

14180542
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

И. Е. ПИСАРЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
СВОЙСТВ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ,
ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ,
ПРИ БЕЗОПОЧНОМ ПРОКАЛИВАНИИ И ЗАЛИВКЕ

(Специальность 05,323 — Литейное производство)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
лауреат Государственной премии, кандидат технических
наук, доцент Жевтунов П. П.

Официальные оппоненты:
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор Иванов Д. П.,
кандидат технических наук, доцент Шкленник Я. И.

Ведущее предприятие — Волгоградский тракторный завод.

Автореферат разослан « . . . » 197 г.

Защита диссертации состоится « . . . » 197 г.
на заседании Совета факультета «Автоматизации и механизации производства» МВТУ
Москва, 107005, 2-й корпус, ауд. 205.

Ваши отзывы и предложения по диссертации
просьба высылать в МВТУ по адресу: МВТУ, 107005, 2-й корпус, ауд. 205.

С диссертацией ознакомлены
лица:

Ученый секретарь
к. т. н., доцент А.

M188572



М188572

В директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-75 годы указано, что одним из путей технического прогресса является внедрение передовых технологических процессов, в том числе, дитя по выплавляемым моделям. Важным резервом дальнейшего развития этого процесса служит сравнительно новый способ безопасного прокаливания и заливки оболочковых форм, позволяющий улучшить качество отливок и технико-экономические показатели их изготовления. Однако, этот способ имеет недостатки, связанные с разрушением оболочек при заливке, что приводит к снижению размерной точности и выхода годных отливок. Дальнейшее развитие этого способа определяется свойствами оболочковой формы, состоящей по сечению из облицовочных, т. е., образующих конфигурацию отливки, промежуточных и наружных покрытий, способных противостоять воздействию силowych и температурных нагрузок при безопасном прокаливании и заливке.

Основной целью данной работы являлась разработка оптимального по составу покрытий строения сечения оболочковой формы, обладающей повышенной трещиностойкостью, прочностью и обеспечивающей повышение размерной точности и выхода годных отливок.

В работе исследовались вопросы, связанные с возможностью использования в составе покрытий для безопасной заливки оболочек наиболее распространенных кремнеземных материалов, поскольку они обеспечивают получение отливок достаточно высокого качества при сравнительно низкой себестоимости.

В диссертации пять глав.

Глава I посвящена анализу современного состояния вопроса и постановке задач исследования. Для проведения анализа весь обычный технологический процесс формирования оболочки разделен на два основных этапа:

1. Изготовление оболочки, включающее нанесение, сушку покрытий и выплавление модельного состава — этот этап формирования оболочки достаточно изучен и имеются обоснованные рекомендации по выбору покрытий, обеспечивающие получение заданных свойств.

2. Прокаливание оболочки и заливка ее жидким металлом. Анализ литературы показал, что предыдущие исследования процесса формирования свойств оболочки на этом этапе обоснованы недостаточно и весьма противоречивы. Методика исследования свойств оболочки не позволяет последовательно проследить за процессом их формирования на всех операциях безопасного прокаливания и заливки. Применяемые способы определения отдельных свойств, например, термостойкости оболочки недостаточно достоверно моделируют условия службы реальных форм. Напряженное состояние оболочки при безопасном прокаливании и заливке изучено мало, поскольку отсутствует методика расчета напряжений в оболочковой форме.

На основании анализа современного состояния способа безопасной заливки кремнеземных оболочек в лите по выплавляемым моделям поставлены следующие основные задачи работы:

1. Разработать оптимальную методику определения и исследования свойств оболочки, наиболее достоверно отражающую условия службы реальных форм.

2. Исследовать влияние технологических режимов безопасного прокаливания и заливки на процесс формирования свойств оболочки.

3. Разработать метод расчета и исследовать напряженное состояние оболочки.

4. Разработать и исследовать составы покрытий для создания оптимального строения сечения оболочки, предназначенной к безопасной заливке.

5. Разработать практические рекомендации по улучшению качества отливок и технико-экономических показателей безопасной заливки кремнеземных форм в лите по выплавляемым моделям.

Глава II посвящена разработке методики определения свойств оболочки. Разработанной методике максимально использованы современные достижения в области высокотемпературного исследования свойств оболочки, а также ряда специальных методов исследования и анализа. Разработанные образцы обеспечивали получение достаточного количества информации о процессе формирования свойств оболочки и были унифицированы до четырех типоразмеров:

1. Круглая пластинка $\varnothing 20 \times 2$ мм для определения термостойкости.

2. Единный образец 65x20x4 мм для определения прочности модуля упругости, температурной деформации и потери веса при прокаливания.

3. Комбинированный, т.е., составленный с применением различных связующих материалов, образец 65x20x(5+6) мм для определения прочности при изгибе комбинированных оболочек.

4. Порошок зернистостью 0,15 мм для дифференциально-термического анализа и замера электросопротивления оболочки.

Применительно к условиям безопасного прокаливания и заливки исследовался процесс формирования следующих свойств оболочки: прочности при изгибе, модуля упругости, температурной деформации, газопроницаемости, термостойкости, потерь веса при прокаливании, электропроводности, температур и теплот фазовых превращений.

Прочность и модуль упругости подсчитывались по формулам:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{1,5Pe}{kVh^2} \quad (1)$$

$$E = \frac{0,25Pe^3}{kfVh^3} \quad (2)$$

где: $\sigma_{\text{изг}}$ — прочность оболочки при изгибе, E — модуль упругости, P — расстояние между опорами, V и h — ширина и толщина поперечного сечения образца, P — усилие разрушения, f — стрела прогиба, k — коэффициент заполнения, введенный нами для приближенной оценки прочности и модуля упругости несплошных, пористых образцов.

Нами разработан новый способ оценки термостойкости оболочки путем создания теплового удара на круглую пластинку от экзотермической реакции в подложке размером 20x2 мм. При этом круглая пластинка вместе с подложкой устанавливалась в печь при 900°C.

Алюминий и окалина, входящие в состав подложек, вступали между собой в реакцию с выделением большого количества тепла, создававшего в круглой пластинке необходимый для образования трещин градиент температур. Условная термостойкость оценивалась по формуле:

$$T.S = \frac{n - n_{\text{тр}}}{n_{\text{тр}}} \quad (3)$$

где n и $n_{\text{тр}}$ — общее и с трещинами количества круглых пластинок.

Распределение температуры по сечению оболочки исследовалось путем установки термопар на различных расстояниях от поверхности отливок и последующей записи температуры на всех операциях безопасного прокаливания и заливки. Из залитых форм вырезались темплеты со спаями термопар и подвергались рентгеноскопированию.

По позитивам рентгено снимков определялись точные координаты спаев термопар в оболочке.

Все свойства определялись на разработанных нами установках для высокотемпературного определения физико-механических и теплофизических свойств и комплексного термографического анализа, а также ряда других свойств. Эти установки были спроектированы с учетом возможности последовательного определения свойств образцов на всех операциях безопочного прокаливания и заливки.

Критерием оценки качества отливок был принят класс точности, определяемый сравнением доверительных интервалов разброса размеров конкретных отливок с предельными их допусками по ОСТ.

Глава III содержит результаты теоретического и экспериментального исследования влияния технологических факторов формирования и заливки на свойства и напряженное состояние комбинированной оболочковой формы, состоящей из двух облицовочных покрытий на связующем этилсиликате 32, гидролизованном различным количеством воды, с наполнителем маршалитом и трех наружных покрытий на жидком стекле с наполнителями маршалитом и шамотом.

Показано, что на процесс формирования свойств комбинированной оболочки оказывают влияние, главным образом, превращения, протекающие при нагреве оболочковой формы в процессе прокаливания: удаление влаги, полиморфизмы кварца, плавление силикатов и синтез алюмосиликатов натрия.

Установлено, что прочность жидкостекляных покрытий комбинированной оболочки при заливке невелика, что обусловлено плавлением алюмосиликатов натрия, содержащихся в наружных покрытиях.

Определено, что значительное воздействие на процесс формирования свойств этилсиликатных покрытий оказывает способ гидролиза этилсиликата. С увеличением содержания воды при гидролизе этилсиликата термические напряжения в оболочке возрастают, поскольку деформация и модуль упругости повышаются, а прочность снижается. Испытания на термостойкость показали, что при нагреве оболочки в процессе прокаливания величина T_3 круглых пластинок понижается от 0,9 до 0,1 при увеличении числа молей воды, приходящихся на моль монооксида при гидролизе этилсиликата 32, от I до 12. При повторном нагреве круглых пластинок величина T_3 равна I, и трещин в них не образуется. Это объясняется тем, что к моменту начала воздействия повторного теплового удара, вызываемого теплом заливаемого металла, превращения в оболочке завершены и свойства ее не изменяются, несмотря на температурный

градиент по сечению залитой оболочковой формы.

При заливке оболочки ее трещиностойчивость определяется также давлением жидкого металла. Поэтому с целью сопоставления величин термических напряжений, возникающих на всех операциях безопочного прокаливания и заливки, нами была рассмотрена задача о распределении напряжений по сечению комбинированной оболочки.

Были приняты соответствующие допущения, и в результате решения задачи получены расчетные формулы окружных, радиальных и осевых напряжений в комбинированных оболочковых формах. Формулы окружных напряжений, являющихся максимальными и служащими, в основном, источником трещинообразования, использовались при расчете напряженного состояния оболочковой формы:

$$\sigma_{t_1} = \frac{a^2 p_a - c^2 p_c}{c^2 - a^2} + \frac{(p_a - p_c) a^2 c^2}{z^2 (c^2 - a^2)} + \frac{E_1}{1 - \mu_1} \left[\frac{1}{z^2} \int_a^z \epsilon_1 z dz + \frac{z^2 + a^2}{z^2 (c^2 - a^2)} \int_a^c \epsilon_1 z dz - \epsilon_1 \right] \quad (4)$$

$$\sigma_{t_2} = \frac{c^2 (z^2 + b^2) p_c}{(b^2 - c^2) z^2} + \frac{E_2}{1 - \mu_2} \left[\frac{1}{z^2} \int_c^z \epsilon_2 z dz + \frac{z^2 + c^2}{z^2 (b^2 - c^2)} \int_c^b \epsilon_2 z dz - \epsilon_2 \right] \quad (5)$$

где: σ_t - окружные напряжения, 1, 2 - индексы, относящиеся, соответственно, к облицовочным и наружным покрытиям оболочки, ϵ - температурная деформация, μ - коэффициент Пуассона, a, c, b и z - соответственно, внутренний, контактный, наружный и текущий радиусы оболочки, p_c - контактное давление облицовочных и наружных покрытий друг на друга, которое определялось по формуле:

$$p_c = \frac{\frac{2}{c^2 - a^2} \left[\int_a^c \epsilon_1 z dz + (1 - \mu_1) a^2 \frac{p_a}{E_1} \right] - \frac{2}{b^2 - c^2} \int_c^b \epsilon_2 z dz}{\frac{a^2 + c^2 (1 - 2\mu_1)}{E_1 (c^2 - a^2)} - \frac{b^2 + c^2 (1 - 2\mu_2)}{E_2 (b^2 - c^2)}} \quad (6)$$

Расчет по формулам (4-6) показал, что наибольшие напряжения возникают в оболочке при ее нагреве в процессе прокаливания, т. е., когда оболочковая форма находится под воздействием температурных деформаций, обусловленных перепадом температур. При обжиге и охлаждении оболочки до температуры не ниже 600°C, температурные деформации в материале формы отсутствуют, поэтому напряжения равны нулю. При заливке напряжения и деформации - весьма незначительны.

Результаты исследования процесса формирования свойств и напряженного состояния комбинированной оболочковой формы при без-

зопочном прокаливании и заливке, а также испытания оболочки на термостойкость показали, что упругое состояние оболочки и, следовательно, характер трещинообразования определяются, главным образом, условиями ее нагрева при прокаливании, а разрушение формы при заливке является следствием ранее образовавшихся при прокаливании трещин. Это подтверждено практическими наблюдениями характера разрушения оболочки: в подавляющем большинстве случаев металл вытекает через трещины в стояке оболочки, либо через отверстие питателя отливки, отделившегося ранее при прокаливании.

На основании расчета и анализа напряженного состояния намечены четыре направления повышения трещиностойкости кремнеземных оболочковых форм при безопочном прокаливании и заливке:

1. Снижение растягивающих напряжений в облицовочных покрытиях оболочки путем размягчения наружных покрытий и повышения теплопроводности материала облицовочных покрытий.

2. Снятие напряжений сжатия в наружных покрытиях оболочки за счет размягчения последних. При этом размягчение должно быть временным, т.е., лишь при прокаливании оболочки для того, чтобы прочность ее при заливке не снижалась.

3. Ликвидация контактных напряжений на границе облицовочных и наружных покрытий.

4. Сокращение времени пребывания оболочки под воздействием термических напряжений.

Глава IV посвящена исследованию процесса формирования свойств и напряженного состояния оболочковых форм с экзотермическими добавками. С целью реализации процесса размягчения оболочек в состав наполнителя наружных жидкостекольных покрытий были введены: алюминиевая пудра, порошок карбида кремния и молотая окись железа. Размягчение наружных покрытий осуществлялось за счет тепла экзотермической реакции алюминия с окисью железа.

При определении оптимального соотношения вводимых в оболочку компонентов был применен метод планирования эксперимента. Параметром оптимизации была прочность оболочки при 1100°C , а исследуемыми факторами – содержание алюминотермита (алюминий + окись железа) X_T и карбида кремния X_K в кг на 1 л связующего в суспензии. В результате обработки экспериментальных данных было получено следующее уравнение регрессии:

$$G_{изг} = 8,5 + 2,6X_T + 2,5X_K \quad (7)$$

Уравнение показывает, что наилучшие результаты по прочности имеет покрытие с равными весовыми количествами алюминотермита

и карбида кремния в покрытии.

Результаты исследования процесса формирования свойств и напряженного состояния этих покрытий при безопочном прокаливании и заливке оболочки показали, что эффект размягчения жидкостекольных покрытий под действием тепла экзотермической реакции положительно улучшает условия службы комбинированных оболочковых форм за счет снижения времени воздействия напряжений на оболочку в 4-5 раз. В связи с ускорением прогрева и упрочнением оболочки явилось целесообразным значительно снизить время ее обжига, так как уже через 30 мин. после начала прокаливания оболочка имеет $\sigma_{изг} = 90 \text{ кг/см}^2$.

Однако, имеются существенные недостатки:

1. Контактные напряжения, хотя несколько и снижаются, но не обеспечивают повышения размерной точности отливок.
2. Растягивающие напряжения в облицовочных покрытиях, а, следовательно, и вероятность образования трещин не снижаются.
3. Эффект размягчения жидкостекольных экзотермических покрытий не является временным, поскольку в составе покрытий содержатся алюмосиликаты натрия и железа, температура плавления которых не превышает 1150-1200°C. Это приводит к разупрочнению оболочки при нагреве ее в процессе заливки.

Результаты производственных испытаний показали, что наружные жидкостекольные экзотермические покрытия можно применять лишь для форм с высотой стояка не более 320-340 мм. Разрушение форм с высотой стояка более 340 мм обусловлено тем, что вследствие увеличения времени пребывания металла в жидком состоянии, он, проникая через трещины в облицовочных к наружным, проплавляет последние и вытекает из оболочки. Однако, применение жидкостекольных экзотермических покрытий, в отдельных случаях, целесообразно для сокращения времени обжига и расхода дорогостоящего этилсиликата.

В работе было установлено, что прочность комбинированной оболочковой формы с наружными жидкостекольными экзотермическими покрытиями обеспечивается лишь за счет этилсиликатных покрытий. Было определено, что для дальнейшего повышения прочности оболочки при заливке применение жидкого стекла, как связующего материала для наружных покрытий должно быть исключено.

Поэтому экзотермические добавки были введены в состав покрытий на связующем этилсиликате 32. Результаты исследования процесса формирования свойств и напряженного состояния этилси-

ликатных оболочковых форм с экзотермическими добавками показали следующее:

1. Растягивающие напряжения на облицовочной поверхности оболочек снижаются. Это объясняется снижением модуля упругости оболочки при ее нагреве в процессе прокаливания за счет повышения пластических свойств алюминия, входящего в состав покрытий. Во-вторых, перепад температуры и температурных деформаций по сечению оболочки уменьшается также за счет присутствия алюминия в покрытиях. Снижение растягивающих напряжений приводит к уменьшению вероятности образования трещин в облицовочных покрытиях.

2. Порядок сжимающих напряжений в наружных покрытиях остается на прежнем уровне. Но последующее размягчение и расплавление наружных покрытий снимает упомянутые сжимающие напряжения.

3. Контактные напряжения полностью отсутствуют, и это приводит к значительному повышению размерной точности отливок с 7-8 до 5-7 класса по ОСТ.

4. Скорость протекания экзотермической реакции достаточно высока, благодаря чему сокращается продолжительность пребывания оболочки с этилсиликатными экзотермическими покрытиями под воздействием термических напряжений по сравнению с жидкостекольными в 1,5-2 раза и, тем более, с обычными - в 7-9 раз.

Таким образом, введение в этилсиликатные покрытия экзотермических добавок позволяет значительно снизить вероятность образования трещин. Однако, возможность образования трещин полностью не исключается, поэтому в данной работе были рассмотрены условия заживления возможных трещин.

Процесс заживления трещин определяется температурой экзотермических реакций, а также смачиваемостью кремнеземных материалов оболочки расплавами продуктов экзотермических реакций.

На основании результатов термодинамического и рентгеноструктурного анализа был произведен расчет экзотермических реакций, протекающих в покрытиях, и получена зависимость, связывающая температуру T реакций с количеством g вводимого алюминия в кг на 1 кг сухой составляющей покрытия:

$$(0,00072g - 0,00014)T^3 + (0,31g - 1)T^2 + (11941g + 1340)T - 13091g + 25780 = 0 \quad (8)$$

Уравнение (8) использовалось не только для выбора покрытий, способных заживать возможные трещины, но также и для расчета состава экзотермических подложек при испытаниях на термостойкость.

Исследования показали, что краевые углы смачивания этилсили-

катных экзотермических покрытий расплавами продуктов экзотермических покрытий лежат в пределах $40-70^{\circ}$, что свидетельствует об удовлетворительной смачиваемости кремнеземных оболочковых материалов расплавами продуктов экзотермических реакций.

По результатам экспериментов установлено, что введение экзотермических добавок в этилсиликатные оболочки обеспечивает зализывание трещин в облицовочных и наружных покрытиях, а также возможных контактных и сквозных трещин.

Полученные результаты исследования оболочек с экзотермическими добавками позволили разработать классификатор требований к свойствам кремнеземных форм, предназначенных к безопасной заливке. Согласно классификатора для обоснованного построения сечения оболочки необходимо руководствоваться задачами повышения ее прочности на всех операциях безопасного прокаливания и заливки, отсутствия контактных напряжений, термостойкости, способности размягчаться и залечивать возможные трещины.

На основании классификатора было построено оптимальное по составу покрытий строение сечения оболочки, работающей в условиях безопасного прокаливания и заливки. Эти условия характерны тем, что при нагреве оболочки в процессе прокаливания наружные покрытия размягчаются под действием тепла экзотермической реакции.

Облицовочные покрытия, являясь в этот момент времени несущими с точки зрения конструктивной прочности оболочки, подвергаются мощному тепловому удару от экзотермической реакции в наружных покрытиях, что может приводить к образованию трещин.

Поэтому в данных условиях необходимо формировать буферные покрытия, располагающиеся между облицовочными и наружными покрытиями и воспринимающие на себя тепловой удар экзотермической реакции, обладая при этом некоторым запасом прочности.

Состав этилсиликатных покрытий оболочковой формы, наиболее полно отвечающей требованиям классификатора свойств с учетом необходимости формирования буферного покрытия, приведен в табл. I, в которой:

I покрытие — облицовочное: обычное без экзотермических добавок,

II покрытие — облицовочное: экзотермические добавки введены в количествах, обеспечивающих температуру экзотермической реакции в пределах $900-950^{\circ}\text{C}$ для ускорения прогрева оболочки.

III покрытие: буферное — экзотермические добавки введены в количествах, обеспечивающих температуру реакции в пределах $1200-1300^{\circ}\text{C}$. При этих температурах в этилсиликатных покрытиях появля-

ются пластические деформации, и, таким образом, в процессе протекания экзотермической реакции это покрытие является вязкой прослойкой между "холодными" облицовочными покрытиями и "горячими" наружными покрытиями.

IV покрытие - наружное: экзотермические добавки введены в количествах, обеспечивающих температуру экзотермической реакции более 1800°C с целью заживления возможных трещин.

У покрытие - наружное: экзотермические добавки введены в количествах, обеспечивающих температуру реакции более 1900°C с целью заживления возможных трещин. Кроме этого, благодаря присыпке окалиной, это покрытие служит "запалом" экзотермической реакции, так как известно, что экзотермическая реакция протекает значительно интенсивнее при нагреве, в первую очередь, окалины.

Таблица I.

Наименование составляющих	I	II	III	IV	V
Гидролизированный этилсиликат, л	I	I	I	I	I
Пылевидный кварц, кг	1,500	1,390	1,160	0,500	0,280
Алюминиевая пудра, кг	-	0,019	0,064	0,167	0,234
Порошок окалины, кг	-	0,047	0,160	0,417	-
Обсыпной материал	Кварцевый песок				Окалина

Глава У содержит результаты промышленного опробования и внедрения экзотермических покрытий, а также рекомендации по их применению в литье по выплавляемым моделям.

Экзотермические покрытия были внедрены на Ижевском Механическом заводе. В процессе внедрения была отработана технология подготовки исходных материалов, приготовления суспензий, формирования покрытий на моделях, выплавления модельного состава, а также безопасного прокаливания и заливки, оптимальный вариант которой следующий:

1. Загрузка оболочки в печь при 900°C .
2. Выдержка оболочки в печи при 900°C в течение 15-20 минут.
3. Извлечение оболочки из печи. Допускается охлаждение оболочки в течение 3,5 мин. до температуры не ниже 600°C .
4. Заливка.

Были составлены и утверждены в установленном порядке технологические инструкции на приготовление экзотермических суспензий, на изготовление форм с применением экзотермических покрытий и на прокаливание форм. В инструкциях нашли отражение технологические особенности применения экзотермических покрытий,

позволяющие значительно интенсифицировать и упростить технологический процесс изготовления и службы оболочек за счет:

1. Произвольного порядка загрузки компонентов экзотермических суспензий.

2. Расширения интервалов вязкости суспензий 40-60 сек. по вискозиметру ВЗ-4.

3. Произвольной скорости прогрева оболочки при обжиге.

4. Сокращения времени прокаливании форм до 15-20 мин.

5. Увеличения до 3,5 мин. времени охлаждения форм до 600°C.

Общее время технологического процесса изготовления и службы оболочки до момента ее заливки сократилось на 27-34 часа при улучшении качества отливок и технико-экономических показателей применения экзотермических добавок (ЭТД) в литье по выплавляемым моделям, что показано в табл. 2.

Таблица 2.

Наименование показателей, ед. изм.	Без ЭТД	С ЭТД
Затраты на прокаливание оболочек для 1 т годных отливок, руб.	59,0	15,0
Брак по разрушению оболочек при заливке от общего их количества, %	5,0	1,0
Коэффициент использования жидкого металла	0,43	0,5
Точность отливок, класс по ОСТ	7-8	5-7
Чистота поверхности отливок, класс по ГОСТ 2789-59	✓5	✓5
Себестоимость 1 т годных отливок, руб.	1600	1477

При полном освоении номенклатуры отливок с экзотермическими добавками, которая в условиях завода составляет более 500 наименований с объемом выпуска 3500 т годных отливок в год, экономическая эффективность равна 430500 руб. Экзотермические добавки были рекомендованы к широкому промышленному опробованию и внедрению на других заводах отрасли.

Кроме экзотермических покрытий на Ижевском Механическом заводе была внедрена разработанная в данной работе методика определения свойств оболочки. При этом были составлены и утверждены в установленном порядке следующие методические инструкции:

1. На определение физико-механических свойств оболочки.
2. Для проведения комплексного термографического анализа.
3. На определение потери веса при прокаливании.
4. На замер температуры с использованием осциллографа Н-700.
5. Для контроля термостойкости оболочки.

Внедрение упомянутой методики позволило повысить надежность контроля свойств оболочки и достоверность получаемых результатов.

Общие выводы:

1. Разработана методика определения свойств оболочки, позволяющая последовательно проследить за процессом формирования свойств на всех операциях прокаливания и заливки. Уточнен ряд формул для определения свойств оболочки с учетом несплошности материалов оболочковых форм и предложены новые методы исследования свойств оболочки, например, метод оценки термостойкости оболочковой формы путем нагрева крутой пластинки на экзотермической подложке. Составлены методические инструкции и спроектировано лабораторное оборудование для определения свойств оболочки, которое внедрено на Ижевском Механическом Заводе.

2. Разработан метод аналитического исследования напряженного состояния оболочковой формы, определяемого перепадом температурных деформаций по сечению оболочки, давлением залитого металла, а также несплошностью и модулем упругости материалов комбинированной оболочки при безошном прокаливании и заливке. Путем сопоставления величин расчетных напряжений с прочностью оболочки показана достоверность и корректность упомянутого метода.

3. Установлено, что наибольшие напряжения возникают в оболочке при ее нагреве в процессе прокаливания, а разрушение ее при заливке является следствием образовавшихся при прокаливании трещин. Показано, что напряженное состояние оболочковой формы при нагреве ее в процессе прокаливания определяется растягивающими напряжениями в облицовочных покрытиях, контактными напряжениями на границе облицовочных и наружных покрытий, а также временем воздействия указанных напряжений на оболочку.

4. Установлено, что при введении в состав наружных жидкостекольных покрытий экзотермических добавок создается ряд благоприятных условий для повышения трещиностойкости оболочки, однако, не обеспечивается повышения качества отливок и существенного улучшения технико-экономических показателей. Это вызвано тем, что размягчение жидкостекольных покрытий не является временным, контактные напряжения сохраняются, что приводит к расслоению и разрушению оболочки.

5. Установлено, что в оболочках с экзотермическими добавками при нагреве форм в процессе прокаливания происходят превращения, аналогичные таковым в оболочках без экзотермических добавок, однако, отличаются от последних процессами восстановления магнетита при 370°C и аллюминотермического восстановления железа при 625°C , приводящего к быстротекущему размягчению оболочки.

6. Установлено, что введение в состав наружных этилсиликатных покрытий экзотермических добавок приводит к временному и быстротекущему размягчению покрытий, а также к существенному перераспределению температур и температурных деформаций по сечению оболочки. Это, в свою очередь, приводит к снижению растягивающих напряжений в облицовочных покрытиях и времени воздействия напряжений на оболочку, а также к полной ликвидации контактных напряжений, благодаря чему обеспечивается значительное повышение размерной точности отливок.

7. На основании рентгеноструктурного и термодинамического анализов составлены схемы реакций, протекающих при нагреве оболочки в процессе прокаливания. Выведено уравнение, связывающее температуру экзотермической реакции в покрытии с количеством вводимого в него алюминия. Экспериментально установлено, что расчетная ошибка при этом не превышает 10-12% от определенной прибором.

8. Установлено, что высокие температуры экзотермических реакций в этилсиликатных покрытиях приводят к образованию расплава на наружной поверхности оболочки, который, благодаря своим смазывающим свойствам, обеспечивает задеживание возможных трещин.

9. Составлен классификатор свойств кремнеземных оболочек применительно к условиям безопочного прокаливания и заливки и на его основе разработаны принципиальные требования к строению сечения оболочковой формы, состоящей из облицовочных, буферных и наружных покрытий.

10. Путем введения расчетных количеств экзотермических добавок в состав покрытий оболочки разработано оптимальное строение ее сечения, состоящего из двух облицовочных покрытий и двух наружных покрытий, временно расплавляющихся в процессе протекания в них экзотермических реакций с целью снятия напряжений и задеживания возможных трещин. Промежуточное между облицовочными и наружными покрытиями — буферное покрытие является вязкой прослойкой между "горячими" наружными и "холодными" облицовочными покрытиями.

II. По результатам промышленного опробования и внедрения установлено, что применение экзотермических покрытий обеспечивает повышение точности литых размеров на I-2 класса по ОСТ при сохранении чистоты поверхности на прежнем уровне, а также значительное улучшение технико-экономических показателей литья по выплавляемым моделям за счет сокращения времени обжига, брака оболочек по разрушению при заливке и повышения коэффициента использования жидкого металла. Экономический эффект внедрения экзотермических этилсиликатных покрытий только по данным одного завода составляет 430500 руб. в год.

Материалы диссертации опубликованы:

1. Писарев И. Е., Ильин Г. А., Жевтунов П. П., Васильев В. А., Кучумов В. А., Соловьева Т. Е., Распределение температуры по сечению оболочки при безопочной термической обработке и заливке. Известия ВУЗов. Машиностроение, №3, 1972.

2. Писарев И. Е., Комплекс оборудования для исследования свойств керамики в литье по выплавляемым моделям. "Заводская лаборатория", №8, 1972.

3. Писарев И. Е., Жевтунов П. П., Упрочняющие обмазки в литье по выплавляемым моделям. В сб. "Керамические формы и стержни для получения отливок повышенной точности". МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского М., 1972.

4. Писарев И. Е., Методика исследования свойств керамики в литье по выплавляемым моделям. В сб. "Новые формовочные материалы в литейном производстве" Волгоград, 1972.