

УДК 621.382.2

СИСТЕМА РЕГЕНЕРАЦИИ АБРАЗИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УСТАНОВКИ РЕЗКИ МАСКИРОВАННЫХ ПЛАСТИН

Наталья Вадимовна Салахетдинова⁽¹⁾, Степан Александрович Степанов⁽²⁾

Магистр 1 года⁽¹⁾, аспирант 3 года⁽²⁾,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В. В. Жуков,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: *пескоструйная обработка (sandblasting), установка струйно-абразивной резки (sandblasting machine), абразивный материал (abrasive material), центробежный циклон (centrifugal cyclone).*

Аннотация: *В статье показаны системы регенерации абразивного материала современных струйно-абразивных установок. Рассмотрены их достоинства и недостатки. Показана замкнутая система регенерации опытно-промышленной полуавтоматической пескоструйной установки и ее модернизированный вариант, их основные отличительные узлы и детали: спиралевидный патрубок и блок перекачки. Рассмотрены режимы работы системы и ее отдельных элементов, продемонстрированы преимущества модернизированного варианта.*

Введение

Вопрос сокращения затрат на производстве был и остается актуальным для любой отрасли и технологического процесса: уменьшение количества отходов, повышение стойкости и долговечности инструмента и оборудования, оптимизация операций на изготовление. Для технологии струйно-абразивной обработки одной из таких проблем является сохранение и повторное использование абразивного материала и предотвращение попадания его в рабочее помещение из зоны обработки. С одной стороны, абразивный материал – довольно дорогое вещество, и его одноразовое использование может повлечь серьезные финансовые затраты. С другой, вещество вредно для окружающей среды и человека, и его содержание в воздухе должно быть минимальным. Система регенерации абразивного материала, позволяющая использовать его повторно и, как следствие, сократить расход, применяемая на опытно-промышленной установке струйно-абразивной резки, рассмотрена в данной статье.

Устройство струйно-абразивной установки

Пескоструйная обработка в настоящее время широко распространена в промышленности. Ее применяют, в частности, для очистки и обезжиривания поверхностей, придания необходимой шероховатости, матирования и т.д. Одним из подвидов метода является пескоструйная обработка предварительно маскированной поверхности. Этот способ нашел широкое применение в декорировании для создания на стекле, керамике и других поверхностях объемных изображений и в электронной промышленности, для разделения планарных и непланарных изделий.

Например, для изготовления кремниевых дисков-кристаллов для производства диодов по технологии голландской фирмы Philips. Для осуществления этой операции для фирмы была разработана полуавтоматическая установка струйно-абразивной резки, показанная на рис. 1.

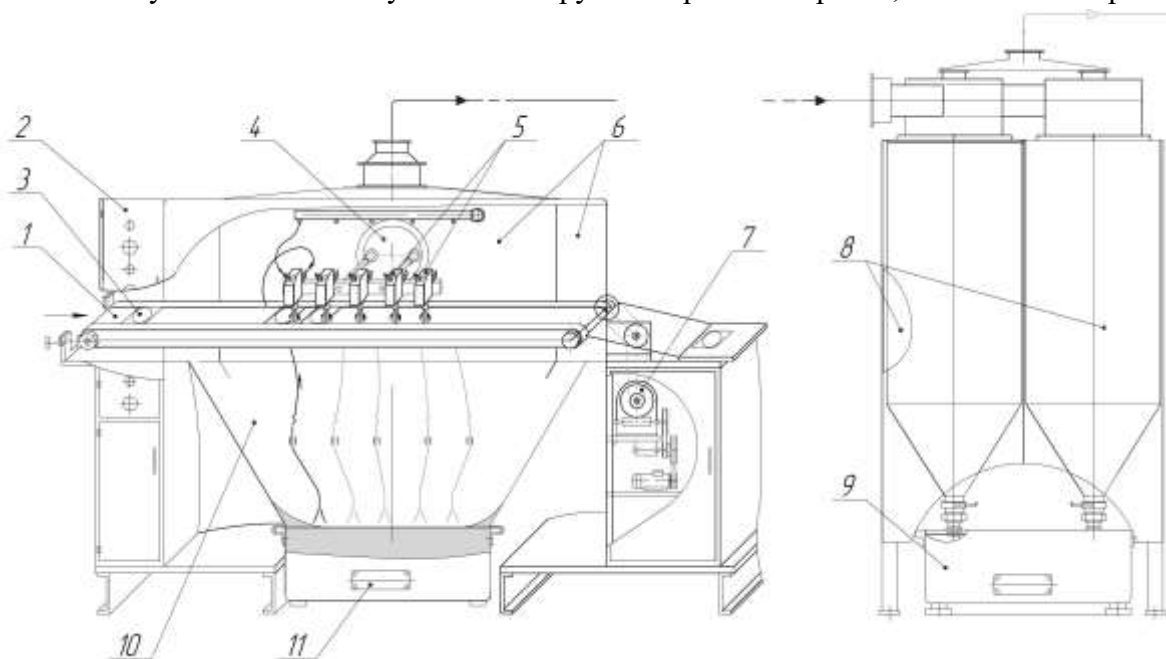


Рис. 1. Общий вид пескоструйной установки фирмы Philips

Обозначения: 1 - транспортер ленточный для подачи обрабатываемых пластин, 2 - пневмошкаф с блоком регулирования расхода воздуха, 3 - обрабатываемая маскированная пластина, 4 - фланец привода возвратно-поступательного движения сопел, 5 - струйные рабочие сопла, 6 - рабочая камера с отсеками обеспыливания пластин на выходе, 7 - привод ленточного транспортера, 8 - система рукавных фильтров для улавливания пыли, 9 - блок центробежных циклонов, 10 - съемный контейнер для абразивного порошка, 11 - электровибратор, 12 - бункер для сбора абразивного порошка

Опытно-промышленная полуавтоматическая пескоструйная установка

По мере износа оборудования и потребности в увеличении производства существующей установке потребовалась замена. При участии специалистов кафедры МТ11 МГТУ им. Н. Э. Баумана была разработана и в настоящий момент успешно функционирует опытно-промышленная полуавтоматическая пескоструйная установка, в основу которой была положена установка фирмы Philips. Ее схема представлена на рис. 2. Она состоит из рабочей камеры (1), через которую проходит механизма подачи кассет с обрабатываемыми пластинами (2). Он представляет собой две цепи, верхнюю и нижнюю, ведущие звездочки которых вращаются в противоположных направлениях, что обеспечивает захват кассеты с заготовками (3) и ее перемещение через камеру. В действие механизм приводится электромеханическим приводом (4). Поскольку механизм перемещения кассет проходит камеру насквозь и может выносить на обработанных кассетах и своих элементах абразивный материал, камера оснащена двумя обеспыливающими пневматическими контурами (5). В камере в вертикальной плоскости перемещаются шесть обрабатывающих сопел, закрепленных на единой рейке (6). Движение сопел обеспечивает механизм возвратно-поступательного перемещения (7) с электроприводом. Абразивный материал, циркулирующий в камере, частично опадает в бункер (8), частично вместе с воздухом отсасывается в циклон-сепаратор (9).

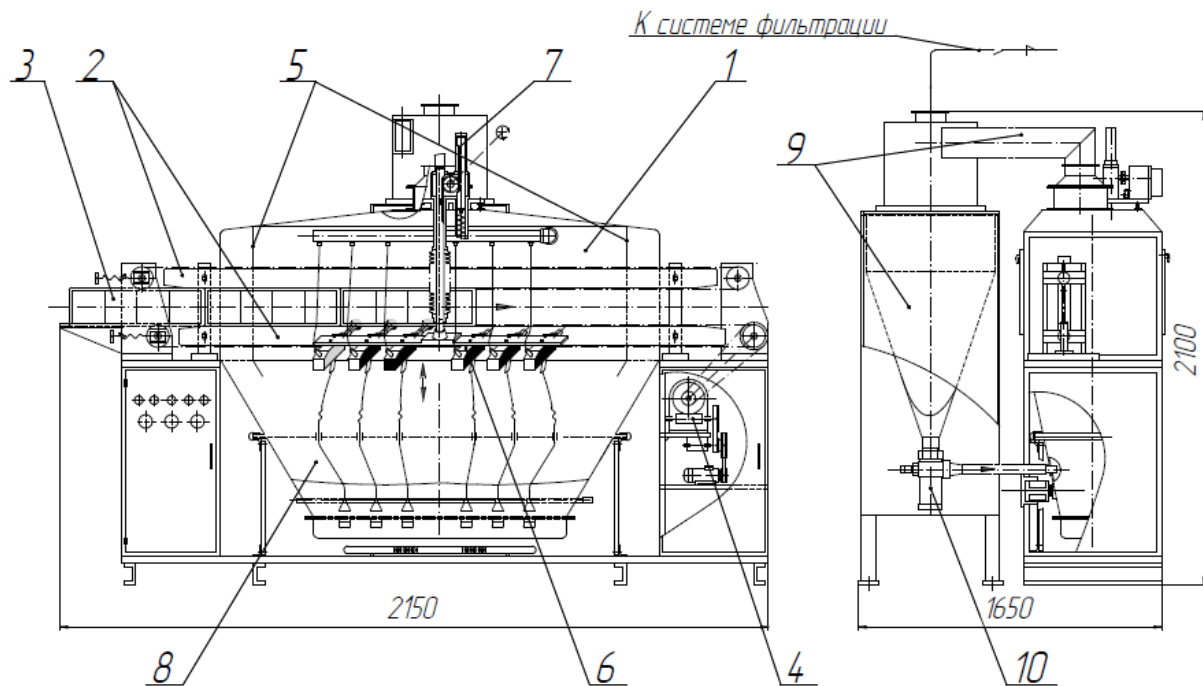


Рис. 2. Схема опытной установки пескоструйной резки, НПП ТЭЗ

Обозначения: 1 - рабочая камера с отсеками обеспыливания кассет на выходе, 2 – транспортер цепной для подачи кассет, 3 - кассеты с обрабатываемыми пластинами, 4 - привод цепного транспортера, 5 – обеспыливающие контуры, 6 - кронштейн с рабочими соплами, 7 – механизм перемещения рабочих сопел, 8 – бункер для сбора абразивного материала, 9 - центробежный циклон, 10 – блок перекачки с пневмонасосом и ворошителем

Как можно заметить, установка позаимствовала у предшественницы основные принципы работы: поступательное перемещение обрабатываемых пластин, возвратно-поступательное движение обрабатывающих сопел, бункер для абразивного материала, проходная камера с отсеками обеспыливания.

Тем не менее, в установку, как при разработке, так и в процессе модернизации, был внесен ряд отличий:

- перемещение обрабатываемых кассет в вертикальной, а не горизонтальной плоскости;
- увеличение количества обрабатываемых сопел;
- изменение конструкции механизма перемещения обрабатывающих сопел;
- полностью замкнутая система регенерации абразивного материала.

Рассмотрим принципы работы последней подробнее.

Сравнение систем регенерации абразивного материала

На установке фирмы Philips находящийся в камере абразивный материал частично оседал вниз, в бункер 9 установки. Основная же часть вместе с воздухом откачивалась из установки вентилятором. Сначала воздух вместе с абразивным материалом, частицами металла, кремния и стекла, сломанными частицами абразивного материала и другими частицами из камеры по патрубку попадает в блок центробежных циклонов. Здесь более тяжелые частицы абразивного материала оседают вниз, попадая в контейнер для абразивного материала 9. Более

легкие частицы вместе с загрязненным воздухом поступают в общезаводскую вентиляцию для окончательной очистки.

Подобная система имела ряд недостатков:

- полной загрузки абразивного материала (10-12 л) хватало на одну полную смену (8 часов работы установки). С уменьшением количества абразивного материала в бункере соответственно падала производительность установки. Что требовало постоянного пополнения абразивного материала в бункере;

- отсеянный блоком циклонов абразивный материал можно использовать повторно. Бункер установки и сборник блока циклонов – взаимозаменяемы, поэтому можно просто снять контейнер, заполненный отсеянным абразивным материалом, с блока циклонов и поставить его на место бункера для абразивного материала. Однако эта операция требует больших затрат сил и времени, поскольку бункер с абразивным материалом имеет большой вес, а установка и блок циклонов могут располагаться в разных помещениях. Вторым вариантом было пересыпать абразивный материал, отсеянный циклонами, в транспортную тару, что являлось довольно грязным процессом;

- эффективность отсеивания используемого для обработки абразивного материала (электрокорунд, размер фракции 20...40 мкм) составляла, с учетом износа оборудования, 70 %.

В опытно-промышленной пескоструйной установке реализована замкнутая система регенерации абразивного материала. Воздух, поступающий из камеры, проходит по модернизированному (повышена эффективность отсеивания мелкодисперсных частиц) циклону. Отсеянный абразивный материал по конусовидному днищу ссыпается вниз, к блоку перекачки и по гибкому шлангу подается в бункер установки.

Такая система позволила обеспечить сохранность 94 ± 2 % абразивного материала и сократить время на техническое обслуживание установки. Рассмотрим элементы системы отдельно.

Циклон со спиральным патрубком

На эффективность осаждения абразивного материала в циклоне напрямую влияет траектория и длина полета осаждаемых частиц. Создавая винтовую траекторию можно за счет центробежных сил повысить силы трения о внутреннюю поверхность циклона и тем самым сбавить скорость полета осаждаемых частиц, что приведет их немедленному осыпанию на дно циклона.

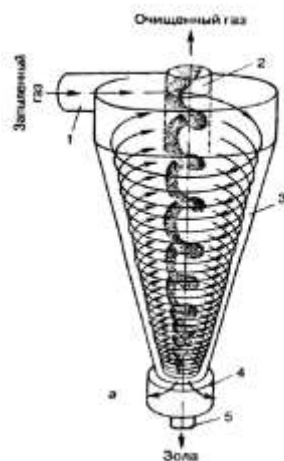


Рис. 3. Принцип работы центробежного циклона

Для увеличения длины винтовой траектории осаждаемому абразивному материалу было предложено использовать спиральный патрубок (рис. 4).



Рис. 4. Спиральный патрубок

Пневмонасос блока перекачки

Для перекачки отсеянного циклоном абразивного материала используется пневмонасос. Его устройство показано на рис. 5

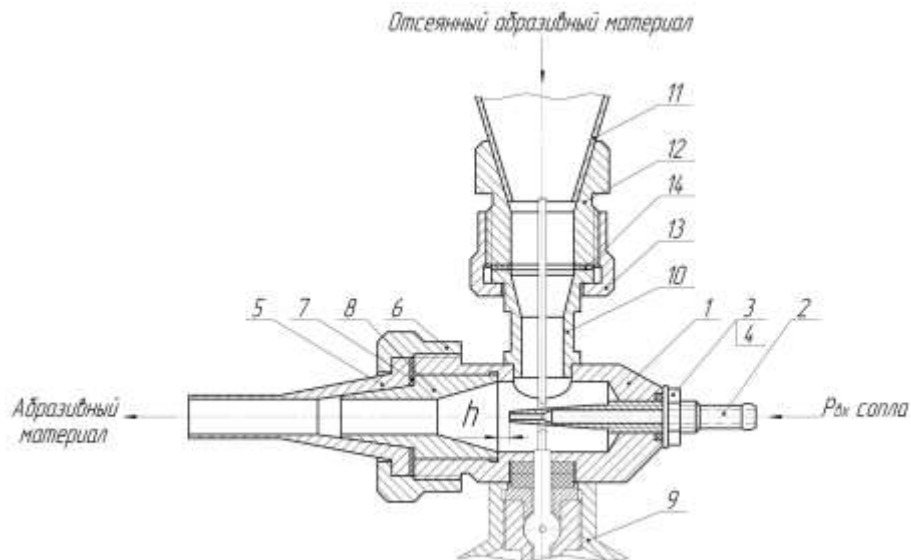


Рис. 5 Пневмонасос

Обозначения: 1 – корпус насоса; 2 – штуцер; 3 – резиновая прокладка; 4 – гайка М12х1,5; 5 – штуцер;
6 – гайка М48х2,5; 7 – резиновая прокладка; 8 – насадок; 9 – корпус вибромотора; 10 – втулка;
11 – конус циклона; 12 – втулка; 13 – гайка М42х2,5; 14 – прокладка

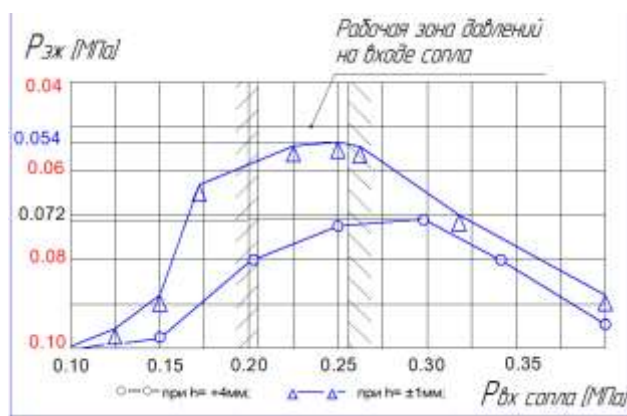
Пневмонасос состоит из корпуса 1, к которому снизу приварен корпус пневмовихревого вибромотора 9, а сверху – втулка 10. На втулку 10 надета гайка 13, которая крепит блок перекачки к втулке 12 конуса циклона 11. С одной стороны в корпус насоса вкручен штуцер 2, фиксирующийся гайкой 4. С другой вставлен насадок 8 и штуцер 5, фиксирующиеся гайкой 6.

Поскольку пневмонасос служит для перекачки абразивного материала, зоны корпуса, в которых происходит контакт потока частиц с деталями выполнены в виде отдельных деталей (штуцер 2, штуцер 5, насадок 8). Эти детали, в отличие от всего корпуса, достаточно простые в изготовлении и не требуют большого времени на замену. Для обеспечения герметичности конструкции предусмотрены резиновые уплотнительные кольца и прокладки 3, 7 и 14.

Принцип работы пневмонасоса

Через штуцер 2 подается сжатый воздух, поток которого устремляется в насадок 8. Этот поток создает разрежение в зоне А. В зону разрежения А по конусной поверхности 11 циклона ссыпается абразивный материал. Попад в зону разрежения, он засасывается потоком сжатого воздуха и вместе с ним через насадок 8 и штуцер 5 по шлангу поступает в бункер установки.

Был проведен эксперимент, направленный на выявление зависимости Рэж от входного давления Рвх и величины h. Результат приведен на рис. 6.

Рис. 6. Зависимость $P_{эж}$ от характеристик пневмонасоса

Из этого графика можно сделать вывод, что максимальное значения разряжения достигается при значении входного давления в перекачивающее устройство 0,20-0,25 МПа. При этом значении $h=4\text{мм}$.

Пневмовихревой вибромотор

Чтобы абразивный материал не задерживался на наклонной стенке циклона и не слипался в камере пневмонасоса, блок перекачки снабдили пневмовихревым вибромотором. Его устройство показано на рис. 7.

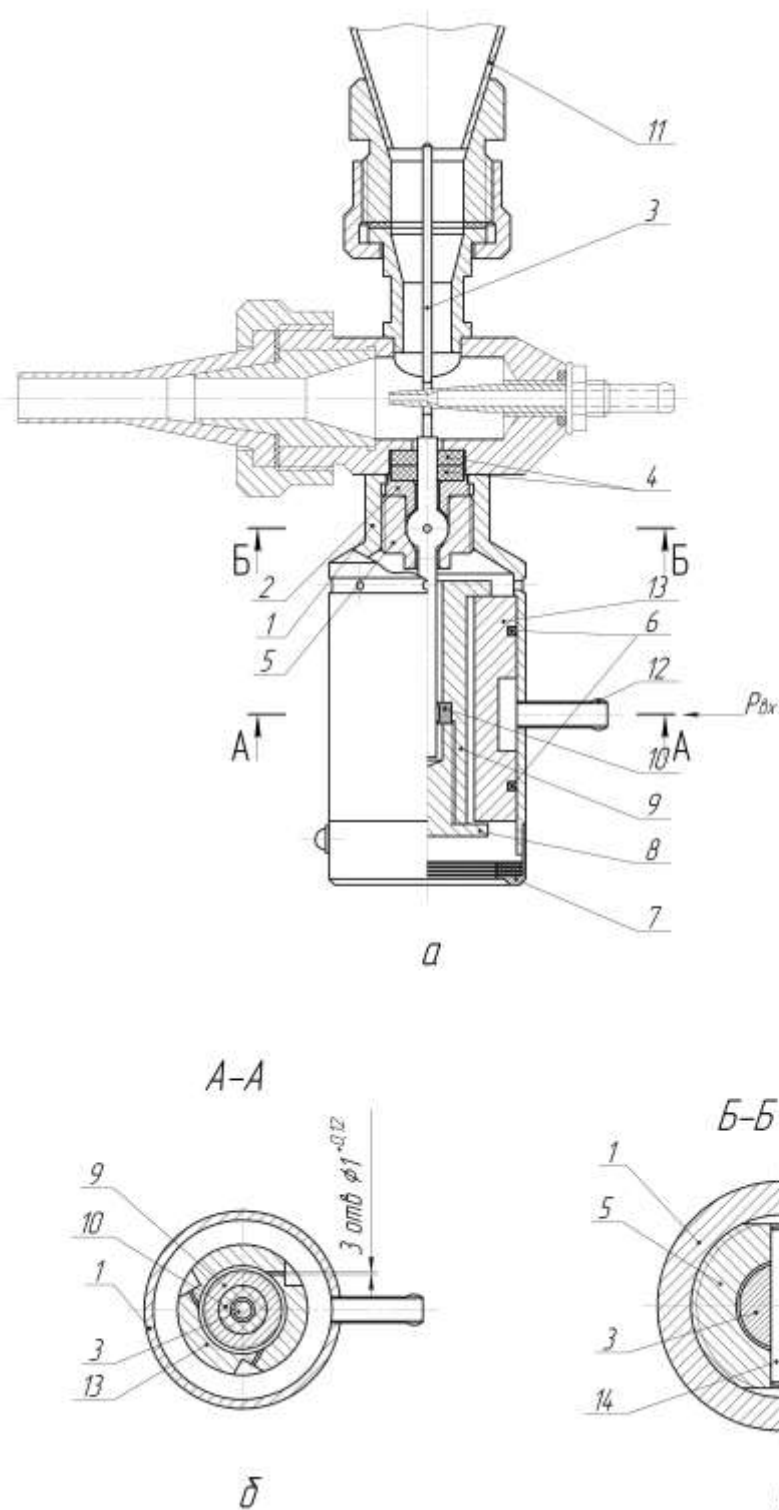


Рис. 7. Устройство пневмовихревого вибратора

а – общий вид; б – разрез вибратора; в – крепление ворошителя

Обозначения: 1 – корпус вибратора; 2 – втулка; 3 – ворошитель; 4 – резиновые шайбы;
5 – гайка-фиксатор; 6 – резиновое кольцо; 7 – дно с сетками; 8 – втулка; 9 – втулка;
10 – шайба; 11 – конус циклона; 12 – ниппель; 13 – вихревая втулка; 14 – штифт.

Корпус вибромотора 1 приварен к нижней плоскости корпуса пневмонасоса. Он состоит из двух основных частей – самого вибромотора и приводимого им в движение ворошителя 3. Вибромотор состоит из двух металлических втулок 8 и 9, соединенных резьбой, и вставленной между ними резиновой шайбы 10. Эта конструкция вставлена в вихревую втулку 13 с зазором. Вихревая втулка удерживается на месте двумя уплотнительными резиновыми кольцами 6.

В узком горлышке корпуса вибромотора при помощи стальной втулки 2 и фторопластовой гайки-фиксатора 5 закреплена сферическая часть ворошителя 3. Через гайку-фиксатор и сферу ворошителя проходит штифт 14 (рис. 7в). Таким образом, ворошитель может отклоняться от своего положения только в плоскости чертежа. Один конец ворошителя при помощи резинового кольца 10 связан с подвижной втулкой вибромотора, другой конец проходит через пневмонасос к воронке циклона 11. Для того, что бы предотвратить попадание абразивного материала к вибромотору, он отделен от насоса двумя резиновыми шайбами 4. Снизу на корпусе закреплено дно 7 с блоком сеток.

Принцип работы вибромотора

Воздух, поступающий через ниппель попадает в наклонные патрубки вихревой втулки (рис. 7 б) и, проходя через нее, приводит в движение втулку 9, которая совершает колебательные движения. Вместе с втулкой начинает колебаться соединенный с ней резиновой шайбой нижний конец ворошителя. Через сферу ворошителя колебательные движения передаются от нижнего штыря к верхнему. Причем колебания самого ворошителя за счет штифта 14 происходят в плоскости чертежа. За счет колебаний он не дает слеживаться осыпавшемуся в корпус насоса абразивному материалу, а так же задерживаться на наклонных стенках циклона.

Варьируя значение давления на входе в пневмовибратор, меняется частота колебания ворошителя. Так же на результат работы устройства влияют его конструктивные параметры, а именно соотношение диаметров $D2/D1$ и зазор Δl .

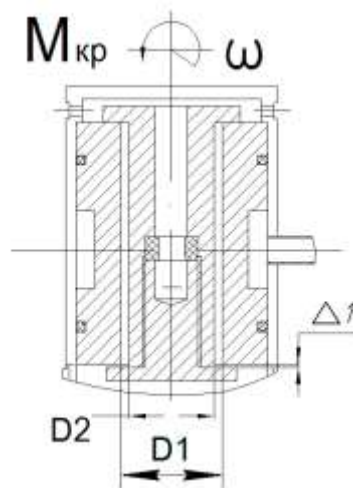
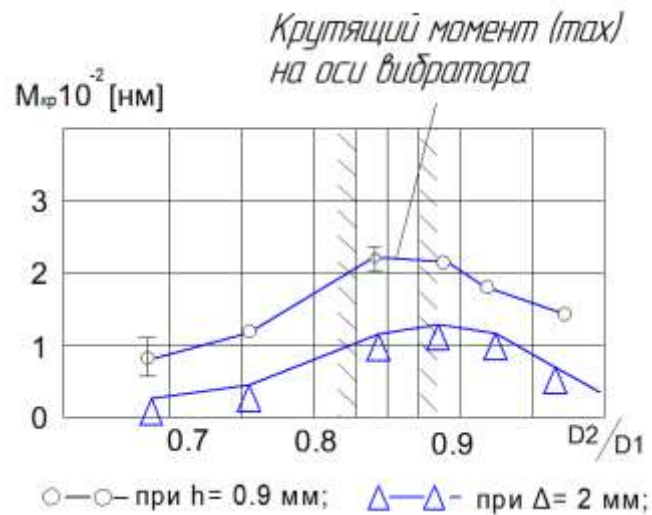


Рис. 8. Пневмовибратор

В результате проведенных испытаний были выявлены зависимости параметров вихревого пневмовибратора и значения крутящего момента ворошителя. Результаты приведены на графике (рис. 9).

Рис. 9. График зависимости $M_{кр}$ от параметров пневмовибратора

Из этого графика можно сделать вывод, что максимальные значения крутящего момента достигается при значении $D2/D1 = 0.82-0.86$. При этом значении $\Delta l = 0.9$ мм.

Так же выявлена зависимость вибрации на расходную характеристику циклона (рис. 10)

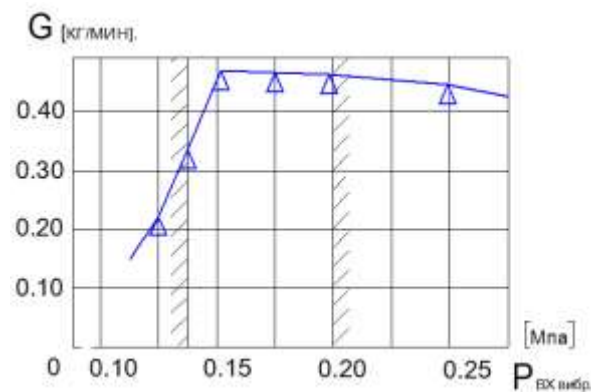


Рис. 10. График зависимости расхода абразива от давления воздуха на входе вибромотора

Заслонка в трубе вентиляции

Для регулирования силы всасывания в общую систему вытяжной вентиляции в трубу вентиляции была установлена заслонка. Меняя площадь сечения через которое происходит всасывание предполагается регулировать силу всасывания воздуха из циклона.

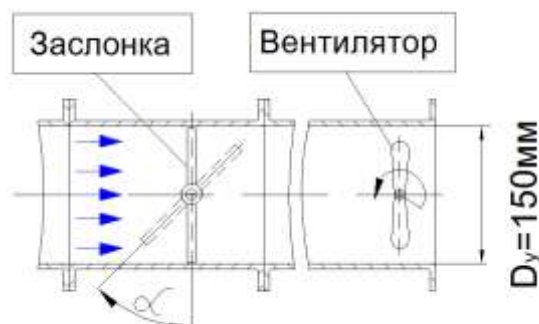


Рис. 11. Заслонка

Был проведен эксперимент, направленный на выявление зависимости расхода абразивного материала от угла α наклона заслонки. Результат представлен на рис.12.

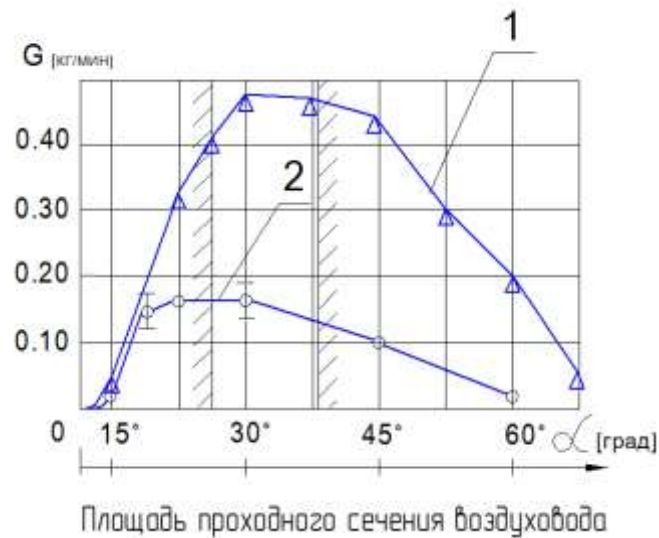


Рис. 12. График зависимости расхода абразива от угла поворота заслонки

Обозначения: 1 – расход с применением спирального патрубка, 2 – без применения спирального патрубка.

Экспериментальный стенд

Для проверки работоспособности системы и определения влияния различных элементов на эффективность работы системы был создан экспериментальный стенд, эмитирующий работу установки.

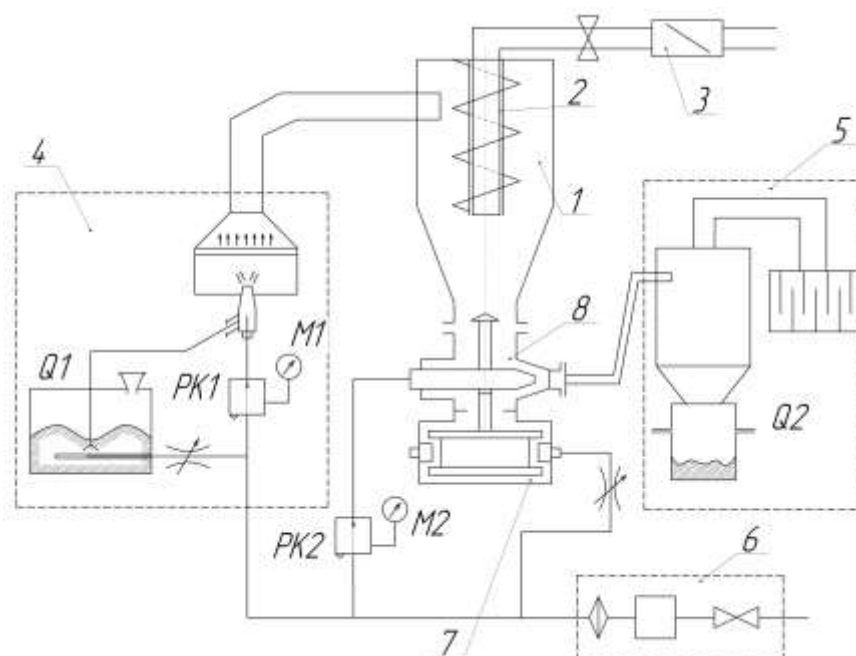


Рис. 13. Схема экспериментального стенда

Обозначения: 1 – циклон, 2 – завихритель, 3 – затвор, 4 – вибратор, 5 – эжекторное сопло, 6 – ресивер,

7 – устройство имитации запыленного воздуха, 8 – устройство сбора абразива, Q1 – исходное количество абразива, Q2 – осажденное количество абразива

Соединенные между собой центробежный циклон, съемный модуль и рабочая камера установки образуют замкнутый контур циркуляции абразивного порошка зернистостью 32- 40 микрон. Выход отработанного воздуха осуществляется через циклон-сепаратор в конечную вентиляционную установку, оснащенную промышленным пылесосом с фильтр-блоками для обеспыливания воздуха. Вытяжная вентиляция поддерживает разрежение в рабочей камере 5...10 мм вод. столба и 300...350. мм вод. столба в подводящих воздуховодах.

Экспериментальные исследования на установке резки кремниевых пластин

На основании проведенных экспериментов была составлена таблица с рекомендуемыми значениями испытываемых элементов.

Таблица 1. Рекомендованный режим работы системы рекуперации абразивного материала

Параметр	Значение
Давление сжатого воздуха на входе в вибратор, Р _{вх} вибр	0,15 МПа
Давление сжатого воздуха на входе в сопло, Р _{вх} сопла	0,20 МПа
Проходное сечение вентиляционной трубы, α	30°
Соотношение диаметров D1/D2	0,82-0,86
Торцевой зазор между корпусом и вибратором, Δl	0,9 мм
Спиральный патрубок	присутствует

На основании выше перечисленных данных предлагаемые конструкторские нововведения были внедрены в состав действующей установки резки кремниевых пластин.



Рис. 14. Смонтированная на установке система регенерации абразивного материала

Заключение

В результате промышленной эксплуатации модернизированного рекуператора, установленного на действующей пескоструйной установке, было получено:

- снижение расхода и потерь абразивного материала не менее, чем в 1.5 раза, при этом количество осажденного рекуператором абразивного материала по отношению к попавшему в циклон с воздушным потоком абразиву составило $94\pm 2\%$ в весовом измерении;
- увеличение срока использования абразивного порошка до 12...15 рабочих смен в действующей установке (без его замены из-за загрязнений, дробления и потери режущих свойств частицами) вследствие поддержания гранулометрического состава и зернистости абразивного материала на одном уровне.

Подтвержденный экономический эффект по предприятию от использования системы сбора и рекуперации абразивного материала составил 170 тыс. рублей в год.

Литература

1. Номенклатурный каталог «Научно-производственное предприятие Томилинский электронный завод - НПП ТЭЗ» 2-е издание, перераб. и дополн. М.,- 2005, 80 с.
2. Жуков В.В., Дощечкин Е.Д. Технология изготовления полимерных маскирующих покрытий с использованием клеевых соединений при пескоструйной резке полупроводниковых материалов // Сборка в машиностроении, приборостроении: № 10 М.,- Машиностроение, 2005 г.
3. Расчет и проектирование сухих пылеуловителей и туманоуловителей. Под ред. Белова С.В. – Москва: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1985. 225с. ил.