



*The influence of microalloying and modifying elements on structure and characteristics of pearlitic bearing cast irons with vermicular graphite was investigated.*

А. П. МЕЛЬНИКОВ, Д. М. ГОЛУБ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ»,  
В. М. КАРПЕНКО, Е. В. ФИЛИПЕНКО, ГГТУ им. П. О. Сухого

УДК 621.74:669.131.7

## ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ В ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХАХ

Литье металла в одноразовую песчано-глинистую форму является исторически наиболее древней технологией литья. На первый взгляд, в современном высокотехнологическом мире она должна была бы уступить место более современным подходам к формообразованию, но практика литейного дела в ведущих машиностроительных государствах свидетельствует о том, что эта технология широко используется в настоящее время и имеет хорошие перспективы в будущем.

Несмотря на тенденцию к распространению химически твердеющих смесей для изготовления форм, обеспечивающих повышение размерной точности и качества отливок, сырая песчано-бентонитовая форма и сегодня имеет широкую область применения. Технология вакуумно-пленочной формовки, осваиваемая в настоящее время литейщиками, имеет свои преимущества, но отличается очень высокой стоимостью необходимого оборудования и меньшей производительностью. Поэтому в массовом производстве деталей массой от первых килограммов до первых сотен килограммов и при производительности несколько сот форм за смену сырая песчано-бентонитовая форма еще долго будет оставаться конкурентоспособной.

За последние два десятилетия в Европе огромное внимание было уделено технологии производства отливок в сырых песчано-глинистых формах, что привело к значительному совершенствованию формовочного и смесеприготовительного оборудования, а также методов уплотнения формовочной смеси. В результате стало возможным и в песчано-глинистых формах производить отливки геометрически точные, сложной конфигурации, с тонкими стенками.

Также возросли и требования, предъявляемые к формовочной смеси, являющейся важнейшим компонентом технологического процесса. Еще бо-

лее актуальной стала необходимость регулировать ее свойства в соответствии с особенностями изготавливаемой номенклатуры отливок, а также обеспечить максимальную стабильность качественных показателей для эффективной работы автоматической формовочной линии.

В литейных цехах нестабильность состава и свойств смеси обуславливается следующими факторами:

- неточностью дозирующих устройств для введения свежих формовочных добавок;
- неудовлетворительным состоянием существующего смесеприготовительного оборудования, не обеспечивающего достаточную и постоянную эффективность перемешивания смеси;
- неудовлетворительным состоянием или отсутствием комплекса оборудования для подготовки отработанной смеси, изменяющихся в широких пределах, особенно при многономенклатурном производстве, состава и свойств отработанной смеси, ее температуры и влажности;
- отсутствием оптимального набора средств контроля формовочной смеси.

На работу смесеприготовительной системы оказывает влияние ряд отрицательных факторов под воздействием множества физико-химических явлений, происходящих со смесью в процессе ее кругооборота. Изменение состава и технологических свойств формовочной смеси вызывают интенсивное тепловое воздействие при заливке форм, попадание стержневой смеси при выбивке отливок, потери формовочной смеси от пригара и уноса пылевидных фракций при работе вытяжной вентиляции на технологических и транспортных операциях.

Отработанная смесь в результате многократного прохождения производственного цикла изменяет свое состояние и свойства. Зерна песка покрываются оолитизированной оболочкой, укрупняют-

ся, наращиваются активной глинистой оболочкой и т. д. В реальных условиях при многономенклатурном производстве отливок достичь идеальных значений параметров оборотной смеси сложно, поэтому уделяют основное внимание вопросам доведения до оптимальных ее температуры, влажности, гранулометрического состава, содержания инертной мелочи, пылевидной составляющей, активной глины и т. д.

Для этого применяют следующие операции по подготовке отработанной смеси: магнитную сепарацию для отделения каркасов, сплесков, скрапов и иных металлических включений, разбивку комьев смеси, отсеивание крупных стержневых остатков, охлаждение и предварительное увлажнение. К сожалению, в большинстве литейных цехов системы охлаждения и предварительного увлажнения отработанной смеси отсутствуют или вследствие неправильной эксплуатации не обеспечивают паспортных рабочих характеристик. Поступающие на формовку смеси имеют недопустимо высокую температуру и, как следствие, ряд недостатков: низкую эффективность агрегатов смесеприготовления; невозможность выдерживать требуемую относительную влажность (насыпную плотность, уплотняемость) из-за неконтролируемой потери влаги горячей смесью в процессе ее транспортирования к формовочным агрегатам; повышенную обсыхаемость смеси и осыпаемость кромок литейных форм, их размывы и, как следствие, дефекты отливок – засоры, приливы, нарушение конфигурации; забивание вентиляционных систем, в первую очередь над смесителями, из-за налипания глинистой пыли (бентонита) на образовавшемся в трубопроводах конденсате.

Из отработанной смеси с температурой  $> 50\text{--}55\text{ }^\circ\text{C}$  невозможно приготовить качественную смесь. В сухой горячей отработанной смеси бентонит находится в пылевидном состоянии и не обладает связующими свойствами. Для их проявления необходимо достаточно длительное его набухание в воде. Поскольку значительно увеличить время перемешивания смеси в смесителе при введении в него горячей сухой смеси практически невозможно, бентонитовая пленка покрывает поверхности песка неравномерно, количество контактов уменьшается, смесь не достигает необходимой прочности. Поэтому охлаждение и предварительное увлажнение и усреднение свойств смеси – одна из основных составляющих повышения качества и стабилизации свойств готовой формовочной смеси системы смесеподготовки.

Согласно принятым в современных смесеприготовительных системах требованиям, разница во

влажности между формовочной и отработанной смесью в смесителях должна быть  $< 1,0\text{--}1,5\%$ , а температура отработанной смеси не более чем на  $10\text{--}15\text{ }^\circ\text{C}$  выше температуры окружающей среды. Выполнить эти требования без использования специального оборудования – охладителей трудно. Рассмотрим некоторые способы решения данной проблемы.

По опыту АМО «ЗИЛ», наиболее эффективным решением может стать использование шнеколопастного смесителя в качестве охладителя. Шнековые охладители выполняют две функции: охлаждение; предварительное увлажнение и перемешивание отработанной смеси [1].

Следующий способ может быть осуществлен при наличии достаточно протяженных систем транспортировки отработанной смеси, наличия нескольких пересыпок, большого удаления сита (грохота) и элеватора от выбивки. Сущность этой технологии заключается в увлажнении и охлаждении смеси непосредственно на ленточном транспортере через разбрызгивающие сопла («брызгалла»), включающиеся от датчика наличия смеси на ленточном транспортере или через реле времени на выбитую форму. Трубопроводы для подачи воды с несколькими соплами устанавливают возможно ближе к выбивке, параллельно оси ленточного транспортера. Такая система позволяет при дальнейшем транспортировании, на пересылках, при вылеживании в бункерах над смесителями осуществлять усреднение, достаточно равномерное увлажнение и охлаждение отработанной смеси, а также предварительное набухание содержащегося в смеси бентонита [1].

Следующий способ снижения температуры отработанной смеси и повышения эффективности ее перемешивания – «перепуск» [2]. Суть метода – приготовление значительно большего количества готовой формовочной смеси, чем необходимо, для обеспечения потребности формовочных агрегатов. Избыточная часть готовой смеси перепускается по ленточному транспортеру над формовкой и передается на конвейер выбитой отработанной смеси. Она вместе с просыпями смешивается с отработанной смесью, увлажняет и охлаждает ее. Основной эффект перепуска – фактическое увеличение отношения «смесь/металл». Так, при изготовлении отливки с отношением «смесь/металл» = 7/1 температура отработанной смеси может достигать  $130\text{ }^\circ\text{C}$ . Если использовать перепуск и готовить смеси в 2 раза больше, фактическое отношение «смесь/металл» будет 14/1, а температура отработанной смеси после выбивки станет ниже – до  $90\text{ }^\circ\text{C}$ . Реально она может быть еще меньше за счет ин-

тенсификации испарения влаги при усреднении смеси на пересылках в процессе ее транспортирования конвейерами. При дополнительном использовании увлажнения смеси на ленточном транспортере можно получить готовую смесь с температурой  $< 40^\circ\text{C}$ .

Наконец, при наличии больших бункеров для отработанной смеси ее можно охладить естественным способом, в том числе с использованием дополнительного увлажнения на лентах сразу после выбивки. В этом варианте отработанная смесь дополнительно усредняется по составу, бентонит лучше набухает, что особенно важно при многоменклатурном производстве. Оптимальный объем бункеров при использовании увлажнения смеси на транспортной ленте – на 1 смену работы, без увлажнения – на 1 сутки хранения.

При введении в смесители предварительно увлажненной до 2,0–2,5% и хотя бы частично охлажденной и перемешанной смеси эффективность перемешивания существенно увеличивается, сокращается расход бентонита и других материалов.

Таким образом, охлаждение и предварительное увлажнение отработанной смеси – неотъемлемая, одна из основных составляющих повышения качества и стабилизации свойств готовой формовочной смеси. Эффект от реализации данных операций выразится в уменьшении расхода исходных формовочных материалов, затрат на обрубку и очистку отливок, сокращении брака.

Ввод свежих добавок необходим для компенсации потерь в смеси, возникающих в процессе производственного цикла. Для расчета освежения используются различные таблицы, номограммы, программы.

Стабильность состава и свойств формовочной смеси обеспечивается превентивным вводом требуемого количества освежения в зависимости от состава возвращаемой в смесители отработанной смеси. При использовании этого способа рассчитывают ожидаемые изменения состава и свойств готовой формовочной смеси в процессе ее оборота в зависимости от соотношения «смесь/металл», массы стержней в отливке и их остатков, попадающих в смесь при выбивке, размеров потерь смеси с отливками, интенсивности вентиляции и свойств используемых материалов.

Известны различные модели для расчета требуемого освежения формовочной смеси при изменении номенклатуры изготавливаемых отливок и параметров смесеприготовления.

На Московском автомобильном заводе им. И. А. Лихачева предложен способ управления составом формовочной смеси на основании ожи-

даемого его изменения в зависимости от соотношения «смесь/металл», массы стержней в отливке и их остатков, попадающих в смесь при выбивке, размеров потерь смеси с отливками, интенсивности вентиляции и свойств используемых материалов [3]. Требуемое освежение смеси любым компонентом, например бентонитом, складывается из следующих составляющих: 1) компенсации полной, необратимой потери связующей способности бентонита в составе смеси, прилегающей к отливке; 2) компенсации «ухода» бентонита с безвозвратными потерями отработанной смеси из системы. Недостатки этого способа – точно рассчитать значение коэффициента теплораспределения достаточно сложно; трудно определить суммарные потери смеси, так как они неодинаковы для различных отливок и зависят от их геометрии, используемого формовочного и смесеприготовительного оборудования, системы выбивки и свойств формовочной смеси, существенно повышаясь при увеличении в ней бентонита и влаги; не учитывается взаимное влияние компонентов. Так, на термостойкость бентонита оказывает влияние наличие в формовочной смеси органических добавок.

Х. Г. Левелинк предложил метод определения необходимого содержания основных компонентов смеси при различном соотношении «металл/смесь» с помощью диаграмм [4]. Диаграммы строятся для смесей с одинаковой прочностью, величина которой выбирается исходя из производственных требований. Недостаток способа в том, что не учитывается требуемое содержание в смеси активного бентонита; позволяет производить освежение только по бентониту и песку и не позволяет производить освежение по другим компонентам.

На АО «Литаформ» разработан метод освежения формовочных смесей на основе оптимизации переходных процессов [5]. В связи с большой инерционностью системы переход формовочной смеси из текущего состояния в технологически необходимое даже в узких границах технологического допуска не всегда можно осуществить в течение одного оборота. Для этого процесс корректировки состава смеси разбивается на два этапа. На первом этапе обеспечивается быстрый переход смеси к требуемому состоянию, принимая увеличенные промежуточные значения требуемого содержания общей глины и активной, и, следовательно, ускоренный режим освежения. На втором этапе стабилизируется состав формовочной смеси на достигнутом уровне, используя требуемый режим освежения. В данном способе можно выделить следующие недостатки: рассматривается только мето-

дика выхода в равновесное состояние и не учитывается ряд возмущающих факторов (потери смеси с отливками и общее удаление смеси из смесеприготовительной системы, в том числе вентиляции, взаимное влияние компонентов и др.); не описана методика выбора увеличенных промежуточных значений освежения для достижения требуемого состояния.

Научно-исследовательский институт автотракторных материалов разработал способ определения доз освежения оборотных формовочных смесей, преимущественно бентонитом и углеродсодержащими добавками, в котором вычисляют дозу освежения с учетом теплотехнических коэффициентов, полученных при моделировании термического воздействия на формовочную и стержневую смеси [6]. Способ определения доз освежения оборотных формовочных смесей включает в себя изготовление литейной формы-пробы со стержнем и ее заливку жидким расплавом. Далее осуществляется выявление в отработанной смеси невыгоревшей части компонентов смеси и вычисление дозы освежающих компонентов для восстановления состава оборотных формовочных смесей по формуле. Недостаток способа в том, что зависимость потерь активных компонентов от тепловых параметров выражается косвенно эмпирическими коэффициентами, поэтому полученные результаты пригодны только для изученных условий производства конкретных отливок.

Известен способ регулирования состава формовочной смеси, согласно которому контролируют расход шламовой смеси, выбрасываемой в единицу времени в отвал из регенерационных установок и изменяют расход добавок прямо пропорционально расходу шламовой смеси [7]. Дозирование этих компонентов в смесители производится пропорционально общей производительности смесеприготовительного отделения и с учетом времени технологического запаздывания оборотной смеси при ее транспортировке от выбивки до смесителя. Способ регулирования состава формовочной смеси требует предварительной подготовки, заключающейся в наборе банка данных о массе стержней в каждом типоразмере форм, доле кварцевой части в выбросах шламовой смеси для каждой из ступеней производительности регенерационных установок. Можно выделить следующие недостатки: тяжело рассчитать дозы компонентов в шламовой смеси; способ не учитывает уход формовочной смеси, пригоревшей к отливкам, унос пылевидных фракций при работе вытяжной вентиляции на технологических и транспортных операциях; не учитывает выгорание и разрушение компонентов под

воздействием высоких температур при заливке и остывании отливок.

На Нижнетагильском филиале УПИ предложен способ прогнозирования изменений свойств оборотной смеси, определяя коллоидальность связующего [8]. Для отливки моделируется распределение температурных полей, затем устанавливается распределение глинистого связующего по средней температуре прогрева. Далее определяется коллоидальность навесок свежей глины, прогретых до соответствующих температур. Полная потеря связующих свойств соответствует коллоидальности <10%, поэтому, определив при какой температуре коллоидальность опускается ниже допустимого уровня, делается заключение о количестве глины, потерявшей свои связующие свойства. Именно в таком количестве и необходимо производить освежение смеси. Недостаток описанного способа заключается в том, что он не учитывает того, что часть активного бентонита уходит со смесью, пригоревшей к отливкам, при выбивке, с вентиляцией; учитывает только количество бентонита, переходящего в неактивное состояние после заливки и не учитывает количество других добавок выгоревших или перешедших в неактивное состояние.

Полученные результаты анализа существующих методов превентивного регулирования состава формовочной смеси позволяют сделать следующие выводы. Большинство способов освежения и регулирования состава формовочной смеси базируются на эмпирическом подходе, в соответствии с которым рецептура смеси корректируется непосредственно в производственных условиях. Данный подход характеризуется большой трудоемкостью, значительным риском получения некачественной продукции в процессе разработки технических условий на формовочные смеси в производственных условиях, получаемые результаты пригодны только для конкретных изученных условий производства отливок.

Еще одна сложность метода – трудно определить момент, когда в смеситель поступит именно та отработанная смесь, для которой рассчитывали освежение. В современных смесеприготовительных системах предлагается решать эту проблему введением расчетного освежения в отработанную смесь непосредственно после выбивки, когда легко можно рассчитать ее состав.

В настоящее время имеется опыт введения свежих добавок на стадии подготовки отработанной смеси, что способствует лучшему усвоению компонентов и сокращению времени приготовления смеси при окончательном смешивании [9]. Раз-

работаны охладители с возможностью введения бентонита на стадии усреднения состава и свойств смеси, в результате чего энергетически разгружают основной смесительный агрегат с изменением его функций в сторону быстрого приготовления формовочной смеси с необходимыми параметрами аэрации, формуемости, текучести, уплотняемости и сырой прочности. Процесс освежения смеси, восполнения потерь компонентов практически переносится на стадию подготовки отработанной смеси.

Следовательно, ввод свежих добавок в смесь после выбивки позволяет компенсировать возмущения в том месте, где они возникают. Кроме того, при данном способе добавки в процессе длительной совместной транспортировки, пересыпок и предварительного смешивания хорошо активизируются, что повышает коэффициент их использования и позволяет сократить расход.

При введении всего рассчитанного освежения непосредственно в смеситель задача его адресования сложнее. При более-менее стабильной работе конвейера – отсутствии длительных простоев по организационным и технологическим причинам рекомендуется использовать, например, такой прием [3]: сначала опытным путем определяют среднее время, в течение которого отработанная смесь проходит по транспортерам от выбивной решетки до бункера и далее до начала поступления в смеситель. Затем рассчитывают среднее время нахождения одной опоки на конвейере при ее движении от формовочных машин до выбивки, что зависит от скорости движения конвейера. Сумма этих двух временных отрезков и составит период, после которого следует изменять освежение перестановкой дозаторов.

Технологические свойства формовочных смесей зависят от равномерности распределения воды, глины, связующих материалов, специальных добавок по объему смеси, а также от того, насколько равномерно покрыты зерна песка оболочкой связующего. Чем равномернее распределены составляющие в смеси по ее объему, чем более однородна оболочка, связывающая зерна песка, тем более высокими и однородными технологическими свойствами будет обладать смесь. Равномерность распределения составляющих смеси и создание оболочек связующего вокруг зерен песка достигаются в процессе смешивания – одной из основных операций технологического процесса приготовления.

Все разнообразие известных и применяемых в той или иной мере смесителей можно классифицировать по виду воздействия рабочего органа на частицы перемешиваемого материала. Однако

большинство существующих смесителей имеет недостатки. Некоторые из них не дают нужной степени однородности, другие экономически невыгодны из-за низкого КПД или быстрого абразивного износа трущихся частей (лопастей, обечайки, катков и т. д.) смесителя.

Сегодня практически во многих цехах Беларуси основным смесеприготовительным агрегатом являются катковые бегуны. Проведенные специалистами ОАО «БЕЛНИИЛИТ» исследования показывают, что применительно к песчано-глинистым смесям наиболее эффективными являются вихревые смесители, которые завоевывают все большую популярность и распространение [10].

Механизм перемешивания в бегунах заключается в перетирании и «намазывании» связующего на зерна наполнителя. Энергия, необходимая для распределения связующего в объеме смеси и по поверхности зерен, в этом случае является результатом работы, в первую очередь, статических сил. Отсюда высокая относительная энергоемкость и, как следствие, невысокая эффективность процесса [11]. Недостаточно эффективное перемешивание смеси приводит к перерасходу или нерациональному расходованию формовочных материалов и ухудшению качества формовочной смеси – увеличенная влажность, осыпаемость, склонность к эрозии, взрывному пригару, ужиминам. В этих условиях использование даже самых высококачественных формовочных материалов не оправдывает себя, так как оборудование не позволяет приготовить из них формовочную смесь требуемого качества и стабильности. Одним из отрицательных факторов, присущих катковым смесителям, является разрушение зерен наполнителя, что соответственно приводит к повышению запыленности и ухудшению газопроницаемости и формуемости смеси.

Вихревое смешивание отличается высокими линейными и вращательными скоростями движения частиц наполнителя. Распределение связующего в объеме смеси и по поверхности зерен наполнителя происходит под воздействием высоких динамических энергий. Интенсивное разнонаправленное поступательно-вращательное движение всей смеси, ее микрообъемов и каждой отдельной частицы обеспечивает получение высококачественной смеси, отличающейся высокой степенью гомогенности и безупречным покрытием каждого зерна. Высокие скорости движения зерен и непрерывное соударение частиц приводят к так называемой механической активации связующего комплекса, обеспечивая, тем самым, повышение прочностных характеристик смеси [11]. Вихревой

смеситель по сравнению с катковым обладает более высокой производительностью при меньшем удельном энергопотреблении. Смесь, приготовленная в вихревых смесителях, имеет лучшие физико-механические характеристики.

Автоматизация системы управления и контроля процесса приготовления позволяет работать в режиме предупреждения возможности отклонений состава смеси и ее параметров. Визуализация процессов подготовки смеси и ее приготовления делает видимыми уровни наполнения систем и бункеров, результаты измерений на технологических этапах, степень загрузки оборудования, параметры и результаты анализов за определенный период, тенденции развития и прогнозы на ближайшее будущее.

Во многих существующих системах регулирование свойств смеси производится одним, двумя или несколькими технологическими и физико-механическими параметрами (уплотняемость, формуемость, прочность на сжатие, срез и др.), остальные показатели лишь контролируются (температура, влажность и др.).

Существующие методы автоматизированного контроля и управления смесеприготовлением можно разделить на две большие группы: методы, в которых управление осуществляется по входным параметрам и методы, в которых управление осуществляется по выходным параметрам. В свою очередь вторую группу методов классифицируют по двум основным признакам: по степени прерывности контроля и характеру контролируемых свойств. Наиболее совершенные системы регулирования свойств смеси в процессе ее приготовления контролируют как входные параметры, так и выходные, поддерживая заданный уровень выходных параметров в достаточно узких пределах.

В настоящее время разработаны и освоены средства автоматического контроля и управления составом и свойствами смесей, которые выпускают фирмы DISA (MULTICONTROLLER SMC), EIRICH (QualiMaster AT), Michenfelder (SANDLAB), Savelli (SANDCONTROL), Simpson+Hartley, Belloi&Romagnoli (GREEN SAND CONTROLS). Обычно их устанавливают у смесителя и определяют прочность (при сжатии или сдвиге), уплотняемость, деформацию при разрушении образца смеси. Кроме того, измеряют влажность и темпе-

ратуру отработанной и готовой смесей. Затем по корреляционным зависимостям вычисляют содержание бентонита, угля и иногда общей глинистой составляющей в смеси, отбираемой из смесителя. После этого с высокой точностью рассчитывают и корректируют количество освежения для стабилизации состава и свойств смеси. Прибор представляет собой стол или платформу и может состоять из одной или нескольких позиций, на которых изготавливается образец и определяются различные свойства смеси. Усилия, которые измерительные цилиндры оказывают на смесь при ее испытаниях на уплотнение, срез и сжатие, обычно определяются силоизмерительными датчиками, установленными на штоках этих цилиндров. Эти устройства используют при небольших изменениях доз освежения и они наиболее эффективны в сочетании с системой превентивного регулирования. Как правило, предполагается, что обратная смесь перед смесеприготовлением проходит операции предварительного увлажнения, обеспыливания, гомогенизации и соответственно представляет собой уже достаточно однородную массу, параметры которой находятся в относительно узком диапазоне. В отечественных литейных цехах отклонения по влажности и температуре обратной смеси могут составлять от 1 до 4% и от 20 до 80 °С соответственно. Такие устройства применяют при наличии в смесеприготовительной системе высокоточных дозаторов всех компонентов смеси и соответствующих систем управления, поэтому освоение их в нашей стране потребует больших затрат на реконструкцию существующего оборудования.

В настоящее время в отечественном литейном производстве при многономенклатурном производстве оптимального эффекта стабилизации свойств и состава смеси можно достичь путем применения современной системы подготовки отработанной формовочной смеси; использования системы превентивного освежения с соответствующими программными продуктами; использования вихревых смесителей для приготовления формовочной смеси; контроля процесса смесеприготовления, который должен включать в себя входной контроль свойств входящих материалов, постоянный контроль в процессе смесеприготовления и контроль смеси на выходе из смесителя.

### Литература

1. Кваша Ф. С., Туманова Л. П., Скарюкин Д. В. Возможности стабилизации качества единой формовочной смеси в литейных цехах. Ч. III // Литейное производство. 2004. № 7. С. 7–11.
2. Matt Granlund. Sand preparation affects quality // Modern Casting. 1992. № 20. P. 48–53.
3. Кваша Ф. С., Туманова Л. П., Скарюкин Д. В. Возможности стабилизации качества единой формовочной смеси в литейных цехах. Ч. II // Литейное производство. 2004. № 5. С. 17–22.

4. Дорошенко С. П., Авдокушин В. П., Русин К., Мацашек И. Формовочные материалы и смеси. Киев: Выща шк., 1990.
5. Дегтяренко Г. И. Расчет освежения формовочных смесей // Литейное производство. 1999. № 2. С. 17–19.
6. А. с. SU1627986 СССР: МПК G01N32/42, B22C5/00. Способ определения доз освежения оборотных формовочных смесей / Ф. С. Кваша, В. В. Жуков, Л. П. Туманова и др.
7. А. с. SU1042872 СССР: МПК B22C5/00. Способ регулирования состава формовочной смеси / В. В. Лысоченко, Ю. Д. Синчугов.
8. Грузман В. М., Чуркин В. И. Моделирование оборотной формовочной смеси // Литейное производство. 1996. № 8. С. 23–24.
9. Евлампиев А. А., Чернышов Е. А., Королев А. В. Общие положения и рекомендации при выборе процессов приготовления и составов формовочных смесей // Литейное производство. 2005. № 8. С. 10–13.
10. Костылев Д. Л., Голуб Д. М., Кукуй Д. М., Мельников А. П., Бачек А. И. Модернизация смесеприготовительных систем для приготовления песчано-глинистых формовочных смесей // Литье и металлургия. 2006. № 2. С. 39–40.
11. Мельников А. П., Сайков М. А., Голуб Д. М. Механизм формирования свойств смеси в период перемешивания ее компонентов // Литье и металлургия. 2005. № 2. С. 22–25.