershtein V. A., Kozlov S. A., Molchanov M. D., Smul'skii A. A. Publ. bull. № 11, [in Russian].
12. *Zakharchenko Ye. V., Zhukov L. D., Sirenko E. A., Bogdan A. V., Goncharov A. L., Kravchenko E. V.* (2015). Uovershenstvovaniie universalnogo metoda termicheskogo ekspresanaliza zhidkikh chugunov, osnovanogo na raspoznanii formy krivikh ohlazhdeniia [*Improving universal method of thermal rapid analysis of molten iron, on the basis of recognizing shapes of the curves of cooling*]. Protsesty litta, № 2, pp. 3-9. [in Russian].
13. Patent of Ukraine № 99968, MPK G01N 33/20, G01N 25/04. (2015). Sposib termichnoho analizu ridkoho chavunu [*Thermal analysis of liquid iron*]. Zakharchenko E. V., Sirenko K. A., Honcharov O. L., Bohdan O. V. Publ. bull. № 12. [in Ukrainian].

Поступила 13.06.2016