

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

В.А. Марков, К.В. Мамаев

В литейном производстве можно улучшить свойства формовочных и стержневых смесей, а также противопригарных покрытий физико-химическими и технологическими средствами, в том числе на стадии подготовки их компонентов. Одним из способов повышения механических или прочностных свойств литейных смесей и покрытий является, например, активация исходных формовочных материалов механическими, химическими и физическими способами. В случае применения активированных наполнителей литейных смесей при сохранении общей прочности на технологически необходимом уровне сокращается пропорционально росту удельной прочности расход связующего, уменьшается газотворная способность смеси, отливка формируется в более благоприятных условиях – в результате улучшается ее качество.

В частности, в литейном производстве в качестве добавки, улучшающей технологические и физико-механические свойства смесей или противопригарных покрытий, используется тонкодисперсный порошок графита, требующий для улучшения свойств смеси или покрытия при приготовлении порошка предварительного и окончательного помола и механоактивации.

Однако отечественная и зарубежная промышленности для резинотехнической промышленности производят ультрадисперсный пироуглерод (УДП) по ГОСТ 7885-86 или по стандарту США ASTM D 1765-85 в готовом виде, не требующем дополнительной специальной обработки или активации, представляющий собой порошкообразный, активный углеродный материал, образующийся при неполном сгорании или термическом разложении (пиролизе) углеводородов в газовой среде. Исходя из анализа теоретических и практических данных по механизму усиливающего действия УДП в полимерах (пластических массах и резинах), разработанного достаточно полно, установлено, что на механические свойства наполненных УДП полимеров оказывает

влияние структурность УДП (способность армировать твердую полимерную матрицу), активность УДП (способность образовывать прочную связь УДП-полимер) и способность УДП образовывать в жидком полимере непрерывные коагуляционные структуры, на которых, как на матрице, образуется при отверждении полимера (связующего) пленка высокопрочного ориентированного полимера.

Из большого многообразия марок УДП, обладающих различными свойствами, произведен выбор наиболее пригодного типа УДП в случае его использования в качестве добавки в литейных смесях. Исходя из различных свойств УДП, таких как активность (определяется количеством открытых связей и адсорбированных, в основном кислородсодержащих групп), дисперсность частиц, структурность и стоимость выбран пироуглерод марки П324 (ГОСТ 7885-86), отличающийся средними структурностью, дисперсностью (диаметр частиц $35 \cdot 10^{-9}$ м) и самой низкой величиной содержания бензапирена (0,37 мг/кг), одного из показателей канцерогенности органических соединений, определяющего влияние на санитарно-гигиенические условия труда в литейном цехе. Кроме этого УДП марки П324 обладает также высокой собственной термостойкостью (1470-1600 °С).

Для изучения влияния добавки УДП на физико-механические и технологические свойства стержневых смесей использовалась песчано-смоляная смесь горячего отверждения на основе фенолокарбамидной связующей композиции, представляющей собой 20 % раствор карбамида (ГОСТ 2081-92) в фенолоспиртах (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 стержней чугунных отливок «выхлопной коллектор». Как наполнитель в исследуемых смесях использовался кварцевый формовочный песок марки 2K₂O₃O₂ (ГОСТ 2138-91) Балашейского горно-обогатительного

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

комбината с массовой долей глинистой составляющей не более 0,3 %. Требования к чистоте внутренних литых поверхностей отливки “выхлопной коллектор”, выполненных песчано-смоляным стержнем, были установлены исходя из функционального назначения этой отливки и предъявляемых к ней требованиям - 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 по ГОСТ 2789-73 Rz от 80 до 160 мкм. В этом случае исключается необходимость последующей трудоемкой абразивной обработки внутренней литой поверхности отливки.

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 стержня 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 смеси 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 показали, что с увеличением содержания УДП в связующем вязкость связующей композиции возрастает (рис. 1). Зависимость условной вязкости η от объемной концентрации $c_{\text{УДП}}$ порошка УДП (см. рис. 1) хорошо с величиной

достоверности аппроксимации $R^2 = 0,998$ описывается уравнением

$$\eta = 2,107 \cdot ch \left(\frac{c_{\text{УДП}} - 1,323}{2,677} \right) + 11,859. \quad (1)$$

При объемных концентрациях $c_{\text{УДП}}$, меньших 5 %, относительное повышение вязкости пропорционально $c_{\text{УДП}}$ (рис. 1), т.е. для связующей композиции справедливо известное уравнение А. Эйнштейна

$$\eta = \eta_o \cdot \left(1 + 2,5 \cdot \frac{c_{\text{УДП}}}{100} \right). \quad (2)$$

Увеличение объемной концентрации УДП более критического значения 7-8 % ведет к резкому повышению вязкости, что, во-первых, соответствует началу перехода от текучей консистенции связующей композиции к пластической, во-вторых, соответствует моменту образования в связующем структурной сетки из частиц УДП. Кроме этого, приобретение связующей композицией пластических свойств уже требует для уплотнения смеси и качественного заполнения оснастки более мощных средств уплотнения, таких как прессование,

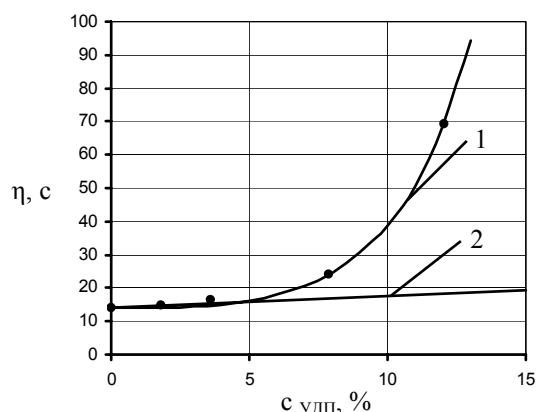


Рис. 1. Влияние объемной концентрации УДП в смоле на условную вязкость связующей композиции смола + УДП: 1 - аппроксимация по формуле (1); 2 - аппроксимация по формуле (2).

встряхивание и др.

Зависимость критического массового содержания УДП $m_{\text{кр}}$ в стержневой смеси от содержания связующего $m_{\text{св}}$ в смеси при условии, что объемное содержание УДП $c_{\text{кр}}$ в связующей композиции составляет 8%, представлена на рис. 2. Область над прямой соответствует достижению концентрации УДП

в связующей композиции, большей критической, и существованию пластичных смесей второго рода, а область под прямой, соответственно, меньшей критической и существованию сыпучих смесей первого рода. Критическое содержание УДП в стержневой смеси, соответствующее переходу из смеси 1-го рода в смесь 2-го рода, рассчитывается при $c_{кр} = 8\%$ по формуле

$$m_{кр} = \frac{c_{кр} \cdot m_{св} \cdot \rho_{УДП}}{\rho_{св} \cdot (100 - c_{кр})}, \quad (3)$$

где $\rho_{удп}$, $\rho_{св}$ – плотности соответственно УДП и связующего. Таким образом, в исследуемой стержневой смеси при изменении содержания связующего от 4 до 6 % критическое значение содержания УДП

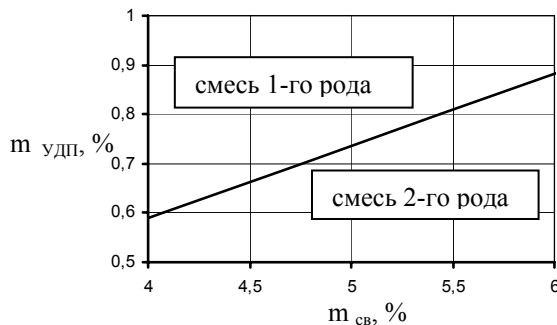


Рис. 2. Критическое содержание УДП в стержневой смеси, соответствующее переходу смеси 1-го рода в смесь 2-го рода.

изменялось от 0,6 до 0,9 %.

Для получения однородной стержневой смеси с наилучшими структурно-механическими свойствами при заданном соотношении компонентов смеси первоначально устанавливался правильный порядок загрузки компонентов в смеситель и продолжительность их перемешивания. Рациональная последовательность введения и перемешивания компонентов стержневой смеси определялась исследованием всех возможных вариантов ввода. Равномерность распределения компонентов стержневой смеси и качество смешивания оценивалось микроскопическими исследованиями раскошенных на отдельные зерна отвержденных стержней при помощи стереоскопического микроскопа МБС-10 при увеличении 100 крат. Исходя из проведенных исследований, установлено, что первым после наполнителя необходимо вводить пылевидную противопригарную добавку УДП, а затем связующее. Для получения однородной смеси сухих компонентов было

достаточно 1 мин их смешивания. После добавки в смесь связующего смесь еще готовилась 6 мин. Меньшее время смешивания смеси не обеспечивало достаточной однородности смеси, а увеличение продолжительности перемешивания смеси более 7 мин приводило к ухудшению ее структурно-механических свойств, вероятнее всего вследствие дробления зерен песка в смесителе.

Перед исследованиями свойств стержневых смесей была определена матрица плана эксперимента. На основании исходных данных, теоретических предположений и практического опыта применения тонкодисперсных добавок и использования песчано-смоляных смесей в смесях интервал варьирования содержания связующего в исследуемых смесях был выбран от 4 до 6 % (6 % содержание связующего в базовой цеховой стержневой смеси) с шагом 0,5 %, а содержание добавки УДП изменялось от 0,2 до 1,2 % с шагом 0,2 %. Во всех случаях содержание компонентов смеси определялось сверх 100 % наполнителя.

Из разнообразных свойств песчано-смоляных стержневых смесей исследованию подвергались физико-механические и технологические свойства смесей, определяющие качество стержня и отливки.

Влажность смеси, а именно водяной пар, выделяющийся из песчано-смоляной смеси при тепловом воздействии жидкого чугуна, может не только окислять компоненты сплава, в частности железо, но и оказывает влияние на взаимодействие окислов железа с наполнителем смеси, тем самым способствуя возникновению химического пригара. Исследования влажности стержневых смесей и анализ его результатов позволили заключить, что влажность смеси $w_{см}$ состоит из влажностей отдельных компонентов смеси:

$$w_{см} = \frac{m_n \cdot w_n + m_{св} \cdot w_{св} + m_{УДП} \cdot w_{УДП}}{m_n + m_{св} + m_{УДП}}, \quad (4)$$

где m_n , $m_{св}$, $m_{удп}$ – массовые доли песка, связующего и УДП в стержневой смеси; w_n , $w_{св}$, $w_{удп}$ – влажности песка, связующего и УДП. Результаты исследования влажности показали, что при увеличении содержания УДП и при постоянном содержании связующего в смеси влажность смесей несколько уменьшается, но во всех случаях находится в допустимых пределах 1,5-2,8 %.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

Газопроницаемость смеси является показательной технологической характеристикой противопопригарных свойств смеси, учитывающей в основном гидравлический аспект проникновения расплава в смесь и возникновение пригара. Исследования газопроницаемости и анализ полученных данных позволили установить, что газопроницаемость песчано-смоляных стержневых смесей в заданных пределах изменения содержания связующего $m_{св}$ и УДП $m_{удп}$ достаточно точно с величиной достоверности аппроксимации $R^2=0,8$ можно выразить формулой

$$K = 0,489 \cdot m_{ПУ} + 11,8 \cdot m_{св} + 124,8 \quad (5)$$

Данные исследований и формула 5 показали, что газопроницаемость стержневой смеси при постоянном содержании связующего и увеличении содержания УДП в смеси незначительно возрастает. При этом для смесей различного состава газопроницаемость не опускается ниже допустимого предела в 100 ед. Кроме этого исследования газопроницаемости подтвердили известную закономерность, что при малом объемном содержании связующего или связующей композиции в смеси, связующее, покрывая зерна песка тонкой пленкой, во-первых, сглаживает шероховатость зерен, во-вторых, увеличивает условный диаметр зерен, что уменьшает сопротивление прохода газов, увеличивает размер пор и соответственно увеличивает

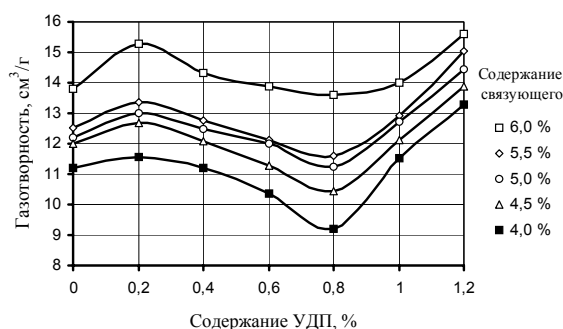


Рис. 3. Влияние состава стержневых смесей на газотворную способность (интерполяция кубическими сплайнами).

газопроницаемость.

Газотворная способность стержневых смесей определялась косвенным методом в условиях, максимально приближенных к реальным условиям литейной формы, - газификацией смеси при 1000 °С в собственной восстановительной атмосфере газообразных продуктов деструкции смолы. Анализ данных исследования газотворности (рис. 3) позволил заключить, что при

одинаковом содержании связующего и при увеличении содержания УДП в смеси газотворность сначала возрастает, достигая максимума при концентрации УДП 0,1-0,3 %, затем резко снижается, достигая минимума при содержании УДП 0,7-0,9 %. Причем в сравнении со смесями без добавки УДП снижение газотворности в зависимости от содержания связующего достигает 1,5-17,9 %. Кроме этого при содержании УДП 0,7-0,9 % в смесях с 4,0-6,0 % связующего газотворная способность смесей находится ниже допустимого уровня в 14,0 см³/г. Интересно, что несмотря на увеличение в стержневых смесях за счет УДП содержания общего углерода, способного при его окислении образовывать газ (СО или СО₂), в интервале содержания УДП 0,2-0,8 % газотворность смеси снижается. Очевидно, что в этом случае снижение газотворной способности смеси можно объяснить увеличением термостойкости смолы и стержневой смеси на ее основе за счет образования сравнительно большего количества более прочного, армированного частицами УДП, коксового остатка смолы, обладающего большей стойкостью к окислению при высоких температурах. Таким образом, по объему выделившихся при нагревании смеси газов можно косвенно

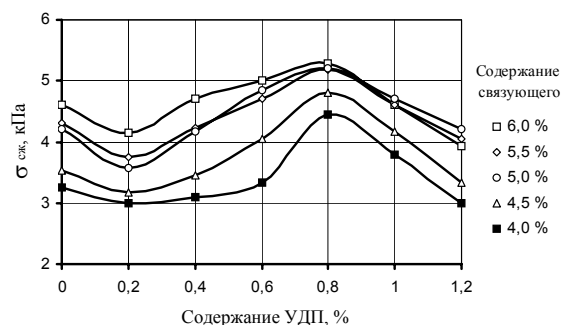


Рис. 4. Влияние состава стержневых смесей на прочность при сжатии в сыром состоянии (интерполяция кубическими сплайнами).

судить о термостойкости песчано-смоляных смесей, а значит и о возможности образования пригара при литье высокотемпературных сплавов.

Благодаря тому, что "сырая" прочность и текучесть стержневых смесей обусловлены одинаковыми физико-химическими факторами, текучесть песчано-смоляных стержневых смесей косвенно оценивалась по пределу прочности при сжатии в сыром состоянии. Исследования "сырой" прочности (рис. 4) показали, что при одинаковом содержании связующего и при увеличении

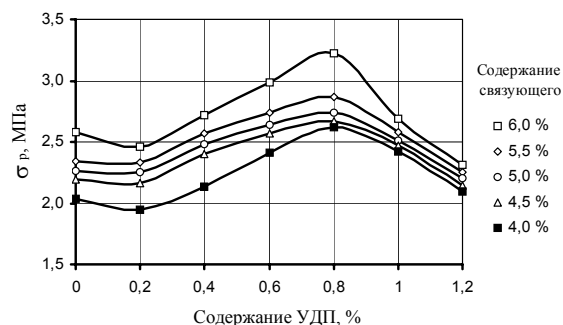


Рис. 5. Влияние состава стержневых смесей на прочность при растяжении в отвержденном состоянии (интерполяция кубическими

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 %. 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. Интересно, что максимум “сырой” прочности соответствует достижению содержания УДП в связующем и смеси критической концентрации, то есть моменту приобретения связующей композицией пластических свойств. Таким образом, значение “сырой” прочности 4,5 кПа является критической величиной и соответствует началу перехода от сыпучих смесей к пластичным. Это согласуется с данными профессора С.С. Жуковского, по которым границе перехода соответствует предел прочности при сжатии в интервале 5-12 кПа. В частности, для пескострельного изготовления стержней в нагреваемой оснастке на ВАЗе критическое значение “сырой” прочности установлено равным 5 кПа.

Исследованием “сухой” прочности (см. рис. 5) установлено, что при одинаковом содержании связующего и при увеличении содержания УДП в смесях прочность на разрыв в отвержденном состоянии сначала уменьшается, достигая минимума при содержании УДП 0,1-0,3 %, а затем резко возрастает, достигая максимума при содержании УДП 0,7-0,9 %, что соответствует образованию в связующей композиции связующее + УДП коагуляционной сетки из частиц УДП. Причем при содержании связующего в смеси 4,0-6,0 % и содержании УДП 0,7-0,9 % значения прочности отвержденных образцов не опускаются ниже минимального допустимого предела в 2,5 МПа. Наличие максимума на кривых зависимостей прочности на разрыв вероятнее всего связано с двояким влиянием УДП на формирование структурно-механических свойств стержневой смеси. С одной стороны, наличие УДП в смеси и в связующем увеличивает когезионную прочность связующей композиции. С другой стороны, наличие частиц УДП на поверхности зерен песка снижает адгезию связующего к поверхности песка, а рост вязкости и приобретение связующей композицией пластических свойств затрудняет равномерное растекание или распределение связующей композиции по поверхности зерен песка и ухудшает условия формирования стыковых манжет между зёрнами песка при месеприготовлении и уплотнении стержня.

Совместным анализом данных по газотворной способности исследуемых смесей (рис. 3) и прочности смесей в отвержденном состоянии (рис. 5) установлено, что значения этих свойств смеси при одинаковом соотношении компонентов полностью согласуются между собой. Эти два свойства образуют друг с другом обратную зависимость. Здесь минимуму газотворности соответствует максимум прочности на разрыв. Таким образом, полученные данные подтвердили известную в литейном производстве для песчано-смоляных смесей на основе связующего одного класса взаимосвязь термостойкости, в данном случае косвенно характеризующейся газотворностью смеси, и “сухой” прочности, что все технологические меры, способствующие повышению прочности, приводят и к росту термостойкости смесей.

Исследование зависимости твердости стержневых смесей от их состава показало, что эта зависимость подобна по характеру аналогичной зависимости прочности смесей в отвержденном состоянии. При этом между твердостью смесей Т и “сухой” прочностью σ_р существует линейная связь, которая хорошо (с величиной достоверности аппроксимации R²=0,717) описывается формулой

$$T = 7,785 \cdot \sigma_p + 65,847 \quad (6)$$

Таким образом, это подтверждает известный факт существования тесной связи твердости и прочностных свойств смеси, что позволяет по величине твердости, отличающейся достаточной относительной простотой методов определения непосредственно на готовом стержне, судить о его поверхностной и общей прочности.

Исследование осыпаемости (поверхностной прочности) стержневых смесей проводилось исходя из того, что чистота поверхности отливки, выполненной песчаным стержнем, не может быть выше, чем чистота (шероховатость) самого стержня, а осыпаемость стержня при различных манипуляциях с ним (изготовление, обработка, транспортировка, хранение, простановка в форму) напрямую влияет на шероховатость литых поверхностей. Исследованием осыпаемости стержневых смесей установлено, что максимальная

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

осыпаемость и минимум прочности смесей в отвержденном состоянии, как и следовало ожидать, соответствуют содержанию УДП в стержневых смесях 0,1-0,3 %, а минимум осыпаемости и максимум прочности смеси в отвержденном состоянии соответствуют содержанию УДП в интервале 0,7-0,9 %. Причем между осыпаемостью O и "сухой" прочностью σ_p существует определенная связь, которую с величиной достоверности аппроксимации $R^2=0,9997$ можно выразить степенной функцией

$$O = 0,896 \cdot \sigma_p^{-2,763} \quad (7)$$

Оптимизация состава песчано-смоляной стержневой смеси проводилась исходя из обеспечения требуемых значений свойств смеси. При оптимизации 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

$$\frac{1}{M} \cdot \frac{1}{m_{св}} \cdot \sigma_p \rightarrow \max, \quad (8)$$

где M – критерий, определяющий характер газового режима в стержне во время заливки формы (представляет собой отношение газотворности смеси к ее газопроницаемости). Оптимизация проводилась при условиях, что влажность смеси будет находиться в пределах 1,5-2,8 %, а величина "сырой" прочности при сжатии – в пределах 3,0-4,5 кПа. В качестве аппроксимирующих функций при оптимизации использовались установленные уравнения регрессии зависимостей свойств смесей от содержания основных компонентов, а также интерполяция данных матриц свойств смесей кубическими сплайнами. Решение задачи оптимизации свойств смеси осуществлялось симплексным методом с автоматическим выбором шага с заданными ограничениями состава и свойств смеси на ЭВМ в среде математического пакета Mathcad 2000 Professional при помощи специально разработанной программы.

Таблица 1. Свойства стержневой песчано-смоляной смеси оптимального состава

Свойства	Свойства смеси оптимального состава	Требуемые значения свойств
Гидравлические		
1. Влажность, %	1,81	1,5-2,8
2. Газопроница-	172	≥100

емость, ед.		
3. Газотворность, см ³ /г	9,21	≤14
Механические		
1. "Сырая" прочность, кПа	4,45	3,0-4,5
2. "Сухая" прочность, МПа	2,62	≥2,5
3. Твердость, ед.	87	-
4. Осыпаемость, %	0,062	≤0,1

Максимальное значение параметра оптимизации при значениях "сухой" прочности $\sigma_p = 2,623$ МПа, критерия $M = 0,053$ и содержании связующего в стержневой смеси $m_{св} = 4,0$ % в результате численного решения достигнуто при значениях независимых переменных $m_{удп} = 0,82$ % и $m_{св} = 4,0$ %. Свойства песчано-смоляной стержневой смеси оптимизированного состава в сравнения с требуемыми свойствами смеси представлены в табл. 1.

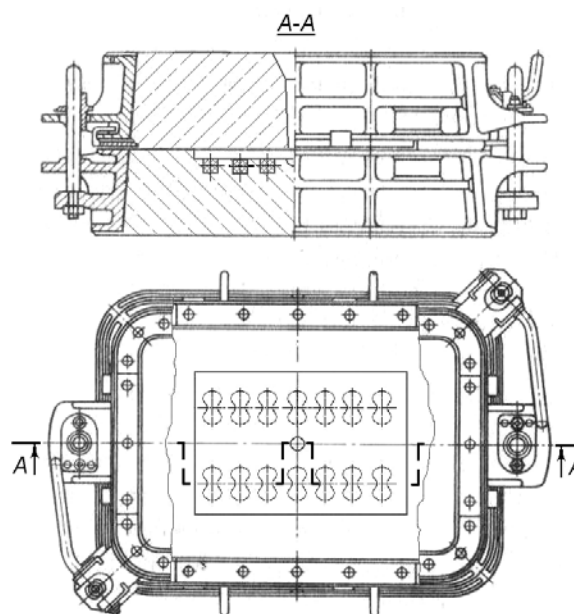


Рис. 6. Технологическая проба для изучения противопригарных свойств стержневых смесей различного состава.

Для изучения влияния добавки УДП на чистоту поверхности отливки изготавливалась технологическая проба, представляющая собой отливку в виде горизонтальной плиты (рис. 6). Проба контактировала нижней поверхностью с заформованными в песчано-глинистую смесь стержнями-восьмерками, изготовленными по две из исследуемых

смесей каждого состава. Таким образом, все образцы смеси как по параметрам изготовления, так и по параметрам плавки и заливки находились в одинаковых условиях влияния факторов, определяющих пригар. Кроме того, в пробе наиболее точно воспроизводились условия изготовления той отливки, для которой разрабатывалась стержневая смесь, в данном случае, для чугунной отливки детали дизельного двигателя “выхлопной коллектор”. В качестве стержневых смесей для изготовления восьмерок использовались смеси с различным 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 и 1,2 %-ным содержанием УДП и 4,0 %-ным содержанием связующего во всех смесях и базовой цеховой стержневой смеси с содержанием этого же связующего 6,0 %. Следует обратить внимание, что используемое количество добавки УДП в стержневой смеси было значительно меньше величины массового содержания 15-20 % (с учетом плотности частиц порошка УДП и пористости реальных уплотненных литейных смесей) обычно применяемых в литейном производстве добавок для уменьшения пористости и улучшения противопригарных свойств смесей.

В форме находилась одна отливка. Для заливки формы была выбрана верхняя литниковая система со свободным уровнем в стояке, при этом металл подводился по центру отливки. Чугун СЧ 20 (ГОСТ 1412-85) выплавлялся в индукционной высокочастотной тигельной печи ИСТ-0,4 И1 и заливался в форму при температуре 1370-1380 °С. Металлостатический напор непосредственно над поверхностью стержней составлял 170 мм.

После охлаждения отливки - технологической пробы отрезным кругом из нее в местах контакта со стержневой смесью вырезались образцы размером 75x25 мм. Для удаления химического пригара от оставшейся стержневой смеси образцы подвергались травлению при температуре 140-150 °С в водном кипящем 45-55 %-ном растворе NaOH в течение 72 часов. Полученные образцы для изготовления шлифов запрессовывались в расплавленную пластмассу – полистирол. Последняя операция необходима для того, чтобы при шлифовании не деформировалась и не разрушалась тонкая структура механического пригара. Качество поверхности, сформированной стержнями-восьмерками, шлифа образцов контролировалось визуально, а измерение глубины проникновения металла и микропрофиля поверхности проводилось

непосредственно на шлифах при помощи микроскопа УИМ-21, имеющего измерительную шкалу. Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789-73 оценивалась параметром Rz на базовой длине 8 мм. На каждом из 28 изготовленных образцах проведено для оценки величины среднеквадратического отклонения значения Rz до 100 замеров профиля, при этом влияние литейных дефектов было исключено, так как по ГОСТ 2789-73 требования к шероховатости поверхности на дефекты не распространяются. Вероятностная оценка проводилась при анализе вариационных рядов распределения. Соответствие законов распределения нормальному определялось по критерию Пирсона. Результаты исследований отражены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что добавка УДП в стержневую смесь в количествах от 0,2 до 1,0 % обеспечивает меньший разброс микронеровностей и более равномерную шероховатость, чем смесь без добавки или смесь с содержанием добавки 1,2 %. Кроме того, содержание в смеси 0,8 % добавки УДП позволяет получить шероховатость литой поверхности по второму классу с величиной Rz не более 160 мкм. То есть поверхность отливки в этом случае полностью воспроизводит поверхность стержня. Действительно, для используемого при приготовлении стержневой смеси песка марки 2K₂O₃02 средний размер зерна составляет 0,23 мм, а шероховатость поверхности отливки Rz=137 мкм (табл. 2) примерно соответствует половине величины радиуса зерна $0,23/2=0,115$ мкм.

Таблица 2. Влияние добавки УДП на противопригарные свойства стержневой смеси

Содержание добавки УДП в смеси, %	Шероховатость Rz, мкм	Среднеквадратическое отклонение σ_{Rz} , мкм
0	288	47
0,2	206	35
0,4	172	30
0,6	208	35
0,8	137	25
1,0	192	33
1,2	324	52

Улучшение чистоты поверхности отливок и снижение пригораемости смеси можно объяснить специфическими свойствами добавки. УДП представляет собой шарообразные частицы со средним размером

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКОЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

35 нм с множеством открытых связей на поверхности частиц, объединенные в развитые агрегаты по 5-20 частиц. За счет чего при оптимальном содержании добавки происходит упрочнение образовавшихся при термодеструкции смолы коксовой оболочки вокруг зерна и коксовых манжет между зернами наполнителя стержневой смеси, непосредственно соприкасающейся с жидким металлом при заливке. При этом прочности манжет достаточно для сопротивления давлению жидкого металла в течение времени контакта жидкого металла со смесью.

Производственные испытания песчано-смоляной смеси с противопригарной добавкой УДП проведены в чугунолитейном цехе предприятия ОАО "Алтайдизель". Песчано-смоляная смесь с добавкой УДП, используемая для изготовления стержневой отливки детали дизельного двигателя "выхлопной коллектор", имела оптимальный состав, т.е. содержала 4,0 % фенолокарбамидной смолы и добавку УДП в количестве 0,8 %. Базовая смесь содержала 6,0 % этого же связующего. Все стержни изготавливались на пескострельной машине 4705 Б по нагреваемой оснастке.

В форме из песчано-глинистой смеси располагались две отливки, что позволяло для сравнительных испытаний в одну форму устанавливать несколько вариантов сочетаний стержней из различных смесей:

- 1) базовый стержень с противопригарным покрытием и стержень из песчано-смоляной смеси с добавкой УДП;
- 2) базовый стержень с противопригарным покрытием и базовый стержень без противопригарного покрытия;
- 3) базовый стержень без противопригарного 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 повторяемости результатов производственного эксперимента и исключения ошибки по каждому из вариантов было изготовлено и залито по две формы. Качество внутренних литых поверхностей отливок "выхлопной коллектор" оценивалось визуально, а для количественной экспертной оценки шероховатости поверхности производились измерения микропрофиля поверхности непосредственно на шлифах, вырезанных из отливок.

Для оценки равномерности шероховатости образцов проведено 10 замеров профиля на каждом из образцов по

взаимно перпендикулярным направлениям и подсчитана величина среднеквадратичного σ_{Rz} отклонения величины Rz профиля.

Таблица 3. Влияние вида стержня на параметры шероховатости поверхности отливки

Вид стержня	Rz , мкм	σ_{Rz} , мкм
1. Из смеси с добавкой УДП	128	32
2. Из базовой смеси с противопригарным покрытием	107	25
3. Из базовой смеси без противопригарного покрытия	273	48

При анализе полученных данных (табл. 3) и визуальным осмотром внутренних литых поверхностей отливок установлено, что поверхности, выполненные стержнями из базовой смеси с противопригарным покрытием и стержнями из смеси с добавкой УДП без противопригарного 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 противопригарного покрытия, имели неравномерную шероховатость (табл. 3) с участками образования металлизированного пригара и глубиной проникновения металла в смесь до 1,5 мм. Кроме этого использование стержней из базовой смеси без противопригарного покрытия не обеспечивало требуемой чистоты литых поверхностей.

Итак, опытно-производственные испытания показали возможность получения требуемой чистоты внутренних литых поверхностей без использования противопригарного покрытия стержня. Ожидаемый экономический эффект от применения разработанного состава песчано-смоляной стержневой смеси с противопригарной добавкой УДП, взамен используемой на предприятии базовой смеси, за счет сокращения расхода материалов, необходимых для изготовления стержней, и трудоемкости изготовления стержней при производстве одной тонны отливок "выхлопной коллектор" составит 586,11 руб., что обеспечит экономию 5,31 % заводской стоимости тонны годного чугуна. При среднемесечном объеме выпуска 1500 дизельных двигателей (36000 штук, или 457,2

тонны отливок “выхлопной коллектор” в год) годовой экономический эффект от внедрения разработанного состава стержневой смеси составит примерно 268 тыс. руб. по ценам первого полугодия 2002 г. По результатам исследований разработанную песчано-смоляную смесь с повышенными противопригарными свойствами планируется использовать для изготовления стержней по нагреваемой оснастке отливок “выхлопной коллектор” и “головка цилиндров”.

Таким образом, лабораторные исследования и производственные испытания стержневой смеси показали принципиальную возможность улучшения прочности и термостойкости стержневых

связующих, и, соответственно, прочностных и противопригарных свойств стержневых смесей на их основе добавкой в смесь УДП. Указанные достоинства стержневых смесей с добавкой УДП дают возможность получить чистую, без пригара, поверхность чугунных отливок без использования противопригарного покрытия стержня, обеспечить требуемую шероховатость литых поверхностей при использовании наполнителя смеси с соответствующим размером частиц и снизить в 1,5 раза расход связующего с сохранением свойств смеси на технологически необходимом уровне.