

УДК 621.744.45

Сравнительный анализ различных способов уплотнения формовочной смеси прессованием и комбинаций этих способов

*Егоров Н.А., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Литейные технологии»*

*Научный руководитель: Беликов О.А., к.т.н., профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Литейные технологии»
bauman@bmstu.ru*

Введение

Нижнее прессование широко применялось в 60-70-е гг. для повышения качества уплотнения при прессовании плоской модельной плитой. Однако качество формовочных смесей не позволяло получить необходимый уровень уплотнения смеси в нижних слоях полуформы, примыкающих к модельной плите, на вертикальных стенках отпечатка модели и в узких карманах.

За последние 40 лет были достигнуты положительные результаты в изготовлении форм за счет повышения необходимого качества смесей и применения таких процессов, как многоплунжерное уплотнение, импульсное уплотнение, пескодупно-прессовый процесс, продувка смеси с последующим прессованием.

В последнее время стали обращаться к недавно забытому нижнему уплотнению смеси, хотя российская фирма ЛИТАФОРМ продолжала непрерывно использовать этот процесс совместно с другими способами уплотнения. Наряду с российскими фирмами стали применять нижнее прессование и зарубежные фирмы: SAVELLI S.p.A (Италия), KUNKEL WAGNER (Германия) и HWS-SINTO (Германия). Считается, что значительная часть невысоких и плоских отливок может успешно изготавливаться только с применением нижнего прессования и многоплунжерной головки. В статье показано, что управление последовательностью включения в работу плунжеров дает дополнительный положительный эффект в направлении повышения качества форм.

1. Особенности применения прессования смеси модельной плитой в современных условиях

В данной статье мы будем применять понятия, более точно отражающие процесс уплотнения: не «нижнее прессование», а «прессование модельной плитой» и не заполнение «опоки и наполнительной рамки» смесью, а заполнение «формовочной камеры».

Под «формовочной камерой» понимаются элементы технологической оснастки и модели, а также их привязка к поверхности рабочего лада опоки (плоскости разъема формы) и поверхности рабочего стола машины (рис. 1). Для исследуемого нами комбинированного процесса уплотнения формовочная камера имеет следующий состав элементов:

ВНР – верхняя наполнительная рамка; ОП – опока; ННР – нижняя наполнительная рамка; МП – модельная плита; МПГ – многоплунжерная головка; МО – модели; H_0 – высота опоки; $h_{ВНР}$ – высота верхней наполнительной рамки, определяемая уровнями УКЛЮ – уровень контр-лада опоки и УВНР – уровень верхней свободной поверхности смеси; УМС – уровень поверхности формовочного стола (поверхности рабочего лада опоки); УННР – уровень исходного нижнего положения модельной плиты; $h_{ННР}$ – высота нижней наполнительной рамки.

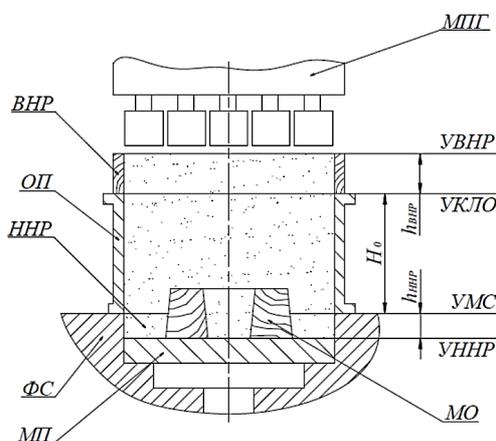


Рис. 1. Формовочная камера

Эти части модельно-опочной оснастки на различных этапах комбинированного процесса уплотнения прессованием характеризуют процесс уплотнения смеси в отдельных объемах формовочной камеры (ВНР, опока с модельной плитой, ННР), а также и процесс предварительного уплотнения смеси. Подобный подход особенно важен для анализа уплотнения смеси при пескострельном процессе заполнения и при прессовании с

вертикальным положением плоскости разъема. В случае включения в формовочную камеру многоплунжерной плиты объем формовочной камеры становится замкнутым. Понятие «прессование модельной плитой» более точно определяет процесс уплотнения смеси на этапе подъема модельной плиты при неподвижной опоке до линии разъема УМС или находящейся на линии УМС. Таким образом в различных комбинациях способов уплотнения на их разных этапах происходит взаимное перемещение элементов формовочной камеры, определяющих процесс уплотнения и конструктивное исполнение формовочной машины (рис. 2).

Анализ существующих вариантов комбинированного прессового способа уплотнения смеси с прессованием многоплунжерной головкой пассивного действия и модельной плитой позволяет выделить следующие этапы, определяющие процесс уплотнения.

Этап первый. Модельная плита опущена ниже уровня рабочего лада опоки (плоскости разъема формы УМС) на величину $h_{\text{ННР}}$, образуя нижнюю наполнительную рамку. Высота формовочной камеры равна $h_{\text{ВНР}} + H_0 + h_{\text{ННР}}$. Формовочная камера заполняется смесью, гравитационным способом.

Этап второй. Предварительное уплотнение смеси прессованием многоплунжерной прессовой плитой (плунжеры одновременно опускаются вниз, образуя плоскую прессовую плиту). Эта операция необходима для предварительного уплотнения смеси в узких карманах перед прессованием модельной плитой. Уплотнение многоплунжерной плитой не должно быть значительным, чтобы при последующем уплотнении модельной плитой ее поверхность обязательно совместилась с поверхностью рабочего лада опоки (плоскостью разъема).

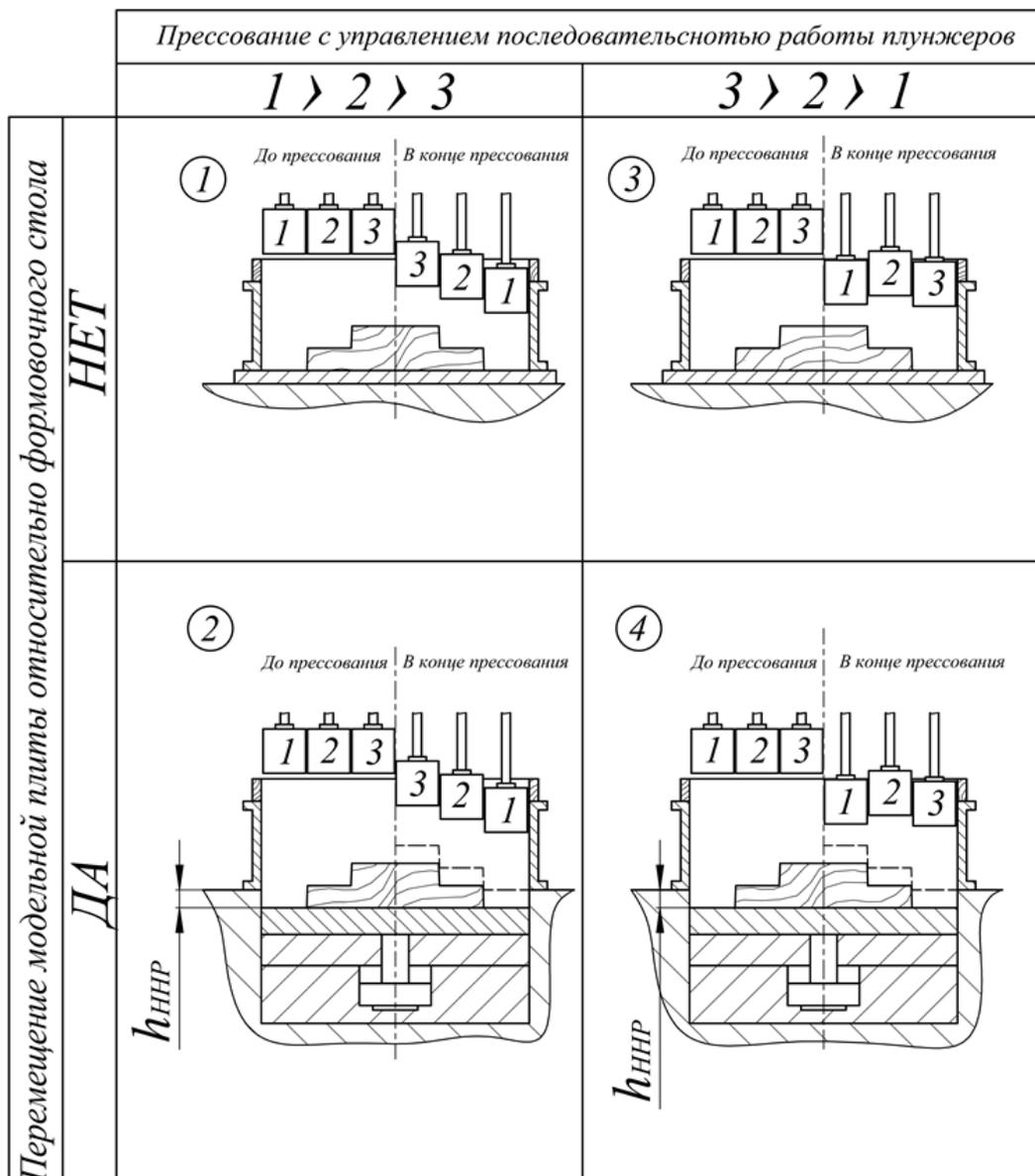


Рис. 2. Классификация технической реализации уплотнения смеси с прессованием модельной плитой и управлением последовательностью включения плунжеров при гравитационном способе подачи смеси в формовочную камеру

Этап третий. Происходит уплотнение смеси модельной плитой. Формовочный стол поднимается вверх на высоту $h_{ннр}$, многоплунжерная плита работает как плоская плита или в пассивном режиме уплотнения. Опока остается неподвижной на упорах сверху. Эта операция заканчивается при совпадении уровня модельной плиты с уровнем рабочего лада опоки УМС при последующем прессовании модельной плитой.

Этап четвертый. Опока и модельная плита с моделью неподвижны. Происходит уплотнение многоплунжерной плитой в режиме «пассивного» управления. На этом процесс комбинированного уплотнения смеси заканчивается. В таком порядке происходит комплексный способ уплотнения прессованием (схема фирмы Savelli).

Фирмы конструктивно реализуют эти этапы различными способами. Фирма Kunkel Wagner предлагает вариант, в котором четвертый этап выполняется третьим. Возможен вариант из трех этапов: заполнение формовочной камеры смесью, прессование многоплунжерной плитой и прессование модельной плитой. Однако при определенной геометрии моделей на модельной плите последняя может не дойти при подъеме вверх до уровня рабочего лада опоки. Это приведет к браку полуформы.

Расширяет возможность дальнейшего повышения качества уплотнения смеси управление последовательностью введения плунжеров в смесь по специальной программе (для каждой модельной плиты своей). Возможно и управление давлением жидкости для каждого плунжера или группы плунжеров. Таким образом осуществляется управление процессом уплотнения по 2-м направлениям. Это управление:

- давлением плунжера на смесь;
- управление по времени введения плунжеров в смесь.

Это относится как к отдельному плунжеру, так и к секциям плунжеров в многоплунжерной головке.

Результаты исследования комплексного уплотнения смеси с использованием уплотнения прессованием модельной плитой и с различными программами последовательности включения плунжеров в литературе отсутствуют. Поэтому в статье исследуется данный способ уплотнения и приводятся результаты.

2. Использование лабораторной установки для реализации комплексных способов уплотнения прессованием

Лабораторная установка находится в лаборатории формовочных машин на кафедре «Литейные технологии» МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 3). Она предназначена для исследования процессов уплотнения смеси с использованием многоплунжерной активной прессовой головки с управлением последовательностью и скоростью движения плунжеров. Установка разработана дипломником А. Шмониным (руководитель проект О.А. Беликов).

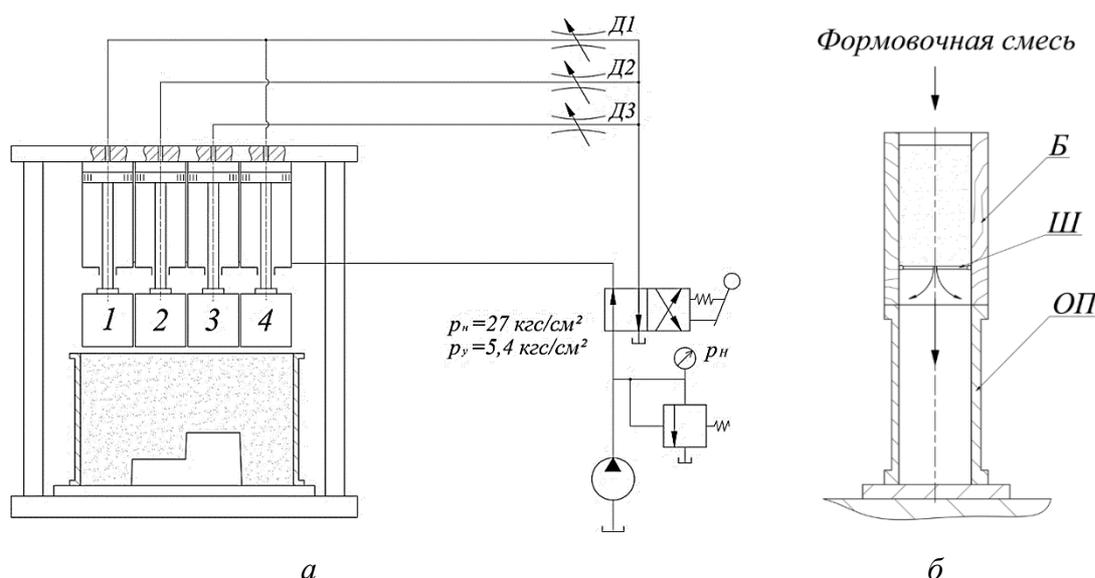


Рис. 3. Лабораторная установка: а – конструкция установки и гидравлическая схема привода; б – схема гравитационной подачи формовочной смеси из бункера Б в опоку ОП с использованием шторного затвора Ш

Основные характеристики установки (рис. 3, а).

1. Опока – 440x320x205 мм.
2. Число плунжеров в прессовой головке – 4 (крайние плунжера 1 и 4 работают одновременно, 2 и 3 имеют индивидуальное управление);
3. Способы управления скоростью движения плунжеров – дроссельное на входе;
4. Диаметр цилиндров – 50 мм;
5. Величина хода штока цилиндра – 100 мм;
6. Размер плунжеров – 97x95x113 мм;
7. Давление в гидросистеме $p_n = 27 \text{ кгс/см}^2$;
8. Усилие плунжера на смесь – 4,7 кН;
9. Максимальное давление на смесь $p_y = 5,8 \text{ кгс/см}^2$.

Скорость движения плунжеров устанавливается регулируемыми дросселями Д1, Д2 и Д3. Управляя скоростью движения плунжеров, можно реализовать необходимые последовательности их включения в процессе прессования.

В установке применяется совмещенная опока, в которой можно выделить объем, занимаемый непосредственно опокой, а также верхней и нижней наполнительной рамкой.

Для обеспечения равномерности и постоянства процесса заполнения смесью формовочной камеры на опоку дополнительно устанавливается бункер-дозатор Б со шторным замком Ш в его нижней части (рис.3, б).

Установка имеет ограничения: нельзя поднимать верхнюю траверсу; ограниченный ход штока цилиндра.

3. Методика реализации комплексного процесса уплотнения прессованием на лабораторной установке

3.1. Последовательность операций уплотнения смеси в формовочной камере при реализации комплексного способа уплотнения смеси прессованием

На рис. 4 приведена последовательность реализации операций для четырех этапов комплексного процесса прессования смеси в формовочной камере.

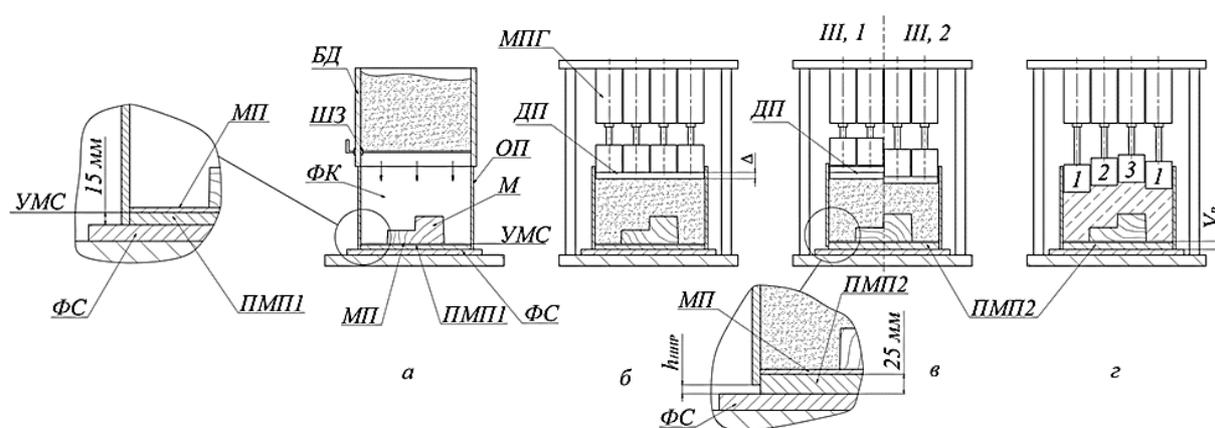


Рис. 4. Последовательность выполнения этапов комплексного процесса уплотнения смеси в формовочной камере

На первом этапе для реализации прессования модельной плитой на формовочный стол подкладывается плита ПМП1 высотой 15 мм. Эта плита будет формировать в уплотненном коме смеси гнездо для точной установки промежуточной плиты ПМП2. На неё устанавливается модельная плита МП с моделью М. Заполнение формовочной камеры из бункера-дозатора (БД). Операция выполняется на выносной позиции.

Второй этап. Формовочная камера вводится в рабочую позицию установки. Осуществляется прессование плоской прессовой плитой (плунжеры настроены на опускание с постоянной скоростью). Для убедительности равномерного перемещения плунжеров под ними установлена плита (ДП). Прессование плоской плитой осуществляется на заданную величину Δ для того, чтобы предварительно уплотнить смесь в карманах для последующего прессования модельной плитой.

Третий этап. Состоит из 2-х фаз. Первая фаза – формовочная камера ФК выводится из рабочей позиции установки, и плита ПМП1 заменяется на плиту ПМП2, высота которой больше ПМП1 на величину высоты нижней наполнительной рамки $h_{\text{ннр}}$, например, на 10 мм. Между нижней поверхностью опоки ОП и формовочным столом ФС образуется зазор, равный высоте нижней наполнительной рамки $h_{\text{ннр}}$. Вторая фаза – начинается после установки формовочной камеры на рабочую позицию. Происходит прессование плоской модельной плитой. Опока опускается вниз до упора в формовочный стол. Верхняя поверхность модельной плиты МП находится на уровне, соответствующем уровню положения плоскости разъема полуформы.

Четвертый этап. Формовочная камера выводится из рабочей позиции установки, дополнительная плита ДП удаляется и после введения формовочной камеры обратно на рабочую позицию происходит управляемое движение вниз плунжеров в последовательности (1 и 4 > 2 > 3). Процесс уплотнения смеси комплексным прессованием заканчивается.

Этот режим уплотнения применяется на машинах фирмы Kunkel Wagner. С использованием дополнительных элементов технологической оснастки можно реализовать и другие режимы как отдельных процессов прессования, так и комбинированных. Модель извлекается из полуформы вручную.

3.2. Основные условия проведения экспериментов

Во всех экспериментах применялась одна модель и использовалась смесь одного состава. Характеристики формовочной смеси на уровне: влажность – 4,1%, прочность на сжатие – 0,96 г/см², уплотняемость – 0,42%. Давление в гидросистеме $p_n = 27$ кгс/см². Это позволило сравнивать результаты различных способов уплотнения смеси прессованием.

3.3. Методы контроля твердости рабочей поверхности полуформы и по ее разъему

Контроль твердости осуществляется твердомером мод. 071, так как он позволяет проводить измерения в узких карманах по высоте используемой модели на модельной плите и на плоскости разъема.

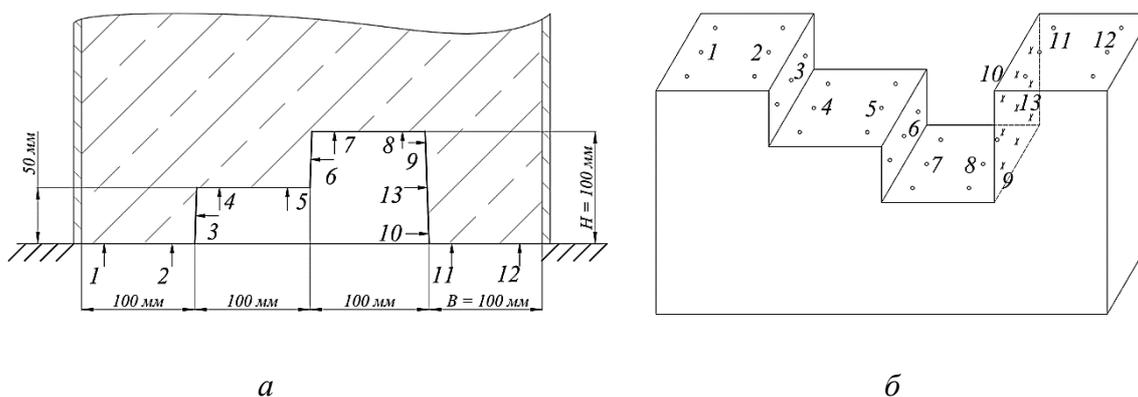


Рис. 5. Точки для измерения твердости по рабочей поверхности и на плоскости разреза:
 а – в вертикальной плоскости и б – по глубине полуформы

3.4. Изменяемые способы уплотнения и их комбинации и программы включения плунжеров

Рассматривались такие способы уплотнения, как прессование пассивное, многоплунжерной управляемой прессовой головкой с прессованием модельной плитой и традиционный способ прессованием плоской плитой. Использовались следующие режимы включения плунжеров в процесс уплотнения: режим R1 – начинается с уплотнения столбов смеси над высокими плоскими частями модели и заканчивается в зазорах между вертикальными стенками модели и опокой (3 > 2 > 1 и 4), далее будем применять упрощенную форму записи (3 > 2 > 1); режим R2 – начинается с уплотнения столба смеси между вертикальными стенками модели и опокой и кончается над самой высокой плоскостью модели (1 и 4 > 2 > 3) или (1 > 2 > 3).

Исследовались следующие прессовые способы уплотнения:

- вариант «а» – прессование плоской плитой;
- вариант «б» – традиционный – уплотнение пассивной многоплунжерной прессовой плитой;
- вариант «в» – прессование многоплунжерной прессовой плитой с управлением последовательностью введения плунжеров в смесь по режиму R1;
- вариант «г» – прессование многоплунжерной прессовой плитой с управлением последовательностью введения плунжеров в смесь по режиму R2;
- вариант «д» – прессование модельной плитой снизу и последующее прессование многоплунжерной плитой по режиму включения плунжеров R1;

- вариант «е» – прессование модельной плитой снизу и последующее прессование многоплунжерной плитой по режиму включения плунжеров R2.

Исследование в сопоставимых условиях вариантов способов уплотнения прессованием в, г, д, е проводилось впервые.

4. Результаты эксперимента исследований

Результаты проведенных экспериментов, а именно твердости и рабочей поверхности отпечатка модели для всех вариантов способов уплотнения приведены на рис. 6. На рис. 7 представлены результаты статистической обработки полученных данных, способствующих проведению в сопоставимых условиях анализа различных прессовых способов уплотнения смеси.

Сравнение вариантов прессования плоской прессовой плитой (вариант А) и прессования смеси многоплунжерной плитой при пассивной работе плунжеров, подключенных к гидросистеме с постоянным давлением (вариант Б), показывает более высокие значения твердости в глубоких карманах и более равномерную твердость по рабочему контуру. Это достигается за счет проявления свойства литейных технологий «саморегулирования» или «самоорганизации». Первыми внедряются в смесь плунжеры, под которыми сопротивление столба смеси уплотнению минимальное. Затем внедряются плунжеры при более высоком сопротивлении смеси уплотнению и так далее. Этот способ уплотнения все еще применяется в литейной практике и может служить примером для последующих новых комплексных прессовых способов уплотнения.

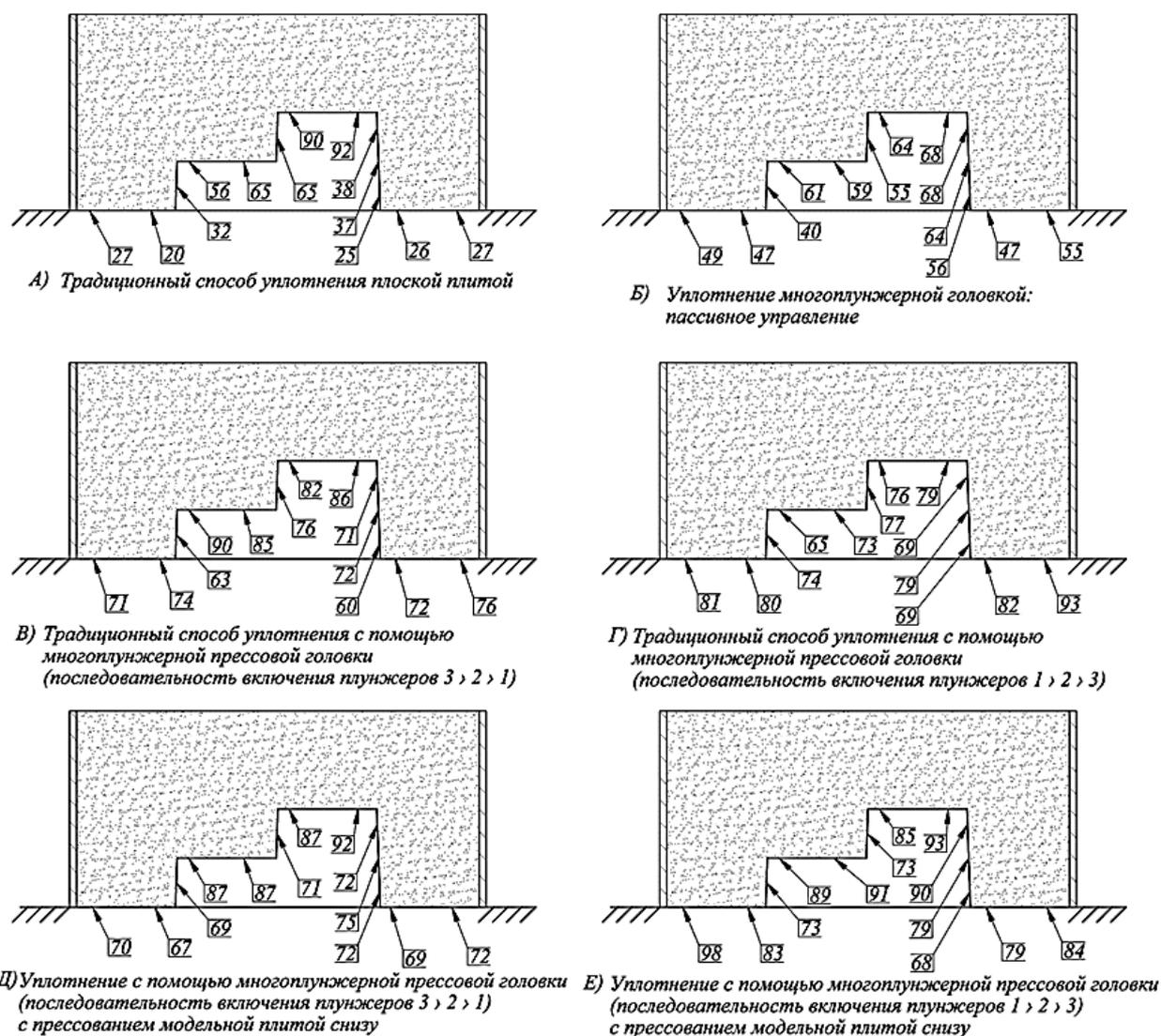


Рис. 6. Представлены результаты достигнутых значений твердости по отмеченным точкам в полуформе по всем исследуемым вариантам способов уплотнения прессованием

Применение управляемых режимов R1 и R2 дает повышение общего среднего значения T_{cp} на $\approx 35\%$. В варианте В, однако, значение твердости на вертикальной стенке кармана повышается только на $\approx 0,7\%$ по сравнению с вариантом Б. Варианту Г следует отдать предпочтение по сравнению с вариантом Б в плане получения равномерного уплотнения, так как в варианте Г $\Delta T = 14$. Также $T_{cp} = 73,4$ у него больше, чем у варианта Б, где $T_{cp} = 59,4$ и твердость по высоте вертикальной стенки отпечатка выше, особенно на уровне 50 мм от плоскости разъема. Очевидно, при использовании более текучей смеси в варианте В при перемещении плунжера №3 первым столб смеси под этим плунжером может перетекать в столб смеси под плунжером №1. Это может привести к повышению твердости в верхней части вертикальной стенки. Проблемными становятся точки на других невысоких вертикальных стенках.

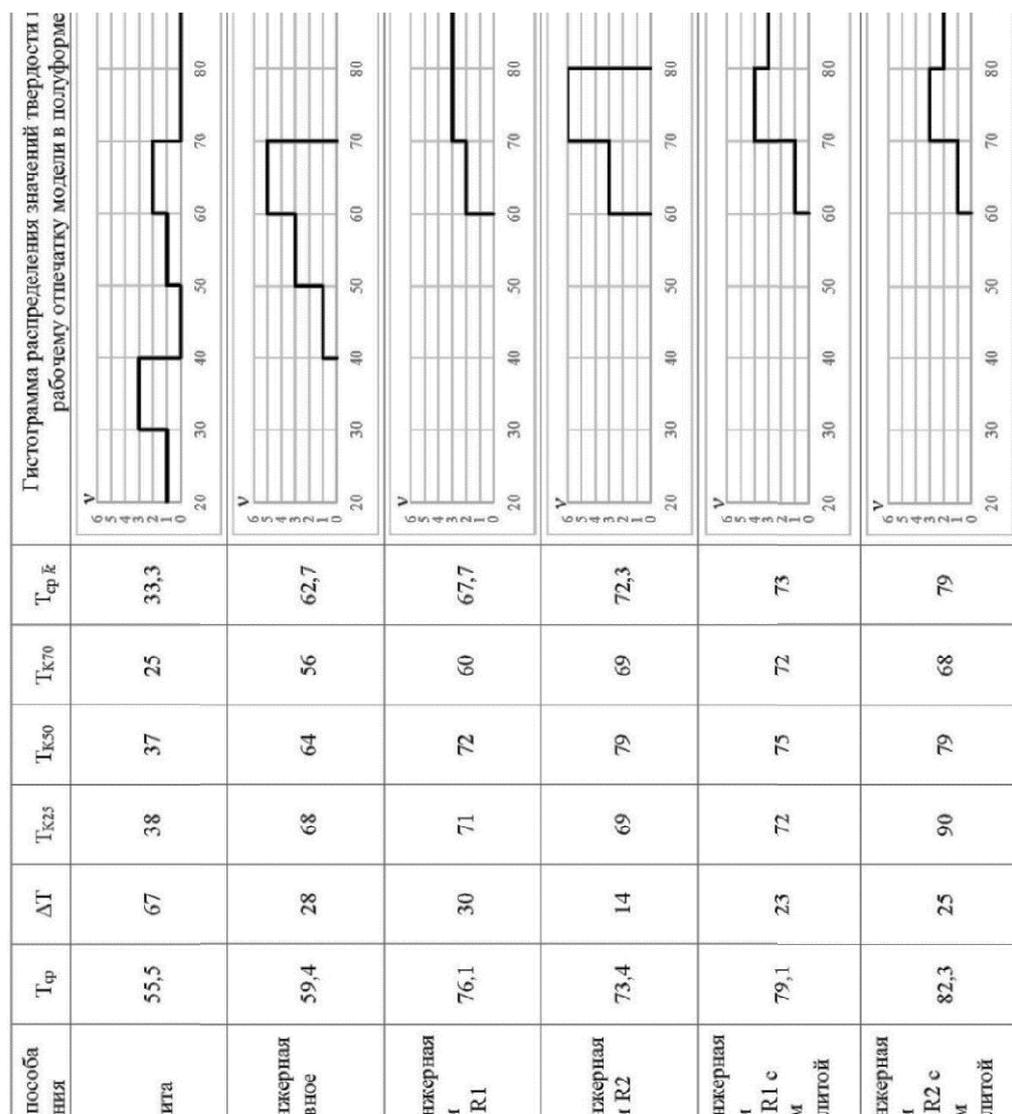


Рис. 7. Таблица значений твердости в точках на рабочем отпечатке модели: T_{cp} , ΔT – значение средней твердости по рабочему отпечатку модели в полуформе и величина разброса твердости; $T_{cp \bar{k}}$ – среднее значение твердости по высоте кармана между моделью и опокой; T_{K25} , T_{K50} , T_{K75} – конкретные значения твердости по высоте модели в проблемном кармане на расстоянии 25, 50, 75 мм от плоскости разъема; гистограмма распределения значений твердости: T – значение твердости, v – частота значений в интервале

Применение прессования модельной плитой снизу (варианты Д и Е) дает дополнительное повышение твердости T_{cp} до 12%, а в проблемном кармане до 9,3%. Имеет место повышение твердости на уровне T_{K25} , то есть у линии разъема, и, что важно, повышается твердость в остальных точках по линии разъема и на других вертикальных стенках отпечатка модели. В варианте Д твердость отпечатка, сформированного плоскими горизонтальными стенками поверхности модели, достигает довольно высоких значений T

> 80, что может затруднить отвод газов. Эти величины значения твердости хотя и повышают $T_{ср}$, по сравнению с вариантом Е, однако могут приводить к браку. Вариант Е имеет наибольшие твердости по высоте в проблемном кармане 90, 79, 68. Этот комплексный способ можно считать приоритетным.

С увеличением высоты нижней наполнительной рамки $h_{ННР}$ должна повышаться твердость отпечатка в полуформе в зоне, близкой к плоскости разъема. Это связано с предварительным уплотнением смеси перед прессованием модельной плитой, которое осуществляется плоской многоплунжерной плитой. При значительном увеличении $h_{ННР}$ и высоком давлении на смесь со стороны многоплунжерной головки возможно, что модельная плита не дойдет до уровня формовочного стола $У_p$ и возможно образование зазора между опоками при сборке формы. При низком давлении со стороны многоплунжерной плиты возможен подъем модельной плиты выше уровня $У_p$, что может привести к зазору между отпечатками полуформ при сборке форм. В рассмотренных в литературе вариантах этот дефект устраняется применением упоров, фиксирующих выход поднимаемой модельной плиты до уровня $У_p$. Однако это приводит к уменьшению твердости отпечатка в зоне разъема.

Заключение

1. Проведенные экспериментальные исследования комплексных способов уплотнения смеси в формовочной камере прессованием показали, что управление последовательностью включения плунжеров в процессе уплотнения и прессование модельной плитой снизу дают существенное повышение и почти равномерное распределение значений твердости рабочей поверхности полуформы.
2. Управление последовательностью введения плунжеров в формовочную смесь как индивидуально, так и секциями не представляется на современном уровне проблемой и должно применяться для повышения качества формы и отливок.
3. Дополнительное применение прессования модельной плитой снизу дает существенное повышение твердости по контуру рабочего отпечатка полуформы в зоне плоскости разъема. Это и низкие затраты энергии на процесс прессования смеси оправдывают внимание к ранее широко применяемому способу уплотнения «нижнее прессование».
4. Следует отметить, что номенклатура невысоких отливок с простой конфигурацией и плоскими поверхностями значительна, а применение невысоких опок среднего размера, в которых можно размещать модели для нескольких разных отливок в

многономенклатурном производстве и низкие затраты на оборудование и энергию, могут принести дополнительную прибыль предприятию.

5. Результаты экспериментов показывают, что возможно управление твердостью рабочего отпечатка модели, необходимой для повышения точности формы и, следовательно, точности отливок, а также для достижения требуемой газопроницаемости формы.
6. Требуется дальнейшее исследование комплексного чисто прессового способа уплотнения с применением прессования модельной плитой и многоплунжерной головки с управлением последовательностью включения плунжеров для определения области эффективного применения способа.

Список литературы

1. Интернет-сайт фирмы HWS-Sinto. Режим доступа: <http://wagner-sinto.de> (дата обращения 10.04.2014).
2. Интернет-сайт фирмы SAVELLI S.p.A. Режим доступа: <http://savelli.it> (дата обращения 10.04.2014).
3. Интернет-сайт фирмы KÜNKEL-WAGNER. Режим доступа: <http://kuenkel-wagner.com> (дата обращения 10.04.2014).
4. Интернет сайт фирмы ЛИТАФОРМ. Режим доступа: <http://litaform.ru> (дата обращения 01.04.2014).
5. Аксенов П.Н. Оборудование литейных цехов. 2-е издание. М.: Машиностроение, 1977. 510 с.