

The competitive technology is developed on the basis of theoretical and experimental investigations carried out in OAO "BELNIIILIT" and new moulding equipment which found application at many enterprises of the far and the near abroad and only in China.

А. П. МЕЛЬНИКОВ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

УДК 621.74

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОТЛИВОК ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Поршневое кольцо является одной из деталей, определяющей эксплуатационные характеристики двигателя внутреннего сгорания, его работоспособность и надежность. Работая в экстремальных условиях, кольца непрерывно находятся под воздействием высоких газодинамических и термических нагрузок. Поэтому к качеству отливок поршневых колец, а, следовательно, и к технологии их изготовления предъявляют чрезвычайно высокие требования.

Анализ различных технологий литья поршневых колец показывает, что использование вертикально-стопочных форм позволяет применять наиболее эффективную конструкцию литниковой системы, в которой на одном стояке расположено несколько ярусов отливок. Благодаря этому появляется возможность значительной экономии материальных ресурсов. Так как по сравнению с литьем в парные формы достигается значительное увеличение производительности труда, поскольку для получения одинакового количества отливок требуется в 1,7–1,9 раза меньшее количество форм, соответственно сокращается расход формовочной смеси, возрастает выход годного литья.

Результаты исследований позволили установить оптимальное давление прессования (0,7–0,8 МПа) при высоте опоки 70–120 мм и подтвердить, что только при двустороннем прессовании возникает возможность получить литейную форму с минимальным разбросом плотности по ее высоте (не более 10%), что создает возможность изготовления отливки со стабильным качеством поверхности.

Установлено, что при оптимальном режиме прессования твердость формы достигает макси-

мальных значений, если насыпная плотность смеси находится в пределах 900–1100 г/см³. При этом в состав единой формовочной смеси должны входить следующие компоненты (масс.%): оборотная смесь – 92; кварцевый песок 2К₁O₂O₁₆ – 5; бентонитовая глина – 3; вода – до влажности 3,0–4,0 %. Физико-механические свойства такой смеси должны соответствовать значениям: $\sigma_{сж} = 0,09–0,12$ МПа; формуемость $\geq 70\%$; уплотняемость $\geq 40\%$; газопроницаемость ≥ 100 ед.; осыпаемость $\leq 1\%$.

На качество форм и, следовательно, будущих отливок большое влияние оказывают равномерность распределения смеси по площади опоки и точность ее дозирования. При неравномерной засыпке и недостаточной дозе смеси форма недоуплотняется и возрастает вероятность пролива металла по ее разъемам. В случае же передозировки (если система не отрегулирована) резко увеличивается брак форм по подрывам кромок отпечатков моделей из-за чрезмерной толщины формы, а также возрастают непроизводительные потери смеси в отвал.

Были разработаны различные конструкции систем дозирования формовочной смеси. Подача формовочной смеси в дозатор для формирования предварительной дозы может осуществляться вибрлотком, оснащенным электромеханическим вибратором (рис. 1, а, б) или шнековым питателем (рис. 1, в, г). Однако установлено, что вибраторы (рис. 1, а) обладают высокой инерционностью и, как следствие, неравномерной подачей формовочной смеси, что приводит к формированию завышенного объема дозы, и отсутствием возможности плавного регулирования возмущающей

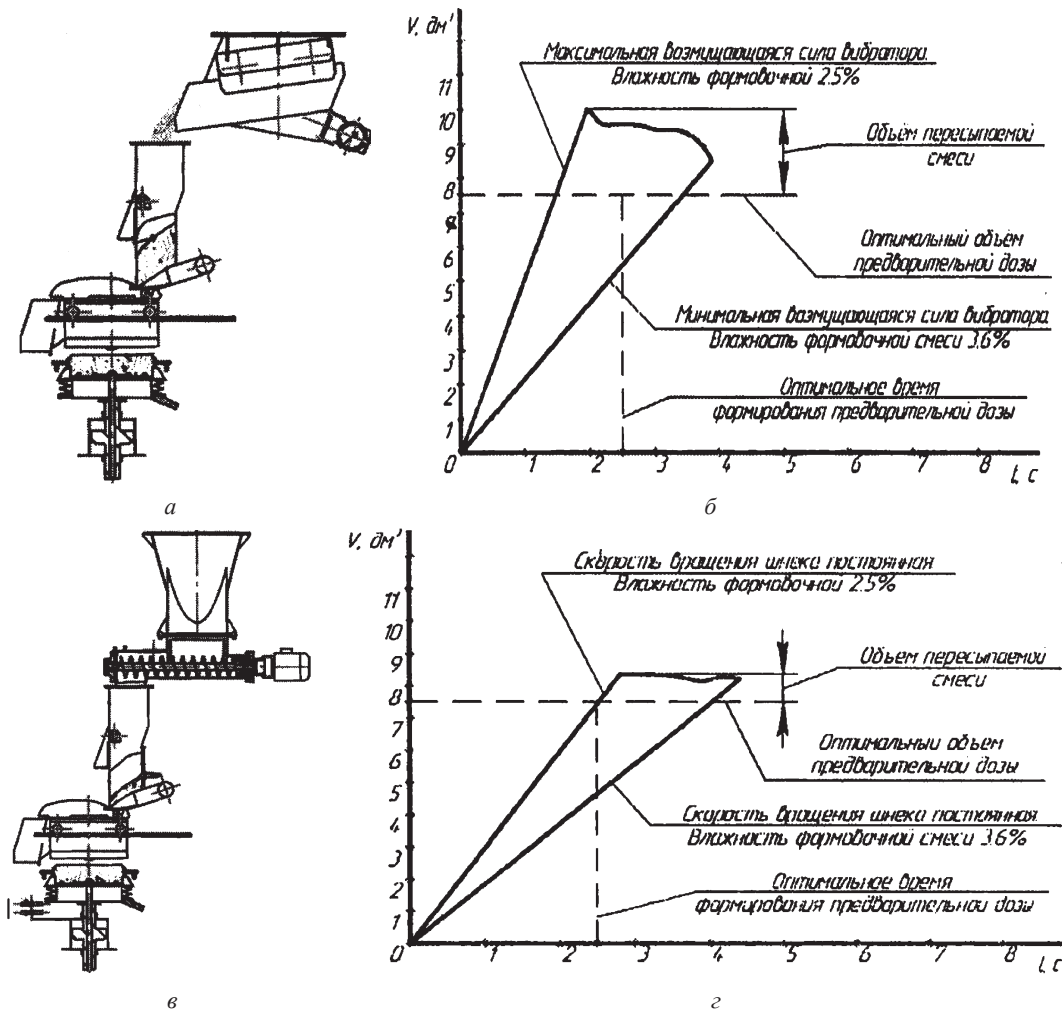


Рис. 1. Системы дозирования формовочной смеси электромеханическим вибратором (а, б) и шнековым питателем (в, г)

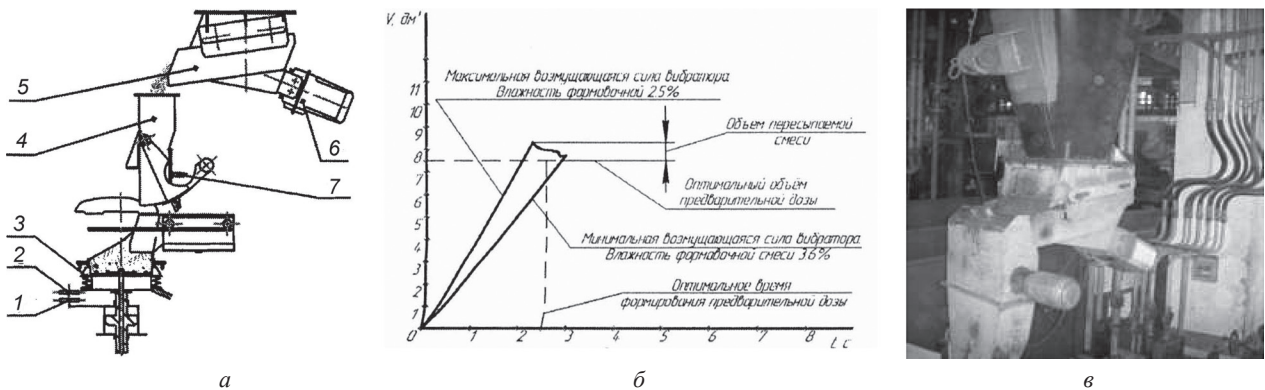


Рис. 2. Системы дозирования формовочной смеси вибратора направленного действия

силы. Система дозирования смеси с помощью шнекового питателя (рис. 1, в) позволяет избавиться от этих недостатков и гарантирует мгновенное прекращение подачи формовочной смеси в дозатор. Но вместе с тем по мере увеличения износа шнека возрастает время дозировки объема смеси, что может приводить к повышению продолжительности цикла работы машины и неравномерности подачи дозы смеси. В связи с этим необходимо регулярно следить за степенью износа шнека.

Учитывая установленные выше недостатки, было предложено для стабилизации процесса дозирования использовать вибратор направленного действия нового поколения. Конструкторское решение дозирования формовочной смеси в дозаторе и на модельной плите машины (рис. 2, в) гарантирует стабильное, надежное выполнение технологической операции и обеспечивает высокую точность дозы при минимальном времени. Из вибротолка 5 под воздействием вибратора направленного действия б формовочная смесь поступает

в дозатор 4. После появления сигнала на конечном выключателе работа вибратора прекращается. Предварительная доза формовочной смеси 7 сформирована. В процессе работы формовочной машины при окончании прессования конечные выключатели 1 и 2 фиксируют положение прессового стола 3. В зависимости от сигнала с конечного выключателя перед началом следующего цикла вводится поправка на формирование окончательной дозы на модельной плите, что обеспечивает высокую точность дозирования. Учитывая цикл работы машины (6 с, т. е. 600 форм/ч) при двусменном режиме работы с экономией $0,5 \text{ дм}^3$ с одной формы, общая экономия формовочной смеси может достигать $10\,000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Стабилизация технологии изготовления стопочных форм должна приводить к стабилизации качества изготавливаемых поршневых колец, что стало возможным проанализировать уже на стадии проектирования литейной технологии. Для этого весьма эффективным инструментом может служить ППП «ProCAST». С его использованием было подтверждено превалирующее влияние плотности формы на качество отливки и ее стабильность в различных сечениях.

Как видно из рис. 3, а, наиболее равномерно свойства отливки распределены по сечению при плотности формы 1700 кг/м^3 . Однако получение такой плотности требует повышенного усилия прессования, что отрицательно сказывается как на производительности, так и на сроке службы оборудования. В связи с этим было рекомендовано поддерживать плотность смеси после формовки на уровне $1500\text{--}1600 \text{ кг/м}^3$.

Результаты аналитических исследований были полностью подтверждены практикой изготовления поршневых колец с помощью вертикально-стопочных форм. Для этого использовали высокопрочный чугун со следующим содержанием элементов (масс.%): С – 3,69, S – 0,010, Mn – 0,21, Ni – 0,06, Cr – 0,10, Si – 2,3, Fe – основа.

Структура образца чугуна представляет собой высокопрочный чугун с шаровидным графитом правильной формы (ШГф5) диаметром от 5 до 200 мкм (ШГд15-ШГд25). Металлическая основа – феррито-перлитная с содержанием перлита порядка 15% П20 (Ф80), перлит 60% пластинчатого строения (Пт1) и 40% зернистого строения (Пт2) (рис. 4).

Структурная формула образца по ГОСТ 3443-87: ШГф5-(ШГд15 – ШГд25) – П20(Ф80) – Пт1, Пт2 (рис. 4).

Принимая во внимание тот факт, что при плотности формы 1500 кг/м^3 наблюдается лишь

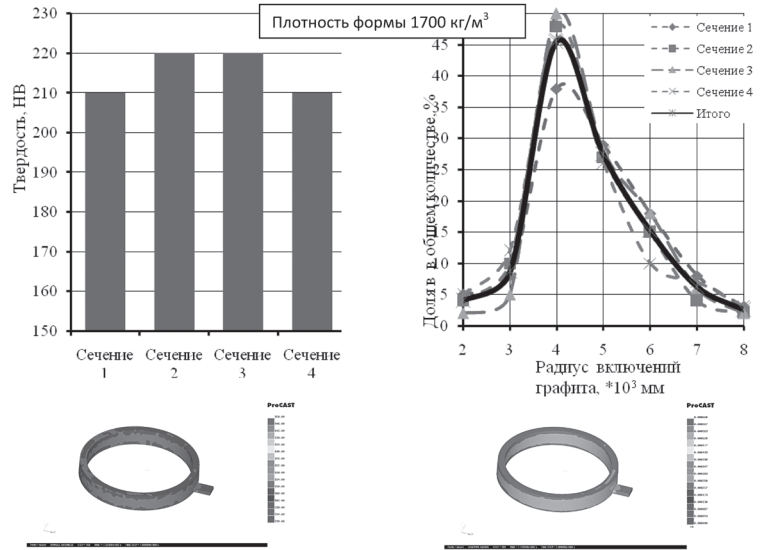
незначительное увеличение анизотропии свойств, однако при этом значительно упрощается возможность реализации процесса формовки, для создания формовочной машины было решено ориентироваться именно на эту плотность.

Для обеспечения изготовления форм со стабильной плотностью была разработана новая конструкция прессового узла формовочной машины, который позволяет обеспечить корректировку высоты прессового стола по результатам изготовления предыдущей формы с помощью гидроцилиндра; устранение зазора между опокой и наполнительной рамкой перед засыпкой формовочной смеси на модельную плиту при помощи пневмоцилиндра; запираение литникового хода при помощи пневмоцилиндра; уплотнение формовочной смеси и получение формы при помощи главного прессового гидроцилиндра; извлечение моделей при помощи пневмоцилиндра.

Цикл работы нового прессового стола составляет около 2–3 с. В течение этого времени система управления машиной анализирует высоту изготовленной формы, которая должна находиться в пределах 32–34 мм, что соответствует твердости 88–93 единицы. Подобный анализ проводится после изготовления каждого цикла и в случае изменения свойств формовочной смеси по влажности изменяется высота формы, следовательно, изменяется и твердость формы, поэтому машина автоматически вводит поправку на формирование дозы формовочной смеси для следующего цикла. Если высота формы составляет менее 32 мм, система управления автоматически сообщает об этом оператору, что изготовлен брак и предлагает удалить форму.

Проведенные работы позволили создать технологию производства отливок поршневых колец, обеспечивающую снижение уровня брака в 8–10 раз по сравнению с ранее существовавшими технологиями, и формовочную машину нового поколения с цикловой производительностью 6 с и производительностью 600 форм в час. Удельное давление прессования при этом составляет $0,73\text{--}0,9 \text{ МПа}$. Установленная мощность оборудования – 14,5 кВт. На рис. 5 показана формовочная машина нового поколения.

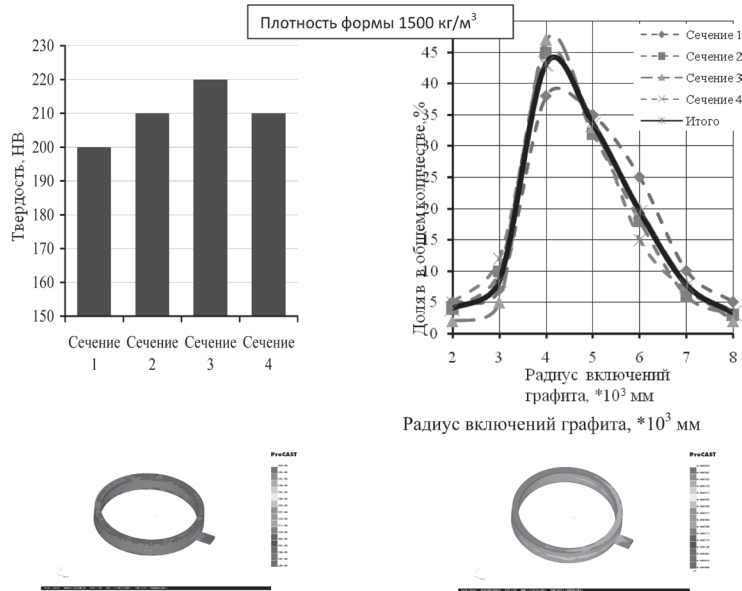
Данная машина обеспечивает в автоматическом режиме соблюдение параметров технологического процесса, получение качественных стопочных форм и, как следствие, качественных отливок вследствие выполнения следующих операций: формирование предварительной дозы формовочной смеси и ее подготовка к засыпке; формирование окончательной дозы формовочной



Распределение включений графита по размеру

Распределение твердости отливки

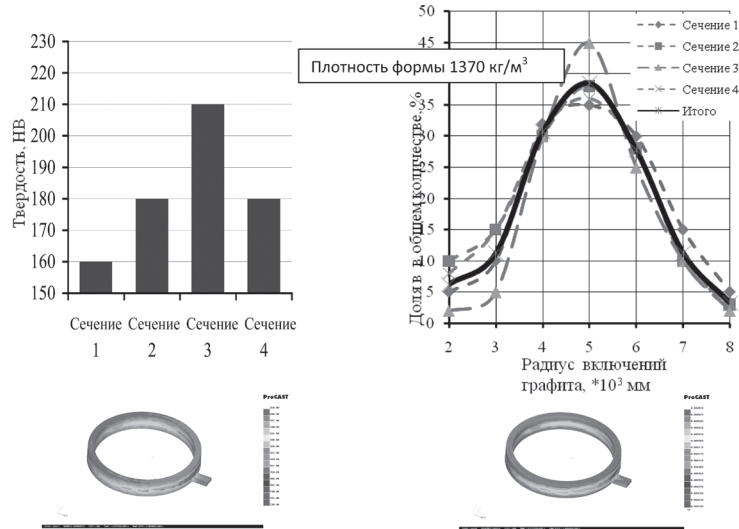
a



Распределение включений графита по размеру

Распределение твердости отливки

b



c

Рис. 3. Влияние плотности формы на размер и распределение графитовых включений и распределение твердости в отливке «Поршневое кольцо» из высокопрочного чугуна ВЧ40

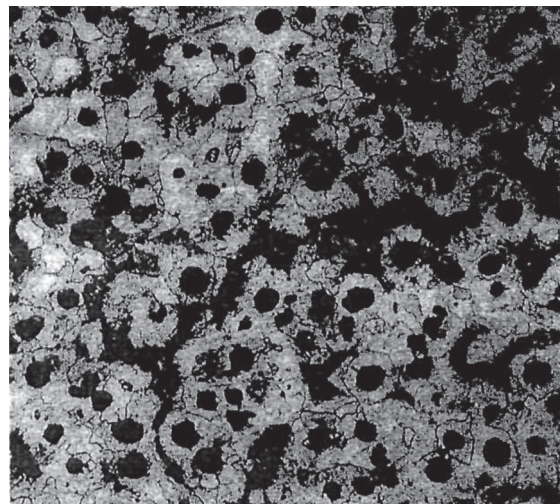
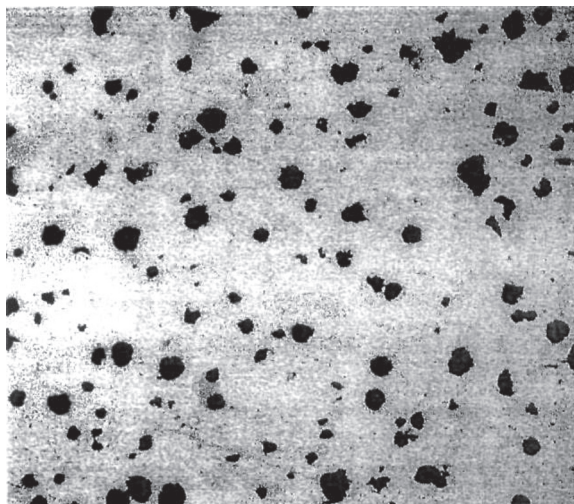


Рис. 4. Структура образца чугуна: *а* – до травления; *б* – после травления. $\times 200$

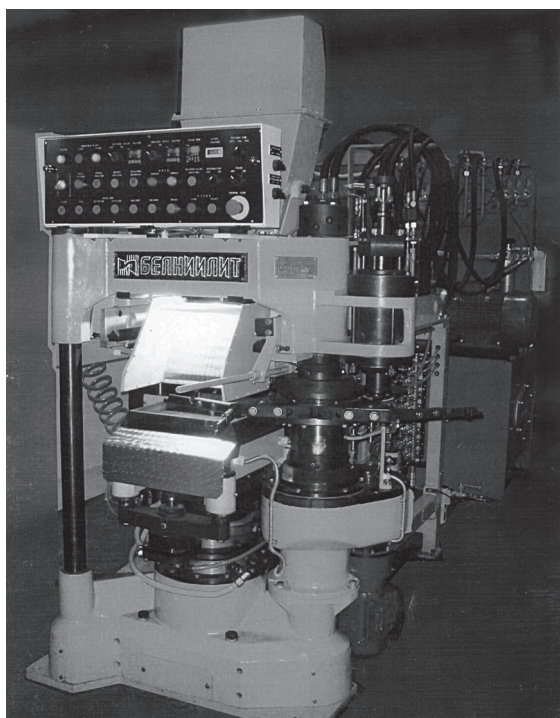


Рис. 5. Оборудование вертикально-стопочной формовки смеси после засыпки; равномерное распределение формовочной смеси по модельной плите и подготовка к уплотнению; определение оптимальных параметров уплотнения; экспериментальный под-

бор оптимальных режимов подогрева; автоматической корректировки окончательной дозы формовочной смеси; сокращение продолжительности цикла.

Новизна данной работы подтверждена патентом Республики Беларусь на промышленный образец «Машина для изготовления литейных форм» [1].

Полученные результаты позволили выйти с данной технологией и оборудованием на китайский рынок, так как анализ мирового рынка производства поршневых колец показывает, что в настоящее время КНР является основным производителем данной продукции с объемом производства около 600 млн. колец в год. Большая часть отливок в КНР производится на встряхивающих формовочных машинах собственного производства (рис. 6) с низкой цикловой производительностью 12–15 с/форма и высоким уровнем брака отливок, который достигает 10–20%. В результате за период с 1995 по 2010 г. были поставлены 26 машин для производства поршневых колец. В том числе одним из наиболее значимых проектов явилась работа по оснащению литейного цеха компании «Asimco» (г. Иджин, провинция Цзянсу). Внедрение формовочного оборудования (12 формовоч-



Рис. 6. Изготовление форм для производства отливок поршневых колец на встряхивающих машинах в Китае



Рис. 7. Работа формовочного оборудования в КНР: компания «Asimco», г. Иджин (а) и компания «Нанкин феян пистон рингз», г. Лишунь (б)

ных машин) в производство позволило увеличить выход годных форм с 86 до 97–99,8% и уменьшить брак отливок с 25 до 2–3%. На рис. 7 показана работа формовочного оборудования в компании «Asimco» (г. Иджин) и компании «Нанкин феян пистон рингз» (г. Лишунь).

Таким образом, на основании теоретических и экспериментальных исследований, проводимых

в ОАО «БЕЛНИИЛИТ», была разработана конкурентоспособная технология и создано новое формовочное оборудование, которое нашло применение на многих предприятиях дальнего и ближнего зарубежья и только в КНР. По разработанной технологии и на оборудования ОАО «БЕЛНИИЛИТ» в КНР выпускается более 200 млн. поршневых колец в год.

Литература

1. Патент № 1220, Республика Беларусь. Машина для изготовления литейных форм.
2. Мельников А. П., Бондарик Н. Е., Фонов В. В., Гречаник С. Н., Дорохов В. М. № f20060123; Заяв. 06.12.06; Опубл. 2007.02.28 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэспублікі Беларусь.