

**«ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»  
ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ  
«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»**

**Машиностроительные технологии  
МТ-2**

**«Увеличение мощности насоса гидроабразивной резки как  
средство повышения точности реза и глубины проникновения.  
Устройство для сбора и очистки абразива»**

**Автор:** Леонтьевский Александр Александрович, Московская область,  
г. Клин, МОУ СОШ № 8, 11 класс

**Научный руководитель:** Грудинина Виктория Витальевна, учитель физики и информатики,  
МОУ СОШ №8, г. Клин

**Москва-2011**

**Увеличение мощности насоса гидроабразивной резки как средство повышения точности реза и глубины проникновения. Устройство для сбора и очистки абразива.  
Леонтьевский А.А**

Россия, Московская область, город Клин, Муниципальное общеобразовательное учреждение  
средняя общеобразовательная школа № 8, 11 класс.

**План исследования**

**Вопрос, подлежащий исследованию:** Изучить принцип гидроабразивной резки. Познакомиться с методами обработки материалов. Провести сравнительный анализ и выявить достоинства и недостатки каждого способа в отдельности. Создать систему для сбора и регенерации абразива.

**Гипотеза:** Увеличив мощность насоса гидроабразивной резки, в первую очередь надо отметить, что уменьшится количество потребляемой воды во время резки. Увеличится глубина реза у всех обрабатываемых материалов. Создать достаточно простую модель установки которая сможет без труда очищать отработанный абразив. Это будет мобильная передвижная установка.

**Метод исследований:** Анализ параметров систем сбора абразива без повторного использования и с регенерацией. Модернизация системы сбора абразива. Анализ реза различных материалов, на двух разных установках.

**Библиография:** Аршинов В.А. Резание металлов и режущий инструмент, 1986. Москва , Машиностроение; А. П. Гуляев. Металловедение, 1975, Москва, Наука; Панов А.А. Обработка металлов резанием, 1982. Кудиц-Пресс; Чернох С. Справочник по машиностроению. 1985; Сайт: <http://www.stankoexim.ru/>.

## Содержание:

1. Введение.....	3 стр.
2. Описание принципа гидроабразивной резки .....	4 стр.
3. Анализ систем сбора и регенерации абразива.....	5 стр.
4. Новая система сбора и регенерации абразива.....	7 стр.
5. Применение более мощного насоса высокого давления для повышения параметров станка.....	8 стр.
6. Выводы.....	10 стр.
7. Список используемой литературы.....	10 стр.
8. Приложения	
Приложение 1.....	11 стр.
Приложение 2.....	11 стр.
Приложение 3.....	12 стр.

## Введение.

В настоящее время в промышленности применяется и продолжает совершенствоваться такой способ обработки материалов, как гидроабразивная резка. Несмотря на то, что подобная технология была изобретена еще в 1947 году, только сейчас удалось разработать насосы, позволяющие достигать требуемого давления. Многие предприятия в таких отраслях, как судостроение, авиастроение и специальное машиностроение, оценили достоинства этого способа. Технология гидроабразивной резки имеет широкий диапазон обрабатываемых материалов: от мрамора и стекла - до легированной стали. С помощью гидроабразивной резки возможно осуществлять раскройку листовых материалов, резку цветных металлов, титана и алюминия, обрабатывать камень и пластик.

Абразивно-жидкостная струя эффективно разрезает как композитные материалы, так и стали с упрочняющими покрытиями, что делает ее универсальным инструментом, пригодным для самых разных сфер применения.

Незаменима она и в тех случаях, когда требуется резка металла, имеющего неоднородную структуру и разрушающегося под термическим воздействием. Так как здесь плазменная или лазерная технологии уже неприменимы. К таким материалам можно отнести цветные металлы, композиты из органических соединений, черные металлы большой толщины.

Большую популярность гидроабразивная резка получила в сфере дизайна и интерьера. С ее помощью наносят рисунки и орнаменты на стеклянные полы, которые получили распространение именно благодаря тому, что после такой обработки их поверхность теряет свою скользкость. Поскольку подобная технология не имеет термического и механического

воздействия, это самым лучшим образом подходит для такого хрупкого материала, как стекло. Гидроабразивная резка заняла свою нишу в промышленности, за счет своей скорости и качества обработки материалов.

При проведении исследовательской работы, я поставил перед собой следующие задачи: познакомиться с технологией и разными видами гидроабразивной резки; исследовать и сравнить характеристики двух гидроабразивных станков; убедиться в эффективности повторного использования абразива; создать устройство для рекультивации абразива; увеличить мощность станка.

### **Описание принципа гидроабразивной резки.**

Вода камень «точит». Этот процесс может длиться тысячелетия, так как вода капает медленно, но, если скорость потока воды значительно усилить, то, автоматически, происходит ускорение «точения» камня. Если же подавать воду под огромным давлением, то вода будет проходить сквозь материалы, как раскаленный нож - сквозь масло.

Разработано две принципиальных технологии использования воды для раскроя материалов. Водная резка и водно-абразивная или гидроабразивная резка. Эти две технологии очень близки с той лишь разницей, что при водной резке подается только вода, а при гидроабразивной резке к воде подмешивается абразив.

Для того, чтобы вода могла резать, она должна подаваться под сверхвысоким давлением. Таковым считается давление примерно 4700 кг на квадратный сантиметр (4000 атмосфер) или более. Вода выходит через сопло диаметром 0,5 мм со скоростью 1200 метров в секунду. Затем струя воды гасится при помощи ванны с водой, без которой она прорезала бы все на своем пути.

Сама по себе вода легко разрезает мягкие материалы, такие как резина, пластмасса, поролон и так далее. Но, когда речь идет о раскрое твердых материалов - сталь, титан, керамика - в поток воды подмешивается абразив (как правило, гранатовый песок диаметром 0,4 мм).

Как создается высокое давление при водной или гидроабразивной резке? Создать высокое давление и поддерживать его на таком уровне, на протяжении всего времени работы, довольно сложно. Поэтому, успех зависит в значительной степени от насоса, который можно считать сердцем всей системы. Однако, сколь мощной ни была бы струя, сама по себе вода не может разрезать любой материал, либо, у нее на этот процесс уйдет слишком много времени. Режущая способность абразивной струи в сотни, если не в тысячи раз выше, чем просто воды.

Внутри прибора гидроабразивной резки (**Приложение 1, рисунок 1**), находится система водной резки. Струя воды, вылетающая со скоростью 1200 метров в секунду, разгоняет абразив. От размера песчинок зависит скорость резки и гладкость среза. Смешивающие трубы (mixing tube) бывают разных размеров, срок их "жизни" также различается. Их длина составляет примерно 7,6 см, а внешний диаметр - 6 мм. Внутренний диаметр составляет от 0,5 мм, до 1,5 мм. Самый распространенный диаметр - 1 мм.

В зависимости от используемого материала срок годности труб составляет от 4-6 часов, до 100-150 часов непрерывной работы. Таким образом, расходные материалы, необходимые для водно-абразивной резки - это вода, абразив, сопло и труба для смешивания.

Основные преимущества гидроабразивной резки заключаются в том, что такой метод позволяет разрезать любой материал, избегая нежелательного термического и механического воздействия, вредных испарений. Этот метод экологически чист, пожаробезопасен, дешевле большинства других методов. Благодаря своим достоинствам методы водной и гидроабразивной резки становятся самыми популярными в мире.

Как же можно увеличить производительность гидроабразивного станка? Это, во-первых, усовершенствовать систему сбора и регенерации абразива, а во-вторых, применить более мощный насос высокого давления (рабочее давление в 6000 бар).

### **Анализ систем сбора и регенерации абразива.**

Проанализируем параметры систем сбора абразива без повторного использования и с регенерацией, и выявим преимущества системы с регенерацией.

Гранатовый абразив является крайне жестким и тяжелым абразивом с плотностью примерно 4,1 - 4,3 г/см. Твердость абразивного граната связана с кристаллическим строением и обеспечивает высокое сопротивление к разрушению. Благодаря этой способности гранатовый абразив является фактически устойчивым в течение всего времени использования. Таким образом, получается высокое качество реза со степенью шероховатости в зависимости от размера зерна и скорости резки. Сбор абразива механическим способом целесообразен при использовании оборудования в цехах, где требуется высокая производительность обработки изделий.

При повторном использовании абразива его необходимо очистить от пыли разрезаемого материала, разделить на фракции разного размера и высушить. В приведенной ниже таблице по анализу затрат материала принят расход абразива 27 кг/ч для станка с 3 форсунками.

**Таблица №1 Оценка 1 машино-часа станка без повторного использования абразива.**

<b>Исходный абразив</b>	<b>Гранатовый абразив</b>
Расход - кг/ч	27
Стоимость за единицу - евро/кг	0,28
Стоимость за час - евро/ч	7,67
Отработанный абразив	Утилизация
Количество (влажность 10%) - кг/ч	30
Стоимость за единицу - евро/кг	0,08
Стоимость за час - евро/ч	2,32
Общая стоимость	9,99 евро

**Таблица №2 Оценка 1 машино-часа станка с повторным использованием абразива.**

<b>Исходный абразив</b>	<b>Гранатовый абразив</b>
Расход - кг/ч	13,5
Стоимость за единицу - евро/кг	0,28
Стоимость за час - евро/ч	3,83
Отработанный абразив	Утилизация
Количество (влажность 10%) - кг/ч	16
Стоимость за единицу - евро/кг	0,08
Стоимость за час - евро/ч	1,24

**Таблица №3 Крупные и мелкие фракции, полученные в результате обработки для повторного использования.**

Количество	8,5
Стоимость за единицу - евро/кг	0,08
Стоимость за час - евро/ч	0,66

**Таблица №4 Расход энергии на повторное использование**

Расход - КВтч	12
Стоимость за единицу - евро/КВтч	0,10
Стоимость за час - евро/ч	1,24

**Таблица №5 Стоимость обслуживания за 4320 час/год (240 дней по 18 час/день).**

Стоимость за год - евро/кг	3 098,74
Стоимость за час - евро/ч	0,72
Общая стоимость	7,70 евро

**Как видно из вышеприведенных данных, экономия в этом случае равна:**

**Общая стоимость без повторного использования - 9,99 евро**

**Общая стоимость с повторным использованием - 7,70 евро**

**Разность - 2,30 евро**

**Годовая экономия из расчета 4320 рабочих часов составляет около 10330 евро.**

Помимо стоимости 1 машино-часа для станка, оснащенного системой повторного использования, необходимо также учесть амортизацию станка, которая зависит от типа агрегата и от периода амортизации: при этом нельзя использовать усредненные показатели вследствие быстрого износа и частых операций технического обслуживания такого агрегата.

С экономической точки зрения, повторное использование абразива не дает большой экономии, даже когда количество использованного и повторно использованного абразива позволяет быстро вернуть вложенные средства.

**Самым важным достоинством повторного использования абразива является уменьшение воздействия на окружающую среду, так как количество материала, который требуется хранить и утилизировать, сокращается на 50%.**

**Устройство для сбора абразива:**

На данный момент существует достаточно много аппаратов для сбора абразива. Я хочу предложить свою, достаточно простую в применении систему.

### **Новая система сбора и регенерации абразива.**

Системы сбора и регенерации абразива предназначены для сбора отработанного абразива и его транспортировки для последующей очистки и повторного применения. Я предлагаю достаточно простую модель установки (**Приложение 2, схема 1**), которая сможет без труда очищать отработанный абразив. Это будет мобильная передвижная установка.

Для сбора абразивного материала используются два вида насадок. Насадка для сбора абразива с плоских поверхностей и насадка для сбора абразива из «кучи». Насадка одевается на конец всасывающего рукава и затягивается хомутом. Абразивный материал по всасывающим рукавам подается в корпус установки через входную трубу. Проходя через сито абразивный материал, отделяется от пыли и крупных частиц. Пыль, через выходной патрубок, подается во всасывающий механизм, а более крупные частицы в камне-уловитель, откуда их необходимо периодически извлекать. В дальнейшем, просеянный и очищенный абразив сыпается в специальный контейнер, и уже оттуда выгружается для вторичного использования.

### **Применение более мощного насоса высокого давления для повышения параметров станка.**

В гидроабразивной резке применяется давление от 3500 до 4000 бар – это показатель сегодняшнего уровня развития техники. Дальнейшее существенное повышение мощности, а, следовательно, и производительности возможно при повышении давления резки с 4000 до 6000 бар. При этом увеличенное давление повышает скорость истечения водноабразивной смеси, что дает установке новые возможности, такие как увеличение глубины реза, сокращение времени работы с деталью, более точная резка. Когда увеличивается давление, уменьшается отставание от струи (**Приложение 3, схема 2**).

Струя воды это не жесткий инструмент. Чем выше скорость резанья, тем сильнее прогибается струя. Сила воды, ослабевая по направлению сверху-вниз, ведет к образованию конической впадины. В углах появляются углубления (срезы и неточности, кривые срезы и скосы). Эта проблема решается за счет увеличения давления. Сводятся к минимуму все погрешности и неровности. Кромка металла становится более гладкой и отклонения сводятся к минимуму.

Увеличение давление, так же дает большую «глубину» реза. Появляется возможность резать более твердый и более глубокий металл. Я хочу предложить сравнительный анализ реза различных материалов, на двух разных установках. При нашем сравнении будут установлены одинаковые условия, для двух установок.

**Таблица №6. Характеристики станка гидроабразивной резки №1.**

<b>Давление при резке, бар</b>	4100
<b>Расход абразива, гр/мин</b>	250-450
<b>Диаметр смесительной трубки, мм</b>	0,76; 1,01
<b>Диаметр сопла, мм</b>	0,25
<b>Марка абразива</b>	kerfjet 80
<b>Расход воды л/мин</b>	3,8

**Таблица №7. Максимально возможная толщина обрабатываемого материала.**

<b>Материал</b>	<b>Толщина материала, мм</b>				
	5	10	20	50	100
<b>Сталь нерж.</b>	877	476	217	64	24
<b>Титан</b>	1141	620	283	83	31
<b>Алюминий</b>	2370	1290	590	170	62
<b>Гранит</b>	4190	2285	1046	300	110



<b>Мрамор</b>	4920	2680	1225	354	130
<b>Стекло</b>	4546	2477	1132	327	121
<b>Угленпластик</b>	4120	2245	1029	295	110

**Таблица №8. Характеристики станка гидроабразивной резки №2.**

<b>Давление при резке, бар</b>	6000
<b>Расход абразива, гр/мин</b>	250-450
<b>Диаметр смесительной трубки, мм</b>	0,76; 1,01
<b>Диаметр сопла, мм</b>	0,25
<b>Марка абразива</b>	kerfjet 80
<b>Расход воды л/мин</b>	2.5

**Таблица №9. Максимально возможная толщина обрабатываемого материала.**

<b>Материал</b>	<b>Толщина материала, мм</b>				
	5	10	20	50	100
<b>Сталь нерж.</b>	1444	786	358	102	40
<b>Титан</b>	1873	1025	468	137	51
<b>Алюминий</b>	3896	2124	974	282	104
<b>Гранит</b>	6891	3757	1718	495	182
<b>Мрамор</b>	8088	4410	2017	580	214
<b>Стекло</b>	7469	4073	1862	536	198
<b>Угленпластик</b>	6776	3698	1690	487	181

Проведя сравнения характеристик, наблюдается существенная разность параметров. В первую очередь надо отметить, что уменьшается количество потребляемой воды во время резки. Увеличилась глубина реза у всех материалов, а это достаточно хорошие показатели. **Например:** Выберем сталь нерж. из обеих таблиц, при толщине в 50 мм. В первом случае, возможно, резать гранит толщиной 64 мм, а во втором 102 мм. Здесь наблюдается существенная разница в 38 мм.

В проведенном сравнении мы увидели, что увеличив давление с 4000 до 6000 бар, достигается прогрессивное увеличение рентабельности использования установки гидроабразивной резки.

**На основании проделанной исследовательской работы получены следующие выводы:**

1. Изучен принцип гидроабразивной резки.
2. Проведен сравнительный анализ и выявлены преимущества системы сбора абразива механическим способом с регенерацией.
3. В гидроабразивной резке применяется давление от 3500 до 4000 бар – это показатель сегодняшнего уровня развития техники. Дальнейшее существенное повышение мощности, а, следовательно, и производительности возможно при повышении давления резки с 4000 до 6000 бар. При этом увеличенное давление повышает скорость истечения водоабразивной смеси, что дает установке новые возможности, такие как: увеличение глубины реза, сокращение времени работы с деталью, более высокая точность резки.
4. Гидроабразивная резка под высоким давлением занимает лидирующее место среди других способов обработки металлов, это обусловлено следующими факторами:
  - отсутствие теплового воздействия на материал (важно, что этот пункт также относится к легко плавящимся металлам, или к теплочувствительным металлам), как это случается при использовании лазера или плазмы;
  - очень незначительный шов бровки, что характерно практически для всех других способов по резке металлов; без труда разрезает металлы толщиной свыше 30 мм, когда как для других способов обработки металла это предельная толщина;
  - при увеличении размера металлического листа, начиная с 8 мм, скорость резки уравнивается со скоростью лазерной резки.

**Список использованной литературы:**

1. Аршинов В.А. Резание металлов и режущий инструмент, 1986. Москва, Машиностроение;
2. А. П. Гуляев. Металловедение, 1975, Москва, Наука;
3. Панов А.А. Обработка металлов резанием, 1982. Кудиц-Пресс;
4. Чернох С. Справочник по машиностроению. 1985;
5. Сайт: <http://www.stankoexim.ru/>.

## Приложение 1

Рисунок 1. Гидроабразивный станок.



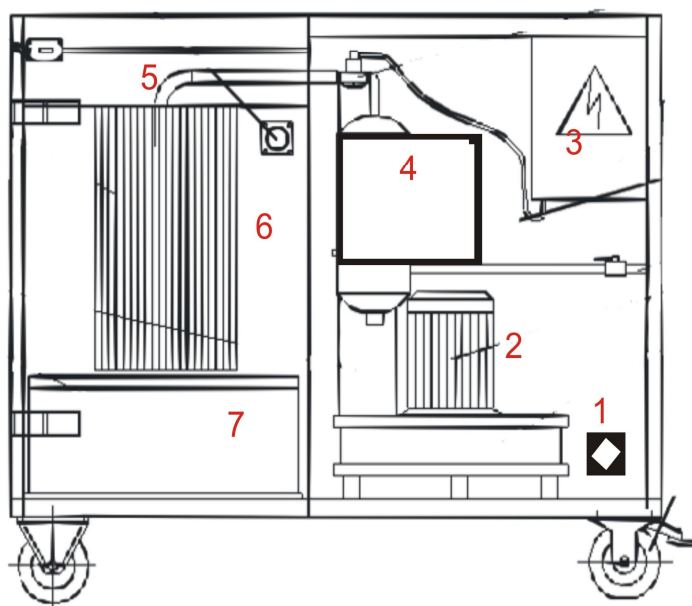
### Станок гидроабразивной резки Flow Mach 4

Станок гидроабразивной резки Flow Mach 4 имеет модульную конструкцию и объединяет в себе все необходимые для работы компоненты. Благодаря этому обеспечиваются максимально комфортные условия его эксплуатации и простой доступ ко всем рабочим узлам. Mach 4 может поставляться с различными размерами рабочего стола, что позволяет использовать его для решения самых разнообразных задач по раскрою материалов.

Станок обладает впечатляющими скоростными характеристиками, что заметно сокращает продолжительность рабочего цикла: осевое перемещение 35 м/мин, скорость резки до 25 м/мин.

## Приложение 2

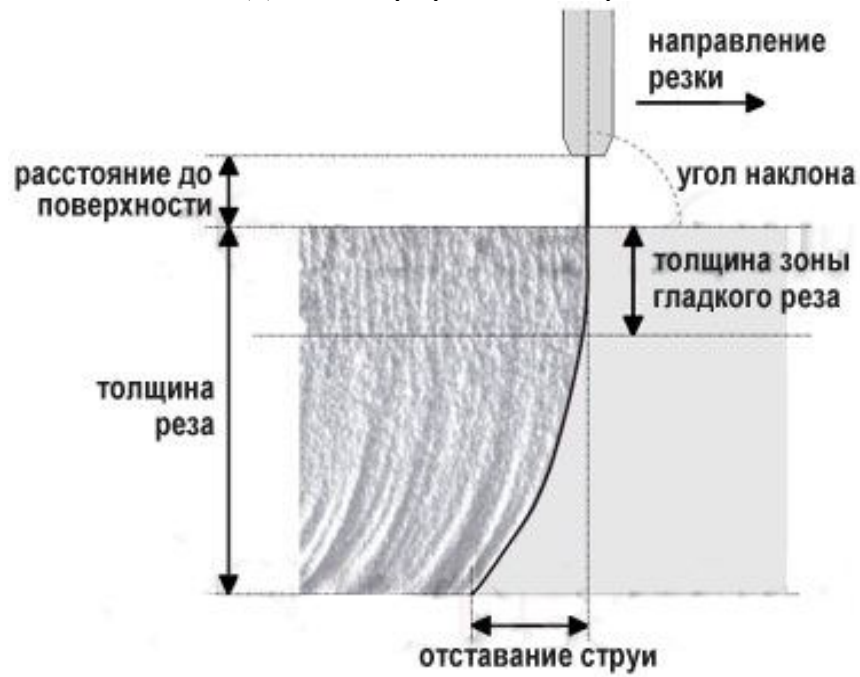
Схема 1. Устройство для сбора абразива



1. Входное отверстие для всасывающего рукава с насадкой.
2. Первичная система очистки от пыли и крупных частей.
3. Распределитель энергии.
4. «Камне-уловитель» для крупных частиц.
5. Пропускные трубки.
6. Конечная система очистки.
7. Бак с абразивом.

Приложение 3  
Схема 2. Сбив струи

Давление при резке 4100 бар.



Давление при резке 6000 бар.

При увеличении мощности, отставание струи (отмечена красной зоной) значительно уменьшилась.

