

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СИЛИКАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*В.К. Дубровин*

В статье рассмотрены преимущества, недостатки, перспективы применения силикатных связующих на основе жидкого стекла, кремнезоля. Дана оценка технологических процессов на основе тепловой сушки,  $\text{CO}_2$ -процесса, пластичных и жидкоподвижных самотвердеющих смесей, а также отверждения современными отвердителями на основе сложных эфиров. Также затронута актуальная проблема применения связующих на основе кремнезоля в литье по выплавляемым моделям.

Ключевые слова: связующее, силикат, жидкое стекло, кремнезоль, литейная форма, стержень, отверждение.

Литейное производство в силу своей специфики предусматривает большое разнообразие технологических процессов и используемых материалов. В значительной степени это относится к формовочным материалам, в том числе связующим.

Традиционным связующим для получения разовых объемных форм являются алюмосиликаты – формовочные глины. Их важным преимуществом является доступность и дешевизна. Применение современных способов формовки сырых песчано-глинистых форм в большинстве случаев позволяет получать отливки высокого качества различных размеров и конфигураций.

Формовочные глины как связующие по универсальности, дешевизне, доступности находится вне конкуренции, несмотря на уменьшающуюся долю в общем объеме литья. К сожалению, формовочные глины подходят только для форм, для стержней они не обеспечивает необходимые показатели прочности газотворности.

Традиционным связующим для стержневых смесей является жидкое стекло – водный силикат натрия. Впервые жидкое стекло было получено немецким химиком Яном Фуксом в начале XIX века, в литейном производстве в Англии было впервые опробовано в начале XX века, в России активно начало использоваться с середины прошлого столетия. Первоначально оно использовалось как связующее тепловой сушки. Прочность достигается за счет удаления влаги из раствора и образования стекловидной пленки силиката натрия. Смесь может применяться как стержневая, а также как облицовочная для стальных (до 10 т) и чугунных (до 20 т) отливок. Смеси тепловой сушки на жидком стекле имеют высокие прочностные показатели ( $\sigma_{сж}$  до 15 МПа,  $\sigma_{раз}$  до 3 МПа), низкая газотворность, высокая газопроницаемость, отсутствие токсичных газовыделений, доступность и недефицитность материалов [1].

К недостаткам процесса можно отнести повышенные энергозатраты, низкую производительность, высокую трудоемкость выбивки и очистки литья, снижение точности форм и стержней при сушке вследствие коробления.

Разработка и широкое внедрение  $CO_2$ -процесса (отверждение в оснастке углекислым газом) значительно расширили область применения жидкого стекла, позволили повысить точность, производительность процесса. Отверждение происходит за счет образования трехмерного пространственного скелета из агрегатированных частиц кремнекислоты, прочно склеивающих зерна наполнителя. Побочные продукты реакции (карбонат натрия) составляют интерглобулярную среду.

Смеси по  $CO_2$ -процессу используются для получения стальных и чугунных отливок массой до 3 т, содержание жидкого стекла составляет 5–7 %,  $\sigma_{сж}$  до 1,5 МПа. Для более массивных отливок может применяться отверждение  $CO_2$  в сочетании с тепловой сушкой, которая увеличивает противопопригарные свойства смеси. Водные противопопригарные краски имеют недостаточную прочность со смесью, поэтому применяют краски на спиртовой основе. При получении отливок массой менее 200 кг формы можно не окрашивать. Смеси по  $CO_2$ -процессу гигроскопичны, при увлажнении необратимо теряют прочность.

Несмотря на ряд положительных моментов,  $CO_2$ -процесс имеет и серьезные недостатки. Это в первую очередь затрудненная выбиваемость, а также пригар на крупных отливках и неудовлетворительная регенерируемость, что связано с высоким (5–7 %) содержанием жидкого стекла

в формовочной смеси.  $\text{CO}_2$ -процесс в настоящее время является самым распространенным среди жидкостекольных технологий. Совершенствование его идет по следующим направлениям: модифицирование полифосфатными соединениями, полиакрилатами, анионо-активными ПАВ, моно-, полисахаридами, подогрев газовой смеси, импульсный способ продувки.

Эффективным развитием основных технологических приемов  $\text{CO}_2$ -процесса можно считать VRH-процесс, разработанный японской компанией Sinto. Формирование прочности обеспечивается дегидратацией и продувкой углекислым газом при низком давлении.

Основные технологические приемы VRH-процесса заключаются в следующем. На первой стадии отверждения опоку с уплотненной смесью помещают в камеру вакуумного отверждения; далее воздух откачивают из камеры, и понижение давления обеспечивает частичное удаление влаги и начало образования оболочек силикатного геля вокруг песчинок смеси. На второй стадии отверждения вакуум заменяют на атмосферу углекислого газа; при отсутствии воздуха и других газов реакция углекислого с силикатом натрия с образованием силикатного геля происходит быстро, твердость повышается.

Достижимый технический результат VRH-процесса заключается в сокращении количества используемого жидкого стекла с 5–6 % до 2–3 %, углекислого газа с 6 % до 0,3–1,0 % при сохранении уровня рабочей прочности, более полном использовании регенерируемой смеси за счет более низкого содержания жидкого стекла; отсутствии загрязнения серой, углеродом, азотом и фосфором; улучшении выбиваемости смеси; возможности механизации процесса; повышении текучести смеси, минимальной конденсации влаги при хранении форм; низкой вероятности образования газовых дефектов и ужимин; повышении точности отливок. Технология VRH может применяться для получения отливок из сталей, чугунов, алюминиевых и других цветных сплавов.

Пластичные (ПСС) и жидкоподвижные (ЖСС) самотвердеющие смеси, отверждаемые твердыми отвердителями на основе двухкальциевых силикатов (шлак феррохромового производства, нефелиновый шлак), были разработаны в 60-х годах прошлого века и широко применялись вплоть до 90-х годов. Отверждение в них наступает за счет образования гидросиликатов кальция и натрия. ЖСС в свое время совершили качественный скачок в технологии изготовления крупных чугунных и стальных отливок. По сравнению с песчано-глинистыми смесями в 3–5 раз уменьшилась трудоемкость формовки из-за отсутствия уплотнения, в 2–3 раза повысилась производительность формовочных работ, на 30 % увеличился выпуск литья на существующих площадях, также отмечалось снижение брака по ужиминам, песчаным и газовым раковинам, трещинам в стальных отливках. Смеси имели прочность  $\sigma_{сж}$  до 1,5 МПа.

Впоследствии ПСС и ЖСС были вытеснены холодно-твердеющими смесями на основе синтетических смол, которые позволили существенно улучшить качество отливок и производительность процессов как в мелко-серийном, так и в массовом производстве. Самым существенным недостатком синтетических смол является наличие токсичных выделений как при изготовлении стержней и форм, так и при заливке. Серьезной проблемой является также утилизация отработанных смесей, содержащих остатки этих связующих.

В связи с этим в настоящее время проводятся интенсивные исследования и производственные испытания в области изготовления стержней на основе нетоксичных связующих, в первую очередь жидкого стекла. Возрождающееся внимание к этим связующим определяется с возможностью значительного снижения их недостатков: плохой выбиваемости, гигроскопичности, невозможности или сложности процесса регенерации.

Большие надежды возлагаются на процессы изготовления жидкостекольных стержней и форм с применением сложноэфирных отвердителей (СЭО) на основе ацетатов этиленгликоля, глицерина, пропиленкарбоната. Жидкостекольные смеси со СЭО легко уплотняются вибрацией, имеют широкий диапазон живучести, удобство приготовления смеси и дозирования компонентов, не имеют в своем составе азота, фосфора, серы, хорошие санитарно-гигиенические условия. Содержание жидкого стекла в данных смесях снижается до 3 %, что позволяет улучшить выбиваемость, регенерируемость.

Представляет интерес процессы изготовления стержней в крупносерийном и массовом производстве отливок, такие как AWD-, Cordis-, Inotec-процессы [2]. В данных процессах применяется модифицированное жидкостекольное связующее. Смеси уплотняются пескострельным способом не хуже, чем при Cold-box-amin-процессе. Отверждение происходит в нагретом стержневом ящике за счет теплового воздействия на жидкое стекло. После извлечения из стержневого ящика стержни могут дополнительно быть просушены в микроволновой печи. Прочность стержней на изгиб достигает  $\sigma_{изг}$  5 МПа. Количество связующего уменьшается до 2 %, отмечается хорошая выбиваемость и возможность регенерации смеси. Данные технологии позволяют свести к минимуму газовыделение при заливке (это в основном пары воды). Точность стержней может несколько уступать Cold-box-amin-процессу, но вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Актуальным остается также применение неорганических силикатных связующих в литье по выплавляемым моделям. В настоящее время, это кремнезоли, которые могут заменить широко применяемые этилсиликатные связующие. Для литья химически активных сплавов наибольший интерес представляют кислые кремнезоли, не содержащие щелочных металлов и формирующие с огнеупорным наполнителем термохимически стойкие соединения в процессе обжига.

Таким образом, неорганические силикатные связующие (жидкое стекло, кремнезоли) в будущем могут стать эффективной заменой органических связующих, в первую очередь, благодаря высокой экологичности, доступности и относительной дешевизны.

#### Библиографический список

1. Формовочные материалы и технология литейной формы / С.С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
2. Жуковский, С.С. Изготовление стержней из жидкостекольных смесей в массовом производстве отливок / С.С. Жуковский, Ф.С. Кваша // Литейщик России. – 2012. – № 7. – С. 41–44.