



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*B24C 5/02 (2020.05)*

(21)(22) Заявка: 2020126531, 09.08.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.08.2020

Дата регистрации:  
04.09.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.08.2020

(45) Опубликовано: 04.09.2020 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

109125, Москва, ул. Волжский бульвар, 11, кв.  
208, Спиридонову А.А.

(72) Автор(ы):

Спиридонов Андрей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Спиридонов Андрей Алексеевич (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2475350 C2, 20.02.2013. RU  
2104831 C1, 20.02.1998. RU 2206442 C2,  
20.06.2003. KR 0101454451 B1, 23.10.2014.

## (54) СПОСОБ ГИДРОАБРАЗИВНОГО РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к струйной гидроабразивной обработке. Осуществляют подачу обрабатываемого материала в зону резания с обеспечением подвода сопла струйной головки к поверхности обрабатываемого материала на расстояние 5-10 мм. Смешивают в струйной головке скоростной поток жидкости с частицами абразива диаметром 200-600 мкм до образования гидроабразивной жидкости однородной консистенции. Подают из сопла струйной головки в зону резания струю гидроабразивной жидкости диаметром 0,8-1,0 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной

головки, составляющей 700-1000 м/с. Указанная струя осуществляет удар по обрабатываемому материалу с усилием 60-80 Н. Осуществляют перемещение струйной головки по заданной траектории со скоростью 1-1000 мм/мин с обеспечением разрезания обрабатываемого материала и шероховатости поверхности обрабатываемого материала в зоне резания  $R_a$  в пределах 2,0-5,0 мкм. В результате повышается производительность и достигается стабильно высокое качество резки на всей протяженности длины реза при снижении расхода дорогостоящего абразивного материала.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 731 559**<sup>(13)</sup> **C1**

(51) Int. Cl.  
*B24C 5/02* (2006.01)  
*B24C 1/00* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*B24C 5/02 (2020.05)*

(21)(22) Application: **2020126531, 09.08.2020**

(24) Effective date for property rights:  
**09.08.2020**

Registration date:  
**04.09.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **09.08.2020**

(45) Date of publication: **04.09.2020** Bull. № 25

Mail address:

**109125, Moskva, ul. Volzhskij bulvar, 11, kv. 208,  
Spiridonovu A.A.**

(72) Inventor(s):

**Spiridonov Andrei Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Spiridonov Andrei Alekseevich (RU)**

**(54) METHOD OF HYDROABRASIVE CUTTING OF MATERIALS**

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to jet hydroabrasive processing. Processed material is fed into cutting zone with provision of jet head nozzle supply to processed material surface at distance of 5–10 mm. High-speed liquid flow with particles of abrasive with diameter of 200–600 μm is mixed in jet head till formation of hydroabrasive liquid of homogeneous consistence. A jet of hydroabrasive fluid 0.8–1.0 mm in diameter is fed from the jet head nozzle to the cutting zone at jet discharge rate of jet head nozzle making 700–1,000 m/

s. This jet blasts the processed material with force of 60–80 N. Jet head is moved along a predetermined trajectory at rate of 1–1,000 mm/min to ensure cutting of the processed material and roughness of the processed material surface in the cutting zone  $R_a$  within 2.0–5.0 μm.

EFFECT: result is higher efficiency and stable high quality of cutting throughout length of cut at reduced consumption of expensive abrasive material.

1 cl

RU 2 731 559 C 1

RU 2 731 559 C 1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к области механической обработки материалов, а именно к струйной гидроабразивной обработке, и может быть использовано для резки различных материалов: стали, чугуна, сплавов цветных металлов, пластмасс и различных минералов с получением готовых деталей или заготовок, подвергаемых дальнейшей обработке, без необходимости использования различных видов оборудования, предназначенного для финишной обработки.

Уровень техники

Известен способ гидроабразивной обработки, при котором струя суспензии, состоящая из воды и частиц абразивных материалов, направляется на обрабатываемую поверхность и воздействует на нее, срезая мелкие частицы поверхности (Шмаев В.А. и др., Струйная гидроабразивная обработка деталей ГТД, М.: «Машиностроение», 1995 г.). Недостатком данного способа является недостаточная производительность, т.к. съем материала производится, в основном, за счет усталостного выкрашивания частиц материала под воздействием множества ударных взаимодействий с ним абразивных частиц. Резание в чистом виде при этом практически отсутствует. Вторым существенным недостатком является нестабильность шероховатости обработанной поверхности, которая на разных участках обработанной поверхности различается в 5-6 раз (например, при использовании абразива с величиной зерна M20 обработанная поверхность имеет шероховатость Ra, колеблющуюся в пределах от 0,12 до 0,7 мкм). Это также связано, прежде всего, с отсутствием процесса стабильного резания с переносом параметров абразивных частиц на микропрофиль обработанной поверхности.

Наиболее близким аналогом к разработанному способу является способ гидроабразивной резки листового металлического материала (патент РФ № 2475350, В24С5/02, 20.02.2013), при котором осуществляют подачу листового металлического материала в зону резания и осуществление удара высоконапорной гидроабразивной струей, вытекающей из струйной головки, по листовому металлическому материалу для его разрезания. Для интенсификации процесса резания обеспечивают точечный фокусированный нагрев зоны резания листового металлического материала внешним источником фокусированного нагрева до температуры, меньшей температуры фазовых превращений разрезаемого материала. Затем осуществляют удар высоконапорной гидроабразивной струи, вытекающей из струйной головки, по листовому металлическому материалу. Недостатком является недостаточная производительность, так как съем материала производится, в основном, за счет усталостного выкрашивания частиц материала под воздействием множества ударных взаимодействий с ним абразивных частиц. Резание в чистом виде при этом практически отсутствует. Проблемой является также применимость известного способа только для металлических материалов, нестабильность параметров шероховатости обработанной поверхности, связанная с отсутствием процесса стабильного резания с переносом параметров абразивных частиц на микропрофиль обработанной поверхности, а также необходимость наличия дополнительного источника нагрева обрабатываемого материала.

Решаемой технической проблемой является устранение недостатков, присущих аналогам.

Раскрытие сущности изобретения

Достижимым техническим результатом является повышение производительности резки и качества обработки за счет получения поверхности кромки, разрезанной заготовки, с точным контуром реза и низкой шероховатостью, а также расширение технологических возможностей способа за счет обеспечения возможности применения

способа для резки различных видов материалов, таких как сталь, чугун, цветные сплавы, пластмасса и различные минералы, а также снижение расхода дорогостоящего абразивного материала.

5 Указанный технический результат достигается благодаря следующей совокупности существенных признаков:

подачи обрабатываемого материала в зону резания с обеспечением подвода сопла струйной головки к поверхности обрабатываемого материала,

смешивания в струйной головке скоростного потока жидкости с частицами абразива до образования гидроабразивной жидкости однородной консистенции,

10 подачи из сопла струйной головки в зону резания струи гидроабразивной жидкости, осуществления удара указанной струи по обрабатываемому материалу и последующее перемещение струйной головки по заданной траектории с обеспечением разрезания обрабатываемого материала,

15 сопло струйной головки подводят к поверхности обрабатываемого материала на расстояние 5-10 мм, скоростной поток жидкости смешивают с частицами абразива диаметром 200-600 мкм, подают в зону резания струю гидроабразивной жидкости диаметром 0,8-1,0 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной головки, составляющей 700-1000 м/с, удар струи гидроабразивной жидкости по обрабатываемому материалу осуществляют с усилием 60-80 Н, а перемещение струйной головки по 20 заданной траектории осуществляют со скоростью 1-1000 мм/мин с обеспечением шероховатости поверхности обрабатываемого материала в зоне резания  $R_a$  в пределах 2,0-5,0 мкм.

25 Размещение сопла струйной головки на расстоянии 5-10 мм от поверхности обрабатываемого материала способствует повышению качества резки за счет исключения разбрызгивания (рассеивания) гидроабразивной жидкости, что также способствует снижению расходования абразивного материала. Интервал значений указанного расстояния позволяет гидроабразивной струе сообщить достаточное количество энергии для разделения материалов, а также оказывает влияние на ширину реза, когда для получения более широкого реза требуется большее расстояние от сопла 30 до поверхности.

Резка материалов струей диаметром 0,8-1,0 мм, которую подают из сопла струйной головки со скоростью 700-1000 м/с, обеспечивая удар струи гидроабразивной жидкости по обрабатываемому материалу с усилием 60-80 Н, позволяет расширить 35 технологические возможности способа за счет обеспечения регулирования ширины и глубины резки на материалах с различной физико-химической природой. При этом на материалах, поддающихся упрочнению, исключается образование в зоне реза упрочненных зон, что способствует повышению качества поверхности в зоне реза. Перемещение струйной головки со скоростью 1-1000 мм/мин обеспечивает регулирование глубины и ширины реза, позволяя выполнять на материале как сквозные, 40 так и глухие отверстия. Выбор конкретного значения скорости перемещения головки также зависит от вида разрезаемого материала и его толщины, когда более тонкий или легкообрабатываемый (мягкий) материал, например пластмассу, подвергают резке на более высокой скорости, тогда как резку более толстого или труднообрабатываемого (твердого) материала, например чугуна или титанового сплава, проводят на меньшей 45 скорости.

Использование абразивных частиц диаметром 200-600 мкм в сочетании со скоростью 1-1000 мм/мин перемещения струйной головки и расстоянием от сопла до поверхности обрабатываемого материала 5-10 мм обеспечивает возможность получения высокого

качества резки, заключающегося в получении поверхности кромки реза детали с шероховатостью  $R_a$  в пределах 2,0-5,0 мкм, и предотвращает возможность возникновения наклепа и микротрещин на поверхности реза, а также расширяет номенклатуру обрабатываемых материалов.

5      Осуществление изобретения

Для осуществления заявленного способа может быть применено следующее существующее и промышленно используемое оборудование. Насос высокого давления, например KMT SL-VI PRO-III, для подачи жидкости и система подачи абразива соединены с режущей струйной головкой для создания в режущей струйной головке гидроабразивной суспензии. ЧПУ контроллер, например логический программируемый контроллер OMRON CP1L, выпускаемый компанией OMRON, осуществляет управление гидроабразивной резкой. Размещение изделий для резки режущей головкой осуществляют на столах фирмы WaterJet.Tech. В качестве режущей головки использовалась пяти-осевая головка HD5X-AC, производимая фирмой Headwaterjet, у которой к стандартному трех-осевому перемещению (ось X, ось Y, ось Z) добавляется ось A (вращение вокруг оси X) и ось C (вращение вокруг оси Z), что позволяет достигнуть большого угла наклона. Угол поворота режущей головки вокруг оси A составляет 70 градусов, а угол поворота режущей головки вокруг оси C составляет 540 градусов. Диапазон рабочего угла резки составляет 0-45 градусов. Конструкция данной головки позволяет осуществлять гидроабразивную резку изделий, имеющих сложную конфигурацию, например лопаток ГТД.

Способ резки по настоящему изобретению может быть осуществлен в соответствии со следующими неограничивающими объем притязаний примерами.

Пример 1. Обрабатываемый материал в виде листа углеродистой стали толщиной 30 мм подают в зону резания. На расстояние 6 мм от поверхности обрабатываемого материала подводят сопло струйной головки, в которой осуществляют смешивания потока воды температурой 75°C с частицами абразивного материала (гранатового песка) диаметром 260 мкм до получения гидроабразивной жидкости однородной консистенции. Подают на поверхность обрабатываемого материала струю гидроабразивной жидкости диаметром 0,8 мм со скоростью ее выхода из сопла, составляющей 830 м/с, что обеспечивает, как показал эксперимент, усилие удара струи гидроабразивной жидкости по обрабатываемому материалу 67 Н. При достижении сквозного прорезания обрабатываемого материала осуществляют перемещение струйной головки по траектории резания со скоростью 30 мм/мин. Последующий осмотр поверхности реза показал стабильно высокое качество поверхности реза на всей его протяженности при шероховатости поверхности реза  $R_a$  2,5-2,6 мкм.

Пример 2. Осуществляли подачу пластины из латуни толщиной 40 мм к струйной режущей головке. Сопло струйной головки располагали от поверхности пластины на расстоянии 5 мм. Использовали абразивные частицы кварцевого песка ( $SiO_2$ ) диаметром 200-250 мкм. Осуществляли подачу в зону резания струи гидроабразивной жидкости диаметром 0,8 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной головки, составляющей 700 м/с. Удар струи гидроабразивной жидкости по пластине составлял порядка 68-70 Н. Перемещение струйной головки по заданной траектории осуществляли со скоростью 150 мм/мин. При этом поверхность реза пластины имела шероховатость  $R_a$ , равную 2,0-2,3 мкм.

Пример 3. В качестве абразива использовали зерна электрокорунда диаметром 550-600 мкм для резки железобетонных и гранитных блоков. Сопло струйной головки

располагали на расстоянии 10 мм от поверхности блоков. Осуществляли подачу в зону резания струи гидроабразивной жидкости диаметром 1,0 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной головки, составляющей 900 м/с. Удар струи гидроабразивной жидкости по блоку составлял около 80 Н. Перемещение струйной головки по заданной траектории осуществляли со скоростью 8 мм/мин. При этом поверхность реза блоков имела шероховатость  $R_a$  в диапазоне 3,0-5,0 мкм.

Пример 4. В качестве абразива использовали зерна карбида кремния диаметром 300-350 мкм для вырезки лопаток ГТД из заготовки из титанового сплава. Сопло струйной головки располагали на расстоянии 10 мм от поверхности заготовки. Осуществляли подачу в зону резания струи гидроабразивной жидкости диаметром 0,9 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной головки, составляющей 950 м/с. Удар струи гидроабразивной жидкости по заготовке составлял около 78 Н. Перемещение струйной головки по заданной траектории осуществляли со скоростью 1 мм/мин. При этом поверхность реза заготовки имела шероховатость  $R_a$  в диапазоне 2,8 мкм.

Пример 5. Осуществляли резку пластиковых панелей. В качестве абразива использовали частицы кварцевого песка диаметром 200-250 мкм. Сопло струйной головки располагали на расстоянии 8 мм от поверхности панели. Осуществляли подачу в зону резания струи гидроабразивной жидкости диаметром 0,8 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной головки, составляющей 700 м/с. Удар струи гидроабразивной жидкости по панели составлял около 63 Н. Перемещение струйной головки по заданной траектории осуществляли со скоростью 850 мм/мин. При этом поверхность реза панели имела шероховатость  $R_a$  в диапазоне 2,3-2,4 мкм.

Во всех приведенных выше неограничивающих объем притязаний примерах 1-5 осуществления способа гидроабразивной резки обеспечивалась более высокая производительность резки, чем в известных аналогах, высокое качество обработки – поверхность реза имела шероховатость 2,0-5,0 мкм и правильный контур, в частности при вырезании лопатки ГТД, ее контур не отличался от эталонной лопатки, при этом на поверхности реза заготовок отсутствовали микротрещины и структурные изменения, в частности наклеп. Кроме того, было обеспечено расширение технологических возможностей, так как параметры резки позволяли обрабатывать стальные заготовки, железобетонные и гранитные блоки, пластиковые панели, латунные пластины и титановые сплавы.

Вместе с тем, отклонение от заявленных параметров гидроабразивной резки приводило к тому, что при расположении сопла менее 5 мм от поверхности заготовки гидроабразивная струя не прорезала труднодеформируемые материалы и абразивные частицы рикошетили от поверхности заготовки, а при расположении сопла на расстоянии более 10 мм – увеличивался диаметр факела струи, что ухудшало качество поверхности реза. При использовании абразива диаметром менее 200 мкм резка многих материалов, в частности гранита, титановых сплавов и т.п. оказалась невозможной, а при использовании абразива диаметром более 600 мкм на поверхности реза металлических заготовок, склонных к упрочнению, образовывался наклеп, что значительно ухудшало качество обработки. При параметрах гидроабразивной струи: диаметре менее 0,8 мм и/или скорости менее 700 м/с и/или силе удара менее 60 Н не обеспечивалась резка труднодеформируемых материалов, а при резке остальных материалов она имела крайне низкую производительность. При диаметре гидроабразивной струи более 1,0 мм и/или скорости более 1000 м/с и/или силе удара более 80 Н качество поверхности реза ухудшалось, в частности на поверхности реза пластиковых панелей имелись

микротрещины и сколы, а также увеличивался расход абразивного материала. Скорость перемещения струйной головки менее 1 мм/мин не целесообразно, т.к. при скорости 1 мм/мин прорезаются самые труднообрабатываемые материалы, а при скорости выше 1000 мм/мин снижается точность обработки, а, следовательно, снижается качество  
5 резки.

Таким образом, благодаря использованию разработанной совокупности параметров гидроабразивной резки, повышается производительность резки при достижении стабильно высокого качества резки на всей протяженности длины реза для широкой номенклатуры обрабатываемых материалов, при этом использование технологических  
10 параметров способа способствует снижению расхода дорогостоящего абразивного материала.

#### (57) Формула изобретения

Способ гидроабразивного резания материалов, включающий подачу  
15 обрабатываемого материала в зону резания с обеспечением подвода сопла струйной головки к поверхности обрабатываемого материала, смешивание в струйной головке скоростного потока жидкости с частицами абразива до образования гидроабразивной жидкости однородной консистенции, подачу из сопла струйной головки в зону резания струи гидроабразивной жидкости, осуществление удара указанной струи по  
20 обрабатываемому материалу и последующее перемещение струйной головки по заданной траектории с обеспечением разрезания обрабатываемого материала, отличающийся тем, что сопло струйной головки подводят к поверхности обрабатываемого материала на расстояние 5-10 мм, скоростной поток жидкости смешивают с частицами абразива диаметром 200-600 мкм, подают в зону резания струю гидроабразивной жидкости  
25 диаметром 0,8-1,0 мм со скоростью выхода струи из сопла струйной головки, составляющей 700-1000 м/с, удар струи гидроабразивной жидкости по обрабатываемому материалу осуществляют с усилием 60-80 Н, а перемещение струйной головки по заданной траектории осуществляют со скоростью 1-1000 мм/мин с обеспечением шероховатости поверхности обрабатываемого материала в зоне резания  $R_a$  в пределах  
30 2,0-5,0 мкм.

35

40

45