

## Анотація

Моїсєєв Ю. В., Кудрявченко М. О., Терновой С. А.

### Технічні засоби технологічної підтримки інженера-ливарника

Описано нові прилади оперативного неруйнівного контролю для сортування лому, контролю структурних складових, якості термообробки та інших задач ливарного виробництва.

## Ключові слова

прилади, неруйнівний контроль, лом, структурні складові, якість термообробки

## Summary

Moiseev Yu., Kudryavchenko N., Ternovoy S.

### Technical means of technological support of foundry engineer's

The new devices for nondestructive testing of metal scrap, structural components, treatment quality control and for other foundry issues are described.

## Keywords

nondestructive testing devices, scrap testing, treatment quality control, structural component check

Поступила 29.11.10

УДК 621.74.045

## В. С. Дорошенко, К. Х. Бердыев

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

# Современные тенденции конструирования опочной оснастки для литья по газифицируемым моделям\*

Описаны опыт конструирования опочной оснастки, снабженной средствами вакуумирования, для форм из песка без связующего при литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) и примеры ее использования в действующих литейных цехах. Применение способа ЛГМ с вакуумированием форм в процессе модернизации литейных цехов повысит технологическую и экологическую культуру производства.

**Ключевые слова:** опока, литейный контейнер, ЛГМ, конструирование, ФТИМС НАН Украины, вакуум

По мере выхода из экономического кризиса усилилось внимание к проблемам модернизации литейного производства как основы заготовительной базы машиностроения. Среди формовочных процессов предпочтение отдается усовершенствованным видам песчано-глинистой сырой формовки и холоднотвердеющим смесям (ХТС). Объем выпуска отливок способом вакуумно-пленочной формовки (ВПФ) прогнозируется на уровне 3 %. При этом практически не уделяется внимание процессу литья по

газифицируемым моделям (ЛГМ). Многолетний опыт изготовления отливок развесом 0,1-2000 кг, постоянное совершенствование технологии ЛГМ специалистами ФТИМС НАН Украины и организация цехов с поставкой для них полного комплекта оборудования производительностью 100-5000 т отливок в год свидетельствуют о значительном неиспользуемом потенциале ЛГМ. Последние работы института по литью ЛГМ-процессом (full mold process) крупных стальных отливок массой до 6 т для ремонта МНЛЗ

\* Обзор выполнен на основании работ, проводимых под руководством проф. О. И. Шинского

с использованием холоднотвердеющих, в т. ч. жидкоподвижных (ЖСС) смесей [1], показали, что ЛГМ может охватывать почти всю традиционную песчаную формовку.

Процесс ЛГМ, быстро прогрессируя, достиг высокой гибкости технологии изготовления моделей из пенополистирола (ППС), наиболее легко обрабатываемого среди современных твердых промышленных материалов. Существует четыре способа изготовления моделей: на 3D-фрезерах, в пресс-формах, на полуавтоматах или в автоклавах, а также на столах с нагретой струной. Короткая продолжительность формовки, состоящая из засыпки сухим песком моделей в контейнерных опоках с виброуплотнением до двух минут, также способствует тенденции гибкости независимо от того, какое это производство отливок – индивидуальное или крупносерийное. Изготовление литых алюминиевых пресс-форм для получения моделей отливок способом ЛГМ, а также программное проектирование технологии литья как пресс-форм, так и отливок сокращают технологическую подготовку литья серийных отливок.

Слабое внедрение ЛГМ в отечественное производство (и страны СНГ) можно объяснить недостаточной осведомленностью литейщиков и промышленников о несложных принципах регулирования газового давления на границе металл-форма в соответствии с законами газодинамики и гидравлики, а также о наличии достаточно простого преимущественно отечественного оборудования и оснастки для модельного и формовочного производств. При выборе технологических процессов для модернизации цехов недопонимание функций и принципов конструирования опочной оснастки со средствами вакуумирования песка формы при ЛГМ способствует предпочтению в пользу традиционной формовки со связующим. Этому способствует реклама импортеров оборудования для ХТС, хотя опыт использования таких смесей показывает, что стоимость смоляной связующей композиции доходит до 500 \$ за тонну литья. Применение смесей со связующим сопровождается неблагоприятной экологией литейного цеха и малопривлекательностью труда в нем, если его не переводят на качественно новый уровень экологической культуры.

Применение вакуума в форме при ЛГМ предшествовало тому, что газы от деструкции ППС модели отводились через перфорации опок и проколы в песчаном наполнителе в атмосферу цеха, а сегодня это просто недопустимо. Дальнейшие исследования физикохимии технологии ЛГМ, гидродинамики процесса с подвижным фронтом газификации модели (как химического и фазового источника газовой выделенной, теории фильтрации песка с применением вакуума) дали новые положительные результаты для получения качественных отливок и повышения экологии производства. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проведенные специалистами ФТИМС НАН Украины, определили параметры необходимого вакуума в формах при заполнении их металлом, включая саморегулирующее

действие на заливаемый металл давления продуктов газификации с учетом заданного режима фильтрации этих продуктов в глубь вакуумируемого песка. Это привело к созданию новых разновидностей этого способа литья и соответствующего технологического оборудования, стабильно обеспечивающего целостность литейной формы при заливке в процессе получения точных отливок с качественной поверхностью.

Технологические операции, определяющие получение отливок при ЛГМ с наименьшими трудовыми и материальными затратами, обычно выполняют в такой последовательности: проектирование технологии литья с выбором положения модели в форме, вида и размеров литниково-питающей системы (ЛПС); получение моделей; формовка; плавка металла нужной марки и заливка им формы. Анализ работы цехов и участков ЛГМ показывает, что качество отливок обычно зависит от: качества модели, собранного модельного блока, его покрытия специальной краской, то есть соблюдения технологии изготовления модели (до ~50 %); положения модельного блока/куста в литейных контейнерах, качества формовочного материала – песка, степени его виброуплотнения и герметизации, то есть от режима формовки (до ~25 %); работы вакуумной системы при отсосе газов деструкции ППС во время заливки, температуры и качества жидкого металла, поддержания заданной скорости заливки в правильно подобранной ЛПС (до ~25 %). Две последние группы факторов касаются правильного выбора для каждого типа моделей контейнерной опочной оснастки и ее функционирования.

Технологические особенности получения моделей из ППС описаны в работе [2]. Затраты на изготовление модели в среднем составляют до 20 % и более при единичном изготовлении от всей стоимости отливки.

Технологические операции цикла формовки при ЛГМ: подача очищенного и обеспыленного формовочного материала – кварцевого песка в контейнер (с содержанием пылевидных частиц до 8 % и температурой ниже 40 °С); создание песчаной «постели» в литейном контейнере; контроль формовщиком модели/модельного блока/куста с ЛПС на отсутствие отслоений противопригарного покрытия, щелей в местах склейки частей модели, стояка, питателей, прибылей и других; установка модели/блока на «постель» в контейнере; послойная засыпка контейнера с виброуплотнением для заполнения песком полостей модели, которые выполняют стержнями в традиционных формах со связующим, изготовленных по постоянным моделям; герметизация контейнера с установкой литейной чаши, а также засыпка слоя песка на герметизирующую пленку для защиты ее от прожога каплями жидкого металла при заливке; транспортировка контейнерной формы на заливочный плац и подключение ее к рукаву вакуумной системы с последующим включением вакуумного насоса (на период заливки с выдержкой 0,5–5,0 мин, затем – для затвердевания отливки).

При литье деталей мелкого развеса на кусте могут быть десятки моделей. При неправильном составлении куста часть моделей может деформироваться от тепла ранее залившихся отливок на этом кусте. Нарушение равномерности откачки газов (продуктов деструкции моделей) приводит к таким видам брака, как недолив, газовые раковины, ужиminy, пригар и т. д.

Требования к вакуумным системам участков ЛГМ описаны в работе [3]. Функции опочной оснастки: поддерживать заданный режим вакуумирования на границе металл-форма, а также быть емкостью для удобного засыпания-высыпания, удержания и уплотнения песка литейной формы, фиксирующего фасонную поверхность отливки и служащего опорой для жидкого металла, твердеющего в отливку. Ее еще можно рассматривать как продолжение вакуумной системы литейного участка в виде герметичной ячейки. Очевидно, что оснастка, уплотненный песок и модель вместе составляют литейную форму. Задача конструирования такой оснастки – обеспечение указанных функций с минимальными затратами. Ранее конструкции вакуумируемой оснастки рассматривались, прежде всего, для ВПФ [4] (описания таких контейнеров для ЛГМ авторам не известны).

За время внедрения ЛГМ-процесса в литейном цехе ФТИМС НАН Украины и других предприятиях созданы вакуумируемые литейные контейнеры (ЛК) различных форм и конструкций. Ниже приведены их описания и преимущества по опыту эксплуатации ЛГМ разной серийности на различных предприятиях во многих странах.

Первые конструкции ЛК были без средств вакуумирования, для чего использовали традиционные опоки [1] либо герметично сваренные ящики. Спустя два десятилетия для форм из песка без связующего в 80-х годах прошлого века стали применять вакуумирование, что стало обязательным фактором для получения высококачественных отливок, стабилизировало прочность формы, а также кардинально улучшило экологию литья.

Первые контейнеры цилиндрической или прямоугольной формы имели каналы различной формы или перфорированные профили с закрывающими их сетками для защиты от проникновения песка. Использовали сетки с мелкими ячейками или более крупные в несколько слоев. Мелкие частицы песка, уносимые газами деструкции, попадая в каналы вместе с конденсацией газообразных продуктов ППС, со временем резко уменьшают проходное сечение. Конструкция первых контейнеров с сетчатыми стенками приведена на рис. 1. Для предотвращения ухудшения условий откачки регулярно разбирали и очищали каналы и сетки. Эксплуатация аналогичных типов ЛК (конструктивно простых и недорогих в изготовлении) требует больших трудозатрат. Основным недостатком ЛК такой конструкции является разноудаленность частей модели от сетчатого фильтра, что приводит к неравномерности эвакуации газов деструкции модели. Особенно сложно осуществить оптимальный вывод газов, когда отливка крупная, сложной конфигурации, с отверстием и

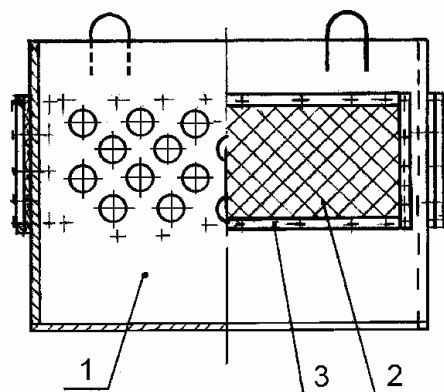


Рис. 1. Контейнер с вентиляруемыми стенками без вакуумирования: 1 – корпус с перфорацией; 2 – сетка; 3 – рамка прижимная

полостями в середине. С целью устранения этого недостатка в середину ЛК установили перфорированную обтянутую сеткой прямоугольную трубу (рис. 2). Условия получения отливок при ЛГМ в ЛК такой конструкции более приближены к требуемым.

После работ по усовершенствованию конструкций ЛК, проведенных конструкторами и технологами ФТИМС НАН Украины, начали использовать стандартные гибкие спиральные трубы (с перфорацией или межвитковыми щелями), которые укладываются по высоте в несколько слоев по бортам ЛК в специальные перфорированные профили; их концы соединены в общий короб с патрубком, к которому подсоединяется вакуумная система. Расстояние между слоями спиральных труб не превышает 80,0 мм. Используемые ЛК такой конструкции оказались более эффективными. Дальнейшая модификация привела к отказу укладки гибкого трубопровода в перфорированные угольники, трубы, гнутые П-образные профили, а его навеска – на специальные крюки из круга или листа. Это позволило легко снимать гибкие трубы и укладывать их вокруг и внутри модели на требуемых расстояниях, вследствие чего увеличивается откачиваемость газов, что определяет выход качественных отливок (брак 2-3 %) без науглероживания и газовых раковин. Эти ЛК можно использовать для получения отливок различного развеса со сложными формами. Основание (дно) контейнера из толстого листа обеспечивает равномерный контакт с плитой вибростола, а также использование

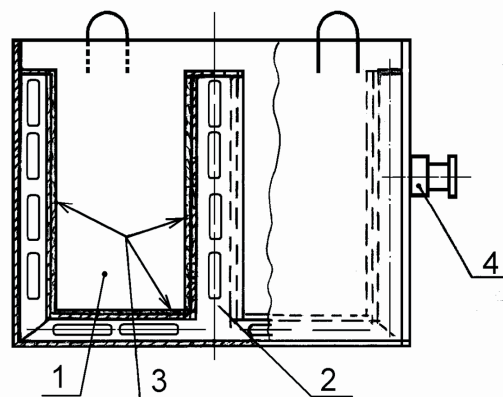


Рис. 2. ЛК с фигурной системой вакуумирования: 1 – корпус; 2 – стойки; 3 – сетка; 4 – узел (штуцер) вакуумирования

рольгангов (приводных и бесприводных) для перемещения (между технологическими площадками формовочно-заливочного участка).

Последние модели ЛК имеют донную разгрузку при помощи рычажного механизма. Их удобно перемещать, они высокоэффективны для литья с вакуумированием, легко перемещаются по замкнутой конвейерной рольганговой системе (с приводом или без) литейного цеха в количестве до нескольких десятков штук в процессе выполнения технологических операций, быстро высыпаются без опрокидывания, что улучшает санитарно-гигиенические условия благодаря устранению запыленности воздуха на участке выбивки. Такая конструкция ЛК приведена на рис. 3. Опыт эксплуатации этих ЛК в цехе ЛГМ производительностью до 5000 т отливок/год показал их высокую универсальность и надежность.

Для серийного получения крупногабаритных пространственных отливок (например, боковых рам тележек вагонов, валков прокатных станов, трубчатых элементов скважинной запорной арматуры, корпусов насосов – «улиток») часто делают специальные литейные контейнеры. Для разовых отливок могут применять различные металлические ящики, навесив на их стенки гибкие трубчатые фильтры и загерметизировав пленкой возможные щели на стенках (например, челюстных контейнеров). В этих случаях делать элементы донной разгрузки не всегда возможно и нецелесообразно. Элементы вакуумной системы, гибкие спиральные трубы и соединения рассчитываются, исходя из объема газов деструкции. Они должны обеспечивать равномерность откачки, быть равноудаленными от стенок модели/отливки. Конструкция ЛК должна быть жесткой, так как в отличие от традиционного способа литья в песчано-глинистые формы ЛГМ-процесс позволяет разделить технологических площадок/участков (формовки, заливки, выбивки, очистки и других) в процессе перемещения (например, с плаца формовки на заливочный) формы в ЛК, между которыми модели из ППС, особенно ажурные и тонкостенные, при деформации стенок ЛК могут повредиться, а ЛПС – отломаться.

На предприятиях, где отливки цилиндрической

формы составляют значительную часть производственной программы, обычно применяют ЛК цилиндрической формы, высота которых должна превышать максимальную длину детали. Получение крупногабаритных отливок со сквозными или глухими полостями в теле представляют определенную трудность из-за опасности обрушения песка при заливке либо искривления модели в процессе формовки или перемещения контейнера вдоль плаца. В таких случаях усиливают жесткость ППС модели установкой металлических стержней в песке рядом или в полости модели, заполненной песком. Технологи-формовщики ФТИМС НАН Украины разработали ряд различных способов повышения жесткости моделей с габаритами 2 м и более, что позволяет получать стабильно качественные крупногабаритные тонкостенные отливки массой до 1,0-1,5 т без опасности их коробления.

Как указано выше, получение качественных отливок методом ЛГМ, аналогично всем литейным технологиям, зависит от многих технологических факторов. Поскольку качество модели при ЛГМ является определяющим, а ее стоимость, особенно при индивидуальном литье, может существенно влиять на стоимость отливки, следует тщательно выполнять операции формовки и заливки, чтобы не испортить модель. Часто это зависит от конструкции применяемого оборудования и оснастки. Конструкция ЛК должна удовлетворять (с учетом вышеприведенной аргументации) следующие требования: жесткость; герметичность; равномерность вакуумирования по поверхности модели или объему песка (подробнее см. в работе [4]); удобство эксплуатации, включая правила безопасности труда и экологии; ремонтпригодность; долговечность при эксплуатации и вибровоздействии; невысокая стоимость.

Основной технологический фактор формовки при ЛГМ – газовое разрежение  $\Delta P$  в порах песчаного наполнителя, которое влияет не только на прочность формы, но и качество отливок, появление дефектов. Вопросы оптимизации вакуумирования для получения отливок из цветных и черных сплавов рассмотрены в работах [3, 5]. Необходимость жесткой конструкции обусловлена тем, что на вакуумируемый контейнер при эксплуатации

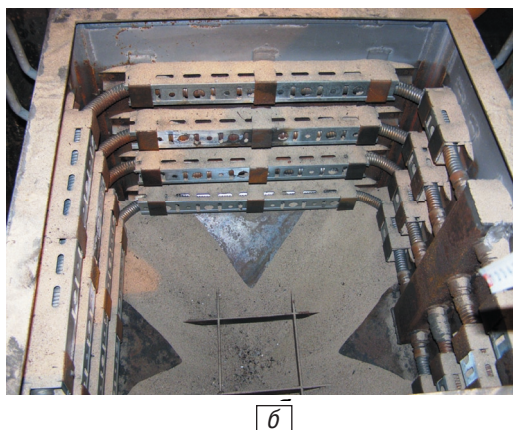
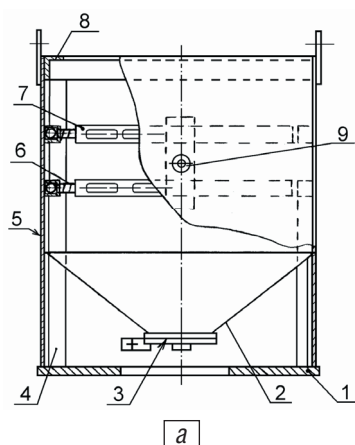


Рис. 3.

ЛК с донной разгрузкой: вид сбоку (а), фото сверху (б); ЛК с четырьмя рядами гибких рукавов: 1 – дно; 2 – донная часть; 3 – узел выгрузки; 4 – стойки; 5 – боковые стенки; 6 – гибкие рукава; 7 – защитные профили; 8 – усилительные ребра; 9 – узел вакуумирования

действуют силы внешнего атмосферного давления, а также вибро-транспортные воздействия и возможен контакт с расплавом металла. При заливке усилия, действующие на ЛК, состоят из газового давления 30-70 кПа на наружную поверхность (от разницы атмосферного давления и вакуума), массы заливаемого металла и сил термического расширения формовочного песка и его массы.

На поверхность контейнера размером 0,6x0,6 м и высотой 0,5 м сжимающая сила при вакуумировании составляет 4,7-11,0 т. В сумме элементы конструкции ЛК воспринимают значительные силы – сжатия, растяжения, изгиба и комбинированные.

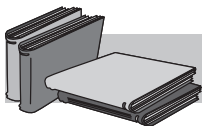
В ФТИМС НАН Украины проводится анализ эксплуатации ЛК и постоянно модернизируется их конструкция. Для заполнения полостей в модели (модельных кустах) песком при формовке ЛК с песком вибрируют, увеличивая текучесть и создавая эффект псевдожидкости. У большинства виброустановок однонаправленное вибрирующее усилие может не обеспечивать полноту заполнения полостей. При разработке нового вибростола были учтены потребности формовки сложных пустотелых ППС моделей, трехосевое направление колебательных сил которого вызывает необходимость полного соприкосновения дна ЛК с плоскостью стола. Этим вызвано изготовление основания контейнера из толстой листовой стали.

Боковые стенки ЛК изготавливают из листов толщиной 2,5-4,0 мм и усиливают уголками. Донный

разгрузочный узел с вакуумным уплотнением облегчает разгрузку ЛК (см. рис. 3) и дает возможность включить операцию выбивки в единый транспортный поток или конвейер, а также упрощает конструкцию вытяжных вентиляционных систем. Нижняя внутренняя часть такого ЛК имеет вид усеченной пирамиды. При вибрации частицы песка из-за разложения вынуждающих сил в трехосевом направлении могут перемещаться винтообразно и полностью заполняют пустоты и каналы по конфигурации модели. Благодаря уклону стенки донной части песок легко высыпается, однако, если нижнюю часть профиля подать в виде ломаной линии, можно сохранить определенное количество песка, участвующего в пескообороте, для «постели» под модель, а также уменьшить его объем.

### Выводы

Описанные конструкции ЛК для ЛГМ применяют в литейных цехах, где освоена эта перспективная технология. Модернизация литейных цехов с традиционной формовкой со связующим неизбежно востребует их при переходе на качественно новую ступень технологического использования науки и экологической культуры, чем является ЛГМ в вакуумируемые формы из песка без связующего, а приведенная информация будет полезна технологам и конструкторам, желающим воспользоваться отечественными техническими достижениями.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дорошенко В. С., Чичкань И. П. Регулирование газового режима формы из ЖСС при получении крупных отливок по ЛГМ-процессу // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 11-12. – С. 35-38.
2. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х., Шинский И. О. Обобщение опыта изготовления пенополистироловых литейных моделей // *Там же*. – 2010. – № 5. – С. 14-19.
3. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х., Болух В. А. Вакуумные системы формовочно-заливочных участков цехов ЛГМ // *Там же*. – 2010. – № 7. – С. 32-37.
4. Дорошенко В. С., Шейко Н. И. Критерии выбора конструкций опок для вакуумно-пленочной формовки // *Литейн. право*. – 1988. – № 7. – С. 25-26.
5. Влияние геометрии внутренних стенок опоки на разряжение в ВПФ / В. В. Иванов и др. // *Там же*. – 2006. – № 8. – С. 12-13.

### Анотація

*Дорошенко В. С., Бердыев К. Х.*

**Сучасні тенденції конструювання опочної оснастки для ЛГМ**

*Описано досвід конструювання опочної оснастки, що має засоби вакуумування, для форм із піску без в'язучого при литті за моделями, що газифікуються (ЛГМ) та приклади її використання в діючих ливарних цехах. Застосування способу ЛГМ із вакуумуванням форм в процесі модернізації ливарних цехів підвищить технологічну та екологічну культуру виробництва.*

### Ключові слова

*опока, ливарний контейнер, ЛГМ, конструювання, ФТИМС НАН України, вакуум*

## Summary

Doroshenko V., Berdyev K.

### Current trends of designing the molding boxes for lost foam process

*Experience of construction of vacuum molding boxes for lost foam casting with sand molds and its workability in the existing foundries are described. Usage of lost foam casting and molds' evacuation during modernization of foundry will improve technological and environmental culture of industry.*

## Keywords

casting-box, casting container, lost foam, designing, PTIMA NAS of Ukraine, vacuum

Поступила 03.06.10

УДК 621.74.04

**А. А. Жегур, С. И. Репях\*, Р. В. Усенко\***

ООО «Научно-техническое предприятие „Новые машины и технологии“», Днепропетровск

\*Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

## Условная вязкость жидкостекольной суспензии

*Исследовано влияние плотности жидкого стекла, температуры и наполненности жидкостекольной суспензии пылевидным кварцем или золой-уносом тепловой электростанции на величину условной вязкости.*

**Ключевые слова:** суспензия, жидкое стекло, кварц, зола-унос, вязкость

**М**ногообразие технологий изготовления керамических оболочковых форм (КО) в литье по выплавляемым моделям предполагает в ряде случаев использование жидкостекольных суспензий, приготовленных на основе кварца пылевидного и натриевого жидкого стекла с величиной силикатного модуля  $M_{\text{SiO}_2} = 3,0 \dots 3,2$ . Слои КО, выполненные на жидком стекле, либо составляют основу КО, либо частично заменяют внешние этилсиликатные слои и используют, преимущественно, для повышения прочности и снижения себестоимости КО, либо применяют для выполнения лицевого слоя КО с целью стабилизации чистоты поверхности отливок. Для производства КО, помимо низкомолекулярного жидкого стекла, используют высококремнеземное жидкостекольное связующее, которое приготавливают в условиях литейного цеха из сухого концентрата марки НСК (натриевый сухой концентрат) с  $M_{\text{SiO}_2}$  до 30 либо применяют кремнезоль (жидкое стекло) с  $M_{\text{SiO}_2} = 45 \dots 90$ .

Из числа перечисленных жидких стекол наиболее дешевым, доступным и стабильным по своим свойствам является стекло с  $M_{\text{SiO}_2} = 3,0 \dots 3,2$ . Существенными недостатками такого жидкого стекла

как связующего материала для КО являются невысокая термостойкость КО, а также чувствительность свойств КО (прочность, термостойкость, газопроницаемость и т. п.) к изменению параметров состояния жидкостекольной суспензии.

Условная вязкость, оцениваемая по вискозиметру ВЗ-4 в секундах, – один из критериев оценки состояния жидкостекольной суспензии в литейных цехах. Вязкость суспензии, в свою очередь, зависит (при постоянном модуле жидкого стекла) от плотности используемого жидкого стекла, температуры и наполненности ( $m$ ) суспензии пылевидным наполнителем. Наполненность суспензии – масса пылевидного наполнителя в  $1 \text{ дм}^3$  ее жидкой составляющей, в данном случае – жидкого стекла, разбавленного до требуемой плотности, от которого во многом зависит условная вязкость суспензии. При этом условная вязкость самого жидкого стекла мало зависит от его плотности и температуры, о чем свидетельствует зависимость, представленная на рис. 1.

В соответствии с рис. 1 условная вязкость жидкого стекла определяется, в основном, его силикатным модулем, с увеличением которого она понижается [1]. Применительно к огнеупорным суспензиям