

## РАЗРАБОТКА ПЕСЧАНО-СМОЛЯНОЙ СМЕСИ С ВЫСОКИМИ ПРОТИВОПРИГАРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

В.А. Марков, К.В. Мамаев, К.Е. Нефедов, Е.В. Маркова

В литейном производстве при изготовлении большинства отливок применяют стержни. Причем более 80 % всей номенклатуры стержней массового производства изготавливаются на высокопроизводительных пескодувных и пескострельных машинах из стержневых смесей на основе органических связующих, в том числе смол. В свою очередь качество внутренних литых поверхностей отливок из железоуглеродистых сплавов в значительной степени определяется низкой термостойкостью песчано-смоляных стержневых смесей при температурах более 1000 °С. Из-за низкой термостойкости таких смесей наиболее распространенным методом предотвращения пригара и повышенной шероховатости поверхностей отливки является нанесение на поверхность стержня более термостойких, чем сама смесь, противопригарных покрытий.

Специфика образования пригара отливок из железоуглеродистых сплавов при использовании песчано-смоляных смесей связана преимущественно с термостойкостью собственно связующего или, что то же самое, с потерей его прочности при нагреве. Само понятие термостойкости смесей возникло в литейном производстве в связи с появлением связующих – синтетических смол, которые подвергаются при заливке формы металлом деструкции со значительной потерей массы. Дело в том, что связующее имеет более низкую термостойкость, чем наполнитель смеси, поэтому связующее является лимитирующим звеном термической стойкости облицовочного слоя смеси. Механизм проникновения пригарной жидкости здесь не вполне совпадает с известными для смесей других типов, например, песчано-глинистых или песчано-жидкостекольных, представлениями о возникновении пригара. При температурах заливки железоуглеродистых сплавов в форму 1300-1650 °С, поверхностные слои формы или стержня, связанные смолой, при контакте с жидким металлом подвергаются быстрому высокотемпературному нагреву. В момент заливки формы контактный слой смеси глубиной до 1,0 мм прогревается до температуры металла, а слой смеси до 10,0 мм до температуры 800-1100 °С. при этом скорость нагрева смеси в этом случае достигает величины 400-500 °С/мин.

По мнению некоторых исследователей в таких жестких условиях термического удара

важнейшим качеством, характеризующим термостойкость смоляных связующих, является их способность при нагреве образовывать углеподобный продукт – кокс, обладающий вязкими свойствами и временно сохраняющий функции связующего при высоких температурах. Роль кокса в сопротивлении формы воздействию жидкого металла определяется тем, что он в отличие от исходного полимера (смолы) может существовать некоторое время при температуре до 3000 °С. Термостойкость смеси – это время сохранения ее прочности при определенных условиях нагружения и нагрева, то термостойкость смеси складывается из периода деструкции связующего и периода существования кокса. Таким образом, термостойкость, как свойство, имеющее для стержневых смесей разность времени, удобнее применять в тех случаях, когда анализируется кинетика образования пригара, при сопоставлении определенных стадий затвердевания и охлаждения отливки с поведением смеси. Сообразно с этим для предотвращения возникновения пригара литых поверхностей при использовании песчано-смоляных смесей в условиях заливки высокотемпературных железоуглеродистых сплавов необходимо, чтобы время, требуемое для образования корочки металла на поверхности отливки, было меньше, чем время разупрочнения поверхности формы или стержня.

Изложенные профессорами С.С. Жуковским и А.М. Ляссом представления о природе термостойкости песчано-смоляных смесей указывают два пути ее повышения. Первый заключается в применении различных методов упрочнения смеси, обеспечивающих максимальный выход кокса при деструкции связующего в результате контакта смеси с жидким металлом при заливке формы. На практике этого добиваются, например, выбором оптимального соотношения связующего и катализатора. Дело тут в том, что термостойкость полимера – отвержденного смоляного связующего кинетика его деструкции при высоких температурах, количество и прочность образующегося кокса напрямую зависят от свойств радикалов исходного полимера – степени сшивки молекулярных цепей, химического строения, наличия примесей катализаторов и других условий отверждения. Использование катализатора с одной стороны изменяет кинетику

тику отверждения связующего, увеличивает степень его отверждения, которая напрямую связана с термостойкостью смолы, так как указывает на степень завершенности трехмерной сшивки полимера. С другой стороны сам катализатор обладает пониженной собственной термостойкостью, что снижает общую термостойкость смолы.

Второй путь повышения термостойкости смоляных связующих и смесей на их основе связан с применением специальных тонкодисперсных добавок, которые могут дать повышение выхода и прочности твердого коксового остатка, то есть материалов хорошо сочетающихся со смолой и термостойких при температурах 1100-1200 °С. В качестве таких добавок в песчано-смоляных смесях используются и наиболее эффективны высокоогнеупорные, тонкодисперсные порошки маршалита, циркона и графита в количествах 5-20 % от массы связующего, что, исходя из применяемых составов песчано-смоляных смесей на основе кварцевого песка, составляет величину не более 1,5 % массы наполнителя. Следует сказать, что такое содержание добавки в смеси значительно меньше той величины содержания тонкодисперсных огнеупорных добавок, применяемых для улучшения поровой структуры литейных смесей, которая в зависимости от типа добавки (ее плотности) может составлять от 20 до 40 % массы наполнителя. По данным С.С. Жуковского при одинаковом 20 % - ном содержании маршалита, циркона и графита в связующем – фенольной смоле ОФ-1 с катализатором БСК коксовое число, косвенно характеризующее термостойкость, этих связующих композиций составляет соответственно 55 %, 56 % и 69 %. В сравнении, что без добавок коксовое число смолы ОФ-1 с БСК имеет значение 45 %. Аналогично влиянию добавок на коксовое число связующего, термостойкость песчано-смоляных смесей с этими добавками также заметно возрастает. Так, например, в условиях заливки железоуглеродистых сплавов в наиболее опасном интервале температур 1000-1300 °С термостойкость песчано-смоляной смеси на основе смолы ОФ-1 с БСК и добавками маршалита и графита увеличиваются соответственно в 2 и 5 раз, относительно смесей без этих добавок с таким же содержанием связующего.

Интересно, что молотый графит является добавкой больше всех увеличивающих коксовое число связующего и термостойкость песчано-смоляной смеси на ее основе. Вероятнее всего это происходит благодаря существующему родству двух углеродных мате-

риалов графита и, образующегося при деструкции смолы, кокса, связывающегося за счет образования углерод-углеродных связей с частицами графита и вместе составляющие прочную углеродную композицию. В результате при термодеструкции связующего относительно большее количество более прочного, стойкого к окислению при высоких температурах коксового остатка дольше время, чем при использовании других добавок, способствующего сохранению прочности поверхностных слоев стержня в условиях высоких температур и давления жидкого металла.

Однако тонкодисперсные пылевидные добавки, имеющие размеры значительно меньшие толщин пленок связующего на зернах наполнителя, находясь в полимерной матрице отвержденного связующего, являются разделяющей механической примесью, ослабляющей пленки и манжеты связующего. За счет чего снижается когезионная прочность связующего и общая прочность песчано-смоляной смеси в холодном отвержденном состоянии. Так прочность связи (адгезия) различных смол с кварцем (маршалит - это молотый кварц) составляет величину 3,6-12 МПа, тогда как когезионная прочность этих же смол составляет значительно большую величину 20-120 МПа. Например, характеризующий адгезию связующего и твердой добавки угол смачивания графита смолой составляет величину 80 °, что близко к полной несмачиваемости. Поэтому эти добавки являются неактивными или инертным по отношению к смоляному связующему, то есть другими словами образуют непрочную связь с молекулами или олигомерами смолы.

Исходя из, рассмотренных выше, возможных путей повышения термостойкости песчано-смоляных смесей возникла идея использования такой добавки в смесь, которая, выполняя все требования, одновременно обеспечит большую степень завершенности трехмерной сшивки смолы, хорошо сочетается со смолой (обладает с ней хорошей адгезией или прочностью связи) и образующимся при деструкции смолы коксом и имеет собственную высокую термостойкость.

В качестве такой добавки возможно, например использование ультрадисперсного пироуглерода (УДП), представляющего собой активный порошкообразный углеродный материал, образующийся при неполном сгорании или термическом разложении (пиролизе) углеводородов в газовой среде. Активность УДП обусловлена, прежде всего, его развитой активной поверхностью с большим количеством открытых углеродных связей и ад-

## РАЗРАБОТКА ПЕСЧАНО-СМОЛЯНОЙ СМЕСИ С ВЫСОКИМИ ПРОТИВОПРИГАРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

сорбированных в основном кислородсодержащих групп (гидроксильных, карбонильных, лактонных и карбоксильных) способных взаимодействовать с функциональными группами других соединений, в частности, литейных связующих. Кроме того, УДП обладает более высокой стойкостью к окислению при высоких температурах в сравнении с обычно используемыми при приготовлении огнеупорных покрытий (красок, паст, натирок, припылов) для чугунного литья серебристым графитом (кристаллический графит марок ГЛ) и черным графитом (скрытокристаллический марок ГЛС). Средний размер частиц выбранного для исследований УДП имел величину 25-35 нм, а удельная поверхность соответственно составляла 75-130 м<sup>2</sup>/г. В качестве сравнения следует сказать, что средний размер частиц высокодисперсных огнеупорных наполнителей (циркон, дистен-силлиманит, кварц, оливин, дунит, графит и др.) противопригарных красок и добавок в смесь обычно используемых в литейном производстве составляет величину не менее 2 мкм, а их удельная поверхность не превышает 0,7 м<sup>2</sup>/г.

Для исследования влияния добавки УДП на физико-механические и технологические свойства смесей использовалась стержневая песчано-смоляная смесь горячего отверждения на основе фенолокарбамидной связующей композиции, представляющей собой 20 % раствор карбамида (ГОСТ 2081-92) в фенолоспиртах РС 1027 (ТУ 6-07-503-96). Данная связующая композиция нашла широкое применение в литейном производстве для смесей горячего отверждения (Hot-box процесс) и, в частности, используется в чугунолитейном цехе предприятия ОАО "Алтайдизель" для пескострельного изготовления по горячим ящикам стержней чугуновых отливок. В качестве наполнителя в исследуемых смесях использовался кварцевый формовочный песок марки 2K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>O<sub>2</sub> (ГОСТ 2138-91) Балашейского горно-обогатительного комбината с массовой долей глинистой составляющей 0,3 %.

Для получения однородной стержневой смеси с наилучшими структурно-механическими свойствами при заданном соотношении компонентов смеси первоначально определялся рациональный порядок загрузки компонентов в смеситель (бегуны) и продолжительность их перемешивания. При этом использовались основные теоретические предпосылки и практические рекомендации работы А. А. Бречко. Оптимальная последовательность введения и перемешивания компонентов стержневой смеси определялась исследованием всех возможных вариантов

ввода. Равномерность распределения компонентов стержневой смеси и качество смешивания оценивалось микроскопическими исследованиями раскрошенных на отдельные зерна отвержденных стержней при помощи стереоскопического микроскопа МБС-10 при увеличении 100 крат. Исходя из проведенных исследований, было установлено, что первым после наполнителя необходимо вводить добавку УДП, а затем связующее. Для получения однородной смеси сухих компонентов - наполнитель и порошок УДП было достаточно 1 минуты их перемешивания. После ввода связующего смесь готовилась еще 6 минут. Меньшее время перемешивания смеси не обеспечивало достаточной однородности смеси, а увеличение продолжительности перемешивания смеси более 7 минут приводило к ухудшению ее структурно-механических свойств, вероятнее всего, вследствие механодеструкции молекул связующего и дробления зерен наполнителя в смесителе.

Известно, что по реологическим свойствам связующего или связующей композиции можно качественно прогнозировать структурно-механические свойства смесей на их основе. В свою очередь, реологические свойства смеси определяют метод уплотнения и конкретный рабочий процесс, при которых гарантируется получение стержней необходимого качества. Таким образом, для определения влияния содержания УДП в стержневой смеси на пластические свойства смеси проводились исследования зависимости условной вязкости связующей композиции смола + УДП. Целью исследований являлось определение критической концентрации УДП в связующем, соответствующей переходу смеси первого рода (для которых исходная или "сырая" прочность формируется преимущественно за счет капиллярных сил) на основе этой связующей композиции в смесь второго рода (для которых "сырая" прочность формируется за счет пластических свойств связующей композиции). Критической концентрацией в этом случае является такое содержание дисперсной фазы УДП, при котором зависимость вязкости от содержания перестает подчиняться линейному закону, то есть связующая композиция приобретает пластические свойства.

Исследования вязкости показало, что с увеличением содержания УДП вязкость связующей композиции возрастает (рисунок 1, а). При объемных концентрациях  $c_{удп}$ , меньших 5 %, относительное повышение вязкости пропорционально  $c_{удп}$ , то есть для связующей композиции справедливо известно

уравнение А. Эйнштейна (рисунок 1, а, линия 1). Увеличение объемной концентрации  $c_{удп}$  более критического значения 7 - 8 % ведет к резкому повышению вязкости (рисунок 1, а, кривая 2), что, во-первых, свидетельствует о начале перехода от текучей консистенции связующей композиции к пластической, во-вторых, соответствует моменту образования в связующем структурной сетки из частиц УДП.

Зависимость критического массового содержания УДП  $m_{удп}$  в стержневой смеси от массового содержания связующего  $m_{св}$  в стержневой смеси при условии, что объемное содержание УДП  $c_{удп}$  в связующей композиции составляет 8 %, представлена на рисунке 1, б. Область над прямой соответствует области существования пластичных смесей второго рода, а область под прямой, соответственно, области существования сыпучих смесей первого рода. Таким образом, в исследуемой стержневой смеси при изменении содержания связующего от 4 до 6 % критическое значение содержания УДП изменялось от 0,6 до 0,9 %.

Далее из разнообразных свойств песчано-смоляных стержневых смесей исследованию подвергались физико-механические и технологические свойства смесей, определяющие качество стержня, а также косвенно или напрямую влияющие на качество отливки и в частности на формирование шероховатости литых поверхностей и возможность образования пригара отливок. При испытании свойств стержневых смесей варьировалось содержание основных компонентов смеси – добавки УДП и связующего.

Благодаря тому, что в смесях первого рода “сырая” прочность и текучесть обуслов-

лены одинаковыми физико-химическими факторами, текучесть или способность смеси заполнять оснастку при пескострельном процессе уплотнения косвенно оценивались по пределу прочности смеси при сжатии в сыром состоянии. Исследования “сырой” прочности (рисунок 2) показали, что при одинаковом содержании связующего и при увеличении содержания УДП в смеси “сырая” прочность сначала уменьшается, достигая минимума при содержании УДП 0,1-0,3 %, а затем резко возрастает, достигая максимума при содержании УДП 0,7-0,9 %. Причем при содержании связующего в смесях 4,5-6,0 % и УДП 0,7-0,9 % значения “сырой” прочности превышают верхний допустимый предел в 4,5 кПа. Важно, что максимум “сырой” прочности соответствует достижению содержания УДП в связующем и смеси критической концентрации, то есть моменту приобретения связующей композиции пластических свойств (см. рисунок 1, а). Таким образом, значение “сырой” прочности 4,5 кПа является критической величиной и соответствует началу перехода сыпучих смесей к пластичным (рисунок 1, б). К тому же приобретение связующей композицией и смеси на ее основе пластических свойств уже требует для уплотнения и качественного заполнения оснастки, гарантирующих получение стержня необходимого качества, более мощных, чем пескострельный способ, средств уплотнения, таких как прессование, встряхивание или других. Это согласуется с данными профессора С.С. Жуковского, по которым границе перехода соответствует предел прочности смесей при сжатии в интервале 5-12 кПа.

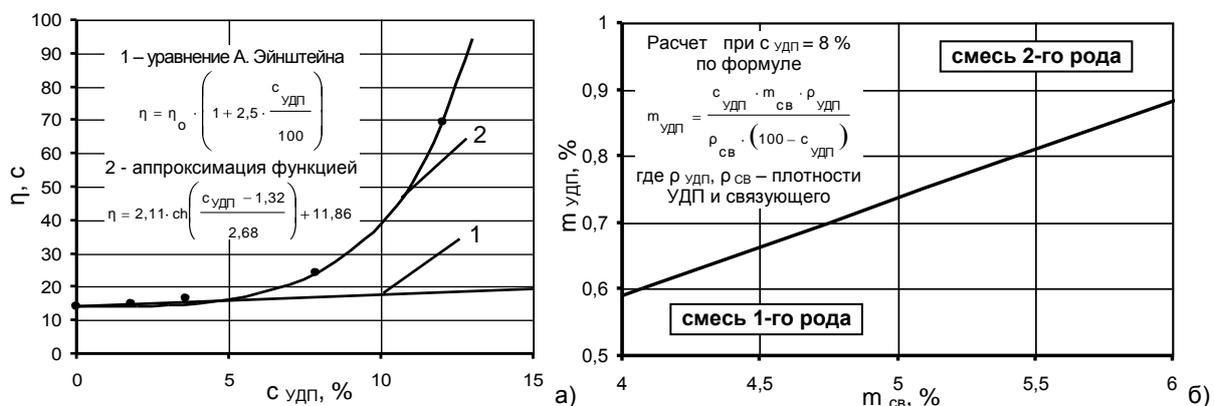


Рисунок 1 – Влияние объемной концентрации УДП ( $c_{удп}$ ) в связующем на условную вязкость  $\eta$  связующей композиции смола + УДП (а) и критическое содержание УДП в стержневой смеси, соответствующее переходу смеси 1-го рода в смесь 2-го рода

## РАЗРАБОТКА ПЕСЧАНО-СМОЛЯНОЙ СМЕСИ С ВЫСОКИМИ ПРОТИВОПРИГАРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

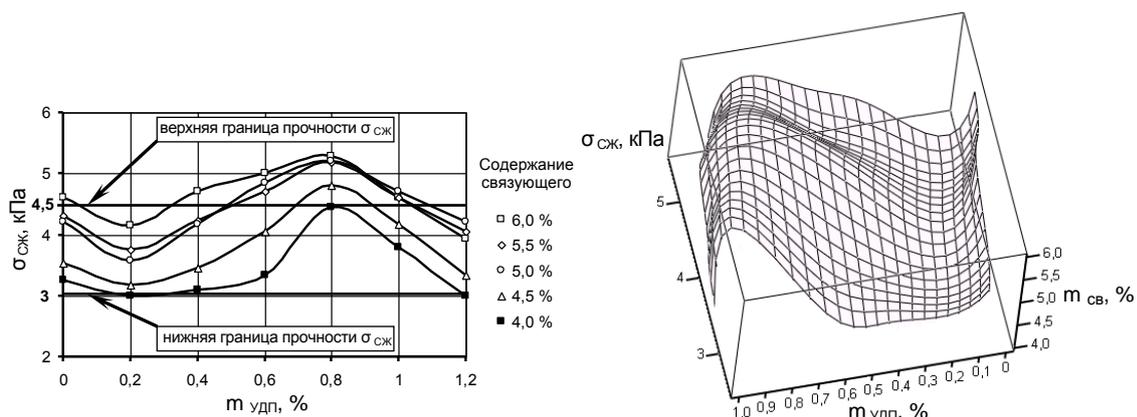


Рисунок 2 – Влияние состава стержневых смесей на прочность при сжатии в неотвержденном состоянии (интерполяция кубическими сплайнами и трехмерная сплайн-интерполяция)

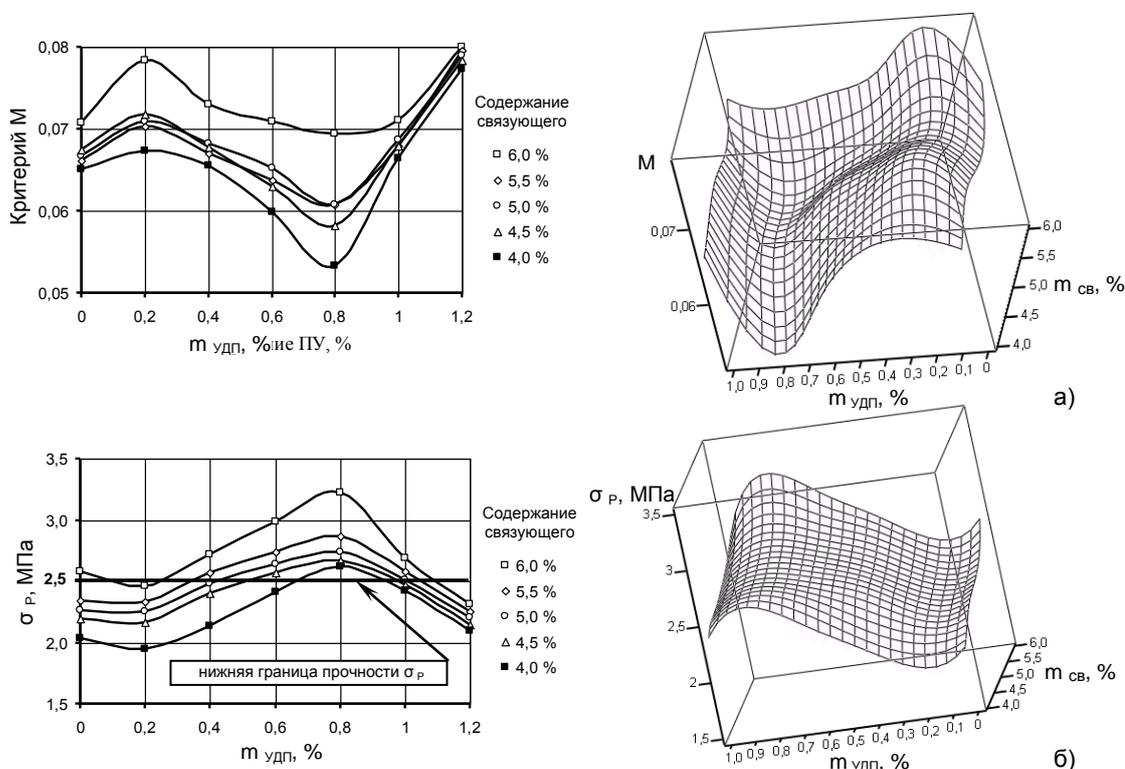


Рисунок 3 – Влияние состава стержневой смеси на газовый режим стержня (а) и на прочность смеси при растяжении в отвержденном состоянии (б) (аппроксимация кубическими сплайнами и трехмерная сплайн-интерполяция)

Анализ результатов исследований газотворной способности смеси, кинетики газовыделений смеси, газового режима стержня (рисунок 3, а), прочности смеси при сжатии в неотвержденном состоянии (рисунок 2), прочности смеси при растяжении в отвержденном состоянии (рисунок 3, б), твердости и осыпаемости смеси показал, что зависимости этих свойств от состава смеси носят

экстремальный характер. Последний факт предполагал существование оптимального состава стержневой смеси, обеспечивающего технологически необходимый уровень свойств смеси.

Оптимизация состава песчано-смоляной стержневой смеси проводилась исходя из условий обеспечения технологически необходимого уровня свойств смеси. При оптимиза-

ции в качестве независимых переменных выступали величины массового содержания в смеси связующего  $m_{св}$  и УДП  $m_{удп}$ , а в качестве параметра оптимизации использовался комплексный критерий

$$\frac{1}{M} \cdot \frac{1}{m_{св}} \cdot \sigma_p \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $M$  - критерий, представляющего собой отношение газотворной способности смеси к её газопроницаемости и характеризующего газовый режим стержня во время заливки формы металлом (см. рисунок 3, а);  $\sigma_p$  - прочности смеси при растяжении в отвержденном состоянии (см. рисунок 3, б). Оптимизация проводилась при условиях, что влажность смеси будет находиться в пределах 1,5-2,8 %, а величина “сырой” прочности, характеризующая текучесть смеси, в пределах 3,0-4,5 кПа. В качестве аппроксимирующих функций при оптимизации использовались установленные уравнения регрессии зависимости свойств смесей от содержания основных компонентов, а также трехмерная кубическая сплайн-интерполяция экспериментальных данных матриц свойств смесей.

Решение задачи оптимизации свойств смеси (1) осуществлялось симплексным методом с автоматическим выбором шага с заданными ограничениями состава и свойств смеси на ЭВМ при помощи специально разработанной программы. Максимальное значение 12,307 параметра оптимизации (1) при значениях “сухой” прочности  $\sigma_p = 2,623$  МПа и критерия  $M = 0,053$  в результате численного решения было достигнуто при значениях независимых переменных  $m_{удп} = 0,82$  % и  $m_{св} = 4,0$  %. Свойства песчано-смоляной стержневой смеси оптимизированного состава в сравнении с требуемыми свойствами смеси представлены в таблице 1.

Для изучения влияния добавки УДП на противоположные свойства стержневых песчано-смоляных смесей чугуном СЧ 20 при температуре 1320 –1340 °С заливалась технологическая проба (рисунок 4, а). Нижняя горизонтальная поверхность пробы контактировала с заформованными в сырую песчано-глинистую смесь стержнями-восьмерками, не имеющими противоположного покрытия. Целью исследований являлась сравнительная оценка противоположных свойств стержневых смесей с оптимальным содержанием связующего 4,0 % и переменным содержанием УДП в смеси с определением возможности использования стержней из исследуемых смесей без противоположного покрытия в условиях чугунного литья.

Таблица 1 – Свойства стержневой песчано-смоляной смеси оптимального состава

Свойства	Свойства смеси оптимального состава	Требуемые значения свойств смеси
1. Влажность, %	1,81	1,5-2,8
2. Газопроницаемость, ед.	172	$\geq 100$
3. Газотворность, см <sup>3</sup> /г	9,21	$\leq 14$
4. “Сырая” прочность, кПа	4,45	3,0-4,5
5. “Сухая” прочность, МПа	2,62	$\geq 2,5$
6. Твердость, ед.	87	-
7. Осыпаемость, %	0,062	$\leq 0,1$

Для оценки чистоты и равномерности шероховатости образцов литых поверхностей технологических проб было проведено до 100 замеров профиля по взаимно перпендикулярным трассам и подсчитаны величины среднего значения и среднеквадратичного отклонения параметра  $Rz$  профиля. Результаты замеров представлены на рисунке 4, б и в.

На основании результатов исследования противоположных свойств стержневых смесей с различным содержанием добавки УДП установлено, что добавка УДП в стержневой смеси в количествах от 0,2 до 1,0 % обеспечивает меньший разброс микронеровностей и более равномерную шероховатость, чем смесь без УДП или смесь с содержанием УДП 1,2 %. Кроме того, содержание в смеси 0,8 % УДП позволяет получить шероховатость литой поверхности по второму классу (ГОСТ 2789-73) с величиной  $Rz$  не более 160 мкм. В этом случае поверхность отливки полностью воспроизводится поверхностью стержня. Действительно для используемого при приготовлении стержневой смеси песка марки 2K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>02 по ГОСТ 2138-91 средний размер зерна составляет 230 мкм, а шероховатость поверхности отливки  $Rz=137$  мкм (см. рисунок 4, б) примерно соответствует величине среднего радиуса зерна.

По результатам исследований можно сделать вывод, что стержневые смеси с содержанием УДП 0,6-0,9 % обладают наилучшими противоположными свойствами. Исходя из того, что при использовании песчано-смоляных смесей для чугунного литья одним из важнейших условий проникновения расплава в смесь и образования пригара отливки является термостойкость связующего, очевидно, что при этом же содержании УДП песчано-смоляные смеси обладают и максимальной термостойкостью. Этот факт дает возможность использовать стержни из смесей с добавкой УДП 0,6-0,9 % без противоположного покрытия.

## РАЗРАБОТКА ПЕСЧАНО-СМОЛЯНОЙ СМЕСИ С ВЫСОКИМИ ПРОТИВОПРИГАРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

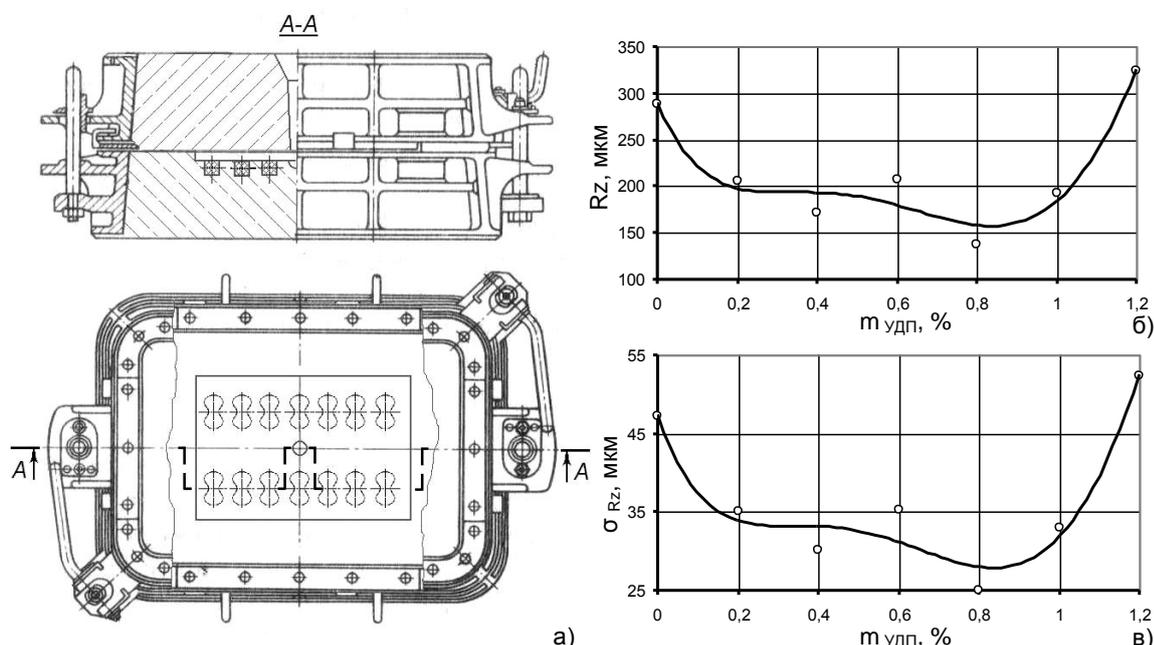


Рисунок 4 – Технологическая проба для сравнительной оценки противопригарных свойств стержневых смесей различного состава (а). Влияние массового содержания добавки УДП  $m_{\text{удп}}$  в стержневой смеси на шероховатость  $Rz$  литой поверхности (б) и на величину среднеквадратичного отклонения параметра  $Rz$  микропрофиля литой поверхности (в) (аппроксимация полиномом 5-ой степени)

Производственные испытания разработанной стержневой песчано-смоляной смеси с добавкой УДП были проведены в чугунолитейном цехе предприятия ОАО «Алтайдизель» при изготовлении чугунных отливок детали дизельного двигателя «выхлопной коллектор» (см. рисунок 5, а и б). Требования к чистоте внутренней литой поверхности, формируемой песчано-смоляным стержнем, было установлено исходя из служебных свойств и функционального назначения этой отливки – обеспечение минимального сопротивления движению потоков выхлопных газов дизельного двигателя. В соответствии со спецификой производства и эксплуатации дизельных двигателей, а также для удовлетворения требований улучшения их рабочих параметров (мощности, удельного расхода топлива) внутренняя поверхность отливки «выхлопной коллектор» должна иметь класс шероховатости не ниже второго с высотой неровностей  $Rz$  по ГОСТ 2789-73 от 80 до 160  $\mu\text{m}$ . Только в этом случае исключается необходимость в ее последующей трудоемкой абразивной обработке. На предприятии для получения гладкой внутренней поверхности отливки «выхлопной коллектор» и, соответственно,

для придания определенного уровня термостойкости и противопригарных свойств стержням по базовой технологии поверхности песчано-смоляных стержней покрываются вручную противопригарной пастой – графитовой натиркой. После чего проводится сушка противопригарного покрытия в течение 10-15 мин.

Песчано-смоляная смесь с добавкой УДП, используемая для изготовления экспериментальных стержней отливки «выхлопной коллектор», содержала добавку УДП в количестве 0,8 % и 4,0 % фенолокарбамидной связующей композиции. Базовая смесь содержала 6,0 % этого же связующего. Для улучшения теплопроводности и скорости отверждения в составе базовой смеси присутствовала также добавка железного сурика ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) в количестве 0,4 %. В исследуемых же смесях эту функцию выполняла добавка УДП, отличающаяся также сравнительно высокой собственной теплопроводностью. Все стержни изготовлялись на пескострельной машине 4705 Б по нагреваемой оснастке.

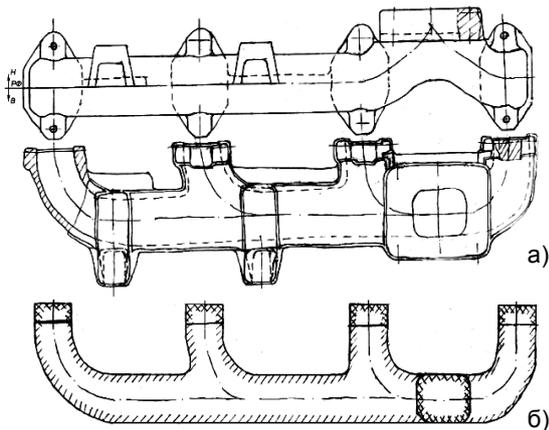


Рисунок 5 – Эскиз отливки “выхлопной коллектор” (а) и эскиз песчаного стержня отливки “выхлопной коллектор” (б)

В форме из песчано-глинистой смеси располагалось две отливки, что позволяло в одну форму устанавливать несколько вариантов сочетаний стержней из различных смесей с противопрigarным покрытием и без:

- 1) базовый стержень с противопрigarным покрытием и стержень из песчано-смоляной смеси с добавкой УДП;
- 2) базовый стержень с противопрigarным покрытием и базовый стержень без противопрigarного покрытия;
- 3) базовый стержень без противопрigarного покрытия и стержень из песчано-смоляной смеси с добавкой УДП.

Чугун СЧ 20 выплавлялся в вагранке и заливался в форму при температуре 1320-1340 °С. Для исследования воспроизводимости результатов производственного эксперимента и исключения ошибки по каждому из вариантов была изготовлена опытная партия отливок. Качество внутренних литых поверхностей отливок “выхлопной коллектор” оценивалось визуально, а для количественной экспертной оценки их шероховатости проводилось измерение микропрофиля поверхностей непосредственно на шлифах, изготовленных по методу П.А. Борсука.

Для оценки равномерности шероховатости образцов было проведено 10 замеров профиля на каждом из образцов по взаимно перпендикулярным направлениям и подсчитана величина среднеквадратичного отклонения величины **Rz** профиля (таблица 2).

При анализе полученных данных (таблица 2) и визуальным осмотром внутренних литых поверхностей отливок установлено, что поверхности, выполненные стержнями из базовой смеси с противопрigarным покрытием и стержнями из смеси с добавкой УДП без противопрigarного покрытия, отличаются более равномерной шероховатостью, соответствующей второму классу по ГОСТ 2789-73, и не имеют пригара. Внутренние же поверхности, оформленные стержнями из базовой смеси без противопрigarного покрытия, имели неравномерную шероховатость с участками образования металлизированного пригара и глубиной проникновения металла в смесь до 1,5 мм. Кроме этого, применение стержней из базовой смеси без противопрigarного покрытия не обеспечивало требуемой чистоты литых поверхностей.

Таблица 2 – Влияние вида стержня на параметры шероховатости поверхности отливки

Вид стержня	<b>Rz</b> , мкм	Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{Rz}$ , мкм
1. Из смеси с добавкой УДП	128	32
2. Из базовой смеси с противопрigarным покрытием	107	25
3. Из базовой смеси без противопрigarного покрытия	273	48

Таким образом, лабораторные и производственные испытания показали принципиальную возможность повышения прочностных и противопрigarных свойств стержневых смесей за счет использования в их составе добавки УДП. Указанные достоинства стержневых смесей с добавкой УДП при изготовлении чугунных отливок позволяют получить чистую без пригара литую поверхность, без применения противопрigarного покрытия стержня, а также обеспечить требуемую шероховатость литых поверхностей при использовании наполнителя смеси с соответствующим размером зерен и снизить в 1,5 раза расход связующего с сохранением свойств смеси на технологически необходимом уровне.

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.*