

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого»**

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

В. А. Жаранов И. Н. Прусенко

**ОБОРУДОВАНИЕ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И ЛИТЕЙНОГО
ПРОИЗВОДСТВ
КУРС ЛЕКЦИЙ В ДВУХ ЧАСТЯХ
ЧАСТЬ 1**

**ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ:
1–42 01 01 МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО
И МАТЕРИЛООБРАБОТКА
(МЕТАЛЛУРГИЯ)**

Гомель 2022

УДК 621.7 (075.8)
ББК 34.441.

Авторы-составители: *В. А. Жаранов, И. Н. Прусенко*

Оборудование металлургического и литейного производств. Курс лекций в двух частях. Часть 1. Для студентов специальности: 1–42 01 01 Металлургическое производство и материлообработка (металлургия) / авт.-сост.: А.В. Жаранов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2022. – 218 с.

Описано основное технологическое оборудование литейного производства. Подробно рассмотрены процессы формовки, приготовление смесей, процессы дробления и сепарации материалов литейного производства. Также один из разделов подробно описывает оборудование для финишных операций производства отливок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	8
2	ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	11
2.1	Классификация формовочных и стержневых машин	11
2.2	Прессовые формовочные машины.....	12
2.3	Напряжённое состояние литейной формы. Опока без модели	13
2.4	Напряжённое состояние литейной формы. Опока с моделью..	18
2.5	Способы снижения основного недостатка прессования	21
2.5.1	Прессование с профильной засыпкой смеси в опоку	21
2.5.2	Прессование жёсткой профильной колодкой.....	21
2.5.3	Прессование решёткой.....	22
2.5.4	Прессование гибкой диафрагмой.....	23
2.5.5	Прессование с применением многоплунжерной головки	24
2.5.6	Прессование блоком мягкой резины	26
2.6	Прессование роторной головкой.....	26
2.7	Прессование лопастным рабочим органом.....	28
2.8	Верхнее и нижнее прессование	30
2.9	Аналитическое уравнение прессования	32
2.10	Эмпирические уравнения прессования	33
2.11	Расчёт высоты наполнительной рамки.....	35
2.12	Влияние вибрации на уплотнение прессованием.....	37
3	ВСТРЯХИВАЮЩИЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАШИНЫ	40
3.1	Общая характеристика встряхивающих машин	40
3.2	Классификация встряхивающих формовочных механизмов	40
3.2.1	Классификация по роду привода	40
3.2.2	Классификация по характеру рабочего процесса.....	41
3.2.3	Классификация по степени амортизации удара	43
3.2.4	Классификация по типу воздухораспределения	45
3.3	Характер уплотняющего воздействия на формовочную смесь	49

3.3.1	Кинетика сил инерции при ударе встряхивающего стола	49
3.3.2	Уплотнение формовочной смеси при встряхивании	53
3.3.3	Распределение сжимающих напряжений по высоте формы.....	54
3.3.4	Качество уплотнения формовочной смеси при встряхивании .	55
3.3.5	Эмпирические уравнения встряхивания	56
3.4	Индикаторные диаграммы встряхивающих механизмов	58
3.5	Комбинированный механизм уплотнения	61
4	ПЕСКОМЁТЫ И ПЕСКОДУВНЫЕ МАШИНЫ	64
4.1	Классификация, устройство и работа пескомётов	64
4.2	Физические основы процесса уплотнения пескомётом	67
4.3	Потребляемая пескомётной головкой мощность	69
4.4	Пескодувные Машины Классификация пескодувных машин .	70
4.5	Устройство и работа пескодувных машин.....	71
4.6	Выбор основных параметров пескодувных машин	74
4.7	Границы применимости процесса.....	77
4.8	Импульсные машины. Процесс импульсного уплотнения	78
4.9	Импульсные головки	80
5	КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ	86
5.1	Предпосылки комбинированных методов уплотнения	86
5.2	Встряхивание с допрессовкой	87
5.3	Комбинированные импульсные методы уплотнения	88
5.4	Пескодувно-прессовый и пескодувно-импульсный методы. 89	
5.5	Сравнение методов уплотнения	90
6	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ	94
6.1	Технология обработки формовочных материалов.....	94
6.2	Состав смесеприготовительных систем	96
6.3	Физические основы смешивания и классификация смесителей	97
6.4	Катковые смесители (бегуны)	98
6.5	Основы теории работы катковых смесителей	100

6.6	Центробежные смесители	103
6.7	Лопастные и барабанные смесители	105
6.8	Разрыхлители и дезинтеграторы	106
7	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СВЕЖИХ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	109
7.1	.Оборудование для сушки и охлаждения песка и для сушки глины	109
7.1.1	Одноходовое горизонтальное барабанное сушило	109
7.1.2	Трёхходовое барабанное сушило	110
7.1.3	Особенности процесса сушки в барабанных сушилах	111
7.1.4	Установки для сушки и охлаждения песка в кипящем слое	111
7.2	Дробильно-размольное оборудование.....	114
7.2.1	Способы механического дробления	114
7.3	Физические основы процесса дробления.....	115
7.3.1	Щековые дробилки	116
7.4	Валковые дробилки	120
7.4.1	Молотковые дробилки	123
7.4.2	Шаровые мельницы	124
7.4.3	Молотковые мельницы.....	127
7.4.4	Вибрационные мельницы	129
7.5	Механизация процесса приготовления глинистой суспензии	131
8	ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ	133
8.1	Технология переработки отработанных формовочных смесей	133
8.2	Магнитные железоотделители	136
8.2.1	Шкивные железоотделители	136
8.2.2	Ленточные магнитные железоотделители	138
8.3	Оборудование для просеивания формовочных материалов	138
8.3.1	Плоское механическое сито.....	139
8.3.2	Барабанное полигональное сито	140
8.3.3	Вибрационное сито.....	141

8.3.4	Основы теории работы плоского механического сита	142
8.4	Установки гомогенизации и охлаждения отработанных смесей	144
8.4.1	Устройства для регенерации отработанных смесей	146
9	ОБОРУДОВАНИЕ ХРАНЕНИЯ И РАЗДАЧИ МАТЕРИАЛОВ И СМЕСЕЙ.....	149
9.1	Бункеры для хранения сыпучих материалов	149
9.2	Затворы	151
9.2.1	Секторный затвор	151
9.2.2	Челюстной затвор	152
9.2.3	Шиберный затвор	152
9.3	Питатели	153
9.3.1	Ленточный питатель	153
9.3.2	Пластинчатый питатель	153
9.3.3	Шнековый питатель.....	154
9.3.4	Лотковый питатель	154
9.3.5	Тарельчатый питатель	155
9.3.6	Лопастной питатель.....	155
9.4	Дозаторы	155
9.4.1	Бункерный дозатор	156
9.4.2	Коробчатый дозатор	157
9.4.3	Поворотный дозатор.....	157
9.4.4	Шиберный дозатор	158
9.4.5	Весовые дозаторы	158
10	Оборудование для выбивки форм и стержней	160
10.1	Классификация выбивных устройств.....	160
10.2	Вибровозбудители	161
10.3	Подвесные вибраторы и вибрационные траверсы	167
10.4	Выбивные решётки	168
10.4.1	Рабочий процесс механических выбивных решёток	168
10.4.2	Выбивная эксцентриковая решётка	169
10.4.3	Выбивная инерционная решётка.....	169
10.4.4	Выбивная инерционно-ударная установка	171
10.4.5	Установки с выдавливанием кома	171

10.4.6	Выбивка форм с крестовинами	172
10.4.7	Выбивные решётки с транспортированием отливок	173
10.4.8	Конструктивные особенности инерционных решёток	175
10.5	Выбивной барабан	176
10.6	Оборудование для удаления стержней из отливок	177
10.6.1	Пневматические вибрационные машины.....	177
10.6.2	Гидравлические камеры	178
10.6.3	. Электрогидравлические установки.....	179
11	Оборудование для финишных операций.....	182
11.1	Отделение элементов литниковых систем.....	182
11.1.1	Механическое отделение элементов литниковых систем	182
11.1.2	Кислородно-ацетиленовая резка	185
11.1.3	Разделительная воздушно-дуговая резка металлов	188
11.2	Очистка и зачистка отливок	189
11.2.1	Рубильные молотки	190
11.2.2	Галтовочные барабаны.....	192
11.2.3	Дробемётная очистка отливок.....	197
11.2.4	Дробеструйная очистка отливок	205
11.2.5	Вибрационная очистка отливок	207
11.2.6	Зачистка отливок шлифовальными кругами	209
	СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	216

1 ВВЕДЕНИЕ

Литейные цеха состоят из множества производственных и вспомогательных отделений. К производственным отделениям относятся: плавильное, включая участок взвешивания и набора шихты; формовочно-заливочно-выбивное, включая сушильные установки и участок литых каркасов; стержневое, включая сушильные установки и состав стержней; смеси подготовительная для формовочных и стержневых смесей; термообрубное, включая участки гидроиспытания и исправления дефектов литья и отделения отливочных грунтовок. В каждом отделении выполняется определённая операция и имеется основное и вспомогательное оборудование. Экономически целесообразно максимально облегчать труд работников и повышать производительность их труда. Эти задачи решаются методом механизации и автоматизации технологических операций.

Механизация литейного производства в мировой практике началась в начале XX века с создания примитивных формовочных машин, если не считать применявшихся в ещё более раннее время простых подъёмных кранов на формовке и скипов для подъёма шихты на колошниковую площадку вагранок.

Первоначально механизация литейного производства во всех странах была на низком уровне. Цеха работали на ступенчатом режиме с использованием формовочных машин с ручной набивкой и изредка гидравлических прессовых машин. Смесей готовили в бегунах. Для просеивания формовочных материалов применяли сита. Для грубого измельчения хрупких материалов применялись дезинтеграторы, а для очистки отливок пескоструйные аппараты.

В 20-х годах XX века появились и быстро распространились пневматические встряхивающие формовочные машины. Усложнялось и улучшалось смесеприготовительное оборудование, появились пневматические выбивные устройства, оборудование для очистки отливок, улучшалась механизация транспорта шихтовых и формовочных материалов, а также отливок. Создавались и внедрялись литейные конвейеры и поточный метод работы.

В середине XX века параллельно с коренным перевооружением и механизацией литейного производства разворачивается изучение новой техники. Проводятся научно-исследовательские работы, разрабатываются теории рабочих процессов и методов расчёта литейного оборудования. Появляются новые методы литья для получения отливок повышенной точности. Проектируются и создаются новые,

усовершенствованные машины литейного производства. Создаются машины-автоматы и автоматические литейные линии.

Развитие и усовершенствование машиностроительной промышленности сопровождается прогрессивным уменьшением трудоёмкости.

В литейных цехах это достигается двумя путями.

1) Применением новых технологических процессов, дающих непосредственное уменьшение трудоёмкости изготовления отливок, или позволяющих получить более точные отливки. Во втором случае снизить объем и стоимость механической обработки литых заготовок в механосборных цехах. Однако применение новых технологических процессов в литейных цехах (под давлением, кокильного, центробежного, в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, выжимкам и др.) ограничено по номенклатуре отливок и в целом по машиностроению может охватить лишь 20-25 % всего литья.

2) Механизацией существующих технологий литейного производства, являющегося основным средством уменьшения трудоёмкости получения отливок, применимым для наиболее широкой номенклатуры отливок. Кроме повышения производительности труда, механизация даёт повышение точности и качества отливок и коренное улучшение условий труда.

Средний уровень производительности труда, выражающийся в выпуске подходящих отливок (тонн в год) на одного учётного работающего, растёт с увеличением мощности цеха и степени его механизации. Производительность труда для крупных высокомеханизированных цехов в 23 раза больше, чем мелких, маломеханизированных. Поэтому в промышленно развитых странах производят большие капиталовложения в механизацию и оборудование литейных цехов. Это окупается увеличением производительности труда (экономией на трудозатратах), а также повышением точности отливок (экономией на сокращении объёма механической обработки).

В литейном производстве имеют место многочисленные, разнообразнейшие и сложные технологические процессы, связанные с применением материалов во всех агрегатных состояниях: твёрдом, жидком и газообразном. Процессы часто происходят при высоких температурах и давлениях, сопровождаются шумом, пыле- и газовойдыделением. Все это создаёт особую специфику конструирования и эксплуатации различных видов литейного оборудования.

Современное развитие литейного машиностроения позволяет создать комплексно-механизированный или автоматизированный комплект оборудования для любого участка или отделения литейного цеха.

Для механизации и автоматизации плавильных отделений разработано множество надёжно работающих устройств, позволяющих шихтовать и загружать плавильные агрегаты и автоматически вести контроль плавки.

Разработаны комплекты оборудования для высокопроизводительных автоматических смесеприготовительных систем. Созданы различные формовочные линии со скользящей и многопозиционной оснасткой, линии безопочного формования, линии и автоматы для изготовления твердеющих стержней в оснастке, что позволяет расширить область применения механизации и автоматизации при формировании и изготовлении стержней.

Для очистки отливок, наряду с традиционными процессами дробомётной очистки, внедряются процессы на основе электрофизических и электрохимических процессов.

Тяжелее всего подвергаются автоматизации операции обрубки и зачистки из-за индивидуального характера изменения, дефектов и величины отклонений геометрических размеров отливок. Однако в условиях автоматизированного формирования отклонения от массы отливок составляют лишь 1,5% против 5% при формировании на обычных формовочных машинах.

2 ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

2.1 Классификация формовочных и стержневых машин

Основная доля трудоёмкости изготовления отливок, а именно от 50 до 70%, приходится на формовку (с приготовлением формовочных смесей) и изготовление стержней. Следовательно, большое значение имеет механизация и автоматизация этих основных участков литейного цеха.

От качества формы зависит качество отливки: её точность, состояние поверхности. Качество формы зависит прежде всего от метода её уплотнения, поэтому большое внимание уделяется совершенствованию существующих и разработке новых способов формообразования.

Формовочные машины механизуют как процесс уплотнения форм, так и процесс извлечения модели из формы. Они могут приводиться в действие от различных энергоносителей, иметь различие в конструктивном исполнении и разную степень автоматизации. В соответствии с этим их можно классифицировать по следующим признакам:

- по методу уплотнения формовочной смеси: прессовые, встряхивающие, пескодувные, пескомётные, импульсные, комбинированные;
- по способу извлечения модели из формы: вытяжные и поворотнo-вытяжные;
- по роду привода: пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электромеханические, электромагнитные и комбинированные;
- по конструктивной компоновке: однопозиционные, двухпозиционные и многопозиционные;
- по способу перемещения опок: проходные, челночные и карусельные;
- по степени автоматизации: неавтоматические, полуавтоматические, автоматические.

Классификация по методу уплотнения является более общей, поэтому её берём за основу дальнейшего рассмотрения формовочных машин.

Процесс уплотнения формы зависит от способа силового воздействия на смесь. Исследования показывают, что на поведение смеси при уплотнении существенно влияет скорость изменения сжимающих

напряжений, поэтому следует различать статические и динамические методы уплотнения.

К статическим методам относятся все способы прессования литейных форм. Для этих методов характерно относительно медленное увеличение сжимающей нагрузки (скорость перемещения прессовой колодки относительно опоки не превышает 0,1 м/с); сам процесс уплотнения длится несколько секунд. Методы уплотнения, при которых время приложения нагрузки не превышает $0,1 \div 0,2$ с, а сжимающие напряжения в смеси быстро растут и также быстро уменьшаются, являются динамическими. Для этих методов характерна высокая скорость деформации смеси. Существенную роль, а в некоторых случаях решающую, играют инерционные силы.

2.2 Прессовые формовочные машины

Среди формовочного оборудования большое распространение имеют прессовые формовочные машины.

Прессовая формовочная литейная машина это машина, уплотняющая формовочную смесь прессованием (Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 Прессовая формовочная машина

Машины в зависимости от направления движения смеси относительно опоки подразделяют на машины с верхним и нижним прессованием. По конструкции прессующего элемента различают машины с жёсткой прессовой плитой, с профильной плитой, с гибкой

диафрагмой, с многоплунжерной головкой. По величине давления прессования (МПа) прессовые формовочные машины можно разделить на машины с низким (до 0,3), средним (0,3÷0,7), повышенным (0,7÷2), высоким (2÷5), очень высоким (свыше 5) давлением. По конструктивному исполнению существуют поршневые, диафрагменные, рычажные, катковые, мундштучные прессовые машины. По роду привода – пневматические, гидравлические, электромагнитные и комбинированные. Если в целях интенсификации процесса уплотнения прессованием применяют вибраторы, то такие машины называют вибро-прессовыми. При прессовании требуется замыкание усилия прессования, поэтому прессовые, а также прессово-встряивающие машины по конструктивному оформлению бывают трёх видов: одно-, двух- и четырёхколонными.

Способ уплотнения форм прессованием экономичен. Прессующий механизм прост конструктивно и надёжен в эксплуатации. Прессовые формовочные машины легко поддаются автоматизации. Кроме этого прессование легко комбинируется со многими другими способами формовки.

Чтобы представить себе процессы, протекающие в форме при прессовании и выявить преимущества и недостатки прессовых формовочных машин, рассмотрим напряжённое состояние формы при прессовании. При этом возможно два случая – опока имеет модель и опока не имеет модели (когда вся отливка располагается в одной полуформе).

2.3 Напряжённое состояние литейной формы. Опока без модели

Рассмотрим опоку без модели, уплотняемую плоской жёсткой прессовой колодкой. На основании экспериментальных данных напряжённое состояние формовочной смеси в объёме такой литейной формы характеризуется:

- боковым давлением, которое вызывает трение смеси о стенки опоки при перемещении её в направлении прессования;
- торцовым трением смеси о прессовую колодку и модельную плиту, фиксирующим прилегающие к ним частицы смеси и препятствующим её свободному боковому перемещению в этих местах формы.

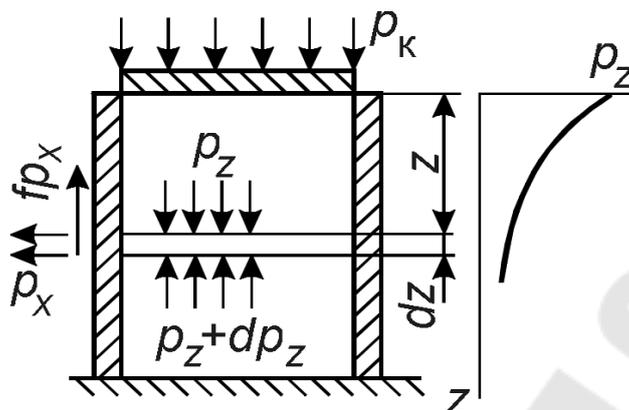


Рисунок 2.2 Схема к определению p_z с учётом бокового трения

Величина бокового давления формовочных смесей на стенки опоки при прессовании по экспериментальным данным превышает теоретическое значение и составляет $0,30 \div 0,50$ от вертикального сжимающего смесь напряжения.

Трение смеси о стенки опоки при прессовании постепенно снижает часть силы прессования со смеси, и эта часть передаётся на модельную плиту уже опокой. С удалением от прессовой колодки в глубину формы, вертикальное давление в формовочной смеси прогрессивно уменьшается.

Если допустить для упрощения, что боковое давление смеси на стенки опоки в данном горизонтальном слое формы составляет определённую часть от вертикального прессующего усилия, передаваемого этим слоем, то легко показать, что давление прессования будет уменьшаться с глубиной формы по закону экспоненты.

Пусть вертикальное сжимающее напряжение в слое формы на глубине z под прессовой колодкой (рис. 2.2) составляет p_z и распределяется равномерно. Боковое давление смеси в этом слое $p_x = \xi p_z$ где $\xi = \text{const}$ – коэффициент бокового давления для данной смеси в данных условиях. Если f – коэффициент трения смеси о стенки опоки, то условие равновесия сил для (данного) слоя формы можно написать в следующем виде

$$-dp_z F = \xi p_z f U dz, \quad (2.1)$$

где F – площадь опоки в плане;
 U – периметр опоки.

Решив это уравнение и подставив начальное условие, заключающееся в том, что под прессовой колодкой давление прессования равно некоторому известному значению p_k , получим экспоненту

$$p_z = p_k e^{-az}, \quad (2.2)$$

где в коэффициент a собраны всё постоянные

$$a = \xi f \frac{U}{F}. \quad (2.3)$$

Однако такой закон распределения p_z по высоте формы осложняется торцовым трением смеси о прессовую колодку и модельную плиту. Силы трения фиксируют смесь, непосредственно прилегающую к колодке и модельной плите, и не позволяют ей перемещаться к стенкам опоки. Вследствие этого возле прессовой колодки и модельной плиты образуются неподвижные объёмы плотной смеси, так называемые конусы или пирамиды деформации, не принимающие участия в развитии бокового давления на стенки опоки.

Это подтверждается установленным экспериментально фактом, что боковое давление смеси на стенки опоки при прессовании имеет максимум где-то в середине высоты опоки и падает практически до нуля в верхних слоях формы у прессовой колодки и в нижних слоях у модельной плиты.

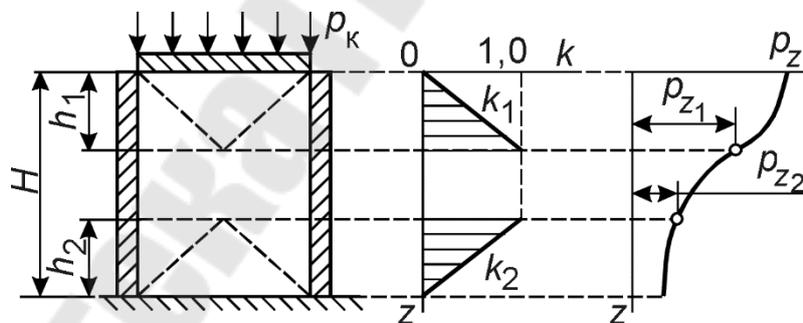


Рисунок 2.3 Схема к определению p_z с учётом торцового и бокового трения

Для учёта влияния торцового трения смеси при рассмотрении распределения сжимающих напряжений p_z по высоте примем следующую упрощённую методику. Предположим, что в зонах формы, содержащих пирамиды (конусы) деформации, боковое давление на стенки опоки не равно ξp_z , а меньше и составляет $k\xi p_z$, где коэффициент $k < 1$ и является переменным по высоте верхней и нижней зон (Рисунок 2.3).

При этом примем, что в верхней зоне опоки боковое давление у прессовой колодки равно нулю и в полной мере развивается лишь на уровне вершины конуса деформации. Тогда коэффициент k может быть выражен в виде $k_1 = z/h_1$, где h_1 – высота конуса деформации (см. рис. 2.2). Исходное уравнение суммы вертикальных сил для слоя на глубине z от прессовой колодки теперь будет иметь следующий вид

$$-dp_z = \frac{z}{h_1} \xi p_z f U dz \quad (2.4)$$

и, соответственно, решение

$$p_z = p_k e^{-bz^2}, \quad (2.5)$$

где

$$b = \xi f \frac{U}{2h_1 F}. \quad (2.6)$$

На глубине h_1 давление p_z составит,

$$p_{z1} = p_k e^{-bh_1^2} = p_k e^{-a \frac{h_1}{2}}, \quad (2.7)$$

т. е. будет таким же, каким оно было бы на вдвое меньшей глубине при отсутствии торцового трения смеси о колодку.

Аналогично получаем множитель для нижней зоны опоки:

$$k_2 = \frac{H-z}{h_2}, \quad (2.8)$$

где H – высота опоки;

h_2 – высота конуса деформации.

Уравнение сил для слоя смеси на глубине z под поверхностью колодки будет иметь следующий вид

$$-dp_z F = \frac{H-z}{h_2} \xi p_z f U dz, \quad (2.9)$$

а его решение соответственно

$$p_z = p_{z2} e^{-c(h_2^2 - (H-z)^2)}, \quad (2.10)$$

где p_{z2} – значение вертикального сжимающего напряжения для глубины $(H - h_2)$ (на уровне вершины нижнего конуса деформации);

c – коэффициент, объединяющий все константы уравнения

$$c = \xi f \frac{U}{2h_2 F} = \frac{a}{2h_2}. \quad (2.11)$$

Таким образом, торцовое трение смеси о прессовую колодку и модельную плиту вносит коррективы в распределение вертикальных сжимающих напряжений в прессуемой форме. В верхней зоне формы, на глубине от 0 до h_1 под прессовой колодкой, величина p_z изменяется по закономерности (2.5). На участке формы между вершинами верхнего и нижнего конусов деформации (если такой участок остаётся) p_z должно изменяться в соответствии с основной закономерностью простейшей экспоненты (2.2) по уравнению

$$p_z = p_{z1} e^{-a(z-h_1)}. \quad (2.12)$$

Наконец в нижней зоне, в пределах значения глубины z от $(H - h)$ до H , величина p_z подчиняется закономерности (2.10).

Распределение средней плотности формовочной смеси δ (кг/м³) по высоте опоки при прессовании, полученное экспериментально различными исследователями, соответствует приведённому выше характеру распределения вертикальных сжимающих напряжений p_z . В зависимости от условий опыта и мест измерения плотности δ кривые имеют небольшие различия. В углах опоки наблюдается непрерывное уменьшение δ с глубиной формы (рис. 2.4, *а*). У середины стенки опоки наблюдается уменьшение δ до некоторой величины, остающейся далее постоянной в нижней части формы (рис. 2.4, *б*). В центре сечения формы наблюдается небольшое повторное увеличение δ в нижней части формы около модельной плиты (рис. 2.4, *в*). Последнее обстоятельство можно, по-видимому, объяснить большей плотностью смеси в конусах деформации по сравнению с областями вне конуса.

Вследствие трения формовочной смеси о стенки опоки при прессовании, горизонтальные слои формы у стенок отстают в своём движении вниз от середины слоёв и загибаются кверху (рис. 2.5). Так как боковое давление в прессуемой форме из-за торцового трения развивается главным образом в её (средних по высоте) частях, боковая

деформация смеси и соответствующее искривление вертикальных слоёв наблюдаются в основном в средних горизонтах опоки.

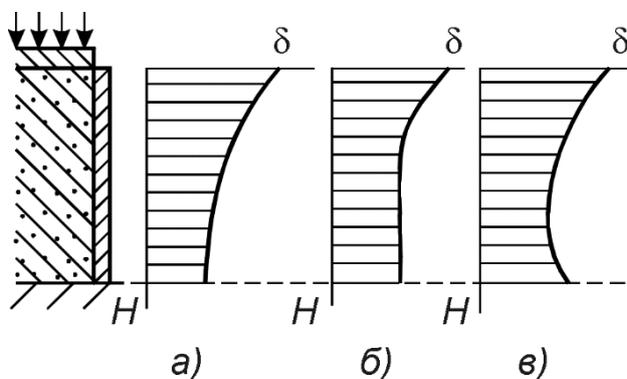


Рисунок 2.4 Экспериментальные кривые распределения плотности смеси по высоте формы

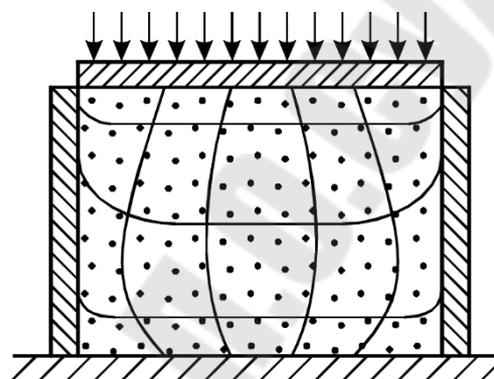


Рисунок 2.5 Схема деформации сетки слоёв смеси в форме при прессовании

2.4 Напряжённое состояние литейной формы. Опока с моделью

При прессовании опоки с моделью (рис.2.6) жёсткой плоской колодкой возникает сильное перенапряжение, и переуплотнение объёма смеси A над моделью и недостаточность сжимающих напряжений и, соответственно, недостаточное уплотнение смеси в объёмах B и, особенно в объёмах C вокруг модели. Причиной этого являются геометрические соотношения деформаций и высот участков смеси A и $(B + C)$. Абсолютные деформации объёмов смеси A и $(B + C)$ одинаковы и равны перемещению прессовой плиты. Относительные же деформации (отношение абсолютной деформации к высоте деформируемого столба) для объёма A больше, чем для объёма $(B + C)$. Это приводит к развитию в объёме A более высоких сжимающих напряжений.

Вследствие текучести формовочной смеси во время прессования происходит некоторое выравнивание напряжений и уплотнения в этих объёмах. Сначала в состоянии предельного равновесия приходит объём A , и смесь из него частично перетекает вбок, в объёмы B , уплотняя их дополнительно к сжатию, происходящему непосредственно от передвижения прессовой колодки. При продолжающемся сжатии смесь в объёмах B также приходит в состояние предельного равновесия и начинает перетекать в объёмы C , которые таким образом получают

некоторое дополнительное уплотнение к тому, которое в них создаётся непосредственно от передвижения прессовой колодки.

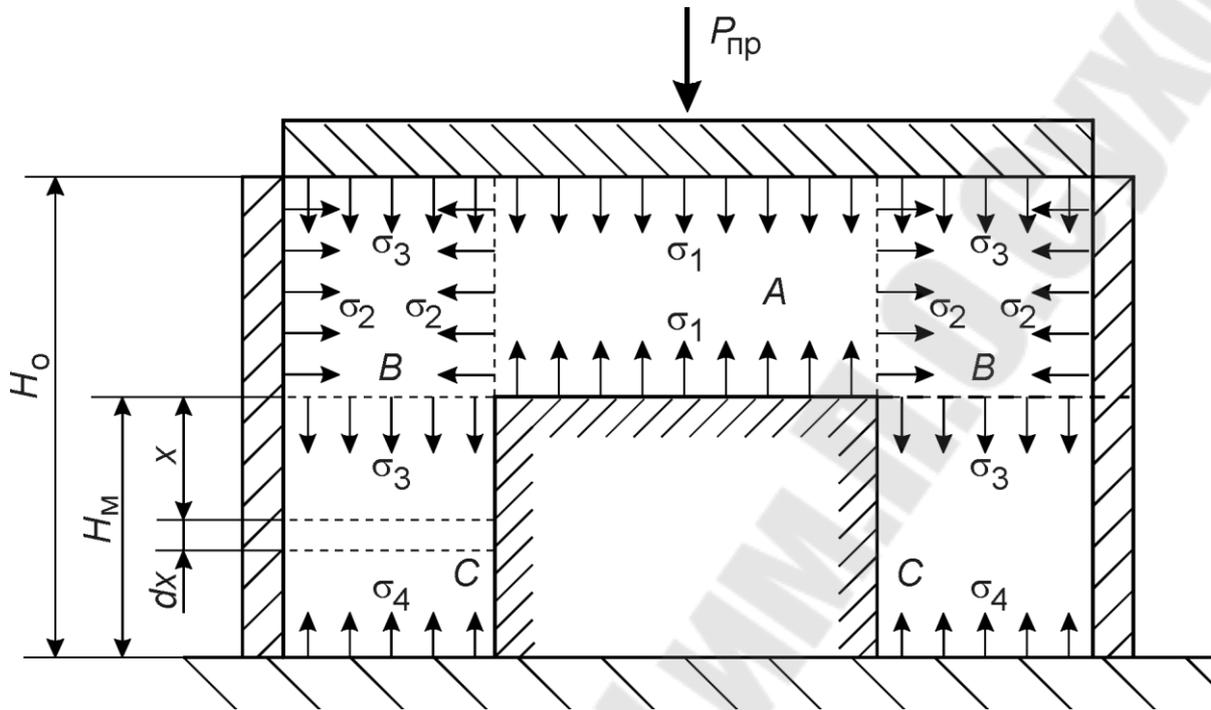


Рисунок 2.6. Схема напряжённого состояния смеси в опоке с моделью при прессовании

Пользуясь этой концепцией последовательного перетекания смеси в прессуемой форме и соотношениями между главными напряжениями для состояния предельного равновесия (связного) сыпучего тела, можно, с учётом трения смеси о стенки опоки и модели, рассчитать необходимую силу прессования на колодке. Необходимо лишь задаться технологически необходимым напряжением в самом слабом месте формы, на уровне модельной плиты.

Пусть это минимальное технологически необходимое прессующее напряжение на плоскости модельной плиты будет σ_4 . Тогда, чтобы перейти от него к напряжению σ_3 на уровне верхней кромки модели в объёмах C, необходимо учесть потери силы прессования на трение смеси о стенки опоки и модели под действием бокового давления.

Учёт этого трения и уравнение сил для слоя dx в этом объёме будут аналогичны схеме рис. 2.2, и решение будет аналогичным решению (2.2), из которого следует

$$\sigma_3 = \sigma_4 e^{\xi f \frac{U}{F} H_M}, \quad (2.13)$$

где ξ – коэффициент бокового давления;
 f – коэффициент внешнего трения смеси о стенки опоки и модели;
 U – периметр трения для рассматриваемой части смеси;
 $U = 2(A_M + B_M)$;
 F – площадь объёмов C в плане, равная разности между площадью опоки и площадью модели $F = F_o - F_M = A_o B_o - A_M B_M$;
 H_M – высота модели;
 A_o, B_o, A_M, B_M – размеры опоки и модели в плане.

(В приведённых здесь рассуждениях предполагается, что опока и модель имеют в плане форму прямоугольника).

Переходя далее от напряжения σ_3 последовательно к напряжениям σ_2 и σ_1 , на основании соотношения между главными напряжениями для состояния предельного равновесия получим искомую силу прессования, которую надо приложить к прессовой колодке:

$$P_{\text{пр}} = \sigma_1 F_M + \sigma_3 (F_o - F_M) + \sigma_2 f 2(A_o + B_o)(H_o - H_M), \quad (2.14)$$

где H_o – высота опоки.

В этом выражении третье слагаемое учитывает трение смеси в объёмах V о стенки опоки. Подставив сюда полученное выше выражение для σ_3 и, выражая σ_2 и σ_1 также через σ_4 , получим следующее развёрнутое выражение для силы прессования:

$$P_{\text{пр}} = \left[\left(\sigma_4 e^{\xi f \frac{U}{F} H_M} \text{tg}^2 \vartheta + 2kt \text{tg} \vartheta \right) \text{tg}^2 \vartheta + 2kt \text{tg} \vartheta \right] F_M + \sigma_4 e^{\xi f \frac{U}{F} H_M} (F_o - F_M) + \left(\sigma_4 e^{\xi f \frac{U}{F} H_M} \text{tg}^2 \vartheta + 2kt \text{tg} \vartheta \right) f 2(A_o + B_o)(H_o - H_M). \quad (2.15)$$

Расчёт пригоден только для определения $P_{\text{пр}}$ при прессовании форм с простыми моделями. К тому же, он не учитывает торцовое трение формовочной смеси о прессовую колодку, верхнюю плоскость модели и модельную плиту.

Более сложный аналитический метод расчёта напряжённого состояния литейной формы при прессовании, разработанный Г. М. Орловым, даёт возможность получить поле главных напряжений в прессуемой форме. Этот метод может быть рекомендован для более глубоких исследований и имеет большое значение для развития науки о рабочих процессах формовочных машин.

На основании изложенного представления о последовательном перетекании смеси $A \rightarrow B \rightarrow C$ при прессовании следует применять для уменьшения разницы в степени уплотнения смеси над моделью и вокруг модели при прессовании жёсткой плоской прессовой колодкой особые более текучие формовочные смеси, что частично и делается на практике. Используют, например, смеси с текучестью около 87% при давлении прессования 2,0 МПа, в то время как обычные смеси имеют текучесть всего 45%.

Переуплотнение формовочной смеси над моделью и недостаточное уплотнение её вокруг модели является основным недостатком метода уплотнения литейных форм прессованием. Этот недостаток особенно сказывается при низком давлении прессования. Метод применяют для формовки сравнительно низких моделей, формируемых в низких опоках ($H_0 = 200 \div 250$ мм).

По сравнению с этим основным недостатком прессования неравномерность уплотнения смеси по высоте формы менее выражена, поэтому имеет не столь существенное значение.

2.5 Способы снижения основного недостатка прессования

Для снижения влияния разного уплотнения смеси над моделью и вокруг неё на качество формы, были разработаны некоторые технологические приёмы и конструктивные решения.

2.5.1 Прессование с профильной засыпкой смеси в опоку

Для выравнивания плотности набивки формы над моделью и вокруг неё проще всего выполнить профилирование смеси перед прессованием. Обычно формовщик после засыпки смеси руками разгребал смесь таким образом, чтобы над моделями получались углубления. В этом случае жёсткая плоская прессовая колодка деформирует сначала объёмы смеси вокруг модели. Деформация смеси над моделями начинается с того момента, когда колодка достигнет дна углубления. Далее весь объём смеси деформируется одновременно. По окончании прессования контрлад формы получается плоским. В данном случае не требуется модификация оборудования, но процесс профилирования не стабилен, поскольку выполняется вручную по субъективной оценке формовщика.

2.5.2 Прессование жёсткой профильной колодкой

Прессование профильной колодкой является инверсным по отношению к прессованию с профильной засыпкой. В этом случае углубления над моделями выполняются не в смеси, а в прессовой колодке.

При прессовании колодка начинает прессовать смесь в опоке своими выступами, и лишь после того, как дно углубления коснётся смеси, начнётся прессование объёмов над моделями.

Процесс стабильнее профильной засыпки, поскольку не зависит от формовщика, однако имеет два недостатка. Во-первых, контрлад получается не плоским, во-вторых, для каждой модели требуется своя прессовая колодка.

2.5.3 Прессование решёткой

Удачным следует считать решение использовать в качестве прессовой колодки решётку. При этом сжимающие смесь напряжения определяются силой трения смеси проталкиваемой между рёбрами.

Обычно решётка состоит из ряда параллельных пластин – рёбер 1, соединённых рамкой (Рисунок 2.7). При прессовании формы столб А над моделью 2 уплотняется быстрее, чем столбы В около модели, и напряжения в столбе А всегда больше напряжений в столбах В. Поэтому через зазоры между пластинами решётки смесь из столба А выдавливается интенсивнее, чем из столбов В. В результате плотность смеси под решёткой выравнивается по всему горизонтальному сечению формы.

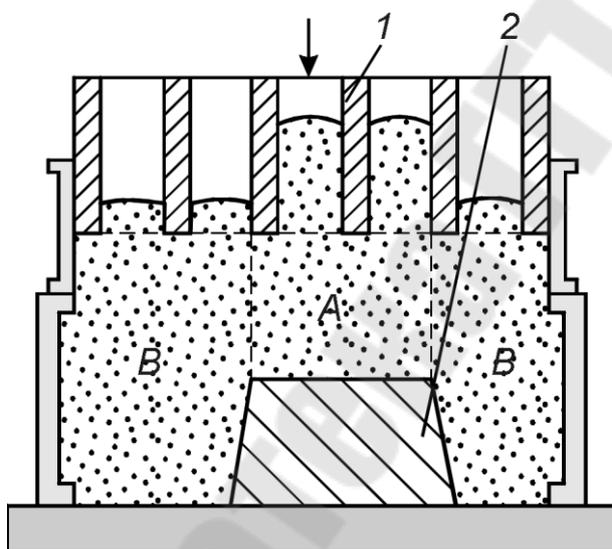


Рисунок 2.7. Прессование решёткой

крываться пластинами, например, частями формы. По принципу действия решёткой является плоская перфорированная плита с отверстиями, плита с вертикальными стержнями, имеющими плоские торцы.

При необходимости смесь можно выдавливать через решётку до получения формы заданной высоты. Поэтому иногда решётку называют полупроницаемым прессовым элементом. Величина предельных напряжений зависит от параметров решётки (ширины сечения рёбра, его формы, ширины зазора между рёбрами) и свойств смеси.

Решётка может состоять из взаимно перпендикулярных рёбер, зазоры между которыми в отдельных местах могут передавать плохо уплотняемыми час-

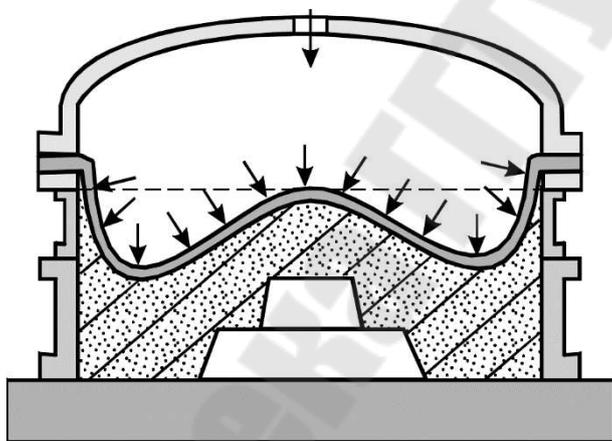
Решётку можно применять как при верхнем, так и при нижнем прессовании. Контрлад полуформы всегда получается плоским. При нижнем прессовании этим способом всегда можно получить полуформу, лад которой совпадает с ладом опоки.

Для того чтобы решётка работала стабильно, после изготовления каждой полуформы необходимо удалять из решётки оставшуюся в ней смесь. Для этого на решётке устанавливают вибратор, который включается при обратном ходе стола формовочной машины.

Данный метод успешно применяют для изготовления форм размером 1000x750x250 мм.

2.5.4 Прессование гибкой диафрагмой

Прессование диафрагмой (Рисунок 2.8) явилось началом разработки методов прессования под высоким давлением. Гибкая диафрагма, смонтированная на головке машины, к которой снизу прижимается опока, при впуске сжатого воздуха в головку деформирует формовочную смесь в опоке больше всего в тех местах, где она меньше уплотнена и где участок формы более податлив. В результате уплотнение смеси в форме вокруг модели будет приблизительно таким же, как и над моделью.



на Рисунок 2.8 Прессование гибкой диафрагмой

Следовательно, прессование диафрагмой устраняет главный технологический недостаток метода уплотнения литейных форм прессованием (переуплотнение смеси над моделью и слабое уплотнение вокруг неё).

Давление диафрагмы смесь при прессовании будет равно давлению сжатого воздуха в заводской

сети 0,5÷0,7 МПа, т. е. будет выше, чем при прессовании плоской плитой с пневматическим приводом. Для диафрагменного прессования применяют обычные формовочные смеси. Стойкость резиновой диафрагмы составляет от 10 до 60 тысяч съёмов (формовок). Для обеспечения высокой стойкости диафрагмы её площадь должна быть значительно больше площади опоки. В нерабочем состоянии, до

прессования, диафрагма втягивается в головку подсосом. Для прессования диафрагмой строят специальные формовочные машины.

Прессованием диафрагмой можно также изготавливать оболочковые формы из быстросохнущих смесей на жидком стекле, для которых требуется последующая продувка углекислым газом. Для этого диафрагма должна быть двухслойной с перфорированным нижним и сплошным верхним слоем. После прессования полуформы между диафрагмами подаётся CO_2 , и таким образом осуществляется продувка и твердение отформованной оболочковой полуформы до снятия её с модельной плиты. Поскольку с модели снимается уже затвердевшая оболочка, размеры рабочей полости полуформы при этом не искажаются, и отливки получаются повышенной точности.

Как показывает практика, наибольшее боковое давление на стенки опоки наблюдается в верхних слоях формы, непосредственно под диафрагмой. Это отличие от случая с жёсткой прессовой колодкой можно объяснить отсутствием влияния торцового трения смеси вследствие податливости диафрагмы.

Диафрагменное прессование даёт практически равномерное уплотнение форм с моделями только при условии достаточно большого расстояния между моделью и стенкой опоки и соседними моделями (не менее $40 \div 50$ мм).

Давление диафрагмы на формовочную смесь равняется давлению сжатого воздуха в сети, что примерно в два раза выше, чем на обычных машинах с жёсткой прессовой колодкой. Формы получаются менее податливыми, поэтому повышается геометрическая точность отливок.

Описанная конструкция диафрагменной головки является активной. Разработан также вариант пассивной диафрагменной головки. Упругая диафрагма натянута в виде плоскости по периметру головки, а полость головки заполнена жидкостью. Такой колодкой прессуют как плоской прессовой колодкой. Но работает она как диафрагменная. Участки формовочной смеси над моделью, вдавливаясь внутрь головки, сжимают жидкость, которая выдавливает диафрагму наружу в местах, где смесь ещё сохраняет податливость.

2.5.5 Прессование с применением многоплунжерной головки

В настоящее время наибольшее распространение получило прессование под высоким давлением с помощью многоплунжерной головки.

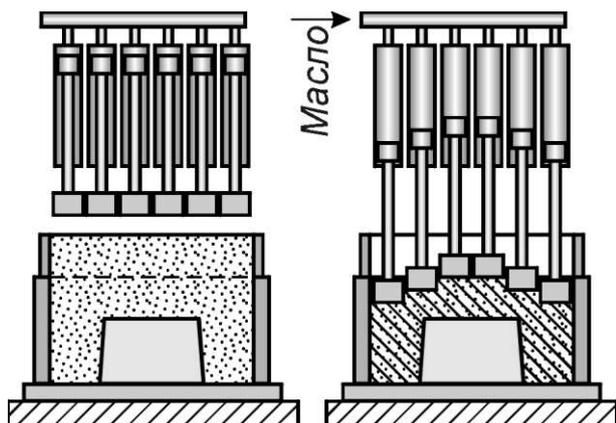


Рисунок 2.9 Активная
многоплунжерная головка

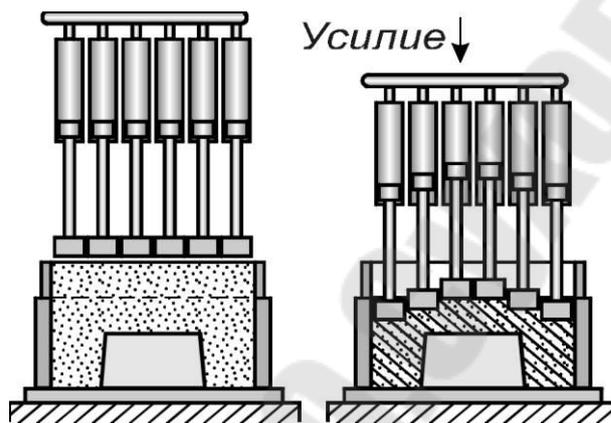


Рисунок 2.10 Пассивная
многоплунжерная головка

Принцип работы многоплунжерной прессовой головки заключается в следующем (рис. 2.9). На штоках гидравлических цилиндров (30÷100 штук), внизу укреплены прессующие башмаки, уплотняющие формовочную смесь в опоке. Между этими башмаками имеются небольшие зазоры. Рабочие пространства всех цилиндров над плунжерами питаются от одной трубы, подводящей масло от гидронасоса. Каждый башмак под давлением масла на плунжер прессует находящийся под ним участок формы с одним и тем же усилием и деформирует его независимо от соседних участков, в меру податливости смеси в данном месте формы.

Очевидно, что система таких башмаков равномерно обжимает и прессует смесь над моделью и вокруг неё, подобно гибкой диафрагме (рис. 2.9). Разница только в том, что диафрагма даёт плавный, непрерывно очерченный контур вокруг модели, а многоплунжерная головка даёт дискретный профиль, разделённый на отдельные ступеньки (под каждым башмаком). Прессование многоплунжерной головкой позволяет получать любое высокое давление на единицу площади башмака, т. е. любую степень интенсификации процесса.

Многоплунжерную прессовую головку, приведённую на рис. 2.9, можно назвать «активной», с впуском масла под давлением в общее для всех цилиндров рабочее пространство над их плунжерами. На практике находит применение также «пассивная» многоплунжерная головка с постоянным и изолированным, запёртым краном общим рабочим пространством цилиндров, которое заполнено маслом без давления (Рисунок 2.10). Формовочная машина в этом случае имеет отдельный прессовый механизм, при действии которого головка служит пассивным упором с рядом башмаков, самоустанавливающихся выше

или ниже, в меру различной податливости прессуемых под ними участков формы и сохранения постоянства объёма общего масляного пространства над плунжерами. «Пассивная» многоплунжерная головка может также быть установлена на штоке верхнего прессующего цилиндра.

При действии активной головки сила прессования зависит от давления впускаемого в неё при прессовании масла, а при действии пассивной головки – от усилия поршня прессового механизма.

2.5.6 Прессование блоком мягкой резины

Дальнейшее развитие процесса получения литейных форм прессованием привело к появлению формовочных машин с давлением под прессовой колодкой $1,5 \div 2,0$, и даже $4,0 \div 5,0$ МПа. Но даже при таких давлениях проблема неравномерности плотности смеси остаётся, особенно при формовке больших по площади и плохообтекаемых моделей.

Как дополнительное средство выравнивания плотности формы, частично используют специальные формовочные смеси с добавками, придающими им повышенную текучесть. Применяют также прессование не плоской, а профильной колодкой, которое даёт лучшие результаты, но практически всё же недостаточно выравнивает плотность формы над моделью и вокруг неё.

Как попытка найти метод выравнивания плотности формы, был разработан и нашёл ограниченное применение процесс прессования литейных форм под высоким давлением жёсткой прессовой колодкой, покрытой со стороны прессуемой формы толстым блоком мягкой резины. При прессовании эта упругая колодка деформируется с сохранением своего объёма и на менее твёрдых участках формы (вокруг модели) обжимает форму больше, чем на более твёрдых, менее податливых участках (над моделью), где она деформирует формовочную смесь на меньшую глубину. Благодаря этому происходит некоторое выравнивание плотности набивки на этих участках. Однако полностью неравномерность уплотнения не устраняется.

2.6 Прессование роторной головкой

Кроме перечисленных выше способов прессования, призванных снизить неравномерность распределения плотности формы при высокой модели, были разработаны и другие, которые, хотя и не решают основную проблему прессования, имеют некоторые достоинства.

Среди них следует отметить прессование роторной головкой и лопастным рабочим органом.

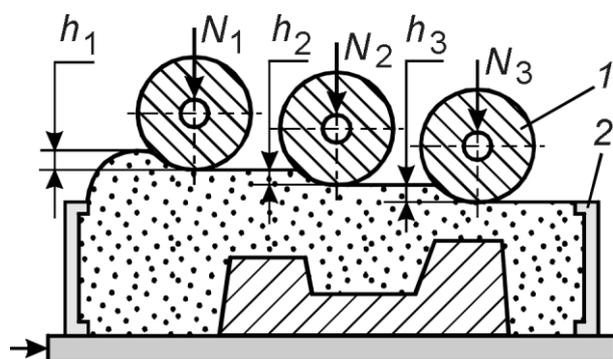


Рисунок 2.11 Уплотнение формы валками

Прессовая роторная головка состоит из нескольких прессующих валков 1, под которыми перемещается полуформа 2 (рис. 10). Валки прижимаются к смеси с силой N_i и вращаются обычно в сторону, противоположную движению полуформы. Каждый валок уплотняет смесь на определённую глубину h_i , и из-под последнего валка полуформа выходит полностью уплотнённой.

При уплотнении роторной головкой не нужен длительный контакт всей поверхности прессового элемента с полуформой; требуется только соприкосновение катка и смеси, что позволяет использовать её в формовочных машинах непрерывного действия. Производительность таких машин существенно выше, производительности машин периодического действия.

Если подшипники валка могут перемещаться в вертикальном направлении и валки не опираются на бурт опоки, то уплотнение происходит с профилированием формы в вертикальной плоскости, совпадающей с направлением движения формы, т. е. с различным сжатием столбов смеси, находящихся перед моделью, над моделью и за моделью.

Для лучшего профилирования смеси в плоскости, перпендикулярной направлению движения, используют валки, состоящие из нескольких упругих дисков. Диски соединяют с приводным валом через торцовые фрикционные подпружиненные элементы. Диски могут проворачиваться относительно вала и относительно друг друга; от вала на диски передаётся крутящий момент.

Была создана головка, состоящая из большого числа узких катков, каждый из которых шарнирно закреплён на штоке поршневого привода. Катки расположены рядами в шахматном порядке; ширина катков каждого следующего ряда увеличивается. Поршневой привод обеспечивает необходимое усилие прижима катка к смеси.

Валки могут быть эластичными, состоящими из упругой оболочки, наполненной газом, жидкостью или пенистым веществом. Для увеличения жёсткости эластичной оболочки снаружи валка по всей его окружности, не входящей в соприкосновение со смесью, установлена обойма, состоящая из вращающихся в подшипниках цилиндрических стержней, прижатых к валку. Эластичные валки могут профилировать форму в вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению её движения.

По данным Н. П. Аксёнова, диаметр D валка следует выбирать в зависимости от высоты h слоя смеси, впрессовываемого этим валком за один проход над опокой:

$$D = \frac{2h}{1 - \cos \alpha_3}; \quad (\alpha_3 \leq \arctg f), \quad (2.16)$$

где α_3 – угол захвата;
 f – коэффициент внешнего трения.

Для разрыхлённой формовочной смеси обычно принимают $f = 0,7$; при этом угол захвата составляет примерно 35° и тогда можно назначать $D \approx 10h$.

В отличие от случаев, описанных выше, напряжения под валком остаются постоянными, но вместе с валком они перемещаются вдоль формы и в каждый следующий момент сжимают новый участок формы. Зона контакта валка со смесью невелика; ещё меньше зона, в которой действуют большие напряжения (зона, прилегающая к нижней точке валка). Поэтому напряжения по мере удаления от нижней точки валка быстро рассеиваются в неограниченном стенками полупространстве и на расстоянии, равном радиусу валка, составляют $0,2 \div 0,25$ от напряжений, действующих под катком.

Даже при последовательном уплотнении тремя эластичными валками разброс твёрдости получается большим; особенно мала твёрдость в углу опоки, поэтому такой метод рекомендуется применять для уплотнения низких форм.

2.7 Прессование лопастным рабочим органом

Характерная особенность машины заключается в совмещении процессов заполнения технологической ёмкости смесью и её уплотнения.

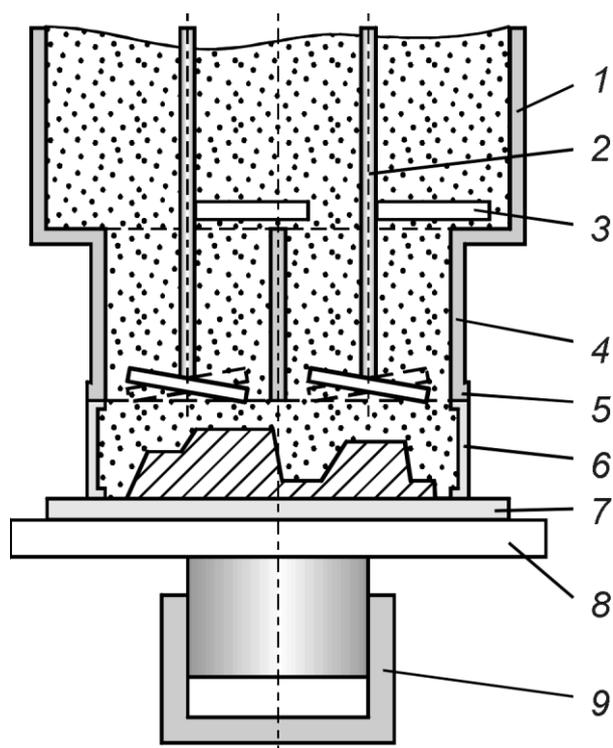


Рисунок 2.12 Схема прессования шнеками

Лопастная головка состоит из бункера 1 (рис. 2.12), внутри которого расположены вертикальные валы 2 с двумя лопастями на нижнем конце. Лопасть имеет винтовую поверхность: между лопастями существует зазор. В бункер 1 засыпают смесь. К плите 5 головки прижимают опоку 6, стоящую на модельной плите 7. При вращении валов лопасти захватывают формовочную смесь и подают её в опоку. После заполнения опоки смесь продолжает поступать в опоку; начинается процесс уплотнения. Для того чтобы смесь не зависала в бункере, на валах смонтированы планки – разрыхлители 3. Каждый лопастной орган размещён в своём направляющем цилиндре 4, являющемся частью питающего бункера.

Обычно диаметр внешней кромки лопасти 150÷350 мм, поэтому число рабочих органов в головке зависит от размера изготавливаемой формы. Например, прессующая головка для уплотнения форм размером в свету 1000x750 мм будет иметь 12 лопастных органов.

Метод отличается от всех других методов прессования тем, что процесс уплотнения совмещён с подачей смеси в опоку. Это удлиняет время изготовления формы, но упрощает конструкцию машины. Для сокращения времени изготовления под лопастную головку можно подавать опоки, предварительно заполненные смесью. Время заполнения опоки шнеками составляет 8÷10 с.

Кроме описанного метода уплотнения, при котором расстояние между головкой и модельной плитой остаётся постоянным, можно применять послойное уплотнение. В этом случае расстояние между модельной плитой (или дном стержневого ящика) и лопастями увеличивается по мере уплотнения формы (или стержня).

Оптимальный диаметр рабочего органа принято считать равным 150÷350 мм. Ширина зазора между лопастями должна быть достаточно

большой, чтобы процесс заполнения опоки и уплотнения формы шёл интенсивно, но в то же время смесь не должна высыпаться из бункера при неподвижных лопастях. Для обычных песчано-глинистых смесей зазор должен составлять 20÷30 мм.

При угле наклона лопасти менее 5° производительность падает; при угле более 10° появляется опасность среза смеси с ещё не уплотнённой формы (смесь, захваченная лопастью, не впрессовывается в опоку, а срезается с её поверхности и начинает вращаться вместе с лопастью). Оптимальное число лопастей на валу – две. При одной лопасти возникает значительный изгибающий момент; при трёх и более – уменьшается зазор между ними.

При лопастном уплотнении отмечается интенсивное перемещение смеси из объёмов над моделью в объёмы вокруг модели. Смесь перемещается под действием внешних сил трения и касательных напряжений, возникающих соответственно под лопастью и на участках перепада сжимающих напряжений.

Удельные силы трения направлены по касательной к окружности, описываемой любой точкой лопасти; касательные напряжения – в сторону участка с меньшим сжимающим напряжением. Суммарное действие касательных напряжений приводит к тому, что смесь перемещается в ту часть формы, где по каким-либо причинам она оказалась слабо уплотнённой.

Лопастное уплотнение используют для изготовления форм размером в свету от 400x320x100 до 1350x1200x160 мм. Возможно использование опок с крестовинами. Способ легко автоматизируется.

2.8 Верхнее и нижнее прессование

В зависимости от направления относительного перемещения формовочной смеси и опоки при уплотнении различают верхнее и нижнее прессование. При верхнем прессовании давление к смеси прикладывается со стороны контрлада формы, независимо от того движется прессовая колодка или опока. При нижнем прессовании уплотнение смеси производится модельной плитой со стороны лада формы. При этом возможно как движение модельной плиты при неподвижной опоке, так и движение опоки при неподвижной модели.

До сих пор рассматривалось так называемое верхнее прессование (рис. 2.13, а, б), при котором формовочная смесь из наполнительной рамки 1 запрессовывается в опоку 2 прессовой колодкой 3 со стороны, противоположной модельной плите 4 с моделью 5. Прессование может

осуществляться перемещением прессовой колодки 3 верхним цилиндром 8, при неподвижном столе 7 машины (рис. 2.12, а) или перемещением стола 7 при неподвижной прессовой колодке 3 (рис. 2.13, б). В первом случае прессовая колодка 3 устанавливается на штоке прессового цилиндра 8, установленного на траверсе 6 машины. Во втором случае прессовая колодка устанавливается непосредственно на траверсе 6 машины и не перемещается в вертикальном направлении.

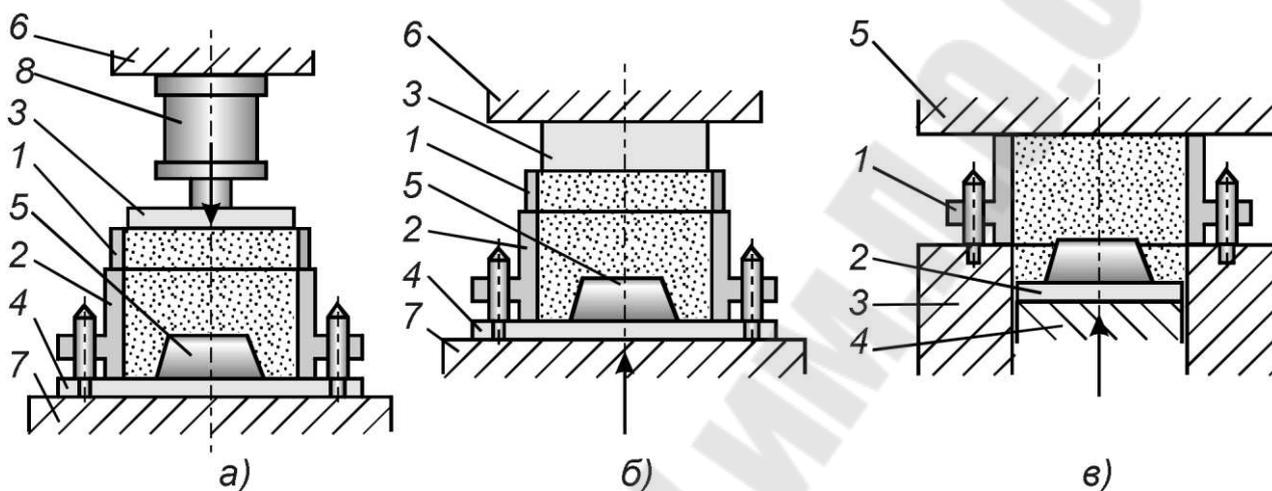


Рисунок 2.13 Схемы прессования

При верхнем прессовании, кроме основного дефекта – переуплотнения смеси над моделью и недостаточного уплотнения вокруг неё, получается большее уплотнение верхних, нерабочих частей формы и меньшее уплотнение рабочих частей формы, прилегающих непосредственно к модели.

При нижнем прессовании (рис. 1.13, в) формовочная смесь запрессовывается в опоку 1 модельной плитой 2 со стороны разъёма литейной формы. В качестве наполнительной рамки, содержащей объём запрессовываемой в опоку смеси, здесь служит углубление в неподвижном столе 3 машины. В углублении располагается модельная плита, укрепленная на прессовом столе 4, движущемся вверх при прессовании. Опока 1 упирается в траверсу машины 5.

Основной дефект прессования (переуплотнение смеси над моделью и недостаточное уплотнение её вокруг модели) наблюдается и при нижнем прессовании. Но здесь распределение уплотнения по высоте опоки более благоприятно: большее уплотнение получается в рабочих частях формы, около модели, а меньшее уплотнение – в нерабочей части формы.

Следует отметить также, что при нижнем прессовании создаются более благоприятные условия для уплотнения узких карманов формы – объёма смеси между стенками опоки и моделью. При верхнем прессовании (рис. 2.13, а, б) уплотняемая в таком кармане смесь испытывает и со стороны опоки, и со стороны модельной плиты одинаково направленные вверх силы трения. Это трение постепенно снимает со смеси часть силы прессования, в результате чего на дне таких карманов смесь уплотняется недостаточно. При нижнем прессовании (рис. 2.13, в) такой узкий карман прессуется снизу. Уплотняемая в нём смесь испытывает от стенки опоки трение, снимающее с неё часть силы прессования, а вдвигающаяся снизу в опоку модель своим трением о смесь, наоборот, добавляет ей силу прессования, увлекая смесь за собой.

Такие более благоприятные условия уплотнения при нижнем прессовании имеют место, однако, лишь для карманов формы, находящихся между моделью и стенками опоки. Карманы же формы, находящиеся между двумя моделями, расположенными на модельной плите, одинаково плохо уплотняются как при верхнем, так и при нижнем прессовании.

Несмотря на некоторые отмеченные технологические преимущества нижнего прессования, чаще применяют верхнее прессование литейных форм. Это обусловлено простотой конструкции машин и лёгкой переналадкой технологической оснастки. При нижнем прессовании роль наполнительной рамки выполняет углубление в неподвижном столе, поэтому при переходе на другую отливку приходится перемещать по высоте подвижный стол, что является сложной операцией.

2.9 Аналитическое уравнение прессования

Установим зависимость между давлением прессования или напряжением и плотностью смеси. Как было сказано, прессование формы – процесс сравнительно медленный, поэтому вязкость смеси мало влияет на процесс прессования, и ею можно пренебречь. Пренебречь можно и упругими свойствами смеси, которые существенно влияют на процесс деформирования формы после снятия нагрузки, но не определяют поведение смеси при прессовании. Следовательно, процесс уплотнения при прессовании зависит в основном от пластических свойств смеси. Как было показано выше, при уплотнении смеси любой её объём находится в состоянии предельного равновесия, которое является особым случаем всестороннего сжатия. При этом существует однозначная зависимость между главными напряжениями, поэтому в

уравнении, связывающем напряжения и плотность, достаточно ввести только главные большие напряжения.

Исходя из общих положений о характере деформации сжатия связных сыпучих тел, можно вывести аналитическое уравнение прессования.

Естественно предположить, что сжимающая сила P с увеличением деформации сжатия ε возрастает из-за увеличения числа контактирующих песчинок. Допустим, что возрастание сжимающей силы происходит по следующей простой зависимости

$$dP = kPd\varepsilon, \quad (2.17)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

После интегрирования и подстановки начального условия (в начальный момент времени при $\varepsilon = 0$ сопротивление системы уплотнению равно P_0) получим выражение для сжимающей силы

$$P = P_0 e^{k\varepsilon}. \quad (2.18)$$

Вводя вместо сил P и P_0 давления p и p_0 , а вместо абсолютной деформации ε относительную деформацию $\lambda = (H_0 - H)/H_0$ (где H – текущая, а H_0 – начальная высота смеси в форме), и обозначив $\rho = 1/k$ (ρ – коэффициент уплотняемости смеси в данной форме), получим окончательно

$$p = p_0 e^{\lambda/\rho}. \quad (2.19)$$

В большинстве практических случаев $p_0 = 0,1 \div 1,0$ МПа; $\rho = 0,04 \div 0,07$.

Уравнение (2.19), однако, не претендует на универсальность и удовлетворительно согласуется с опытными данными лишь в диапазоне давлений прессования $p = 1,5 \div 2,0$ МПа.

2.10 Эмпирические уравнения прессования

Часто пользуются эмпирическими уравнениями прессования. Различными авторами создано несколько таких уравнений.

1. Уравнение Н. П. Аксёнова, применяемое для давлений под прессовой колодкой до 1,0 МПа:

$$\delta = 1000 + Cp^{0,25}. \quad (2.20)$$

где δ – средняя по объёму формы плотность смеси, кг/м³;
 p – давление под прессовой колодкой, МПа;
 C – коэффициент уплотняемости.

Средняя плотность δ формовочной смеси, которой оценивается степень уплотнения смеси, составляет для хорошо уплотнённой формы примерно 1600÷1800 кг/м³. Для очень рыхлой засыпки в опоку смеси, например через сито, начальная плотность δ_0 (до уплотнения формы) составляет около 1000 кг/м³; для смеси, поступившей в опоку из бункера или дозатора, $\delta_0 = 1150\div 1200$ кг/м³. В уравнении (2.20) начальная плотность смеси δ_0 условно принята равной 1000 кг/м³. Давление прессования p выражено в МПа. Коэффициент уплотняемости $C = 712\div 1056$; его величина зависит от свойств смеси и размеров прессуемой формы. Чем выше опока, тем большая доля усилия прессования идёт на преодоление трения смеси о стенки, поэтому коэффициент уплотняемости рекомендуется вычислять по формуле 2.40, в соответствии с которой он уменьшается с увеличением высоты H_0 смеси до уплотнения

$$C = \frac{682}{H_0^{0,19}}, \quad (2.21)$$

где H_0 – высота смеси до уплотнения (высота опоки с наполнительной рамкой), м.

2. Для диапазона давлений 1,0÷4,0 МПа рекомендуется использовать эмпирическое уравнение О. А. Беликова:

$$\delta = \delta_{0,1} + n(1 + \lg p), \quad (2.22)$$

где $\delta_{0,1}$ – средняя плотность смеси при давлении под прессовой колодкой $p = 0,1$ МПа;

n – коэффициент уплотняемости, вычисляемый по следующей формуле – $n = (\delta_{1,0} - \delta_{0,1})$;

$\delta_{1,0}$ – средняя плотность смеси при $p = 1,0$ МПа;

p – давление под прессовой колодкой, МПа.

Значения плотностей $\delta_{0,1}$ и $\delta_{1,0}$ следует вычислять по формуле (2.21) для давлений под прессовой колодкой соответственно 0,1 и 1,0 МПа.

Формулы (20) и (22) дают одинаковые значения при давлении прессования 1,0 МПа. Это позволяет объединить их. В результате

преобразований получим следующее выражение для средней плотности смеси

$$\delta = 1000 + C(1 + \lg p^{0,45}), \quad (2.23)$$

где C – коэффициент уплотняемости, определяемый по формуле (21);

p – давление под прессовой колодкой, МПа.

Вычисления показывают, что различие результатов с формулами (20) и (22) не превышает 1,5% для давлений под прессовой колодкой до 4,0 МПа.

Из формулы (23) можно выразить давление, необходимое для получения заданной плотности смеси в форме заданной высоты

$$p = 10^{2,2 \left(\frac{\delta - 1000}{C} - 1 \right)}. \quad (2.24)$$

Пользоваться формулами (2.23) и (2.24) удобнее, чем решать эту задачу по формулам (2.20 – 2.22), особенно, если необходимо найти требуемое давление под прессовой колодкой по заданной плотности смеси и высоте опоки. Коэффициент уплотняемости в этом случае вычисляется также по формуле (2.21).

2.11 Расчёт высоты дополнительной рамки

Масса формовочной смеси, находящейся в литейной форме, в процессе уплотнения остаётся постоянной. Поэтому степень уплотнения, оцениваемая средней по объёму формы плотностью δ (кг/м³) смеси изменяется при прессовании обратно пропорционально изменению высоты смеси в опоке.

В отдельных вертикальных объёмах формы изменение плотности также приближённо можно считать обратно пропорциональным изменению высоты каждого из этих столбов, если пренебречь частичным горизонтальным перетеканием смеси между ними. Логически целесообразно выделить в смеси объёмы, находящиеся над моделью и вокруг неё.

На основе этих допущений рассчитывают элементы технологической оснастки, используемой при прессовании.

Если в опоке отсутствует модель или же она настолько мала, что её объёмом можно пренебречь (рис. 13), то условие постоянства массы смеси в опоке до и после прессования запишется следующим образом:

$$(H + h)F\delta_0 = HF\delta, \quad (2.25)$$

где δ_0 и δ – средняя плотность смеси до и после прессования, кг/м³;

H – высота опоки, м;

h – высота наполнительной рамки, м;

F – площадь опоки в свету, м².

Отсюда получаем формулу для высоты наполнительной рамки при прессовании опоки без модели плоской жёсткой прессовой колодкой:

$$h = H \left(\frac{\delta}{\delta_0} - 1 \right). \quad (2.26)$$

При прессовании плоской жёсткой прессовой колодкой опоки с моделью, имеющей объём V_M (м³) (рис. 14), условие постоянства массы смеси до и после прессования будет иметь вид:

$$(F(H + h) - V_M)\delta_0 = (FH - V_M)\delta, \quad (2.27)$$

Отсюда высота наполнительной рамки для случая прессования опоки с моделью плоской жёсткой прессовой колодкой составит:

$$h = \left(H - \frac{V_M}{F} \right) \left(\frac{\delta}{\delta_0} - 1 \right). \quad (2.28)$$

Величина V_M/F называется приведённой высотой модели (при распространении объёма модели на всю площадь опоки F), а $(H - V_M/F)$ – приведённой высотой опоки (с учётом модели).

Сравнение выражений (2.26) и (2.28) показывает, что высота наполнительной рамки для опоки с моделью меньше, чем для опоки без модели на приведённую высоту модели. Причём, чем больше объём модели, тем меньше получается для одной и той же опоки высота наполнительной рамки. Такой результат очевиден, поскольку при одной и той же опоке при наличии модели масса смеси меньше, чем при её отсутствии.

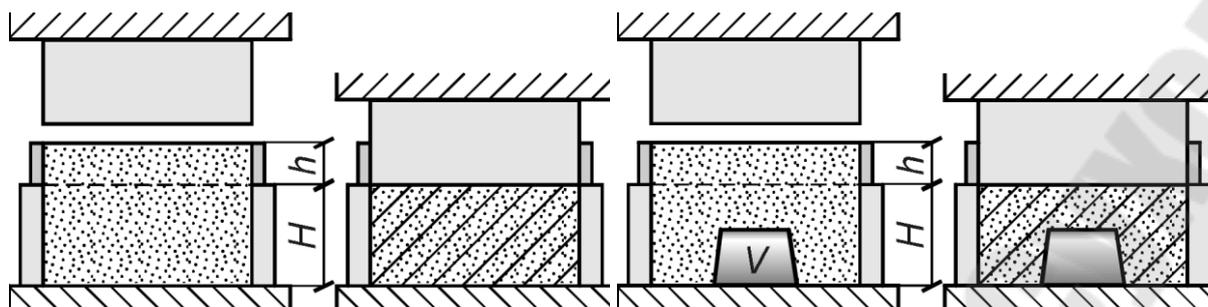


Рисунок 2.14 К расчёту
наполнительной рамки (опока без
модели)

Рисунок 2.15 К расчёту
наполнительной рамки (опока с
моделью)

2.12 Влияние вибрации на уплотнение прессованием

Вибрацией называются вынужденные колебания, имеющие высокую частоту и малую амплитуду. При изготовлении литейных форм на машинах вибрацию используют при извлечении моделей из формы, для чего на модельной плите устанавливается вибратор (обычно пневматический). Вибрация модельной плиты и модели во время съёма облегчает отделение модели от формы и уменьшает возможность прилипания и повреждения формы.

Вместе с тем, вибрация может быть использована и для уплотнения литейных форм. При действии вибрации на формовочную смесь происходит непрерывное изменение взаимного расположения частиц смеси, вследствие того, что они совершают колебательные движения. При этом увеличивается вероятность возникновения комбинаций их расположения, благоприятных для деформации уплотнения смеси.

Непрерывная подвижность частиц или зёрен смеси при вибрации способствует уменьшению как внутреннего, так и внешнего трения формовочных смесей при их уплотнении.

Уплотнение с помощью вибрации используют для грунтов и бетонов, и применительно к этим материалам оно изучено наиболее полно. Так, установлено, что при вибрации коэффициент внутреннего трения грунтов резко падает, а скорость деформации уплотнения сильно возрастает, и тем резче, Чем больше частота вибрации. В качестве характеристики интенсивности колебаний, от которой зависит эффект действия вибрации на грунт, принимают величину ускорения колебаний Af^2 , где A – амплитуда, а f – частота. Величину Af^2 рекомендуется брать не ниже $2 \div 3 g$, где g – ускорение силы тяжести.

Рассмотрим распространение в среде формовочной смеси плоской волны колебаний в направлении некоторой оси z , перпендикулярной к стенке модели. Примем, что поглощение энергии в слое пропорционально количеству энергии J , подводимой к этому слою, и его толщине dz :

$$dJ = -\alpha J dz, \quad (2.29)$$

где α – коэффициент затухания колебаний в данной среде. Интегрируя выражение (29), найдём величину энергии

$$J = Ce^{-\alpha z}. \quad (2.30)$$

где C – постоянный коэффициент.

Выделим на линии распределения волн два сечения на расстояниях z_1 и z_2 от источника колебаний. Для этих сечений в соответствии с (2.30) имеем

$$J_1 = Ce^{-\alpha z_1}, \quad (2.31)$$

$$J_2 = Ce^{-\alpha z_2}, \quad (2.32)$$

откуда отношение энергий составит

$$\frac{J_2}{J_1} = e^{-\alpha(z_2 - z_1)}. \quad (2.33)$$

Энергия колебаний пропорциональна квадрату амплитуды A , следовательно, уравнение (33) можно переписать в виде

$$\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = e^{-\alpha(z_2 - z_1)}. \quad (2.34)$$

Возведя обе части во вторую степень, получим окончательно выражение

$$\frac{A_2}{A_1} = e^{-\frac{\alpha}{2}(z_2 - z_1)}. \quad (2.35)$$

Уравнение (30) свидетельствует о том, что амплитуда колебаний быстро уменьшается с расстоянием.

Эксперименты многих исследователей показали, что при прессовании с вибрацией процесс уплотнения формовочной смеси заканчивается, и плотность стабилизируется всего за $8 \div 10$ с. Дальнейшая выдержка под прессом и вибрация являются бесполезными. С другой стороны, при одинаковой продолжительности прессования с вибрацией плотность смеси получается хорошей уже при средних давлениях прессования. Так, при прессовании с одновременной вибрацией длительностью в одну секунду и давлении прессования $0,5 \div 0,6$ МПа, достигается средняя плотность смеси $1650 \div 1700$ кг/м³.

При диафрагменном прессовании быстросохнущих формовочных смесей на жидком стекле наблюдается наличие порога текучести, т. е. резкого увеличения подвижности смеси при частоте вибрации 100 Гц.

3 ВСТРЯХИВАЮЩИЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАШИНЫ

3.1 Общая характеристика встряхивающих машин

При уплотнении формовочной смеси встряхиванием стол машины вместе с опокой поднимается на высоту $30 \div 100$ мм и, падая с этой высоты, ударяется о преграду. Уплотнение формовочной смеси в опоке происходит в момент удара стола о станину машины под действием сил инерции смеси.

Главной особенностью силовых процессов при ударе является кратковременность действия сжимающих напряжений, возникающих в смеси в течение малого промежутка времени.

3.2 Классификация встряхивающих формовочных механизмов

Основным узлом встряхивающей формовочной машины является встряхивающий механизм. Как любой механизм, он должен соответствовать определённым техническим требованиям.

Встряхивающий механизм поднимает модельную плиту и опоку со смесью на некоторую высоту, поэтому содержит привод. При ударе стола о фланец машины на фундамент может передаваться значительный импульс, поэтому следует принимать меры по его снижению. Процесс должен быть экономичным. Механизм должен допускать регулировку основных технологических параметров. Всё эти вопросы решены в разных конструкциях машин в различной степени, поэтому встряхивающие механизмы классифицируют по следующим признакам: по роду привода, по степени амортизации удара, по характеру рабочего процесса, по типу воздухораспределения.

3.2.1 Классификация по роду привода

По роду привода различают пневматические и электромеханические встряхивающие механизмы.

Благодаря простоте управления, надёжности и безопасности в эксплуатации наибольшее распространение получили пневматические встряхивающие механизмы, поэтому далее будем рассматривать только их.

В пневматическом механизме в работу уплотнения смеси преобразуется энергия сжатого воздуха. Встряхивающий механизм состоит из пневматического двигателя, передаточного механизма и исполнительного устройства.

В простейшем случае пневматический двигатель встряхивающего механизма (рис. 3.1, а) состоит из поршневой пары 6 и 7,

воздухоподводящего 8 и выхлопного 9 трубопроводов. Цилиндр пневматического двигателя выполняется либо в виде гильзы, запрессованной в станину, либо сама станина служит одновременно и цилиндром. Поршень выполняется обычно в виде пустотелого цилиндра и чаще всего привёртывается к столу.

При открытии впускного крана воздух из магистрали по трубопроводу 8 попадает в поршневое пространство. При этом он поднимает поршень 7 со столом 5 на некоторую высоту (рис. 3.1, б). Когда поршень пройдёт выхлопное отверстие 9, давление в цилиндре резко упадёт. Пройдя ещё некоторый путь по инерции, поршень остановится и начнёт падать. При падении стола с модельно-опочной оснасткой, произойдёт удар через упругие прокладки 10 о станину 6.

3.2.2 Классификация по характеру рабочего процесса

По характеру рабочего процесса встряхивающие механизмы бывают: без отсечки и расширения воздуха, с отсечкой без расширения воздуха, с ОТСЕЧКОЙ И РАСШИРЕНИЕМ ВОЗДУХА.

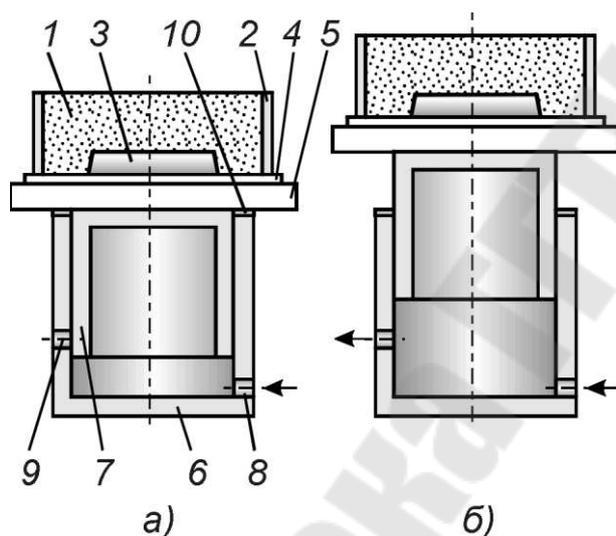


Рисунок 3.1 Схема пневматического встряхивающего механизма

Если в механизме периодически открываются и закрываются выхлопные отверстия, а сжатый воздух подаётся непрерывно (Рисунок 3.1), такие механизмы называются встряхивающими без отсечки и расширения воздуха. Они просты и надёжны в эксплуатации, но не экономично используют сжатый воздух.

Если при подъёме поршня в какой-то момент впускное отверстие закрывается, то это механизм с отсечкой сжатого воздуха. При этом возможно два состояния выхлопных отверстий. Если одновременно с закрытием впускных отверстий (отсечка подачи воздуха) откроются выпускные отверстия, то такой механизм будет называться с отсечкой без расширения сжатого воздуха. Если после закрытия впускных отверстий выпускные откроются после прохождения поршнем некоторого пути, то такой механизм будет называться с

отсечкой и расширением сжатого воздуха, а этот участок пути – ходом расширения.

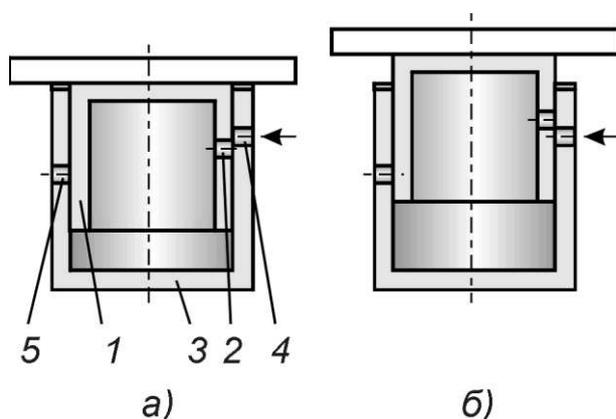


Рисунок 3.2. Встряхивающий механизм с отсечкой и расширением сжатого воздуха

Схема механизма с отсечкой и расширением сжатого воздуха приведена на рис. 16. От рассмотренного выше механизма без отсечки и расширения (рис. 15) он отличается организацией подвода сжатого воздуха. Впускное отверстие 4 расположено выше и при нижнем положении поршня сообщается с поршневой полостью цилиндра 3 через отверстие 2 в стенке поршня 1. При включении машины, сжатый воздух

через отверстия 4 и 2 поступает в цилиндр 3 и начинает поднимать поршень 1 (рис. 16, а). В момент, когда нижняя кромка отверстия 2 совпадёт с верхней кромкой отверстия 4, подача сжатого воздуха в цилиндр прекратится (рис. 16, б). Поскольку выхлопное отверстие 5 ещё закрыто, воздух в цилиндре будет расширяться, и толкать поршень вверх. Когда нижняя кромка поршня 1 совпадёт с нижней кромкой выхлопного отверстия 5, воздух из цилиндра начнёт выходить в атмосферу, и давление будет падать. При этом поршень может подняться ещё на некоторую высоту по инерции. После остановки поршня начнётся его падение, завершающееся ударом стола о прокладку. При перемещении поршня из верхнего положения в нижнее произойдёт сначала закрытие выхлопного отверстия, затем открытие впускного, поэтому после удара снова начнётся подъём поршня. Так будет продолжаться до тех пор, пока не отключат подачу сжатого воздуха.

Механизмы с отсечкой и расширением сжатого воздуха наиболее полно используют энергию сжатого воздуха.

Механизм с отсечкой без расширения воздуха устроен также, только выхлопное отверстие 5 расположено ниже и начинает открываться в момент полного закрытия впускного отверстия 4.

По экономичности такие механизмы занимают промежуточное положение между механизмами без отсечки и с отсечкой и расширением.

3.2.3 Классификация по степени амортизации удара

При работе механизма энергия удара частично переходит в работу уплотнения смеси, а значительная её часть может передаваться на фундамент машины. Возникающие при этом колебания грунта оказывают вредное влияние на рабочих и на здание. При использовании больших машин возможны значительные повреждения несущих конструкций здания цеха, поэтому, при создании встряхивающих механизмов принимают меры по снижению воздействия ударов на фундамент машин. При этом существует три возможности: удар передаётся полностью, удар передаётся частично, удар не передаётся на фундамент. Соответственно различают следующие виды встряхивающих механизмов: без амортизации удара; с частичной амортизацией удара (со смягчением удара); с полной амортизацией удара.

Встряхивающие машины, у которых удар непосредственно передаётся на фундамент, называются машинами без амортизации ударов. В таком механизме удар, воспринимаемый прокладкой через гильзу цилиндра встряхивания, передаётся на фундамент, на котором установлена машина (рис. 3.1).

Пример механизма со смягчением удара приведён на рис. 3.3.

Механизм состоит из цилиндра 3 с подъёмным поршнем 2, объединённым с встряхивающим цилиндром, в котором установлен встряхивающий поршень 1. При включении машины, сжатый воздух через впускное отверстие 4 поступает в поршневую полость подъёмного цилиндра 3 и поршень 2 поднимается в верхнее положение (рис. 3.3, б). Поршневая полость встряхивающего цилиндра через обводной канал 6 в стенке подъёмного цилиндра 3 и канал 5 в подъёмном поршне 2 соединяется с поршневой полостью цилиндра 3.

С этого момента начинается процесс уплотнения встряхиванием (рис. 3.3, в), аналогично рис. 3.1. Энергия удара стола о прокладку передаётся на фундамент через объём сжатого воздуха в подъёмном цилиндре. Часть энергии расходуется на деформацию воздуха и рассеивается в виде тепла, поэтому воздействие ударов на фундамент ослабляется.

Из сравнения рисунков 3.3 и 3.1 видно, что механизм со смягчением ударов с помощью сжатого воздуха сложнее конструктивно и при одной и той же грузоподъёмности больше по размерам. По этой причине машины большой грузоподъёмности изготавливают так, как показано на рис. 3.1, но устанавливают их на фундамент 1 с упругим слоем 2 (рис. 3.4). В качестве упругого слоя используют деревянные

брусья или пробку. Под гайки 5 фундаментных болтов 3 устанавливают пружины 4.

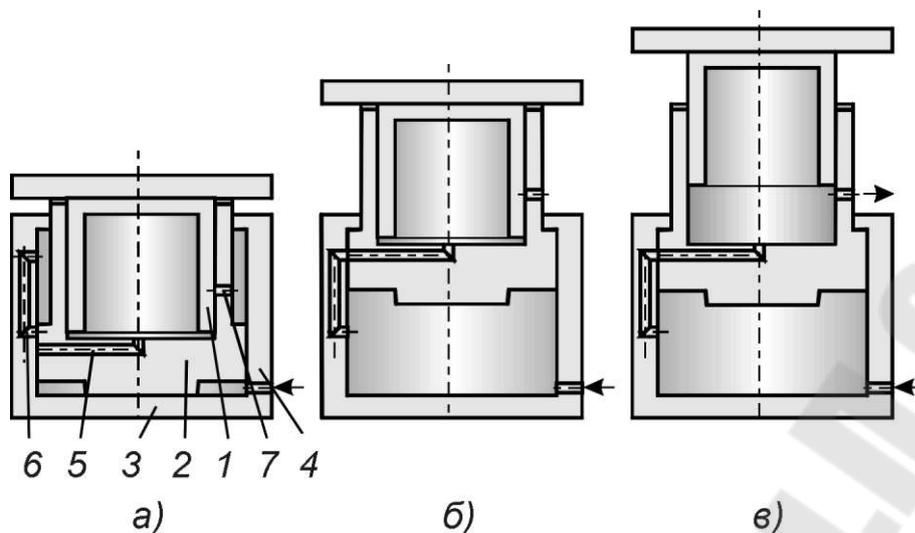


Рисунок 3.3 Встряхивающий механизм со смягчением удара

торой одна или обе соударяющиеся массы снабжены упругими элементами, например, пружинами сжатия, пневматическими баллонами. В результате сжатия упругих элементов в период впуска воздуха энергия

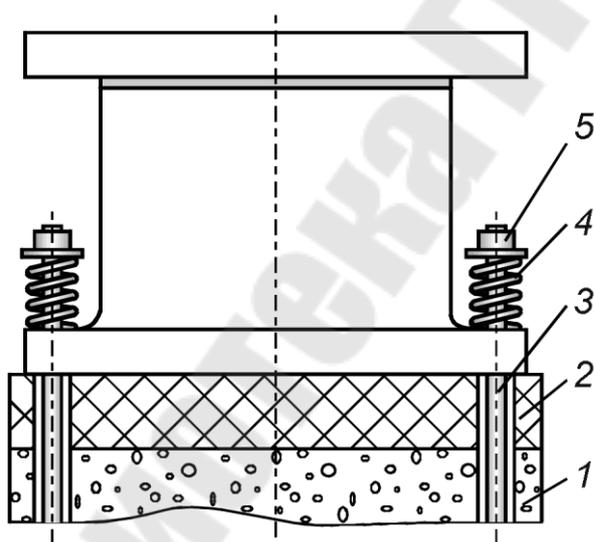


Рисунок 3.4. Устройство упругого фундамента

Большое распространение получили машины с полной амортизацией ударов (рис. 3.5).

Под «амортизацией» пневматического двигателя понимают такую его конструкцию, при ко-

торой одна или обе соударяющиеся массы снабжены упругими элементами, например, пружинами сжатия, пневматическими баллонами. В результате сжатия упругих элементов в период впуска воздуха энергия накапливается, а в период выхлопа преобразуется в работу удара. Это позволяет за относительно короткое время подать в цилиндр больше энергии, а значит, совершить большую полезную работу, т. е. повысить мощность встряхивающего механизма.

Встряхивающий механизм, изображённый на рис. 3.5 отличается от рассмотренных выше механизмов схемой подвода сжатого воздуха 2 и наличием массивного цилиндра-амортизатора 3. Цилиндр-амортизатор является

одновременно встряхивающим цилиндром. Он помещён в направляющий цилиндр 5 и опирается на пружину 4.

При подаче сжатого воздуха через каналы 2 в столе машины (рис. 3.5, а) начинается движение поршня 2 со столом вверх, а цилиндра-амортизатора 3 – вниз. При этом происходит сжатие пружины 4. После того как откроется выхлопное отверстие 6, давление сжатого воздуха в поршневой полости упадёт, но оба элемента будут двигаться некоторое время по инерции (рис. 3.5, б). После остановки поршень 1 начнёт падать под действием силы тяжести, а цилиндр-амортизатор 3 подниматься под действием пружины 4. В момент их встречи произойдёт удар и уплотнение смеси. При этом энергия удара на фундамент почти не передаётся.

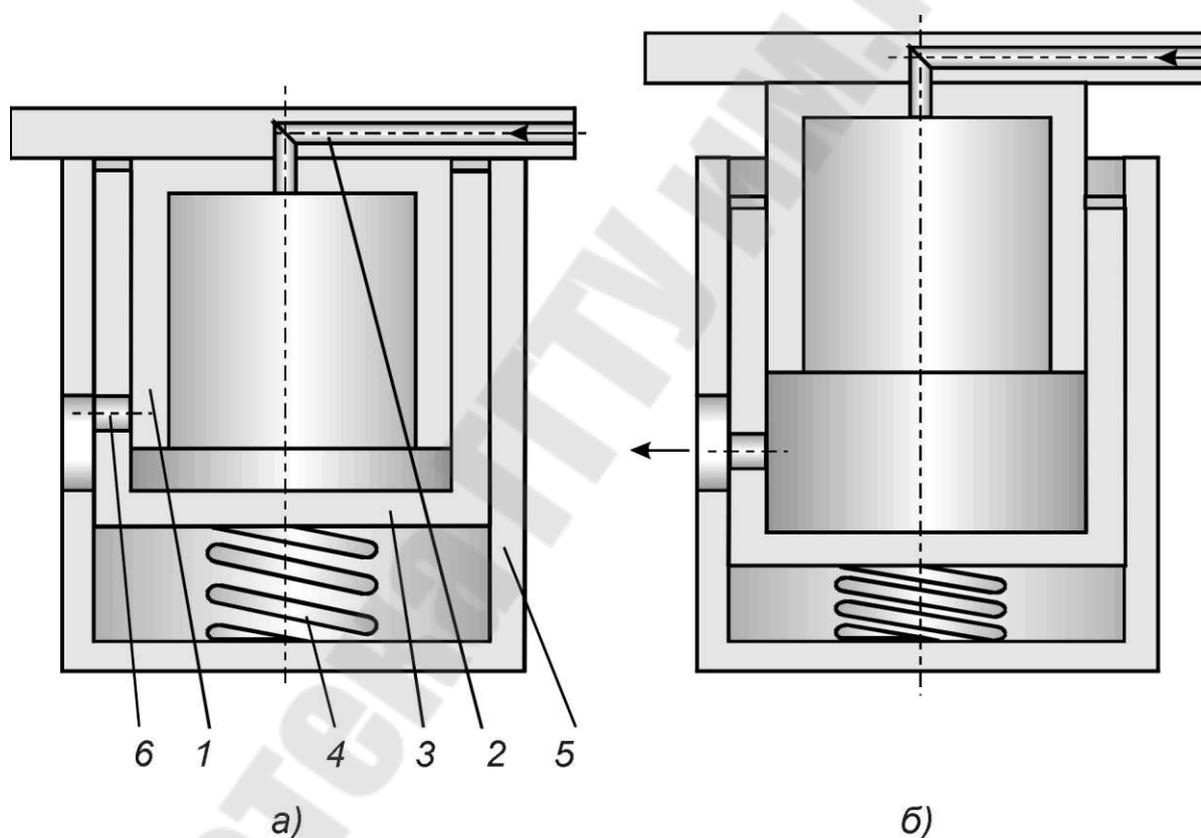


Рисунок 3.5 Встряхивающий механизм с полной амортизацией удара

3.2.4 Классификация по типу воздухораспределения

По типу воздухораспределения пневматические двигатели встряхивающих механизмов бывают: с поршневым, клапанным и золотниковым распределением сжатого воздуха.

На рис. 3.6 представлена схема встряхивающего механизма с отсечкой сжатого воздуха простым односедельным клапаном.

Работает такой механизм следующим образом. В исходном положении (рис. 3.6, а) стержень клапана 4 упирается в дно цилиндра 5. При этом клапан не касается седла, выполненного в перегородке поршня 3. При включении машины, сжатый воздух через канал 1 в столе и отверстие в перегородке поршня проходит в поршневую полость встряхивающего цилиндра 5. Поршень начинает подниматься, а массивный клапан остаётся на месте. В некоторый момент седло коснётся клапана, и отверстие окажется закрытым (рис. 3.6, б). Дальнейшее движение поршня будет определяться взаимным расположением нижней кромки поршня 3 и выпускного отверстия 6. Если одновременно с закрытием клапана откроется выхлопное отверстие, то поршень будет двигаться вверх только по инерции. Если в момент закрытия клапана, выхлопное отверстие ещё будет закрыто, движение будет происходить сначала за счёт расширения сжатого воздуха, а затем по инерции.

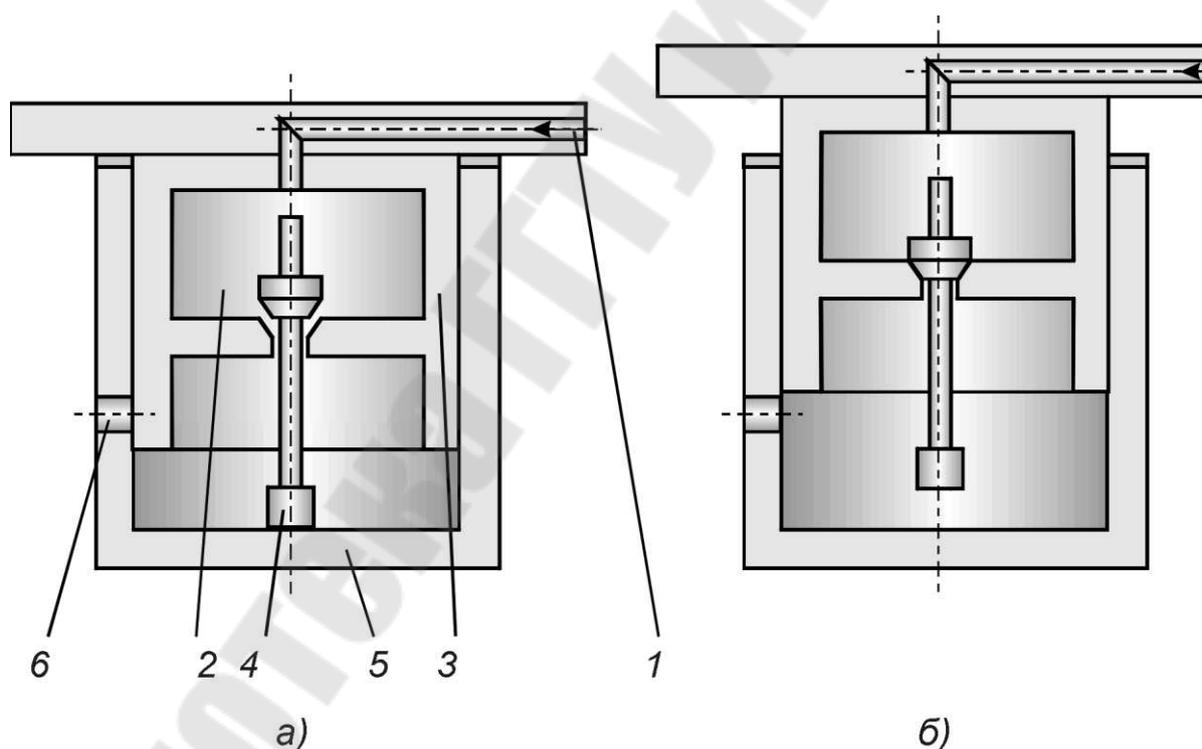


Рисунок 3.6 Встряхивающий механизм с односедельным клапаном

После остановки поршня в верхней точке, он начнёт падать. Когда нижний торец клапана упрётся в дно цилиндра, отверстие откроется. Сжатый воздух начнёт поступать в поршневую полость. Механизм готов начать следующий подъём поршня сразу после удара.

Как видно из рис. 3.6 в данном механизме отсечка сжатого воздуха осуществляется клапаном, а выхлоп переключается поршнем, то есть имеет место смешанное клапанно-поршневое распределение воздуха.

Наличие клапана позволяет регулировать момент отсечки сжатого воздуха, но для этого необходимо частично разобрать механизм. Моменты открытия и закрытия выхлопного отверстия не регулируются.

Свободными от указанных недостатков являются механизмы с двухседельным клапаном (рис. 3.7) и с золотником (рис. 3.8). В обеих конструкциях управляющее устройство выполнено в виде отдельного узла и расположено вне цилиндра, что позволяет легко выполнить регулировку.

На рис. 21 приведён пневматический встряхивающий механизм с воздухом распределением, осуществляемым перекидным клапаном. Нижняя тарелка 7 клапана открывает отверстие, по которому сжатый воздух поступает во встряхивающий цилиндр. Верхняя тарелка 6 клапана открывает выхлопное отверстие, сообщающее встряхивающий цилиндр с атмосферой. В нижнем положении встряхивающего поршня 3 клапан давлением сжатого воздуха поднят. Выхлопное отверстие закрыто, а впускное открыто. Встряхивающий поршень 3 со столом поднимается. По мере подъёма встряхивающего стола за ним следует плунжер 2, установленный в клапане. Этот плунжер перемещается вверх под действием давления сжатого воздуха на его нижний торец. Плунжер 2 всё время упирается верхним торцом в регулирующий винт 1, ввёрнутый во встряхивающий стол.

Когда встряхивающий поршень пройдёт путь наполнения h_1 , сжатый воздух по нижнему каналу в плунжере попадёт в пространство 4 над поршнем 5 клапана, и клапан опустится в нижнее положение, закрыв впускное отверстие и открыв отверстие для выхлопа.

При ходе встряхивающего стола вниз (рис. 3.7, б) клапан будет держать выхлопное отверстие открытым до тех пор, пока пространство 4 над поршнем 5 клапана не сообщится с атмосферой через верхний канал в плунжере. Это произойдёт, когда до конца хода останется некоторое расстояние h_2 . В этот момент воздух из пространства 4 уйдёт в атмосферу, и клапан снова поднимется в верхнее положение, закрыв выхлопное и открыв впускное отверстие.

Данное воздухом распределительное устройство легко регулируется перемещением регулирующего винта 1. При вкручивании винта в

стол зазор между его головкой и плунжером 2 увеличивается, а высота встряхивания уменьшается и наоборот.

Пневматический встряхивающий механизм с золотниковым воздухораспределением представлен на рис. 3.8. Золотник не имеет жёсткого крепления к встряхивающему столу. Он может проскальзывать относительно стола на величину x , которая регулируется перемещением гаек на штоке золотника.

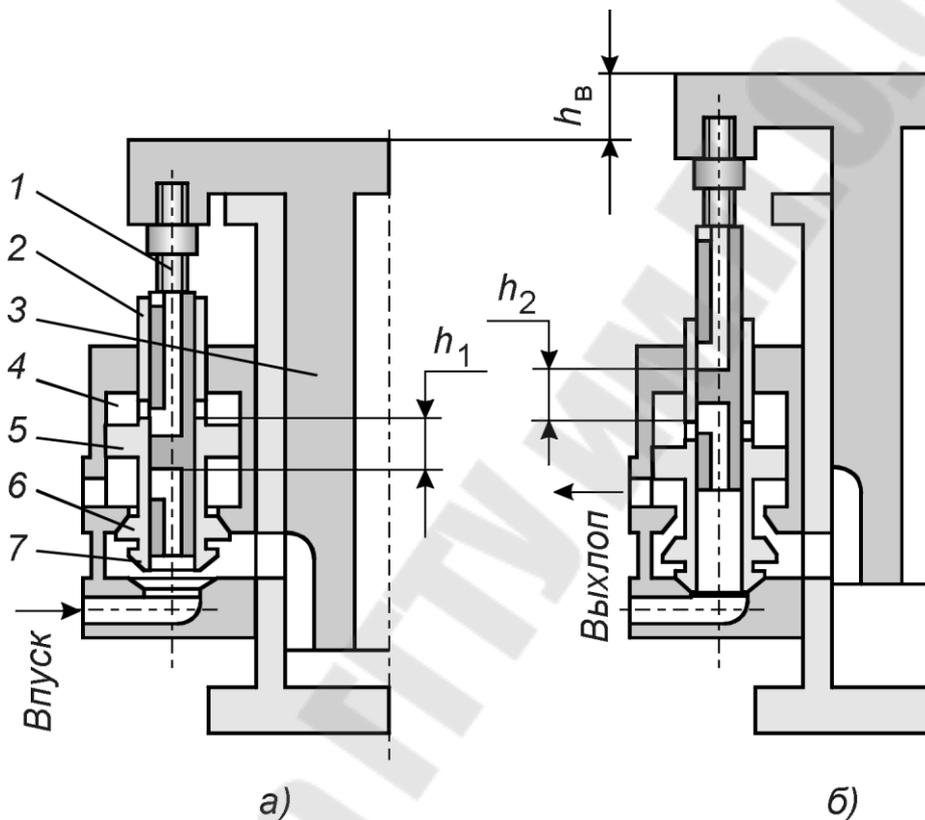


Рисунок 3.7 Встряхивающий механизм с двухседельным перекидным клапаном

При ходе встряхивающего поршня вверх стол сначала проходит путь x , выбирая зазор до верхней гайки (рис. 3.8, *а*), и только затем тянет за собой золотник. В начале падения встряхивающего стола золотник задерживается силами трения в корпусе и отстаёт от стола. Поэтому в процессе падения стол сначала выберет зазор x до нижней регулирующей гайки (рис. 3.8, *б*) и только затем начнёт толкать вниз золотник.

Таким образом, открытие и закрытие впускного и выпускного отверстий осуществляется перемещением золотника. Перемещение золотника осуществляется от встряхивающего стола. Регулирование

моментов открытия и закрытия отверстий производят изменением величины зазора x и перемещением золотника относительно стола.

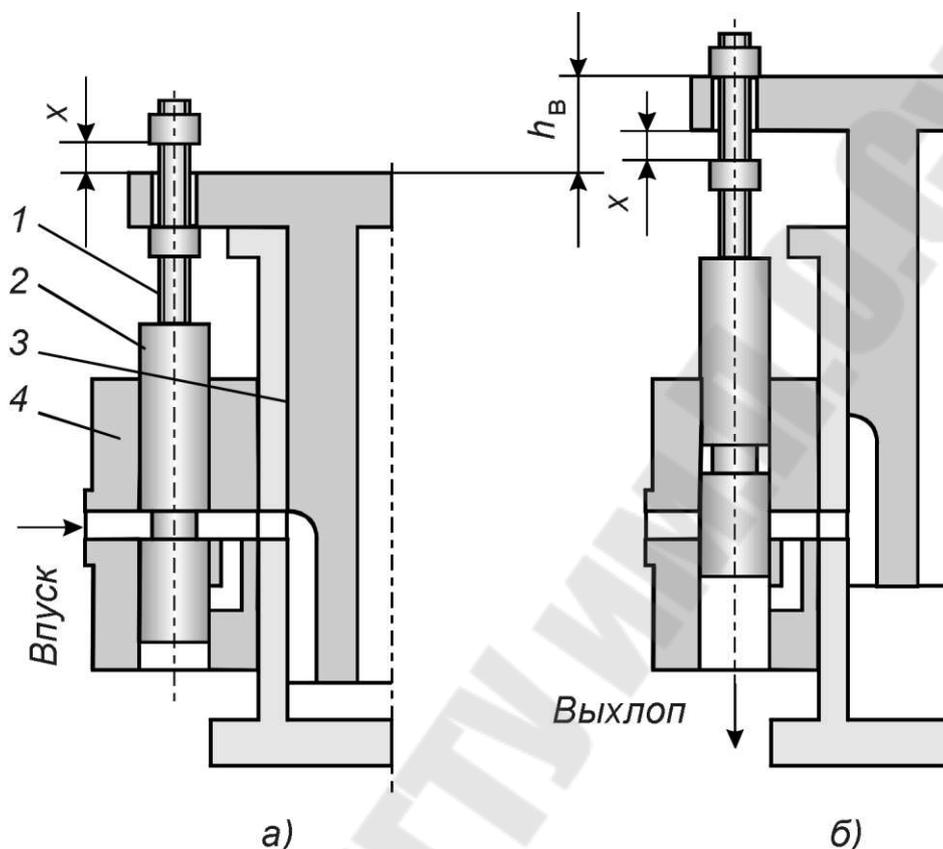


Рисунок 3.8 Встряхивающий механизм с золотниковым распределением воздуха

3.3 Характер уплотняющего воздействия на формовочную смесь

При уплотнении смеси на встряхивающей формовочной машине рабочий стол с опокой поднимается на некоторую высоту. Затем стол падает и ударяется о прокладку; скорость стола, а также скорость модельно-опочной оснастки падает до нуля, в то время как формовочная смесь в опоке, продолжая двигаться вниз по инерции, уплотняется. Кинетическая энергия, полученная смесью во время её движения вниз, переходит в работу уплотнения.

3.3.1 Кинетика сил инерции при ударе встряхивающего стола

Рассмотрим характер импульсного воздействия на формовочную смесь при ударе на следующей упрощённой схеме.

Пусть тело с массой m (встряхивающий стол с полуформой) в момент соприкосновения со станиной машины имеет начальную скорость удара v_0 . Примем этот момент за начало отсчёта времени ($t_0 = 0$) и координаты ($x_0 = 0$).

С момента соприкосновения стол и станина (прокладка) начнут деформироваться. Стол начнёт замедляться, а силы сопротивления деформации будут расти. Наступит момент, когда кинетическая энергия падающего стола перейдёт в потенциальную энергию деформированных частей. Стол остановится, а упруго деформированные части будут восстанавливать свою форму. Стол начнёт двигаться вверх. Пройдя начало координат, разогнанный упругими силами, он будет продолжать движение вверх по инерции и поднимется на некоторую высоту. Поскольку часть энергии рассеется в процессе деформации в виде тепла, высота подъёма будет меньше высоты, с которой стол падал. Далее стол будет подниматься под действием давления сжатого воздуха и цикл повторится.

Обозначим через c жёсткость соударяющихся частей. Перемещение стола из-за деформации соударяющихся частей, отсчитываемое от этого нулевого момента времени, обозначим через x , скорость этого перемещения через v и ускорение движения через j . Уравнение движения стола в момент удара (условие равновесия) может быть записано следующим образом:

$$cx - m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0 \quad (3.1)$$

Здесь первое слагаемое – сила упругой деформации, второе – сила давления движущегося стола. Если разделить уравнение (3.1) на массу m и умножить на минус единицу, получим

$$\frac{d^2 x}{dt^2} - \omega^2 x = 0, \quad (3.2)$$

где m – масса стола, кг;

c – жёсткость стола, Н/м;

x – текущая координата, отсчитываемая от точки соприкосновения соударяющихся частей, м;

ω – круговая частота собственных колебаний стола, рад/с.

Частота собственных колебаний твёрдого тела выражается через жёсткость и массу следующим образом

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}. \quad (3.3)$$

Уравнение (3.4) описывает автоколебания системы с массой m и жёсткостью c и представляет собой однородное линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами, без правой части, и с мнимыми комплексными корнями характеристического уравнения. Решение его имеет следующий вид

$$x = A \cos \omega t + B \sin \omega t. \quad (3.4)$$

Продифференцировав это решение, получим выражение для скорости:

$$v = -A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t. \quad (3.5)$$

Для нахождения постоянных коэффициентов A и B в уравнение (3.4) подставляем первое начальное условие ($x = 0$ при $t = 0$), а в уравнение (3.5) второе начальное условие ($v = v_0$ при $t = 0$), где время t отсчитывается от начального момента соударения. Получаем значения постоянных коэффициентов: $A = 0$, а $B = v_0/\omega$ и имеем окончательно

$$x = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t, \quad (3.6)$$

$$v = v_0 \cos \omega t. \quad (3.7)$$

Предельное время $t_{\text{пр}}$ всей деформации найдём, положив $v = 0$ в уравнении (3.7). Получаем

$$\omega t_{\text{пр}} = \arccos \frac{0}{v_0} = \frac{\pi}{2}, \quad (3.8)$$

что даёт величину предельного времени деформации

$$t_{\text{пр}} = \frac{\pi}{2\omega}. \quad (3.9)$$

При этом полная деформация соударяющихся частей равняется

$$x_{\text{пр}} = \frac{v_0}{\omega} \quad (3.10)$$

Текущее значение ускорения движения $j = dv/dt$ (в момент времени t) находим продифференцировав уравнение (3.7)

$$j = -\omega v_0 \sin \omega t \quad (3.11)$$

Сила давления встряхивающего стола на станину $F = m(-j)$ равняется:

$$F = m\omega v_0 \sin \omega t \quad (3.12)$$

В момент конца деформации соударяющихся частей будем иметь следующие предельные значения ускорения и силы давления

$$j_{\text{пр}} = -\omega v_0, \quad (3.13)$$

$$F_{\text{пр}} = m\omega v_0. \quad (3.14)$$

На рис. 3.9 показан характер нагружения формовочной смеси силами инерции во времени при ударе встряхивающего стола. Сила нагружения (ускорение инерции) возрастает по синусоидальной закономерности от нуля до максимального (предельного) значения, соответствующего концу деформации соударяющихся частей машины. После достижения этого момента времени следует период упругого восстановления соударяющихся частей, и сила давления (или ускорение инерции) падает снова до нуля. Встряхивающий стол при этом подскакивает на некоторую высоту отражения, которая меньше высоты падения стола, так как удар стола о станину машины является не вполне упругим. Соответственно площадь диаграммы под кривой нагрузки представляет собой импульс нагружения J_1 , который больше импульса разгрузки J_2 , равного площади под кривой разгрузки.

Как следует из полученных решений (формулы 3.9 и 3.13), продолжительность нагружения $t_{\text{пр}}$ и максимальное ускорение инерции $j_{\text{пр}}$ при ударе зависят от частоты собственных колебаний системы ω , которая, в свою очередь определяется жёсткостью c . С уменьшением жёсткости c собственная частота ω уменьшается (уравнение 3.3). При этом $t_{\text{пр}}$ увеличивается (удар растягивается по времени), а ускорение инерции уменьшается. При увеличении жёсткости – наоборот.

Следовательно, можно регулировать характеристики удара, применяя прокладки из различных материалов на ударных поверхностях машины.

3.3.2 Уплотнение формовочной смеси при встряхивании

Представим импульс сил инерции (нагружающих смесь сжимающих напряжений σ) в течение времени удара упрощённо в виде треугольника abc (рис. 3.10), а характеристику нарастания во времени внутреннего сопротивления смеси дальнейшему уплотнению σ_j в виде прямой de . (Прямая de делит координатную плоскость на две части, если точка, соответствующая действующим напряжениям находится

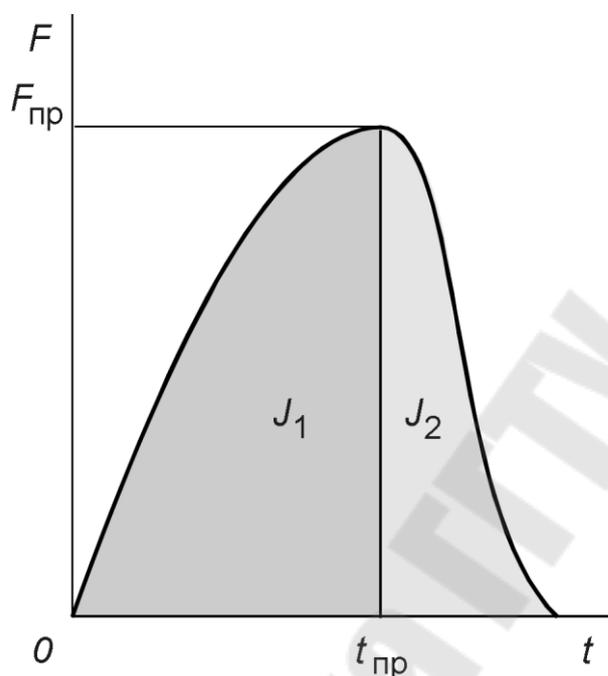


Рисунок 3.9 Изменение инерционных сил во времени при встряхивании

выше прямой, смесь будет уплотняться, если ниже — нет.)

Очевидно, что при нагружении первым ударом в смеси с её начальным сопротивлением уплотнению, соответствующим точке d , начнётся деформация уплотнения по закономерности de , так как смесь в силу своей вязкости не может уплотняться быстрее, несмотря на более высокие действующие нагрузки по пику abc . В результате смесь при первом ударе уплотнится до точки l в соответствии с отрезком $d-1$.

При втором ударе ($a'b'c'$) уплотнение начинается уже с точки l' , соответственно возросшему внутреннему сопротивлению смеси σ_j , и смесь уплотнится в меру отрезка $l'-2$. При третьем ударе она уплотнится в меру отрезка $2'-3$ и так далее (для упрощения второй и третий удары совмещены на рисунке с первым ударом). С момента, когда точка b окажется ниже прямой de , дальнейшее уплотнение становится невозможным. Чем круче характеристика уплотняемости смеси во времени, т. е. Чем меньше её «вязкость», тем меньшее число ударов встряхивания потребуется для её уплотнения и наоборот. Обычно на практике число ударов встряхивания на одну форму составляет от 10 до

30÷50, что значительно меньше предела, при котором плотность смеси стабилизируется.

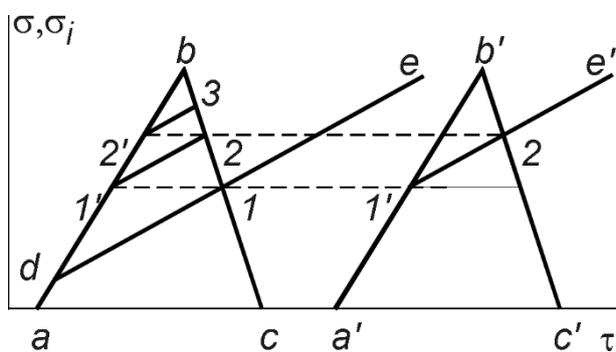


Рисунок 3.10 Схема роста деформации смеси при повторяющихся ударах

3.3.3 Распределение сжимающих напряжений по высоте формы

Величина сжимающих напряжений, возникающих в смеси при ударах встряхивания, нарастает с глубиной погружения под свободный уровень смеси в опоке, в Чем легко убедиться элементарным расчётом. В самом деле, пусть в момент удара встряхивающего стола

действует ускорение инерции j .

Тогда для горизонтального слоя смеси в опоке, находящегося на глубине z под свободной поверхностью и имеющего толщину dz (рис. 3.11, а), можно написать уравнение равновесия сил следующим образом

$$- Fdp - \xi pfUdz + F\delta_0 g dz + F\delta_0 j dz = 0, \quad (3.15)$$

где F – площадь опоки, m^2 ;

U – периметр опоки в свету, m ;

p – мгновенное вертикальное сжимающее напряжение в рассматриваемом слое, Pa ;

ξ – коэффициент бокового давления;

f – коэффициент трения формовочной смеси о стенки опоки;

δ_0 – средняя плотность смеси перед ударом, kg/m^3 ;

g – ускорение свободного падения, m/s^2 .

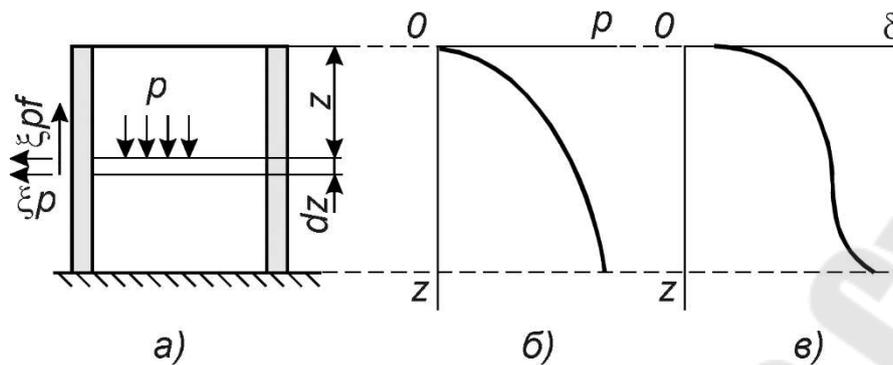


Рисунок 3.11. Распределение сжимающих напряжений и плотности смеси по высоте формы при встряхивании

Решив это уравнение, получим выражение для вертикального сжимающего напряжения на глубине x в момент удара

$$p = \frac{F}{U} \frac{\delta_0}{\xi f} (j + g) \left(1 - e^{-\frac{U}{F} \xi f z} \right). \quad (3.16)$$

Из полученного уравнения видно, что с увеличением координаты z растёт по абсолютной величине и показатель степени. Поскольку показатель степени отрицательный, выражение во вторых скобках с увеличением z растёт, а значит, растёт и сжимающее напряжение p (рис. 3.11, б).

3.3.4 Качество уплотнения формовочной смеси при встряхивании

Распределение плотности смеси по высоте формы при встряхивании должно соответствовать закономерности изменения вертикальных сжимающих напряжений. График изменения плотности по высоте формы представлен на рис. 3.11, в. Из рисунка видно, что верхние слои смеси практически не уплотняются, в то время как в нижних слоях наблюдается даже некоторое переуплотнение. Практика показывает, что при увеличении числа ударов встряхивания, в смеси, примыкающей к модельной плите, могут образоваться трещины.

Плотность смеси верхних слоёв можно повысить только дополнительным уплотнением. Чаще всего после встряхивания осуществляют допрессовку. Возможно также применение подтрамбовки (вручную или пневматическими трамбовками). С целью снижения времени изготовления формы, можно применить динамическую подпрессовку с помощью груза, накладываемого на смесь перед встряхиванием. Обычно это чугунная плита, имеющая размеры, соответствующие размерам опоки в свету и высоту, определяемую в соответствии с

требуемой конечной твёрдостью смеси и заданным числом ударов встряхивания.

При формовке высоких моделей возможно образование рыхлоты в верхней части вертикальных стенок. Это вызвано отклонением потока деформируемой смеси от вертикального направления при соскальзывании с верхней плоскости модели. Для предотвращения этого дефекта необходимо скруглять верхние углы высоких моделей, а при последующем прессовании следует использовать профильную прессовую колодку.

Из вышесказанного следует, что уплотнение смеси на встряхивающих машинах характеризуется следующими факторами: скоростью стола до и после удара; жёсткостью удара (определяется жёсткостью упругой прокладки между станиной и столом); числом ударов, необходимых на уплотнение одной полуформы при заданных физико-механических свойствах смеси.

3.3.5 Эмпирические уравнения встряхивания

Число ударов на одну форму не может являться критерием уплотняющего воздействия при встряхивании, так как сами удары встряхивающего стола могут быть различными, более мощными или же более слабыми.

При n ударах встряхивания встряхивающий механизм совершает работу по уплотнению смеси, которую можно выразить уравнением

$$A = mghn\eta, \quad (52)$$

где m – масса формовочной смеси в опоке, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – высота подъёма стола, м;

n – число ударов встряхивания;

η – коэффициент использования потенциальной энергии встряхивающего стола при его падении.

Коэффициент η обусловлен потерями энергии падающих частей машины из-за трения в поршневой паре и противодействия сжатого воздуха под поршнем. Для различных встряхивающих формовочных машин коэффициент η колеблется в пределах $0,3 \div 0,7$, в зависимости от конструкции, точности изготовления, регулирования, смазки, износа машины, и от давления воздуха в сети.

В первом приближении за меру уплотняющего воздействия на формовочную смесь при встряхивании принимают удельную работу

встряхивания (Дж/м²), сообщённую смеси за n ударов стола и отнёсённую либо к единице площади опоки

$$a = \frac{mghn\eta}{F}, \quad (3.18)$$

либо к 1 кг смеси (Дж/кг)

$$a_0 = ghm\eta, \quad (3.19)$$

где F – площадь опоки, м².

Зависимость средней плотности формовочной смеси δ от удельной работы встряхивания можно выразить эмпирическим уравнением, установленным Н. П. Аксёновым:

$$\delta = 1000 + Ka^{0,3}, \quad (3.20)$$

где K – коэффициент уплотняемости формы встряхиванием;
 a – удельная работа встряхивания, Дж/м².

По практическим данным, коэффициент уплотняемости встряхиванием K в зависимости от высоты смеси до уплотнения H_0 имеет следующие значения.

H_0 , мм	200	300	400	500	600	700	800
K	34,70	30,29	27,13	25,87	25,24	24,61	23,97

Уравнение (3.20) даёт удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными при значениях a , встречающимися на практике. Как и эмпирическое уравнение прессования, уравнение встряхивания отклоняется от опытных данных при весьма больших значениях a , приближающихся к моменту стабилизации уплотнения. Кроме того, отклонения могут наблюдаться и в области весьма малых значений a , если в действительных условиях $\delta_0 \neq 1000$ кг/м³. Указанные отклонения, однако, практического значения не имеют.

Изменение высоты встряхивания h в пределах 20÷100 мм не влияет на получаемую плотность δ при условии постоянства удельной работы a . Однако при увеличении h одна и та же работа a сообщается смеси при меньшем числе n ударов встряхивания одной формы, и производительность машины возрастает.

Слишком большое число ударов встряхивания n на одну форму может привести к частичному разрыхлению смеси и даже к возникновению трещин в форме со стороны модельной плиты.

Из уравнения встряхивания (3.20) легко получить выражение для работы при уплотнении литейных форм встряхиванием. Работа A на одну опоку, выраженная в Джоулях, составит

$$A = F \left(\frac{\delta - 1000}{K} \right)^{3,3}, \quad (3.21)$$

где F – площадь опоки, м²;

δ – средняя плотность смеси, кг/м³.

3.4 Индикаторные диаграммы встряхивающих механизмов

График, связывающий давление во встряхивающем цилиндре и перемещение поршня, называется индикаторной диаграммой. Он наглядно показывает процессы, происходящие во встряхивающем цилиндре и позволяет определить работы действующих сил.

Аналитическое построение индикаторной диаграммы затруднено сложностью процессов, протекающих в сжатом воздухе. Поэтому на действующих машинах индикаторную диаграмму снимают с помощью специальных приборов, а при проектировании новых машин строят приближённые диаграммы по практическим данным. Вид диаграммы зависит от конструкции механизма.

Рассмотрим индикаторную диаграмму встряхивающего механизма без отсечки и расширения воздуха представленного на рис. 3.1. Индикаторная диаграмма изображена на рис. 3.12.

При пуске машины давление в цилиндре начинает расти до тех пор, пока не уравновесит сопротивление движению поршня. В этот момент поршень начнёт двигаться вверх (точка 1).

В точке 2 открывается выхлопное отверстие. Давление в цилиндре начинает падать, но оно всё ещё больше давления, при котором началось движение. Поэтому на участке 2– d поршень движется под действием сжатого воздуха.

Начиная с точки d , поршень движется вверх только за счёт запасённой кинетической энергии.

В точке 3 поршень останавливается и начинает падать под действием силы тяжести. До точки 4 поршень вытесняет заключённый в цилиндре воздух через выхлопное отверстие, поэтому, несмотря на поступление сжатого воздуха, давление в цилиндре продолжает падать.

В точке 4 выхлопное отверстие закрывается. Падающий поршень начнёт сжимать уже имеющийся в цилиндре и поступающий вновь воздух. Давление будет расти.

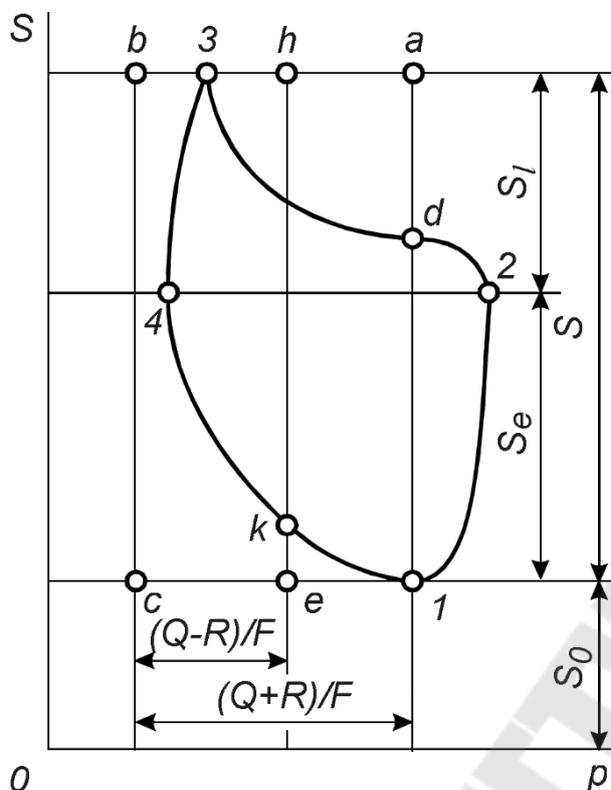


Рисунок 3.12 Индикаторная диаграмма встряхивающего механизма без отсечки и расширения воздуха

Индикаторная диаграмма установившегося режима замкнётся в точке 1, соответствующей моменту удара и начала нового цикла подъёма поршня.

Представляет интерес точка *k* диаграммы. Давление воздуха под поршнем в этой точке равно $(Q-R)/F$. Этой же величине равняется и движущая сила, отнесённая к единице площади поршня. Таким образом, равнодействующая сил, действующих на поршень в этой точке равна нулю. Это означает, что при дальнейшем движении сжатие воздуха будет происходить за счёт запасённой кинетической энергии поршня. Иными словами максимум кинетической энергии поршня будет не в момент удара, а в точке *k*. Следовательно, при проектировании механизма нужно стремиться, чтобы точка *k* диаграммы располагалась как можно ближе к точке 1.

На всех участках пути поршень движется с ускорениями, поэтому всё отрезки диаграммы являются параболами.

Определим координаты характерных точек диаграммы.

Давление в точке *c* соответствует атмосферному давлению.

В точке начала движения 1 уравнение равновесия сил запишется как

$$(p_1 - p_a)F = Q + R, \quad (3.22)$$

где p_1 – абсолютное давление сжатого воздуха в точке 1, Па;
 p_a – атмосферное давление, Па;

F – площадь поршня, м²;
 Q – сила тяжести поднимаемых частей, Н;
 R – сила трения в поршневой паре, Н.

Из уравнения 3.22 находим минимально необходимое для начала движения избыточное давление сжатого воздуха

$$p_1 - p_a = \frac{Q + R}{F}. \quad (3.23)$$

Вторая координата точки 1, очевидно, равняется приведённой высоте вредного пространства (вредное пространство это объём поршневой полости при нижнем расположении встряхивающего поршня)

$$S_0 = \frac{V_0}{F}, \quad (3.24)$$

где V_0 – объём вредного пространства, м³;
 F – площадь поршня, м².

На пути наполнения S_e от точки 1 до точки 2 давление в цилиндре повышается вследствие поступления сжатого воздуха из сети. При этом в самом начале движения при малых скоростях поршня давление повышается в большей мере, чем при дальнейшем подъёме. Если на участке 1÷2 индикаторной диаграммы наблюдается сначала некоторое повышение давления, а затем его падение, это указывает на недостаточное сечение впускного трубопровода.

Разница давлений в точках 1 и 2 составляет обычно 0,05÷0,1 МПа.

При ходе поршня вниз движущей силой является разница $(Q - R)$, а силой сопротивления – давление воздуха под поршнем $(p - p_a)F$. Поэтому для точки 3 справедливо выражение

$$(p_3 - p_a)F = Q - R, \quad (3.25)$$

откуда избыточное давление в точке 3 должно удовлетворять неравенству

$$p_3 - p_a \leq \frac{Q - R}{F}. \quad (3.26)$$

В машинах без отсечки воздуха избыточное давление в точке 3 составляет обычно 0,04÷0,06 МПа.

3.5 Комбинированный механизм уплотнения

Как было сказано выше, при прессовании под высоким давлением с помощью многоплунжерной головки происходит более равномерное уплотнение набивки формы над моделью и в глубоких карманах формы, например, вокруг высокой модели. Но даже в этой последней модификации прессование под высоким давлением не полностью устраняет органический дефект в распределении плотностей по объёму формы и имеет существенные технологические ограничения в отношении характера формуемых моделей по конфигурации и расположению их в опоке. Этот способ не является вполне удовлетворительным для корпусных деталей при формовке в одной опоке одной или нескольких крупных и высоких моделей с крутыми стенками.

Несмотря на расчленённую прессовую головку и множество прессующих башмаков, глубокие карманы формы между моделями и между моделями и стенками опоки подпрессовываются недостаточно при очень плотной набивке мест над моделями и всей формы в целом.

Более гибким и эффективным является метод уплотнения с помощью одновременного встряхивания и прессования.

Схема такого механизма приведена на рис. 3.13. При одновременном включении встряхивающего и прессового цилиндра, прессовый поршень поднимает стол машины и выбирает расстояние между верхней кромкой формы и прессовой колодкой. Это расстояние в таких механизмах делается большим, 150÷200 мм и более (что позволяет производить на них также уплотнение и чистым встряхиванием). Поэтому во время подъёма стола прессовым поршнем успевают произойти некоторое количество ударов предварительного встряхивания. Встряхивающая часть механизма работает при этом как обычный встряхивающий механизм с амортизацией ударов. После того как форма будет прижата к прессовой колодке, начинается встряхивание с одновременным прессованием.

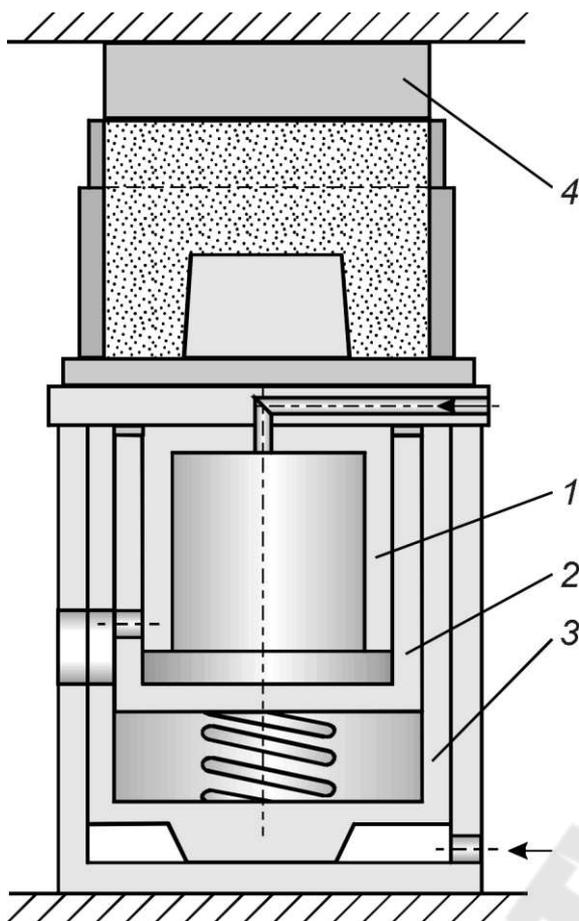


Рисунок 3.13 Комбинированный механизм уплотнения форм

При встряхивании с одновременным прессованием, уплотняемая форма на столе машины оказывается, таким образом, прижатой прессовым поршнем к прессовой колодке. В качестве прессовой колодки обычно применяется пассивная многоплунжерная головка (на эскизе показана жесткая прессовая колодка). Встряхивающий поршень со столом остаётся неподвижным. Ударный же массивный подпружиненный поршень (амортизатор), наносит частые удары снизу по столу машины; эти удары передаются формовочной смеси, и возбуждают в ней направленные вниз инерционные силы (импульсные сжимающие напряжения), дополнительно к статической прессующей нагрузке.

Эти дополнительные напряжения от ударов амортизатора являются небольшими по сравнению с напряжениями прессования (под высоким давлением). Однако такие удары, особенно в начале процесса уплотнения, оказывают положительное действие на пробиваемость карманов формы и выравнивают плотность смеси в форме.

Встряхивание (т. е. удары амортизатора по столу) в таком комплексном механизме производится с большой частотой, $10 \div 12$ ударов в секунду (примерно втрое чаще, чем в обычных встряхивающих машинах). Поэтому при общей продолжительности цикла уплотнения $3 \div 5$ с, число произведённых на одну форму ударов амортизатора за первые $1 \div 2$ секунды получается большим и действие их эффективно. Считается, что уплотнение карманов формы при таком комплексном воздействии определяется именно действием этих ударов, а интенсивное прессование даёт общую высокую твёрдость всей формы.

Кроме этого, наличие подобного комплексного механизма на формовочной машине позволяет применять уплотнение форм как

одновременным встряхиванием и прессованием, так и отдельным встряхиванием с последующим прессованием (либо с последующим одновременным встряхиванием и прессованием), а также и уплотнение одним чистым прессованием. Эти возможности делают современные формовочные машины с механизмами данного типа технологически весьма гибкими.

Обычно механизмы для одновременного встряхивания и прессования выполняются с прессовым цилиндром, развивающим давление под прессовой колодкой $1,2 \div 1,5$ МПа.

4 ПЕСКОМЁТЫ И ПЕСКОДУВНЫЕ МАШИНЫ

4.1 Классификация, устройство и работа пескомётов

Пескомёт – формовочная машина, которая выполняет две функции: наполняет опоку формовочной смесью и уплотняет её. Различают пескомёты передвижные и стационарные. Основной рабочий орган пескомёта – метательная головка (рис. 28). Она представляет собой кожух 1, в котором на приводном валу 6 жёстко посажен ротор 5 с ковшом-лопаткой 4. В кожух ленточным конвейером 2 непрерывно подаётся формовочная смесь. Захватываемая и увлекаемая вращающимся ротором с ковшом смесь под действием сил инерции прижимается к направляющей дуге 3, расположенной между кожухом и ковшом, несколько уплотняется, образуя «пакет» и выбрасывается из головки в опоку.

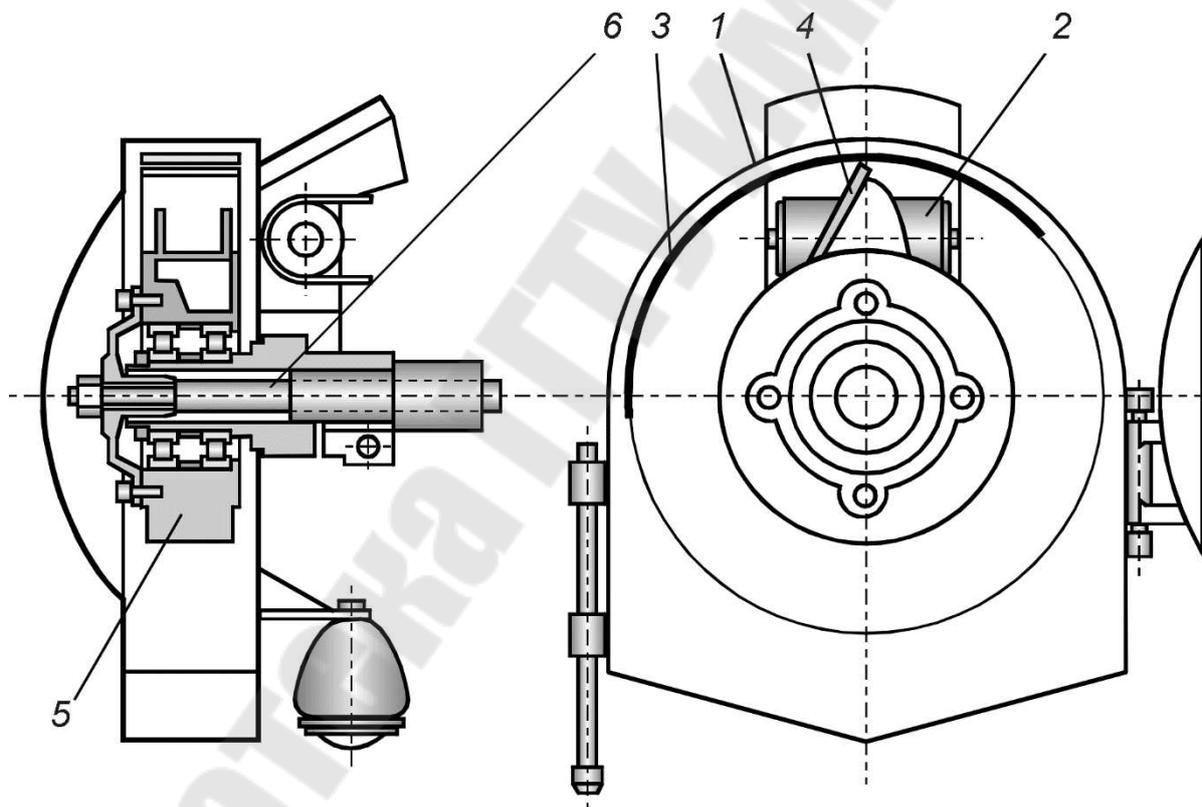


Рисунок 4.1 Метательная головка пескомёта

Для лучшего обслуживания всей площади опоки метательная головка пескомёта монтируется на двух «рукавах», а смесь подводится к головке системой ленточных конвейеров. Подача смеси в головку осуществляется либо в тангенциальном направлении, либо в осевом. При тангенциальной подаче ось ленточного конвейера, подающего смесь в

головку пескомёта, расположена перпендикулярно оси ротора: смесь подаётся с конвейера по касательной к наружному диаметру ротора. При радиальной подаче ось ленточного конвейера расположена параллельно оси ротора, а смесь подаётся через окно, расположенное в торцевой стенке ротора. Радиальная подача конструктивно выполняется проще, но потери энергии больше, чем при тангенциальной подаче.

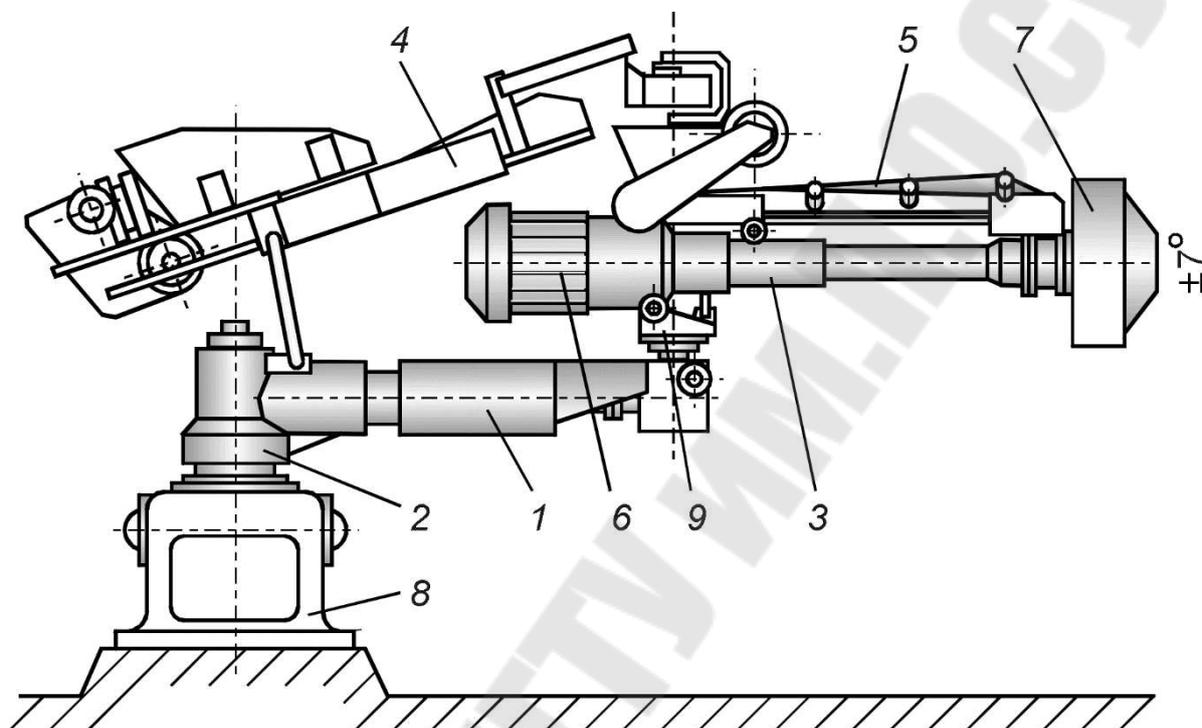


Рисунок 4.2 Общий вид стационарного поворотного двухрукавного пескомёта

Общий вид стационарного двухрукавного пескомёта представлен на рис. 29. Большой рукав 1, соединённый с поворотной колонной 2, вращается вокруг вертикальной оси в тумбе 8. Малый рукав 3 шарнирно закрепляется на большом рукаве и имеет поворот относительно него на $270 \div 300^\circ$. Поворотная колонна вращается вместе с большим рукавом относительно вертикальной оси на угол до 360° в упорно-опорных подшипниках. Привод поворота рукавов обычно гидравлический реечного типа. Ленточные конвейеры 4 и 5 имеют независимые приводы. Электродвигатель 6 и метательная головка 7 соединены общим валом, но удалены друг от друга на некоторое расстояние для обеспечения равновесия относительно вертикальной оси поворота 9.

Производительность современных пескомётов по уплотнённому объёму смеси $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ и выше при диаметре ротора метательной головки $400 \div 800 \text{ мм}$.

Ротор имеет от 1 до 3 лопаток. Частота вращения до 25 с^{-1} (1500 об/мин). Абсолютная скорость вылета пакета достигает 60 м/с.

Главное преимущество пескомётов – высокая и равномерная плотность набивки формы любой высоты и площади. Однако из формовочной смеси должны быть удалены все металлические включения, так как в противном случае может быть заклинивание ротора скрапом и его поломка.

По конструктивному исполнению различают подвесные и двухрукавные пескомёты.

Подвесной пескомёт (качающийся стол) состоит лишь из метательной головки, которая шарнирно подвешена к опорной металлоконструкции. Формовочная смесь из бункера дисковым питателем подаётся по жёлобу в метательную головку, а из неё выбрасывается через направляющий кожух в опоку.

Благодаря тангенциальной подаче смеси в головку значительно сокращается расход электроэнергии. Подвесные пескомёты выпускаются производительностью от 3 до $6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Двухрукавные пескомёты могут быть как стационарные, так и передвижные. Передвижные пескомёты, в свою очередь, могут быть: велосипедные, тележечного типа, мостового типа и локомотивные.

Стационарные двухрукавные пескомёты изготавливают производительностью $10 \div 12 \text{ м}^3/\text{ч}$ уплотнённой смеси. Пример стационарного двухрукавного пескомёта приведён на рис. 29.

Передвижные консольные пескомёты предназначены для набивки крупных опок шириной до 4,5 м. Они передвигаются вдоль стоны пролёта на тележке по одному рельсу, уложенному на полу цеха, и по верхнему опорному пути, подобно велосипедному крану. Пескомёт имеет два рукава – большой с вылетом порядка 4 м и малый с вылетом порядка 3 м. Формовочная смесь подаётся в бункер пескомёта ленточным конвейером с помощью сбрасывающего скрёбка.

Все движения рабочих органов пескомёта механизированы и управляются с пульта, расположенного у метательной головки и перемещаемого вместе с ней. Тележка, метательная головка и ленточные конвейеры рукавов приводятся с помощью электродвигателей, а поворот рукавов в горизонтальной плоскости, подъём, и опускание большого рукава осуществляется с помощью гидропривода и ременной передачи. Диаметр метательной головки составляет около 600 мм. Мощность электродвигателя привода головки $20 \div 25 \text{ кВт}$. Частота вращения ротора $23 \div 25 \text{ с}^{-1}$ ($1400 \div 1500$ об/мин). Скорость выхода смеси из

головки 45÷50 м/с. Производительность передвижных консольных пескомётов 20÷25 м³/ч.

Передвижные пескомёты могут иметь как стационарный, так и сменный бункер и предназначаются для уплотнения форм размером до 8÷10 м. Ходовая часть передвижных пескомётов выполняется в виде специальных тележек, передвигающихся на рельсовых путях, подобно мостовому крану.

Автоматизированные пескомёты управляются по заранее заданной программе, без участия человека.

4.2 Физические основы процесса уплотнения пескомётом

Скорость конвейера, подающего смесь в головку пескомёта v (в м/с) должна быть увязана с числом ковшей i на роторе, шириной ковша b (мм) и частотой вращения (c^{-1}) ротора n следующим образом:

$$v_{\text{тр}} = \frac{bni}{10^3}, \quad (4.1)$$

При этих условиях ковши полностью будут заполняться смесью на всю их ширину, не будет как недогрузки, так и перегрузки головки.

Угол отклонения боковой стенки ковша со стороны конвейера при осевой подаче смеси определяется равенством

$$\varphi_k = \arctg \frac{v}{u}, \quad (4.2)$$

где u – окружная скорость ротора на радиусе r встречи ковша с потоком смеси, м/с.

Струя смеси, попавшая в ротор с быстро вращающимся ковшом, под действием центробежных сил прижимается к направляющей дуге, образуя пакет треугольной формы с различной по объёму плотностью. Плотность слоя смеси, примыкающего непосредственно к направляющей дуге, будет большей, так как на него действует давление остальных слоёв пакета.

Степень уплотнения смеси в пакете зависит от радиуса, на котором лежит данный слой пакета. Чем больше радиус, тем больше центробежная сила инерции, тем больше давление прессования, а, следовательно, плотность пакета. Максимальная плотность (1600÷1650 кг/м³) будет у линии сопряжения ковша с направляющей дугой. У

свободной поверхности пакета плотность составляет всего $1000 \div 1100$ кг/м^3 , то есть равняется плотности разрыхлённой смеси.

Для обеспечения более благоприятного направления выхода смеси с лопатки колёса её закрепляют на роторе под углом 20° к радиусу ротора.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что пакет смеси сходит с лопатки ротора пескомёта практически как одно целое тело. При встрече пакета с моделью или с ранее уложенными слоями смеси возникает мгновенное давление, которое уплотняет смесь в опоке, причём сам пакет также при этом уплотняется под действием собственных сил инерции, погашаемых при ударе, и внедряется в уплотнённую смесь.

Найдена экспериментальная зависимость между плотностью δ (кг/м^3) и энергией падающего пакета:

$$\delta = 1000 + ce^{0,08}, \quad (4.3)$$

где c – коэффициент уплотняемости смеси, равный $400 \div 600$;

e – кинетическая энергия пакета, Дж ($e = mv^2/2$);

m – масса одного пакета, кг;

v – абсолютная скорость схода пакета, м/с.

Приведённое уравнение справедливо для скоростей схода $v = 30 \div 35$ м/с.

Из уравнения (4.3) видно, что главным фактором, влияющим на плотность смеси, является абсолютная скорость движения пакета: Чем она больше, тем выше плотность.

На плотность смеси в опоке влияет также и скорость перемещения головки пескомёта над опокой. Оптимальное значение этой скорости составляет $0,4 \div 0,6$ м/с. При более низких скоростях, пакеты падают друг на друга, смесь образует конус в месте падения и течёт по нему в стороны. При этом смесь частично разрыхляется, её плотность и твёрдость снижаются. При скоростях перемещения головки выше оптимальной плотность смеси растёт мало.

По высоте опоки плотность смеси при пескомётной набивке практически одинакова. Некоторое уменьшение плотности смеси наблюдается в верхней части опоки. Это объясняется, с одной стороны, смягчающим действием нижележащих слоёв смеси, а с другой – наличием крестовин в опоке.

Плотность зависит также от количества подаваемой смеси. С увеличением подачи плотность сначала повышается, а затем снижается. Оптимальная подача составляет $8 \div 12$ т/ч. Это объясняется действием двух факторов – возрастанием давления, возникающего при ударе пакета по уплотняемой смеси, и падением плотности вследствие увеличения толщины слоя смеси накладываемого за один проход головки. (При прочих равных условиях при пескомётном уплотнении плотность толстого слоя получается ниже, чем у тонкого слоя.)

С увеличением расстояния от метательной головки до плоскости набивки, плотность смеси при прочих равных условиях несколько уменьшается. Это объясняется падением скорости пакета за счёт сопротивления воздуха. Расчёты показывают, что с увеличением расстояния от верхнего уровня смеси в опоке до головки свыше 5 м скорость пакета уменьшается на $2 \div 5\%$.

Таким образом, на увеличение плотности смеси при пескомётной формовке влияют два основных фактора. Это скорость схода пакета смеси с ковша-лопатки и скорость горизонтального перемещения головки относительно уплотняемой формы.

4.3 Потребляемая пескомётной головкой мощность

Потребляемая метательной головкой мощность (в кВт) расходуется на:

- кинетическую энергию полёта пакетов или полезную мощность $N_{\text{пол}}$;
- трение между пакетом и направляющей дугой N_1 ;
- преодоление ротором сопротивления воздуха внутри кожуха N_2 ;
- преодоление трения в подшипниках ротора, учитываемого к. п. д.

Таким образом, можно записать

$$N = (N_{\text{пол}} + N_1 + N_2) \frac{1}{\eta}, \quad (4.4)$$

где η – коэффициент полезного действия привода ($\eta = 0,995$).
Полезная мощность $N_{\text{пол}}$ (кВт) определяется выражением

$$N_{\text{пол}} = \frac{\Pi \delta v_a^2}{3,6 \cdot 10^6}, \quad (4.5)$$

где P – производительность пескомёта (по уплотнённой смеси), м³/ч;

δ – средняя плотность уплотнённой смеси, кг/м³;

v_a – абсолютная скорость вылета пакета смеси, которую с достаточной для практических расчётов точностью можно принять равной окружной скорости ротора, м/с.

Мощность, расходуемая на трение между пакетом и направляющей дугой N_1 (кВт) может быть выражена следующей формулой

$$N_1 = \frac{\varepsilon f_1 K r^2 b n}{58 \cdot 10^4}, \quad (4.6)$$

где ε – отношение длины дуги трения пакета к полной длине окружности (обычно $\varepsilon = 0,25$);

f_1 – коэффициент трения смеси по стали в движении ($f_1 = 0,3 \div 0,4$);

K – коэффициент, зависящий от скорости лопатки, производительности пескомёта, числа ковшей и их ширины (кг/см), ($K = 0,85 \div 4$);

r – радиус направляющей дуги, см;

b – ширина ковша, см;

n – частота вращения (с⁻¹) ротора.

Мощность, затрачиваемая на преодоление ротором сопротивления воздуха внутри кожуха N_2 (кВт) определяется по формуле

$$N_2 = \frac{\rho_v b_1 (r - r_1)}{2g102 \cdot 10^4} \left[\frac{\pi n (r + r_1)}{60 \cdot 100} \right]^3, \quad (4.7)$$

где ρ_v – плотность воздуха, кг/м³;

b_1, r_1 – ширина и радиус диска ротора, см.

В заключение отметим, что пескомёт отличается от описанных ранее формовочных машин тем, что совмещает две операции, операцию заполнения формы смесью и уплотнение формы. Другое отличие состоит в том, что пескомёт не имеет кинематической связи с формой. Форма может находиться на плацу или на тележке конвейера, а пескомёт может быть стационарным или передвижным.

4.4 Пескодувные Машины Классификация пескодувных машин

Пескодувные машины появились значительно позже других формовочных машин. Лишь в 1940-х годах они нашли широкое

применение для изготовления стержней. В 1950-е годы этот метод начали использовать для предварительного уплотнения форм. Первоначально существовал один тип пескодувной головки. Позднее появилась конструкция, позволяющая увеличить скорость надува примерно в 10 раз. Такую машину называли пескострельной. Таким образом, в классе пескодувных машин имеются два конструктивных типа: пескодувные и пескострельные машины.

Существует два способа подачи смеси в форму: при одном из них смесь при выходе из вдувного отверстия движется перпендикулярно модельной плите, при другом – параллельно. Недостаток второго способа – появление затенённых областей за моделями формы со стороны, противоположной надуву.

Пескодувные (пескострельные) машины можно классифицировать по расположению вдувного отверстия относительно опоки: машины с верхним (верхний надув), боковым (боковой надув) и нижним (ствольный надув) расположением вдувного отверстия.

Пескодувный процесс уплотнения может быть одноразовым и пульсирующим; форма (или стержень) изготавливается соответственно при выдаче одной или нескольких выдаваемых последовательно порций смеси.

В формовочных машинах, осуществляющих процесс первого типа, объём пескодувного резервуара больше (иногда в несколько раз) объёма формы. В машинах для пульсирующего уплотнения объём резервуара меньше объёма формы. Последние машины более универсальны, однако процесс уплотнения сильно удлиняется, возрастает расход воздуха.

4.5 Устройство и работа пескодувных машин

Процесс уплотнения на пескодувных машинах заключается в следующем (рис. 4.3): на столе машины установлена опока 4, которую стол прижимает к надувной плите 3 пескодувного резервуара 1.

Необходимая доза смеси загружается в пескодувный резервуар 1, который затем герметизируется. Далее в резервуар подаётся сжатый воздух, который выдавливает смесь в опоку 4 через одно или несколько вдувных отверстий. Время рабочего процесса $1 \div 2$ с.

После надува воздух из опоки уходит в атмосферу через специальные отверстия – венты 5. Венты выполняются как в надувной плите (верхняя вентиляция), так и в опоке или модельной плите (нижняя

вентиляция). Венты выполняются таким образом, чтобы пропускали только воздух и не пропускали смесь.

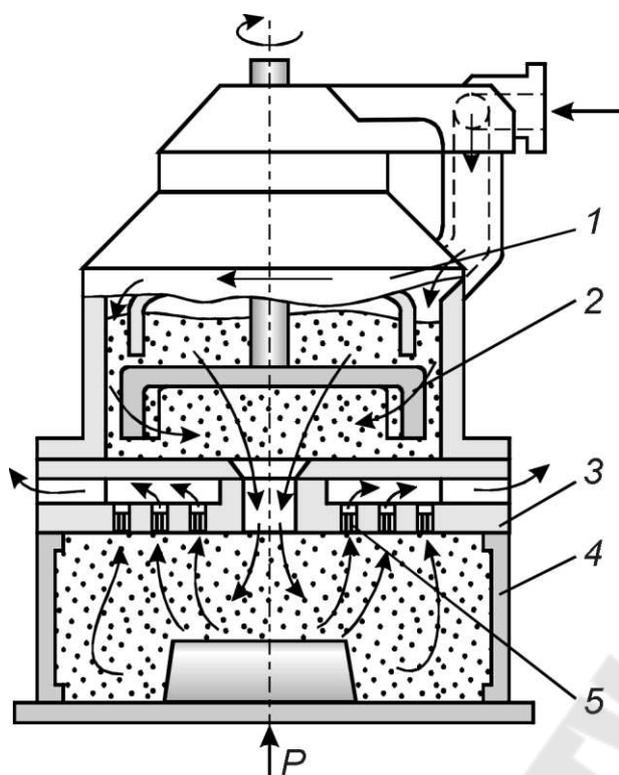


Рисунок 4.3 Пескодующая головка

Чтобы смесь не слёживалась в пескодующем резервуаре, в него встроены мешалки 2, непрерывно разрыхляющие смесь в процессе надува.

Вариант исполнения пескострельной головки представлен на (рис. 4.4).

В пескострельном резервуаре 1 имеется гильза 2 с узкими прорезями. Прорези расположены двумя группами. В нижней части гильзы прорези 3 ориентированы вертикально, а прорези 4 в верхней части гильзы – горизонтально.

Нижняя часть резервуара представляет собой коническую насадку 5 с выходным отверстием. Выходное отверстие

может быть круглым, щелевым, крестообразным и другой конфигурации.

Для отвода воздуха из технологической ёмкости 13 в ней и в надувной плите 10 делаются венты 12 и 11.

Для обеспечения высокой скорости надува смеси требуется большая скорость подвода воздуха. Для обеспечения большого мгновенного расхода воздуха головка оборудована пневматическим аккумулятором 7 (ресивером). На рис. 4.4 ресивер выполнен в виде корпуса головки, однако большее распространение получили ресиверы в виде отдельного газового баллона.

Смесь в гильзу 1 подаётся из дозатора 9 при открывании шиберного затвора 8. Закрытый шибер герметизирует гильзу и пространство вокруг неё.

После заполнения гильзы смесью и герметизации резервуара открывается быстродействующий клапан надува 6, и сжатый воздух поступает из ресивера в пространство вокруг гильзы. Наличие прорезей

в гильзе приводит к тому, что часть воздуха поступает в пространство гильзы над смесью и стремится выдавить её в опоку.

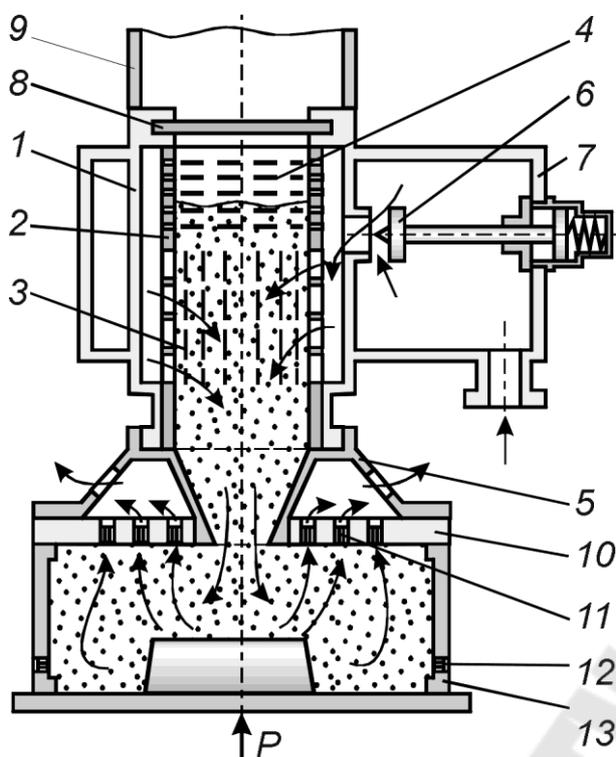


Рисунок 4.4 Пескострельная головка

Другая часть воздуха давит на смесь с боков, отжимает её от стенок гильзы и снижает, тем самым, трение. Помимо этого воздух фильтруется в объёме смеси и разрыхляет её. Благодаря такому действию сжатого воздуха надув происходит гораздо быстрее, чем при пескодувном способе. Время рабочего процесса составляет $0,1 \div 0,2$ секунды. На слух надув воспринимается как выстрел, отсюда и название.

Следует отметить особое значение клапана надува. Он должен быть быстродействующим и иметь большое проходное сечение, чтобы обеспечить большой удельный расход воздуха.

В задачу клапана входит также сообщение гильзы с атмосферой по окончании надува (на рисунке не показано).

Процесс формирования формы или стержня можно рассматривать как последовательность двух этапов.

Сначала происходит заполнение технологической ёмкости с предварительным уплотнением смеси за счёт кинетической энергии струи и перепада давлений. Затем осуществляется уплотнение смеси за счёт выдавливания прессующего кома из насадки в технологическую ёмкость, которое происходит под действием разности давлений воздуха в рабочем резервуаре и форме.

На первом этапе пескодувный резервуар по существу играет роль питателя. Смесь поступает в технологическую ёмкость в виде рыхлой, почти неуплотнённой струи. На втором этапе происходит выдавливание дополнительной порции смеси из выходного отверстия резервуара в предварительно заполненную технологическую ёмкость. Смесь, поступающая в опоку, принимает форму кома, прессующего как

нижележащие, так и боковые слои. Если в резервуаре имеется несколько выходных отверстий, то из каждого выдавливается отдельный прессующий ком. Комья, выходящие из близко расположенных отверстий, могут сливаться.

4.6 Выбор основных параметров пескодувных машин

Расчёт рабочих резервуаров пескодувных машин состоит в определении таких значений конструктивных параметров, которые обеспечивают непрерывное питание формы смесью и создают условия, благоприятные для образования прессующего кома и уплотнения смеси в форме. Помимо этого, при проектировании пескодувной машины подлежат расчёту элементы её конструкции.

При проектировании пескодувных машин исходными параметрами являются наибольший объём стержня и рабочая ёмкость пескодувного резервуара.

Размеры надувной плиты, расстояния от рабочего стола до надувной плиты для машин, предназначенных для изготовления стержней в ящиках с горизонтальным или вертикальным разъёмом, производительность машин (продолжительность цикла) регламентируются ГОСТ 8907–71.

Помимо перечисленных параметров, определяют также диаметр D и высоту H гильзы, площадь проходного сечения вдвухного клапана $F_{\text{кл}}$, суммарную площадь прорезей в гильзе $F_{\text{г}}$, площадь сечения выходного отверстия $F_{\text{вых}}$, суммарную площадь сечения вентиляционных отверстий $F_{\text{вент}}$, ёмкость ресивера V_0 , необходимое усилие прижима ящика P .

Значения этих параметров находят по эмпирическим формулам, полученным на основании экспериментальных исследований рабочего процесса пескодувных машин в диапазоне изменения массы стержня от 1 до 100 кг.

Диаметр гильзы зависит от массы стержня и определяется по формуле

$$D = (90 \div 100) \sqrt[3]{m}, \quad (4.8)$$

где D – диаметр гильзы, мм;

m – масса стержня, кг.

Высоту гильзы H нужно выбирать в пределах

$$H = (2,1 \div 2,2)D, \quad (4.9)$$

Диаметр вдувного клапана должен составлять

$$d_{\text{кл}} = (0,2 \div 0,5)D, \quad (4.10)$$

Если машина имеет несколько вдувных клапанов, то суммарная площадь их проходных сечений должна быть

$$F_{\text{кл}} = \frac{\pi d_{\text{кл}}^2}{4}, \quad (4.11)$$

где $d_{\text{кл}}$ – величина, определяемая по формуле (4.10).

Площадь сечения $F_{\text{пр}}$ ширину $\Delta_{\text{пр}}$ прорезей в гильзе определяют по формулам:

для верхней части гильзы

$$F_{\text{в}} = (0,3 \div 0,4)F_{\text{кл}}, \quad (4.12)$$

$$\Delta_{\text{в}} = (0,8 \div 1,0) \text{ мм}, \quad (4.13)$$

для нижней части гильзы

$$F_{\text{н}} = (2 \div 4)F_{\text{в}}, \quad (4.14)$$

$$\Delta_{\text{н}} = (0,3 \div 0,5) \text{ мм}. \quad (4.15)$$

После выбора значений D , H , $\Delta_{\text{в}}$, $\Delta_{\text{н}}$, $F_{\text{в}}$, $F_{\text{н}}$ прочерчивают расположение прорезей на развёртке гильзы, стараясь расположить их по возможности равномерно. В верхней части гильзы прорези располагают обычно горизонтально, а в нижней – вертикально. Технологически удобно прорези в гильзе не фрезеровать, а изготовлять гильзу витой с прорезями, являющимися зазорами между витками. В этом случае принимают

$$F_{\text{пр}} = (1,2 \div 1,4)F_{\text{кл}}, \quad (4.16)$$

$$\Delta_{\text{пр}} = (0,3 \div 0,5) \text{ мм}. \quad (4.17)$$

При этом создаются условия для равномерного подвода воздуха через всю боковую поверхность гильзы.

Диаметр выходного отверстия насадки определяют по формуле

$$d_{\text{вых}} = (0,3 \div 0,5)D \quad (4.18)$$

В случае, когда насадка имеет несколько выходных отверстий или когда отверстия некруглые, суммарная площадь отверстий должна составлять

$$F_{\text{вых}} = \frac{\pi d_{\text{вых}}^2}{4}, \quad (4.19)$$

где $d_{\text{вых}}$ – величина, определяемая по формуле (4.18).

При проектировании насадки угол конусности обычно принимают равным 45° . В случае необходимости его можно изменять в пределах от 40° до 60° .

Суммарную площадь вентиляционных отверстий рекомендуется принимать из соотношения

$$F_{\text{вент}} = (0,5 - 1,0)F_{\text{вых}} \quad (4.20)$$

Величина $F_{\text{вент}}$ включает венты, как в надувной плите, так и в стержневом ящике. Верхний предел коэффициента в формуле (4.20) относится к меньшим значениям $d_{\text{вых}}$, а нижний – к большим.

Влияние отношения объёма ресивера к объёму гильзы (V_0/V_Γ) на плотность стержня ослабевает с ростом диаметра гильзы D . Объём ресивера определяют по формуле

$$V_0 = V_\Gamma \left(\frac{\ln \frac{1}{\varphi}}{1,032 + 0,03D} \right)^{3,7}, \quad (4.21)$$

где D – диаметр гильзы, м;

φ – коэффициент уменьшения плотности смеси из-за ограниченного объёма ресивера ($V_0 \neq \infty$).

Рекомендуется принимать для расчёта $\varphi = 0,01 \div 0,05$, причём верхний предел относится к рабочим резервуарам малых размеров, а нижний – к большим резервуарам. Таким образом, Чем больше размеры гильзы, тем относительно меньшим должен быть объём ресивера.

Требуемое усилие прижима технологической ёмкости к надувной плите определяют по формуле

$$P = (0,5 \div 0,6) p_m F_{\text{ящ}}, \quad (4.22)$$

где p_m – давление сжатого воздуха в магистральной сети, Па;
 $F_{\text{ящ}}$ – максимальная площадь технологической ёмкости в направлении перпендикулярном надуву, м².

Обычно усилия прижима, создаваемые установленными на существующих машинах пневматическими и гидравлическими цилиндрами, значительно больше требуемых формулой (4.22). Поэтому проверочный расчёт на прочность элементов машины следует вести по наибольшему усилию прижима, определяемому по формуле

$$P_{\text{пр}} = \alpha p F_{\text{ц}}, \quad (4.23)$$

где α – коэффициент, учитывающий трение поршневых колец и сальников; для расчёта пескодувных машин можно принимать $\alpha = 0,92$;

p – максимальное давление сжатого воздуха или масла в пневматическом или гидравлическом цилиндре, Па;

$F_{\text{ц}}$ – площадь поршня прижимного цилиндра, м².

4.7 Границы применимости процесса

Конструкция пескодувных машин позволяет осуществлять традиционные технологические процессы машинного изготовления форм с использованием связующих материалов, не требующих последующей тепловой сушки. Можно изготавливать формы из смесей, отверждаемых непосредственно в технологической ёмкости. Нередко изготавливаются также стержни, которые после извлечения из стержневого ящика упрочняются сушкой в специальных печах.

Под понятием «отверждение» стержня в ящике понимается повышение прочности стержня не в результате усиленного уплотнения, а вследствие физической или химической обработки. Многие стержневые смеси упрочняются в результате тепловой обработки, обработки углекислым газом или катализаторами, вводимыми либо непосредственно в стержневую смесь во время её приготовления, либо после уплотнения стержня – в стержневой ящик. К таким технологическим процессам относятся, в частности, процессы изготовления стержней в нагреваемой (Hot-box-процесс) и холодной (Cold-box-процесс) оснастке, отверждением в стержневых ящиках при продувке CO₂ или парами катализатора и др.

Поскольку пескодувные машины позволяют совмещать возможность работы по различным технологическим процессам, то понятие «универсальность машины» расширилось. Ранее оно распространялось только на геометрические и размерные параметры оборудования, т. е. на использование опок и стержневых ящиков различных размеров и с разной ориентацией плоскости разреза. В настоящее время понятие «универсальность» включает и технологические возможности оборудования, т. е. способность машины выполнять работы по нескольким различным технологическим процессам.

Пескодувный способ формовки легко дополняется прессованием, поэтому является перспективным при разработке высокопроизводительного формовочного оборудования.

4.8 Импульсные машины. Процесс импульсного уплотнения

При импульсном процессе опоку с наполнительной рамкой устанавливают на модельную плиту. В опоку засыпают смесь и к наполнительной рамке прижимают герметичную камеру. Затем за $0,01 \div 0,1$ секунды повышают давление газа в камере над смесью. Газ с большой скоростью фильтруется через смесь. В смеси возникают сжимающие напряжения, и форма уплотняется.

В настоящее время известны два способа быстрого повышения давления газа над смесью. В 1965–1968 гг. был разработан способ взрывного прессования, при котором в герметичную камеру, прижатую к наполнительной рамке, подаётся газ, а иногда его смесь с кислородом. Газовоздушная или газовоздушно-кислородная смесь поджигается электрической искрой. При быстром сгорании газа давление над смесью поднимается до 2 МПа. В экспериментах использовали сжиженный пропан-бутан, природный метан или ацетилен. По некоторым данным, при применении газовоздушных смесей без кислорода результаты часто получались нестабильными.

Второй способ – пневмоимпульсное уплотнение – был разработан в 1965–1970 гг. Опoка 2 с наполнительной рамкой прижимается к импульсной головке, состоящей из ресивера (на рис. 4.3 не показан) и герметичной камеры 3. В ресивере импульсной головки находится воздух под давлением $15 \div 20$ МПа (позже авторы метода стали рекомендовать давление $6 \div 8$ МПа). Ресивер отделён от герметичной камеры головки, к которой прижата опока, быстродействующим клапаном 4. При открытии клапана сжатый воздух поступает в пространство над смесью, давление в котором повышается до $1,2 \div 1,5$ МПа. Время роста

давления равно $0,012 \div 0,015$ с; процесс уплотнения длится $0,03 \div 0,035$ с. Для равномерного распределения сжатого воздуха над поверхностью формовочной смеси, в нижней части импульсной головки устанавливается плита-рассекатель 2 с отверстиями.

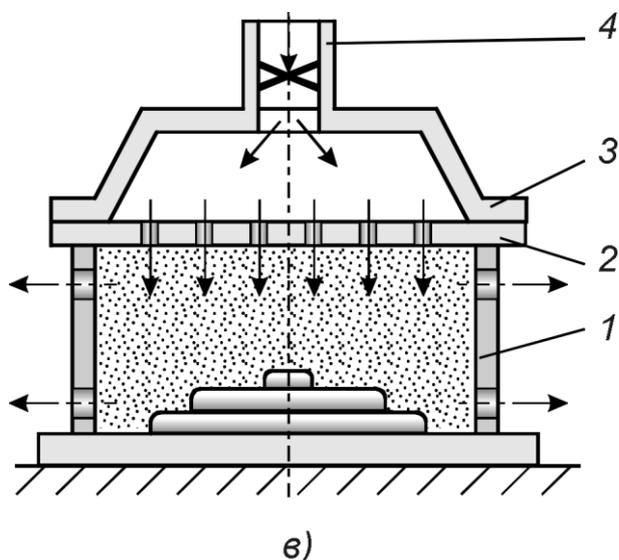


Рисунок 4.5 Схема импульсной формовки

В первых импульсных формовочных машинах, внедрённых на производстве, давление над смесью достигало $1,2 \div 3$ МПа. Однако работы по уплотнению смеси потоком воздуха начинали с низкого давления. С самого начала предполагали, что этот способ пригоден только для предварительного уплотнения смеси. Способ, разработанный в СССР, не стал в то время известен широкому кругу литейщиков и был незаслуженно забыт в нашей стране.

Известна ещё одна модификация импульсного уплотнения – нижнее импульсное уплотнение. При этом процессе дозатор располагают под опокой, к которой сверху прижата повернутая моделью вниз модельная плита. В днище дозатора вмонтирована сетка, на которой лежит доза рыхлой смеси. При быстром подъёме давления воздуха под сеткой смесь потоком воздуха перемещается к модельной плите, прижимается к ней, после чего начинается импульсный процесс уплотнения. При «полёте» смесь движется не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении, обтекая модель. Контрлад формы после уплотнения обычно не имеет выступов над моделью.

Расстояние от верхнего уровня смеси в дозаторе до модельной плиты близко высоте опоки (этим метод отличается от ствольного надува), поэтому давление воздуха со стороны контрлада примерно такое же, как и при обычном импульсном процессе с низким давлением газа. Однако максимальное значение скорости смеси при нижнем импульсном процессе больше, чем при обычном. Больше и инерционные силы, так как смесь разгоняется не только при уплотнении, но и при «полёте» к модели. Поэтому рыхлая зона на контрладе практически отсутствует; твёрдость смеси здесь равна $20 \div 30$ единицам.

Важная особенность нижнего импульсного уплотнения – уплотнение полуформы ладом вверх. При таком методе не нужно кантовать нижнюю полуформу перед сборкой, что существенно упрощает конструкцию машины или агрегатов автоматической линии.

4.9 Импульсные головки

В настоящее время применяют два вида импульсного уплотнения – пневмоимпульсное и газоимпульсное (взрывное). Соответственно существует два типа импульсных головок. В корпусе 3 пневмоимпульсной головки (рис. 33) помещён клапан 8, перекрывающий выпускное отверстие 11. На нижнем фланце корпуса закреплена решётка рассекателя 10 с дефлектором 12. К нижней поверхности решётки рассекателя прижимается наполнительная рамка 2, поэтому размеры решётки должны соответствовать размерам опоки 1. Полость корпуса 3 служит ресивером для сжатого воздуха, который подводится (в данной конструкции) по трубопроводу 5 через обратный клапан 4. При повороте крана 6 подача воздуха в ресивер прекращается, сжатый воздух из полости 7 над клапаном выходит в атмосферу, под действием давления воздуха в ресивере клапан резко отбрасывается вверх. Сжатый воздух через выпускное отверстие 11 и полость 9 рассекателя попадает в пространство над смесью и уплотняет её.

Рабочий процесс пневмоимпульсной головки заключается в истечении сжатого воздуха из ресивера в полость рассекателя, а из полости рассекателя в пространство над смесью. Как первый, так и второй процесс описывается сложными дифференциальными уравнениями, которые невозможно решить аналитическими методами.

Площадь выпускного отверстия изменяется в зависимости от пути, пройденного клапаном. Движение клапана описывается уравнением

$$Ma = p_0 F_k + p_p F_0 - p_1 F_1 - Mg, \quad (4.24)$$

где M и a – масса и ускорение клапана;

p_0 , p_p и p_1 – давление соответственно в ресивере, полости рассекателя и надклапанном пространстве;

F_k , F_0 и F_1 – эффективная площадь соответственно кромки клапана, выпускного отверстия и верхнего торца клапана.

Главными параметрами головки являются: давление p_0 воздуха в ресивере и его объём V_0 , площадь F_0 выпускного отверстия, площадь сечения F_p , объём V_p и конструкция рассекателя. В настоящее время

нет апробированной методики расчёта указанных параметров, поэтому их определяют эмпирическим путём. Ниже приведены рекомендации Г. А. Гейдебрехова и С. Н. Козлова по подбору указанных параметров.

Выбор давления воздуха в ресивере и объёма ресивера зависит от технологически необходимого максимального давления воздуха над смесью и объёмов полостей рассекателя и наполнительной рамки. В установках высокого давления используется сжатый воздух под давлением $7 \div 10$ МПа, в установках низкого давления под давлением $0,6 \div 0,7$ МПа. Соответственно в установках высокого давления удельный объём $V_p/F_{оп}$ ресивера (отнесённый к площади опоки $F_{оп}$) берётся равным $0,03 \div 0,05$ м³/м², в установках низкого давления – равным $0,6 \div 0,7$ м³/м².

Чём больше площадь F_0 выпускного отверстия, тем выше скорость подъёма давления воздуха в пространстве над смесью. Однако при использовании подобных клапанов, с увеличением площади выпускного отверстия растёт масса клапана и уменьшается скорость его подъёма, определяющим сечением становится сечение зазора между клапаном и седлом. Практически установлено, что для установок вы-

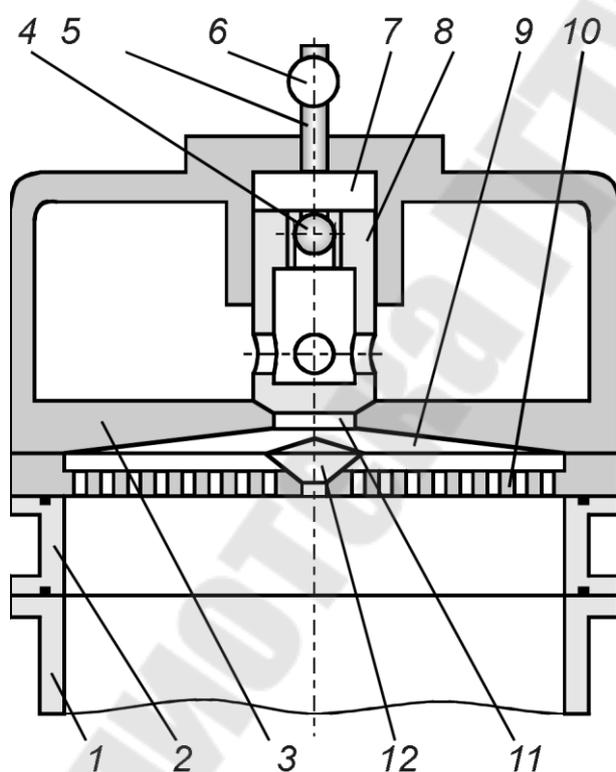


Рисунок 4.6 Пневмоимпульсная головка

сокого давления $F_0/F_{оп} = 0,043 \div 0,025$, для установок низкого давления $F_0/F_{оп} = 0,1 \div 0,12$. Большая относительная площадь отверстия во втором случае объясняется существенно меньшей скоростью истечения газа.

Назначение рассекателя – равномерное распределение потока воздуха по сечению формы. При отсутствии рассекателя струя воздуха выдувает смесь из части формы, противоположной к выпускному отверстию. Контрлад формы становится неровным, толщина рыхлого слоя увеличивается, иногда обнажается модель. Вместе с тем рассекатель не

должен уменьшать интенсивность поступления сжатого воздуха в

пространство над смесью. Поэтому, с учётом уменьшения плотности воздуха, сечения полости и отверстий рассекателя должны быть больше сечения F_0 выпускного отверстия. Вместе с тем объём V_p полости рассекателя увеличивает общий объём пространства над смесью, а Чем больше этот объём, тем больше падает в нём давление газа.

Для импульсных головок высокого давления $F_p/F_0 \geq 2,4$; $V_p/V_0 \leq 0,47$; для головок низкого давления $F_p/F_0 \geq 1,5$; $V_p/V_0 \leq 0,034$. Хорошие результаты получают при использовании рассекателя в виде плиты с отверстиями диаметром 10 мм. Если размеры выпускного отверстия близки к размерам опоки (в плане), рассекатель не нужен, что позволяет уменьшить объём ресивера 3 (рис. 4.6).

Как уже было сказано, интенсивность подъёма давления воздуха над смесью в значительной степени зависит от конструкции клапана. Клапан, показанный на рис. 33, прост по конструкции, хорошо работает в головках высокого давления, где его быстрое открывание обеспечивается большим перепадом давления. В головках низкого давления перепад значительно меньше, поэтому скорость движения клапана невысокая. Для того чтобы обеспечить интенсивный подъём давления, необходимо увеличить диаметр выпускного отверстия, соответственно необходимо увеличить диаметр тарелки 2 клапана (рис. 34, а). Для уменьшения массы тарелки следует уменьшить её высоту. Между тарелкой и стенкой камеры 4 над клапаном оставляют зазор, чтобы уменьшить силы трения. Поток воздуха, движущийся в зазоре, направляет тарелку и ускоряет её движение вверх.

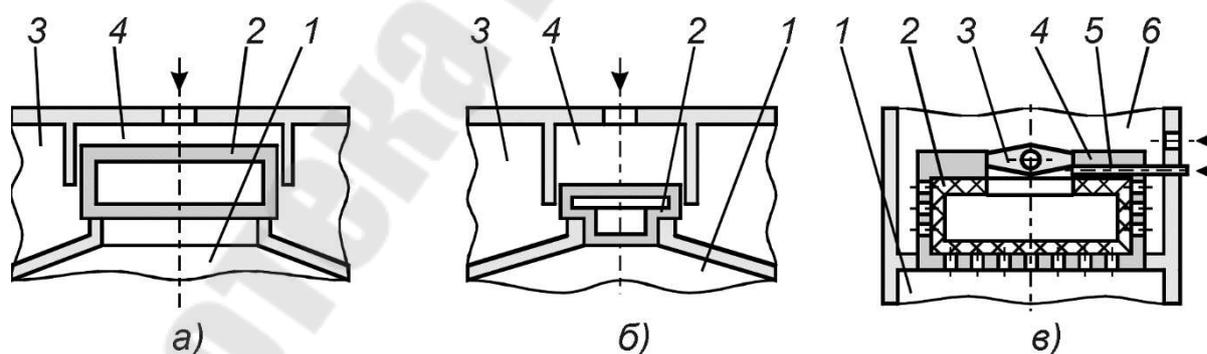


Рисунок 4.7 Конструкции клапанов импульсных головок

Тарелка 2 клапана, показанного на рис. 34, б, имеет хвостовик 5, перемещающийся относительно выпускного отверстия. При выходе воздуха из камеры 4 клапан 2 движется вверх, постепенно увеличивая скорость. Выпускное отверстие начинает открываться только после того, как хвостовик выйдет из отверстия. В этот момент скорость

клапана большая, что и обеспечивает резкое увеличение зазора между клапаном и седлом и быстрое поступление сжатого воздуха из полости ресивера 3 в полость рассекателя 1.

Диафрагменный клапан (рис. 34, в) представляет собой диафрагму 8, расположенную внутри перфорированной горловины 6. Внутри диафрагмы и в полости ресивера 3 находится сжатый воздух. Давление внутри диафрагмы несколько больше давления в ресивере, что обеспечивается отдельным подводом воздуха, поэтому диафрагма прижата к горловине. Для подачи воздуха в полость 1 над опоклой клапан 7 открывается, давление внутри диафрагмы и ресивера выравнивается, диафрагма резко сокращается, открывает отверстия горловины, и воздух из ресивера через горловину устремляется в полость 1.

В формовочных машинах для крупных опок применяют многоклапанные головки с несколькими ресиверами, смонтированными на общей плите.

Представляет интерес конструкция импульсной головки ВАРИО ИМПУЛЬС (рис. 4.8).

Основными узлами головки являются воздушный ресивер 1, импульсный клапан 2 с широкой тарелкой 3 и дроссель 4. Особенность конструкции клапана заключается в том, что в плите-рассекателе 4 и тарелке клапана 3 выполнены отверстия, не совпадающие друг с другом. Поэтому, когда тарелка прижата к плите, воздух из ресивера не попадает в форму. Для того чтобы выровнять плотность столбов смеси над моделью и вокруг неё предусмотрен дроссель 5 в виде плиты с отверстиями.

Работает машина следующим образом. После засыпки формовочной смеси опока 7 с наполнительной рамкой 6 прижимается к импульсной головке. Тарелка клапана поднимается, полости ресивера и опоки сообщаются, создаётся волна давления воздуха, которая мгновенно уплотняет смесь. Поскольку над центральной частью формы расположен дроссель, давление здесь нарастает несколько медленнее, чем вокруг модели. Поэтому зона вокруг модели уплотняется интенсивнее, чем над моделью.

После уплотнения давление в ресивере сбрасывается, и полуформа с наполнительной рамкой и моделью опускаются. При движении вниз специальными устройствами сначала останавливается наполнительная рамка, затем полуформа и после извлечения модели 8 из формы – модельная плита 9. Так осуществляется протяжка модели.

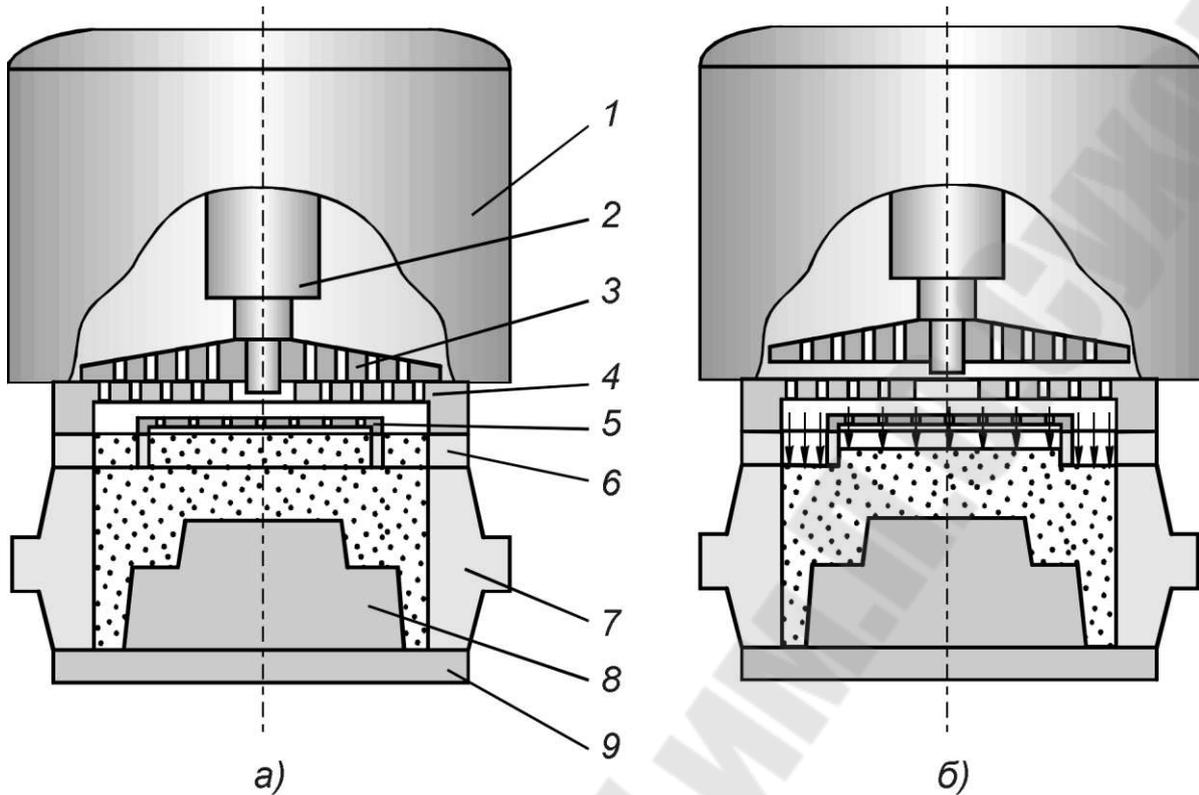


Рисунок 4.8. Импульсная головка ВАРИО ИМПУЛЬС фирмы БМД

Известна следующая конструкция автоматов линии фирмы G. Fischer (Швейцария). Опоку 1 (рис. 4.9) прижимают к головке 2, которая одновременно выполняет функции наполнительной рамки. Над головкой установлен бункер 3, устье которого закрыто жалюзийным затвором 4. Жалюзи открывают, и формовочная смесь из бункера сыплется в опоку и наполнительную рамку. Затем жалюзи поворачивают в исходное положение, плотно закрывая камеру 8. Камера 8 соединена с камерой 6, в которую подаётся газ. Масса газа зависит от давления и времени открытия клапана 5. Газовоздушную смесь поджигают электрической искрой. Начинается быстрое горение газа, давление газа в камерах 6 и 8 резко возрастает; происходит импульсное уплотнение смеси. Максимальное давление газа над смесью в момент сгорания в описанной головке $0,45 \div 0,5$ МПа; время подъёма давления $0,005$ с.

В камере 6 установлен вентилятор 7, который перемешивает газовоздушную смесь и направляет её в импульсную головку. Частоту вращения вала вентилятора можно изменять, регулируя тем самым степень перемешивания газовоздушной смеси и равномерность её распределения по камерам 6 и 8. В результате изменяется интенсивность

роста давления, максимальное давление и, следовательно, плотность формы. Максимальная частота вращения вала вентилятора достигает 33 с^{-1} (1980 об/мин).

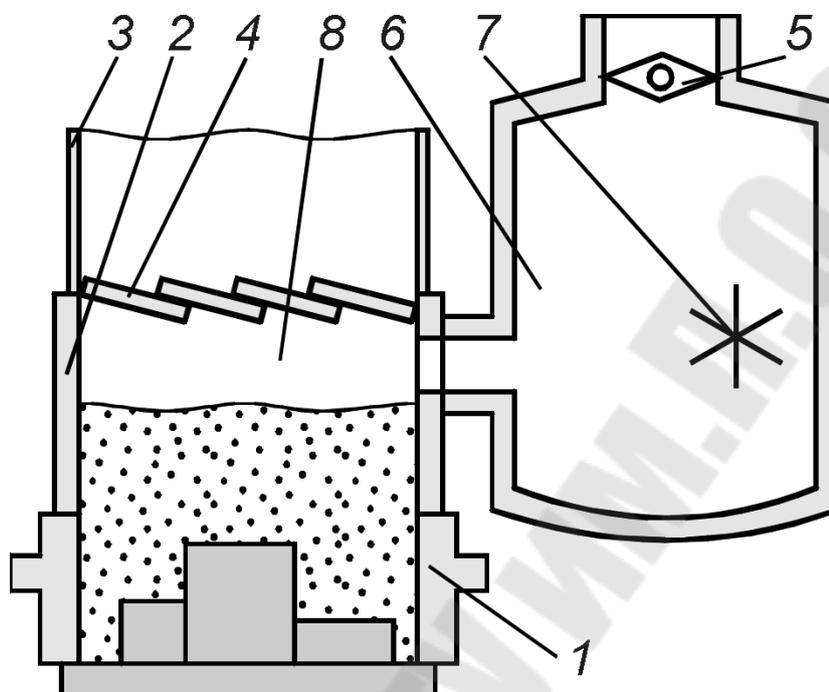


Рисунок 4.9 Газоимпульсная головка

Обычно в газоимпульсных установках используют пропан-бутановые смеси, ацетилен, смесь метана с воздухом и кислородом. Наибольшее распространение получила горючая смесь метана и сжатого воздуха. Для уплотнения одной полуформы требуется газ в объёме (при нормальном давлении), равном $20 \div 25 \%$ объёма полуформы, и сжатый воздух под давлением $0,2 \div 0,25 \text{ МПа}$ в количестве, равном $1,6 \div 2$ объёма полуформы. В качестве горючих веществ было также предложено использовать порох, бензин, дизельное топливо, угольную или древесную пыль. Резко повысить газовое давление можно, пропуская электрический ток через проводник, который при этом испаряется, или, создавая дуговой разряд между двумя электродами, к которым проводится ток высокого напряжения.

5 КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ

5.1 Предпосылки комбинированных методов уплотнения

Особо плотные формы, а значит, и отливки повышенной точности получают прессованием. Однако в большинстве случаев одним прессованием не удаётся получить высокую плотность всех частей формы. Лад высоких форм и объёмы смеси вокруг высоких моделей оказываются уплотнёнными недостаточно. Для того чтобы устранить этот недостаток и вместе с тем в полной мере использовать преимущества прессования, целесообразно применять комбинированное уплотнение, при котором предварительное уплотнение осуществляется одним из динамических методов, а окончательное – прессованием.

Комбинированный способ уплотнения будет эффективным, если распределение плотности сочетаемых способов дополняет друг друга.

При прессовании смесь уплотняется преимущественно в направлении движения прессового органа. Эта особенность процесса сохраняется и при подпрессовке, поэтому нужно выяснить, как должна распределяться плотность по сечениям формы до прессования, чтобы после подпрессовки получалась равномерно уплотнённая форма.

После предварительного уплотнения возможны два варианта распределения плотности: первый – все части формы уплотнены примерно одинаково; второй – смесь уплотнена неравномерно, степень неравномерности изменяется по определённому закону.

Рассмотрим первый вариант. Пусть после предварительного уплотнения плотность смеси во всех частях формы равна δ_n . Исследования И. Лемпицкого показали, что при подпрессовке формы по прямоугольной модели разность плотностей в столбах *A* (над моделью) и *B* (вокруг модели) определяется выражением

$$\delta_{кА} - \delta_{кВ} = (\delta_{кА} - \delta_n) \frac{H_M}{H}, \quad (5.1)$$

где $\delta_{кА}$ и $\delta_{кВ}$ – конечная плотность смеси после прессования в столбах соответственно над моделью и вокруг неё.

Отсюда следует, что неравномерность уплотнения ($\delta_{кА} - \delta_{кВ}$) уменьшается при увеличении начальной плотности δ_n . При $H_M/H = 0,7$, $\delta_{кА} = 1700 \text{ кг/м}^3$ и δ_n , равной 1000, 1200, 1400 и 1500 кг/м^3 плотность $\delta_{кВ}$ столба вокруг модели соответственно равняется 1210, 1350, 1450 и 1560 кг/м^3 .

Примерно одинаковая и достаточно высокая плотность получается при предварительном пескодувном уплотнении.

Рассмотрим второй вариант, когда начальная плотность смеси в столбах A и B ($\delta_{нА}$ и $\delta_{нВ}$) разная, а конечная (δ_k) одинаковая. Можно показать, что

$$\delta_{нВ} = \frac{\delta_k}{\left(1 - \frac{H_M}{H}\right) \frac{\delta_k}{\delta_{нА}} + \frac{H_M}{H}} \quad (5.2)$$

Таким образом, при заданных размерах формы и конечной её плотности технологически необходимое предварительное уплотнение столбов смеси B вокруг модели зависит от предварительной плотности смеси столба A над моделью. Например, при $H_M/H = 0,7$, $\delta_k = 1700 \text{ кг/м}^3$ и $\delta_{нА}$, равной 1000, 1100 и 1200 кг/м^3 , плотность $\delta_{нВ}$ должна быть соответственно равна 1405, 1460, 1511 кг/м^3 . Следовательно, для получения равномерной конечной плотности нет необходимости иметь высокую предварительную степень уплотнения, а достаточно получить заданное распределение плотности.

При встряхивании и импульсном процессе средняя плотность смеси данного столба зависит от его высоты, поэтому средняя плотность смеси в объёме над моделью всегда меньше, чем в объёме вокруг модели. Именно такое распределение является оптимальным для последующего прессования.

При прессовании слабее уплотняется кромка формы в месте сопряжения вертикальной стенки модели с модельной плитой, поэтому при предварительном уплотнении эти части формы должны быть уплотнены наиболее сильно.

Рассмотрим известные комбинированные методы уплотнения.

5.2 Встряхивание с допрессовкой

Встряхивание с допрессовкой – наиболее распространённый способ уплотнения формы. При низком давлении допрессовывается только верхний рыхлый слой формы. Давление допрессовки может достигать 0,7÷1 МПа. Машины с повышенным давлением допрессовки более экономичны, так как работа, затрачиваемая на уплотнение встряхиванием, больше работы, затрачиваемой на уплотнение прессованием. Поэтому целесообразно уменьшать число ударов машины и увеличивать давление допрессовки.

Допрессовку обычно применяют для опок размером в свету до 1500x1100 мм, так как для более крупных опок механизм допрессовки получается громоздким. Для крупных опок целесообразно применять зонную допрессовку, при которой верхние слои формы уплотняют переносным прессовым цилиндром. Цилиндр, подвешенный на перемещающейся мостовой траверсе, специальными захватами зацепляют за бурт опоки. На штоке цилиндра укреплен прессовая плита, длина которой равна ширине опоки, а ширина – части длины опоки. При подаче в цилиндр жидкости под давлением прессовая плита опускается и уплотняет участок формы, затем захваты разводят и цилиндр передвигают на следующую позицию, где операцию повторяют. Происходит последовательная допрессовка всей формы. На участках контрлада формы, примыкающих к прессовой плите, смесь не выдавливается.

5.3 Комбинированные импульсные методы уплотнения

Как было показано выше, при импульсном процессе контрлад формы всегда получается рыхлым. Плотность смеси в верхних слоях не превышает 1200 кг/м^3 , что недостаточно даже для верхней полуформы. В настоящее время существует три способа устранения этой рыхлоты: срезка рыхлого слоя; подпрессовка полуформы, повторное импульсное уплотнение формы после увлажнения контрлада (двухстадийное импульсное уплотнение).

Срезка рыхлого слоя – наиболее простой способ. Эту операцию можно осуществлять как на формовочной машине, так и при транспортировании полуформ. Толщина срезаемого слоя зависит от толщины рыхлого слоя, и при импульсном процессе высокого давления она не превышает 80 мм. Толщина рыхлого слоя в полуформах, полученных импульсным методом при низком давлении, составляет более 100 мм, поэтому применяют подпрессовку. Характер распределения плотности по сечениям формы после импульсного процесса наиболее благоприятен для последующего прессования. В этом отношении только встряхивание может сравниться с импульсным процессом.

При низком давлении подпрессовки плотность выравнивается по всему сечению. С ростом давления плотность на контрладе превышает плотность на ладе, однако плотность на ладе после подпрессовки превышает плотность смеси в той же части формы после одного импульсного уплотнения. Твёрдость на контрладе в последнем случае достигает $92 \div 95$ единиц, а на ладе в промежутке между моделью и стенкой опоки – $80 \div 85$ единиц.

Известны импульсно-прессовые машины для изготовления форм размером до 1400x1100x500/400 мм.

Для получения более крупных форм нужно использовать громоздкий прессовый механизм, поэтому такие формы целесообразно изготавливать двухстадийным импульсным способом. Суть способа состоит в том, что после первого импульсного уплотнения на контрлад формы из пульверизатора наносят жидкость. Жидкость, проникая в поры формовочной смеси, снижает газопроницаемость верхнего слоя формы. Затем в пространство над смесью снова подают порцию сжатого воздуха. Так как газопроницаемость верхнего слоя мала, то возникает резкий перепад давления по сечению этого слоя. Слой работает как диафрагма и уплотняет смесь, лежащую под ним. По данным С. Н. Казанцева, твёрдость нижних слоёв не изменяется, а твёрдость верхних слоёв увеличивается до 65 единиц. Таковую полуформу теперь можно использовать без срезки верхнего слоя или подпрессовки. Оптимальное количество воды 1,4÷1,6 л на 1 м² поверхности формы. Толщина слоя с пониженной газопроницаемостью составляет 3÷5 мм. Влажность смеси этого слоя достигает 10%, но уже на глубине 6÷8 мм она уменьшается до 4,5%. На более глубокие слои увлажнение влияния не оказывает. Для опрыскивания также применяли глинистые и бентонитные суспензии. Их использование не дало дополнительного эффекта, но работа пульверизатора стала менее надёжной.

5.4 Пескодувно-прессовый и пескодувно-импульсный методы

При изготовлении формы пескодувным методом её плотность недостаточна, поэтому всегда применяют допрессовку. Конечное распределение плотности определяется тремя параметрами: давлением дутья (давлением воздуха, подаваемого в пескодувный резервуар), давлением допрессовки и размерами модели. По данным Б. В. Еркина, при верхней допрессовке форм резко увеличивается плотность надмодельного столба смеси; плотность в верхней части этой зоны не зависит от высоты модели или давления дутья, а определяется только давлением допрессовки. При уменьшении высоты модели плотность в нижней части надмодельного столба уменьшается. Плотность смеси в около-модельных зонах изменяется от 2000 кг/м³ в верхней части формы до 1780 кг/м³ у модельной плиты (т. е. в 1,12 раза). Чем выше модель, тем ниже плотность около модельной плиты и тем меньше изменяется исходная картина распределения плотности. Ход прессования тем

больше, Чем ниже модель, выше давление подпрессовки и ниже давление дутья, т. е. Чем ниже исходная плотность.

При нижней допрессовке исходная картина распределения плотности изменяется резко, Чем при верхней. Наиболее уплотнённый слой формы располагается теперь в нижней части надмодельной зоны. Сильнее уплотняются нижние части формы, особенно прилегающие к стенкам опоки. Неравномерность уплотнения при нижней допрессовке уменьшается, однако наименьшую плотность и при этом методе имеют участки формы, прилегающие к вертикальной стенке модели.

Качество формы зависит от расположения вдувных отверстий относительно модели. При наиболее благоприятном расположении вдувных отверстий – по обе стороны от модели после надува плотность смеси в зоне над моделью ниже, Чем в верхней части зоны около модели. На производстве при смене модельных плит обычно не меняют надувную плиту, и вдувное отверстие может оказаться над моделью. В этом случае после первого этапа процесса столб над моделью будет уплотнён сильнее, Чем столб вокруг модели, что, в свою очередь, приведёт к тому, что после допрессовки смеси над моделью будут переуплотнена, а вокруг модели – недоуплотнена в значительно большей степени.

Исходная неравномерность формы при надуве смеси параллельно модельной плите больше, Чем при надуве перпендикулярно модельной плите. После допрессовки такой формы неравномерность ещё более увеличивается. Исходная неравномерность приближается к оптимальной при пескодувно-импульсном процессе, поэтому в форме, уплотнённой пескодувно-импульсно-прессовым методом, плотность смеси по сечениям распределена равномерно.

5.5 Сравнение методов уплотнения

Как было показано выше, уплотнение прессованием пригодно только для получения форм по относительно низким моделям. Более универсальны комбинированные методы уплотнения, в которых прессование завершает процесс изготовления формы. При давлении прессования $0,7 \div 1$ МПа получается плотная, практически не деформирующаяся при заливке металла форма, что обеспечивает получение точных отливок с хорошим качеством поверхности.

Долгие годы в качестве предварительного метода уплотнения использовали встряхивание. Однако встряхивающие машины малопроизводительны, и, что особенно важно, работают с большим шумом и

вибрацией. Именно поэтому на новых автоматических литейных линиях встряхивание уступает место новым методам уплотнения. В новых конструкторских разработках встряхивание применяют в основном для изготовления крупных форм.

В последнее время широко используют прессово-ударный метод уплотнения и встряхивание с последующим прессово-ударным уплотнением. Эти методы применяют на многих автоматических линиях. Методы позволяют увеличить производительность формовочных машин и автоматов; формы получаются более плотными. Однако работа прессово-ударного механизма также сопровождается шумом, вибрацией, динамическими нагрузками, хотя они и меньше, чем у встряхивающих машин. При использовании обоих методов требуется жёсткая и прочная оснастка, так как износ моделей увеличивается, форма всегда переуплотнена над моделью; степень переуплотнения зависит от высоты модели. Равномерное уплотнение получают только при высокой средней плотности формы. Методы непригодны для получения крупных форм.

Гравитационно-прессовый метод хотя и позволяет производить предварительное уплотнение без дополнительных затрат энергии (смесь в любом случае должна быть поднята на высоту 5÷7 м для заполнения бункеров), однако не обеспечивает получения высокой плотности форм с высокими моделями.

Скоростному прессованию также свойствен высокий уровень шума, возникающий при ударе плиты о смесь. Однако выравнивание плотности по горизонтальному сечению формы затруднено, поэтому при уплотнении формы по высоким моделям необходимо использовать профильные ударные плиты, что ограничивает область применения метода в массовом производстве.

Импульсный процесс наиболее универсален. Время уплотнения не превышает 0,1 с. При этом методе хорошо уплотняются узкие промежутки, как между моделями, так и между моделями и стенками опоки. Процесс пригоден для изготовления мелких и крупных форм, как по металлическим, так и по деревянным моделям. Импульсный процесс выгодно отличается от других процессов уплотнения тем, что он осуществляется с помощью предельно простого механизма уплотнения, имеющего минимальное число движущихся частей (клапан или вентилятор). При работе импульсных машин отсутствуют удары и вибрация, а уровень шума существенно ниже, чем при работе других машин.

Для изготовления мелких и средних форм (размером до 1500x1000 мм) целесообразно использовать импульсно-прессовый метод уплотнения при малом давлении воздуха в ресивере (0,7 МПа). При подпрессовке не только уплотняется контрлад формы, но стабилизируется плотность смеси во всём объёме формы, повышается плотность над верхними углами модели, уплотнённая смесь сильнее сцепляется с опокой, что имеет существенное значение для форм, изготавливаемых на автоматических линиях. Уровень шума зависит от системы отвода воздуха из формы. Обычно верхний предел уровня шума не превышает 85 дБ, однако при хорошей системе отвода воздуха он ниже. Импульсное уплотнение с последующей срезкой рыхлого слоя следует применять для опок с размером более 1500x1000 мм, так как создание прессовых механизмов для таких опок затруднено.

Специальные исследования показали, что одинаковые результаты могут быть получены как при применении пневмоимпульсных установок высокого давления, так и при использовании установок низкого (сетевого) давления, но оснащённых быстродействующими клапанами. Установки второго типа более перспективны, так как при их эксплуатации не нужно дооснащать цех специальными компрессорами и создавать дополнительную воздушную сеть.

Пескодувно-прессовый метод уплотнения широко применяют на современных автоматических линиях изготовления безопочных форм. Процесс транспортирования смеси потоком сжатого воздуха связан с большим расходом воздуха и по экономичности не идёт в сравнение с процессом заполнения опоки (камеры) смесью под действием силы тяжести. Поэтому пескодувный (пескострельный) процесс целесообразно использовать лишь в случаях, когда обычная засыпка смеси не даёт нужного эффекта, например, когда требуется заполнить объёмы, не лежащие под впускным окном (отверстием). Это, прежде всего, относится к формам, в которых модельные плиты при подаче смеси расположены вертикально, и к стержневым ящикам. При изготовлении формы пескодувным способом время заполнения опоки смесью ненамного меньше времени засыпки опоки из расположенного сверху дозатора (соответственно 0,1 и 0,3 с). Пескодувный метод заполнения опок целесообразно использовать и в тех случаях, когда расположение питающего устройства сбоку от опоки позволит упростить конструкцию машины.

Формовка пескомётом, имеющим ковши обычной ширины, даёт возможность получать качественные формы с достаточно высокой

плотностью смеси. Однако качество формы во многом зависит от квалификации оператора. Такой пескомёт не может обеспечить высокую производительность. Так, пескомётом, выдающим 25 м^3 смеси (по уплотнённому объёму) в час, при непрерывной работе можно уплотнить 100 полуформ размером $1000 \times 800 \times 300$ мм и 10 полуформ размером $3000 \times 1500 \times 500$ мм. Поэтому пескомёты целесообразно использовать в тех цехах, в формовочных отделениях которых невозможно организовать стабильные технологические потоки, т. е. там, где нельзя использовать опоки постоянного размера, или в цехах крупного литья при формовке в почве или для изготовления особо крупных опочных форм. Однако в последнем случае всё чаще используют отверждаемые формы из ХТС, которые уплотняются на вибростолах.

Ширококовшовые пескомёты имеют высокую производительность (до $150 \text{ м}^3/\text{ч}$). Их можно применять на автоматических линиях для изготовления форм постоянного размера. К недостаткам таких пескомётов следует отнести повышенный износ модели, разброс твёрдости, износ ковшей и сменных дуг.

Анализируя методы формообразования, в основном оценивают качество формы, степень универсальности процесса и условия работы на машине. Однако при разработке автоматических линий последний фактор не играет существенной роли. Не оказывает влияния на выбор процесса и степень универсальности в том случае, если линия предназначена для получения одного – двух видов отливок в массовом производстве. Главный фактор при разработке таких линий – возможность создания автомата с минимальным числом механизмов, в том числе уплотняющих. Разумеется, выбирать следует методы, обеспечивающие хорошее качество формы.

В заключение приведём данные об удельном расходе свободного воздуха (на 1 м^3 объёма полуформы) для формовочных автоматов (машин) различных типов, $\text{м}^3/\text{м}^3$: 7,7 для прессового ($p_{\text{пр}} = 1 \text{ МПа}$); $14,8 \div 22,2$ для прессово-рычажного; $3,5 \div 6,18$ для встряхивающего; 8,6 для прессово-ударного; $15,4 \div 35,4$ для пескострельно-прессового; $10 \div 16$ для пневмоимпульсного с давлением в ресивере $8 \div 10 \text{ МПа}$; $12 \div 14$ для пневмоимпульсного с давлением в ресивере $0,7 \text{ МПа}$. Расчёт произведён по паспортным данным автоматов (машин), изготавливающих формы размером от 900×700 до 1000×800 мм. У пескострельно-прессовых автоматов не учтён расход воздуха на подпрессовку.

6 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСЕЙ

6.1 Технология обработки формовочных материалов

Количество формовочных и стержневых смесей, потребляемых для изготовления литейных форм и стержней, колеблется от 3 до 10 тонн, а в среднем равняется $5 \div 6$ тоннам на 1 тонну годного литья, в зависимости от конфигурации отливок и толщины их стенок. Это составляет около 50% всех грузопотоков литейного цеха. Поэтому механизация приготовления и транспорта смесей имеет важное экономическое, а также и технологическое значение для качества и однородности смесей.

В общем случае формовочная смесь состоит из оборотной, отработанной, т. е. выбитой из опок формовочной смеси и освежающих добавок, к которым относятся свежий песок, глина и специальные добавки. Как отработанная смесь, так и свежие добавки должны быть предварительно обработаны, или подготовлены, прежде чем поступить в основной смешивающий аппарат.

Свежие пески просеивают с целью отделения от них посторонних тел, попавших в песок при добыче и транспортировании. Это просеивание не имеет характера отсева на фракции, а является лишь контрольным, и производится через одно сито, имеющее достаточно крупные ячейки ($3 \div 5$ мм и крупнее).

В обычной практике около 50% кварцевых песков поступают в литейные цехи достаточно сухими и хорошо проходят через сито без предварительной сушки, а остальные 50% могут иметь значительную влажность, и их приходится предварительно сушить. Глинистые (тощие, полужирные и жирные) пески перед просеиванием сушат всё, так как иначе они плохо проходят через сито.

Глинистые пески при сушке слипаются в комья, которые при просеивании попадают в отсев. Поэтому просеивание таких песков следует комбинировать с раздавливанием комьев. Отсев из сита попадает в разминающий аппарат, а из него вновь передаётся на сито.

Каменный уголь применяют как специальную углеродистую противопригарную добавку в формовочных смесях для чугунного литья без сушки форм. Его вводят в смесь чаще всего в порошкообразном, тонко размельчённом виде. Глину в формовочные смеси также вводят большей частью в сухом размельчённом состоянии. При этом размельчение глины, как и угля, осуществляют в две ступени – сначала грубое размельчение (дробление), а затем тонкое размельчение (размол). Для

дробления и размола угля и глины в литейных цехах часто применяют одно и то же оборудование.

Глину до размола подвергают сушке. Так как сырая глина нередко бывает в крупных кусках, то перед сушилом её пропускают через зубчатые валки.

Уголь сушить нельзя, так как при этом из него будут удаляться летучие вещества, и он обесценится как противопригарная добавка. Поэтому для улучшения размельчения угля (и глины) мельницы часто оборудуют циркуляцией тёплого воздуха с целью подсушки в процессе размельчения.

Отработанная смесь, выбитая из сырых литейных форм на выбивной решётке, рассыпается при прохождении через щели выбивной решётки и не нуждается в предварительном раздавливании комьев. При выбивке же сухих форм отработанную смесь после выбивной решётки следует предварительно пропускать через валки для разрушения комьев.

Приготовление отработанной формовочной смеси заключается в отделении от неё металлических частиц – застывших брызг металла, каркасов стержней и т. п. и в последующем просеивании через сито с ячейками $6 \div 12$ мм. Это просеивание, как и для свежих песков, имеет целью лишь отделение от отработанной смеси крупных инородных включений, например, кусков стержней.

В условиях поточного, конвейерного производства отработанная формовочная смесь не успевает остывать и приходит в смесеприготовительное отделение с выбивной решётки со средней температурой $80 \div 120$ °С, в зависимости от соотношения масс металла и формы. Рабочая формовочная смесь, приготовленная на горячей отработанной смеси, получается, также горячей, и изготовленные из неё формы дают повышенный брак в отливках по засорам вследствие осыпания кромок. Поэтому в современных литейных цехах смесеприготовительные системы для автоматических и поточных линий имеют в качестве обязательного звена установку для охлаждения отработанной смеси. Работа таких установок обычно основана на принципе испарительного охлаждения. Горячая отработанная смесь в ней предварительно увлажняется и гомогенизируется, а затем интенсивно продувается воздухом. Вследствие испарения воды при продувке смеси (за счёт скрытой теплоты парообразования) смесь быстро охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающей среды.

Очищенная от металла, просеянная и охлажденная отработанная смесь является подготовленной и направляется в смеситель, куда также подаются освежающие добавки – песок, глина или бентонит, углеродистые или другие специальные добавки, а также вода для увлажнения.

6.2 Состав смесеприготовительных систем

Механизация и автоматизация приготовления и транспортировки формовочных и стержневых смесей имеет первостепенное экономическое значение. Кроме того, механизация и автоматизация приготовления формовочных материалов и смесей улучшает санитарно-гигиенические условия труда и обеспечивает необходимое высокое качество смесей.

Смесеприготовительные системы включают в себя:

а) оборудование для предварительной обработки отработанной формовочной смеси (дробилки для раздавливания комьев, магнитные сепараторы для извлечения металла, сита для грубого и тонкого просеивания, оборудование для принудительного охлаждения и удаления из смеси пыли);

б) группы бункеров, располагающихся над смесителями (для отработанной смеси, сухого и сырого песка, различных добавок);

в) дозаторы или питатели сухих и жидких компонентов (весовые или объёмные);

г) смесители непрерывного или периодического действия;

д) систему транспортных машин для подачи исходных материалов и раздачи готовой смеси (ленточные конвейеры, элеваторы, пневмотранспорт);

ё) аэраторы или дезинтеграторы в системе раздачи смеси.

Как правило, всё эти машины объединены в автоматизированные блоки, которые между собой также связаны в единую автоматизированную систему.

В современных литейных цехах массового производства, где установлены автоматические формовочные линии, каждая такая линия имеет свою полностью автоматизированную смесеприготовительную установку. Такая установка, как правило, имеет два-три смесителя (один из них резервный).

В цехах с поточно-механизированным производством с большим потреблением одинаковых по составу смесей строят центральное единое смесеприготовительное отделение. При организации центральных смесеприготовительных отделений учитывают влияние

смешивания отработанных смесей на качество выпускаемых отливок в данном цехе.

В цехах мелкосерийного производства с различной номенклатурой по маркам металла целесообразно иметь местные автоматические или полуавтоматические смесеприготовительные установки.

Центральные смесеприготовительные системы (или группы установок) обычно располагают рядом с формовочным отделением, но изолированно от неё. Расположение смесеприготовительных участков ближе к местам потребления сокращает путь готовой смеси при транспортировании её в насыпном состоянии и уменьшает степень её высыхания. Изоляция глухими стенами защищает соседние отделения от шума и пыли.

6.3 Физические основы смешивания и классификация смесителей

Технологические свойства формовочных смесей зависят от равномерности распределения связующих материалов и технологических добавок по объёму, а также от того, насколько равномерно покрыты зёрна песка оболочкой связующего. Чем равномернее распределены составляющие смеси по её объёму, тем более высокими технологическими свойствами будет обладать смесь. Равномерность распределения составляющих смеси и создание оболочек связующего вокруг зёрен песка достигаются в процессе смешивания.

Процесс смешивания формовочных материалов условно можно разделить на два этапа: 1) смешивание составляющих смеси, 2) обволакивание зёрен песка связующим материалом.

В процессе смешивания механизм смесителя создаёт в объёме смеси организованный поток составляющих. Внутри этого потока отдельные частицы, соударяясь, движутся беспорядочно. В процессе такого движения отдельные составляющие смеси распределяются между собой более или менее равномерно в зависимости от времени смешивания, конструкции смесителя, скорости их движения и т. д.

В смешивающих бегунах происходит уплотнение смеси под катками и последующее разрушение уплотнённых слоёв. Это сопровождается перемещением смешиваемых объёмов относительно друг друга, что обеспечивает обволакивание зёрен песка глиной.

Основным оборудованием для приготовления формовочной смеси в каждой смесеприготовительной установке является смеситель.

По характеру работы смесители подразделяются на: смесители периодического действия и смесители непрерывного действия. В смесителях периодического действия материал перемешивается отдельными порциями (замесами). Каждая новая порция может быть загружена в смеситель лишь после выгрузки из него предыдущего замеса. В смесителях непрерывного действия загрузка, перемешивание и выгрузка готовой смеси ведутся одновременно и непрерывно. Машины этого типа более производительны и экономичны по сравнению со смесителями периодического действия. Смесители непрерывного действия наиболее полно отвечают требованиям полной автоматизации процесса.

По конструктивным признакам различают катковые, центробежные (маятниковые), лопастные и барабанные смесители. В литейных цехах наиболее распространены катковые и центробежные смесители.

6.4 Катковые смесители (бегуны)

Катковые смесители (бегуны) имеют неподвижную чашу 1 (рис. 38) и два гладких катка 2 (посаженные на оси 4), которые катятся по слою смешиваемого материала вокруг центрального вертикального вала 3. При помощи плужков 5 и 6 смешиваемый материал направляется под катки. Катки смонтированы на кривошипах таким образом, что при попадании под них случайных твёрдых предметов могут приподниматься и пропускать последние.

Между катками и днищем чаши имеется регулируемый зазор Δ (до 25 мм), который предотвращает дробление катками песчаных зёрен смеси. Готовый замес выгружается из смесителя через люк 7 в днище чаши. Загрузка исходных материалов и выгрузка смеси осуществляется периодически.

В зарубежной практике распространены катковые смесители с резиновыми катками с пневматической камерой (наподобие автомобильного колёса). Днище и борта чаши также облицовываются резиновыми пластинами. Такое исполнение даёт хорошее качество смешивания в результате большего коэффициента трения между резиной и компонентами смеси и обеспечивает высокую производительность смесителей. Срок службы таких катков и чаши больше, чем катков в обычном металлическом исполнении.

Катковые смесители непрерывного действия (рис. 39), состоят из двух смежных чаш 1 и 2, имеющих проём в месте сопряжения. Механизмы смешивания в чашах синхронно вращаются в противоположные

стороны, перемешивая материалы и передавая их из одной чаши в другую. Составляющие смесь материалы подаются непрерывно в правую чашу, где вращающиеся скрёпки 3 подхватывают загруженный материал и перемещают его к каткам 4 и далее к боковой поверхности чаши плужками 5.

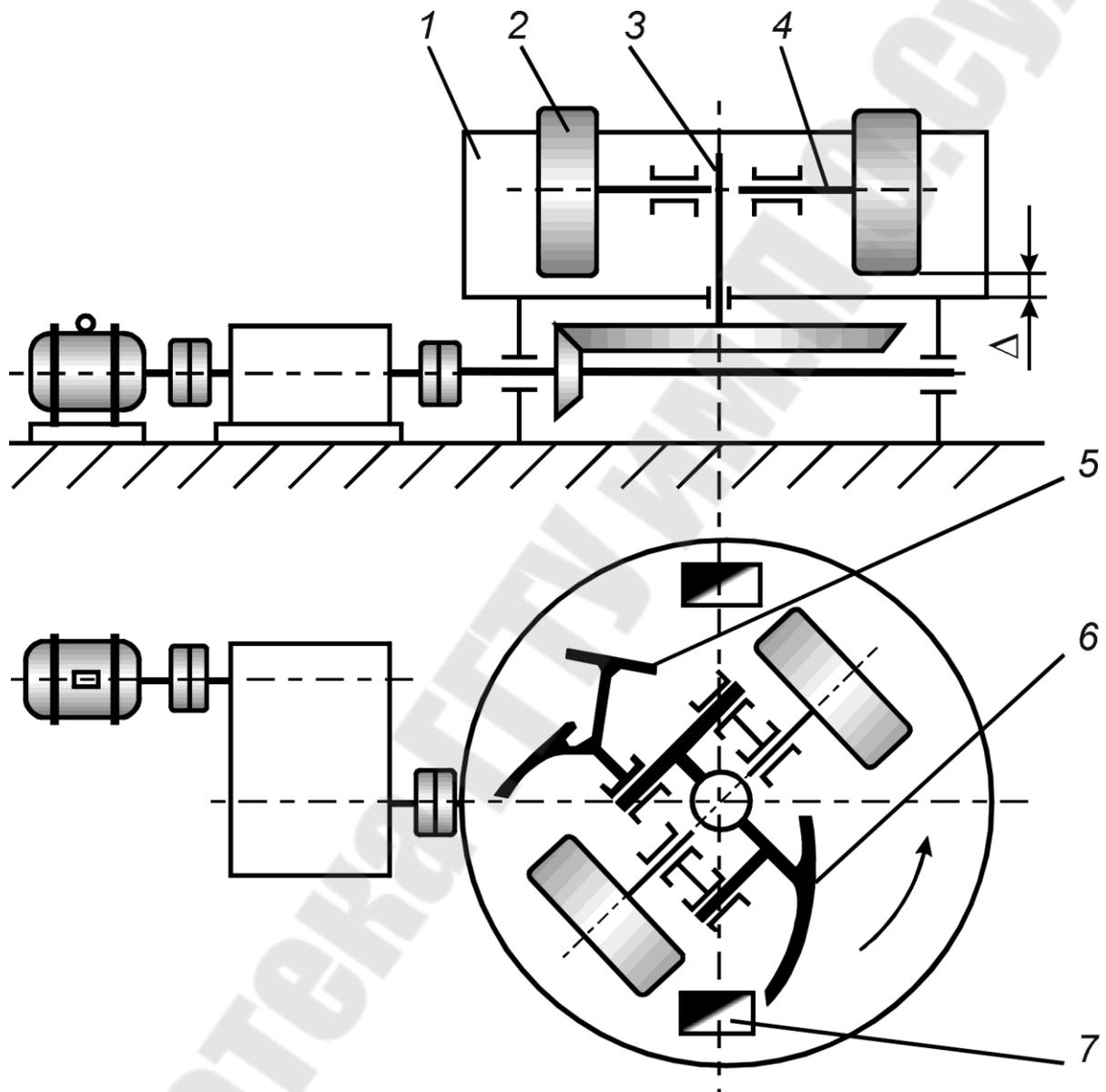


Рисунок 6.1 Схема смесителей с вертикальными катками

Под действием центробежных сил в месте сопряжения обеих чаш смесь переносится в левую чашу смесителя, а затем возвращается в правую и т. д. Однако из левой чаши в правую смесь возвращается в несколько меньшем количестве. Часть смеси за каждый оборот смешивающего механизма выдаётся через постоянно открытый люк в днище чаши. Бегуны работают с периодической и непрерывной загрузкой.

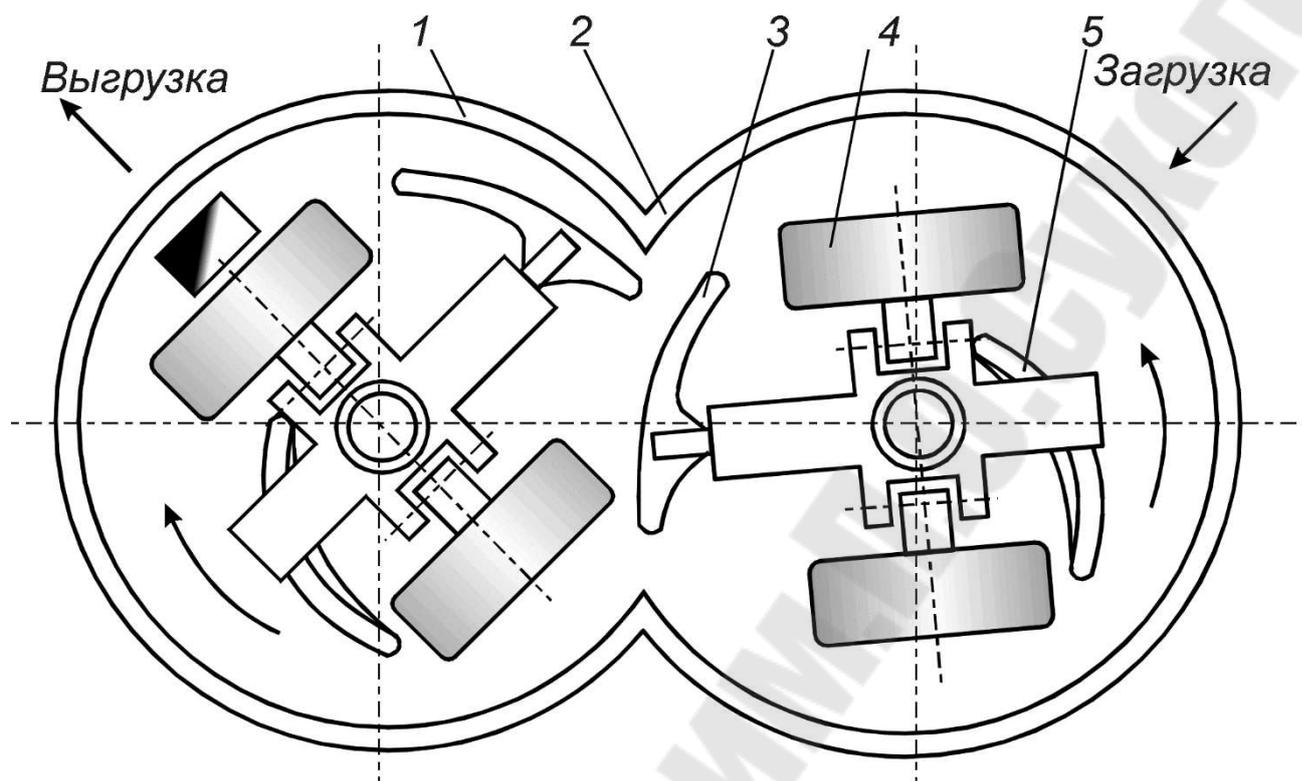


Рисунок 6.2 Катковые смесители непрерывного действия

6.5 Основы теории работы катковых смесителей

Из расчётной схемы каткового смесителя (рис. 6.3) видно, что перекачивание катка по слою смеси, расположенному на днище смесителя, возможно при определённом соотношении его диаметра D_k и высоты слоя смеси h_2 : при малом значении h_2 будет низка производительность бегунов, а при очень большом значении h_2 каток будет сдвигать смесь перед собой, не перекачиваясь через неё. Сила трения между катком и смесью также влияет на параметры D_k и h_2 . Связь между параметрами определяется из рассмотрения сил, действующих на границе каток – смесь.

В точке A действуют две основные силы: сила нормального давления катка на смесь N , направленная по радиусу, и перпендикулярная ей сила трения T между катком и смесью, определяемая соотношением

$$T = fN, \quad (6.1)$$

где f – коэффициент трения между катком и смесью; $f = 0,6 \div 0,7$. Разложим по правилу параллелограмма силы N и T на вертикальные и горизонтальные составляющие. Из полученных прямоугольных треугольников будем иметь

$$\begin{cases} N_{\Gamma} = N \sin \alpha, \\ T_{\Gamma} = T \cos \alpha, \end{cases} \quad (6.2)$$

где N_{Γ} – горизонтальная составляющая силы нормального давления;

α – угол захвата;

T_{Γ} – горизонтальная составляющая силы трения.

Каток будет захватывать смесь и перекатываться по ней только в том случае, когда

$$T_{\Gamma} \geq N_{\Gamma}. \quad (6.3)$$

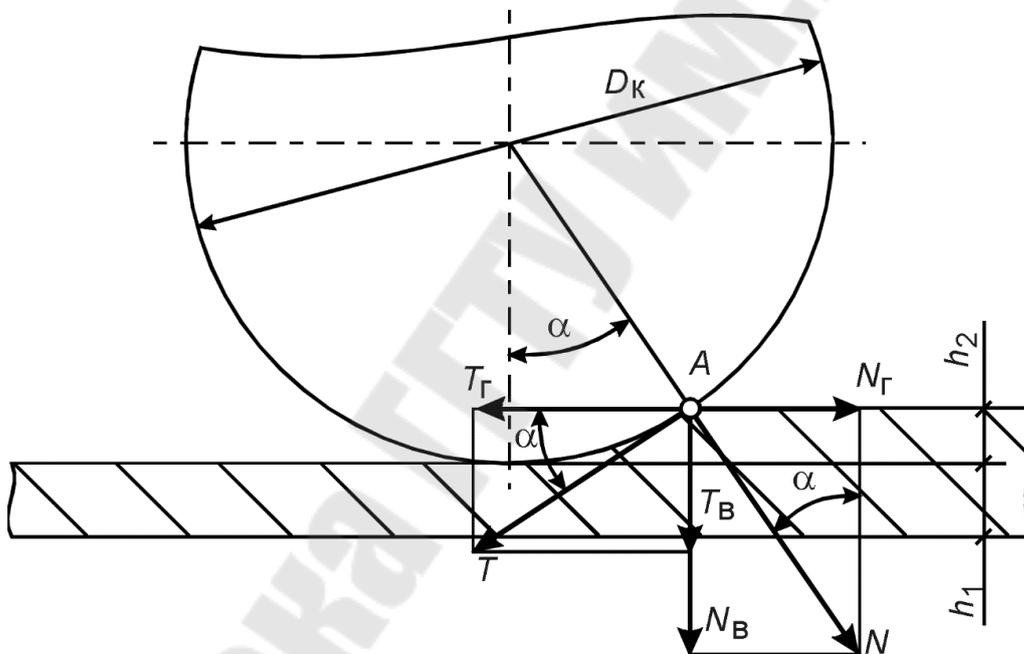


Рисунок 6.3 Расчётная схема каткового смесителя

Выполнив условие (90) путём подстановки значения T_{Γ} , N_{Γ} и T получим, что

$$f \geq \operatorname{tg} \alpha. \quad (6.4)$$

Зная угол α , путём простого геометрического построения легко найдём высоту слоя h_2 :

$$h_2 \leq (1 - \cos \alpha) \frac{D_k}{2}, \quad (6.5)$$

откуда

$$D_k \geq \frac{2h_2}{1 - \cos \alpha}. \quad (6.6)$$

При коэффициенте трения равном 0,7, получим $\alpha < 35^\circ$. Тогда $D_k \geq 11h_2$.

Толщина слоя h_1 , обычно равняется 20÷25 мм.

Мощность привода смесеприготовительных машин зависит от массы замеса и свойств смеси. Влияют на мощность и конструктивные параметры. К ним следует отнести площадь чаши, расположение и число плужков, размеры катков и место их установки, частоту вращения вертикального вала. Мощность привода катковых смесителей (бегунов) обычно выражается зависимостью

$$N = N_{\text{хх}} + (N_{\text{пл}} + N_{\text{кач}} + N_{\text{ск}}) \frac{1}{1 - \beta_{\text{пот}}}, \quad (6.7)$$

где $N_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода, кВт;

$N_{\text{пл}}$ – мощность, необходимая для перемещения плужков, кВт;

$N_{\text{кач}}$ – мощность, необходимая для качения катков по смеси;

$N_{\text{ск}}$ – мощность, необходимая для преодоления трения скольжения катков по смеси, кВт;

$\beta_{\text{пот}}$ – коэффициент дополнительных потерь.

Мощность холостого хода определяется коэффициентом полезного действия электродвигателя и потерями на трение в механизмах машины. Для серийно выпускаемых бегунов она составляет в среднем 2,5÷3 кВт; мощность, необходимая для перемещения плужков, достигает 3÷4 кВт; мощность на преодоление скольжения – 1,5÷3,0 кВт. Коэффициент дополнительных потерь составляет 0,03÷0,05. Это потери в подшипниках катков и кривошипов, которые при холостом ходе не вращаются относительно осей кривошипа.

Частота вращения вертикального вала катковых смесителей составляет 0,25÷0,5 с⁻¹ (15÷30 об/мин).

6.6 Центробежные смесители

Центробежные смесители (рис. 41) имеют неподвижную чашу 1, ротор 2, закреплённый на вертикальном приводном валу 3. На ободе ротора 2 под разными углами к горизонту установлены рабочие плужки 4, а на кривошипных валах 6 – катки 5 с вертикальной осью вращения. Цилиндрическая поверхность катков и внутренние стенки чаши облицованы резиной 7. При вращении ротора катки отклоняются под действием центробежной силы к борту чаши. Зазор между катками и чашей регулируется эксцентриками 8. По мере износа резинового обода катков и облицовки чаши производится соответствующий поворот эксцентриков для обеспечения требуемой величины зазора.

В случае попадания в перемешиваемую смесь твёрдых комьев каток отжимается к центру ротора, пропуская комья между ободом катка и бортом чаши. Компоненты смеси, загружаемые в бегуны, попадают на вращающийся ротор и сбрасываются центробежной силой в кольцевое пространство между ротором и бортом чаши. Рабочие плужки поднимают смесь со дна чаши и отбрасывают её к резиновой поверхности борта, под катки, которые перекатываются по ней. Смеситель продувается воздухом от вентилятора, что способствует охлаждению и обеспыливанию смеси. Выгрузка готовой смеси осуществляется через открывающийся люк 9 в днище чаши. Продолжительность перемешивания составляет 1÷3 мин.

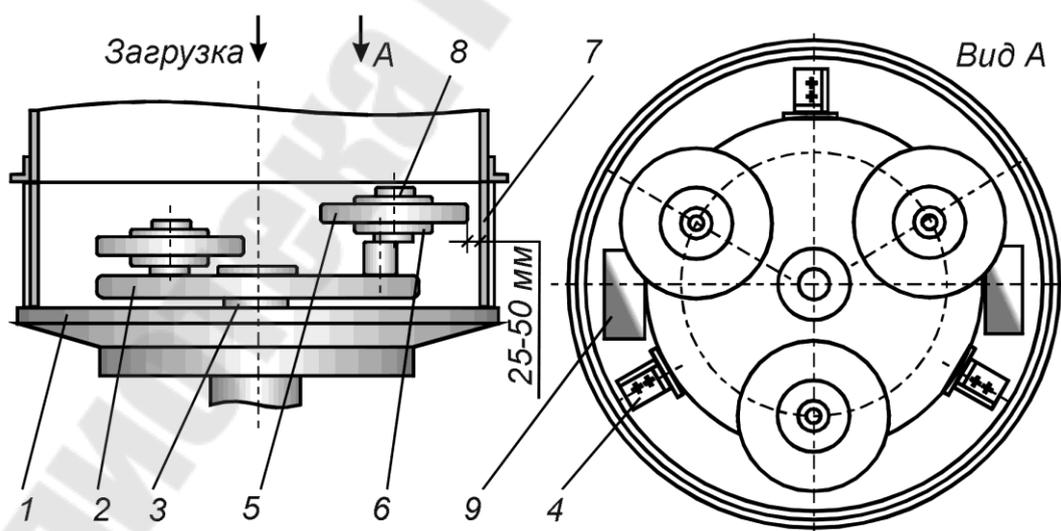


Рисунок 6.4

Рис. 41. Устройство центробежных смесителей непрерывного действия

Мощность привода центробежных смесителей (в кВт) определяется зависимостью

$$N = N_{\text{хх}} + \frac{k\xi n^2 Mg}{1 - \beta_{\text{кат}} - \beta_{\text{пот}}}, \quad (6.8)$$

где $N_{\text{хх}}$ – мощность холостого хода (для серийно выпускаемых центробежных смесителей 6÷8 кВт);

k – коэффициент, учитывающий свойства смеси; $k = 2,5 \div 3$ с/м³;

ξ – геометрический параметр плужков, м⁴; $\xi = (6,3) \cdot 10^{-2}$ м⁴;

n – частота вращения вертикального вала, с⁻¹;

M – масса замеса, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\beta_{\text{кат}}$ – коэффициент относительной мощности катков; $\beta_{\text{кат}} = 0,1 \div 0,2$;

$\beta_{\text{пот}}$ – коэффициент дополнительных потерь; $\beta_{\text{пот}} = 0,03 \div 0,05$.

Частота вращения ротора маятниковых смесителей составляет 0,9÷1,3 с⁻¹ (50÷80 об/мин).

Представляют интерес автоматизированные центробежные смесители периодического действия ещё одной конструкции (рис. 42).

Характерной особенностью этих смесителей является расположение катков 1 на одном горизонтальном уровне и применение больших одинаковых скребков 2, причём верхние поверхности ротора 3 и катков 1 выполнены в виде конусов. Эти особенности повышают надёжность смесителей и увеличивают их производительность на единицу мощности.

При вращении ротора жёстко связанные с ним плужки направляют поток смеси на боковую поверхность чаши под катки. Под действием центробежных сил и давления катков происходит интенсивное перемешивание смеси. Зазор между катками и боковой поверхностью чаши регулируется: Чем он меньше, тем интенсивнее разрыхление комьев. Дно чаши облицовано стальными сменными пластинами 5, а боковая поверхность чаши и катки покрыты резиной 4. Резиновое покрытие исключает дробление зёрен смеси и её скольжение относительно стенок чаши, улучшая процесс перемешивания. На рабочей

поверхности плужков наплавлен карбид вольфрама, что обеспечивает их высокую износостойкость. Зазор между плужками и дном чаши $1 \div 1,5$ мм.

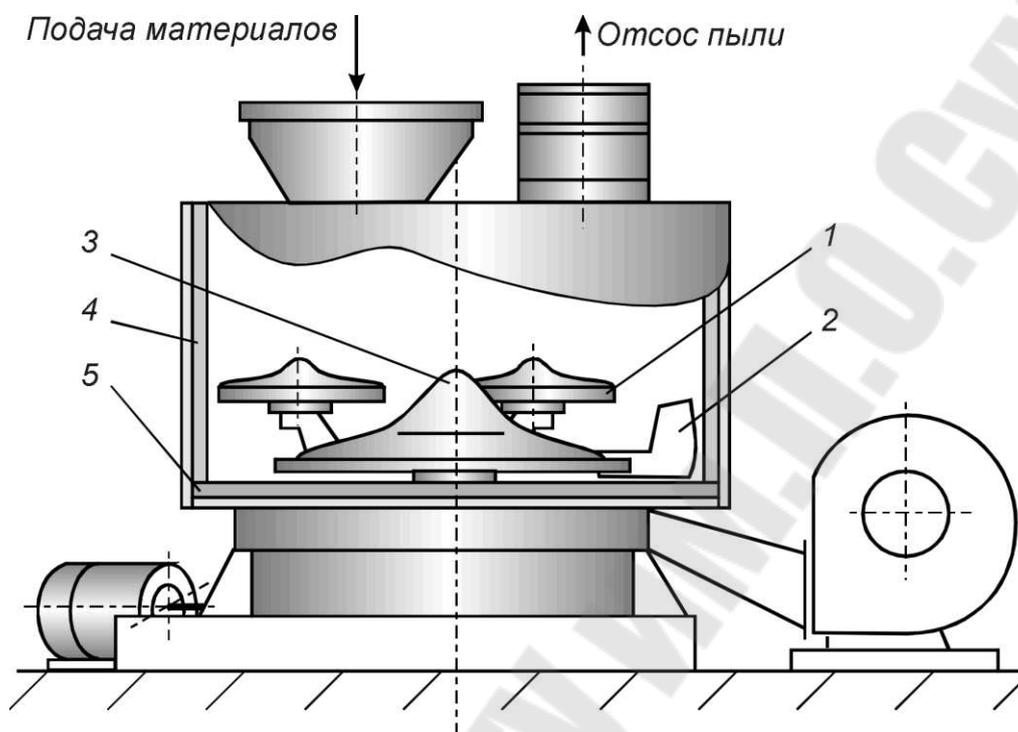


Рисунок 6.5 Устройство центробежных смесителей периодического действия

В процессе перемешивания смесь находится в аэрированном состоянии, что способствует её обеспыливанию и охлаждению. Для продувки воздухом смеситель снабжён нагнетательным и отсасывающим вентиляторами.

В начале процесса смешивания (до ввода основной воды и сухих добавок) осуществляется малая продувка, при которой производится обеспыливание исходных компонентов. Затем после подачи воды осуществляется большая продувка с целью охлаждения смеси и аэрации её. Чаша смесителя герметично закрыта и в процессе перемешивания в ней поддерживается пониженное давление.

Эти смесители надёжны и эксплуатации. Производительность составляет $100 \div 130$ т/ч; длительность цикла перемешивания $1 \div 2$ минуты.

6.7 Лопастные и барабанные смесители

Лопастные и барабанные смесители имеют ограниченное применение в литейном производстве, поэтому ограничимся лишь кратким описанием.

Рабочим органом лопастных смесителей является шнек, образованный лопатками, закреплёнными на горизонтальном валу. Иногда используют два параллельных вала. Валы располагаются в жёлобе. Перемешивание осуществляется вследствие перемещения компонентов в осевом, радиальном и тангенциальном направлениях.

Барабанные смесители представляют собой горизонтальный или наклонный барабан, на внутренней поверхности которого вдоль образующей закреплены лопатки. При вращении барабана смесь переваливается лопатками.

6.8 Разрыхлители и дезинтеграторы

Формовочная смесь из бункеров-отстойников или непосредственно из смесеприготовительного отделения системой ленточных конвейеров подаётся в бункеры формовочных машин. В системе транспорта смеси на этом участке устанавливают разрыхлители с целью улучшения её формуемости.

Разрыхлители бывают стационарные и передвижные. Наибольшее распространение получили стационарные, к ним относятся лопастные разрыхлители (аэраторы) и дисковые (дезинтеграторы).

Типовой лопастной разрыхлитель представлен на рис. 6.6.

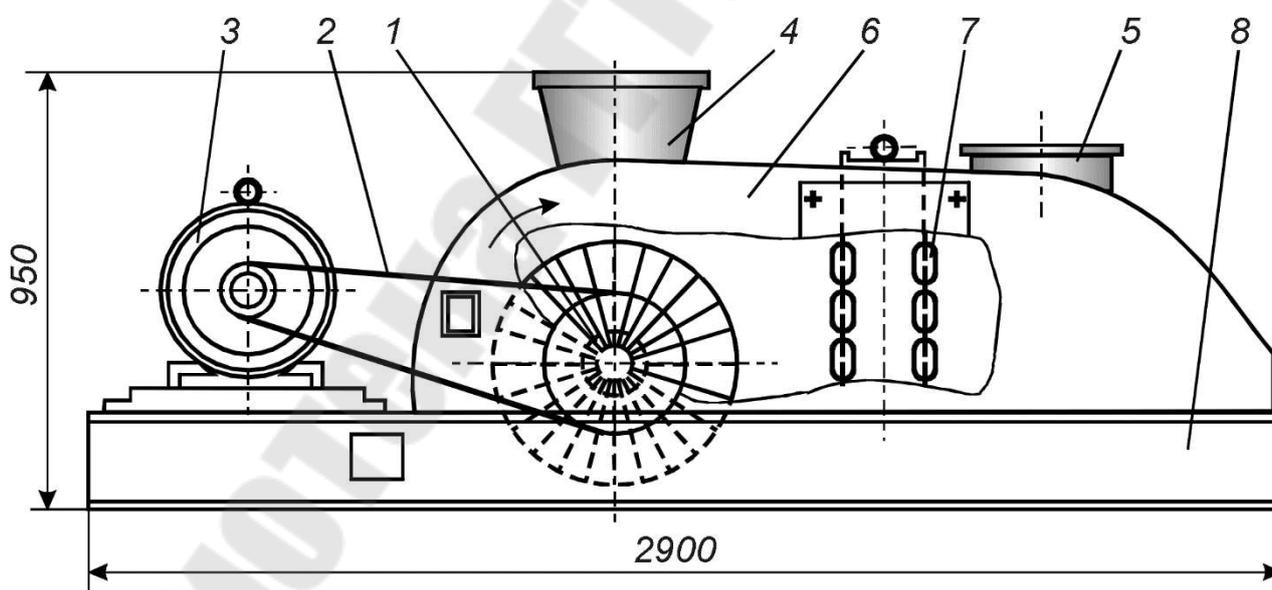


Рисунок 6.6 Лопастной разрыхлитель

Основанием машины служит сварная рама 8, на которой установлены подшипники вала ротора 1 и электродвигатель 3, передающий вращение через клиноремённую передачу 2. На роторе 1 смонтировано шестнадцать пар державок, на каждой из которых закреплена сменная

лопатка. В средней части сварного защитного кожуха 6 свободно подвешены в два ряда цепи 7. Кожух имеет в верхней части загрузочную воронку 4 с двумя заслонками для регулирования потока смеси и вентиляционный патрубок 5 для отсоса пыли.

В кожухе имеются люки для доступа в рабочее пространство машины. Через один люк производится смена изношенных лопаток, а через второй – очистка внутренних стенок кожуха. Осмотр цепных подвесок производится через боковые люки, закрытые щитками.

Люки заблокированы конечными выключателями таким образом, что при открывании их выключается электродвигатель привода ротора.

Подача смеси производится равномерно и только во время работы машины. Из воронки смесь попадает на быстро вращающиеся лопатки, которыми она с силой отбрасывается на цепи 7. Ударяясь о цепи, комья смеси дробятся. Разрыхлённая масса падает вниз на конвейер и выносится из-под разрыхлителя.

Производительность лопастного разрыхлителя 50 м³/ч.

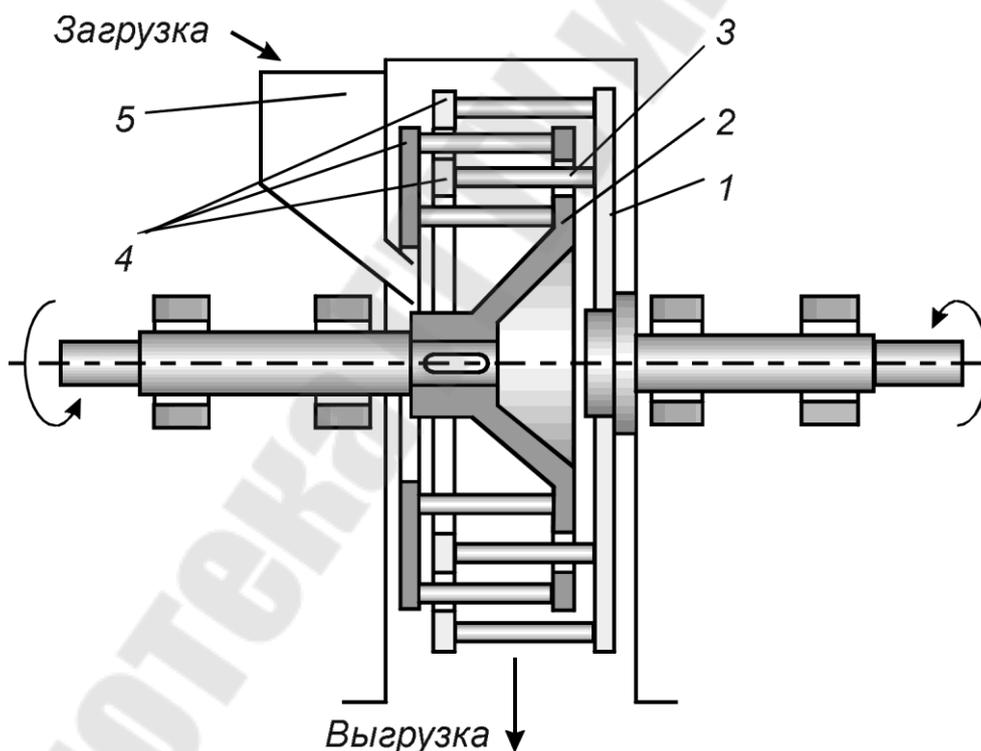


Рисунок 6.7. Устройство дезинтегратора

Дезинтеграторы или дисковые разрыхлители (рис. 44) состоят из двух вращающихся навстречу друг другу дисков 1 и 2, на которых укреплены пальцы 3. Привод дисков индивидуальный, а приводные валы могут располагаться либо с одной стороны установки, либо с двух сторон, как это показано на рис. 2.36. Пальцы каждого ряда для

увеличения жёсткости соединены между собой кольцами 4. Материал для помола подаётся через воронку 5 в центральную часть установки.

При падении на пальцы внутреннего ряда комья смеси под действием удара разбиваются и падают вниз на последующие ряды пальцев. В результате многократных ударов смесь разрыхляется, просыпается вниз, обычно на конвейерную ленту.

7 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СВЕЖИХ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

7.1 .Оборудование для сушки и охлаждения песка и для сушки глины

7.1.1 Одноходовое горизонтальное барабанное сушило

Одноходовое горизонтальное барабанное сушило для сушки песка и глины (рис. 7.1) состоит из топки 1, загрузочной воронки 2, барабана 6, механизма вращения печи, смонтированного на раме 10, опорного устройства 3, разгрузочной камеры 8 и вытяжной вентиляционной системы. Барабан наклонён к линии горизонта на $3\div 6^\circ$, частота вращения $n = 0,03\div 0,15 \text{ с}^{-1}$ ($2\div 10$ об/мин). Механизм вращения барабана состоит из электродвигателя 9, редуктора 7, уравнивающей муфты 5, ведущей шестерни 11 и зубчатого колёса 4. Частота вращения барабана устанавливается путём перестановки сменных шестерён. Осевое перемещение барабана ограничивается опорными роликами 3.

Песок или глину загружают в распределительную часть барабана, где имеются винтовые лопатки, которые распределяют материал по продольным ячейкам (рис. 7.2). Пересыпаясь с ячейки в ячейку материал, благодаря наклону барабана, перемещается и уже просушенный попадает в разгрузочную камеру 8. Длина барабана до 10 м, а диаметр $2\div 2,5$ метра. Производительность барабанных сушил при сушке песка до 20 т/час, а при сушке глины $3\div 5$ т/час.

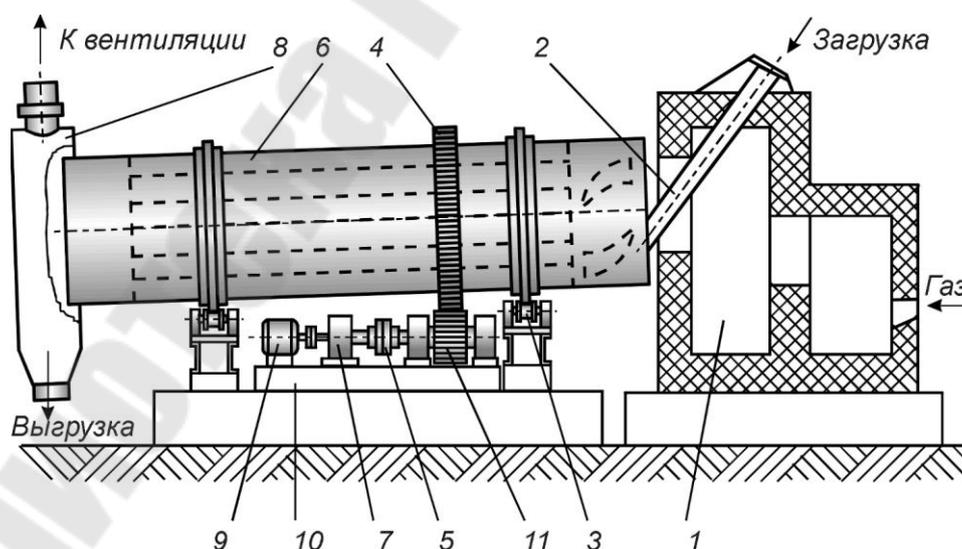


Рисунок 7.1 Одноходовое барабанное сушило для песка и глины

В качестве топлива для сушил применяют природный газ. Барабанные сушила обычно выполняют с попутным движением топочных

газов и просушиваемого материала. В этом случае наиболее горячие газы будут соприкасаться с более влажным песком, и находящаяся в песке глинистая составляющая будет защищена скрытой теплотой испарения влаги песка от перегрева; качество сухого песка будет лучше. Недостаток барабанных сушил – их большая длина.

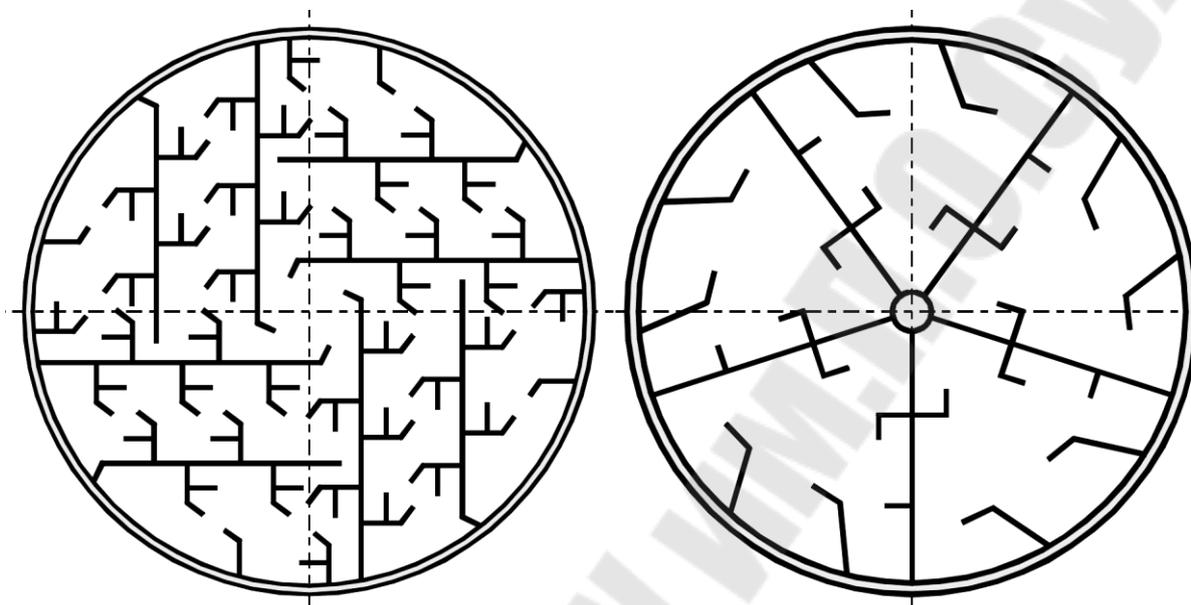


Рисунок 7.2 Варианты расположения полок внутри барабанного сушила

7.1.2 Трёхходовое барабанное сушило

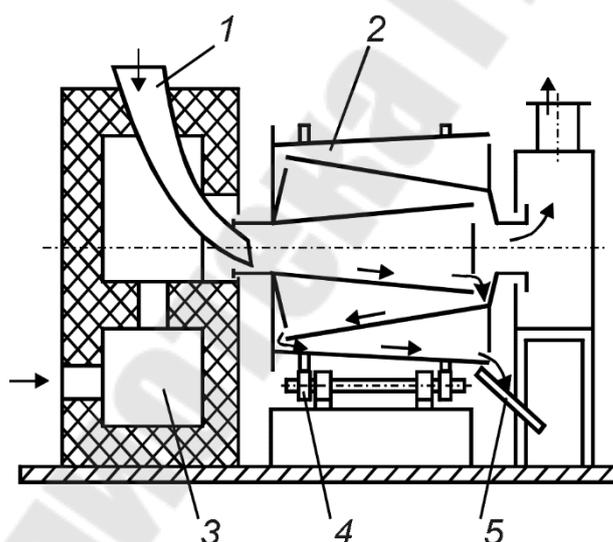


Рисунок 7.3 Трёхходовое барабанное сушило

Трёхходовое барабанное сушило (рис. 7.3) состоит из топки 3, загрузочной воронки 1, трёхходового барабана 2, разгрузочного жёлоба 5 и механизма вращения 4 барабана. Барабан 2 состоит из трёх усечённых конусов различных размеров, вставленных один в другой. Благодаря такой конструкции путь перемещения материала при сушке в барабане в 3 раза больше его длины, и

та же производительность, что и в одноходовых барабанных сушилах достигается при меньших габаритных размерах.

7.1.3 Особенности процесса сушки в барабанных сушилах

На процесс сушки в барабанных сушилах влияют следующие факторы:

- влажность и размер кусков исходных материалов;
- температура топочных газов и скорость их движения;
- объём и конструкция барабана (длина, диаметр, конструкция ячеек, угол наклона и частота вращения);
- наличие эффективной вытяжной вентиляции.

Современные конструкции барабанных сушил спроектированы так, что размер исходных кусков глины должен быть не более 20 мм в поперечном сечении, температура топочных газов ≈ 800 °С. Объём барабана зависит от массы воды, которую необходимо спарить за один час из 1 м³ объёма барабана и от влажности материала. Чем больше влажность материала и Чем больше объём загрузки, тем больше должен быть объём барабана.

Горизонтальные барабанные сушила делают диаметром до 2÷2,5 м.

Длину барабана выбирают из следующего соотношения:

$$L = (4 \div 5)D \quad (7.1)$$

На практике, особенно при сушке глины, сушило часто не обеспечивает требуемую производительность и заданную влажность, прошедшего сушку материала. В этом случае следует проверить крупность исходных кусков глины, температуру топочных газов, эффективность вытяжной вентиляции, частоту вращения барабана и привести их в соответствие с паспортными данными.

7.1.4 Установки для сушки и охлаждения песка в кипящем слое

Сущность процесса сушки песка в кипящем слое заключается в следующем. Слой песка 2 (рис. 48), лежащий на перфорированной решётке 3, продувается горячими топочными газами, имеющими температуру 500÷700 °С, в результате чего образуется «кипящий» слой песка.

Благодаря большой скорости множества струй горячих топочных газов и обтеканию ими почти каждой песчинки, расположенный на решётке слой песка почти мгновенно высыхает. Сухие зёрна песка «всплывают» кверху и через верх регулирующей заслонки 12

перетекают в жёлоб 11, а сырые частицы и комья песка опускаются вниз к горячей решётке, к более горячим топочным газам. Попавшие на решётку комья сырого песка быстро переходят в кипящее состояние и поднимаются кверху, а мелкие камешки движутся по наклонной решётке и через зазор между решёткой 3 и регулирующей заслонкой 12 удаляются из кипящего слоя.

Установка работает непрерывно: по мере сушки и удаления сухого песка через жёлоб 11 сырой песок добавляется через загрузочное отверстие 1.

Установка представляет собой сварной вертикальный барабан, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом, и состоит из трёх камер. В камере 8 сжигается газ, в камере 9 топочные газы с температурой $1100 \div 1200$ °С смешиваются (до температуры $400 \div 800$ °С) с воздухом, поступающим через фурмы 10. Боковые стенки третьей камеры 13 (камера сушки) изготовляют из толстолистовой стали, а наклонную решётку 3 – из жаростойкой стали. Суммарное проходное сечение отверстий в решётке диаметром $2,5 \div 3$ мм составляет $6 \div 7$ % её площади.

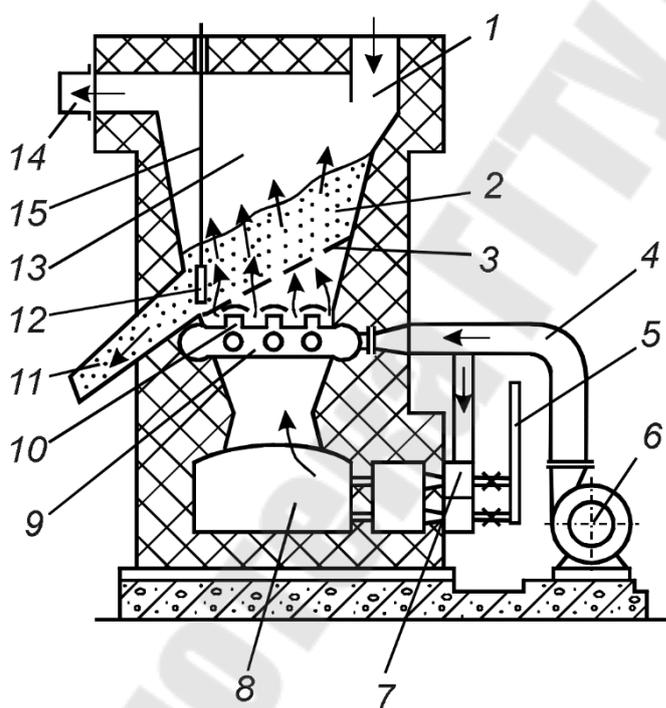


Рисунок 7.4. Установка для сушки песка в кипящем слое

Чем барабанные сушила. Установки подобного типа нашли применение в технологическом процессе изготовления стержней по нагреваемой оснастке.

Для охлаждения песка рядом с установкой для сушки монтируют установку для его охлаждения. Сухой и нагретый песок выходит из печи по жёлобу 11 в охлаждающую камеру с дутьевым подом, наклонной решёткой и двухзонной регулирующей заслонкой такой же конструкции, как и в сушильной печи. Воздух для охлаждения песка подаётся в охлаждающую камеру вентилятором.

Производительность таких установок $8 \div 10$ т/ч, а производственной площади они занимают значительно

Распространены установки для сушки и одновременного охлаждения песка другой конструкции. Принцип работы этих установок аналогичен принципу работы описанной выше установки в кипящем слое, а конструктивное исполнение иное.

Схема одной из таких установок изображена на рис. 7.5.

Вентилятор *1* подаёт воздух в газовую или мазутную горелку *2* и камеру смешения *3*, где он несколько охлаждает топочные газы до $600 \div 800$ °С. С этой температурой смесь воздуха и продуктов сгорания проходит через сопла сушильной решётки *7* в камеру сушки *6*. Песок, предназначенный для сушки, транспортируется в бункер *5* сырого песка, из которого вибрационным питателем *4* равномерно подаётся в камеру сушки *6*. Производительность вибрационного питателя можно регулировать (в широких пределах) либо изменением угла его наклона, либо изменением частоты и амплитуды вибратора.

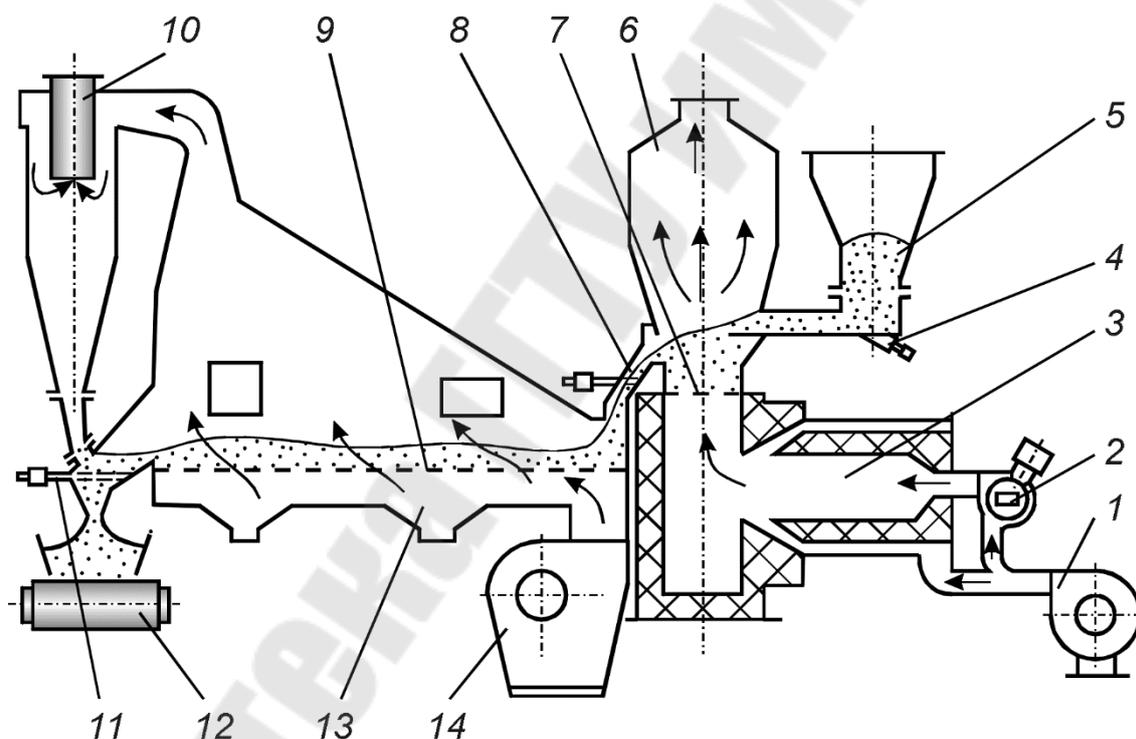


Рисунок 7.5. Установка для сушки и охлаждения песка

Просушенный в камере *6* песок собирается в лотке *8* сушила. При соответствующей массе автоматически открывается откидной клапан, и песок поступает на решётку *9* охлаждающей камеры *13*. Смесь воздуха и продуктов сгорания с температурой 50 °С выбрасывается через циклон *10* в атмосферу. В камере *13* песок охлаждается воздухом, нагнетаемым вентилятором *14*, и проходит через отверстия в решётке *9*. Охлаждённый до температуры 30 °С песок через клапан-мигалку *11*

пересыпается на ленточный конвейер 12. Топка внутри выложена огнеупорным кирпичом. Сушильная решётка 7 изготовлена из жаростойкой стали. Установка оборудована устройствами для автоматического измерения температуры газов при входе в камеру сушила, при выходе их из сушила и из охлаждающей камеры.

Производительность установок подобного типа $2,5 \div 5$ т/ч. Начальная влажность песка $3 \div 8$ %, конечная – близка к нулю. Мощность установки 15 кВт, масса 3 т, габаритные размеры $3600 \times 3100 \times 3400$ мм.

Главное преимущество этих установок – высокая эксплуатационная надёжность и качество просушиваемого материала.

7.2 Дробильно-размольное оборудование

7.2.1 Способы механического дробления

Для приготовления формовочных смесей широко применяют бентонит (сухую молотую глину), маршаллит (молотый кварцевый песок), молотый уголь и другие пылевидные материалы. Эти материалы, как правило, должны поступать в литейный цех в готовом виде, хотя до сих пор ещё некоторые цехи приготавливают их сами. Помимо этого требуется измельчать крупные куски отработанной смеси. Поэтому в системе приготовления формовочных материалов в литейных цехах используют различного рода дробилки.

Под дроблением понимают процесс разделения твёрдых тел на части, сопровождающийся упругими и пластическими деформациями дробимого тела и образованием новых его поверхностей.

Процесс дробления осуществляется следующими способами: раздавливанием (рис. 50, а); раскалыванием (рис. 50, б); изломом (рис. 50, в); истиранием (рис. 50, г) и ударом (рис. 50, д).

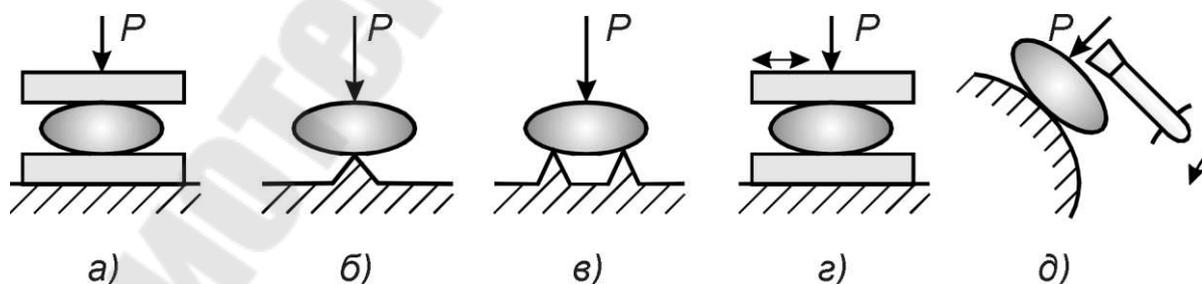


Рисунок 7.6 Основные методы механического дробления

Для прочных материалов (сухая глина, каменный уголь) наиболее рационально использовать раздавливание и удар, а для влажных и

вязких материалов рекомендуется раздавливание в сочетании с истиранием.

Материал, поступающий в дробильную установку, называют исходным, а окончательно обработанный дроблением – готовым продуктом. Соотношение поперечных размеров исходного материала и поперечных размеров готового продукта называется степенью измельчения:

$$i = D/d, \quad (7.2)$$

где D – диаметр куска исходного материала;
 d – диаметр готового продукта.

В зависимости от степени измельчения материала дробильное оборудование разделяют на дробилки и мельницы,

Дробилки измельчают материал до размера кусков $d = 15 \div 25$ мм при $i = 3 \div 12$ (грубое измельчение). Мельницы измельчают материал до размера зёрен $d < 0,1$ мм при $i = 200$ и выше (тонкое измельчение).

В зависимости от характера воздействия на дробимый материал и конструктивных признаков различают следующие типы дробилок: щековые, молотковые, валковые и типы мельниц: шаровые, молотковые, вибрационные и др.

7.3 Физические основы процесса дробления.

Процесс дробления чрезвычайно сложен. Существует ряд гипотез процесса размельчения, из которых наиболее достоверной считается так называемый обобщённый закон разрушения твёрдых тел.

При механическом разделении твёрдого куска на части внешние силы преодолевают силы внутреннего сцепления между частицами, образуя новые поверхности. Поверхностные слои частиц обладают некоторым избытком свободной энергии (поверхностной энергией). Это объясняется тем, что частицы кристаллической решётки материала, расположенные на его поверхности, в отличие от частиц, расположенных внутри тела, взаимодействуют односторонне – со стороны тела. Для перевода внутренних частиц на поверхность (дробление) требуется затратить определённую работу. Частное от деления этой работы к площади вновь образованной поверхности называют удельной поверхностной энергией.

Для разделения тела на части и удаление их друг от друга на расстояние, при котором прекращается взаимодействие между ними,

потребуется дополнительная энергия, которую называют внутренней энергией.

Таким образом, обобщённый закон разрушения твёрдых тел выражается формулой

$$A = \sigma_{\text{пов}} \Delta F + \frac{\sigma^2}{2E} \Delta V_1, \quad (7.3)$$

где A – полная работа, идущая на разрушение твёрдого тела, Дж;

$\sigma_{\text{пов}}$ – удельная поверхностная энергия, Дж/м²;

ΔF – вновь образующаяся при разрушении поверхность, м²;

σ – предел прочности материала, Па;

ΔV_1 – часть объёма тела, подвергшаяся деформации, м³.

Первое слагаемое в формуле представляет собой работу по созданию новой поверхности ΔF , второе слагаемое – работу упругих и пластических деформаций в объёме тела ΔV_1 . В связи с особенностями работы оборудования, при расчёте дробилок можно пренебрегать первым слагаемым, при расчёте мельниц – вторым.

7.3.1 Щековые дробилки

Щековые дробилки разрушают материал, зажимая его между двумя плоскими твёрдыми плитами (щеками). В зависимости от конструкции привода различают дробилки с простым и сложным качанием щёк.

Дробилка с простым качанием щёки (рис. 7.7, а) состоит из неподвижной щёки 1 и подвижной щёки 2. Привод включает эксцентриковый вал с маховиком 3, шатун 4 и две распорные плиты 5 и 6. При вращении эксцентрикового вала шатун, воздействуя на распорные плиты, изменяет угол их наклона и создаёт качание подвижной щёки, благодаря чему происходит дробление кусков материала, находящегося между щеками. Загрузку материала производят сверху в рабочее пространство, имеющее клиновидную форму и заключённое между неподвижной и подвижной щеками.

В дробилках со сложным качанием (рис. 7.7, б) подвижная щека 2 подвешена на эксцентрике главного вала и таким образом является одновременно главным шатуном. В нижней части качающаяся щека поддерживается одной распорной плитой 4.

В дробилках с простым качанием угловые перемещения и усилия по длине подвижной щёки различны: Чем ближе к оси вращения, тем

меньше перемещения плиты и больше усилия, приложенные к материалу. Такое распределение усилий по длине щёки является технологически оправданным. Для дробления крупных кусков в верхней части дробилки требуется большее усилие, чем для дробления мелких в нижней её части. Недостаток дробилок с простым качанием – малая величина хода в верхней части, поэтому захват крупных кусков ненадёжен.

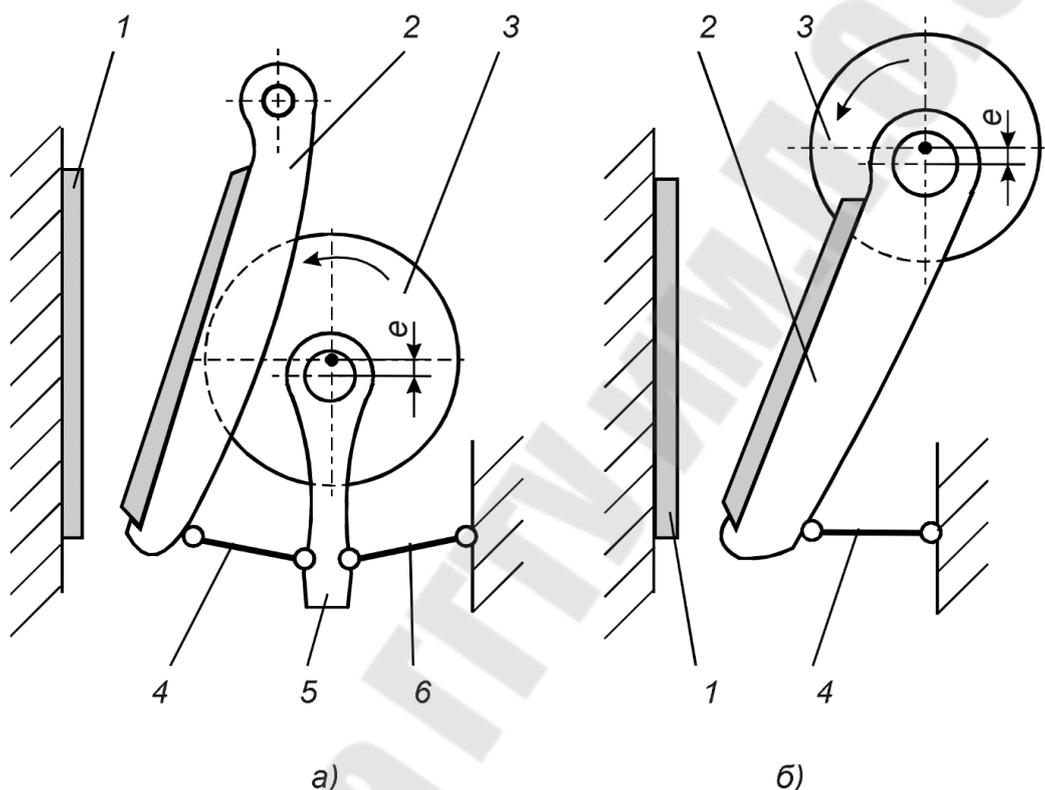
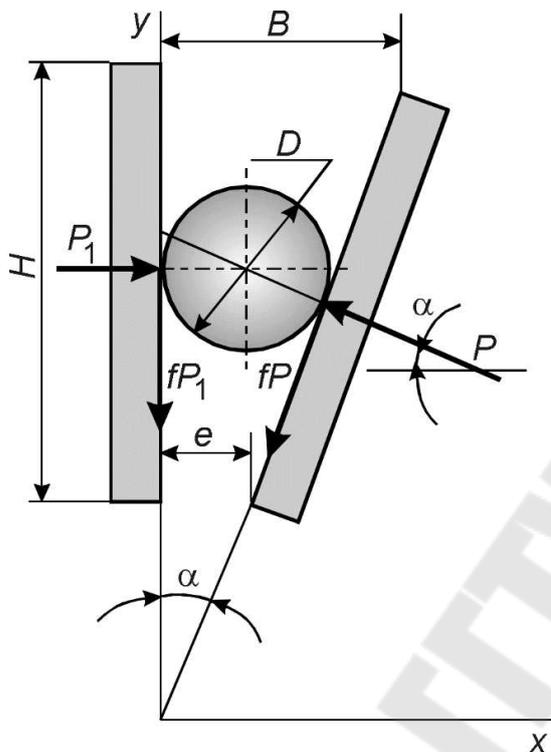


Рисунок 7.7. Щёковые дробилки: а) с простым качанием щёки, б) со сложным качанием щёки

Дробилки со сложным качанием щёки просты по конструкции и более компактны. В таких дробилках щека качается не только благодаря наличию распорной плиты, но и получает сложное плоское движение, аналогичное движению шатуна кривошипно-ползунного механизма. Каждая точка рабочей поверхности щёки описывает замкнутые кривые, наверху приближающиеся к окружности, а внизу – овальные, вытянутые в вертикальной плоскости тем больше, чем ниже от оси вращения находится точка. Таким образом, материал здесь не только раздавливается, но и частично истирается. Дробилки со сложным

качанием позволяют получать материал с большей степенью измельчения, Чем дробилки с простым качанием щёки.

Основными параметрами, определяющими возможность и экономичность работы щековой дробилки, является угол захвата α между неподвижной и подвижной щеками; частота вращения эксцентрикового вала n (с^{-1}), производительность дробилки Π ($\text{м}^3/\text{ч}$); требуемая мощность электродвигателя N (кВт).



Угол α (рис. 7.8) должен быть такой, чтобы при нажатии качающейся щёки дробимый кусок не выскользнул из камеры дробления вверх.

Кусок материала, находящийся в камере дробления, подвергается со стороны качающейся щёки давлению P , а со стороны неподвижной – действию реактивной силы P_1 . Обозначив через f коэффициент трения куса материала о поверхность плит, получим из условия равновесия сил

Рисунок 7.8. Силы, действующие в щековой дробилке

$$\begin{aligned} \sum x = 0 \text{ или } P_1 - fP \sin \alpha - P \cos \alpha &= 0; \\ \sum y = 0 \text{ или } P \sin \alpha - fP_1 - fP \cos \alpha &= 0. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Решив эти уравнения, найдём, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2f}{1 - f^2}. \quad (7.5)$$

Так как коэффициент трения определяется выражением $f = \operatorname{tg} \varphi$, где φ – угол трения, находим

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \varphi}{1 - \operatorname{tg}^2 \varphi} = \operatorname{tg}(2\varphi). \quad (7.6)$$

Если обе щёки наклонны, то, проделав аналогичные вычисления, получим аналогичный результат. Таким образом, для того, чтобы происходил надёжный захват куска, должно выполняться неравенство

$$\alpha \leq 2\varphi. \quad (7.7)$$

Рекомендуется принимать $\alpha = 15 \div 22^\circ$. При этом глубина камеры дробления H должна быть в $2 \div 2,5$ раза больше ширины её приёмной части B . Диаметр куска материала D при этом должен составлять $0,80 \div 0,85$ этой ширины.

Одним из основных факторов, определяющих производительность щековой дробилки, является частота вращения n (с^{-1}) главного вала (число качаний щёки). Если принять величину угла захвата между материалом и щекой $\alpha = 20^\circ$, что соответствует стальным щекам, то

$$n = \frac{0,60 \div 0,65}{\sqrt{s}}, \quad (7.8)$$

где s – ход качающейся щёки, м.

Производительность (тонн в час) щековой дробилки определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{1800s\psi n b \rho (s + 2e)}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (7.9)$$

где ψ – коэффициент разрыхления выходящей из дробилки массы продукта; $\psi = 0,30 \div 0,65$;

n – частота вращения эксцентрикового вала, с^{-1} ;

b – длина камеры дробления, м;

ρ – плотность материала, т/м^3 ;

e – минимальная ширина выходной щели, м;

α – угол захвата.

Мощность электродвигателя находят, исходя из обобщённого закона разрушения твёрдых тел, по формуле (98), в которой ΔV_1 определяется как разность объёмов кусков материала до дробления и после него:

$$\Delta V_1 = V_H - V_K = \frac{\pi b D^2}{6} - \frac{\pi b d^2}{6} = \frac{\pi b}{6} (D^2 - d^2), \quad (7.10)$$

где D и d – диаметры соответственно исходного и готового (раздроблённого) кусков.

Подставив найденное значение ΔV_1 в формулу (7.3), получим работу (в Дж) дробилки за один оборот вала:

$$A = \frac{\sigma^2 \pi b}{2E} \frac{\pi b}{6} (D^2 - d^2) = \frac{\pi \sigma^2 b (D^2 - d^2)}{12E} \quad (7.11)$$

где b , D и d – имеют размерность метры;
 σ и E – имеют размерность Паскали.

Зная работу дробилки за один оборот вала можно оценить необходимую мощность электродвигателя (кВт)

$$N \approx \frac{An}{6 \cdot 10^5 \eta}, \quad (7.12)$$

где η – коэффициент полезного действия привода щековой дробилки. (Размерности величин, входящих в формулу (7.12) указаны выше).

7.4 Валковые дробилки

Валковые дробилки (рис. 7.9) применяют для мелкого и среднего дробления различных материалов: глины, отработанных смесей и др. Куски дробятся вращающимися валками. Помимо дробления материал отчасти истирается. По конструктивному исполнению различают валковые дробилки с жёстко закреплёнными подшипниками валков; с одним подвижным валком (наиболее распространённый вариант); с двумя подвижными валками. Благодаря подвижности валков, дробилка защищена от поломки при попадании между ними слишком жёстких предметов. Валки бывают гладкими, рифлёными и зубчатыми. Степень измельчения регулируется изменением зазора $2e$ между двумя валками с помощью сменных прокладок.

Рассмотрим связь между диаметром валков и максимальным размером кусков дробимого материала.

Плоскости OM и ON (рис. Рисунок 7.10), касательные к поверхностям гладких валков в точках соприкосновения с куском материала, образуют между собой угол $\beta = 2\alpha$, где α – угол захвата. По аналогии со

щековой дробилкой, где $\beta < 2\varphi$, для захвата куска материала воображаемыми плоскостями OM и ON валковой дробилки, получаем

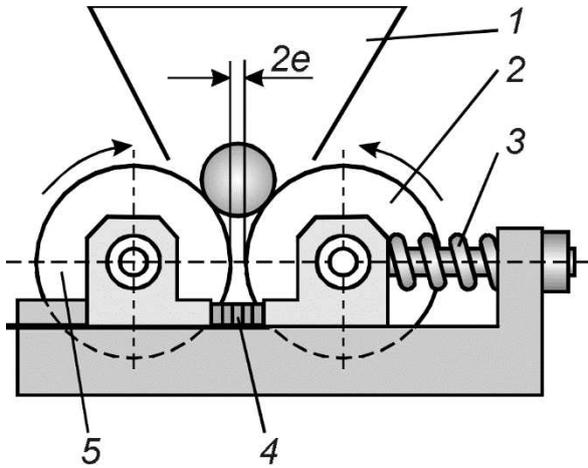


Рисунок 7.9 Устройство валковой дробилки

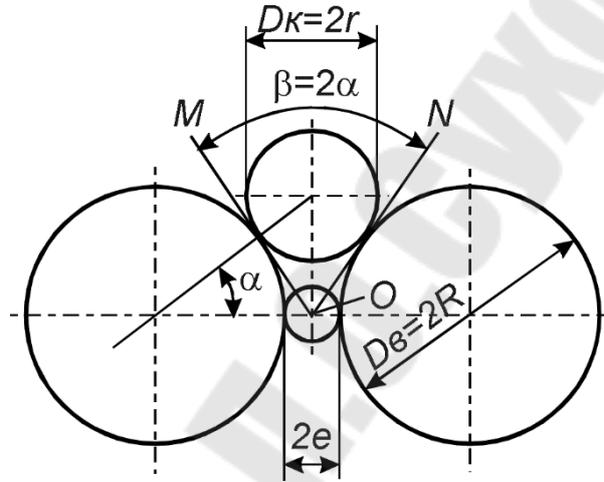


Рисунок 7.10 Схема работы валковой дробилки

$$\alpha \leq 2\varphi \quad (7.13)$$

где $\varphi = \arctg f$ – угол трения кусков материала о валки;
 f – коэффициент трения кусков материала о валки.

Для угля принимают $f = 0,3$, чему соответствует $\alpha < 16^\circ 42'$, для глины и известняка принимают $f = 0,30 \div 0,35$ и $\alpha \approx 18^\circ$.

Для эффективной работы валковой дробилки при соблюдении условия $\alpha \leq 2\varphi$ и расстояния $2e$ между валками, необходимо, чтобы диаметр куска D_k , поступающего в дробилку, удовлетворял следующему условию:

$$\left(\frac{D_B}{2} + \frac{D_K}{2} \right) \cos \alpha = \frac{D_B}{2} + e, \quad (7.14)$$

откуда

$$D_K = \frac{D_B(1 - \cos \alpha) + 2e}{\cos \alpha}, \quad (7.15)$$

где D_B – диаметр валков, м;
 $2e$ – расстояние между валками, м.

Если принять для сухой глины угол захвата $\alpha = 18^\circ$, то формула (7.15) будет иметь вид

$$D_k \approx \frac{1}{19} D_B. \quad (7.16)$$

При сдвинутых валках ($2e = 0$)

$$D_k = \frac{1}{19} D_B. \quad (7.17)$$

Для рифлёных валков принимают

$$D_k = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{12} \right) D_B, \quad (7.18)$$

для зубчатых валков

$$D_k = \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{4} \right) D_B. \quad (7.19)$$

Степень измельчения материала в дробилках с гладкими валками $i = 3 \div 5$, с рифлёными валками $i = 7 \div 8$.

Производительность валковой дробилки Π (в т/ч) определяют по формуле

$$\Pi = 1,2 \cdot 10^4 \psi n L R \rho (2e), \quad (7.20)$$

где ψ – коэффициент разрыхления продукта (для материала средней твёрдости $\psi = 0,2 \div 0,3$; для влажной глины $\psi = 0,5 \div 0,6$);

n – частота вращения, c^{-1} ;

L – длина валков, м;

R – радиус валков, м;

ρ – плотность материала, t/m^3 .

Предельная частота вращения (c^{-1}) валка не должна превышать величины, определяемой формулой

$$n_{\max} \approx 6 \sqrt{\frac{f}{\rho r R}}, \quad (7.21)$$

где f – коэффициент трения дробимого материала по поверхности валков, ($f = 0,3 \div 0,4$);

r – радиус куска материала, м.

Мощность электродвигателя валковой дробилки с гладкими валками

$$N_{\text{дв}} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (7.22)$$

где N_1 – мощность, затраченная на процесс дробления, кВт;
 σ – предел прочности материала, Па;
 E – модуль упругости материала, Па;
 N_2 – мощность, затраченная на преодоление трения между материалом и валками, кВт;
 N_3 – мощность, затраченная на трение в подшипниках, кВт.

$$N_1 = \frac{\sigma^2 nLR(r^2 - e^2)}{Er}. \quad (7.23)$$

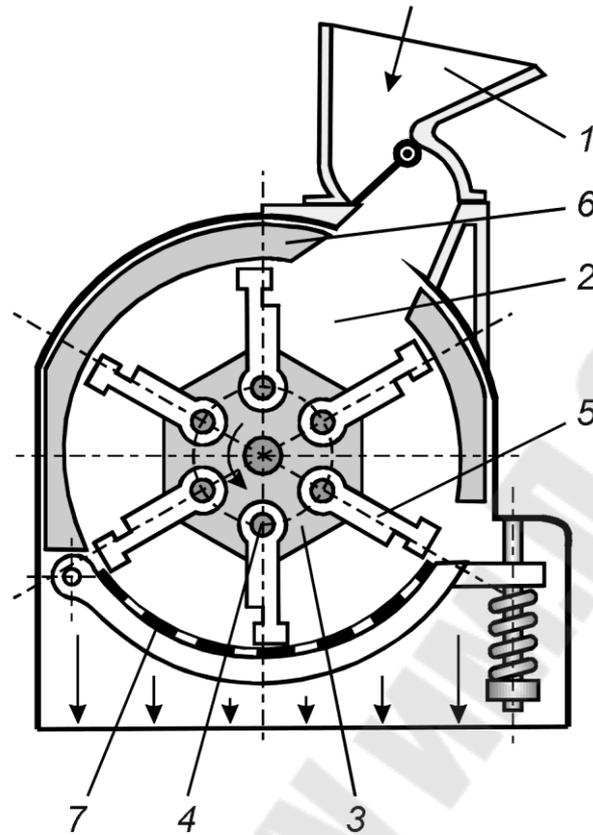
7.4.1 Молотковые дробилки

Молотковые дробилки в литейных цехах применяют для дробления сухой глины, кусков отработанной смеси, боя стержней и т. д.

Молотковые дробилки размельчают материал под действием удара быстровращающихся молотков (бил) 5, укрепленных на роторе 3 с помощью шарниров 4 (рис. 55), а также под действием удара материала о броневые плиты 6. Куски материала, подлежащего дроблению, через загрузочный желоб 1, попадают в рабочее пространство 2 дробилки, где, подвергаясь ударам молотков 5, дробятся и просыпаются вниз через отверстия колосниковой решётки 7. Размеры продукта дробления определяются как шириной щелей в колосниковой решётке, так и величиной радиального зазора между молотками и решёткой, который равен (3÷5 мм).

Окружная скорость молотков $v = 25 \div 55$ м/с, степень измельчения $i = 10 \div 15$. У молотковых однороторных дробилок отношение длины дробилки к её диаметру составляет 0,5÷0,85.

Достоинства молотковых дробилок: простота и надёжность, малая масса, большие производительность и степень измельчения. К недостаткам молотковых дробилок следует отнести быстрый износ молотков и решёток, невозможность дробления вязких и влажных материалов.



7.11 Устройство молотковой дробилки

Производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) молотковой дробилки определяется по приближённой формуле

$$\Pi = (30 \div 45)DL, \quad (7.24)$$

где D – наружный диаметр окружности, описываемый свободными концами молотков ротора, м;

L – длина ротора, м.

Мощность электродвигателя (кВт) определяют, исходя из работы деформации дробления кусков по приближённой формуле

$$N = 5D^2Ln, \quad (7.25)$$

где n – частота вращения ротора, с^{-1} .

7.4.2 Шаровые мельницы

Шаровые мельницы получили широкое распространение в литейных цехах для тонкого измельчения сухой глины, угля и других материалов.

Шаровые мельницы могут быть с периодической и непрерывной загрузкой и разгрузкой.

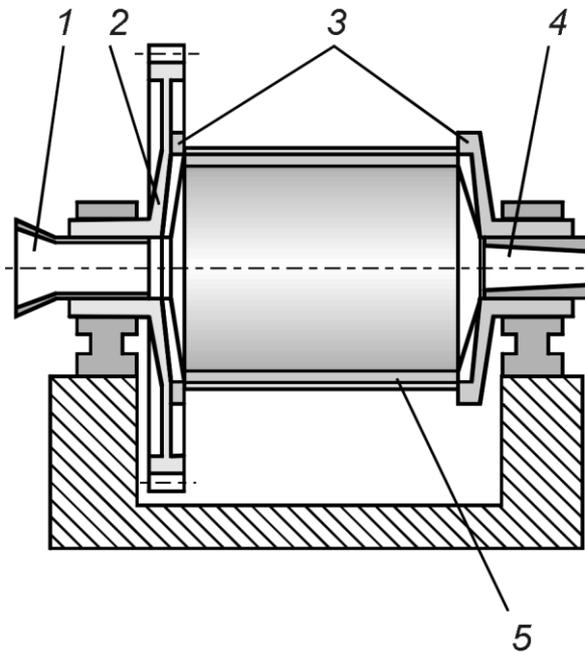


Рисунок 7.12 Устройство шаровой мельницы

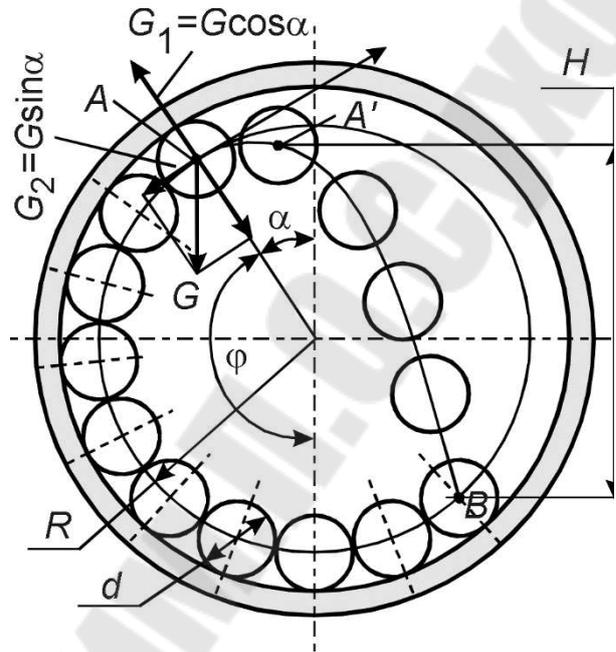


Рисунок 7.13 Схема движения шаров в шаровой мельнице

Мельницы с периодической загрузкой и разгрузкой наиболее просты по конструкции, но менее производительны и труднее поддаются автоматизации.

Мельницы с непрерывной загрузкой (рис. 7.12) представляют собой барабан 5 с днищами 3, в которые встроены полые цапфы 1 и 4. Через цапфу 1 материал непрерывно загружается, а через выгрузочную цапфу 4 измельченный материал удаляется самотёком или при помощи воздушного потока, создаваемого вентилятором, в приёмное устройство (на рисунке не показано). Привод мельницы осуществляется от электродвигателя через редуктор и открытую зубчатую передачу 2.

При вращении барабана шары поднимаются на определённую высоту. Достигнув этой высоты, шары вместе с материалом падают и под действием удара измельчают его.

Падение шаров в этом случае происходит по некоторой параболической траектории (рис. 7.14). Такое движение шаров называется водопадным. Это оптимальный режим работы мельницы, так как в этом случае, полезная работа максимальна, а износ шаров минимален. Разрушение материала происходит за счёт удара шарами.

При малой частоте вращения барабана мельницы шары поднимаются до верхнего слоя, а затем скатываются вниз или скользят по

поверхности футеровки. Такое перемещение шаров называется каскадным. При этом полезная работа будет незначительной, так как измельчение материала происходит в результате его истирания шарами.

При большой частоте вращения мельницы шары под действием центробежной силы не смогут оторваться от футеровки барабана, и будут вращаться вместе с ним. В этом случае никакого измельчения материала не происходит. Наименьшую частоту вращения, при которой не происходит свободного падения шаров, называют критической.

Очевидно, оптимальная частота вращения будет тогда, когда часть пути шар движется вдоль стенки барабана, и в тот момент, когда радиально направленная составляющая силы тяжести достигнет величины центробежной силы, шар отрывается от стенки и падает подобно свободно падающему телу (рис. 7.13). Оптимальная частота вращения (c^{-1}) шаровой мельницы определяется следующей зависимостью:

$$n = \frac{4,5 \div 5,2}{\sqrt{D}}, \quad (7.26)$$

где D – внутренний диаметр мельницы, м.

В мельницу следует загружать такое количество шаров, чтобы во время её работы каждый ряд шаров совершал движение по своей траектории, не сталкиваясь с шарами других рядов. Величина загрузки мельницы мелющими телами характеризуется коэффициентом заполнения. Коэффициентом заполнения называется отношение площади загрузки шарами поперечного сечения неподвижной мельницы F_1 ко всей площади её сечения F :

$$\psi_1 = \frac{F_1}{F} = \frac{F_1}{\pi R^2}. \quad (7.27)$$

Коэффициент заполнения должен быть в пределах $0,2 \div 0,35$ в зависимости от условий работы мельницы.

Полную загрузку мельницы G (в тоннах) мелющими телами при принятом коэффициенте заполнения ψ_1 подсчитывают по формуле

$$G = \pi R^2 L \psi_1 \rho \psi, \quad (7.28)$$

где R – внутренний радиус офутерованного барабана мельницы, м;

L – длина барабана, м;

ρ – плотность шаров, $\rho = 3,5 \div 4,0$ т/м³;

ψ – коэффициент разрыхления загружаемого материала, для практических расчётов принимают $\psi = 0,5 \div 0,6$.

С увеличением массы загрузки абсолютная производительность шаровой мельницы увеличивается, но удельная производительность (т/ч на 1 кВт мощности) уменьшается. Перегрузка мельницы шарами вредна, так как она приводит к перерасходу электроэнергии и к ускоренному износу шаров и футеровки. При малой загрузке мельницы шарами производительность её уменьшается. Оптимальный диаметр шаров определяют по приближённой формуле

$$D_{ш} = 28\sqrt[3]{d}, \quad (7.29)$$

где d – наибольший размер кусков измельчаемого материала, мм.

Мощность электродвигателя (в кВт) шаровой мельницы

$$N = \frac{mc\sqrt{D}}{\eta}, \quad (7.30)$$

где m – масса мелющих тел, т;

c – коэффициент, учитывающий размеры и форму мелющих тел и коэффициент заполнения ψ_1 ;

$c = 10 \div 15$ для шаров диаметром $50 \div 80$ мм и $\psi_1 = 0,2 \div 0,35$;

η – коэффициент полезного действия привода, $\eta = 0,90 \div 0,95$.

Производительность шаровых мельниц (в т/ч) можно с достаточной точностью подсчитать по эмпирической формуле

$$\Pi = AG^{0,6}, \quad (7.31)$$

где A – опытный коэффициент размолоспособности материала (для углей различных марок $A = 1,5 \div 4,5$, для глины $A = 0,5 \div 2,5$).

7.4.3 Молотковые мельницы

Молотковые мельницы (рис. 7.14) конструктивно во многом похожи на молотковые дробилки (рис. 7.11). Главное отличие молотковых мельниц от молотковых дробилок состоит в том, что мельницы не имеют решётки в нижней части мельничной камеры, и продукт помола с помощью встроенного вентилятора Γ уносится из мельницы

воздушным потоком. Крупные частицы материала из воздушного потока отражаются ножами крестовины 10 обратно в помольную камеру 6.

На приводном валу 8 жёстко посажен ротор 4, на котором при

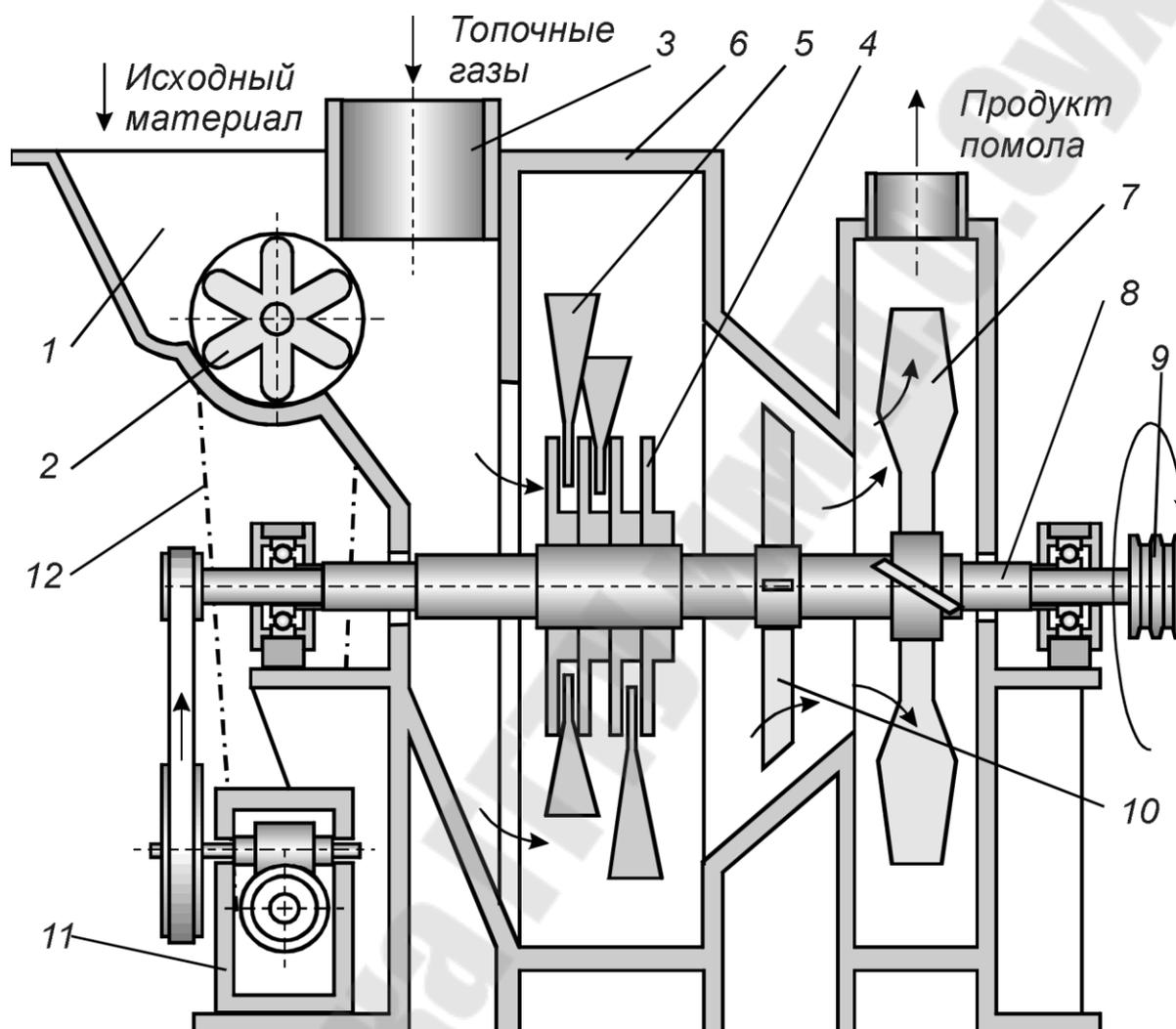


Рисунок 7.14 Устройство молотковой мельницы

помощи шарниров, так же как и в дробилках, подвешены в три ряда молотки 5, измельчающие материал. Измельчение происходит вследствие удара по кускам молотков и удара кусков о броневые плиты помольной камеры 6.

Для регулировки подачи материала в мельницу служит звёздчатый питатель 2, вращению которому передаётся цепной передачей 12 от редуктора 11, связанного с приводным валом 8 ременной передачей.

Тонкость помола и производительность мельницы можно регулировать. Для этого изменяют частоту вращения звёздчатого питателя и зазор между ножами крестовины 10 и стенкой мельницы.

Частота вращения главного вала мельницы регулируется сменным шкивом 9 в пределах $17 \div 25 \text{ с}^{-1}$ (1000 ÷ 1500 об/мин) в зависимости от сопротивления пневмотранспортной системы передачи молотого продукта.

Продукт помола уносится из мельницы воздухом по транспортному трубопроводу в циклоны, где осаждается и выдаётся через затвор в приёмный бункер, а отработанный и запылённый воздух возвращается в мельницу. Часть воздуха из замкнутой рециркуляционной системы пневмотранспорта выбрасывается через фильтр в атмосферу и такое же количество свежего, обычно подогретого (топочные газы) вводится в систему извне.

Производительность таких мельниц обычно невелика. Для глины она составляет 1 т/ч и для угля 0,6 т/ч. Однако продукт помола получается весьма высокой степени измельчения. Мельницы такого типа неплохо зарекомендовали себя в эксплуатации, но пневматическая система отбора продуктов помола работает ненадёжно, пылит, требует тщательного ухода в эксплуатации.

7.4.4 Вибрационные мельницы

Вибрационные мельницы применяют для тонкого помола кварцевого песка, огнеупорной глины, угля, кокса и других материалов. В отличие от шаровых мельниц и бегунов в вибрационных мельницах материал разрушается за счёт ударного и истирающего воздействия мелющих тел, что позволяет резко интенсифицировать процесс, а вследствие равномерной и значительной циркуляции мелющих тел достигается высокая однородность помола.

Вибрационная мельница (рис. 7.15) состоит из станины 1, на которой через пружинные опоры 2 установлена помольная камера 3. Привод осуществляется от электродвигателя 7 через упругую муфту 6 к валу 5 вибровозбудителя. Вибровозбудитель представляет собой вал с дебалансными дисками и может быть установлен с наружной стороны помольной камеры или внутри неё. На рисунке изображён второй вариант. При размещении вибровозбудителя внутри помольной камеры, его вал закрывается цилиндрическим кожухом. Помольная камера 3 представляет собой стальной полый цилиндр, служащий корпусом мельницы, он футерован листовой сталью в зоне действия мелющих тел и материала. В верхней части камеры имеется загрузочное отверстие 10. В нижней части камеры находится разгрузочное отверстие, с колосниковой решёткой. Решётка пропускает измельчённый материал,

но задерживает мелющие тела. Во избежание пылевыведения все отверстия закрывают пробками с резиновыми уплотнениями.

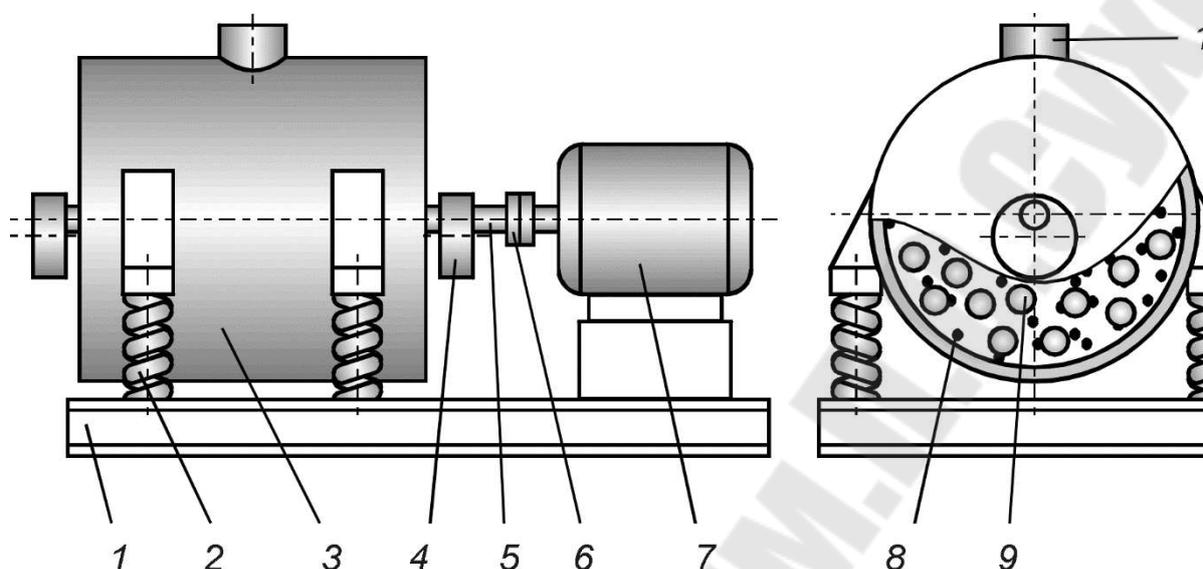


Рисунок 7.15 Вибрационная мельница

Опорную металлическую раму 1 вибрационной мельницы устанавливают на деревянный настил, а между ними прокладывают листовую резину. Это исключает вредное воздействие вибрации на фундамент.

Мелющие тела представляют собой стальные цилиндры диаметром от 10 до 20 мм и высотой $1,5d$. Масса мелющих тел в $2\div 3$ раза больше массы загружаемого для помола материала. Измельчение материала происходит вследствие истирания при взаимодействии кусков между собой и мелющими телами.

При одной и той же мощности привода производительность вибрационных мельниц в 2 раза больше производительности шаровых мельниц. Вибрационные мельницы менее требовательны к влажности материала. Так, например, при помоле на бегунах и в шаровой мельнице требуется предварительная сушка глины до влажности $2\div 3\%$, а в вибрационной мельнице можно измельчать глину с влажностью до $6\div 8\%$.

Собственная масса вибрационных мельниц и их габаритные размеры значительно меньше шаровых для одной и той же мощности привода. Частота колебаний вибратора мельниц обычно составляет 25 с^{-1} , амплитуда колебаний помольной камеры $4\div 5\text{ мм}$.

Конструкция вибрационной мельницы, представленной на рис. 7.15, не является типовой. Существуют и другие типы вибрационных мельниц, но принцип их работы тот же.

7.5 Механизация процесса приготовления глинистой суспензии

Глинистую суспензию готовят, как правило, на специальном участке, расположенном рядом со смесеприготовительным отделением.

Глина в состоянии поставки из закрома подаётся грейферным краном 1 (рис. 7.16) на решётку 2 с ячейками 300x300 мм и через промежуточный бункер 3 поступает на зубчатую двухвалковую дробилку 4, где измельчается на куски до 50 мм. Из бункера 5 через питатель 6 глина по мере необходимости подаётся в установку 7 для приготовления глинистой суспензии (таких установок может быть несколько). Установку предварительно заполняют водой с температурой 60÷70 °С. В установку 7 глину загружают через окно с решёткой (размер ячеек 100x100 мм). С торца установки расположены кран для приёма воды, контрольный кран и кран для взятия пробы. За 30÷45 мин перемешивания получают глинистую суспензию плотностью 1150÷1230 кг/м³, которая через сливной трубопровод 8 самотёком поступает в промежуточные баки 9 (один или несколько) ёмкостью по 10÷15 м³, где барботируется. Наличие нескольких баков гарантирует бесперебойную работу смесеприготовительного отделения.

Готовая суспензия может сливаться в любой промежуточный бак 9 из любой установки 7. Связующее вводится в промежуточный бак 9 при сливе суспензии из установки. Примерный состав суспензии 15÷20 % глины или бентонита, 8÷10% связующего, 70÷80 % воды.

Из промежуточных баков 9 суспензия через систему трубопроводов одним из двух насосов 10 подаётся к смесителям. При заполнении всей системы для предотвращения оседания глины в трубопроводе суспензия этим же насосом возвращается в промежуточные баки; второй насос – резервный.

Типовой агрегат для приготовления глинистой суспензии (рис. 7.16) представляет собой ванну 1, установленную на раме 2. В ванне на горизонтальном валу 3, который вращается на шариковых подшипниках, установлен лопастной барабан 4. Лопасти барабана выполнены зубчатыми. Привод вращения барабана – от электродвигателя 5, через клиноремённую передачу 6, редуктор 7 и открытую зубчатую передачу 8.

При вращающемся барабане в ванну засыпают комковую глину и заливают горячую воду. Глину загружают через бункер с решёткой 9, которая служит для задержания крупных кусков. Готовая суспензия сливается через сливной патрубок 10 в специальную ёмкость.

Возможность изготовления суспензии из комковой глины, а не из сухой молотой позволяет освободиться от операций сушки и размола глины.

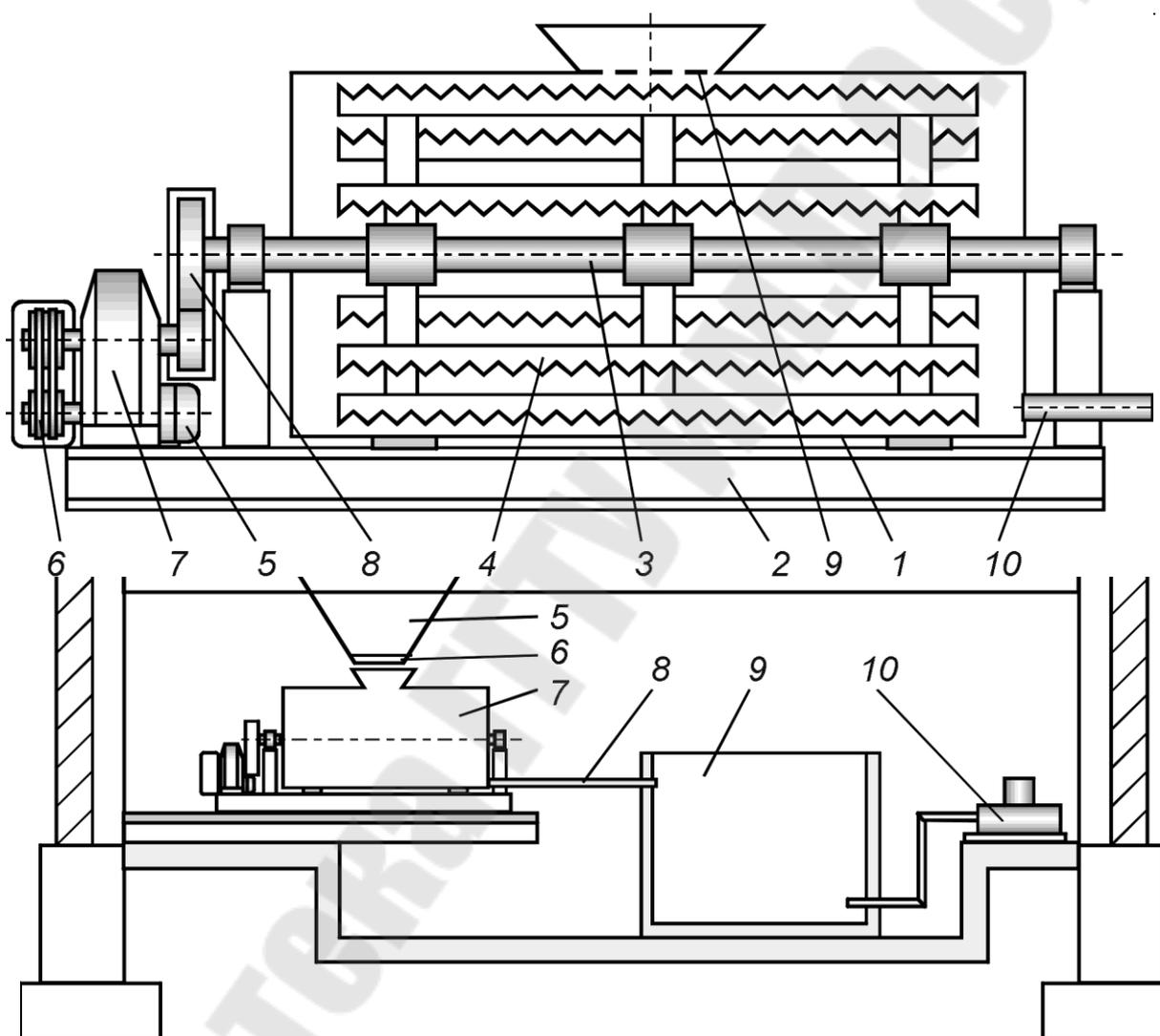


Рисунок 7.16 Схема участка приготовления глинистой суспензии

8 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ОТРАБОТАННОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

8.1 Технология переработки отработанных формовочных смесей

При современной технологии и высокой степени автоматизации литейных линий по производству отливок в песчаные формы требуется непрерывный контроль физико-механических свойств формовочных смесей в процессе их приготовления. Это возможно при отсутствии посторонних включений и стабильном значении влажности и температуры отработанной смеси перед поступлением её в смесители. В современных литейных цехах в системе транспортного потока отработанной смеси (от выбивки отливок из формы до бункеров над смесителями) устанавливают оборудование, удаляющее металлический скрап, размалывающее комья и просеивающее смесь. Кроме того, имеется оборудование для гомогенизации и охлаждения отработанной смеси, её регенерации и сепарации.

В одном кубометре отработанной формовочной смеси находится до 10 кг ферромагнитных включений (застывшие брызги металла, крючки, шпильки и т. д.), поэтому процесс удаления скрапа является важным звеном подготовки отработанной смеси. От степени очистки отработанной смеси от скрапа зависит качество отливок и надёжность работы технологического оборудования.

В литейных цехах для очистки отработанной смеси от скрапа применяют шкивные, барабанные и ленточные магнитные железоотделители.

Наибольшее распространение получили шкивные и барабанные магнитные железоотделители, так как они легко встраиваются в технологический транспортный поток. Шкивной или барабанный железоотделитель обычно одновременно служит и приводным барабаном ленточного конвейера, транспортирующего отработанную формовочную смесь. Так как один магнитный железоотделитель не в состоянии полностью обеспечить удаление металлических включений, то обычно в транспортном потоке отработанной смеси их ставят два или даже три. Если в транспортной системе невозможно установить большое число шкивных или барабанных железоотделителей (один ленточный конвейер), то над конвейером, транспортирующим смесь после выбивки, устанавливают ленточные магнитные железоотделители.

Последовательно за магнитными железоотделителями устанавливают валковые дробилки (реже щековые) для дробления комьев

спёкшейся смеси, остатков стержней и оборудование для её просева. Распространённым оборудованием для просева отработанной формовочной смеси являются барабанные пирамидальные (полигональные) сита. Они просты по конструкции, надёжны в работе, имеют достаточно высокую производительность, почти бесшумны в работе и легко вписываются в транспортный поток.

Влажность и температура отработанной смеси не равномерна по её объёму. Температура отработанной смеси в среднем составляет $80\div 100$ °С, а допустимая температура должна быть $25\div 30$ °С. Поэтому после просева отработанную смесь подвергают гомогенизации и охлаждению. Под гомогенизацией понимают процесс усреднения смеси по влажности и температуре. В гомогенизационных установках (барабанах) отработанную смесь перемешивают и добавляют воду. Влажность смеси после гомогенизатора становится несколько выше по сравнению с влажностью готовой формовочной смеси и равномерно распределена по всему её объёму. Температура смеси после гомогенизатора хотя и высокая, но также усреднена по всему объёму. Избыток влаги, искусственно вводимой в гомогенизатор, будет затем удалён в системе охлаждения отработанной смеси.

После гомогенизатора смесь поступает в установку для охлаждения. Наибольшее распространение получили установки, основанные на паровоздушном способе охлаждения. В этой установке воздух под давлением подаётся мелкими струйками через слой смеси снизу, образует обильное выделение пара. Благодаря испарению затрачивается большое количество теплоты, которая отбирается от смеси; смесь охлаждается. Вместе с воздухом и паром в систему очистки уносятся и мелкие частицы смеси. Затем смесь поступает в бункера-отстойники или непосредственно в бункера над смесителями.

Под действием высокой температуры металла, заливаемого в форму, в формовочной смеси происходят процессы, необратимо изменяющие состав и свойства слоя смеси, прогретого теплом отливки.

Зёрна формовочного кварцевого песка под действием теплоты в значительной степени изменяют свои физико-механические свойства. Быстрое расширение кварца вызывает появление значительных внутренних напряжений в песчинках, их разрушение, превращение в пыль и соответствующее изменение зернового состава формовочной смеси. Увеличение количества пылевидных частиц в смеси происходит также за счёт сгорания различных добавок.

При температуре $700\div 800$ °С глина теряет связующую способность и превращается в пыль, которая резко уменьшает газопроницаемость формовочной смеси. Органические связующие материалы частично сгорают, а частично коксуются, образуя золу и мелкие частицы углерода. Эти вещества заполняют поры формовочной смеси, снижают её газопроницаемость и огнеупорность.

Неорганические связующие материалы, например жидкое стекло, при твердении образуют на поверхности песчинок прочную нерастворимую плёнку, которая делает невозможным повторное использование формовочной смеси.

Толщина слоя формовочной или стержневой смеси, в которой происходят необратимые процессы при заливке металла, составляет $20\div 30$ мм (около 15% от объёма формы). Основная же масса формовочной смеси практически не претерпевает изменений, и после выбивки используется повторно.

Для восстановления необходимых свойств формовочной смеси её подвергают специальной обработке – регенерации. Регенерация это совокупность технологических операций, связанных с восстановлением физико-механических свойств песка из отработанных формовочных и стержневых смесей.

Известно, что на 1 т годных чугунных отливок расходуется примерно $5\div 10$ м³ формовочной и $0,6\div 0,7$ м³ стержневой смесей. Почти 95% всех смесей – это смеси, свойства которых в процессе заливки металлом не изменяются. Около $4\div 7\%$ смеси в результате резкого изменения свойств выбрасываются в отвал. Для компенсации этого количества смеси ежегодно на подвоз свежих материалов, их хранение и переработку затрачиваются значительные средства. В связи с этим важной проблемой становится возможность многократного использования формовочных материалов, благодаря восстановлению первоначальных свойств песчаной основы смеси, т. е. её регенерация.

В литейных цехах при подготовке исходных формовочных материалов значительное место занимает процесс сепарации, т. е. разделение мелкодисперсных материалов по фракциям. Например, при помолу глины или песка неотъемлемой операцией является сепарация продукта помола; при переработке и подготовке отработанных смесей также широко используется сепарация, т. е. удаление мелких фракций песка.

При сепарации отработанных формовочных смесей, в отличие от регенерации, не восстанавливается качество исходного материала, т. е.

не удаляется инертная плёнка с поверхности песчинок, а только обес-
печивается обеспыливание смеси.

8.2 Магнитные железоотделители

8.2.1 Шкивные железоотделители

Шкивный электромагнитный многокатушечный железоотдели-
тель (рис. 62, а) состоит из вала 1, вращающегося в подшипниках б,
металлических сердечников 3, намотанных на них катушек 2, двух то-
коподводящих колец 4, 5. На электромагнитный шкив подаётся постое-
нный ток. Направление витков и тока в катушках обеспечивает чере-
дование полярности сердечников. Катушки пропитывают и заливают
теплопроводящим изолирующим составом, а для предохранения от по-
вреждений закрывают латунными кольцами.

Шкивные электромагнитные железоотделители обычно ставят в
качестве ведущего шкива ленточного конвейера. Отработанная смесь
при перевалке через электромагнитный шкив разделяется: магнитные
включения притягиваются к шкиву и выводятся из зоны действия элек-
тромагнитного поля (рис. 8.1, б).

На рис. 8.1, в показана схема магнитного шкива, отличающегося
от описанного выше многокатушечного тем, что у него длина катушки
1 равна ширине межполюсного воздушного зазора. Это позволяет маг-
нитопровод 2 выполнить цельнолитым, катушку наматывать непосред-
ственно на магнитопровод, исключив изготовление трудоёмкого кар-
каса. Конструкция его и изготовление значительно проще, магнитная
сила в 1,5÷2 раза выше, он в 2 раза легче многокатушечных. Распреде-
ление магнитного поля по длине шкива ближе соответствует характеру
распределения смеси по ширине ленты.

На ферромагнитное тело, перемещающееся в слое отработанной
формовочной смеси, действует сила тяжести, магнитная сила сепара-
тора и сила сопротивления движению, направленная противоположно
двум первым силам.

Величина силы тяжести не постоянна и зависит от угла между
направлением действия магнитной силы и вертикальной осью.

Действие магнитной силы всегда направлено по радиусу шкива,
а её величина зависит от ряда постоянных и переменных величин.

К постоянным величинам, влияющим на величину магнитной
силы, относятся: магнитная проницаемость вакуума и магнитная вос-
приимчивость извлекаемого тела, напряжённость магнитного поля на
поверхности шкива, а также объём извлекаемого тела и конструкция

шкива. Чем больше эти величины, тем больше магнитная сила. С другой стороны, Чем больше расстояние от поверхности шкива до извлекаемого тела, тем меньше величина действующей на него магнитной силы.

Одна и та же магнитная сила, действующая на извлекаемое тело при данных условиях, может совершить различную работу в зависимости от силы сопротивления движению этого тела. Сила сопротивления движению зависит от ряда факторов: угла естественного откоса материала, из которого извлекается тело; геометрической формы извлекаемого тела; коэффициента трения извлекаемого тела и материала и величины начального напряжения сдвига.

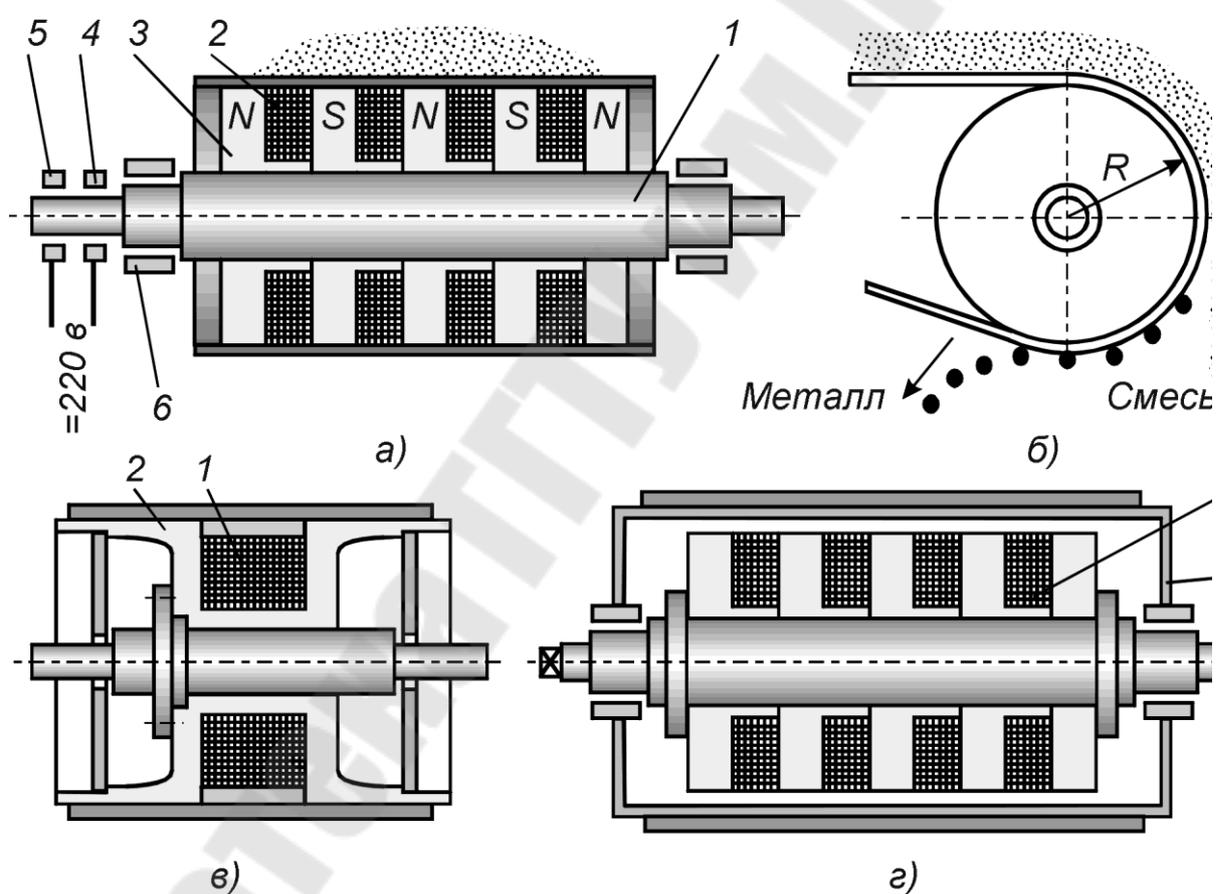


Рисунок 8.1 Устройство магнитных железоотделителей

Барабанный железоотделитель (рис. 8.1, *з*) отличается от магнитных шкивных тем, что у них магнитная система *1* неподвижна; вращается только барабан *2*. В работе они более надёжны, но менее производительны.

8.2.2 Ленточные магнитные железоотделители

В тех случаях, когда по каким-либо соображениям требуется производить отбор скрапа не в конце ленточного конвейера, а где-нибудь в средней части, то тогда применяют ленточный магнитный железоотделитель.

Ленточный магнитный железоотделитель (рис. 8.2) представляет собой короткий ленточный конвейер 1, между верхней и нижней ветвями ленты которого помещён плоский электромагнит 2. Железоотделитель размещают над основным ленточным конвейером 3 перпендикулярно его оси. Металлические частицы, движущиеся по ленте основного конвейера 3, притягиваются электромагнитом 2 к ленте 1 железоотделителя и перемещаются в сторону. Выйдя из зоны действия магнитного поля, они упадут в специальный короб или на ленту специального конвейера.

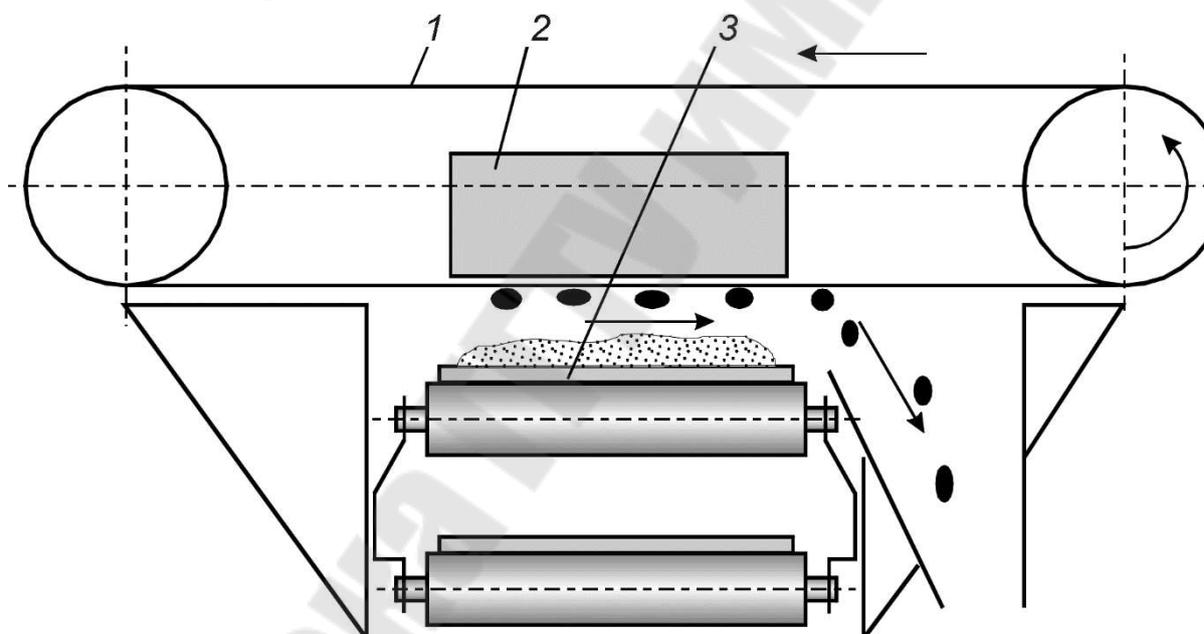


Рисунок 8.2. Устройство ленточного магнитного железоотделителя

8.3 Оборудование для просеивания формовочных материалов

Сито – это устройство для разделения по фракциям измельчённого сыпучего материала, проходящего через отверстия жёсткой плоскости.

По конструкции различают плоские, барабанные и вибрационные сита. Плоские механические сита бывают горизонтальные и наклонные. Барабанные сита бывают цилиндрические, конические и полигональные, причём всё они могут быть как горизонтальными, так и

наклонными. В литейных цехах для просеивания песка и отработанных формовочных смесей используют, в основном, плоские механические, барабанные полигональные и вибрационные сита.

8.3.1 Плоское механическое сито

Плоское механическое сито состоит из рамы 1, корпуса 3 с закреплёнными на нём решёткой 2 и эксцентриковым валом 4. Корпус 3 представляет собой жёсткую сварную конструкцию, лежащую на четырёх резиновых амортизаторах, которые установлены на раме. Эксцентриковый вал 4 (рис. 8.3) установлен в подшипниках 7, смонтированных на раме, и проходит через подшипники 6, установленные в корпусе. Чтобы исключить взаимодействие вала с просеиваемым материалом, вал закрыт цилиндром 5. Решётка 2 сита представляет собой металлический лист, в котором в шахматном порядке просверлены отверстия диаметром $10 \div 20$ мм. Угол наклона сита регулируется в пределах $8 \div 14^\circ$ в зависимости от количества комьев в просеиваемом материале. Это выполняется посредством перестановки на корпусе кронштейнов амортизаторов.

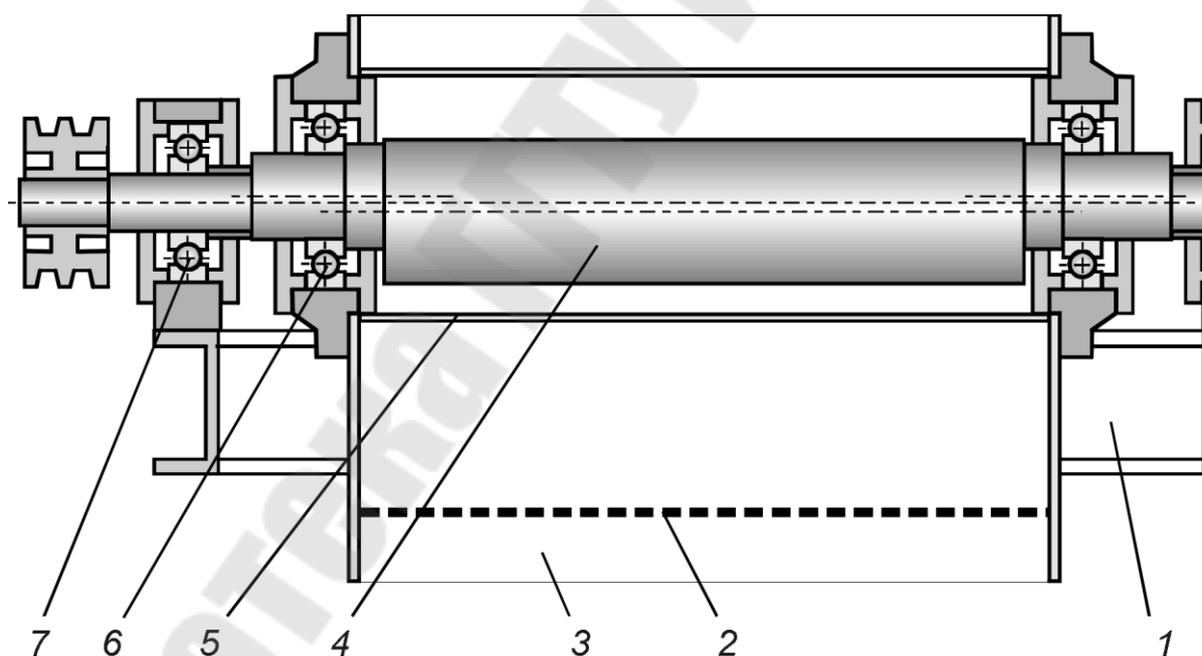


Рисунок 8.3 Плоское механическое сито

Просеивание сыпучих материалов происходит благодаря сложному относительному движению сита и материала, вызываемого вращением эксцентрикового вала с амплитудой $5 \div 6$ мм. Вращение эксцентрикового вала осуществляется электродвигателем через клиноремённую передачу.

8.3.2 Барabanное полигональное сито

Барabanные полигональные сита получили в литейных цехах наибольшее распространение. Эти сита применяют главным образом для просеивания отработанных формовочных смесей.

Основные узлы барabanного полигонального сита (рис. 8.4) – рама 1, вал 2 с барабаном 3 и кожух 4. Многогранный сужающийся барабан жёстко крепят к валу 2, вращающемуся в подшипниках 7. Грани барабана выполнены в виде сменных полотен сита; с торцов барабан открыт. Барабан заключён в открытый снизу кожух, к которому крепят приёмный лоток 5 для просеянного материала и патрубков 6 для присоединения вытяжной вентиляции цеха (отсос пыли, образующийся при просеивании). В стенках кожуха имеются закрывающиеся крышки окна для смены полотен сита. Конструкция сита позволяет при необходимости установить внутри барабана дополнительный барабан (набранный из прутков) для предварительного отбора самых крупных комьев, которые могут порвать полотно сита.

Подлежащий просеиванию сыпучий материал непрерывно поступает с ленточного конвейера через приёмный жёлоб 5 внутрь вращающегося барабана (через его малый торец). Внутри барабана материал пересыпается с грани на грань. При этом мелкие частицы просеиваются и падают вниз. Часть крупных комьев разбивается и также просеивается. Уцелевшие комья скатываются к большому торцу барабана и выпадают из барабана в специальный бункер.

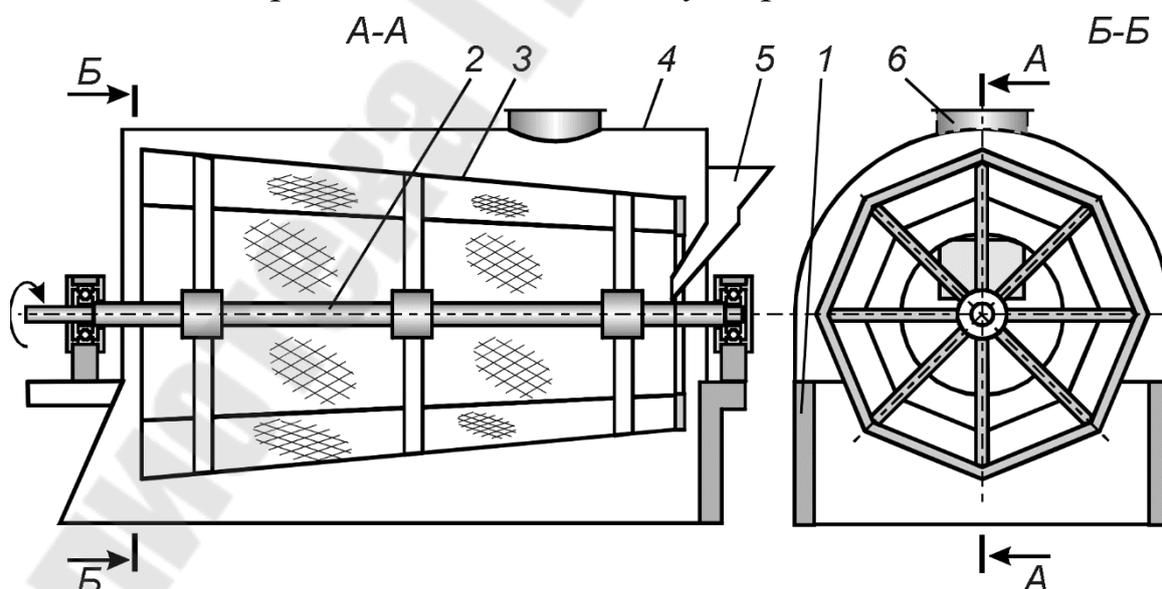


Рисунок 8.4 Полигональное сито

Размеры ячеек барабанных сит для отработанной смеси 10÷20 мм по ширине и 20÷50 мм по длине. Основное достоинство этих сит – надёжность в эксплуатации, а недостаток – большие габариты. Частота вращения (с^{-1}) барабана, при котором материал не прижимается к стенкам, а производительность максимальна, находится по формуле

$$n = \frac{0,17 \div 0,25}{\sqrt{R}}, \quad (8.1)$$

где R – радиус меньшей вписанной окружности барабана, м.

8.3.3 Вибрационное сито

Вибрационное сито (рис. 8.5) состоит из рамы 1, опирающейся на пружины 2, и двух неуравновешенных валов 3, вращение которых осуществляется в противоположных направлениях. Это создаёт направленные вертикальные колебания при горизонтальном расположении сита. Эти сита более производительны, экономичнее плоских механических сит и имеют более высокий коэффициент просеивания.

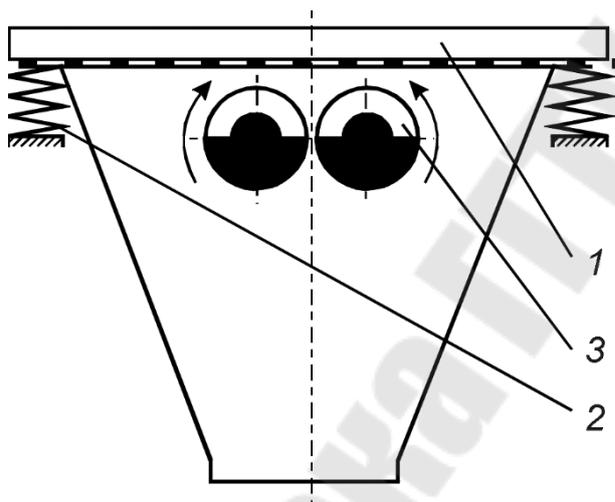


Рисунок 8.5 Вибрационное сито

Недостатками вибрационных сит являются значительный шум при работе, повышенный износ и передача части энергии колебаний на опорные конструкции.

Наиболее выгодный режим работы вибрационного сита будет в том случае, когда период собственных колебаний сита равен периоду вынужденных колебаний (резонанс).

Для этого случая суммарная масса (в кг) возмущающих грузов двухвального вибровозбудителя m_0 можно выразить формулой

$$m_0 = \frac{m_c a}{e}, \quad (8.2)$$

где m_c – масса сита и материала, лежащего на нём, кг;
 a – амплитуда колебаний сита, м;
 e – эксцентриситет (плечо) дебаланса, м.

Исходя из конструктивных соображений величину амплитуды принимают в пределах $a = 1 \div 5$ мм. Частоту колебаний (Гц) сита принимают равной частоте вращения электродвигателя $n = 25 \div 50$ с⁻¹ (1500 ÷ 3000 об/мин). Производительность вибрационных сит зависит также и от размеров ячеек (величина которых 0,1 ÷ 100 мм) и колеблется от 5 до 20 м³/ч.

Мощность привода вибрационного сита (в кВт) зависит от массы сита и материала, частоты и амплитуды колебаний сита и выражается зависимостью

$$N = \frac{m_c n^3 a^2}{337 \cdot 10^4}, \quad (8.3)$$

Из формулы видно, что мощность главным образом зависит от частоты вращения приводного вала и амплитуды колебаний.

8.3.4 Основы теории работы плоского механического сита

Эффективность просеивания оценивается коэффициентом ε :

$$\varepsilon = \frac{m}{m_0}, \quad (8.4)$$

где m_0 – масса зёрен в загрузке, размер которых меньше, чем размер отверстий сита, кг.

m – масса зёрен, прошедших через сито, кг;

Величина ε зависит от направления перемещения просеиваемого материала относительно полотна сита. Наиболее благоприятным для просеивания будет направление движения материала, перпендикулярное к полотну сита. Наихудшим случаем будет движение материала вдоль полна. В этом случае некоторые частицы будут постоянно перелетать через отверстия, не попадая в них. Величина скорости движения материала вдоль полотна сита также существенно влияет на эффективность просеивания: при скоростях больших или меньших оптимальной эффективность падает.

Наиболее благоприятная скорость (м/с) для просеивания на плоском горизонтальном сите

$$v = 2,36\sqrt{d}, \quad (8.5)$$

где d – диаметр наибольшей частицы просеиваемого материала, м;

$$d \approx 0,8D, \quad (8.6)$$

D – диаметр отверстия в сите, м.

При плоских наклонных ситах скорость просеивания меньше, чем по формуле 131.

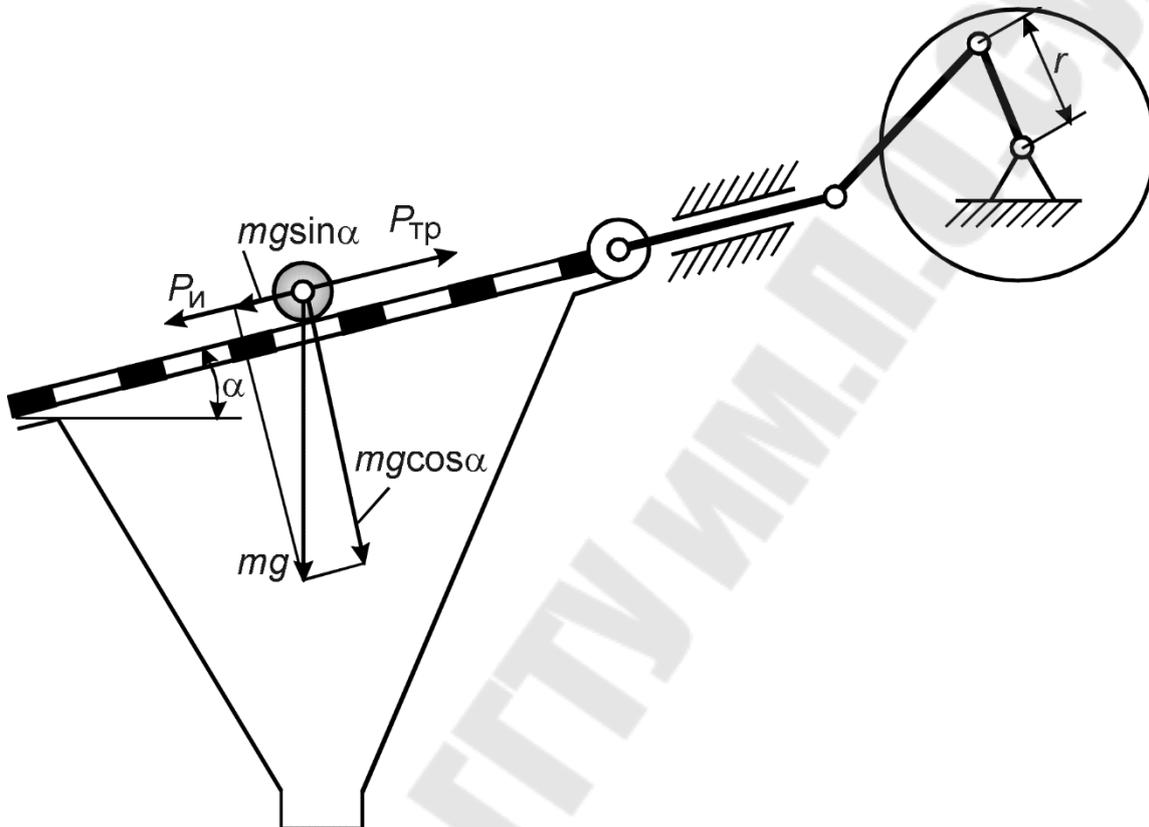


Рисунок 8.6 Расчётная схема наклонного качающегося сита

С целью повышения коэффициента эффективности просеивания, отверстия в полотне сита выполняют овальной формы. Причём, больший размер отверстия располагают в направлении движения материала.

Для нормальной работы плоского сита с углом наклона α и качанием вдоль наклонной плоскости (рис. 8.6) необходимо, чтобы сумма силы инерции $P_{и}$ и составляющей силы веса материала $mg \sin \alpha$ вдоль сита были бы больше силы трения $P_{тр}$ материала по ситу. В этом случае материал не будет самопроизвольно проскальзывать по ситу и сыпаться.

Это условие математически выражается следующим образом:

$$ma + mg \sin \alpha \geq fmg \cos \alpha, \quad (8.7)$$

где m – масса частицы просеиваемого материала, кг;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 a – ускорение движения частицы по сити, м/с²;
 f – коэффициент трения просеиваемого материала по сити.

Так как

$$a = \omega^2 r \quad \text{и} \quad \omega = \pi n, \quad (8.8)$$

где ω – угловая скорость кривошипа, рад/с;
 r – радиус кривошипа, м;
 n – минимальная частота вращения (с⁻¹) кривошипа, при которой обеспечивается движение материала по лотку сита вниз;

то, подставляя эти равенства в уравнение (8.7) и упрощая, получим

$$n \geq \sqrt{\frac{f \cos \alpha - \sin \alpha}{r}}, \quad (8.9)$$

Во избежание самопроизвольного скольжения материала по лотку сита, угол наклона α сита выбирают меньше угла трения материала по лотку.

8.4 Установки гомогенизации и охлаждения отработанных смесей

Установка для гомогенизации и охлаждения (рис. 8.7) включает следующие узлы. Барабан 3, служащий для увлажнения и усреднения отработанной смеси. Охладительный конвейер 8 с перфорированной металлической лентой и напорной вентиляционной установкой 11, служащей для продувки слоя отработанной смеси, движущейся по конвейеру 8. Конвейеров 2, 6, 12 и контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры.

Установка работает следующим образом. Как только по конвейеру 1 пойдёт отработанная смесь, датчик наличия смеси 2 даст команду на открытие водопроводного крана. Вода поступает в гомогенизационный барабан 3, сделанный из коррозионностойкой стали. Барабан конусообразно установлен на двух роликоподшипниковых опорах под углом

18° к горизонту и приводится во вращение электродвигателем мощностью 25 кВт и $n = 0,44 \text{ с}^{-1}$ (25 об/мин).

Падающий во внутреннюю часть барабана поток смеси опрыскивается водой из специального устройства 15. Это обеспечивает равномерное увлажнение отработанной смеси. Перемешанная смесь высыпается через борт барабана. Чтобы влажная смесь не прилипала к стенкам холодного барабана, его стенки и днище нагреваются инфракрасными излучателями 5.

В зависимости от влажности смеси в барабане меняется приводная мощность на его валу. В зависимости от температуры поступающей в барабан смеси, автоматически добавляется необходимое количество воды.

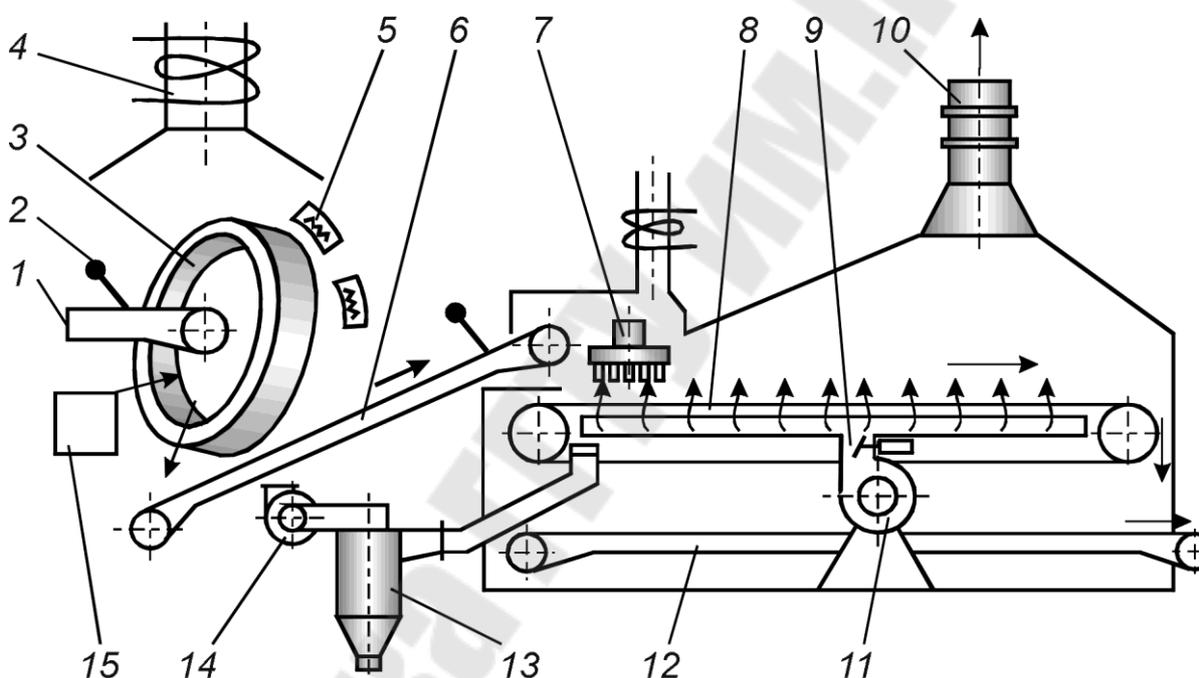


Рисунок 8.7 Схема установки для гомогенизации и охлаждения отработанной формовочной смеси

Пройдя по конвейеру 6, смесь поступает на охлаждающий пластинчатый конвейер 8, имеющий множество отверстий диаметром 2÷3 мм, расположенных с шагом 40x40 мм. Ворошитель 7 равномерно распределяет смесь по конвейеру. Вентилятор 11 нагнетает воздух в короб, расположенный под конвейером 8. Количество продуваемого воздуха 23000 м³/ч, давление 2,7 кПа. Проходя через отверстия в конвейере, нагнетаемый воздух пронизывает слой горячей и увлажнённой отработанной смеси. Смесь «закипает» и охлаждается благодаря интенсивному отбору паров, значительно обеспыливается, а

отработанный воздух уходит в циклоны и фильтры. Очищенный воздух и пары влаги выбрасываются после фильтров в атмосферу.

Охлаждённая смесь пересыпается с конвейера 8 на конвейер 12 и далее по системе ленточных конвейеров поступает в смесеприготовительное отделение. Температура поступающей в охладитель смеси равна приблизительно 100 °С, после охладителя – около 35 °С.

8.4.1 Устройства для регенерации отработанных смесей

Существуют следующие способы регенерации отработанных формовочных смесей: гидравлический, термический и пневматический.

Гидравлическая регенерация заключается в том, что после дробления комьев и магнитной сепарации зёрна отмываются от глины и пылевидных частиц. Промытый и очищенный от пыли песок обезвоживается или высушивается в печи для дальнейшего использования. При такой регенерации с зёрен песка удаляются глинистые плёнки и легко растворимые в воде связующие вещества.

Для отделения глины и пыли прибегают к гидравлической сепарации, в процессе которой тяжёлые зёрна оседают в потоке воды, а лёгкие остаются во взвешенном состоянии. Осадок просушивают, просеивают, и он может быть использован взамен свежего песка.

Преимущество способа – полное отсутствие пыли.

Гидравлический способ регенерации и сепарации песка имеет следующие недостатки: 1) расход воды на 1 т промытого песка составляет 12÷15 м³; 2) необходимо устройство специальных отстойников, занимающих большие площади. После регенерации песок следует сушить, на что дополнительно расходуется топливо (4÷5% от массы песка).

Гидравлический способ регенерации применяют в комплексе с гидравлической или песко-гидравлической выбивкой стержней и очисткой при изготовлении крупных отливок. Для смесей, приготовленных на трудно растворимых в воде смоляных связующих, имеющих высокую прочность после взаимодействия с металлом в форме, этот способ регенерации не пригоден.

При термической регенерации отработанная формовочная смесь прокаливается при 550÷800 °С в специальных печах с последующим охлаждением и воздушной сепарацией.

При нагреве песка инертные плёнки, обволакивающие зёрна, сгорают, при этом возвращаются его первоначальные свойства. Для нагрева смеси при термической регенерации используют печи с кипящим

слоем. Обычно такие установки не только обжигают песок, но и охлаждают его. Производительность их невысокая (0,5÷0,6 т/ч).

Термический способ регенерации песчано-глинистых смесей экономически малоэффективен, так как требует больших затрат энергии на нагревание смеси, её охлаждение и обеспыливание. Кроме того, при термической обработке приходит в негодность часть активной глины, которая могла быть использована в смеси как формовочный материал. При регенерации смесей на смоляных связующих этот способ эффективен.

Установки для пневматической регенерации (рис. 8.8) более просты и компактны. В этих установках воздух используется как движущая сила, а зёрна песка, вследствие своих абразивных свойств, соприкасаясь в движении, очищают свою поверхность от неактивной плёнки.

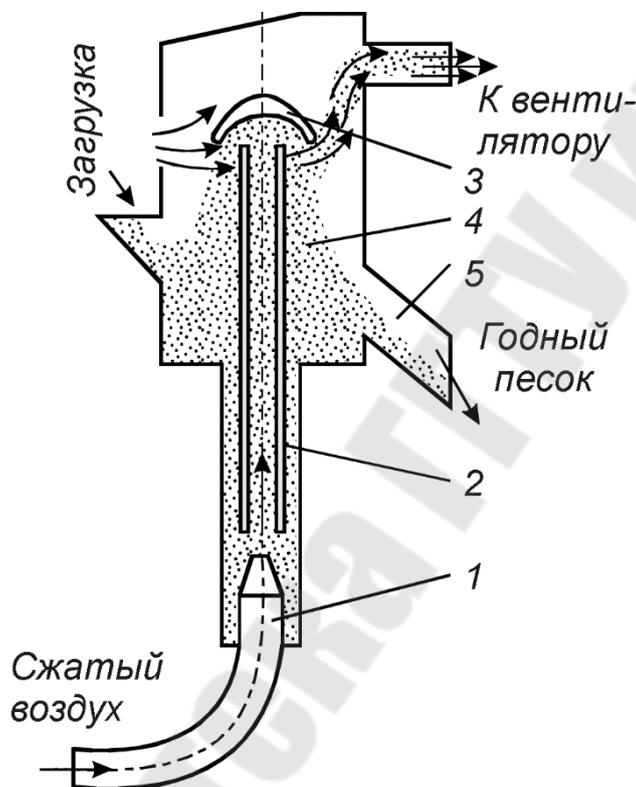


Рисунок 8.8 Схема пневматического регенератора

Воздух от вентилятора высокого давления подаётся к соплу 1, на выходе которого он приобретает высокую скорость истечения. В результате этого песок вместе с воздухом эжектируется (увлекается) в трубу 2, где его скорость ещё более возрастает. Благодаря взаимному столкновению песчинок в процессе их движения по трубе 2, а также в результате удара их о конический экран 3 происходит срыв неактивной

оболочки связующего с поверхности зёрен песка. Частично регенерированный песок из коллектора 4 разделяется на два потока: один направляется по жёлобу 5 в следующую аналогичную камеру (их может быть последовательно соединено от 2 до 8), а другой в нижнюю часть коллектора 4 и опять увлекается воздухом в трубу 2. Одновременно с

перетеканием песка в следующую камеру идёт непрерывная загрузка не регенерированного песка.

Установка позволяет в широких пределах регулировать производительность и силу удара песчинок о конический экран. В установке имеется классификатор песка каскадного типа и вращающееся сито.

Пневматические регенерационные установки обычно снабжены мощными эффективными вентиляционными установками для очистки от пыли. Благодаря простоте конструкции и надёжности в эксплуатации пневматические регенерационные установки находят всё большее распространение. Недостаток этого способа регенерации в том, что происходит частичное дробление песка.

9 ОБОРУДОВАНИЕ ХРАНЕНИЯ И РАЗДАЧИ МАТЕРИАЛОВ И СМЕСЕЙ

9.1 Бункеры для хранения сыпучих материалов

Для хранения и раздачи формовочных материалов применяют бункеры различной ёмкости (от 2÷3 до 50÷100 м³) в зависимости от назначения.

Бункеры бывают прямоугольной, цилиндрической и конической формы с вертикальными или наклонными стенками. Для нормального опорожнения бункера угол наклона стенок бункеров к горизонту α должен быть на 5÷10° больше угла естественного откоса материала.

Для исключения зависания в бункерах материала принимают следующие меры:

а) на бункерах устанавливают вибраторы (на 1/3 высоты бункера, считая от нижнего основания);

б) стенки бункеров выполняют вертикальными;

в) внутренние поверхности бункеров покрывают специальными лаками или облицовывают синтетическими или нержавеющей стали материалами;

г) применяют бункеры с эластичными стенками. Материал бункеров в этом случае – прорезиненная или синтетическая ткань, обладающая высокой прочностью и эластичностью;

д) между стенками бункеров и материалом вдувают слой воздуха, уменьшая тем самым внешнее трение материала о стенку бункера.

Положительно зарекомендовали себя бункеры с вертикальными стенками, у которых зависание материала полностью отсутствует.

Производительность бункеров, м³/ч

$$\Pi = 3600Fv, \quad (9.1)$$

где F – площадь горловины бункера, м²;

v – скорость истечения материала из бункера, м/с.

Для бункеров с большим углом α

$$v = \lambda \sqrt{2gh}, \quad (9.2)$$

где λ – коэффициент истечения;

h – высота слоя материала в бункере, м.

Для бункеров с относительно малым углом α

$$v = \lambda \sqrt{3,3gR}, \quad (9.3)$$

где R – гидравлический радиус отверстия истечения, м;
 L – периметр горловины бункера, м.

$$R = \frac{F}{L}. \quad (9.4)$$

Объём пирамидального бункера, м³

$$V_{\text{кон}} = \frac{\pi h}{12} [AB + (A + B)(B + b) + ab], \quad (9.5)$$

где A, B, a, b – размеры соответственно верхнего и нижнего оснований усечённой пирамиды, м;
 h – высота бункера, м.

Давление материала (Па) на горизонтальную площадку (рис. 9.1)

$$p_y = \rho y, \quad (9.6)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³;
 y – расстояние до площадки от уровня поверхности материала, м.

Давление материала (в Па) на вертикальные стенки бункера

$$p_x = m \rho y, \quad (9.7)$$

где m – коэффициент сыпучести материала (коэффициент Ренкина)

$$m = \frac{1 - \sin \psi}{1 + \sin \psi}, \quad (9.8)$$

здесь ψ – угол естественного откоса материала в покое.

Нормальное давление (в Па) на наклонную стенку бункера

$$p_n = p_y (\cos^2 \alpha + m \sin^2 \alpha), \quad (9.9)$$

Толщину листов обшивки бункеров определяют расчётным путём. При этом исходят из площади стенки бункера, давления материала на стенку и допускаемого напряжения материала обшивки.

На практике с учётом жёсткости бункера и коррозии металла толщину листа обшивки бункера принимают в пределах 4÷8 мм. Материал – стали Ст2, Ст3. Конструкция бункеров – сварная.

9.2 Затворы

Затвор – устройство для периодической выдачи материала из бункера в необходимом количестве. Затворы бывают секторные, челюстные и шибберные.

9.2.1 Секторный затвор

Секторный затвор (рис. 9.2) представляет собой цилиндрическую секторную задвижку 1, вращающуюся в шарнире 2 вокруг нижней части коробки 3 затвора. Открывается и закрывается затвор либо вручную за рычаг 4, укрепленный на щеке секторной задвижки, либо с помощью пневматического цилиндра. Для облегчения открывания затвора на рычаг 4 закрепляют противовес 5. Недостаток секторного затвора – смещение выпускаемой из бункера струи материала при открывании или закрытии. Усилие F на рычаге при открывании затвора не должно быть более 200 Н. Необходимая длина рычагов a , b и масса груза противовеса m_{Γ} определяется из уравнения моментов сил, действующих в затворе относительно оси вращения сектора (без учёта угла наклона рычага).

$$Fa \approx PRf_1 + (P + m_0g) \frac{d}{2} f_2 + m_{\Gamma}gb, \quad (9.10)$$

где PRf_1 – момент силы трения материала по секторной задвижке, Н·м;

$(P + m_0g)df_2/2$ – момент силы трения в цапфах сектора, Н·м;

$m_{\Gamma}gb$ – момент, создаваемый противовесом, Н·м;

P – вертикальное давление столба материала на затвор, Н;

m_0 – масса сектора, кг;

m_{Γ} – масса груза противовеса, кг;

R – плечо силы трения, м;

a , b – плечи рычага управления и противовеса, м;

d – диаметр цапфы сектора, м;

f_1 – коэффициент трения сектора по материалу ($f_1 = 0,6 \div 1,2$);

f_2 – коэффициент трения в цапфах сектора ($f_2 = 0,25$);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Подставив в уравнение (9.10) значение $F = 200 \text{ Н}$ и другие известные значения, определяют силу тяжести (Н) груза противовеса. Значения величин a, b, R, d, m_0 задаются конструктивно.

9.2.2 Челюстной затвор

Челюстной затвор (рис. 9.3) состоит из двух цилиндрических секторных задвижек 1, соединённых между собой зубчатыми секторами 2, открываемыми либо вручную, либо одним или двумя пневматическими цилиндрами 3.

Челюстные затворы более распространены, чем секторные, так как они обеспечивают центральное истечение материала из бункера. Кроме того, у них ход штока пневматического цилиндра или рычага приблизительно в 2 раза меньше, чем у секторного затвора.

9.2.3 Шиберный затвор

Шиберный затвор (рис. 9.4) состоит из плоской задвижки 1, плоских направляющих 2 или роликов. Приводом служит пневматический цилиндр или зубчатая рейка 5 с шестернёй 4, вращение которой передаётся от цепного блока 3. Шиберные затворы в литейных цехах применяют реже, чем челюстные, так как они менее надёжны в эксплуатации.

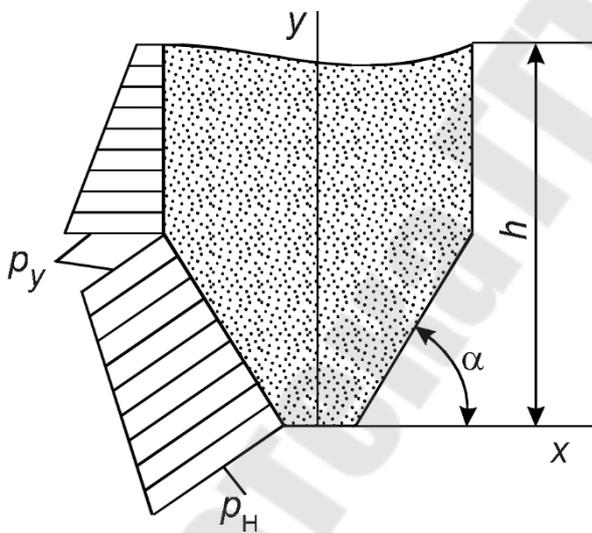


Рисунок 9.1 Эпюра давления на стенки бункера

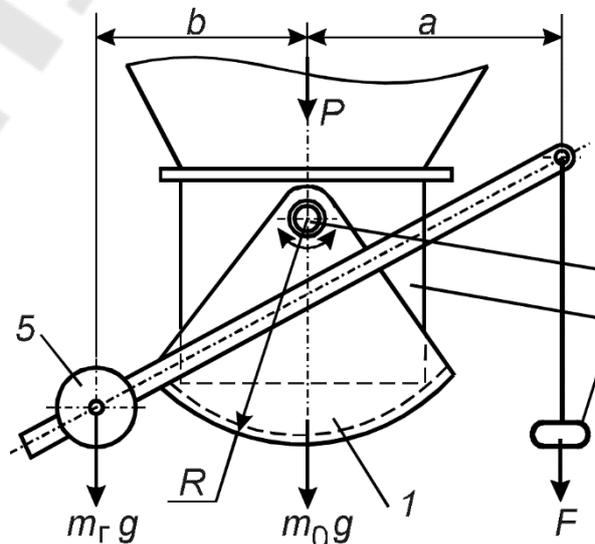


Рисунок 9.2 Секторный затвор

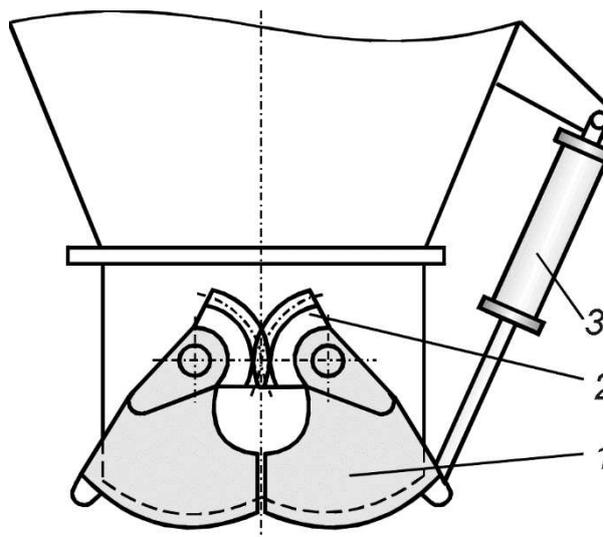


Рисунок 9.3 Челюстной затвор

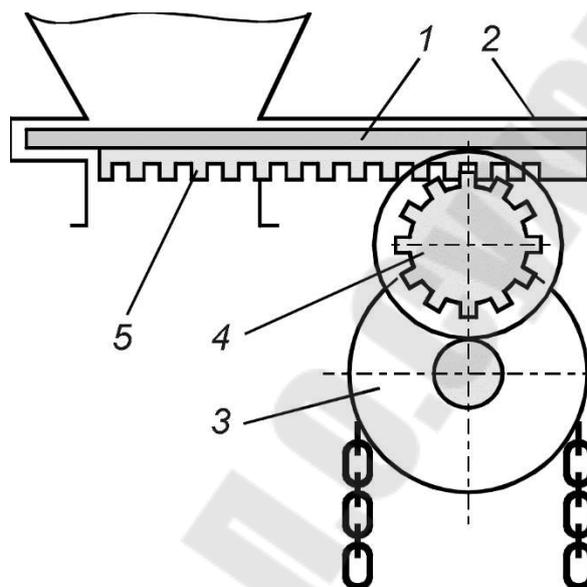


Рисунок 9.4 Шиберный затвор

9.3 Питатели

Питатели – это устройства, служащие для равномерной и непрерывной выдачи материала из бункеров.

Питатели бывают: ленточные; пластинчатые; шнековые; лотковые; тарельчатые; лопастные или звёздчатые.

9.3.1 Ленточный питатель

Ленточный питатель (рис. 9.5) состоит из ленты 1 шириной 1000÷1200 мм, приводного 2 и натяжного 3 барабанов, поддерживающих роликов 4. Такой питатель прост и надёжен в эксплуатации. Количество выдаваемого материала регулируется заслонкой 5 в передней стенке бункера.

9.3.2 Пластинчатый питатель

Пластинчатый питатель (рис. 9.6) представляет собой полотно 1, состоящее из металлических пластин. Зазоры между пластинами перекрываются, чтобы предотвратить просыпание материала. Для этого соседние пластины и борта находят друг на друга настолько, чтобы при огибании звёздочки на конце питателя между ними не образовался зазор. Полотно крепится к двум тяговым цепям 2, соединёнными между собой осями, с одетыми на них роликами 3. Ширина полотна 300÷1000 мм, скорость движения полотна питателей 0,10÷0,20 м/с. Количество выдаваемого материала регулируется заслонкой 4. Привод осуществляется от электродвигателя 6 через редуктор 5 к звёздочке 7. Для поддержания верхней ветви питателя служат направляющие 8. Для

компенсации увеличения длины цепей вследствие износа служит натяжное устройство 9.

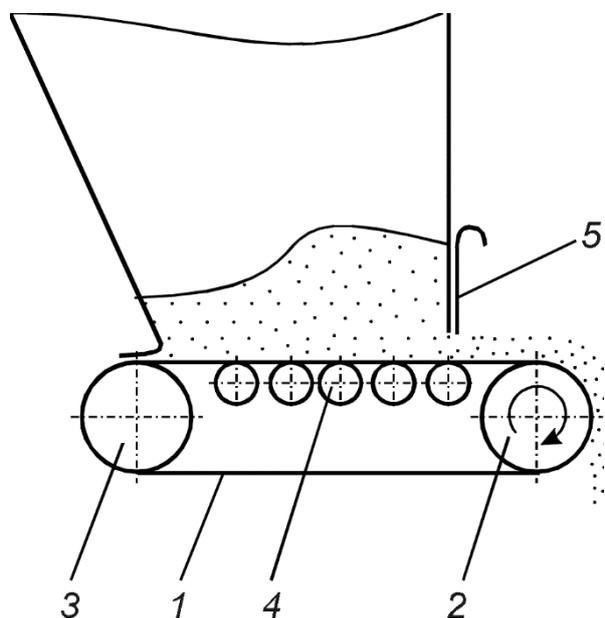


Рисунок 9.5 Ленточный питатель

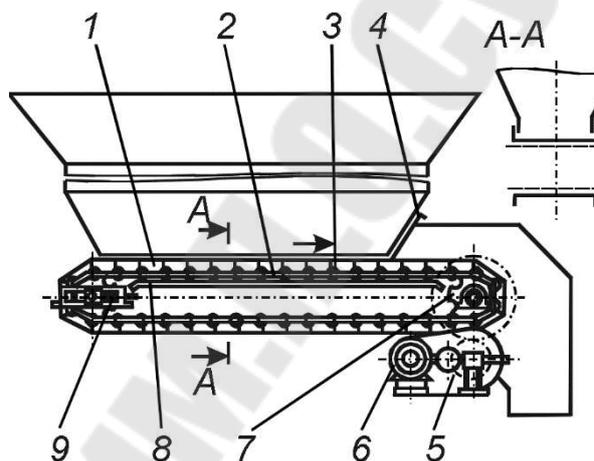


Рисунок 9.6 Пластинчатый питатель

9.3.3 Шнековый питатель

Шнековый питатель (рис. 9.7) состоит из жёлоба 1 и двух, трёх и более горизонтально расположенных винтов 2. В такой конструкции материал перемещается по всему большому сечению дна бункера, что исключает зависание материала. Количество выдаваемого материала регулируется частотой вращения винта. Шнековый питатель менее надёжен в работе, чем, например, ленточный, так как винт и жёлоб быстро изнашиваются.

9.3.4 Лотковый питатель

Лотковый питатель (рис. 9.8) состоит из лотка 1, пружинящих пластин 4, жёстко скреплённых с жёлобом и металлической рамой 5. Лоток совершает возвратно-поступательные колебания с частотой 50 Гц и амплитудой ≈ 2 мм с помощью электромагнитного вибратора 3. Во время хода вперёд лоток на пружинах поднимается. Вследствие этого материал, находящийся в лотке, прижимается к дну лотка и перемещается вместе с ним. При ходе назад материал по инерции проскальзывает в лотке в направлении транспортирования.

Лоток при этом опускается, что способствует меньшему сцеплению материала и жёлоба. Регулировка количества выдаваемого

материала производится изменением амплитуды колебаний и регулированием заслонки 2.

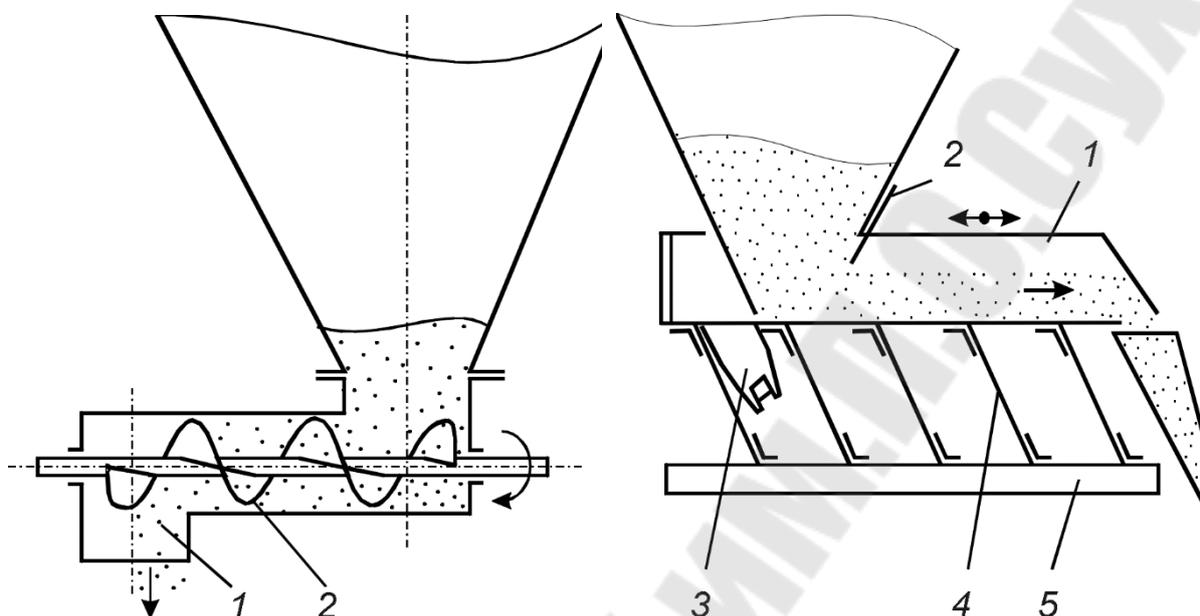


Рисунок 9.7 Шнековый питатель Рисунок 9.8 Лотковый питатель

9.3.5 Тарельчатый питатель

Тарельчатый питатель (рис. 9.9) представляет собой вращающийся вокруг вертикальной оси диск 1. Из бункера материал поступает на этот диск и снимается с него скребком 2. Для предотвращения просыпания материала с диска служит металлическое кольцо 3 с резиновой уплотнительной манжетой. Выдача материала регулируется путём подачи скребка 9 вдоль его продольной оси, а также изменением зазора между кольцом 3 и диском 1.

9.3.6 Лопастной питатель

Лопастной питатель (рис. 9.10) представляет собой корпус 1, внутри которого вокруг горизонтальной оси вращается ротор со встроенными лопатками 2. Изменением частоты вращения ротора можно регулировать количество выдаваемого из бункера материала.

9.4 Дозаторы

Дозаторы – это устройства, служащие для точного дозирования заданного количества компонентов сухих и жидких формовочных материалов и смесей. Различают объёмные и весовые дозаторы. Объёмные дозаторы могут быть непрерывного действия и периодического.

У дозаторов непрерывного действия заданное количество компонента определяется временем выдачи или частотой вращения вала дозатора. У дозаторов периодического действия заданное количество сухого компонента определяется объёмом ёмкости. Роль объёмных дозаторов непрерывного действия могут выполнять рассмотренные выше питатели: ленточные, пластинчатые, шнековые, лотковые, тарельчатые и лопастные. Объём дозы в этом случае определяется длительностью работы дозатора, например, с помощью реле времени.

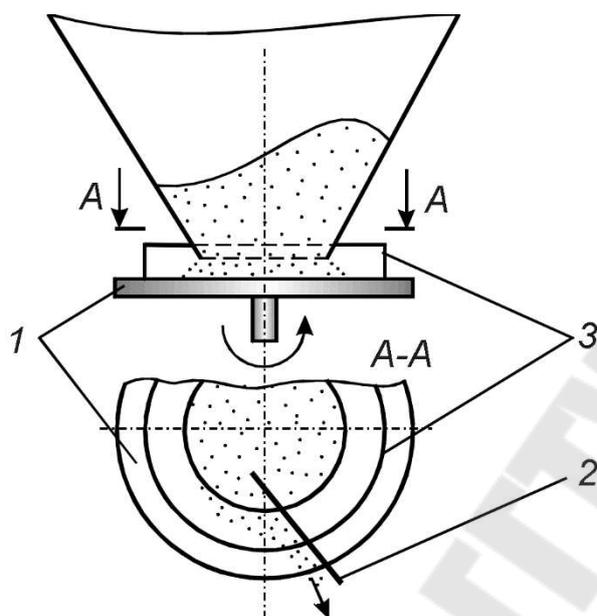


Рисунок 9.9. Тарельчатый питатель

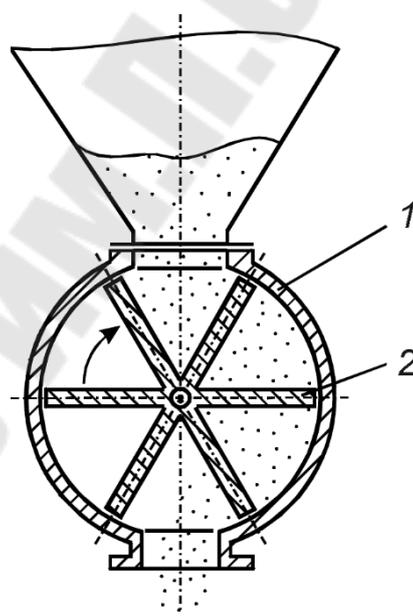


Рисунок 9.10 Лопастной питатель

Объёмные дозаторы непрерывного действия с дозировкой материала по времени легко встраиваются в автоматический цикл работы установки. Из них наибольшее распространение получили тарельчатые, многошнековые и ленточные, как наиболее надёжные.

К объёмным дозаторам периодического действия относятся бункерные, коробчатые, поворотные и шиберные дозаторы.

9.4.1 Бункерный дозатор

Бункерный дозатор (рис. 9.11) состоит из промежуточной ёмкости 1 (бункер малой ёмкости) с челюстным затвором 2 и пневматическим цилиндром 3 привода затвора.

При открывании челюстного затвора 4 основного бункера 5 материал пересыпается в малый бункер-дозатор 1. Затем затвор 4

основного бункера 5 закрывается, а открывается затвор 2 бункера-дозатора. Объём дозы определяется объёмом бункера-дозатора.

9.4.2 Коробчатый дозатор

Коробчатый дозатор (рис. 9.12) представляет собой коробку 1, расположенную под бункером и передвигающуюся от него к месту разгрузки пневмоцилиндром 2. Дном коробки является неподвижная плита 3. Регулировка объёма дозы осуществляется перестановкой задней стенки коробки.

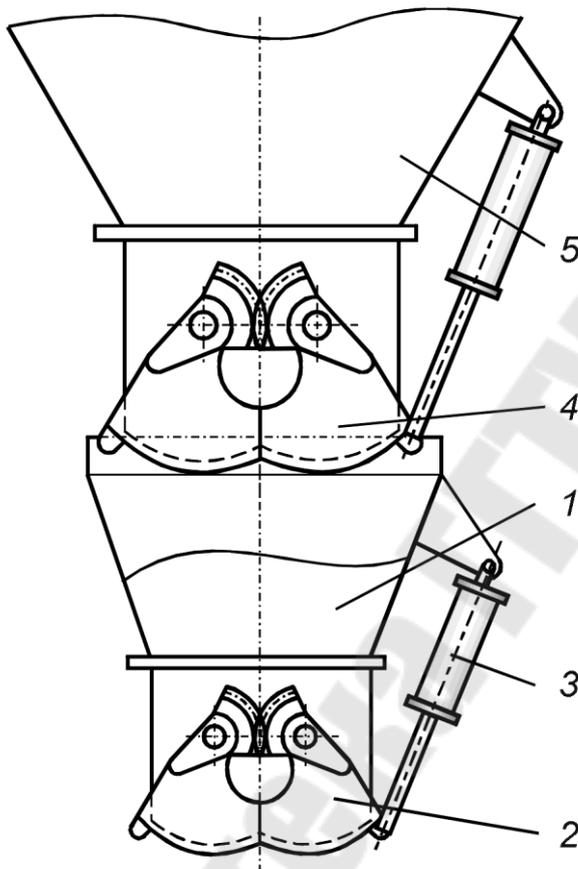


Рисунок 9.11 Бункерный дозатор

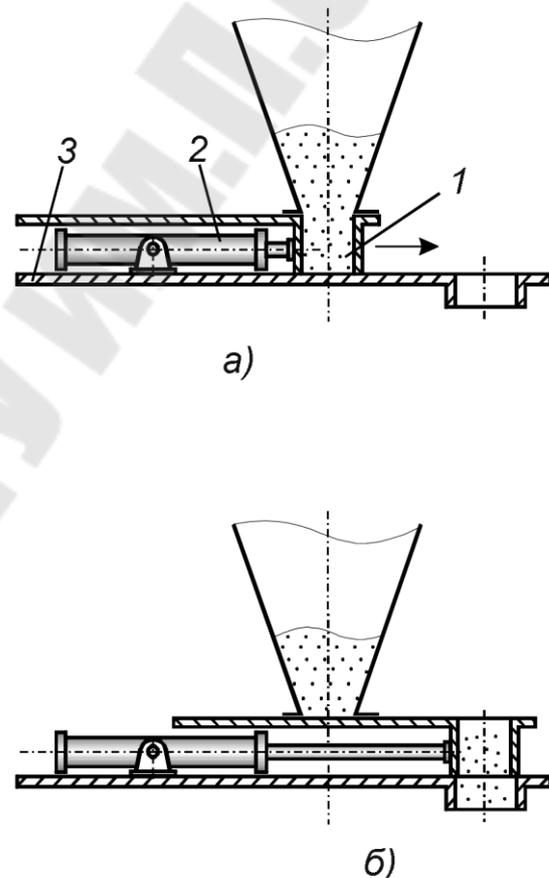


Рисунок 9.12 Коробчатый дозатор

9.4.3 Поворотный дозатор

Поворотный дозатор (рис. 9.13) состоит из поворотного короба 1 и пневматического цилиндра 2. Дозатор легко управляется и обеспечивает точное дозирование. Объём дозы определяется объёмом короба.

9.4.4 Шиберный дозатор

Шиберный дозатор (рис. 83) представляет собой трубу 1 прямоугольного сечения или мягкий рукав и два шибера 2, которые перемещаются пневматическими цилиндрами 3. Объем дозы определяется объемом трубы, заключенной между двумя шиберами.

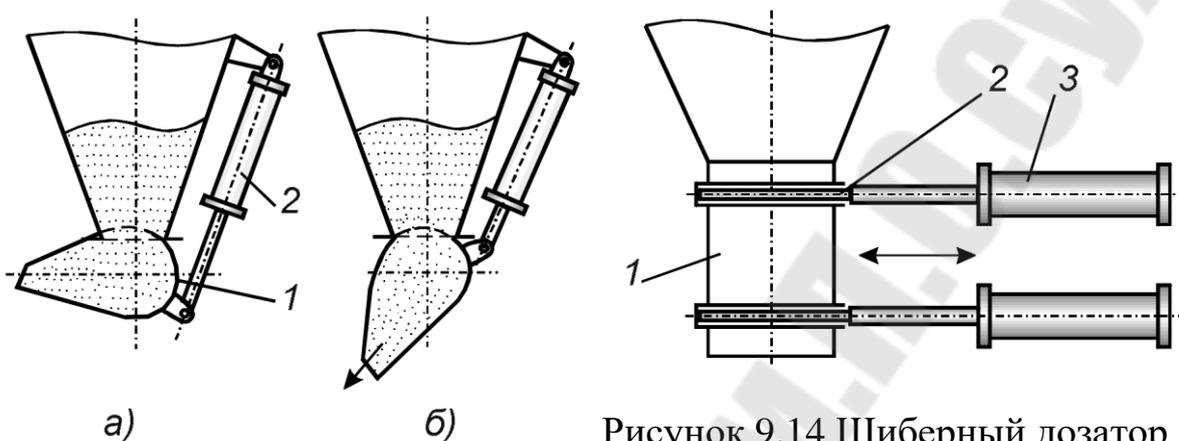


Рисунок 9.13 Поворотный дозатор

Серьёзным недостатком дозаторов периодического действия (рис. 9.10–9.13) является то, что у них почти невозможно изменять величину дозируемой порции, по крайней мере, без остановки агрегатов. В силу этого и некоторых других причин, например, из-за повышенного износа, *эти дозаторы применяются всё реже и реже.*

9.4.5 Весовые дозаторы

Весовые дозаторы бывают периодического и непрерывного действия.

Весовые дозаторы периодического действия конструктивно представляют собой платформу, опирающуюся на измерительный преобразователь, например, тензометрический. Точность дозирования у весовых дозаторов выше, чем у объёмных дозаторов.

Весовые дозаторы непрерывного действия сочетают в одном агрегате устройства для взвешивания и регулирования подачи материала; применяются, в основном, в автоматизированном производстве. Конструктивно они могут быть устроены в виде ленточного конвейера, один из поддерживающих роликов которого опирается на измерительные преобразователи. Измерение происходит путём считывания показаний через малые промежутки времени с суммированием результатов. По результатам измерения можно менять скорость движения

конвейера, регулируя тем самым расход материала. Функционирование устройства осуществляется с помощью микропроцессорной техники.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

10 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫБИВКИ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

10.1 Классификация выбивных устройств

Выбивка форм из опок и выбивка отливок из форм по своим санитарно-гигиеническим условиям являются наиболее тяжёлыми операциями из всего цикла изготовления отливок, так как сопровождаются большим выделением пыли, газов, тепла и высоким уровнем шума.

Ввиду большого разнообразия форм, подвергаемых выбивке, в литейных цехах применяют широкую номенклатуру выбивного оборудования.

Самыми простыми устройствами, применяемыми в небольших цехах единичного и мелкосерийного производства, являются подвесные вибраторы (вибрационные скобы) и вибрационные траверсы.

Самым распространённым видом выбивного оборудования, применяемого для выбивки форм практически любой массы, в цехах с различным характером производства являются электромеханические вибрационные решётки.

По способу возбуждения колебаний различают эксцентрикковые и инерционные выбивные решётки. В эксцентрикковых решётках между электродвигателем и корпусом решётки имеется жёсткая кинематическая связь, а колебания корпуса осуществляются эксцентрикковым валом, который является вибровозбудителем кругового действия. В инерционных решётках электродвигатель вращает механический вибровозбудитель, укрепленный на корпусе решётки, а колебания корпуса вызываются действием инерционных сил вибровозбудителя, который может быть как кругового, так и направленного действия.

Отсутствие жёсткой кинематической связи в приводе инерционных выбивных решёток обуславливает их большую надёжность и долговечность. Поэтому они вытесняют из производства эксцентрикковые решётки.

В зависимости от организации процесса выбивки различают простые выбивные установки, инерционно-ударные установки, установки с выдавливанием кома и установки с транспортированием отливок.

В простых выбивных установках форма устанавливается на полотно решётки, а по окончании процесса выбивки отливки и опоки остаются на том же месте, куда была поставлена форма.

Инерционно-ударные установки применяются для выбивки крупногабаритных форм. Выбиваемая форма устанавливается не на полотно решётки, а над ним на специальных подставках, расположенных

за пределами решётки. При этом между формой и полотном остаётся промежуток. После включения выбивная решётка начинает ударять по форме снизу своим полотном, приводя к разрушению кома смеси.

На автоматических линиях, для удаления форм из опок, не имеющих крестовин, широко используют установки, работающие методом выдавливания. При этом опока удерживается каким-либо устройством, а форма вместе с отливкой выдавливается из неё. Затем формовочная смесь отделяется от отливки на решётке или в барабане.

В установках с транспортированием при каждом ударе отливки смещаются вдоль полотна решётки. Возможность транспортирования отливок вдоль полотна решётки позволяет организовать непрерывный процесс выбивки, что важно для повышения производительности автоматических линий. Выбивные решётки с транспортированием выполняют только инерционными. В них применяют вибровозбудители как кругового, так и направленного действия. Транспортирующие установки автоматических линий работают только с выдавливанием кома.

Для выбивки безопочных форм помимо решёток применяют специальные барабаны и вибрационные жёлоба.

К выбивающему оборудованию относится также оборудование для удаления стержней из отливок: вибрационные установки, гидравлические, электрогидравлические камеры, а также специальные выбивные установки.

10.2 Вибровозбудители

Для создания колебательных движений рабочих органов литейных машин используются вибровозбудители различных конструкций.

Вибровозбудитель золотникового типа представлен на рис.10.1. Он состоит из цилиндра, в который помещён массивный поршень. Конструкция поршня представлена на рис. 10.1.

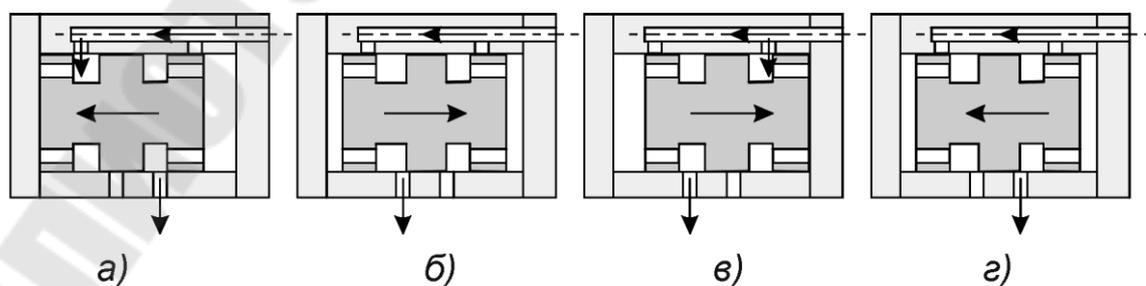


Рисунок 10.1 Схема работы золотникового вибровозбудителя

На поршне выполнены две проточки 3 и 5, которые образуют цилиндрические полости, делящие поршень на три объёма. В торцах крайних объёмов выполнено множество сквозных отверстий 1 и 7, параллельных продольной оси поршня.

В стенках цилиндра (рис. 10.1) выполнены воздухоподводящие и воздухоотводящие каналы. Под действием сжатого воздуха поршень перемещается в цилиндре, ударяясь о крышки цилиндра. Происходит это следующим образом.

На рис. 10.1, *а* показан момент удара поршня о левую крышку. В этот момент, сжатый воздух из магистрали уже поступает в левую проточку, и, следовательно, в левую полость цилиндра. Правая полость цилиндра соединена с атмосферой. Под действием сжатого воздуха поршень начинает двигаться вправо. В некоторый момент времени впускное отверстие левой полости перекрывается буртом золотника. Подача сжатого воздуха прекращается, однако поршень по инерции движется далее (рис. 10.1, *б*). При дальнейшем ходе поршня левая полость соединяется с выхлопом, а правая отключается от атмосферы и соединяется с магистралью. Давление в правой полости начинает расти, но поршень успевает ударить о правую крышку (рис. 10.1, *в*). После удара поршень отскакивает и под действием сжатого воздуха начинает двигаться влево (рис. 10.1, *г*) и в конце пути ударяет в левую крышку. Далее цикл повторяется до тех пор, пока вибровозбудитель подключён к сети сжатого воздуха.

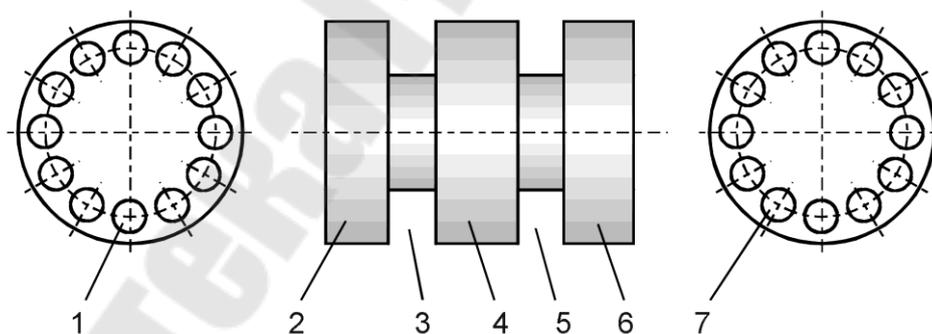


Рисунок 10.2 Устройство золотника золотникового вибровозбудителя

Одновалые инерционные вибровозбудители кругового действия имеют электромеханический привод. Их принцип действия основан на вращении неуравновешенной массы. Конструктивно такой вибровозбудитель представляет собой вал, ось вращения которого не совпадает с центром масс (рис. 86). Произведение массы груза m на

расстояние R между центром масс и осью вращения называется статическим моментом или дебалансом

$$D = mR \quad (10.1)$$

При вращении такого вала возникает сила инерции, вектор которой проходит через ось вращения и центр масс

$$P_{\text{и}} = D\omega \quad (10.2)$$

где $P_{\text{и}}$ – возмущающее усилие вибровозбудителя, Н;

D – статический момент вала, кг·м;

ω – угловая скорость вращения вала, рад/с.

При повороте центра масс поворачивается и вектор силы инерции, как показано на рис. 10.2, поэтому сила инерции воздействует на устройство, на котором установлен такой вал, под разными углами. Если машина установлена на упругих опорах, то она будет совершать плоскопараллельные колебания. При этом любая точка машины описывает овальные траектории. Отличие траекторий точек от круговых объясняется действием двух факторов. Во-первых, жёсткость опор неодинакова в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Во-вторых, движение машины происходит под действием двух сил: возмущающей силы вибровозбудителя

Если взять два одновальных вибровозбудителя и соединить их зубчатой передачей, как показано на рис. 10.5, получим двухвальный вибровозбудитель направленного действия. Привод осуществляется к одному из валов. Второй вал будет вращаться за счёт зубчатого зацепления. При одинаковых диаметрах шестерён валы будут вращаться зеркально в противоположных направлениях.

При такой конструкции вибровозбудителя проекции сил инерции, перпендикулярные плоскости, проходящей через оси вращения, будут складываться, а проекции, лежащие в этой плоскости – взаимно компенсироваться, как это показано на рис. 10.6. Иными словами, вибровозбудитель создаёт силу, синусоидально изменяющуюся по величине, и всегда перпендикулярную плоскости, проходящей через оси вращения валов. Величина силы в любой момент времени определяется выражениями силы тяжести подвижных частей машины.

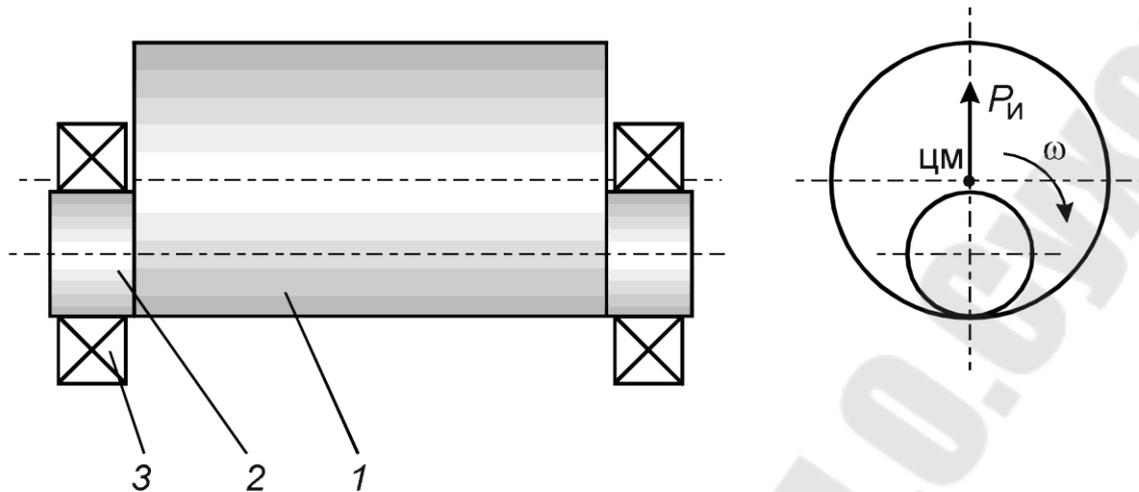


Рисунок 10.3 Одновальный вибровозбудитель кругового действия

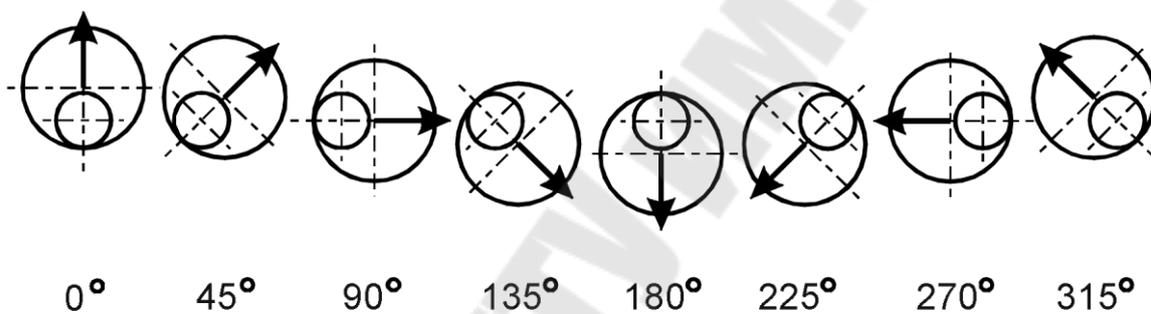


Рисунок 10.4 Вращение вектора силы инерции при вращении вала одновального вибровозбудителя

$$P = P_{\max} \cos \omega t, \quad (10.3)$$

$$P_{\max} = D\omega^2, \quad (10.4)$$

где P_{\max} – максимальное возмущающее усилие вибровозбудителя, Н;

D – общий дебаланс двухвального вибровозбудителя, кг·м;

ω – угловая частота вращения валов, рад/с.

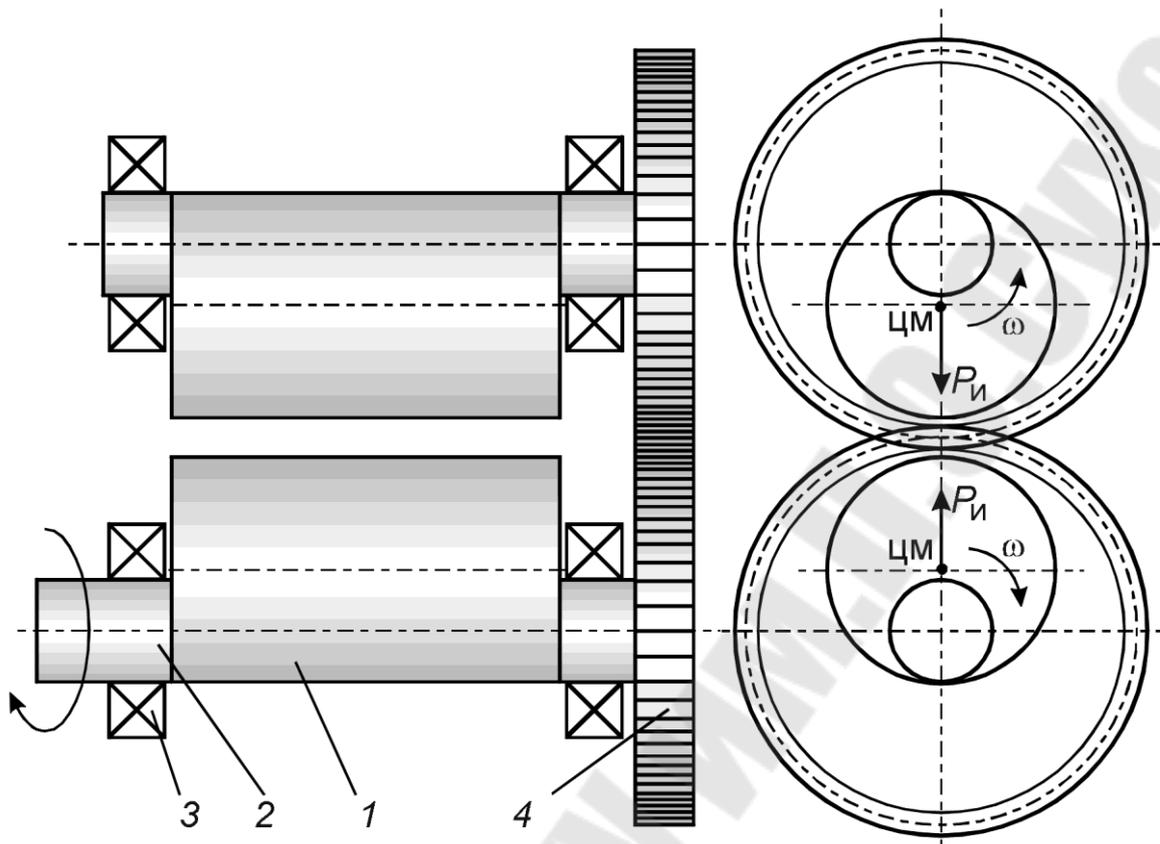


Рисунок 10.5 Двухвальный вибровозбудитель направленного действия

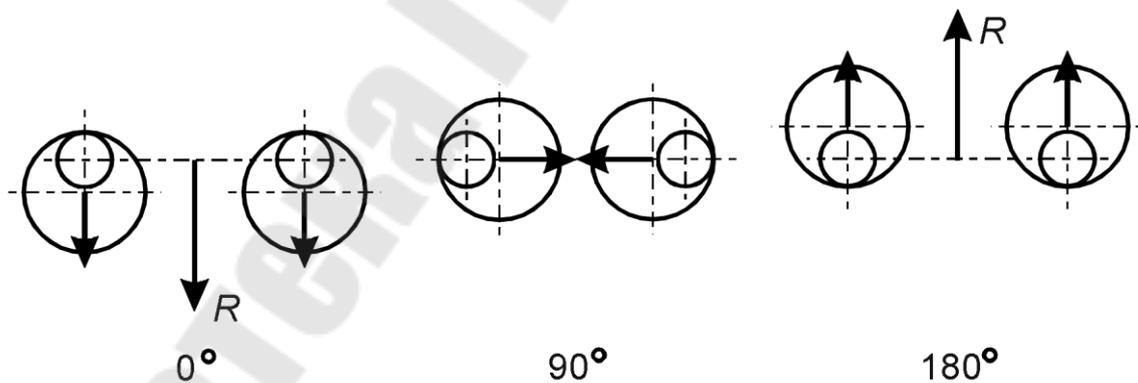


Рисунок 10.6 Равнодействующая сил инерции при различных положениях валов двухвального вибровозбудителя

Под действием такого вибровозбудителя машина, установленная на упругом основании будет совершать колебания в направлении действия силы.

Дебалансные валы просты по конструкции и технологичны в изготовлении, однако не допускают регулирования величины возмущающей силы. От этого недостатка свободны валы с дебалансными дисками (рис.10.7)

На концах вала *1*, вращающегося в подшипниках *2* установлены диски *3* в виде цилиндрических секторов. Валы синхронизируются зубчатыми колёсами *4*. При проектировании на диске предусматривается несколько отверстий, которые при необходимости можно заполнить металлом в виде пробок. Статический момент диска в этом случае увеличивается, следовательно, увеличивается сила инерции и, соответственно, возмущающая сила вибровозбудителя.

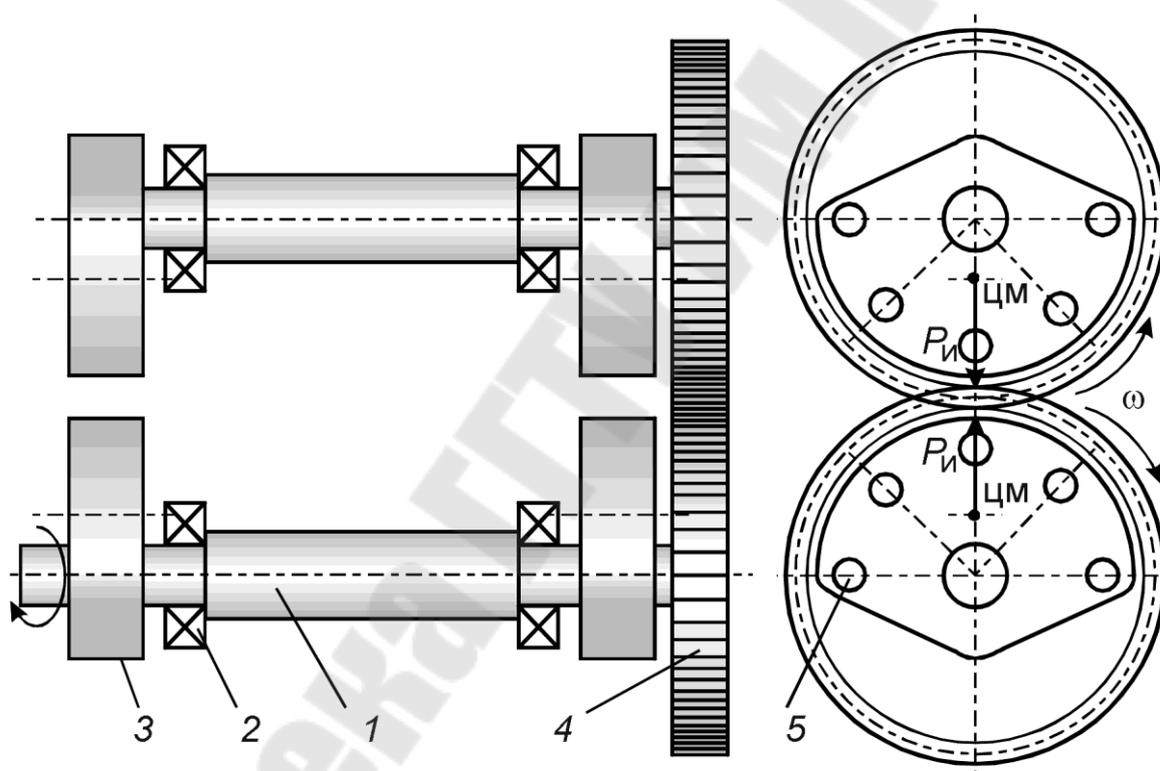


Рисунок 10.7 Вибровозбудитель направленного действия с дебалансными дисками

Поскольку дебалансные диски устанавливаются с внешней, по отношению к подшипникам вала, стороны, их легче менять, чем дебалансные валы.

Требование синхронизации валов зубчатой передачей не является жёстким. Можно использовать два отдельных вала с индивидуальными приводами. В этом случае они сами синхронизируются через

короткое время после запуска, поскольку установлены на упругом основании. Это позволяет изготавливать унифицированные мотор-вибраторы, то есть, устройства, объединяющие электродвигатель и дебалансный вал в один узел. Такие мотор-вибраторы устанавливают обычно на боковых поверхностях корпуса решётки, что освобождает место под её полотном и облегчает условия работы вибровозбудителей.

10.3 Подвесные вибраторы и вибрационные траверсы

Подвесной вибратор (рис. 10.8) представляет собой литую скобу 1, к которой при помощи стяжек 2 и фланцев 6 прикреплён пневматический плунжерный вибратор 5. Подвесной вибратор может переноситься краном за кольцо 3.

При выбивке форм вибратор с помощью крана накладывается скобой на стенку опоки или отливку, подвешенные на поперечине, установленной на стойке. Привод вибратора осуществляется через систему подвода воздуха 4, включающую вентиль, лубрикатор, манометр, систему шлангов, тройник и пусковой клапан. Под действием вибрации, передаваемой через скобу на стенку опоки, форма разрушается, и отливка со смесью выпадает из опоки.

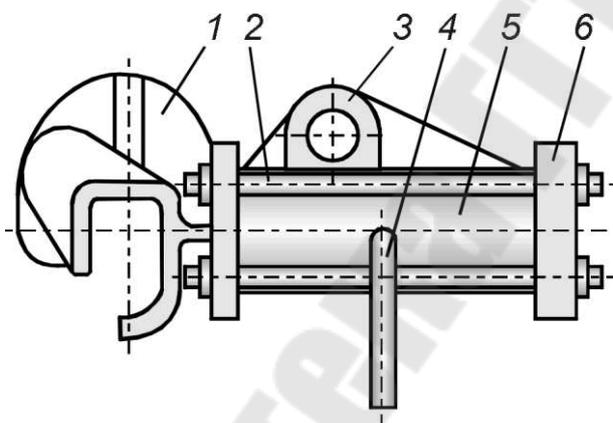


Рисунок 10.8 Подвесной вибратор

ный непосредственно на балке коромысла.

При выбивке траверсу подвешивают на крюк подъёмника на пружинных подвесках. С помощью вибрационной траверсы выбивают формы массой до 3 т.

Вибрационная траверса (рис. 10.9) включает коромысло 1, на которое в различных положениях, в зависимости от размеров опок, подвешиваются скобы с крюками 3. На каждой скобе установлен пневматический вибратор 2. Вибраторы включают с помощью пусковой рукоятки 4.

Применяют также траверсы, имеющие электромеханический привод, установлен-

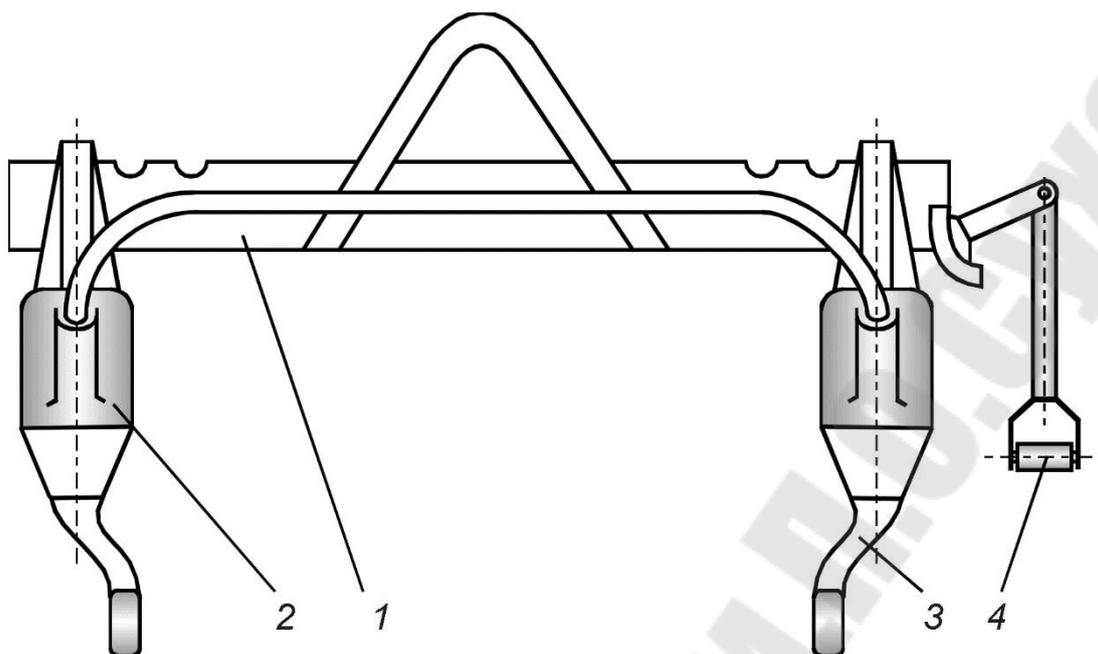


Рисунок 10.9 Вибрационная траверса

10.4 Выбивные решётки

10.4.1 Рабочий процесс механических выбивных решёток

Рабочий процесс выбивных решёток заключается в следующем. Выбиваемую форму в сборе или отдельную опоку с полуформой (после предварительной разборки формы) устанавливают на полотно решётки, которому сообщается колебательное движение. При соответствующем выборе параметров системы в момент, когда ускорение формы достигает величины ускорения силы тяжести, происходит отрыв её от полотна решётки. Некоторое время форма и полотно решётки двигаются независимо друг от друга. Затем происходит встречный удар. Система настраивается таким образом, чтобы на каждое колебание полотна решётки приходился один удар.

В момент соударений на опоку со стороны решётки действуют инерционные ударные силы, оказывающие разрушающее воздействие на смесь в форме и обуславливающие эффект выбивки.

Для практической оценки разрушающего воздействия ударов на выбиваемую форму пользуются характеристикой «удельная энергия удара» (т. е. энергия, приходящаяся при ударе на 1 кг массы формы).

Удельная энергия удара e_y (Дж/кг) определяется разностью кинетических энергий до и после удара и связана с изменением скорости формы за время соударения с решёткой соотношением

$$e_y = k \frac{(u_2 - u_1)^2}{2}, \quad (10.5)$$

где u_1 и u_2 – вертикальные составляющие скорости формы соответственно до и после соударения, м/с;
 k – коэффициент пропорциональности.

Производительность выбивных решёток зависит от степени уплотнения формы, состава формовочной смеси и размеров опоки. В случае опок с крестовинами – от размеров ячеек.

Проведённый рядом исследователей анализ работы выбивных решёток показал, что для сырых форм средней плотности и прочности с размером опок в свету (или ячеек крестовин) более 500x400 мм достаточна удельная энергия удара $e_y = 0,15 \div 0,25$ Дж/кг. Для прочных форм, изготовленных прессованием под высоким давлением или из жидкостекольных смесей, требуется энергия удара $e_y = 0,35 \div 0,4$ Дж/кг.

10.4.2 Выбивная эксцентриковая решётка

Выбивная эксцентриковая решётка (рис.10.10) представляет собой корпус решётки 1, имеющий сверху рабочее полотно, на которое устанавливаются опоки 2 с выбиваемой формой. Вращающийся в подшипниках рамы 5 эксцентриковый вал 3 поднимает корпус решётки на величину эксцентриситета a . Вращение вала сообщается непосредственно от электродвигателя через муфту 8 или через клиноремённую передачу. Амплитуда колебаний корпуса определяются эксцентриситетом приводного вала, а частота – его угловой скоростью. Причём амплитуда является постоянной величиной, равной эксцентриситету. Дебаланс 7, служит для динамической балансировки вала и уменьшения нагрузки на подшипники рамы.

При движении корпуса решётки вверх опока отрывается от него, а затем падает, соударяясь с рабочим полотном. В результате соударений форма разрушается, смесь просыпается сквозь отверстия в полотне, а отливка и опока остаются на нём. Передача ударов на фундамент 4 смягчается пружинами 6.

10.4.3 Выбивная инерционная решётка

Выбивная инерционная решётка (рис. 10.11) представляет собой корпус 1, установленный на пружинную подвеску 6 заданной жёсткости. На вращающемся в подшипниках инерционном валу 3 установлены переменные грузы 7, образующие дебаланс. За счёт центробежной силы, возникающей при вращении инерционного вала и упругой

силы подвески, корпус решётки и выбиваемая форма получают колебательное движение.

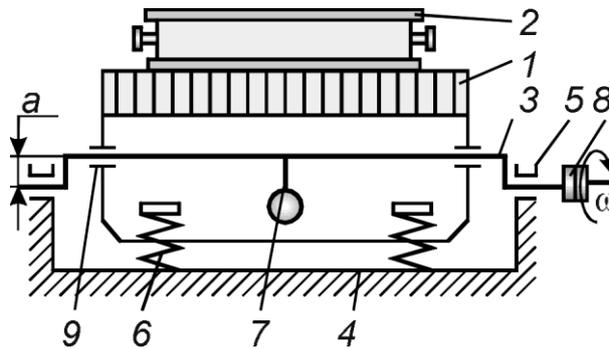


Рисунок 10.10 Схема устройства выбивной эксцентриковой решётки

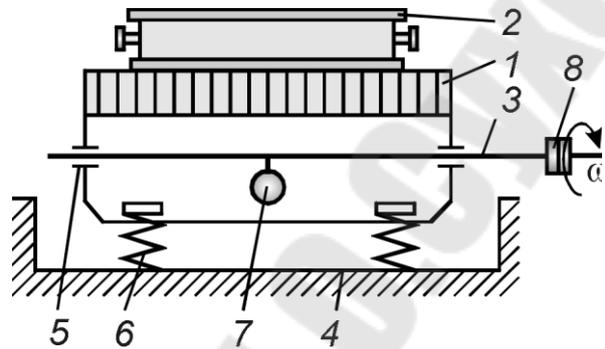


Рисунок 10.11 Схема устройства выбивной инерционной решётки

Процесс выбивки так же, как и на эксцентриковых решётках, осуществляется в результате соударений между опоккой и полотном решётки. Однако амплитуда колебаний здесь не является постоянной величиной и зависит не только от параметров решётки, но и от массы выбиваемой формы.

По сравнению с эксцентриковыми решётками инерционные имеют следующие преимущества:

- изменяя величину дебаланса вибровозбудителя, можно легко изменять удельную энергию удара e_y , согласуя её с показателями выбиваемой формы (тип смеси, твёрдость и плотность формы, степень её предварительной подсушки);
- инерционные решётки можно устанавливать на более лёгком фундаменте, так как пружинная подвеска смягчает возникающие при выбивке усилия.

При выбивке крупных и тяжёлых форм в условиях мелкосерийного и единичного производства применяют установки, состоящие из нескольких выбивных решёток, собранных в единый блок. Применение таких установок позволяет рациональнее использовать электроэнергию, так как для выбивки небольших форм малой массы можно включать в работу только часть решёток, составляющих установку.

Следует иметь в виду, что из-за несовпадения фаз работы решёток, составляющих установку, их суммарная грузоподъёмность (грузоподъёмность установки) составляет примерно 75% от суммы паспортной грузоподъёмности всех решёток, входящих в установку.

Установки подобного типа выпускаются с четырьмя, шестью и восемью выбивными секциями. Грузоподъёмность одной секции достигает 40 т, а наибольшая грузоподъёмность установки 250 т (вместо ожидаемых 320 т).

10.4.4 Выбивная инерционно-ударная установка

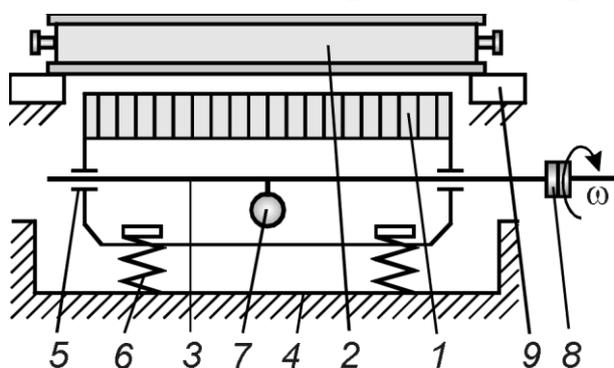


Рисунок 10.12 Схема устройства выбивной инерционно-ударной решётки

Выбивная инерционно-ударная установка (рис. 10.12) отличается от обычной инерционной решётки тем, что выбиваемая форма устанавливается здесь не на рабочее полотно корпуса, а на опору, не связанную с решёткой. Корпус решётки, приведённый в колебательное движение инерционным валом, ударяет по форме подобно молоту и разрушает её. Расход электроэнергии та-

кой установкой при выбивке тяжёлых форм меньше, чем обычной эксцентриковой или инерционной решёткой, рассчитанной на выбивку таких форм.

10.4.5 Установки с выдавливанием кома

Ускорить процесс выбивки опочных форм позволяют установки, работающие «на провал», которые имеются в большинстве отечественных литейных цехов массового производства.

В состав установок входит гидравлический или пневматический пресс и инерционная выбивная решётка с транспортированием отливок или выбивной барабан. Процесс начинается с того, что форма 1 с охлаждающей ветви конвейера переставляется на стол 2, в котором имеется отверстие, соответствующее размерам формы в свету (рис. 10.13). При рабочем ходе цилиндра 4 происходит выдавливание кома смеси с отливками прошивной плитой 3. Выдавленный ком соскальзывает по наклонному спуску 6 на выбивную решётку 7 или в выбивной барабан, где происходит отделение отливок от смеси.

По периметру прошивной плиты 3 пресса устанавливается металлическая щётка, поэтому при прошивке происходит очистка внутренней боковой поверхности опок. Остаётся только снять опоки со стола пресса, разъединить (распарить) и подать к формовочным машинам.

Установки, с прошивкой форм обладают рядом преимуществ по сравнению с выбивкой непосредственно на выбивных решётках. Процесс выдавливания кома короче по времени процесса выбивки, поэтому опоки быстрее возвращаются на формовку. Опоки не разбиваются ударами полотна решётки, поэтому возрастает срок их службы. Ком смеси без опок быстрее разрушается на выбивной решётке, поэтому возрастает производительность установок. Опоки имеют значительную массу, поэтому при одной и той же грузоподъёмности выбивной решётки в установках с выдавливанием кома можно одновременно выбивать больше форм или использовать решётку меньшей грузоподъёмности.

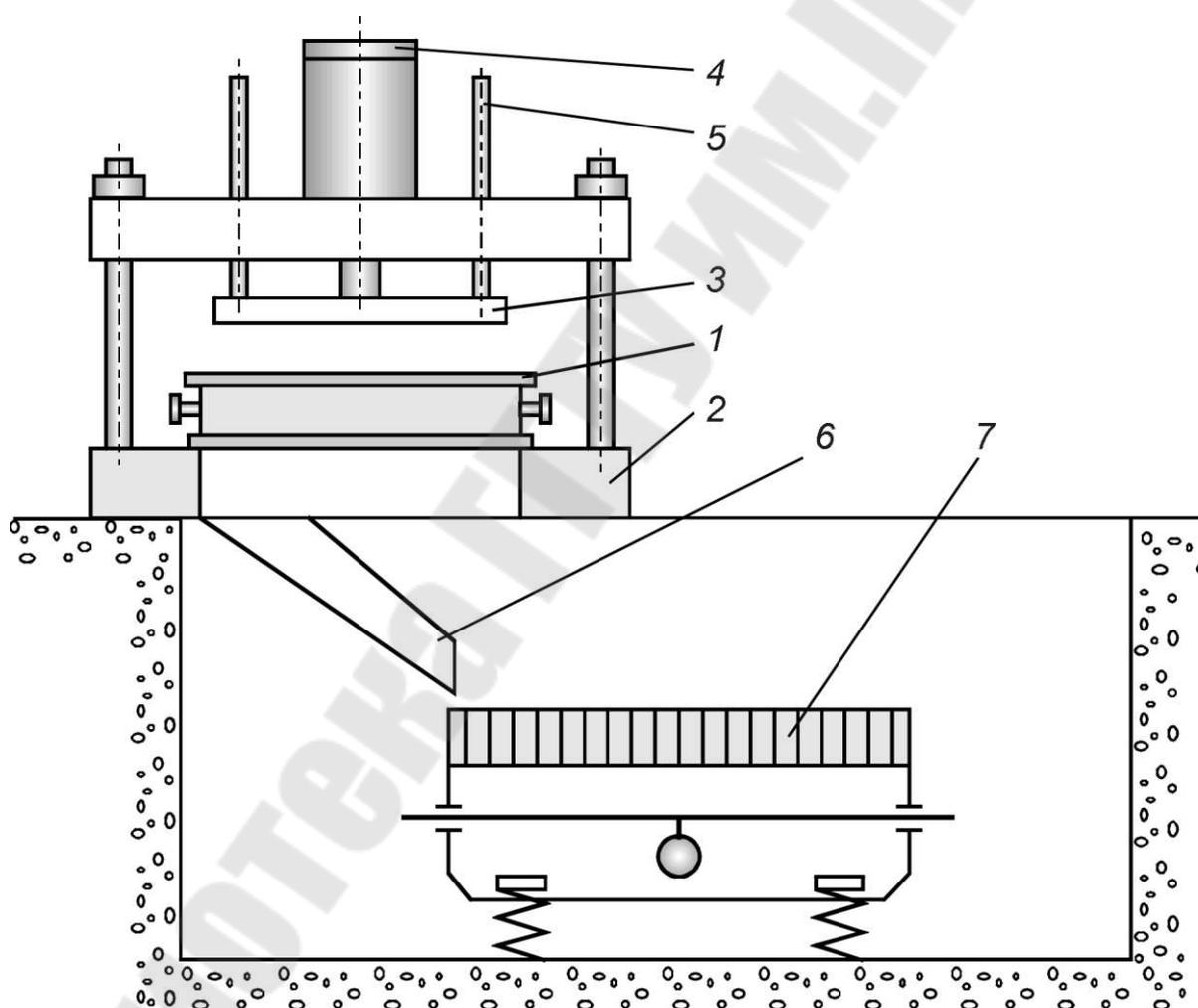


Рисунок 10.13 Установка выбивки опок с выдавливанием кома

10.4.6 Выбивка форм с крестовинами

Очевидно, что прошивку можно применять лишь в случае, когда в опоках отсутствуют крестовины. При наличии крестовин в нижней

опоке выбивка способом «на провал» невозможна, так как крестовины не позволяют удалять отливку вместе с формовочной смесью. В этом случае для автоматизированной выбивки форм возможно применение одного из трёх типов установок:

- 1) установки для выбивки спаренных форм с последующей распаровкой и извлечением отливки;
- 2) установки с отдельной выбивкой верхней и нижней опок с предварительной распаровкой и извлечением отливки после выбивки;
- 3) установки с отдельной выбивкой верхней и нижней опок с предварительной распаровкой и извлечением отливки до выбивки.

В качестве выбивных решёток в установках могут использоваться эксцентриковые решётки, или инерционные решётки без транспортирования с вибровозбудителями как кругового, так и направленного действия.

10.4.7 Выбивные решётки с транспортированием отливок

Выбивные инерционные решётки, применяемые в автоматических линиях (рис. 10.14), состоят из корпуса 1, установленного на упругих пружинных (или резиновых) опорах 2, и вибровозбудителя 3, смонтированного на корпусе и приводимого во вращение электродвигателем (на схеме не показанным). В верхней части корпуса укреплено полотно 4 решётки, сквозь щели которого проваливается при выбивке отделяемая от отливок формовочная смесь. Полотно 4 выполняет также функции рабочего органа, по которому выбитые отливки транспортируются к разгрузочному концу решётки.

На рис. 10.14 показаны также вибровозбудители направленного действия.

При вращении дебалансных валов или дисков вибровозбудителя неуравновешенные массы развивают возмущающую силу

$$P = P_{\max} \cos(\omega t + \psi), \quad (10.6)$$

$$P_{\max} = D\omega^2, \quad (10.7)$$

где P_{\max} – максимальное возмущающее усилие вибровозбудителя, Н;

D – суммарный дебаланс вибровозбудителя, кг·м;

ω – угловая частота вынужденных колебаний решётки, рад/с;

ψ – начальная фаза дебаланса в момент соударения, рад.

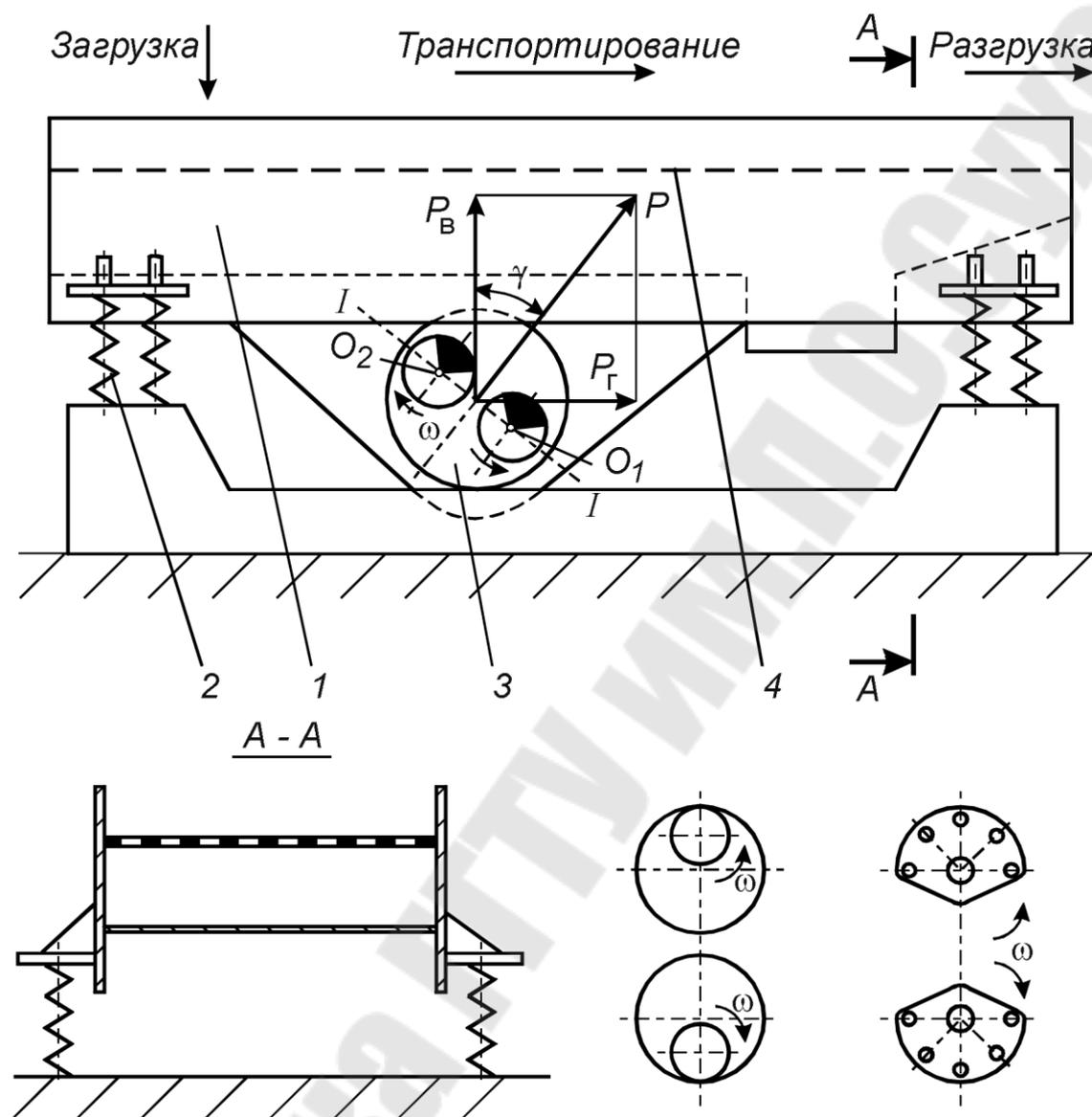


Рисунок 10.14 Принципиальная схема выбивной инерционной решётки с вибровозбудителем направленного действия

Возмущающая сила P направлена под углом γ к вертикали и перпендикулярна плоскости $I - I$, проходящей через оси $O_1 - O_2$ дебалансных валов. Для обеспечения идентичности колебаний всех точек полотна, сила P должна проходить через центр масс подвижных частей решётки (корпуса с полотном и вибровозбудителем). При этих условиях корпус решётки совершает прямолинейные колебания в направлении, совпадающем с линией действия силы P . Вертикальная составляющая возмущающей силы, равная

$$P_{\text{в}} = P \cos \gamma, \quad (10.8)$$

совершает работу разрушения кома и отделения смеси от отливок, т. е. обеспечивает эффект выбивки. Горизонтальная составляющая, равная

$$P_{\text{г}} = P \sin \gamma, \quad (10.9)$$

совершает работу перемещения полезной нагрузки, т. е. обеспечивает эффект транспортирования отливок по полотну решётки.

10.4.8 Конструктивные особенности инерционных решёток

В общем случае, описание рабочего процесса выбивной инерционной решётки сложно. Причина этого – многообразие факторов, его определяющих, и зависящих от конструктивных параметров решётки: от особенностей вибрационного режима, от вида нагрузки, являющейся сыпучей средой, неоднородной по составу и по свойствам.

Конструктивно выбивные инерционные решётки отличаются типом вибровозбудителя, местом его установки и направлением колебаний полотна.

В выбивных решётках без транспортирования вибровозбудитель размещается симметрично относительно упругих опор корпуса. Полотно решётки располагается горизонтально и совершает круговые либо вертикальные колебания. Применяют, чаще всего, одновальный вибровозбудитель кругового действия, возмущающая сила которого вращается относительно оси вала. Такой вибровозбудитель устанавливают или под полотном решётки или над ним.

В выбивных решётках с транспортированием двухвальный вибровозбудитель располагают несимметрично относительно опор таким образом, чтобы создаваемое им возмущающее усилие было направлено под углом к полотну решётки, Чем и достигается эффект транспортирования. В этом случае вибровозбудитель также может располагаться как под полотном решётки, так и над ним. В любом случае вектор возмущающей силы должен проходить через центр масс системы.

Если применяется одновальный вибровозбудитель кругового действия, то полотно наклоняют под углом к горизонту. Скорость транспортирования отливок будет тем выше, Чем больше угол наклона.

Вместо двухвального вибровозбудителя могут использоваться два одновальных мотор-вibratorа. В этом случае они могут располагаться рядом под полотном решётки или над ним, но чаще их

устанавливают на противоположных торцах полотна или под полотном, но близко к торцам.

Выбивные решётки с транспортированием работают в сочетании с установкой для выдавливания кома. Иногда на решётке выполняется площадка, на которую устанавливают форму с опоками. Ком с отливкой выпадает из опок на полотно в результате вибрации и далее разрушается как обычно.

10.5 Выбивной барабан

При выбивке безопочных форм не требуется удалять смесь и отливки из опок, а необходимо лишь разрушить форму и отделить отливки от смеси. В этом случае возможно использование выбивных барабанов.

Барабан для выбивки безопочных форм (рис. 10.15) представляет собой цилиндрическое сито 2, изготовленное из листовой стали. Внутри сита барабана по винтовой линии закрепляется металлическая полоса 3, служащая для перемещения форм и отливок вдоль оси барабана. Цилиндрическое сито установлено на катках 10, вращаемых электродвигателем 6 через редуктор 9.

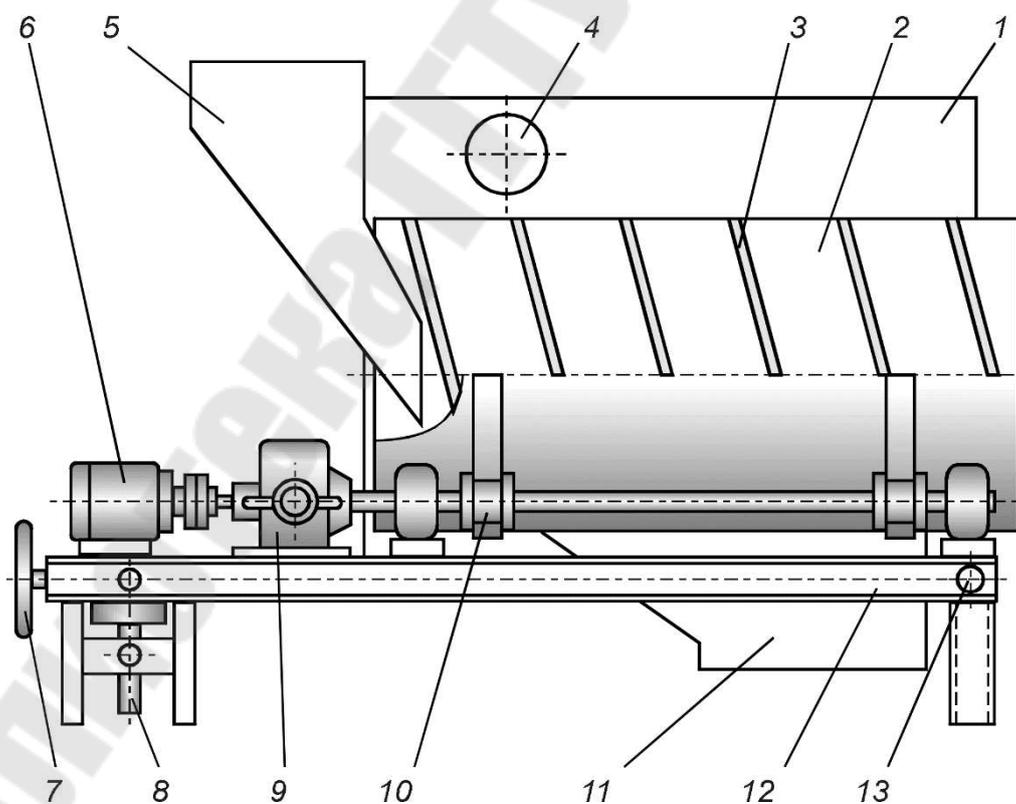


Рисунок 10.15 Схема устройства выбивного барабана

Безопочные формы сталкиваются с конвейера после охлаждения внутри барабана через воронку 5 и разрушаются в процессе вращения барабана. Смесь проваливается через отверстия в стенке барабана в направляющую горловину 11, а отливки выходят из него и подаются далее в очистное отделение. Угол наклона барабана регулируется путём поворота его вместе с рамой 12 относительно оси 13 с помощью штурвала 7 винтового устройства 8. Этим обеспечивается необходимая скорость прохождения отливок внутри барабана и, соответственно, регулируется его производительность.

Барабан закрыт герметичным кожухом 1, к которому через патрубков 4 подключается цеховая система пылеотсоса.

10.6 Оборудование для удаления стержней из отливок

10.6.1 Пневматические вибрационные машины

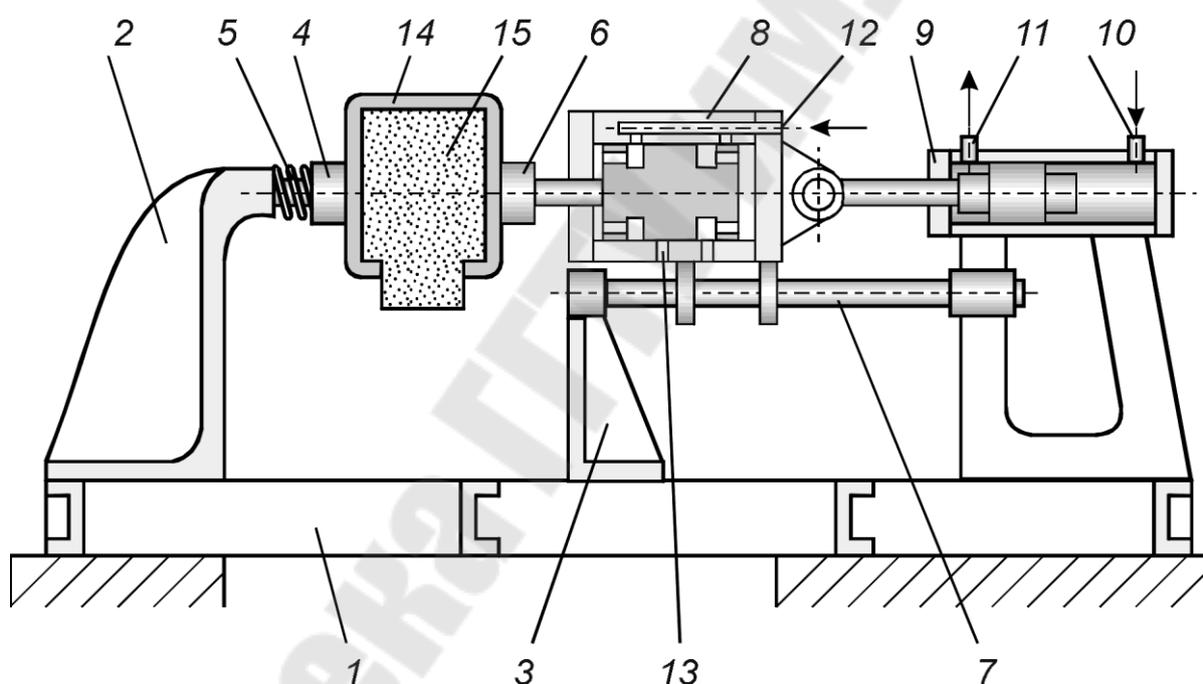


Рисунок 10.16 Схема устройства пневматической вибрационной машины для выбивки стержней из отливок

В условиях массового и крупносерийного производства для выбивки стержней из мелких и средних отливок применяют пневматические вибрационные машины. Машина (рис. 10.16) представляет собой раму 1, на которой установлены передняя 3, и задняя 2 бабки. Задняя бабка несёт на себе упор 4, опирающийся на пружину 5. Передняя бабка имеет направляющие 7; на них установлен подвижный вибратор 8, щиток которого оканчивается зажимом 6. Перемещение вибратора

по направляющим и зажимам отливки производится посредством пневматического цилиндра 9.

Для выбивки стержня отливку 14 устанавливают на станину или подвешивают на таях и зажимают между бабками. Затем включают вибратор. Плунжер вибратора движется, вызывая сотрясение в отливке, зажатой между пружинным упором задней бабки и передним зажимом, вследствие чего происходит разрушение стержня 15. Трубопроводы 10 и 11 служат для подвода сжатого воздуха к зажимному пневматическому цилиндру. Сжатый воздух к вибратору 8 подводится через канал 12, а отводится через систему отверстий 13. Переключение подачи сжатого воздуха происходит движущимся ударником.

Производительность установок по объёму стержневой массы составляет до 1 м³/ч. Наибольшее расстояние между зажимами бабок 500 мм.

10.6.2 Гидравлические камеры

Для выбивки стержней из средних и крупных отливок применяют гидравлические камеры, в которых удаление стержней из отливок происходит за счёт разрушения стержня струёй воды под давлением. Вода же вымывает разрушенный стержень из отливки. Отечественная промышленность выпускает гидравлические камеры с грузоподъёмностью тележки от 30 до 100 т. Гидравлические установки бывают двух типов: высокого давления (10÷20 МПа) и низкого давления (2,5÷4,0 МПа).

Типовая гидравлическая камера состоит из следующих основных узлов: металлической камеры с дверями, подъёмных площадок с гидромониторами, гидропривода управления мониторами, самоходной тележки с кабелеукладчиком, перекрытия подвала. Под установкой располагаются эстакада с инерционным грохотом, сепаратор, резервуар для пульпы с мешалками, насосная установка, пневматическое оборудование, бак для воды, насосная станция высокого давления и электрооборудование.

Металлоконструкция камеры состоит из колонн, панелей и плит. Внутри камеры проложен рельсовый путь, по которому передвигается тележка. Подача электроэнергии к тележке осуществляется с помощью гибкого кабеля.

Гидравлические камеры проходного типа имеют с двух сторон двери, которые открываются и закрываются гидравлическими цилиндрами. В тупиковых камерах имеется дверь только с одной стороны.

На одной из стенок камеры с наружной стороны расположены подъёмные кабины операторов с механизированными и ручными гидромониторами. Вертикальное перемещение кабин осуществляется посредством гидравлических цилиндров. Вода к гидромониторам подаётся по специальным шлангам, выдерживающим высокое давление.

Для освещения пространства внутри камеры используются прожекторы.

Отмытая в камере после выбивки стержневая смесь в виде пульпы проходит через решётчатый пол в сборник пульпы и затем на грохот. Пульпа из резервуара шламовыми насосами откачивается в регенерационное отделение.

В гидравлических камерах удаляют стержни прочностью до 1,5 МПа. Для более прочных стержней используют электрогидравлические установки.

10.6.3 . Электрогидравлические установки

Электрогидравлический способ выбивки стержней из отливок, применяемый в таких установках (рис. 10.17), основан на том, что при электрическом искровом пробое жидкости и ней возникают ударные волны и перемещения жидкости, вызывающие интенсивную вибрацию отливок в широком диапазоне частот. Из-за различия модулей упругости и частот собственных колебаний отливок и стержневых смесей, в зоне контакта металла и смеси возникают растягивающие напряжения, приводящие к разрушению стержня. Интенсивные перемещения жидкости в зоне разряда и вибрация отливок обеспечивают эффективное удаление частиц разрушенных стержней из отливок.

Электрогидравлическую установку размещают в отдельном помещении, примыкающем к литейному цеху. Установка включает следующие основные узлы: рабочий бак 1 с фундаментной рамой, контейнер со съёмными поддонами, механизм подъёма контейнера, продольную самоходную тележку 2, поперечную самоходную тележку 3, электрод 4 с механизмом вертикального перемещения 5. Она имеет также генератор импульсов тока, систему блокировок, пульт управления, систему удаления шлама, систему вентиляции.

Очищаемые отливки цеховыми грузоподъёмными средствами загружаются в контейнер, установленный на самоходной тележке. Тележка накатывается на раму подъёмника, находящегося над рабочим баком. Механизм подъёма снимает контейнер с отливками с тележки и опускает его в рабочий бак, заполненный водой. Крупные отливки загружаются без контейнера.

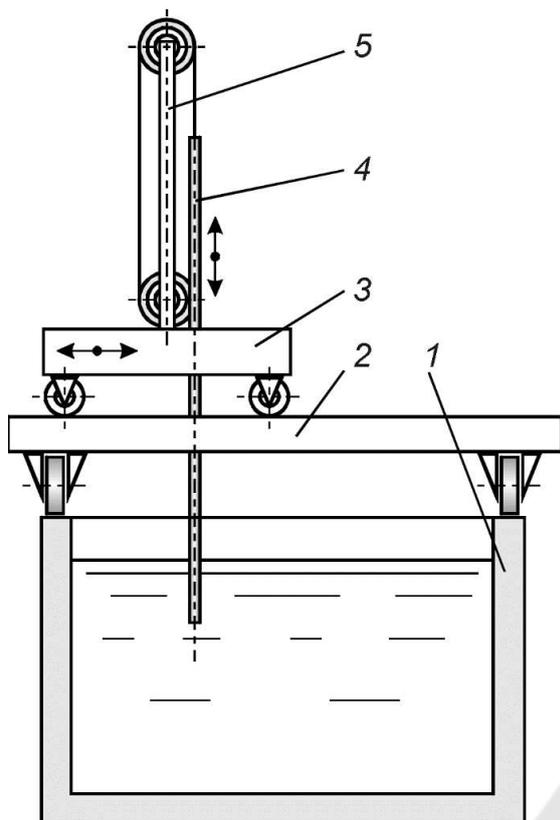


Рисунок 10.17 Схема устройства электрогидравлической установки для выбивки стержней

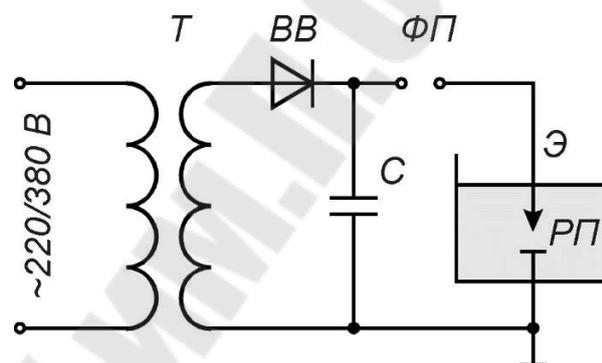


Рисунок 10.18 Электрическая схема установки электрогидравлической выбивки

Электрод, установленный на подвижных тележках, может перемещаться в двух горизонтальных направлениях. Канатный привод обеспечивает перемещение его в вертикальном направлении. Это позволяет помещать электрод в любую точку бака.

Между электродом и отливкой в воде происходит электрический разряд, сопровождаемый комплексом физических явлений, которые обеспечивают выбивку стержней из отливок и очистку их от остатков смеси. Импульсы тока формируются в генераторах, состоящих из повышающего трансформатора Т, высоковольтного выпрямителя ВВ, импульсных конденсаторов С и формирующего промежутка ФП (рис. 101). Выпрямленное напряжение заряжает батарею конденсаторов. Когда напряжение на конденсаторе достигнет величины, достаточной для пробоя промежутка ФП, происходит разряд конденсаторов. В рабочем промежутке РП проскакивает искра и происходит единичный акт

разрушения стержня и очистки отливок. Разрядившиеся конденсаторы снова заряжаются от выпрямителя, и процесс повторяется.

Управление установкой осуществляется с пульта оператора, на котором расположен планшет следящей системы положения электрода относительно очищаемых отливок, кнопки и рычаг управления, а также электроизмерительные приборы.

У серийно выпускаемых установок для электрогидравлической выбивки грузоподъемность контейнера (допустимая масса отливок со стержнями) составляет $2,5 \div 25,0$ т.

11 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФИНИШНЫХ ОПЕРАЦИЙ

После выбивки отливки в очистном отделении литейного цеха подвергаются обрубке и очистке. В большинстве случаев предварительной операцией является удаление элементов литниковых систем. Для этого применяют различное оборудование, в котором рабочие органы воздействуют на отливку механическим усилием, абразивной обработкой или электрическими методами.

11.1 Отделение элементов литниковых систем

11.1.1 Механическое отделение элементов литниковых систем

В настоящее время по-прежнему широко распространена механическая резка и обрубка отливок, как из чёрных, так и из цветных сплавов. Все методы механического отделения литниковых систем базируются на двух принципах:

а) на чисто механическом разделении металла: резка ножовочными полотнами, отрезка на круглопильных станках, резка на ленточных пильных станках, вырубка на прессах;

б) на плавлении металла разрезаемого изделия в месте реза под воздействием трения о быстро движущийся инструмент. Сюда относится резка пилами Марса, а также резка быстро движущимися дисками, пилами и лентами.

Ножовочные станки

Для отрезки прибылей стального и чугунного литья, особенно прибыльной части небольших слитков, можно использовать ножовочные станки.

На таких станках резка может производиться не только в плоскости, перпендикулярной к оси заготовки, но и под углом 45° .

Станок имеет гидравлическое устройство, обеспечивающее приподнимание пильной рамы с ножовочным полотном при обратном ходе, опускание и подачу её при резании. В станке предусмотрено бесступенчатое регулирование величины подачи, которая устанавливается в зависимости от рода разрезаемого материала.

Число двойных ходов подбирают, исходя из оптимальной скорости резания. Для литых мартеновских сталей с пределом прочности при растяжении $500\div 600$ МПа эта скорость примерно равняется 18 м/мин.

Существуют также ножовочные станки, режущие бесконечной лентой.

Пильные дисковые станки

Обрезка на этих станках производится с помощью медленно вращающихся круглых пил, которые автоматически подаются вперёд по мере разрезания изделия. Этот способ можно использовать для обрезки прибылей мелких и средних отливок из сталей и чугуна. Станки выполняют или с вертикально расположенной пилой (для вертикальных и наклонных резов) или с переменным положением пилы (для вертикальных, наклонных и горизонтальных резов).

Станки имеют несколько ступеней автоматической подачи, величина которой устанавливается в зависимости от свойств разрезаемого материала.

Пилы состоят из стальных дисков, на которых установлены сегменты из материала с высокой твёрдостью. Диаметр пил от 300 до 1500 мм, что позволяет производить резание на глубину от 100 до 500 мм (на треть диаметра пилы).

На станках с переменным положением пилы при помощи поворота головки суппорта можно производить вертикальные, наклонные и горизонтальные разрезы. Диаметры пил этих станков 500÷1300 мм. Ширина реза колеблется от 4 до 8 мм в зависимости от толщины пилы.

Производительность пильных станков зависит от сплава, от размера прибыли, от скорости передвижения пилы вперёд и времени установки отливки на станке. Отрезка прибылей у не отождённых стальных отливок производится при подаче пилы 10÷20 мм в минуту.

Наибольшая производительность достигается при резке на специальных круглопильных станках, так называемых пилах Геллера. Пила Геллера имеет поворотный стол и поворотную пильную головку, что позволяет резать под различными углами.

Отрезка остатков литниковых систем ленточными пилами

Ленточные пилы применяют для отрезки остатков элементов литниковых систем у отливок главным образом из алюминиевых и магниевых сплавов. Скорость резания здесь в несколько раз выше, чем на ножовочных станках. Операция отрезки ленточными пилами достаточно производительна. Так, для отрезки литника из алюминиевого сплава диаметром 50 мм требуется лишь 6÷8 с. Продолжительность резки магниевых сплавов на 10% меньше.

Отрезка литниковых систем шлифовальными кругами

Резка производится как с помощью ручного механизированного инструмента, так и главным образом на специальных отрезных станках с тонкими армированными абразивными дисками.

Достоинства резки шлифовальными кругами – отсутствие охлаждающей жидкости, сравнительно простое оборудование, небольшой нагрев изделия, прямые чистые стенки реза без оплавления, небольшой шум. Недостатки – значительное выделение абразивной и металлической пыли, сильный запах горелой резины (при использовании кругов на вулканитовой связке), необходимость специальных защитных кожухов, пылеотсасывающих устройств и т. п., невысокая стойкость абразивных кругов. К недостаткам шлифовальных кругов следует отнести невысокую скорость резания и малую глубину разрезания. Так, даже новым (неизношенным) кругом можно перерезать элемент литниковой системы с диаметром D (в мм), равным

$$D = \frac{d_1 - d_2}{2} - b, \quad (11.1)$$

где d_1 – диаметр отрезного круга, мм;
 d_2 – диаметр фланца, крепящего круг, мм;
 b – величина выхода диска за перерезаемое изделие и предохранительное расстояние от перерезаемого изделия до фланца, мм.

Для круга с максимальным диаметром 500 мм, без учёта износа, допустимый перерезаемый диаметр равен 160 мм.

Практически перерезаемый диаметр значительно меньше. При использовании отрезных кругов на синтетических связках, которые обладают высокой прочностью, вместо фланца ставят прижимную шайбу, тогда диапазон отрезных работ может быть несколько расширен.

Резка на дисковых станках типа Марса

Резка элементов литниковых систем на дисковых станках производится по следующему принципу: тонкий стальной быстровращающийся диск давит на металл в месте реза. При этом вследствие значительного трения выделяется большое количество теплоты; материал, нагретый до высокой температуры, становится пластичным и прорезается диском. На режущей поверхности диска чередуются углубления и выступающие части. Диск точно центрирован и имеет отшлифованные боковые поверхности. Окружная скорость диска 100÷120 м/с. Диск охлаждаются водой. Станки бывают с дисками диаметром от 500 до 1500 мм, что позволяет производить резание глубиной от 30 до 120 мм.

Станки Марса обладают высокой производительностью – в несколько раз большей, чем у круглопильных станков – и в этом их основное преимущество. Однако даже при очень большом диаметре диска, удаётся производить резку на небольшую глубину. Этот недостаток связан с тем, что увеличение глубины реза приводит к перегреву диска. Отношение наибольшего перерезаемого диаметра отливки к диаметру диска составляет 6÷8% против 30÷35% у круглопильных станков.

11.1.2 Кислородно-ацетиленовая резка

Кислородно-ацетиленовую (газовую) резку применяют главным образом для резки стальных отливок. Эта резка металлов является высокопроизводительным и вместе с тем простым и дешёвым технологическим процессом, поэтому её широко применяют почти во всех литейных цехах, вместо механической резки. Процесс кислородной резки хорошо поддаётся механизации, что позволило создать большое число специальных машин и приспособлений, обеспечивающих высокую производительность. При газовой резке, в отличие от механической резки, почти не происходит поломок или износа инструмента.

Процесс газовой резки основан на интенсивном окислении металла в струе кислорода при высокой температуре. Для нормального протекания процесса резки металла кислородом необходимы выполнение следующих условий:

- а) температура воспламенения металла должна быть ниже температуры его плавления;
- б) образующиеся при резке окислы металла должны плавиться при температуре более низкой, чем температура его воспламенения и плавления.

Если металл не удовлетворяет первому условию, то он будет плавиться и переходить в жидкое состояние ещё до того, как начнётся его горение в кислороде. Если металл не удовлетворяет второму требованию, то кислородная резка его без применения специальных флюсов невозможна, так как образующиеся окислы не будут находиться в жидком состоянии при температуре горения металла и не смогут быть удалены из места разреза.

Способность сталей подвергаться резанию кислородом зависит от содержания в них углерода и легирующих примесей. При содержании углерода в сталях до 0,3% они ещё достаточно хорошо поддаются резке. При содержании углерода свыше 0,3% сталь склонна к закалке

и образованию трещин при резке, поэтому требуется предварительный общий подогрев разрезаемого материала.

Скорость резания зависит от нескольких параметров:

- от толщины материала, его свойств, состава и температуры;
- от температуры и мощности пламени;
- от формы режущей струи и скорости её истечения из сопла;
- от давления сжатого кислорода, и его чистоты.

Примеси в режущем кислороде уменьшают скорость резания, примерно с 225 мм/мин при чистоте кислорода 99% до 65 мм/мин при чистоте кислорода 81%. Предварительный подогрев отливки повышает скорость резания. При подогреве стали до 200÷370 °С – скорость резания повышается на 50÷100%.

При оптимальных режимах резки колебание давления кислорода в пределах ±0,1 МПа изменяет скорость резания на 25÷50%. Чрезмерное повышение и понижение давления кислорода отражается на качестве резки. На скорость резания влияет также марка стали и род горючего. Скорость ручной резки углеродистых сталей в значительной степени зависит от рода горючего: ацетилен, пиролизный газ, бензин или керосин.

Время ацетилено-кислородной резки в минутах на погонный метр определяется по формуле

$$t = \frac{6}{\delta} + 0,8\sqrt{\delta}, \quad (11.2)$$

а скорость ацетилено-кислородной резки u (в м/с) может быть определена следующим образом

$$v = \frac{60}{t}, \quad (11.3)$$

где δ – толщина разрезаемого металла, мм;

t – продолжительность резки в мин на 1 погонный метр;

Кислородная резка элементов литниковых систем, а также резка стальных отливок отличается от резки прокатного материала. Процесс резки отливок затруднён недостаточной чистотой их поверхности, наличием приливов, пригара и песка. Внутренние дефекты отливок также затрудняют процесс резки. Специфика литейного производства

создаёт особые условия труда резчика и предъявляет повышенные требования к эксплуатации оборудования и инструмента.

Загромождение рабочих мест отливками, прибылями, литниками, формовочной смесью, сильно насыщенная пылью атмосфера цеха резко снижают культуру производства, понижают производительность труда резчика.

Для правильной обрезки прибылей необходимо руководствоваться чертежом детали, на котором указываются допуски на обрезку прибылей и необходимые шаблоны и приспособления. В тех случаях, когда отрезаемые места подвергаются в дальнейшем механической обработке, необходимо оставить некоторый дополнительный припуск сверх чертёжного размера, который снимается при последующей механической обработке. Этот припуск должен дать возможность обработать деталь до заданной чистоты поверхности, Чем и определяется его наименьшая величина. Неравномерность реза и скосы по толщине металла должны быть в пределах разности наибольшего и наименьшего допусков. По сравнению с припусками по листовому и сортовому материалу размеры припусков при обрезке отливок несколько больше. Это вызывается тем, что металл отливок менее чист и плотен, Чем металл проката.

Некоторое время считали, что кислородной резке поддаётся только сталь, но в настоящее время разработаны методы резки и чугуна. Режим кислородной резки чугуна предусматривает применение горёлки с ручным регулированием. Состояние поверхности чугуна после резки значительно хуже, а ширина реза больше, Чем при резке низкоуглеродистой стали. Эти недостатки присущи большинству литейных чугунов. Исключение составляют высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Этот чугун, так же как и низкоуглеродистая сталь, легко поддаётся кислородной резке. Чугун с шаровидным графитом разрезают при помощи обычного устройства для кислородной резки.

Некоторая сложность возникает при резке элементов круглого сечения из-за того, что при перемещении резака мундштук всё время должен находиться на равном расстоянии от поверхности разрезаемого металла.

Скорость резки определяется размером сечения разрезаемого металла. Стремясь к максимальной скорости резки, необходимо учитывать, что вдоль линии реза металл имеет переменную толщину. Ускорение процесса резки при работе на переменной толщине металла

может быть достигнуто за счёт переменной скорости перемещения резака. В начале и конце резки скорость должна быть наибольшей, в середине – наименьшей.

Для кислородной резки может быть применён также керосинорез. В керосинорезе в качестве горючего при кислородной резке используют пары керосина или бензина.

11.1.3 Разделительная воздушно-дуговая резка металлов

Для обрубки отливок находит применение воздушно-дуговой способ резки металлов. Воздушно-дуговая резка может быть применена для резания высоколегированных сталей, чугуна и цветных металлов. Сущность резки заключается в следующем: возбуждается сварочная дуга обратной полярности между угольным электродом и отливкой. Параллельно электроду из электрододержателя подаётся струя сжатого воздуха, выдувающая расплавленный металл из сварочной ванны. При равномерном перемещении электрода вдоль плоскости разрезаемого металла с одновременным выдуванием жидкой ванны он оставляет за собой ровную и чистую канавку в разрезаемом металле. Размеры канавки зависят от силы тока, диаметра электрода, скорости его перемещения и угла наклона к плоскости отливки.

Процесс разделительной резки осуществляется в следующем порядке. После пуска струи воздуха электрод подводят к отливке и возбуждают дугу. Затем вводят электрод внутрь полости реза и перемещают его в заданном направлении. При разделительной воздушно-дуговой резке горение дуги происходит внутри полости разъёма обрабатываемого изделия. Конец электрода не должен выходить за нижнюю кромку реза на расстояние свыше 5 мм, так как увеличение этого расстояния приводит к чрезмерному расходу электродов. При разделительной резке угол наклона электрода по отношению к обрабатываемому металлу устанавливается в пределах $40 \div 65^\circ$. Ширина реза B зависит от диаметра электрода и составляет

$$B = d + (1 \div 2) \text{ мм}, \quad (11.4)$$

где d – диаметр электрода, мм.

Отрезка прибылей от отливок толщиной до $35 \div 40$ мм за один проход затруднительна. При резке металла толщиной более 25 мм электроду при перемещении вдоль линии реза нужно придавать возвратно-поступательные колебания от верхних кромок реза к нижним.

Для осуществления воздушно-дуговой резки металла необходимо иметь резак, источник электрической энергии, сжатый воздух и угольные или графитовые электроды. Наиболее часто пользуются электродами диаметром 6, 8 и 12 мм длиной 250÷300 мм. Графитовые электроды более производительны по сравнению с угольными электродами, так как они имеют в четыре раза большую электропроводность и более высокую теплопроводность. Угольные электроды в процессе резки сгорают значительно быстрее, чем графитовые.

Преимуществом угольных электродов перед графитовыми электродами является их большая механическая прочность и меньшая стоимость. Хорошо себя зарекомендовали в работе угольные электроды, покрытые слоем меди. В качестве графитовых электродов можно использовать стержни, изготовленные из отходов электродов электропечей.

11.2 Очистка и зачистка отливок

Выбор технологического процесса очистки отливок и оборудования для очистки определяется характером производства (единичное, серийное, массовое) и характеристикой очищаемых отливок (масса, состояние поверхности, форма). На выбор технологического процесса влияет также род покрытия, которое в дальнейшем будет наноситься на отливку (окраска, эмалирование, гальваническое покрытие).

Наиболее распространённым универсальным методом очистки является струйная очистка. Кроме этого используют очистку отливок в галтовочных барабанах, вибрационную абразивную очистку, электрохимическую очистку, электротермомеханическую очистку, газопламенную очистку и электрогидравлическую очистку.

Существует несколько методов струйной очистки. По характеру получения абразивной струи эти методы делятся на дробеструйный, дробемётный и гидropескоструйный. При дробеструйной очистке очистной материал направляется на обрабатываемую поверхность струёй воздуха. При дробемётной очистке очистной материал выбрасывается под действием центробежной силы. При гидropескоструйной очистке очистной материал направляется струёй воды низкого или высокого давления.

В галтовочных барабанах отливка чистятся за счёт трения друг о друга и о наполнитель в результате переваливания внутри барабана. По роду работы различают барабаны непрерывного и периодического действия.

Вид применяемого очистного материала оказывает большое влияние на качество поверхности отливок, производительность процесса и экономические показатели работы очистного оборудования.

Для струйной очистки применяют разнообразные очистные материалы.

Наиболее часто используется металлическая дробь. Стандарт предусматривает пять видов дроби из чугуна и сталей для дробемётной и дробеструйной очистки отливок. Это дробь чугунная литая (ДЧЛ), дробь чугунная колотая (ДЧК), дробь стальная литая (ДСЛ), дробь стальная колотая (ДСК) и дробь стальная рубленая из проволоки (ДСР).

В зависимости от вида и назначения дроби ГОСТом предусмотрено 16 номеров дроби, отличающихся размером. Самый малый номер 01 предусматривает наибольший размер отдельной дроби до 0,1 мм, самый большой номер 6 – от 5,5 до 8,0 мм.

Помимо стальной и чугунной дроби применяют дробь из цветных сплавов (алюминиевых и медных), а также абразивные очистные материалы из неметаллов как минерального, так и органического состава.

11.2.1 Рубильные молотки

Пневматические рубильные молотки применяют для удаления с поверхности отливок заливок, элементов литниковых систем, ужимин, а также для очистки поверхности тяжёлых отливок от пригара.

Для обрубки отливок используют главным образом молотки золотникового типа. Молотки с коротким ходом ударника (до 100 мм) применяют для лёгкой обрубки литья, молотки с длинным ходом – для тяжёлой обработки.

Устройство рубильного молотка показано на рис. 11.1. В стволе 1 помещён ударник 2, который под действием сжатого воздуха совершает возвратно-поступательное движение, нанося удары по хвостовику рабочего инструмента 3 (зубила). Переключение течения воздуха производится автоматически золотником 4. Пуск молотка осуществляется нажатием курка 5, помещённого в рукоятке 6. Шланг для подвода сжатого воздуха прикрепляется к молотку с помощью резьбового nipples и футорки, ввинчиваемой в отросток рукоятки молотка.

Для устранения проникновения в молоток вместе со сжатым воздухом грязи и пыли в футорку закладывают сетку, которая их задерживает.

Существенную роль в повышении производительности труда при обрубке отливок пневматическими рубильными молотками играет

правильный выбор зубила. На рис. 11.2 показаны зубила, которыми пользуются квалифицированные обрубщики, достигая высокой производительности при обрубке стальных и чугунных отливок.

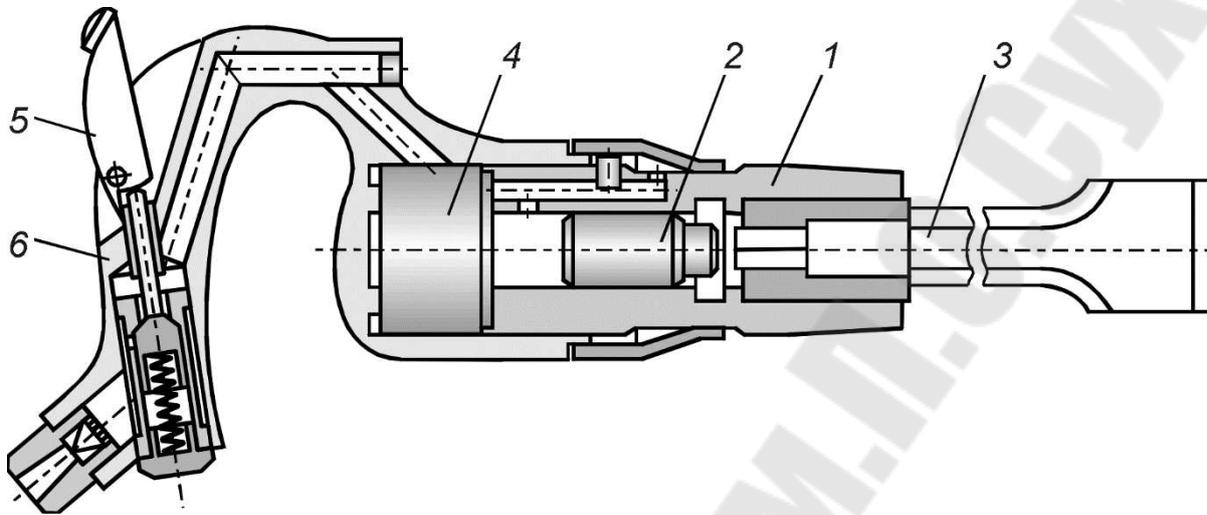


Рисунок 11.1 Устройство пневматического рубильного молотка

Зубила 7, 2 и 5 применяют для очистки поверхности отливок от пригоревшей формовочной смеси и для вырубки пороков отливок под заварку. Зубила 3 с уширенной рабочей частью применяют для обрубке стальных отливок после отжига. Зубила 4 имеют специальную загнутую рабочую часть и применяют для очистки внутренних сфери-

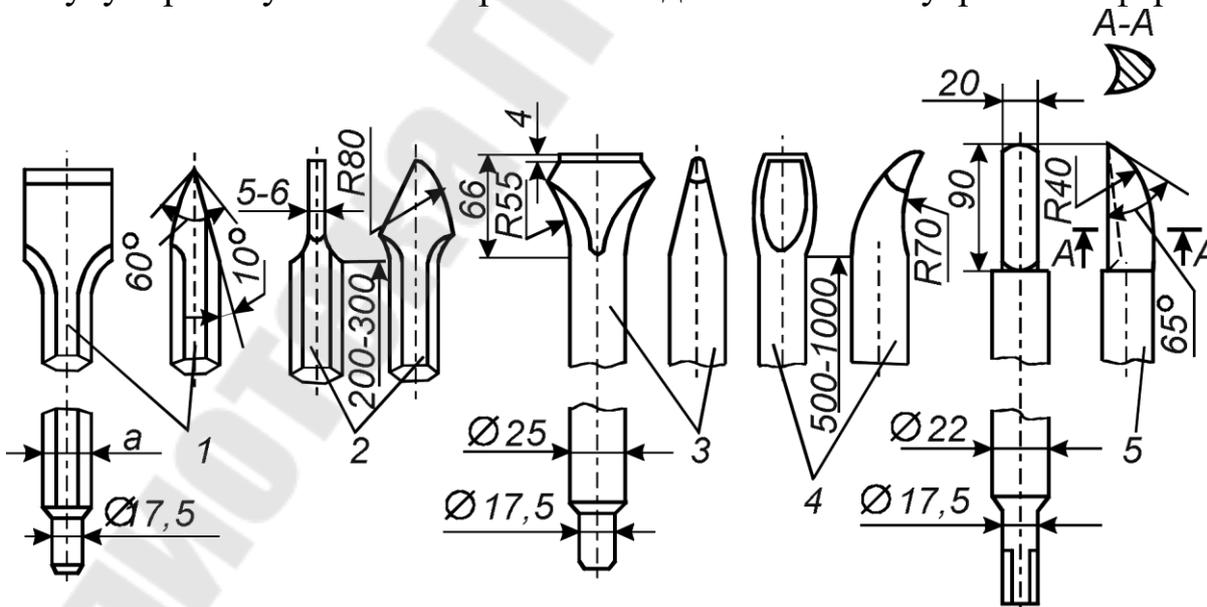


Рисунок 11.2 Зубила для очистки и зачистки отливок
ческих поверхностей.

Хвостовики зубил делают не только цилиндрическими, но и шестигранными. Такие зубила используют, когда вращение инструмента при обрубке недопустимо, например, при выполнении точных обрубных работ (зачистка заваренных мест на обработанной поверхности, обрубка холодильников и т. п.).

Высокой стойкостью при работе обладают зубила из сталей марок 4ХС, 6ХС, 7ХС. Твёрдость рабочей кромки зубила должна быть $HRC\ 58\div 61$. Уменьшение твёрдости резко снижает стойкость инструмента, а увеличение приводит к выкрашиванию кромки. Рекомендуется немного притуплять лезвие зубила, затачивая на нём площадку шириной $0,3\div 0,5$ мм для предохранения рабочей кромки от выкрашивания.

11.2.2 Галтовочные барабаны

Одним из способов очистки отливок является галтовка в барабанах. Очистка в галтовочном барабане происходит в результате совокупности нескольких процессов. Это взаимное соударений и трение отливок, а также соударение и трение отливок о стенки барабана. Для интенсификации процесса в барабан загружают специальные звёздочки, отливаемые из белого чугуна.

Применяют галтовочные барабаны периодического и непрерывного действия. Галтовочный барабан периодического действия (рис. 11.3) обеспечивает высокое качество поверхности отливок.

Одновременно с очисткой отливок в галтовочном барабане может происходить выбивка стержней и отбивка элементов литниковых систем.

Основные узлы галтовочного барабана: рама со стойками, обечайка барабана, скиповый подъёмник и электроталь.

Барабан подвешен на цапфах 1 и 6, которые входят в подшипники 2, установленные на стойках рамы.

В обечайке барабана 4 прорезан загрузочный люк 5, закрываемый крышкой, которая закрепляется с помощью запора. Через отверстия в цапфах барабана предусматривается подключение пылеотсоса путём присоединения машины к системе цеховой вентиляции.

При проектировании определяют скорость вращения барабана, мощность электродвигателя привода барабана и мощность электродвигателя привода скипового подъёмника. Для обеспечения безопасности работы проверяют установленный на скиповом подъёмнике тормоз.

От скорости вращения барабана зависит интенсивность относительного перемещения отливок и, следовательно, эффективность очистки.

По практическим данным оптимальной является скорость вращения, при которой центробежная сила, действующая на отливку у поверхности барабана, составляет от 50 до 60% силы тяжести отливок (mg). Меньшее значение принимается для барабанов диаметром свыше 0,7 м, большее – для барабанов диаметром менее 0,7 м.

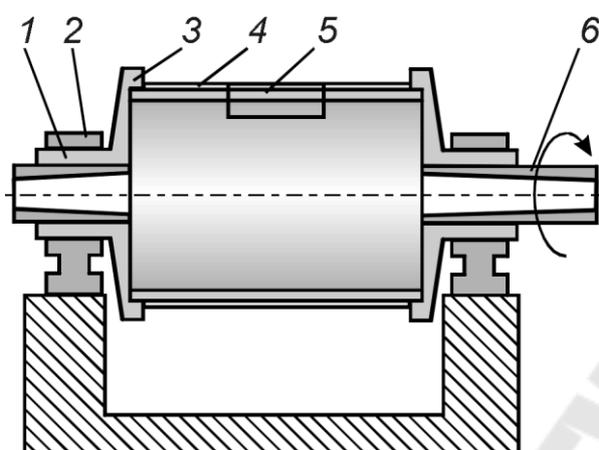


Рисунок 11.3 Галтовочный барабан периодического действия

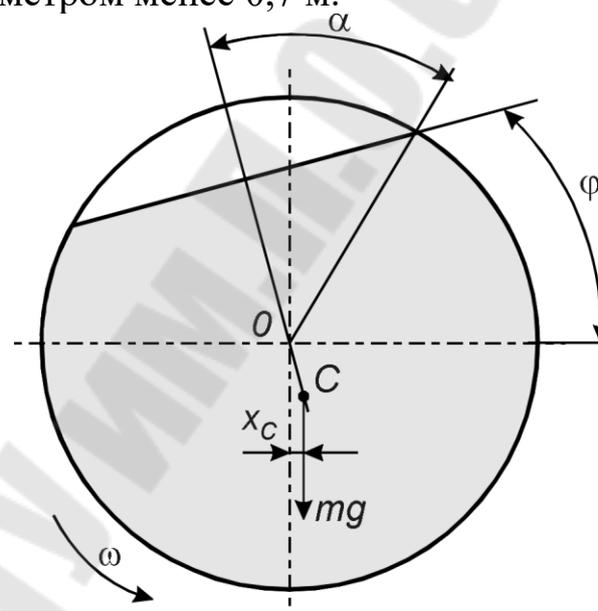


Рисунок 11.4 Схема к расчёту галтовочного барабана

При этих условиях отливки не прижимаются всё время к стенке барабана под действием центробежной силы, но и не сползают без подъёма.

Формулы для вычисления угловой скорости барабанов имеют вид:

при $D \geq 0,7$ м

$$\omega_6 \leq \frac{3,14}{\sqrt{D}}, \quad (11.5)$$

при $D < 0,7$ м

$$\omega_6 = \frac{3,40}{\sqrt{D}}, \quad (11.6)$$

где D – внутренний диаметр обечайки барабана, м;

ω_6 – угловая скорость вращения барабана, рад/с.

Мощность электродвигателя привода вращения барабана можно определить по моменту, создаваемому загрузкой барабана при его вращении.

Сечение барабана плоскостью, перпендикулярной оси вращения, с обозначениями величин, принимаемых при расчёте, приведено на рис. 11.4.

Здесь φ – угол расположения свободной поверхности загрузки относительно горизонтальной плоскости, рекомендуется $\varphi = 40^\circ$; x_c – смещение центра тяжести загрузки от вертикальной оси барабана, мм; m – масса загрузки барабана, кг; C – центр тяжести загрузки барабана; α – половина угла сегмента свободного объёма барабана, рад.

Расстояние от центра тяжести сечения загрузки до центра круга (отрезок OC) вычисляется по формуле

$$e = \frac{2D \sin^3 \alpha}{3(2\alpha - \sin 2\alpha)}. \quad (11.7)$$

Величина загрузки барабана определяется коэффициентом загрузки K , показывающим отношение объёма загрузки к общему объёму обечайки барабана. Обычно K принимают от 0,7 до 0,8.

Считая, что загрузка барабана равномерно распределяется по длине, можно принять

$$K = \frac{S_c}{S_H} = \frac{2\alpha - \sin 2\alpha}{2\pi}, \quad (11.8)$$

где S_c – площадь сегмента, образованного загрузкой, м^2 ;
 S_H – площадь сечения барабана, м^2 .

Рассматривая совместно формулы (161) и (162), получаем

$$e = \frac{D \sin 3\alpha}{3\pi K}. \quad (11.9)$$

Формулу 163 с погрешностью $\pm 1\%$ можно заменить выражением

$$e = 0,424(1 - K)D. \quad (11.10)$$

Так как момент, создаваемый загрузкой относительно оси вращения барабана может быть определён формулой

$$M = x_c mg, \quad (11.11)$$

где x_c – проекция отрезка OC на горизонтальную ось круга:

$$x_c = e \sin \varphi, \quad (11.12)$$

то с учётом формулы (4.10) получим

$$M = (0,242(1 - K)D \sin \varphi)mg. \quad (11.13)$$

Зная момент создаваемый загрузкой барабана, можно вычислить мощность электродвигателя привода барабана, кВт (все величины в системе СИ)

$$N_{\delta} = \frac{M\omega_{\delta}}{\eta} = \frac{0,242(1 - K) \sin \varphi Dmg\omega_{\delta}}{\eta}, \quad (11.14)$$

где η – к. п. д. привода вращения барабана, принимаемый на основе практических данных в пределах $\eta = 0,6 \div 0,8$.

Мощность электродвигателя скипового подъёмника (в кВт) находится по формуле

$$N_{ск} = \frac{(m_k + m)gv}{\eta_{об}}, \quad (11.15)$$

где m_k – масса ковша скипа, кг;

m – масса загрузки скипа, кг;

v – скорость подъёма ковша ($v = 0,03 \div 0,04$ м/с);

$\eta_{об}$ – общий к. п. д. механизма привода скипа;

$$\eta_{об} = \eta_{зп} \eta_p \eta_{рп} \eta_{\delta} \eta_{п}, \quad (11.16)$$

где $\eta_{зп}$ – к.п. д. открытой зубчатой пары;

η_p – к. п. д. редуктора;

$\eta_{рп}$ – к. п. д. ремённой передачи;

η_{δ} – к. п. д. канатного барабана с учётом трения в подшипниках;

$\eta_{п}$ – к. п. д. сдвоенного полиспаста.

Расчёт тормоза скипового подъёмника состоит в проверке надёжности удержания груза неподвижным с определённым запасом усилия торможения.

Тормозной момент при этом должен отвечать условию

$$M_T \geq k_T M_{ст}, \quad (11.17)$$

где k_T – коэффициент запаса торможения, равный для лёгких режимов работы 1,5 и для средних режимов 1,75;
 $M_{ст}$ – статический момент (в Нм) груза, приведённый к тормозному валу, определяемый по формуле

$$M_{ст} = \frac{(m_k + m)gD_0 c \eta_T}{2 a n_{п} i_p i_{зп}}, \quad (11.18)$$

где D_0 – диаметр барабана по центру каната, м;
 c – число ветвей каната, закреплённых на барабане;
 a – кратность полиспаста;
 $n_{п}$ – число полиспастов;
 i_p – передаточное число редуктора;
 $i_{зп}$ – передаточное число зубчатой пары;
 η_T – коэффициент полезного действия механизма, равный

$$\eta_T = \eta_{зп} \eta_p \eta_{б} \eta_{п}. \quad (11.19)$$

Галтовочный барабан непрерывного действия (рис. 11.5) представляет собой обечайку 1, открытую с торцов. Барабан наклонён к горизонту на $4 \div 10^\circ$. За счёт этого наклона отливки продвигаются вдоль барабана и очищаются в результате трения друг о друга.

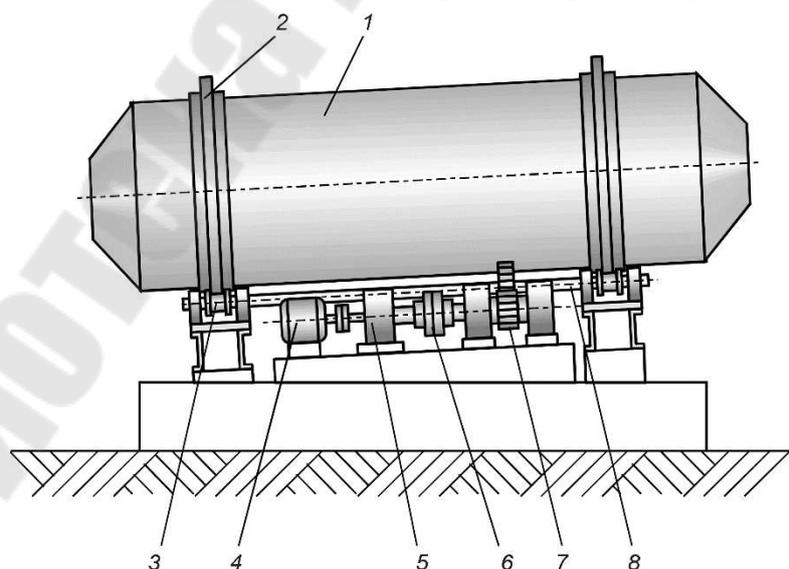


Рисунок 11.5 Галтовочный барабан непрерывного действия

Барабан опирается на ролики 3 бандажами 2. Чтобы барабан не смещался в осевом направлении, ролики имеют реборды. Привод вращения барабана включает электродвигатель 4, редуктор 5, муфту 6, зубчатую пару 7 и ролики 3. Вращение от роликов к бандажам барабана осуществляется за счёт трения.

Для интенсификации процесса переворачивания отливок, на внутренней поверхности галтовочных барабанов могут выполняться выступы (рис. 11.6).

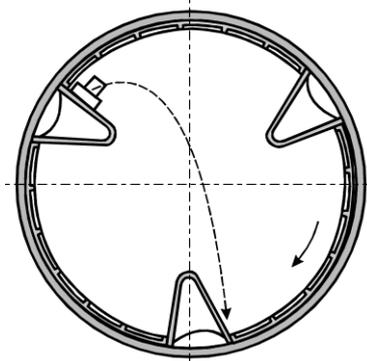


Рисунок 11.6 Внутренне устройство галтовочных барабанов

11.2.3 Дробемётная очистка отливок

Среди струйных методов очистки наибольшее распространение имеет дробемётный метод. Сущность дробемётной очистки состоит в направлении на очищаемую поверхность отливки

струи дроби, разогнанной в дробемётном аппарате до скорости $40 \div 100$ м/с. Дробемётный аппарат (рис. 11.7) имеет следующие основные узлы: шпиндель 3, ротор 5, загрузочную воронку 9, распределительную коробку 4 и кожух 7.

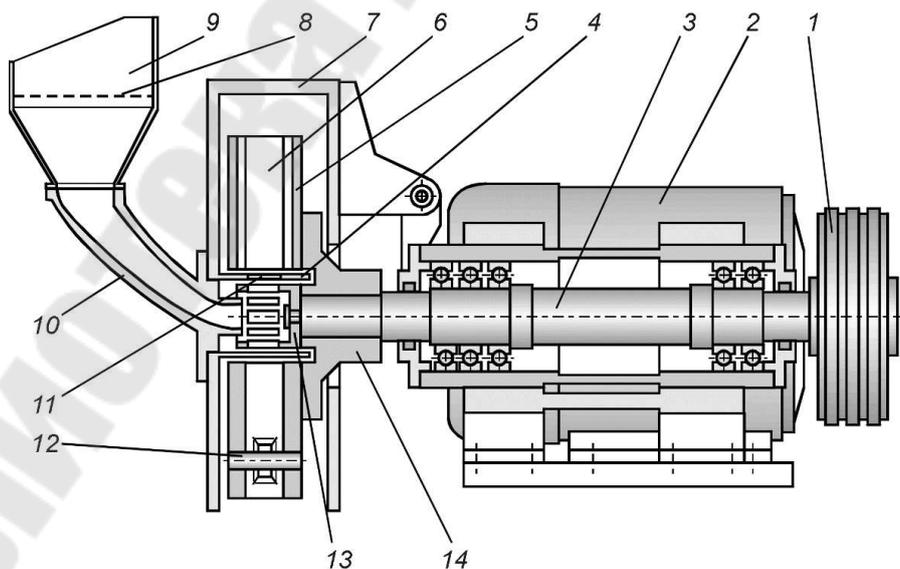


Рисунок 11.7 Устройство дробемётного аппарата

Шпиндель предназначен для передачи вращательного движения от электродвигателя 2 к ротору 5 через клиноремённую передачу 1. Ротор служит для придания дроби необходимой скорости и состоит из двух дисков, радиально расположенных лопастей 6 и крыльчатки (импеллера) 13. Распределительная коробочка соединена с кожухом головки и имеет окно 11, положение которого можно изменить при повороте коробочки и таким образом изменить направление струи дробы при вылете из аппарата.

Загрузочная воронка служит для подачи дробы из сепаратора в полость крыльчатки. Кожух предотвращает вылет дробы во внешнюю среду; он состоит из корпуса и крышки. Корпус и крышка головки с внутренней стороны покрыты сменными литыми щитами.

При работе аппарата дробь самотёком поступает в крыльчатку, разгоняется лопастями крыльчатки и под действием центробежной силы выбрасывается через окно распределительной коробочки. Затем дробь подхватывается лопастями дробемётной головки, получает во время движения по ним высокую скорость и направляется в зону очистки.

Траектория движения дробы в аппарате (рис. 11.8) показана жирной линией. Дробь подаётся в отверстие крыльчатки нагнетателя 4 и попадает между его лопатками, которые выбрасывают дробь в отверстие 2 направляющей втулки 3. Дробь подхватывается внутренним краем лопатки 1. Так как разность скоростей лопатки и дробы велика, а направления движений почти совпадают, происходит ударное взаимодействие дробинки с лопаткой и дискретный характер их движения по всей лопатке.

Удар дробинки вызывает мгновенное повышение температуры в зоне удара, значительные деформации и снижение контактно-усталостной прочности, что приводит к интенсивному износу лопаток.

Срок службы лопаток ограничен. Низкая эксплуатационная стойкость лопаток вызывает значительные простои оборудования из-за частой замены изношенных лопаток, а также большие расходы по их изготовлению.

Помимо увеличения эксплуатационной стойкости лопаток за счёт подбора более износостойких материалов эта стойкость может быть увеличена также за счёт следующих мероприятий:

- создание такого криволинейного профиля радиально расположенной лопатки, который бы обеспечивал плавный, безударный вход дробы на поверхность лопатки;
- изменение положения лопатки относительно радиуса. Отклонение лопатки в сторону, противоположную вращению, обеспечивает вход дробы на лопатку без удара. Однако при этом наблюдается некоторое снижение скорости схода дробинки с лопастей;
- подача дробы сжатым воздухом вдоль лопаток.

Несмотря на ограниченную стойкость рабочих лопаток, дробёмётный способ очистки имеет следующие преимущества перед другими способами:

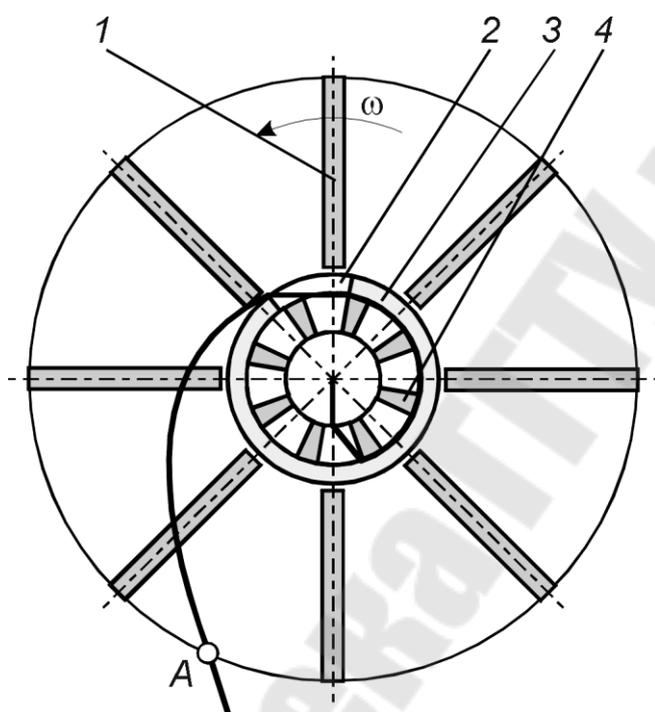


Рисунок 11.8 Траектория движения дробы в дробёмётном аппарате

- производительность его в 10 раз выше, чем при дробеструйной очистке;
- расход энергии в 10 раз меньше, чем при дробеструйной очистке;
- имеется возможность регулировать скорость вылета абразивного материала из дробёмётного аппарата путём изменения частоты вращения рабочего колеса;
- меньшая, чем при дробеструйной очистке, запылённость рабочего места.

Недостатком дробёмётной очистки следует считать затруднённую очистку отливок сложной конфигурации.

Производительность дробёмётной очистки, как и дробеструйной, пропорциональна количеству дробы, выбрасываемой дробёмётным аппаратом в единицу времени.

Рабочее колесо дробёмётного аппарата выполняется чаще всего двухдисковым (рис. 11.9). В этом случае лопатки 2 устанавливаются в пазы дисков 5 и фиксируются от радиального смещения штифтами 7,

для этого на лопатке имеется профильный прилив 6. Расстояние между дисками задаётся дистанционными колонками 8. Импеллер 4 соединён с диском 5 и вращается вместе с ним. Втулка 3 соединяется с кожухом колёса и остаётся неподвижной. Начальная установка втулки делается такой, чтобы угол между радиусом, проведённым через правую (по рис. 11.9) кромку отверстия 1 и предполагаемой осью факела дробы составлял примерно 140° .

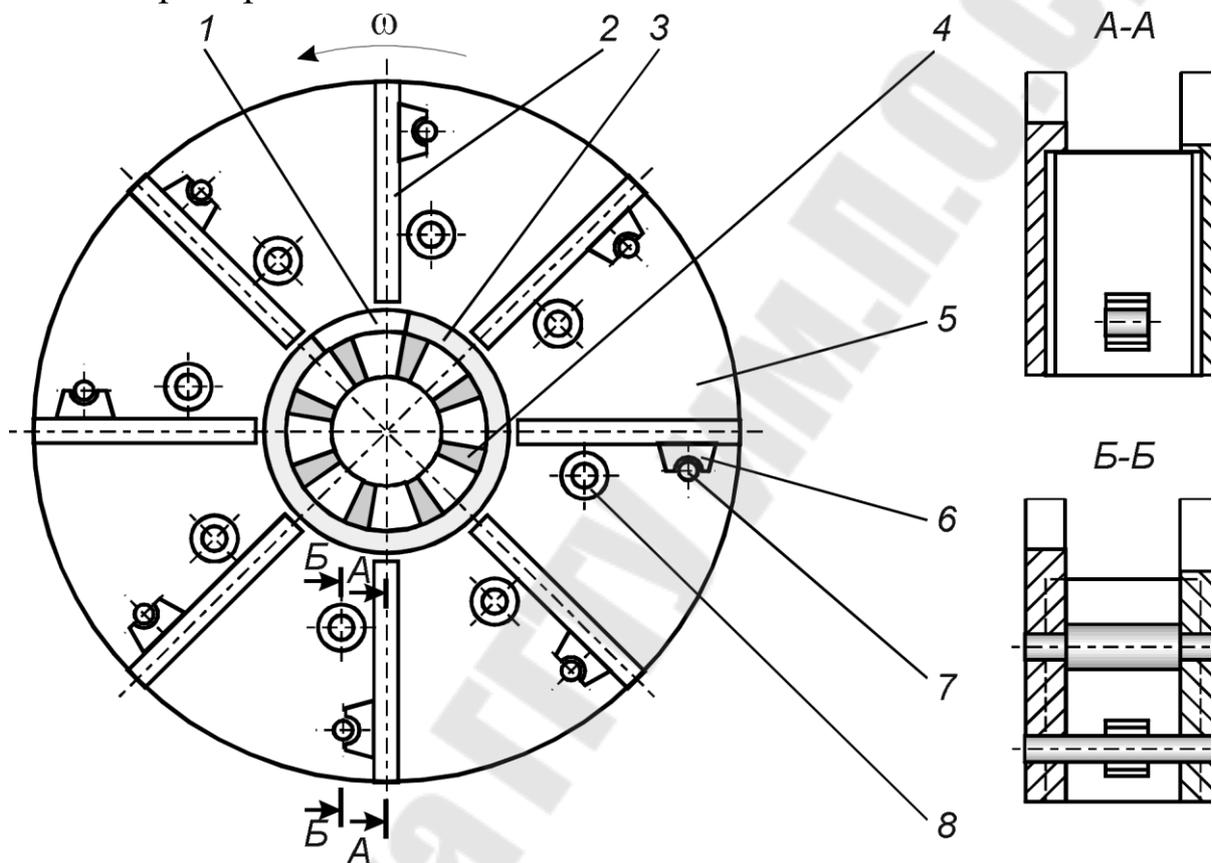


Рисунок 11.9 Крепление лопаток рабочего колёса дробемётного аппарата

В безимпеллерных дробемётных аппаратах (рис. 11.10) дробь подаётся самотёком в направляющий патрубок, где подхватывается сжатым воздухом и вбрасывается в пространство между лопатками.

Импеллер и втулка с окном в данной конструкции отсутствуют. Встреча дробы с лопаткой происходит с меньшим ударом, поэтому срок службы лопаток и дробы выше, чем в импеллерных аппаратах. Изменить направление факела дробы можно путём поворота направляющего патрубка.

В зависимости от метода подачи отливок под струю дробы, и размещение очистных аппаратов дробемётное очистное оборудование

разделяют на барабаны, столы, камеры и специальные установки. По характеру работы это оборудование бывает периодического и непрерывного действия.

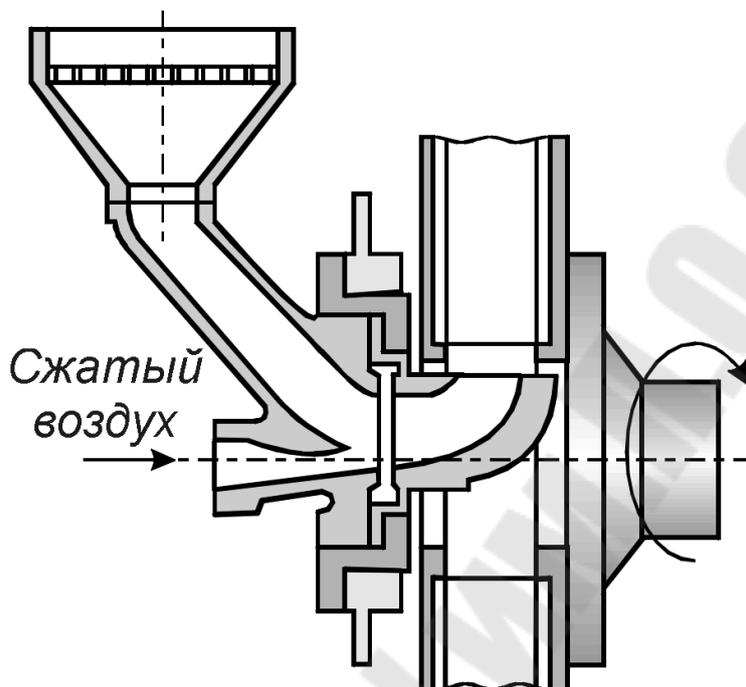


Рисунок 11.10 . Безимпеллерный дробемёт

В дробемётном ленточном барабане периодического действия (рис.11.11) очистка отливок осуществляется факелом дроби 5 в рабочем пространстве 1, образуемом перфорированным пластинчатым транспортёром 3, охватывающим три шкива 4, и двумя торцовыми дисками 2.

Транспортёр имеет два направления движения – рабочее (на рис. 11.11, б показано стрелкой), при котором отливки переворачиваются в рабочем пространстве, и, обратное, предназначенное для выгрузки отливок. Над рабочим пространством устанавливается один или два дробемётных аппарата б. Отливки в дробемётный ленточный барабан периодического действия обычно загружают скиповым подъёмником.

Барабан периодического действия может быть встроен в непрерывный поток. Отливки транспортёром непрерывно подаются в промежуточный бункер-накопитель, из которого порциями перегружаются в ковш скипового подъёмника. По мере очистки порции отливок (10÷15 мин) скиповый подъёмник загружает отливки в барабан. Очищенные отливки пластинчатым транспортёром барабана подаются на пластинчатый транспортёр выгрузки и транспортируются на участок

абразивной зачистки. Выпускаются барабаны для массы загрузки от 500 до 3000 кг отливок. Для очистки литья, подверженного бою, выпускаются барабаны, в которых пластинчатый транспортёр заменён резиновой лентой.

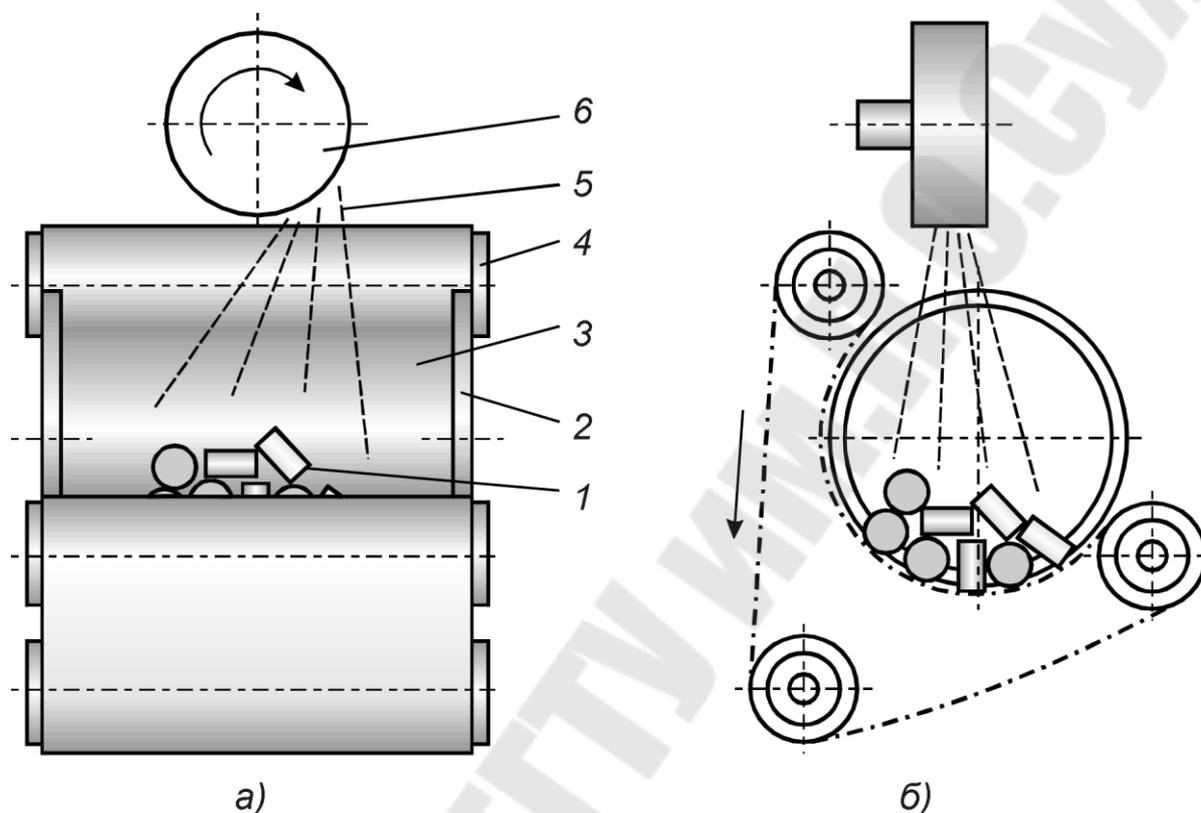


Рисунок 11.11 Схема устройства дробемётного барабана периодического действия

Некоторые отливки, например, плоские диски, отливки, имеющие длинные тонкие выступающие части, тонкостенные отливки и др. не рекомендуется подвергать очистке в барабанах. Их чистят на дробемётных очистных столах, которые представляют собой плоскую карусель, часть которой закрыта и находится в зоне очистки, а другая часть выходит наружу для загрузки, разгрузки и перемены положения отливок. В установках непрерывного действия карусель вращается без остановок, пронося отливки под дробемётными аппаратами. В установках периодического действия отливки устанавливаются не на карусель, а на вращающиеся тарелки. При работе такого стола карусель периодически останавливается, а тарелки вращаются в зоне очистки под потоком дроби. Для ускорения процесса загрузки и разгрузки тарелки делают съёмными.

Крупные и тяжёлые отливки очищаются в камерах периодического действия. Отливки в таких камерах устанавливаются на самодвижущиеся столы, которые в большинстве случаев имеют вращающиеся платформы. Грузоподъёмность столов достигает 50 т и более. В рабочем пространстве камеры отливка вращается на платформе, подвергаясь воздействию потоков дробы от нескольких дробемётных аппаратов. Камеры обычно снабжаются также дробеструйными аппаратами, с помощью которых производится очистка поверхностей в карманах и полостях, не доступных потоку дробы, направляемому дробемётным аппаратом.

В условиях крупносерийного и массового производства широко применяют камеры непрерывного действия (см. рис. 11.12). В этих камерах отливки закрепляются на подвесках, которые цепью подаются в зону очистки и вращаются там, подставляя поверхность отливок под потоки дробы. В таких камерах устанавливаются 4, 6, 8, 12 и более дробемётных аппаратов, в зависимости от необходимой производительности.

Подвесной конвейер дробемётной камеры непрерывного действия устроен следующим образом (рис. 11.13). Тележка 5 подвески своими роликами 6 опирается на монорельс 1 двутаврового сечения. Тележки распределены по трассе конвейера с постоянным шагом и соединены тяговой цепью 2. На всех поворотах трассы цепь огибает звёздочки. Одна из звёздочек является приводной, а одна натяжной, для компенсации вытяжения цепи при износе шарниров. На оси подвески установлено зубчатое колесо 4. На крюк подвески может быть установлена этажерка для мелких или цепь с крючьями для крупных отливок.

Вращение подвесок в зоне обстрела дробью происходит благодаря наличию на оси подвески зубчатого колёса. При непрерывном движении подвесного конвейера в зоне обстрела устанавливается зубчатая рейка 3. При прокатывании шестерни по зубчатой рейке в процессе движения конвейера, подвеска вращается относительно вертикальной оси. При пульсирующем движении конвейера, соосно со звёздочкой, расположенной в зоне обстрела устанавливается зубчатое колесо. После смещения конвейера на один шаг подвесок, зубчатое колесо начинает вращаться, поворачивая подвески, сцепленные с ним шестернями 4. Очистка происходит лучше, чем в первом случае.

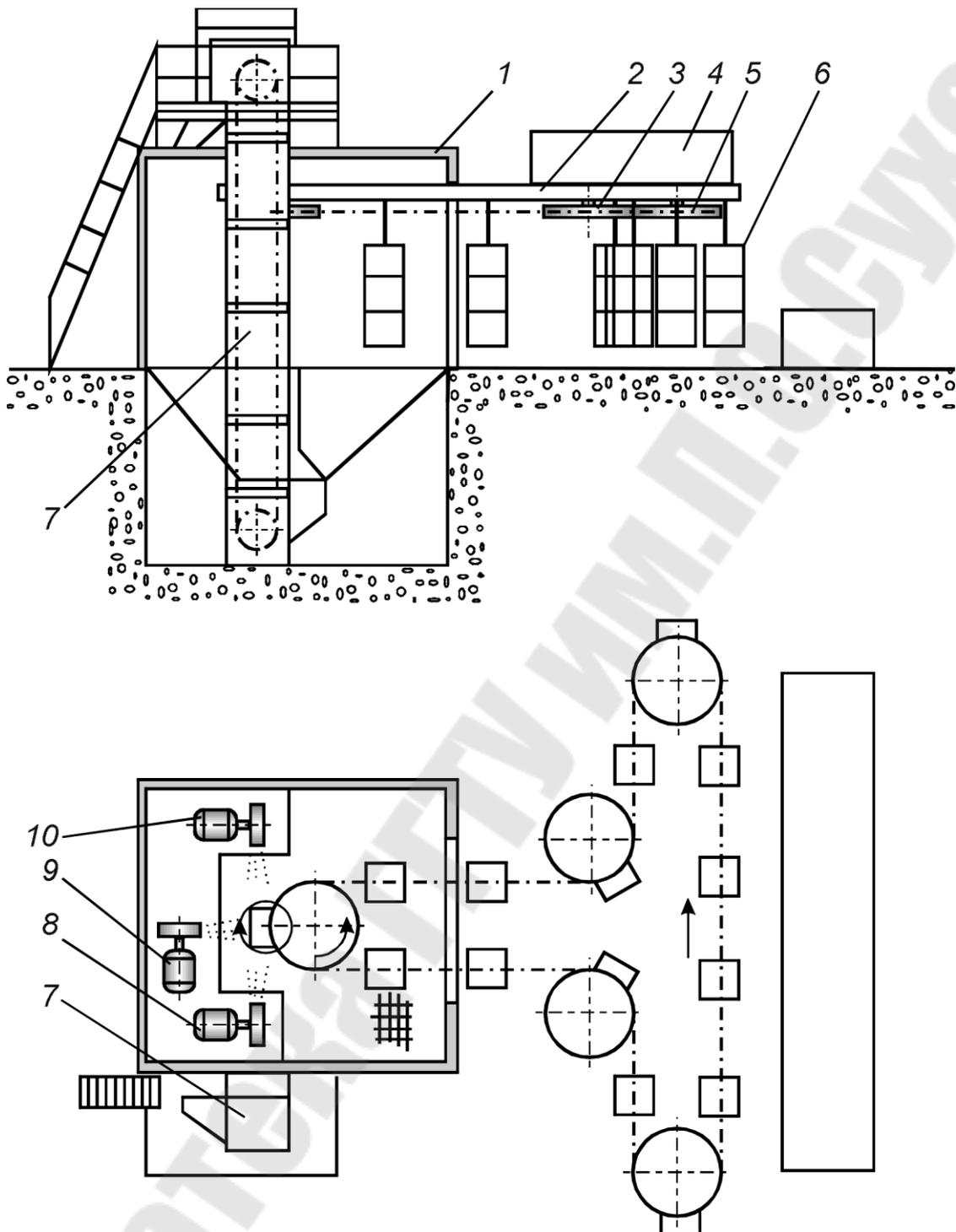


Рисунок 11.12 Дробемётная камера непрерывного действия:

- 1 – камера; 2 – монорельс; 3 – звёздочка; 4 – приводная и натяжная станция;
 5 – приводная цепь; 6 – этажерка подвески; 7 – элеватор подъёма дробы; 8, 9, 10 – дробемётные аппараты.

Для отливок, у которых для различных поверхностей требуется разное время очистки, применяют камеры непрерывного действия с

индивидуальными подвесками с программным управлением. У камер этого типа каждая подвеска перемещается по монорельсу и вращает отливку в зоне очистки самостоятельно по заранее заданной программе.

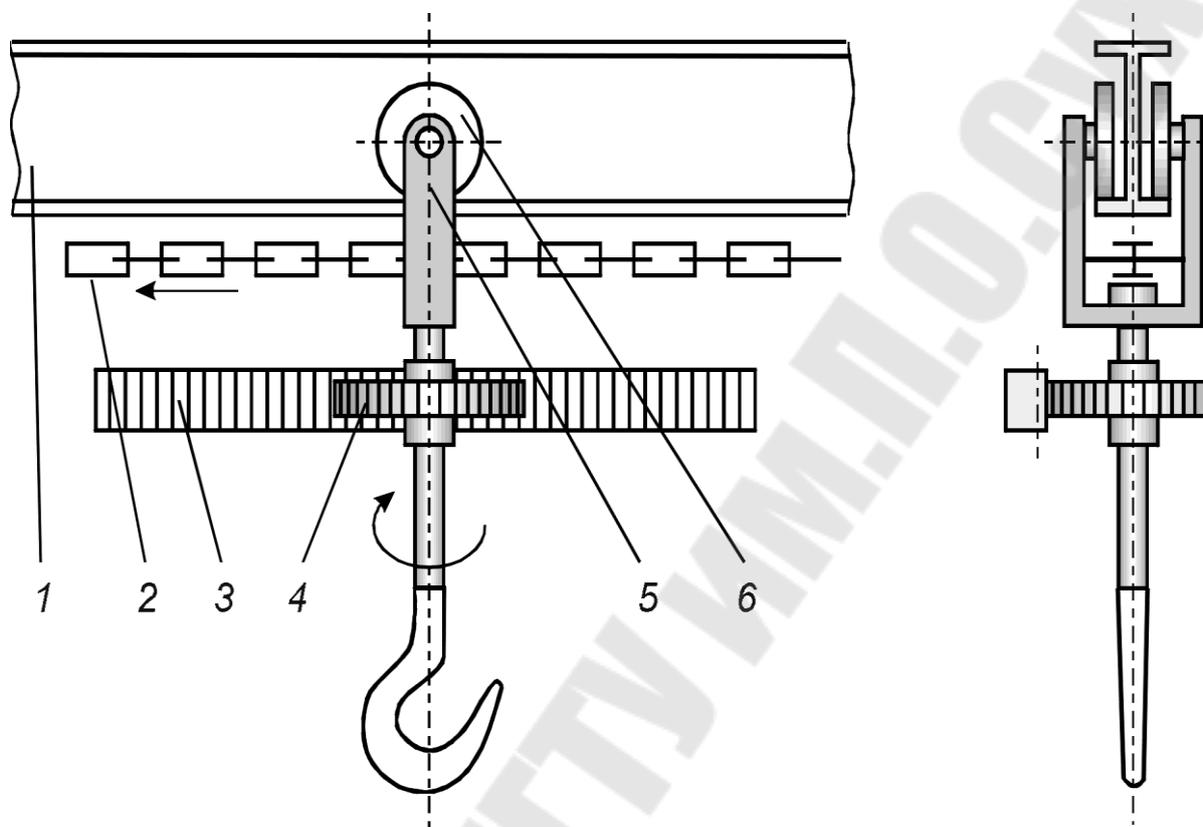


Рисунок 11.13 Устройство подвешенного конвейера дробемётных камер

Дробемётная камера изнутри покрывается резиной для снижения шума.

Ворота чаще выполняются в виде двух пар последовательно установленных резиновых занавесей. Такая конструкция легко пропускает подвеску и не даёт дробе разлетаться. Трасса подвешенного конвейера внутри камеры защищается от воздействия дробе броневыми плитами.

Дробемётные камеры имеют решётчатый пол. Под ним устроена система сбора и подготовки дробе, которая затем поднимается вверх элеватором и подаётся к дробемётным аппаратам самотёком по трубам.

11.2.4 Дробеструйная очистка отливок

Для очистки отливок, имеющих глубокие внутренние карманы и обширные полости, в которые трудно направить струю дробе из дробемётного аппарата, применяют дробеструйную очистку, хотя

энергетические затраты при ней в несколько раз выше, а санитарно-гигиенические условия работы хуже.

Для придания скорости струе дроби используют всасывающие и нагнетательные дробеструйные аппараты.

На рис. 11.14 показаны конструкция и принцип действия простого нагнетательного дробеструйного аппарата.

Аппарат имеет герметически закрываемый бак, в котором под давлением сжатого воздуха находится дробь. Под действием силы тяжести и давления сжатого воздуха, которое в баке 1 выше, чем в смесительной камере 5, дробь подаётся в смесительную камеру и увлекается оттуда через шланг к рабочему соплу 6.

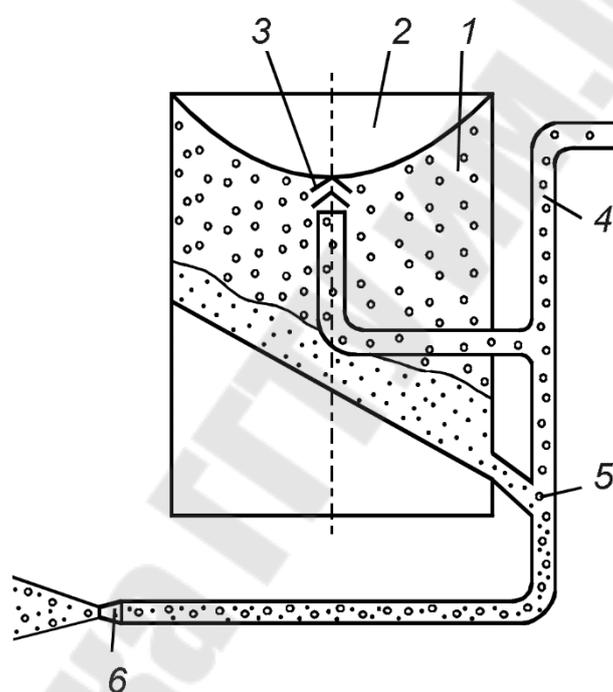


Рисунок 11.14 Схема устройства дробеструйного аппарата

Для пополнения камеры дробью прекращают поток сжатого воздуха в полость бака и соединяют её с атмосферой. При этом клапан 3 под воздействием веса дробы опускается, и дробь из загрузочной воронки 2 попадает в полость камеры 1.

Для обеспечения непрерывной работы дробеструйные аппараты выполняют двухкамерными. В таком аппарате дробь может загружаться в верхнюю камеру, из неё в среднюю камеру, а затем перегружаться в нижнюю камеру без остановки работы аппарата.

Дробеструйную очистку отливок производят в камерах по типу дробемётных (рис. 11.15). Такая камера представляет собой закрытую

металлическую конструкцию 1, внутренняя обшивка которой выполнена из стального листа толщиной 3 мм и покрыта резиной толщиной 10 мм. В передней стенке камеры выполнен проём для ворот 2, которые открываются и закрываются автоматически или вручную. Отливки укладываются мостовым краном на тележку 3, приводимую в движение электрифицированной канатной откаткой 4. Кабина 7 камеры представляет собой изолированное рабочее помещение, на передней стене которого имеется съёмное окно и сопловый механизм. Сопловый механизм смонтирован на сферическом шарнире и имеет угол поворота около 100°. Поворотный стол 5 в центре камеры предназначен для вращения тележки с отливкой при очистке. Привод поворотного стола – электромеханический. Нижняя часть камеры выполнена в виде воронки, в которой собирается дробь и продукты очистки. Шнековый питатель подаёт дробь и продукты очистки к элеватору 6 через вращающееся сито.

Элеватор подаёт материал в воздушный сепаратор. Очищенная дробь подаётся в дробеструйный аппарат 8, откуда по рукавам поступает к сопловым механизмам. Для удаления из камеры пыли устроена система пылеотсоса, включающая зонты 9 и 10.

По окончании очистки тележка выкатывается из камеры, отливка снимается, и на тележку устанавливается новая отливка. Камеры, в которых загрузка и разгрузка тележки осуществляется в одном месте, называют тупиковыми в отличие от проходных. В проходных камерах тележка для разгрузки выкатывается с другой стороны камеры, то есть за цикл очистки проходит её насквозь.

11.2.5 Вибрационная очистка отливок

При вибрационной обработке внутренняя и наружная поверхности отливок очищаются путём вибрации контейнера с находящимися в нём деталями и наполнителем с частотой до 3000 колебаний в минуту (рис. 11.16).

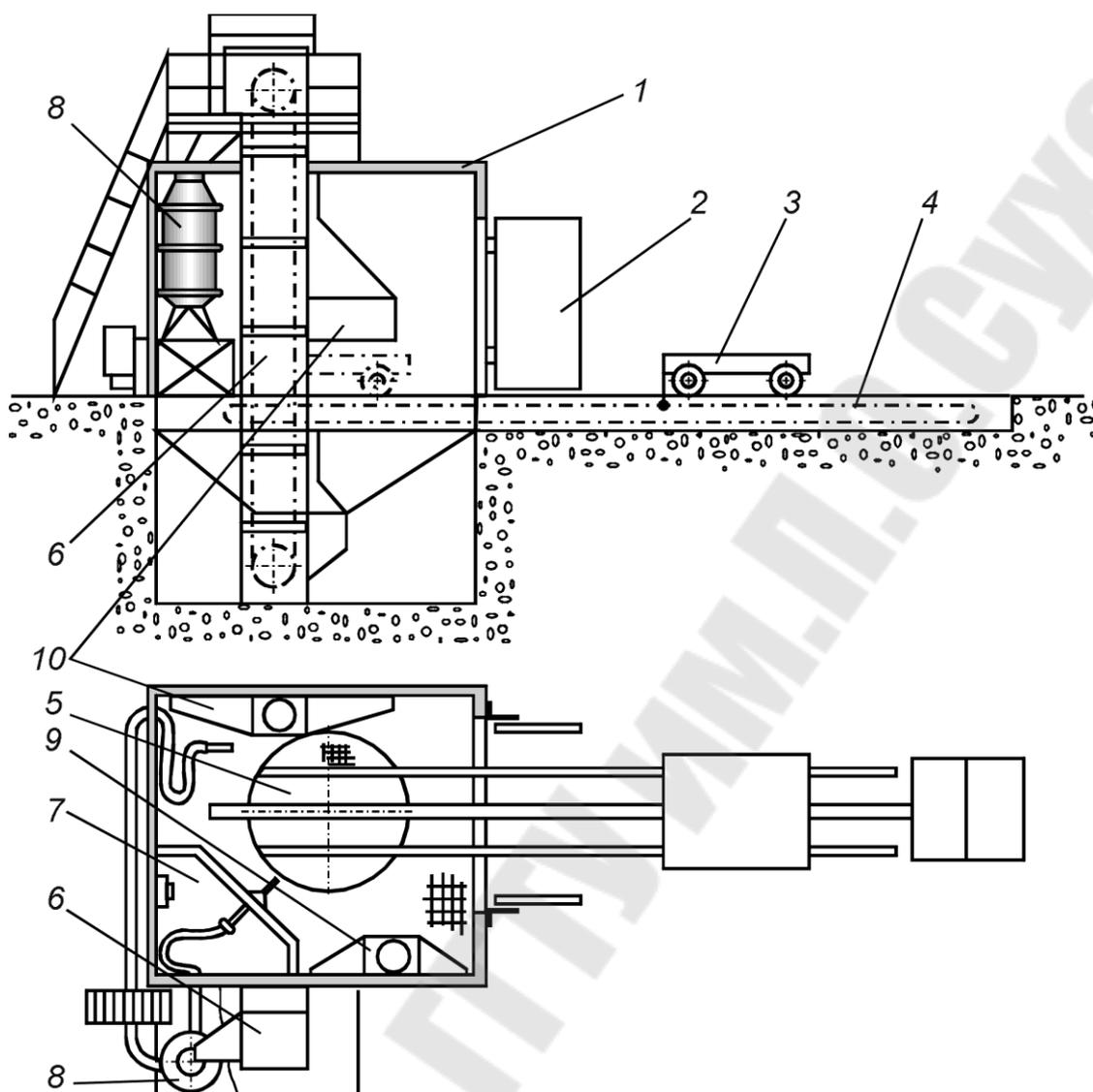


Рисунок 11.15 Камера дробеструйной очистки отливок

Установка включает в себя открытый сверху контейнер, установленный на упругих опорах и инерционный одновальный вибровозбудитель. Под действием неуравновешенной силы инерции вибровозбудителя контейнер совершает плоскопараллельные колебания. При достаточной амплитуде и частоте колебаний отливки начинают активно перемещаться внутри контейнера и очищаться.

На эффективность очистки большое влияние оказывает род наполнителя.

Наиболее распространённые наполнители это абразивы, например, электрокорунд, корунд; звёздочки из белого чугуна, высека штамповки различного профиля, бракованные мелкие отливки.

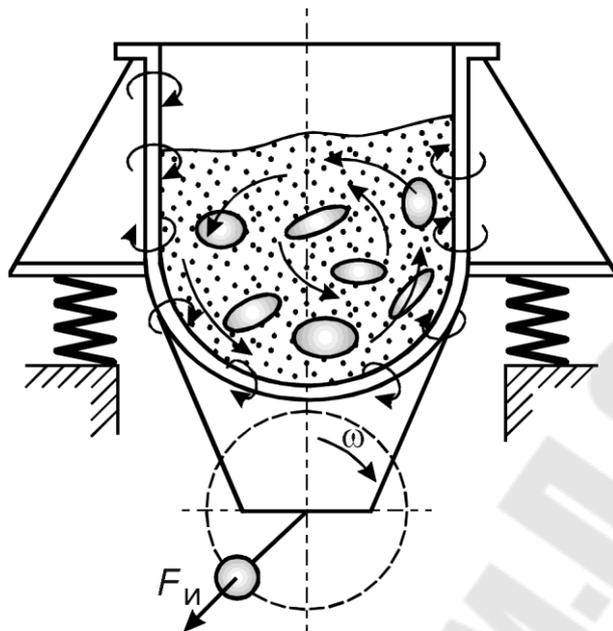


Рисунок 11.16 Схема вибрационной очистки отливок

Помимо сухой вибрационной очистки применяют и мокрую. В этом случае кроме механического воздействия отливки подвергаются воздействию химическому. Такая установка оснащается системой циркуляции эмульсии. Эмульсия подаётся постоянно или периодически. В качестве эмульсий используют три вида растворов: кислотные, нейтральные и щелочные. Кислотные растворы способствуют удалению с отливок окисных плёнок. Нейтральные растворы играют роль промывочных. Щелочные растворы способствуют удалению пригара, заусенцев, облоя, округлению острых кромок. Для предотвращения коррозии в растворы добавляют пассивирующие добавки

Мокрой вибрационной очистке подвергают чугуны, сталь, медные и алюминиевые сплавы.

11.2.6 Зачистка отливок шлифовальными кругами

Отливки зачищают шлифовальными кругами с целью удаления заливок, заусенцев и неровностей с поверхности, а также удаления дефектов поверхности (ужимин, пригара, мест заварки и др.).

Существенную роль при зачистке отливок играет характеристика шлифовального инструмента:

- вид абразивного материала, зернистость, твёрдость, т. е. степень сопротивления выкрашиванию зёрен абразивного материала при работе;

- структура – отношение объёма абразивных зёрен к объёму пространств между зёрнами;
- род связки – материал, удерживающий абразивные зёрна, геометрическая форма и размеры, допустимые режимы работы.

Для эффективной работы при зачистке отливок необходим правильный подбор характеристики применяемого шлифовального инструмента.

Из двух основных абразивных материалов – электрокорунда (глинозём, Al_2O_3) и карбида кремния (SiC) – первый уступает второму по твёрдости, но обладает большей вязкостью. Зёрна карбида кремния обладают большей твёрдостью, острыми рёбрами и гладкими гранями, но он плохо сопротивляется скалывающим усилиям.

Электрокорундом зачищают всевозможные виды сталей, ковкий чугун, наиболее вязкие сорта бронзы, некоторые алюминиевые сплавы. Карбид кремния применяют для обработки хрупких твёрдых материалов, а также материалов, обладающих низким сопротивлением разрыву – серого и отбелённого чугуна, латуни и др.

Связка шлифовального инструмента имеет решающее значение для его прочности и установления режима работы. При обработке отливок используют шлифовальные инструменты на керамической, бакелитовой и вулканитовой связке. Употребляются для работ на скоростных режимах резанья также инструменты на специальных синтетических связках.

Круги на керамической связке допускают при ручной подаче максимальную окружную скорость 30 м/с, при механической подаче – 35 м/с.

Бакелитовая связка обладает большей упругостью, чем керамическая. Круги на бакелитовой связке допускают работу с окружными скоростями до 40 м/с, а специально армированные металлическим каркасом – 50 м/с.

Для отрезных работ используют круги на вулканитовой (резиновой) связке. Вулканитовая связка позволяет изготавливать круги толщиной 0,5 мм, допускающие окружные скорости до 50 м/с.

Круги на специальных синтетических связках обладают высокой эластичностью и допускают окружные скорости до 180÷200 м/с.

Работоспособность шлифовального инструмента определяется его твёрдостью. При правильно выбранной твёрдости круга зёрна выкрашиваются при затуплении. При слишком мягком круге зёрна выкрашиваются, не успев затупиться, а при слишком твёрдом

удерживаются в круге, когда они уже утратили режущую способность. Чем мягче материал зачищаемой отливки, тем твёрже должен быть круг.

По твёрдости круги делятся на классы, маркируемые буквами и цифрами.

Для достижения максимальной производительности круги подбираются по конфигурации (рис. 11.17).

Для зачистки отливок шлифовальным инструментом применяют: механизированный ручной инструмент, стационарные, подвесные, обрезающие и специальные обдирочно-зачистные шлифовальные станки, автоматизированные установки и автоматические линии.

Механизированный инструмент по характеру привода выпускается трёх типов: с пневматическим приводом, с приводом от электродвигателя посредством гибкого вала и с приводом от встроенного электродвигателя.

По характеру работы механизированный инструмент разделяют на следующие группы: горизонтальный для работы периферией круга, вертикальный и угловой, для работы торцового круга, и осевой для работы шлифовальными головками.

Пневматический инструмент прост в работе и эксплуатации. Имеет малую массу. Он работает от сжатого воздуха цеховой сети. К недостаткам инструмента относится большой шум, возникающий при выхлопе сжатого воздуха, а также невозможность использовать шлифовальные круги при максимальной их частоте вращения. Это происходит потому, что для предотвращения разрыва круга, его диаметр принимают, исходя из частоты вращения на холостом ходе. При этом производительность инструмента падает, так как при рабочем режиме частота вращения пневматического инструмента снижается, особенно при большом усилии прижима круга к отливке.

Пневматический инструмент для работы торцом шлифовального круга (угловая головка) показан на рис. 11.17. Он имеет корпус 1, отлитый из алюминиевого сплава вместе с рукояткой 8. В рукоятке смонтирован пусковой кран 6. В корпусе установлен пневматический роторный двигатель 2, на оси которого с помощью затяжной гайки 4 устанавливается шлифовальный круг 7. Предельное число оборотов ограничивается регулятором 3. Рабочий защищён кожухом 5 от случайного контакта со шлифовальным кругом при работе.

При обдирке и зачистке отливок, когда требуется удалять большой объём металла, хорошо зарекомендовал себя инструмент с

электроприводом посредством гибкого вала. Достоинство этого инструмента – большая мощность электродвигателя и удобство замены рабочих головок. Недостаток – наличие гибкого вала, который затрудняет доступ к внутренним поверхностям отливок.

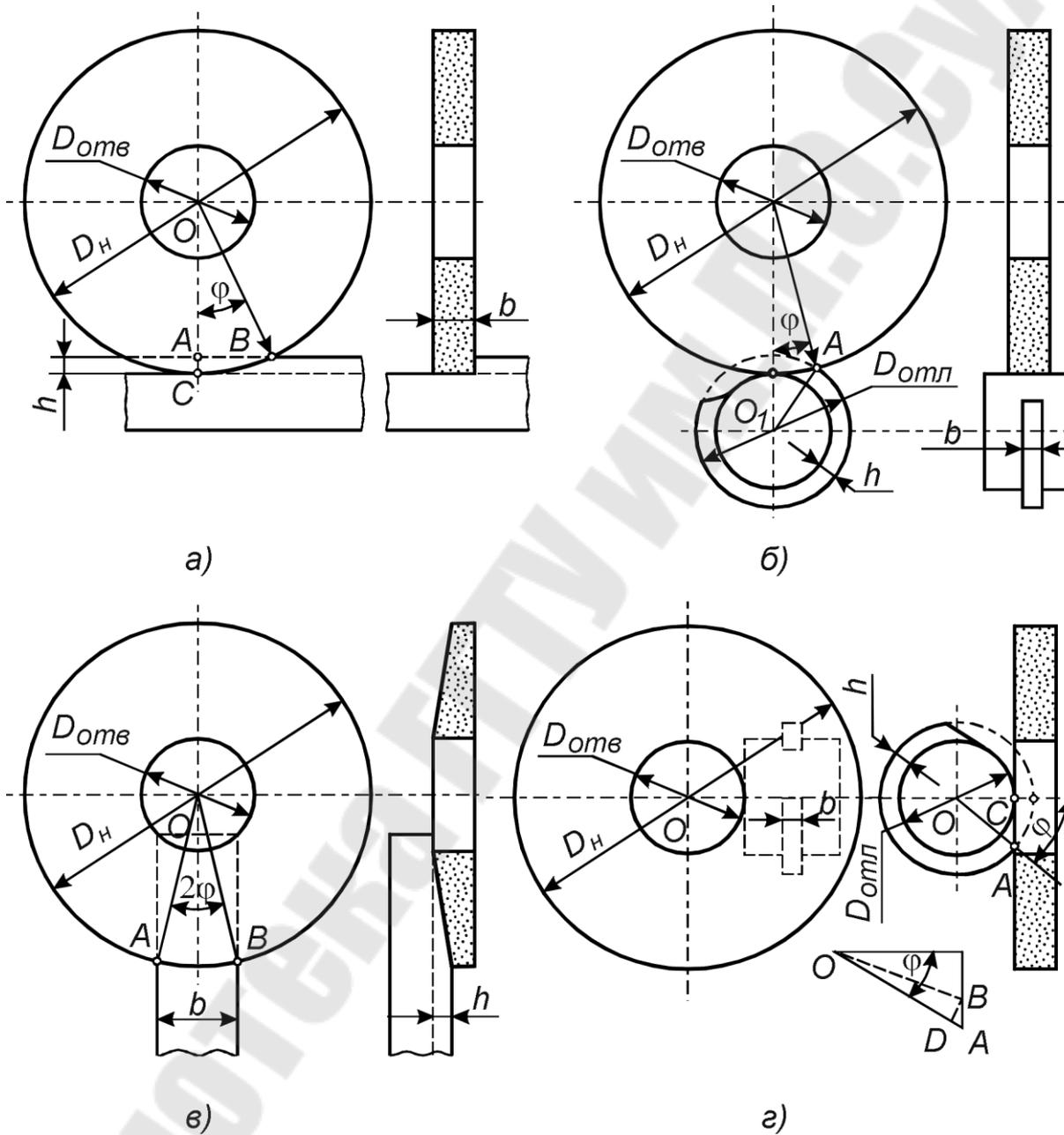


Рисунок 11.17 Зачистка отливок абразивными кругами различной конфигурации

Механизированный инструмент со встроенным электродвигателем имеет наиболее высокий к. п. д. по первичным затратам энергии на

выходную мощность. Благодаря более устойчивой работе электродвигателя и меньшей вибрации удаётся достигнуть более высокой производительности труда и меньшего расхода кругов, чем при пневматическом инструменте. Для снижения массы электрического инструмента, применяют высокочастотный электропривод (с частотой 400 Гц).

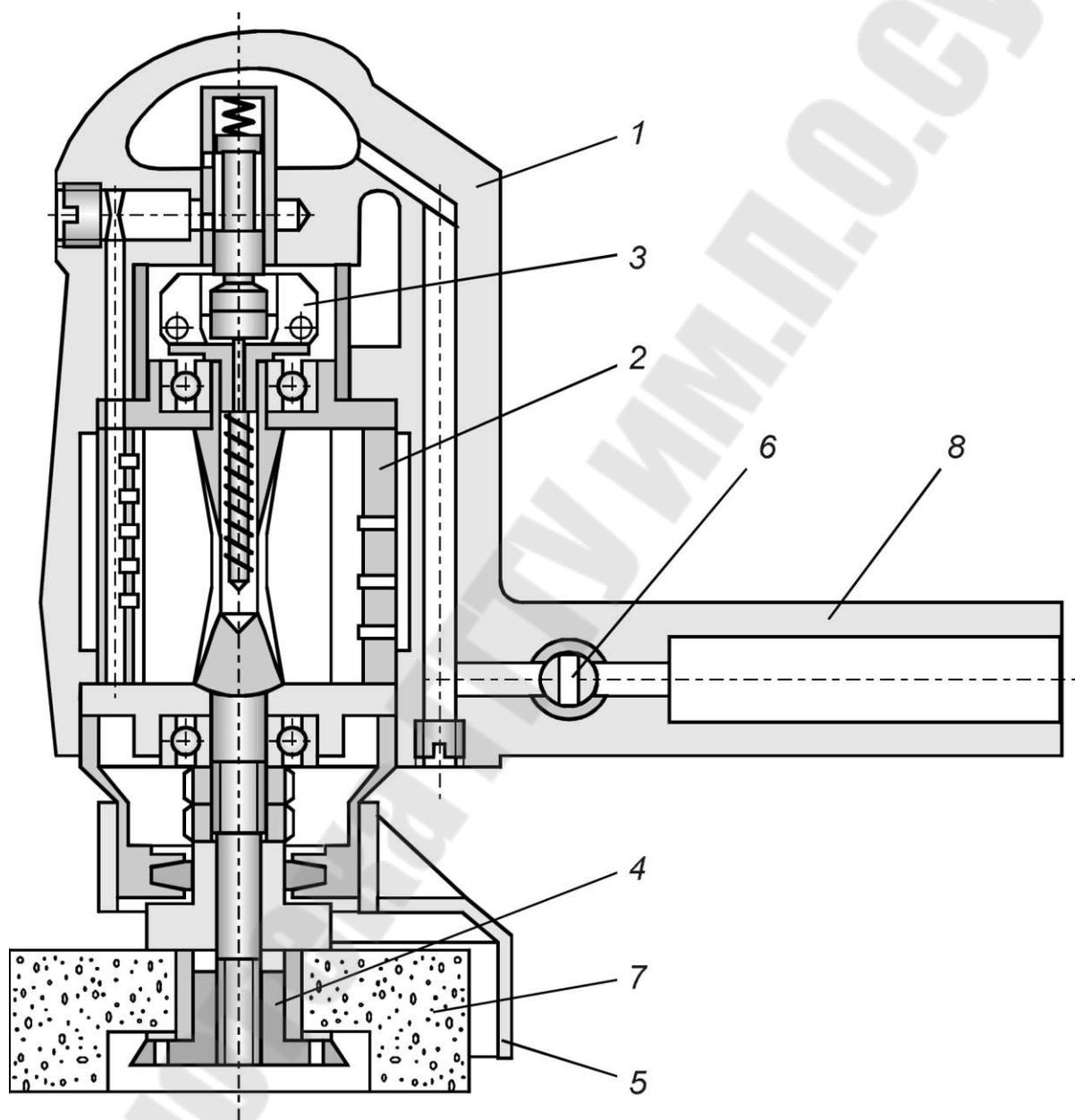


Рисунок 11.18 Ручная наждачная пневматическая машинка

Стационарные обдирочно-зачистные шлифовальные станки выпускают как с одним, так и с двумя шпинделями. Наиболее эффективными являются станки, в которых предусмотрено бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя. Это позволяет поддерживать

оптимальную скорость круга при его износе. По мере износа шлифовального круга, оператор с помощью бесступенчатого редуктора увеличивает обороты шпинделя без изменения числа оборотов электродвигателя. Наибольшее распространение получили стационарные обдирочно-зачистные шлифовальные станки с диаметрами кругов 350÷750 мм и с окружными скоростями кругов 30÷50 м/с.

Для зачистки средних, крупных и тяжёлых отливок широко применяют подвесные обдирочно-зачистные шлифовальные станки. Диаметры кругов, устанавливаемых на подвесных станках, колеблются от 300 до 600 мм, окружные скорости 30÷50 м/с.

На рис. 11.19 показана схема полуавтомата для зачистки плоскостей отливок. Схема этого станка та же, что и станка для зачистки плоскостей стержней перед склейкой. Данный станок имеет две шлифовальные головки. Возможны также подобные станки с одной шлифовальной головкой. Установка головки по высоте производится с помощью механизма с ручным приводом. Зажимы для отливок применяют механические, эксцентриковые, а также пневматические. Диаметр рабочего стола 1,8÷2,0 м. Число зажимов для отливок 6÷12. Диаметр шлифовального круга 500 мм. Окружная скорость кругов 35 м/с. Скорость подачи столов 1÷7,5 м/мин. Производительность 150÷180 отливок в час.

На рис. 11.20 показана схема полуавтомата для зачистки отливок тормозного барабана. На этой отливке зачищается фланец. Масса отливки 22 кг, и зачистка её на обычных станках требует больших физических усилий.

На полуавтомате отливка зажимается в трёхкулачковом пневматическом патроне. Стол с отливкой подвигается с помощью ручного механизма к шлифовальному кругу. Рабочая подача стола в направлении параллельно оси круга механизирована. Частота вращения отливки около вертикальной оси $0,22 \text{ с}^{-1}$ (13,3 об/мин). Окружная скорость круга 42 м/с; диаметр круга 500 мм. Станок имеет два электродвигателя – один для привода круга, другой для движения стола и вращения патрона. Производительность станка 120 барабанов в час.

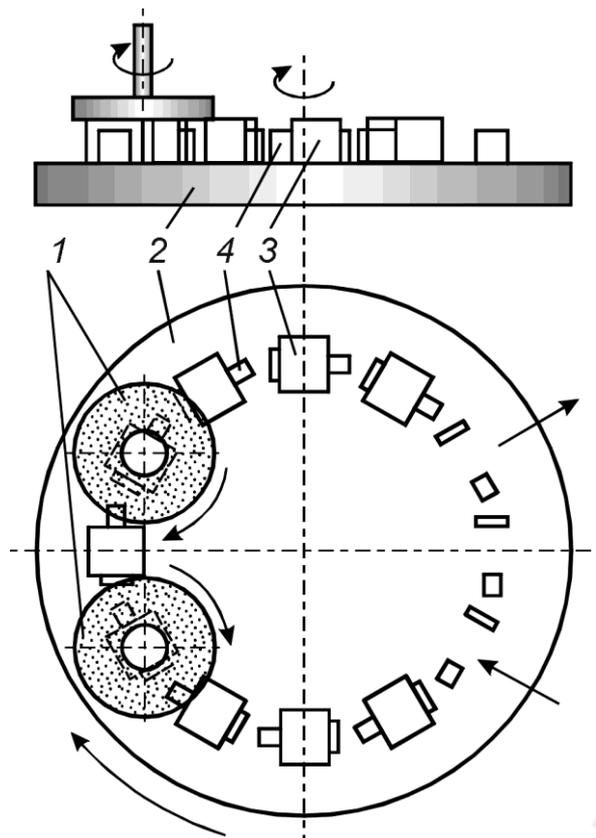


Рисунок 11.19 Схема двухшпиндельного полуавтомата для зачистки плоских поверхностей отливок:

1 – абразивные круги; 2 – вращающийся стол; 3 – отливки; 4 – зажимы отливок

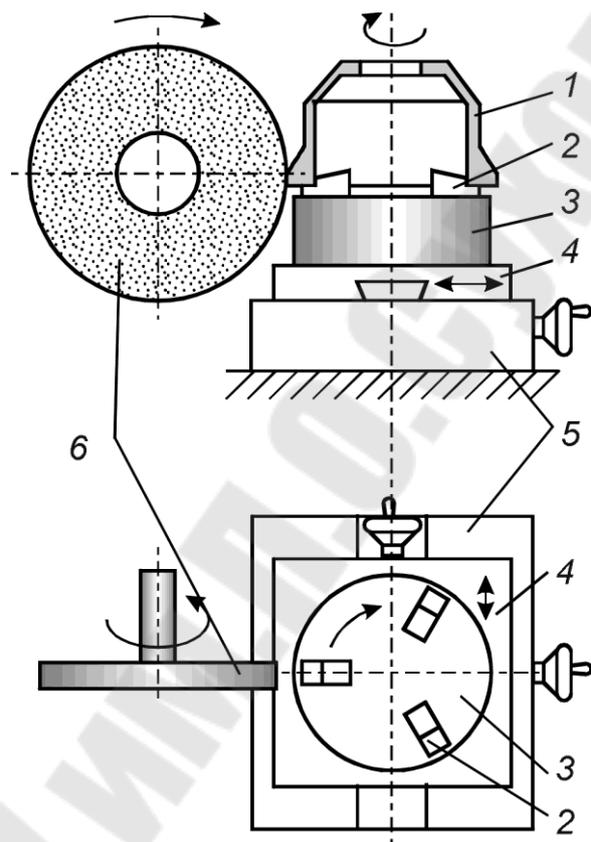


Рисунок 11.20 Схема полуавтомата для зачистки отливок тормозных барабанов:

1 – отливка; 2 – кулачки; 3 – пневматический патрон, 4 – подвижный стол; 5 – станина; 6 – абразивный диск

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеевко И. В. Оборудование литейных цехов. М.: И. в., 2003
2. Аксёнов П. Н. Оборудование литейных цехов. Учебник для машиностроительных вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.
3. Матвеевко И. В. и Тарский В. Л. Оборудование литейных цехов. Учебник для техникумов. М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.
4. Иванов В. Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. – 348 с.
5. Горский А. И., Геллер Р. Л., Лиокумович Л. Ф. Расчёты машин литейного производства. М.: Машиностроение, 1966. – 404 с.
6. Сибикин, М. Ю. Технологическое оборудование заготовительных и складских производств машиностроительных предприятий : учебное пособие : [16+] / М. Ю. Сибикин. – Изд. 3-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 360 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575077> (дата обращения: 19.01.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4499-0763-9. – DOI 10.23681/575077. – Текст : электронный.
7. Соболев, Б. М. Расчёты в технологических процессах плавки литейных сталей : учебное пособие : [16+] / Б. М. Соболев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 140 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617677> (дата обращения: 19.01.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9729-0695-6. – Текст : электронный.
8. Металлургическая теплотехника : учебное пособие : [16+] / В. И. Лукьяненко, Г. Н. Мартыненко, А. В. Исанова, В. В. Черниченко. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 200 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617615> (дата обращения: 19.01.2023). – Библиогр.: с. 192. – ISBN 978-5-9729-0626-0. – Текст : электронный.
9. Карпенко, В. М. Художественное литье: материалы, технологии, оборудование / В. М. Карпенко, Е. И. Марукович ; Национальная академия наук Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 348 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576441> (дата

обращения: 19.01.2023). – Библиогр.: с. 340 - 342. – ISBN 978-985-08-2497-7. – Текст : электронный.

10. Специальные технологии художественной обработки материалов: по литейным материалам : учебно-методическое пособие / В. Г. Березюк, А. М. Синичкин, С. И. Лыткина, и др. ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет (СФУ), 2014. – 168 с. : табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364623> (дата обращения: 19.01.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7638-2928-0. – Текст : электронный.
11. Лехов, О. С. Установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации для производства биметаллических полос / О. С. Лехов, М. М. Шевелев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617613> (дата обращения: 19.01.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9729-0715-1. – Текст : электронный.
12. Основы теории формирования отливки : практикум / Т. Р. Гильманшина, В. Н. Баранов, В. Г. Бабкин, и др. ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет (СФУ), 2014. – 148 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=364581> (дата обращения: 19.01.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7638-2965-5. – Текст : электронный.