

железа;  $X_4$  (о.е) – содержание кремния;  $X_5$  (о.е) – относительное содержание покровного флюса;  $Y_1$  (о.е) – относительная рассеянная пористость в сплаве;  $Y_2$  (о.е) – относительная усадка сплава;  $Y_3$  (о.е) – относительная горячеломкость сплава;  $Y_4$  (о.е) – относительная величина объемных раковин сплава;  $Y_5$  (о.е) – относительная жидкотекучесть сплава.

В работе использован следующий алгоритм и пакет анализа MS EXCEL.

Шаг 1: Ввод исходной матрицы в MS EXCEL.

Шаг 2: Использование функции MS EXCEL для вычисления регрессии.

Шаг 3: Вычисление регрессионных коэффициентов  $A_0$ – $A_i$  по исходным данным.

Шаг 4: Анализ адекватности математических моделей с помощью статистических характеристик – коэффициент детерминации  $R^2$  и значение Фишера  $F$  математических моделей.

Таблица 2 – Результаты расчетов

	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$R^2$	$F$
$Y_1$	-0,0469	-0,0039	-1,1883	3,8546	0,0749	-0,0427	0,9787	442,8097
$Y_2$	-0,0117	-0,3410	-0,3161	0,8368	0,0173	0,01283	0,8991	85,5570
$Y_3$	0,5919	-1,5038	1,6985	0,2791	0,5901	-0,1158	0,1806	2,1166
$Y_4$	1,0408	-0,6918	-4,4193	4,0290	-0,6264	0,0117	0,9692	302,8973
$Y_5$	0,9348	12,2800	36,2229	-40,3278	0,4204	-0,8463	0,6962	22,0026

Как видно из таблицы, представленный метод моделирования позволяет оценить количественно вклад технологических факторов в литейные свойства АК5М2. Это позволяет использовать данные уравнения для оптимизации технологического процесса, а также предсказывать возможные варианты улучшения свойств за счет модификации факторов технологии.

#### Список использованных источников

1. Чичко, А. Н. Математическое моделирование технологических процессов. – Минск: БГПА, 2001. – 128с.

УДК 621.742.45; 621.742.59; 621.743.422

#### Современные перспективные методы повышения качества жидкостекольных стержневых смесей

Студенты гр. 10404115 Мелешко Г. А., Русевич О. А.  
 Научный руководитель: Гуминский Ю. Ю.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

В настоящее время жидкостекольные стержневые смеси в основном применяются при производстве больших станочных отливок и в мелкосерийном производстве. Смеси на основе жидкостекольного связующего обладают рядом преимуществ – это высокая прочность, технологичность, уменьшенные припуски и уклоны. Главным же достоинством жидкого стекла, как связующими является экологическая безопасность. При заливке расплавом они не только не выделяют вредных веществ, но и отработанные жидкостекольные могут использоваться в различных отраслях промышленности. Например, как подложка при строительстве автомобильных дорог.

Но наряду с большим количеством достоинств, жидкостекольные смеси имеют существенные недостатки, а именно затрудненную выбивку стержней и хрупкость (осыпаемость). В первую очередь это связано с повышенным процентным содержанием жидкостекольного связующего в смеси (7–9% для стержневых составов) и наличием точечного контакта глобул силикагеля. Одним из направлений улучшения качеств жидкостекольных смесей – это ввод различных добавок в состав смесей в процессе перемешивания. Данные добавки призваны

либо повышать прочность смесей, с целью снижения процентного содержания связующего, либо разупрочнять стержни при высоких температурах (температурах заливки расплава).

На данный момент вопросы экологии в литейном производстве выходят на передний план. Данная ситуация обострилась в связи с преимущественным применением смоляных связующих, которые во время заливки расплавом при термодеструкции выделяют множество токсичных и канцерогенных веществ, таких как аммиак, ацетон, акролеин, фенол, формальдегид, фурфурол и т. д. Поэтому поиск экологически безопасных альтернатив связующим смолам является важной задачей. Жидкое стекло может являться такой альтернативой, с учетом избавления от недостатков, описанных выше. Множество исследований было проведено в этом направлении и ведутся до сих пор.

На основании литературных источников И. В. Вахромеевым были обобщены и классифицированы методы и способы улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей и рассмотрены влияния различных веществ и химических соединений на улучшение выбиваемости. Было установлено, что отверждение жидкостекольных смесей углекислым газом на начальных стадиях связано со снижением электрокинетического потенциала на поверхности мицелл силиката натрия, что обусловлено адсорбцией на их поверхности молекул  $\text{CO}_2$ . Снижение электрокинетического потенциала на поверхности мицелл приводит к агрегации коллоидной системы. [1]

В теории формовочных процессов в настоящее время доминирующее положение получили представления по отверждению жидкостекольных смесей углекислым газом, как о химическом взаимодействии растворенных в воде силикатов, входящих в состав жидкого стекла, с углекислотой, образующейся в результате растворения в воде  $\text{CO}_2$ . при пропускании газа через смесь (химическая теория отверждения).

Основные положения химической теории могут быть выражены следующими утверждениями:

– основным связующим компонентом в жидком стекле на этапе отверждения является гель кремневой кислоты, образующийся в результате взаимодействия силикатов натрия с углекислым газом;

– побочными продуктами реакции отверждения являются карбонаты (гидрокарбонаты), увеличение доли которых в смеси при перепродувке способствует снижению прочности;

– процессы отверждения жидкостекольных смесей сушкой и  $\text{CO}_2$  различны по своей природе.

Изучение состава связующей массы смесей показывает, что при отверждении жидкостекольных смесей оптимальными объемами  $\text{CO}_2$  основным связывающим компонентом выступают силикаты натрия. Причем, даже при значительной перепродувке смесей наблюдается большое количество силикатов натрия в связующей массе, в то же время содержание карбонатов или гидрокарбонатов – обязательных продуктов химического взаимодействия силикатов натрия с углекислотой – окатывается значительно меньшим, чем теоретический выход, согласно реакциям.

Если же говорить о специальных добавках, то наиболее эффективными, по мнению Вахромеева, из органических добавок могут считаться органические соединения, дающие при термодеструкции наибольший выход блестящего углерода, например, стирол и его производные. Осаждаясь из газовой фазы при термодеструкции на поверхности кварцевых зерен, блестящий углерод препятствует растворению зерен огнеупорной основы силикатным расплавом, не допуская при охлаждении образования монолитной стеклофазы (последняя является одной из основных причин плохой выбиваемости жидкостекольных смесей).

Вахромеевым в качестве добавки была предложена смола СНЛ. Результаты исследования показали ее довольно высокую эффективность по улучшению выбиваемости и снижению пригарообразования при литье бронзовых сплавов, мелких и средних отливок из чугуна и стали. Наилучшие результаты отмечались при использовании 50 %-ого рас-

творя СНЛ в сольвенте при введении его в объем смеси и при поверхностном окрашивании. Кроме того, использование раствора СНЛ в сольвенте способствовало увеличению исходной прочности жидкостекольных смесей, за счет полимеризации на воздухе смолы. Однако ввод в жидкостекольные смеси органических смол лишает одного из главных их преимуществ – экологичности. При термодеструкции смол выделяется огромное количество вредных веществ, ухудшающих экологию в цехах и их окрестностях.

Таблица 1 – Состав саже-смоляной пульпы по фракциям

<b>Фракция</b>	<b>Состав, масс. %</b>
Нафталин-метилнафталиновая фракция с температурой кипения 200–245°C	9,0–11,5
Диметил-триметилнафталиновая фракция (аценафтилен, аценафтен, флуорен, метилфенантрен) с температурой кипения 245–300°C	10,0–12,5
Высококонденсированная ароматика (пирены, антрацен, метилпирены, фенантрен) с температурой кипения выше 300°C	30,5–38,5
Хлорид железа	0,5–1,0
Вода	остальное

В работах Д. О. Алиева было предложено улучшить выбиваемость жидкостекольных смесей путем введения в их состав добавок, способствующих увеличению адгезии жидкого стекла к кварцевому песку и приводящих к ее разупрочнению в результате нагрева. В качестве данных добавок автором предложено использовать саже-смоляную пульпу и кальцийборфосфат, составы которых представлен в таблице 1 и 2. [2]

Таблица 2 – Химический состав кальцийборфосфата

<b>Химический состав</b>	<b>Значение</b>
Массовая доля СаО, %	45,0–49,0
Массовая доля Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , %	25,0–39,0
Массовая доля В <sub>2</sub> О <sub>3</sub> , %	не более 0,5
Массовая доля хлора, %	не более 1,0
Массовая доля воды, %	остальное

Изменение структуры жидкого стекла в результате температурного воздействия. По мере нагрева в структуре жидкого стекла образуются кристаллические фазы, которые играют роль инородных включений – надразов, нарушающих целостность пленок и концентрирующих напряжения, возникающие при охлаждении образца. На процесс кристаллизации жидкого стекла большое влияние оказывают неорганические фосфатные добавки, в частности кальцийборфосфат. В процессе нагрева жидкостекольных смесей, содержащих саже-смоляную пульпу и кальцийборфосфат, установлено, что в результате выгорания компонентов саже-смоляной пульпы, в интервале температур 200–410 °С, происходит разрушение пленок связующего и разупрочнение жидкостекольной смеси.

Оптимальный состав жидкостекольной смеси, с добавками саже-смоляной пульпы и кальцийборфосфата следующий: 95,75 % кварцевый песок, 4 % – жидкое стекло, 0,25 % – саже-смоляная пульпа, 0,5 % – кальцийборфосфат. Предел прочности при разрыве образцов данной смеси составляет более 2,1 МПа, с учетом того, что количество связующего снижено с 7–9 % до 4 %, а работа выбивки, после нагрева образца до 800 °С составляет 6 кДж. Стержень, изготовленный из данной жидкостекольной смеси, полностью удаляется из отливки, а работы на его выбивку затрачивается меньше практически в 10 раз.

В своих работах К. А. Маслов сформулировал понятие «технологичность литейного стержня», включающее в себя комплекс характеристик и свойств стержня одновременно как изделия, как элемента литейной формы и как материального объекта. Так же Маслов обозначил основные направления повышения технологичности жидкостекольных смесей,

связанные с применением ТДОП (технологические добавки органического происхождения), ТДНП (технологические добавки неорганического происхождения), физических методов воздействия и их комбинаций. И доказал принципиальную возможность применения ТДОП, ТДНП (например, перманганат калия, бихромат калия, алюмокалиевые квасцы, карбонаты кальция и бария), физических методов воздействия (вакуумирование и СВЧ обработка) и их комбинаций в качестве средств повышения технологичности стержневых жидкостекольных смесей при производстве отливок из чугуна и стали. Так же им были выявлены основные условия повышения технологичности стержневых жидкостекольных смесей, касающиеся присутствия в составе стержневой смеси «сшивающих» добавок или применения физических методов воздействия, повышающих поверхностную прочность стержня; и использования разупрочняющих добавок, увеличивающих податливость и уменьшающих работу выбивки стержня в процессе охлаждения отливки. [3]

Принцип дисперсного армирования путем введения волокнообразующего материала в виде отжатых целлюлозно-бумажных микроволокон непосредственно в жидкостекольное связующее было предложено Е.А. Тютинной. Это позволяет использовать для дисперсного армирования распушенную в воде макулатуру, ранее считавшуюся непригодной для этих целей. Так же особенности двухстадийной технологии приготовления жидкостекольных смесей за счет введения органического связующего и неорганического армированного связующего (ЖС), базирующемся на применении отходов производства (макулатуры). Экспериментально установлена зависимость прочностных показателей от количества и концентрации вводимых в жидкостекольные смеси добавок, а именно ее влияние на образование первичной и остаточной прочности.

При дисперсном армировании жидкого стекла, а затем и самой жидкостекольной смеси наблюдается увеличение прочностных показателей. Так, прочность после отверждения в печи образцов, изготовленных из ЖСС с добавкой водно-щелочного раствора Н-КМЦ в количестве 3 % и армированных МРМ в количестве 2–3 % от массы песка, увеличивается в 1,2 раза; после СО<sub>2</sub>-процесса возрастает в 1,12 раз. Наряду с общей прочностью усиливается и поверхностная прочность. Осыпаемость, за счет армирования жидкостекольной смеси, снижается в 5–10 раз.

К. Е. Нефёдовым было предложено управление механизмом формирования свойств жидкостекольных смесей добавками химически активного ингредиента с размерами частиц, соизмеримыми с размерами частиц силикагеля, а также установлена принципиальная возможность управления свойствами жидкостекольных смесей микродобавками ультрадисперсного пироуглерода (УДП). Экспериментально установлена возможность образования новой ультрадисперсной высокотемпературной фазы при взаимодействии частиц ультрадисперсного пироуглерода и силикагеля, в результате чего происходит разупрочнение жидкостекольной адгезивной оболочки, что ведет к снижению удельной работы выбивки практически в 7 раз.

В результате исследований была установлена принципиальная возможность применения УДП, как добавки улучшающей выбиваемость жидкостекольных смесей. Введение микродобавок УДП в смесь существенно не изменяет ее технологические и физико-механические свойства до заливки формы металлом. Однако существенно улучшают ее некоторые технологические свойства после. УДП способен образовывать восстановительную атмосферу в полости формы, что способствует снижению возможности возникновения окислов на границе раздела металл-форма и уменьшает вероятность образования пригара. Так же УДП имеет низкую газотворную способность по сравнению с традиционными углеродосодержащими материалами, что положительно сказывается на газовом режиме в полости формы после заливки металлом и снижает вероятность образования газовых раковин.

Проведя анализ вышеизложенного, можно сделать следующие выводы: Во-первых, исследования в направлении улучшения качества жидкостекольных смесей, как экологически чистых заменителей смоляных, являются перспективными. Во-вторых, ввод различных добавок в смесь показывает неплохие результаты, но которые на данный момент не являются удовлетворительными. Возможно следует вести исследования в направлениях модифицирования самого

жидкостеклового связующего или технологий отверждения и перемешивания смесей. В-третьих, большое количество исследований, ведущихся с целью повышения качества жидкостеклянных смесей, говорит о том, что этот вопрос до сих пор досконально не изучен.

#### **Список использованных источников**

1. Вахромеев, И. В. Совершенствование методов снижения остаточной прочности и исследование природы отверждения силикатов натрия в жидкостеклянных смесях при CO<sub>2</sub>-процессе – И. В. Вахромеев, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Спб., 1996.

2. Алиев, Д. О. Исследование механизма формирования прочности жидкостеклянных смесей и разработка состава жидкостеклянной смеси улучшенной выбиваемости – Д. О. Алиев, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Волгоград, 2004.

3. Маслов, К. А. Разработка и освоение методов повышения технологичности стержней из жидкостеклянных смесей для стального и чугуна ЛИТЬЯ – К. А. Маслов, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Нижний Новгород, 2010.

4. Тютина, Е. А. Разработка технологии получения легковыбиваемых жидкостеклянных стержневых смесей – Е. А. Тютина, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Комсомольск-на-Амуре, 2006.

5. Нефёдов, К. Е. Разработка и исследование рецептур жидкостеклянных формовочных и стержневых смесей с микродобавками ультрадисперсного пироуглерода (УДП) – К. Е. Нефёдов, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Барнаул, 2004.

УДК 669.13.018.256

#### **Абразивный и ударно-абразивный износ чугунов**

Студент гр. 10404114 Клинецов К. С.

Научный руководитель – Крутилин А. Н.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Проблема износостойкости неразрывно связана с созданием новых материалов и прогрессивных технологических процессов производства заготовок, позволяющих значительно повысить эксплуатационные характеристики литых деталей. Усложнение условий работы деталей, разработка и применение новых материалов, раскрыли огромную сложность и многогранность явлений трения и изнашивания. Детали в процессе работы могут быть подвержены ударно-абразивному, ударно-усталостному, ударно – кавитационному, абразивному и гидроабразивному изнашиванию, которые отличаются по своему механизму и закономерностям и критериям.

На практике наиболее часто встречается абразивный и ударно-абразивный износ. В механизме абразивного и ударно-абразивного изнашивания много общего. В процессе изнашивания поверхностные слои металла претерпевают изменения, образующиеся вторичные структуры обладают аномалией физических, химических и механических свойств. Эти сложные изменения происходят с определенной скоростью и состоят из процессов упрочнения, разупрочнения, фазовых превращений, разрушения межатомных связей и других явлений, и зависят от структурного состояния металла, химических, физико-механических свойств и условий внешнего нагружения.

В качестве износостойких материалов, работающих в условиях абразивного и ударно-абразивного износа, широкое распространение нашли белые износостойкие чугуны. Это группа хромистых, марганцово-хромистых, никель-хромистых, хромомолибденовых и ванадиевых чугунов.