

**УДК 621.924.93**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ВОДОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

Юлия Леонидовна Битюцкая

*Студентка 5 курса,  
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.Б. Ставицкий,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и  
технологии»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

Современное развитие различных отраслей промышленности обуславливает необходимость применения новых прогрессивных методов обработки материалов, основанных на отличных от классической механической обработки принципах. Одним из таких методов является водоструйная обработка.

Водоструйная обработка, появившаяся всего несколько лет назад в настоящее время является одним из наиболее быстро внедряемых в производство методом обработки. Однако, несмотря на достаточное большое количество и разнообразие производимого водоструйного оборудования, информация о физических процессах данного вида обработки, методиках расчета режимных параметров, технических характеристиках оборудования, его конструктивных особенностях и возможностях применения носят разрозненный характер. Поэтому целью представленной работы являлось поиск, обобщение и анализ существующих данных, касающихся водоструйной обработки: физика процесса, известные математические модели, технологические параметры обработки, конструкции водоструйных головок, технические характеристики производимого оборудования. Кроме этого в представленной работе представлены перспективы и направления развития водоструйной обработки.

В данной работе рассматривается сущность водоструйной обработки, ее особенности, используемое оборудование и конструкции водоструйных головок, а также существующие модели разрушения материала.

Водоструйная обработка - вид обработки материалов, где в качестве режущего инструмента используется струя воды малого диаметра (0,08...0,5 мм) или смеси воды и абразивного материала, выпускаемая с высокой скоростью (900...1200 м/с). В настоящее время основное назначение водоструйной обработки - разрезание различных материалов.

Существует две разновидности водоструйной обработки: обработка струей воды (гидрорезание) и обработка струей воды с добавлением абразива (гидроабразивное резание).

При гидроабразивном резании вода, нагнетаемая насосом до сверхвысокого давления, подается в режущую головку. Вырываясь через узкое сопло с околосонной

или сверхзвуковой скоростью, струя воды поступает в смесительную камеру, где начинает смешиваться с частицами абразива – гранатовым песком, зернами электрокорунда, карбида кремния или другого высокотвердого материала. Смешанная струя выходит из смесительной трубки и разрезает материал.

При гидрорезании (без абразива) схема упрощена: вода под давлением вырывается через сопло и направляется на разрезаемое изделие.

Гидрорезанием как правило обрабатываются кожа, текстиль, войлок, пластики, резиновые изделия, бумага, картон, дерево и др.

Гидроабразивным резанием можно обрабатывать листы из различных металлов, металлические детали, композитные материалы, толстостенные пластмассы, бетон, железобетон, камень, гранит, мрамор и др.

Особенности водоструйной обработки являются:

- возможность обработки как хрупких, так и пластичных материалов (поролон, резина, пластик, камень, металл и др.);
- возможность обработки материалов вне зависимости от их твердости и электропроводности;
- малые силы, необходимые для закрепления заготовки;
- возможность использования метода для черновой и чистовой обработки;
- отсутствие термически измененного слоя.

В комплекс для водоструйного резания входят: насос высокого давления; режущая головка; координатный стол и приводы перемещений режущей головки; разводка высокого давления; система подачи абразива (для гидроабразивной резки); система числового программного управления. Дополнительно комплекс может оснащаться: устройством для предотвращения столкновений режущей головки с заготовкой; системой из нескольких режущих головок; механической системой предварительного просверливания; ловушкой струи воды, гасящей ее энергию и служащей также для сбора отработанного абразива, и рядом других.

Таблица 1. Основные характеристики оборудования

Размеры рабочего стола, мм	1060x1670...3200x6250
Размеры рабочей зоны, мм	915x1525...3050x6100
Точность позиционирования, мм	±0,02...±0,15
Количество водоструйных головок	1...6
Потребляемая мощность, кВт	22...75
Давление водяного насоса, МПа	250...410

В настоящее время разработано и находит широкое применение оборудование, позволяющее выполнять резание заготовок в двух разных направлениях (Рис 1).

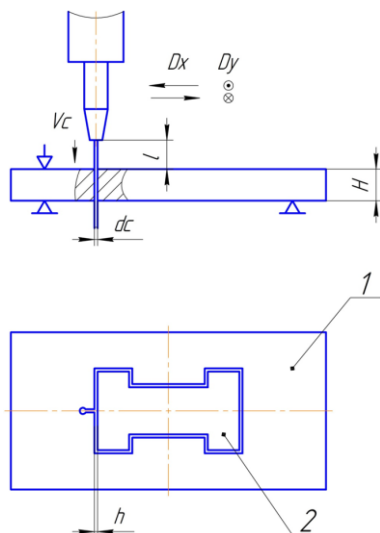


Рис.1. Технологическая схема двух координатной водоструйной обработки, где:

1 – заготовка; 2 – деталь;  $H$  – толщина заготовки;  $h$  – ширина реза;  $l$  – расстояние между наконечником водоструйной головки и поверхностью заготовки;  $V_c$  – скорость истечения струи;  $d_c$  – диаметр струи.

В последние годы появилась оборудование позволяющее реализовывать пяти координатную обработку. При этом кроме движений по координатам  $X$  и  $Y$ , добавляются программно-управляемые движения по координатам  $Z$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ . Эти движения совершает режущая головка, которая перемещается в процессе резания вертикально ( $Z$ ), поворачивается на определенные углы относительно вертикальной ( $A$ ) и горизонтальной ( $B$ ) осей. Таким способом можно производить снятие фасок, объёмные вырезы и обработку сложных пространственных изделий (Рис. 2).

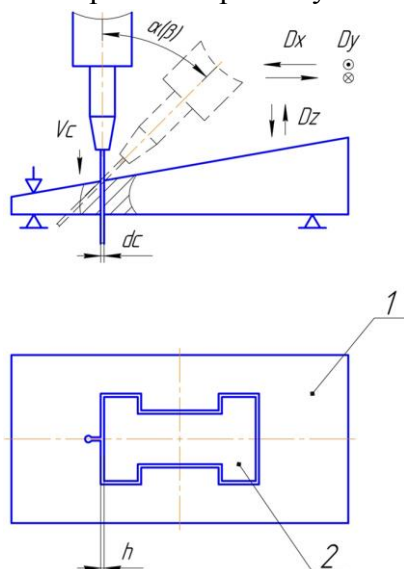


Рис.2. Технологическая схема пяти координатной водоструйной обработки, где: 1 – заготовка; 2 – деталь;  $h$  – ширина реза;  $V_c$  – скорость истечения струи;  $d_c$  – диаметр струи;  $\alpha$ ,  $\beta$  – углы наклона оси сопла.

Основные параметры водоструйной обработки:

- диаметр струи воды 0,08...0,5 мм;
- скорость выхода струи воды с абразивом 900...1200 м/с;
- рабочее давление на заготовку 400 МПа и более;

- сила в зоне обработки 1...100Н;
- температура в зоне обработки +60...+90 град. С;
- расход воды 3...8 л/мин;
- средняя стойкость фокусирующего сопла 60...100 часов;
- стойкость твердосплавного рабочего сопла (трубки) 80...150 часов;
- диапазон толщин разрезаемого материала от 0,1 до 300 мм;
- ширина реза 0,3...1 мм;
- шероховатость поверхности  $Ra = 1,6...6,3$  мкм.

При выполнении работы был произведен патентный поиск и рассмотрены конструкции зарубежных и отечественных головок для гидроабразивного резания.

Все рассмотренные водоструйные головки представляют собой конструкции, основные детали которых расположены вдоль вертикальной оси. Эта ось лежит на пути струи жидкости под высоким давлением. Общим для всех конструкций является наличие впускного отверстия 1, сопла, фокусирующего жидкость 2, бокового канала для подвода абразива 3, смесительной камеры 4 и удлиненной насадки, фокусирующей струю воды после попадания в нее абразива 5 (Рис.3).

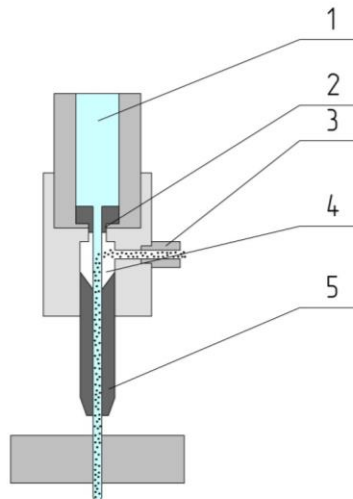


Рис.3 Схема головки для гидроабразивного резания

Типовые конструкции водоструйных головок: без регулировки соосности (Рис. 4) и с регулировкой соосности (Рис. 5)

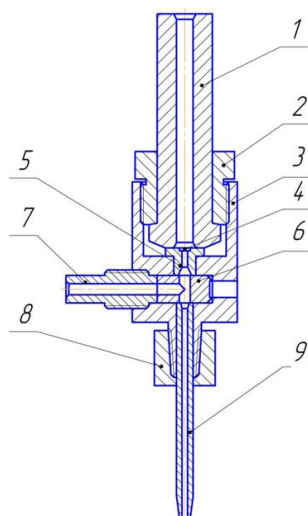


Рис.4

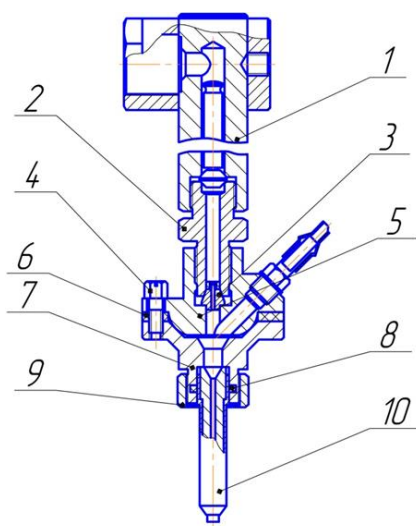


Рис. 5

Основные преимущества водоструйной обработки состоят в следующем:

- отсутствует термическое воздействие на материал;
- возможность обработки широкого спектра различных по физическим свойствам материалов;
- способность воспроизводить сложные контуры и профили;
- высокое качество получаемой поверхности;
- отсутствие обратной реакции на режущий инструмент, так как между изделием и инструментом нет непосредственного контакта;
- малая ширина реза;
- возможность автоматизации процесса;
- в качестве режущего инструмента используется вода;
- взрыво- и пожаробезопасность процесса.

К недостаткам технологии гидрорезания можно отнести:

- конструктивные трудности, возникающие при создании высокого давления жидкости;
- довольно низкую стойкость сопла и сложность его изготовления;
- высокую энергоёмкость по сравнению с рядом других типов резания;
- из-за отсутствия методик расчета режимов резания при назначении скорости подачи рабочей головки технологи вынуждены пользоваться экспериментальными данными и рекомендациями фирм производителей оборудования.

Микроразрушение материала при водоструйном резании является сложным и многофакторным процессом. Поэтому для описания формирования поверхности реза выделяют ряд упрощенных схем:

1. Процесс эрозионного разрушения материала происходит под действием импульсной нагрузки при ударе единичного абразивного зерна.

2. Фрикционно-контактно-усталостное разрушение материала обусловлено тем, что при бомбардировке поверхности каплями и абразивными зёрнами, напряжения и деформации, возникающие при этом, не достигают разрушающих значений.

3. Микрорезание осуществляется при однократном приложении силы летящей абразивной частицы, достаточной по величине для отрыва микрочастицы обрабатываемого материала и имеющей более высокую твердость по сравнению с ним.

4. Проникающее действие жидкости при ударе капель о поверхность с уже образовавшимися трещинами и эрозионными раковинами приводит к локальному разрушению материала.

5. Гидродинамическая кавитация – образование в струе пузырьков, схлопывание их при взаимодействии с обрабатываемой поверхностью материала, приводит к его кавитационной эрозии.

6. Разрушение струей действием изгиба и сжатия микронеровностей обрабатываемой поверхности.

7. Металл представляет собой поликристаллическую структуру. Следствием этого, является наличие внутри металла микропор. Согласно волновой теории при мгновенном приложении нагрузки от струи к материалу (упругая среда) в нем будет распространяться возмущение, волны которого допустимо рассматривать как плоские. Это позволит, аналитически описать процесс разрушения в зависимости от вышеуказанных факторов.

## **Литература**

1. [www.vodorezka.ru/rezat\\_vodoy.html](http://www.vodorezka.ru/rezat_vodoy.html)
2. [www.osvarke.com/gidroabrazivnaya-rezka.html](http://www.osvarke.com/gidroabrazivnaya-rezka.html)
3. [www.mirprom.ru/public/gidroabrazivnaya-rezka-tehnologiya-i-primeneniye.html](http://www.mirprom.ru/public/gidroabrazivnaya-rezka-tehnologiya-i-primeneniye.html)
4. <http://www.orlaz.ru/two.htm>
5. Журнал «Оборудование и инструмент для профессионалов» №6(83) 2006