

Е.Н. Буданов

# Инновационная технология Сейатцу – процесс для модернизации литейного производства России

В настоящее время необходимость неотложной модернизации литейного производства уже никто не ставит под сомнение. Также всем известен и тот факт, что большинство отливок (особенно автокомпонентов) в мире изготавливают на АФЛ по ПГС-процессу. Но песчано-глинистые формы (ПГФ) можно изготовить несколькими разными способами уплотнения, например, методом встряхивания, который пока широко применяется в отечественном литейном производстве, в отличие от заводов экономически развитых стран мира. Однако в условиях модернизации при выборе способа изготовления ПГФ целесообразно выбирать самый эффективный и наиболее распространенный в мире. По результатам исследования опыта поставок и внедрения АФЛ на передовых заводах мира за последние 10 лет выявлены определенные тенденции модернизации. Анализ сравнения референтных списков различных поставщиков АФЛ показал, что лидером за последние более чем 10 лет является способ изготовления ПГФ по Сейатцу-процессу. Эта технология уплотнения разовых песчано-глинистых форм защищена рядом патентов. Отличное качество форм обеспечивается как применением Сейатцу-процесса (рис. 1), так и изготовлением на

В статье дается подробное описание технологического процесса формовки по инновационному способу уплотнения разовых песчано-глинистых форм (Сейатцу-процесс) для качественных отливок различной сложности и конфигурации из стали, алюминия, чугуна.

**Ключевые слова:** технология изготовления форм, модернизация литейного производства.

\*\*\*

**Budanov E.N.** Innovative Seiatsu-process for modernization of foundry production in Russia.

The article gives the detailed description of technological molding process using the innovative compaction method of expendable greensand molds (Seiatsu-process) for high quality castings from steel, aluminum and iron with various complexity and surface configuration.

**Key words:** molding technology, foundry modernization.

двигающихся бункера-дозатора для облицовочной и наполнительной смеси, каждая из которых может дозироваться по массе.

Уплотнение формовочной смеси происходит способом Сейатцу – воздушным потоком с последующим прессованием. Пространство у модельной оснастки, состоящее из подмодельной плиты/держателя подмодельной плиты, опоки и наполнительной рамы, заполняется необходимым количеством формовочной смеси открыванием жалюзийных затворов бункера-дозатора – шаг 1 (рис. 2). Затем бункер-дозатор передвигается под ленточный питатель бункера смеси, а прессовая головка занимает положение над пространством формы.

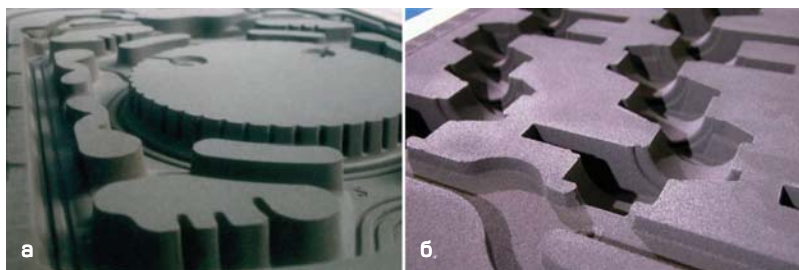


Рис. 1, а, б. Полуформы, полученные по Сейатцу-процессу на АФЛ фирмы HWS-Sinto, Германия

АФЛ фирмы HWS-Sinto. Из литературы 1970–1980 гг. были известны попытки освоения импульсного, взрыво-импульсного и других способов уплотнения ПГФ, однако в современных условиях самое широкое распространение получил Сейатцу-процесс и важно более подробно исследовать его возможности для получения различной номенклатуры отливок.

## Последовательность процесса уплотнения форм по Сейатцу-процессу

Заполнение опоки формовочной смесью происходит равномерно по всей плоскости формы. Во избежание превышения уровня смеси в составе формовочного автомата посередине бункера-дозатора находятся склизы (облицованные тефлоновыми плитами) для сбрасывания смеси от транспортной ленты в углы бункера. Угол склизов регулируется. Дозировка формовочной смеси от ленточного транспортера регулируется по массе или по времени. При этом формовочные автоматы для стального литья имеют два автоматически



Рис. 2. Шаг 1 – заполнение опоки песчано-глинистой смесью из бункера-дозатора



Рис. 3. Шаг 2 – применяется процесс уплотнения форм воздушным потоком по технологии Сейатцу-процесс



Рис. 4. Шаг 3 – последующее уплотнение многоплунжерной головкой

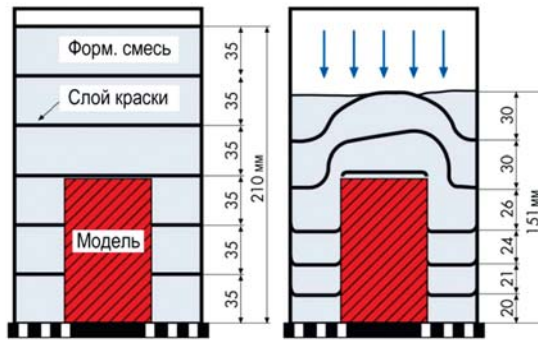


Рис. 5. Шаг 4 – протяжка моделей и выдача готовых полуформ



**Рис.6.** Полуформа по Сейатцу-процессу для отливки тормозного барабана, диаметр около 500 мм

Воздействие воздушного потока на формовочную смесь



**Рис.7.** Результат экспериментальных исследований послыонного уплотнения смеси



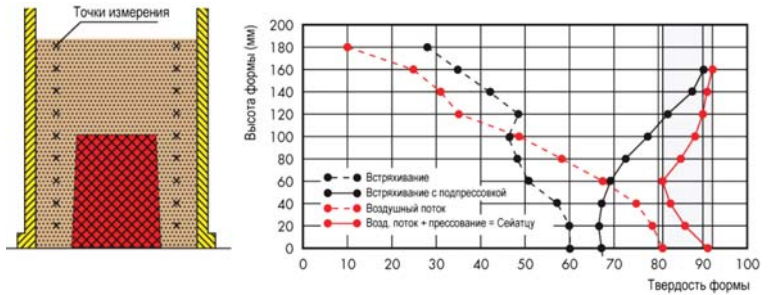
**Рис.8.** Полуформа отливки с шириной ребер около 2,5 мм, диаметр около 400 мм. Прежде для формообразования особо тонкостенных ребер данных отливок использовали дополнительные стержни, сейчас их нет

12 Стол машины поднимается и прижимает держатель подмодельной плиты с опокой и наполнительной рамой к прессовой головке, при этом все пространство формы оказывается герметично закрытым. Затем кратковременно открывается клапан воздушного потока, поток проходит формовочную смесь от контрлада полуформы в сторону модели и уходит через венты в держателе подмодельных плит и/или в самой подмодельной плите – шаг 2 (рис. 3). Дополнительное прессование сверху плоской прессовой плитой, мембраной или многопунжерной головкой производит окончательное уплотнение формы – шаг 3 (рис. 4). Во время процесса уплотнения бункер-дозатор снова заполняется смесью. Протяжка модели из формы происходит путем опускания стола машины. Одновременно в исходное положение передвигаются бункер-дозатор смеси и прессовая головка – шаг 4 (рис. 5).

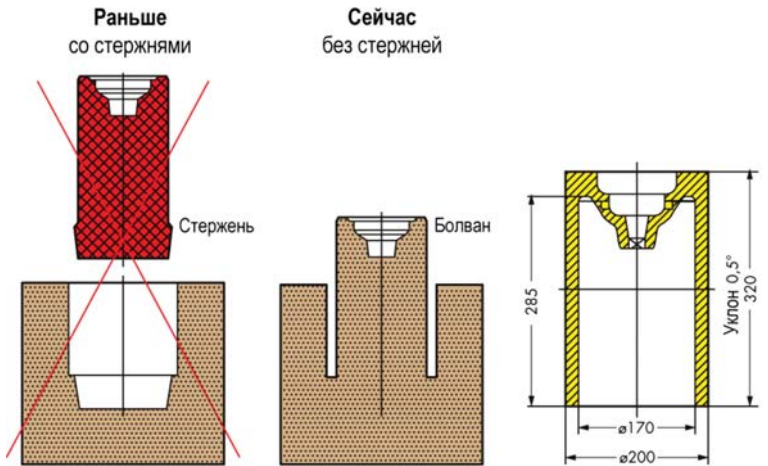
**Воздушный поток и эффект от его применения**

31 При прохождении формовочной смеси в сторону модели воздушный поток оказывает на каждую частицу смеси усилие, направленное вниз. Вместе с потоком воздуха песчинки попадают в самые различные по конфигурации части полуформы. В направлении потока вниз плотность смеси возрастает с каждым слоем, поэтому у подмодельной плиты и самих моделей достигается наивысшее уплотнение (рис. 6).

39 Для пояснения получаемого благодаря воздушному потоку превосходного результата предварительного уплотнения был проведен эксперимент. В форме на расстоянии 35 мм друг от друга были размещены несколько слоев краски (рис. 7). Под воздействием воздушного потока расстояние между слоями краски у подмодельной плиты сократилось до 20 мм и до 30 мм – в верхней части формы. В результате последующего прессования достигается равномерность всей формы и в дальнейшем соответствующее качество отливок (рис. 8).



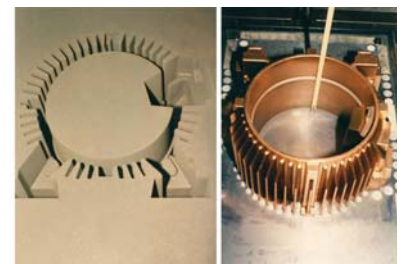
**Рис.9.** Результаты испытаний твердости формы, полученной по Сейатцу-процессу и старым традиционным технологиям



**Рис.10.** Пример формовки с высоким болваном (отказ от стержней) для отливок типа гильзы цилиндров



**Рис.11.** Полуформа низа для отливки тормозного барабана на линии HWS-Sinto по Сейатцу-процессу, размер опок 1500x1100x400/400 мм. В одной форме отливают сразу 4 крупных барабана. Завод КАМАЗ



**Рис.12.** Форма, модель корпуса электродвигателя с минимальным формовочным уклоном. Сейатцу-процесс, завод Olsberg, Германия

**Преимущества СейАТЦУ–процесса**  
**Равномерная твердость формы** является предпосылкой для изготовления отливок высокой размерной точности. Сравнение между встряхиванием с подпрессовкой и Сейатцу–процессом наглядно показывает более равномерную твердость формы, изготовленной способом Сейатцу (рис.9).

**Меньше стержней.** Во многих случаях отпадает необходимость в стержнях, так как возможна формовка сложных контуров моделей и различных болванов благодаря равномерной твердости формы при использовании Сейатцу–процесса (рис.10,11).

**Уменьшение формовочного уклона.** Расход металла и затраты на механическую обработку снижаются благодаря возможности существенного уменьшения формовочных уклонов до менее 0,5°, а иногда близко к 0°, как например на внутренней стороне корпуса электродвигателя (рис.12).

**Лучшее использование плоскости разреза отливками.** Возможно более плотное расположение моделей на подмодельной плите, так как допускаются меньшие расстояния между моделями и до стенок опоки (рис.13). Это позволяет производить больше отливок в форме.

**Уменьшение затрат на очистку отливок.** В значительной мере уменьшаются затраты на очистку и окончательную обработку отливок (рис.14–17). Это обусловлено тем, что по Сейатцу–процессу производятся высококачественные отливки с равномерным качеством в серии, с прекрасной поверхностью, точные по размерам и почти без заусенцев.

**Гуманная технология.** Воздушный поток заменяет встряхивание. Поэтому уровень шума снижается до величины менее 85 дБА, что является важным шагом в сторону улучшения условий труда (рис.18). Машины по Сейатцу–процессу работают без динамических нагрузок на фундамент, что означает более низкие расходы на фундамент и техобслуживание (рис.19).

Для конкретных условий производства есть и свой наиболее подходящий тип формовочной машины по Сейатцу–процессу из многообразия типов различных машин начиная, например, от HSP–D и до ZFA–SD.

**Формовочная машина HSP–D**

Формовочная машина проходного типа с двухпозиционным поворотным столом для изготовления верхних и нижних полуформ на одной машине. Машина поставляется в смонтированном виде, включает встроенные системы гидравлики и электронного управления. Размер опоки от 500x400 до 1250x1000 мм, производительность 40–80 форм/ч (рис.20).

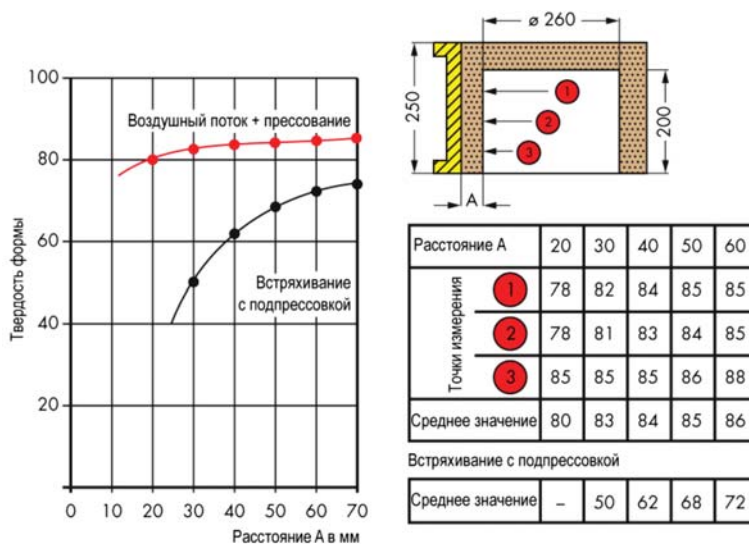


Рис.13. Демонстрация возможности использования большей рабочей площади форм по Сейатцу–процессу

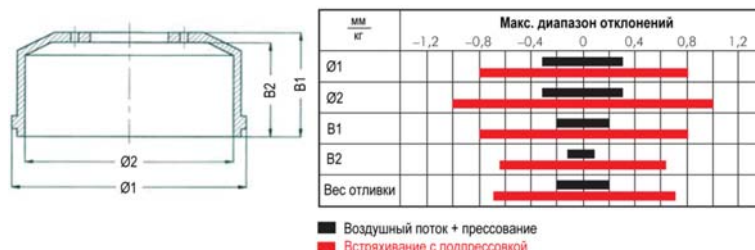


Рис.14. Исследование по уменьшению допусков на мехобработку

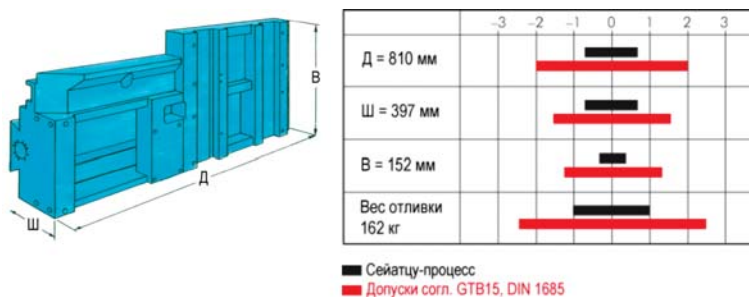


Рис.15. Допуски по корпусным деталям при изготовлении по Сейатцу–процессу

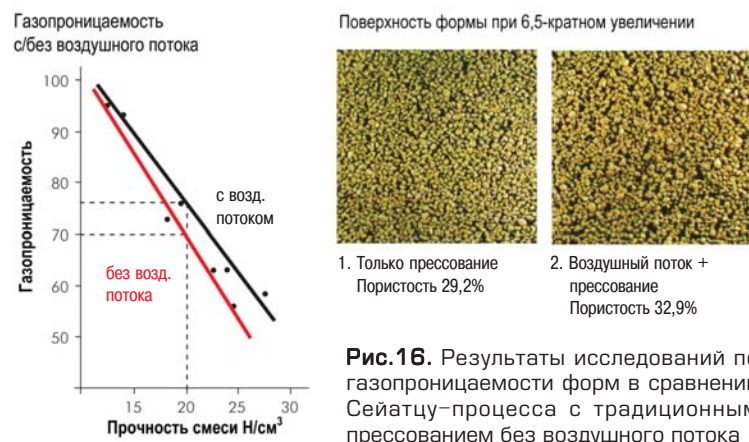
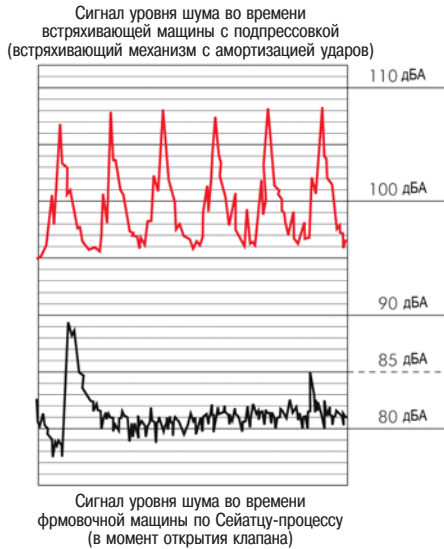


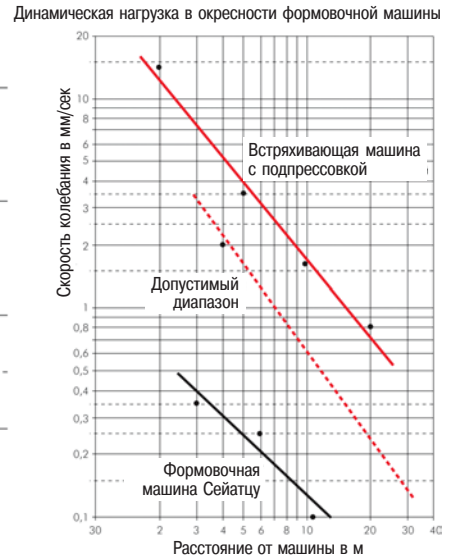
Рис.16. Результаты исследований по газопроницаемости форм в сравнении Сейатцу–процесса с традиционным прессованием без воздушного потока



**Рис.17.** Сложная тонкостенная чугунная отливка корпуса балансировочного вала, масса 8,4 кг



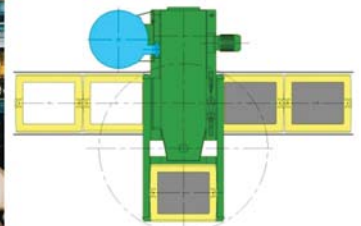
**Рис.18.** Сравнение уровня шума между встряхиванием и СейАТЦУ-процессом



**Рис.19.** Динамическая нагрузка рядом с работающими формовочными машинами по различным технологиям уплотнения форм

**Формовочная машина ZFA-S**

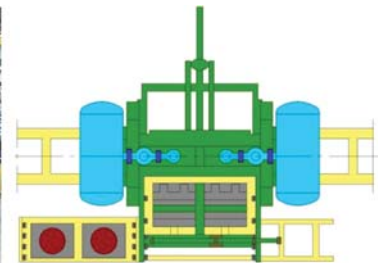
Удвоенный формовочный автомат для одновременного изготовления верхней и нижней полуформ, с рольгангом и челночным механизмом для замены модельной оснастки, имеющий плоскую прессовую плиту, мембрану или многоплунжерную головку (рис.21). Наполнение формовочной смесью происходит из бункера-дозатора внутри машины. Транспортирование опок осуществляется автоматически на рольганге гидравлическим цилиндром. Размер опок от 500x400 до 1250x1000 мм, производительность 160-250 форм/ч.



**Рис.20.** Формовочная машина типа HSP-D и ее схема

**Формовочная машина ZFA-SD**

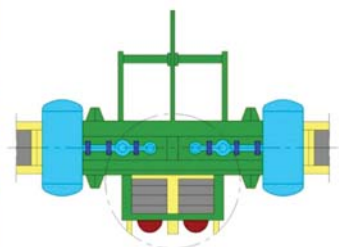
Удвоенный формовочный автомат с поворотным столом для одновременного изготовления двух верхних или двух нижних полуформ или пары полуформ, имеющий плоскую прессовую плиту, мембрану или многоплунжерную головку (рис.22).



**Рис.21.** Формовочная машина типа ZFA-S и ее схема

Наполнение формовочной смесью происходит из бункера-дозатора внутри машины.

Транспортирование опок осуществляется автоматически на рольганге гидравлическим цилиндром. Размер опок от 500x400 до 1250x1000, производительность 160-250 форм/ч.



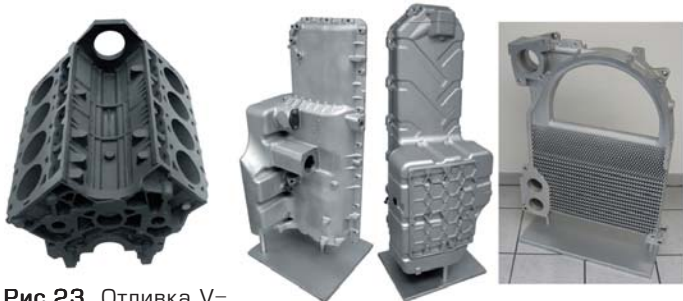
**Рис.22.** Формовочная машина типа ZFA-SD и ее схема

Примеры отливок, полученных по СейАТЦУ-процессу приведены на рис. 23-25.

**Метод формовки с помощью средней формы («сырой стержень»)**

В этом методе формовки в форму в опоке вставляется безопасная средняя

форма («сырой стержень»), в результате чего получают два этажа формы (рис.26). Средняя форма из песчано-глинистой смеси должна быть высоко уплотненной и достаточно твердой, чтобы выдержи-



**Рис.23.** Отливка V-образного блока цилиндров, СЧ, 150 кг



**Рис.24.** Алюминиевые отливки поддона картера (масса 33 и 31 кг), радиаторов и др.



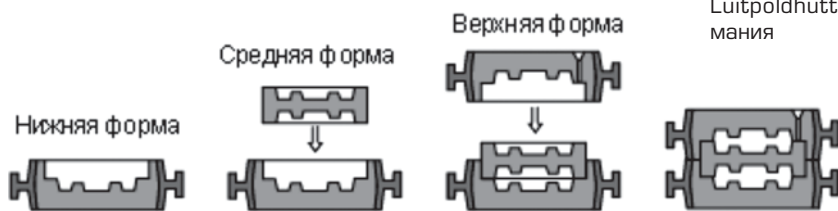
**Рис.25.** Чугунная отливка корпуса коробки передач заднего моста, масса 730 кг. Завод Luitpoldhutte, Германия

### История развития технологии Сейатцу и оборудования по его реализации

Технология Сейатцу была разработана более 25 лет назад в Японии концерном Sinto. Слово «Сейатцу» – японское обозначение для «тихого потока». Процесс двухступенчатый, как и встряхивание с подпрессовкой. За последние 25 лет Сейатцу-процесс приобрел наибольшее распространение среди всех технологий песчано-глинистой формовки благодаря своим преимуществам при изготовлении сложного и точного литья из любых сплавов. При этом каждый год фирма HWS-Sinto запускает самые быстрые формовочные автоматы производительностью 240 форм/ч.

Более 500 реализованных фирмой HWS-Sinto проектов и более 300 проектов, выполненных материнским концерном Sinto, доказывают распространение процесса.

Так, например, для ФГУП ПО «Уралвагонзавод» (г. Нижний Тагил) фирма HWS-Sinto предоставляет автоматическую формовочную линию песчано-глинистой формовки для нужд вагоностроения (рис.28). Размер опок линии – 1700 x 1000 x 500/500 мм, производительность – 60 компл. форм/ч – с полностью автоматической дозировкой облицовочной и наполнительной смеси.



**Рис.26.** Схематичное изображение метода формовки с помощью средней формы



**Рис.27.** Отливка, полученная методом формовки с помощью средней формы



**Рис.28.** Стальная отливка автосцепки для западно-европейской железной дороги, произведена на заводе SHB Stahl- und Hartgusswerk Bosdorf, Германия. АФЛ HWS-Sinto по Сейатцу-процессу, размер опок 1460x1310x400/400 мм

вать давление жидкого металла.

Средние формы изготавливаются по специальному, управляемому компьютером методу застреливания и прессования формовочной смеси. Этот метод позволяет обеспечить равномерную плотность формовочной смеси от 1,5 до 1,6 г/см<sup>3</sup> для всей средней формы.

Преимущества метода:

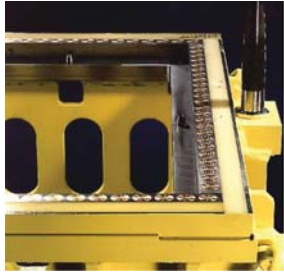
- число отливок на одну форму возрастает минимум вдвое;
- доля оборотного материала значительно сокращается;
- применяется такая же формовочная смесь, что и на других формовочных линиях, благодаря чему отпадают проблемы с приготовлением смеси и имеются одинаковые условия для изготовления отливок в форме (рис.27).

Кроме представленного метода средней формы есть и другие варианты технологических решений по уже выполненным различным проектам изготовления и поставок АФЛ по Сейатцу-процессу. Так, например, есть возможность заливки опочных форм снизу и сбоку или после поворота в вертикальном положении. Также иногда реализуются различные варианты по комбинации формовки и протяжки.

цовой и наполнительной смеси.

### Дополнительные технологические особенности и возможности уплотнения ПГФ по Сейатцу-процессу и их технические решения

**Предварительное уплотнение потоком сжатого воздуха.** После подачи формовочной смеси бункер-дозатор закрывается и открывается воздушный клапан, подается сжатый воздух до 5,5 – 6 бар. Это принципиальное отличие от существовавших во время изобретения данной технологии способов импульсного или даже взрыво-импульсного уплотнения. Время подачи воздуха для каждой формы регулируется компьютерной программой, например, для простых по форме и конфигурации моделей время составляет от 0 до 1,5–2 с. Основной поток воздуха выходит из формы через вентиляционные отверстия, которые являются составной частью держателя подмодельных плит (рис. 29). При наличии глубоких карманов на моделях можно перенаправлять потоки воздуха, а вместе с ним формовочную смесь, именно в эти карманы модели, где для этого монтируются соответствующие венты.



**Рис. 29.** Держатель подмодельных плит с вентилями по периметру (составная часть формовочной машины АФЛ по Сейатцу-процессу)



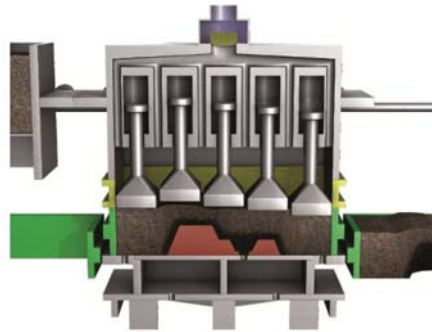
**Рис. 30.** Облицованные тефлоном рабочие плунжеры и корпус цилиндров многоплунжерной головки гидравлического прессования



Кроме предварительного уплотнения формовочной смеси по рабочей поверхности полуформы (включая глубокие карманы и др.) из-за потоков сжатого воздуха происходит эффект обмывания модели, что обеспечивает в дальнейшем отличное отделение формы от модели и четкие контуры формы. Далее прохождение отдельных потоков сжатого воздуха в форме создает микроканалы, направленные от лада к контрладу полуформы, которые обеспечивают повышение газопроницаемости всей формы – данный дополнительный эффект, крайне важен для отвода газов, образующихся при заливке (см. рис. 16).

Машины фирмы HWS-Sinto имеют специальные отверстия в многоплунжерном прессе для подачи сжатого воздуха по всей плоскости формы, особенно посередине формы, где, как правило, формируется основная часть отливки. Для полного окончания действия процесса предварительного уплотнения дается время для окончательного прохождения воздуха в форме, обычно от 2 до 4 с, затем давление воздуха в окружающем пространстве и над формой выравнивается. Воздушный клапан имеет самоочищающуюся конструкцию и не нуждается в ремонте (клапан тарельчатого типа, облицованный путем вулканизирования тефлоном).

**Гидравлическое уплотнение.** После восстановления атмосферного давления идет процесс уплотнения формы прессованием. Прессовая головка – это гидравлический блок с соединенными между собой цилиндрами, работающими по принципу сообщающихся сосудов. Этим обеспечивается саморегулирование плотности уплотнения формы по всему объему. Плунжеры одновременно опускаются на формовочную смесь. Столбики смеси полуформы в местах высоких моделей достигают быстрее определенной плотности, и, тем самым, путем повышенного противодействия со стороны формы в данном месте замедляется скорость движения соответствующих плунжеров по сравнению с соседними участками формы. Благодаря соответствующей системе «сообщающихся сосудов» всех полостей цилиндров гидравлическая жидкость имеет возможность выдвигаться противодействием со стороны формы из одного цилиндра в соседние, тем самым, обеспечивая ра-



**Рис. 31.** Схема уплотнения многоплунжерным и дополнительным прессованием со стороны модельной плиты (опционно)

венство давления во всех цилиндрах и равномерную плотность формы. При этом прессовые рабочие органы (плунжеры) имеют тяжелые литые ножки, на концах которых вмонтированы толстые плиты антифрикционного тефлона с целью предотвращения прилипания формовочной смеси к плунжерам (рис. 30). Для получения более высокого давления вблизи опок плунжеры имеют меньшую рабочую площадь прессования, чем плунжеры, расположенные в середине.

Целью уплотнения является равномерная плотность по всему объему – стабильная форма, которая при заливке противостоит давлению металла. Уплотнение по Сейатцу-процессу может обеспечить наиболее высокую требуемую

технологом плотность формы, однако часто наоборот, даже снижают плотность полуформы верха с целью улучшения газопроницаемости и других технологических параметров формы.

Для разных типов отливок и заливаемых сплавов есть различные дополнительные технические и технологические возможности особенностей процесса уплотнения.

**Вторая подача потока воздуха во время прессования (стандарт).**

Существует возможность применения для особенно сложных карманов в форме. Используется, например, при производстве высоких корпусов электродвигателей.

**Дополнительное уплотнение со стороны модельной плиты (опцион) – рис. 31**

Используется при изготовлении форм с огромным количеством закрытых прибылей, препятствующих равномерному распределению давления, или когда есть опасность поломки этих прибылей, или для особо крупного толстостенного стального литья (когда при заливке из стопорного ковша имеется сильное гидростатическое давление). Однако чем выше модели и выше опока (в сравнении с ее длиной и шириной), тем ниже целесообразность дополнительного уплотнения со стороны моделей. В отличие от плоских отливок типа канализационных люков гораздо чаще требуется оптимальная плотность рабочей поверхности формы с целью повышения газопроницаемости и других технологических параметров.

Сейатцу-процесс активно развивается и востребован в мировом литейном производстве. Так, например, итальянская фирма Vrembo после успешного введения АФЛ в Польше летом этого года приобрела еще 2 высокопроизводительных АФЛ для тормозных вентилируемых дисков у фирмы HWS-Sinto.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48