

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.9.047

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-3-4-10

О.Н. Кириллов, В.П. Смоленцев, Е.В. Котуков

ОБРАБОТКА СОПРЯЖЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ КАНАЛАХ

Целью статьи является применение непрофилированного электрода-щеткой для обработки сопряженных поверхностей в пересекающихся каналах. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: разработка необходимого оборудования, непрофилированных электродов-инструментов, подбор рабочих сред, отработка режимов комбинированной обработки. Обработка электродом-щеткой на высоких окружных скоростях, от 35 метров в секунду и выше, позволяет получать изделия с заданными показателями.

Методы исследования: использованы основные положения теории электрических и комбинированных методов обработки, математический аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Результаты исследования и новизна: впервые проведена обработка электродом-щеткой с высокой окружной скоростью относительно заготовки, что позволило получить изделия с требуемыми параметрами. Использование в качестве рабочих сред токопроводящих эмульсий позволяет сократить время и стоимость модернизации металлорежущего оборудования для комбинированной обработки с наложением электрического поля.

Выводы: комбинированная обработка непрофилированным электродом-щеткой эффективна для обработки сопряженных поверхностей.

Ключевые слова: комбинированная обработка, малогабаритная установка, электрод-щетка, щетка-кисточка, пересекающиеся каналы, переходные участки, режимы обработки.

O.N. Kirillov, V.P. Smolentsev, E.V. Kotukov

MATING SURFACES MACHINING IN CROSSED CHANNELS

The purpose of the work is the application of a non-profiled electrode-brush for mating surfaces machining including that in crossed channels. To achieve the goal set there were problems under solution: the development of essential equipment, electrode-tools, the selection of working environment, the optimization of combined machining modes. To solve the problems set there are used basis regulations of the theory: electric and combined methods of machining, the mathematical apparatus of probability theories and mathematical statistics. In the paper the developed and manufactured plants and electrode-tools are shown. The recommended machining conditions, working environment are shown. The equipment is presented with a small-size plant for high-speed machining with an electrode-brush and a portable plant fixed on a drill rod that

with the use of operating fluid recommended allows reducing considerably the terms and cost of metal cutting equipment updating for machining with electric field imposition.

In the paper there are considered standard parts: nozzles, ejector bodies, parts of piping hydro-systems. The results of machining parts with crossed channels are shown. The application of processing by an electrode-brush with high circumferential velocities with regard to the work-piece from 35 m/sec and higher allows manufacturing products with the set values. The application of an electrode-brush is efficient for mating surfaces combined machining.

Key words: combined machining, small-size plant, electrode-brush, brush, crossed channels, transition areas, machining modes.

Введение

В технологических процессах наиболее распространенной в промышленности обработки лезвийным инструментом [1-3] из-за труднодоступности для металлорежущего инструмента скрытых полостей существует проблема их обработки.

Кроме того, несмотря на применение современных средств технологического оснащения, имеются проблемы, связанные с формированием острых кромок и удалением заусенцев после токарной обработки, сверления и фрезерования.

Как правило, эти проблемы решаются путем введения дополнительных слесарных операций на участках металлообработки или совершенствуется существующая технология обработки металлов, что не всегда возможно и экономически целесообразно.

В последнее время, в результате введения санкций и экономических ограничений для отдельных предприятий и целых отраслей промышленности страны наблю-

дается заметная тенденция в сдерживании развития промышленного производства России. В этих условиях увеличивается потребность в разработке новых, наукоемких, высокоточных и производительных комбинированных методов обработки материалов, разработке новых перспективных технологических процессов, оборудования, инструмента и средств технологического оснащения [4-9].

Комбинированная обработка сопряженных поверхностей непрофилированным инструментом

На сегодняшний день известен ряд методов удаления заусенцев и скругления острых кромок. Они различаются по производительности, эффективности, стоимости, имеют как положительные, так и отрицательные стороны, однако для их применения необходимы значительные финансовые вложения уже на стадии внедре-

ния технологии [4]. В Воронежском государственном техническом университете ведутся работы по комбинированной обработке сопряженных поверхностей, в том числе в пересекающихся каналах, со сложной геометрической формой, удалению заусенцев и скруглению острых кромок непрофилированным электродом-щеткой.

Оборудование для комбинированной обработки сопряженных поверхностей

Для этих целей было разработано специальное оборудование. Разработанная

малогабаритная установка для комбинированной обработки представлена на рис. 1.

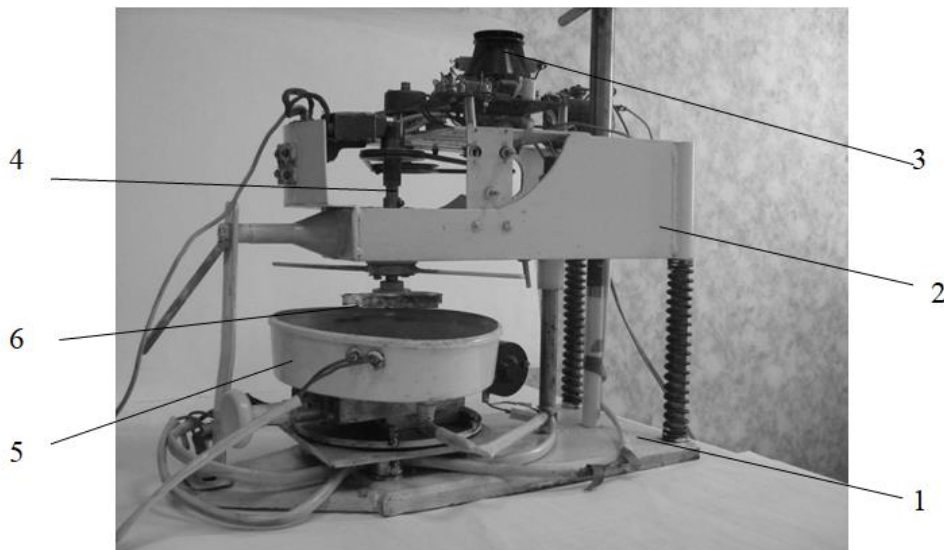


Рис. 1. Установка для чистовой высокоскоростной комбинированной обработки непрофилированным электродом-щеткой:

1 – основание, 2 – консоль, 3 – электродвигатель, 4 – шпиндель, 5 – рабочая ванна, 6 – электрод-щетка.

Для формирования переходных участков в каналах сложнопрофильных изделий авиационной и космической техники электродом-щеткой, ВГТУ совместно с Воронежским механическим заводом

была разработана и изготовлена переносная установка. Ее особенность в том, что разработанное устройство устанавливается непосредственно на шпиндель специально спроектированного или обычного свер-

ливного станка, что сокращает сроки освоения новой технологии и удешевляет процесс обработки. Твердотельная модель установки представлена на рис. 2.

Установка состоит из следующих основных элементов: 1 – хомут; 2 – колонна; 3 – диэлектрическая крышка; 4 – крепеж-

ный болт; 5 – медно-графитовые щетки; 6 – пружина; 7 – траверса; 8 – электрод-щетка; 9 – диэлектрическая втулка; 10 – втулка бронзовая; 11 – диск; 12 – коллектор; 13 – оправка; 14 – изолятор; 15 – конус; 16 – шпиндель станка.

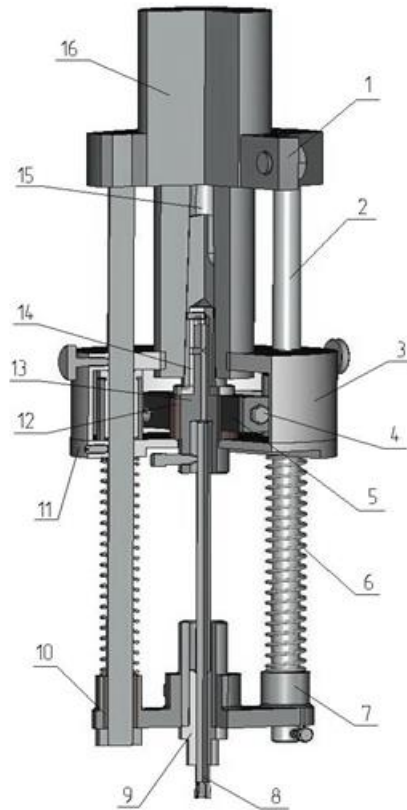


Рис. 2. Твердотельная модель установки

Непрофилированные электроды-инструменты

Для обработки труднодоступных мест были разработаны специальные электроды-инструменты. При комбинированной обработке каналов малого сечения в качестве инструмента используются щет-

ки-кисточки. Их рабочую часть изготавливают из меди, латуни, стали диаметром проволоки от 0,1 мм до 0,4 мм и длиной до 40 мм. Применяемые конструкции щеток-кисточек приведены на рис. 3.



Рис. 3. Электроды-кисточки

Для обработки пересекающихся каналов, если позволяет их диаметр, исполь-

зуются дисковые электроды щетки, представленные на рис. 4.

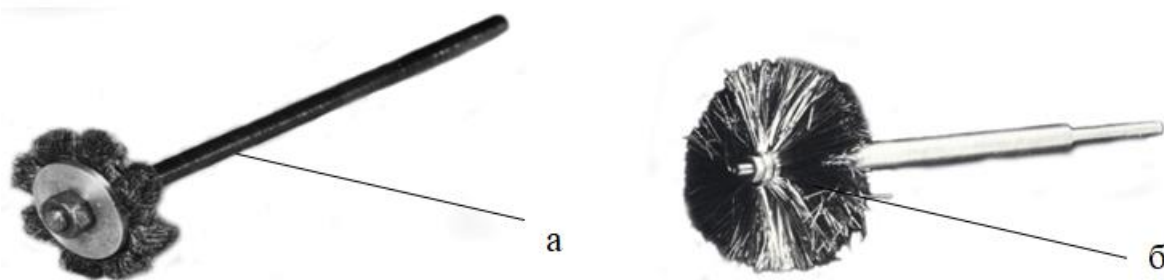


Рис. 4. Дисковые электроды-щетки для обработки внутренних поверхностей: а – секционная; б – сплошная

Режимы комбинированной обработки непрофилированным инструментом

Впервые были подобраны режимы обработки электродом-щеткой с высокими скоростями перемещения относительно обрабатываемых заготовок, что позволило

достигнуть требуемых показателей при обработке изделий. Эксперименты проводились с рекомендованными в табл. 1 режимами.

Таблица 1

Режимы для комбинированной обработки электродом-щеткой

Наименование параметра	Значение
Напряжение, В	4-6
Величина контакта электрода-инструмента и заготовки, мм	0,03-0,3
Окружная скорость электрода-инструмента, м/с	от 35
Диаметр электрода-инструмента, мм (выбирается с учетом технологических характеристик оборудования)	5-150
Диаметр проволоки рабочей части электрода-инструмента*, мм	0,1-0,4
Рабочая плотность электрода-щетки	до 0,5
Скорость продольной подачи обрабатываемой заготовки, м/мин	0,1-5
Движение электрода-инструмента и обрабатываемой заготовки	встречное, попутное
Время обработки	от геометрии исходного профиля и размеров обрабатываемого изделия

В качестве рабочей среды использовалась токопроводящая смазочно-охлаждающая жидкость, применяемая на производстве и имеющая следующий состав: 97% воды и 3 % Укринол 1. Применение

рабочих сред такого состава позволяет существенно снизить расходы, как на саму комбинированную обработку, так и на модернизацию используемого металлорежущего оборудования [10].

Типовые детали

Типовые представители обрабатываемых деталей с переходными участками показаны на рис. 5-7. Обработка непрофилированным электродом-инструментом предназначена для управления формиро-

ванием переходных участков (рис. 5); скругления с заданной геометрией, удаления заусенцев от предшествующей обработки (рис. 6,7).

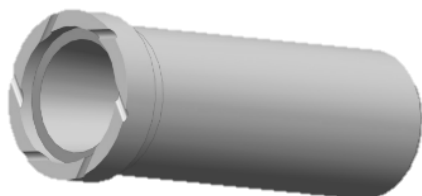


Рис. 5. Форсунка с тангенциальными каналами

Особенностью обработки форсунок с тангенциальными каналами является ограниченная доступность подхода инструмента к зоне выхода отверстий малого диаметра (сопел) во внутренний канал, где ЭЩ имеет большие преимущества и значительные перспективы использования.



Рис. 6. Корпус эжектора



Рис. 7. Детали трубопроводов гидросистем

Удаление заусенцев и скругление острых кромок в пересекающихся каналах корпусов эжекторов и трубопроводов гидросистем характеризуется труднодоступностью удаляемых заусенцев и мест переходов.

При обработке пересекающихся каналов малого сечения (менее 20 мм) применялись щетки-кисточки (рис. 3). При обработке каналов сечением более 20 мм применялись дисковые щетки (рис. 4). Необрабатываемые части каналов защищали диэлектрическими (фторопластовыми, капролоновыми, текстолитовыми и др.) втулками. Применение электродов-щеток дисковой формы позволяет скруглять острые кромки и удалять заусенцы в пересекающихся каналах изделий, изготовленных из различных материалов. При этом получались радиусы скругления $0,4 \pm 0,1$ мм [10]. Обработка одного канала занимала менее 10 секунд. Обработка каналов малого диаметра производится щетками-кисточками. Процесс обработки щетками-кисточками менее производительен, чем дисковыми щетками. Наибольшую стойкость показали щетки-кисточка с рабочей частью, изготовленной из меди, наименьшую – с рабочей частью из стали.

Применение электрода-щетки для обработки переходных участков

В табл. 2 приведено обоснование целесообразности использования ЭЩ для деталей с переходными участками, что

особенно актуально для изделий авиационно-космической отрасли.

Таблица 2

Обоснование применения ЭЩ для обработки переходных участков

Объект обработки	Шероховатость R_a , мкм	Износ инструмента, %	Отклонение профиля, мм	Средняя трудоемкость операции, мин
<u>Заусенцы:</u> - наружные поверхности;	0,32-0,63	5-6	$\pm 0,05$	0,1-0,2
- внутренние поверхности;	0,63-1,25	10-12	$\pm 0,1$	0,5-1,0
скругление кромок	1,25	4-6	0,03-0,05	0,3-0,5
скосы	0,63-1,25	4-6	0,03-0,05	0,1-0,3

Заключение

Из проведенных исследований следует, что применение электрода-щеткой с высокими скоростями перемещения относительно обрабатываемых заготовок позволяет проводить обработку сопряженных поверхностей, в том числе в пересекающихся каналах; получать изделия с заданными техническими требованиями; механизировать слесарные, малопроизводительные, ручные операции удаления заусенцев и скругления острых кромок; повысить производительность труда и улучшить его санитарно-экологические усло-

вия за счет устранения металлической и абразивной пыли; экономить дорогостоящий абразивный и металлорежущий инструмент.

Полученные результаты дают возможность подобрать необходимую конструкцию электрода-инструмента и выбрать оптимальные режимы комбинированной обработки переходных участков, в том числе в пересекающихся каналах при производстве современных наукоемких изделий ракетно-космической техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов, В.Б. Аникин, И.Г. Бойм и др.; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. Палей, М.М. Технология производства металлорежущих инструментов: учеб. пособие для студентов вузов / М.М. Палей. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
3. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
4. Смоленцев, В.П. Технологические методы электрофизико-химической и комбинированной обработки заготовок / В.П. Смоленцев, А.И. Болдырев, Е.В. Смоленцев // Справочник технолога / Под ред. А.Г. Сулова. – М.: «Инновационное машиностроение». – 2020. – 800 с.
5. Попов, Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 290 с.
6. Писарев, А.В. Управление технологическими показателями обработки электродом-щеткой / А.В. Писарев // Нетрадиционные методы обработки: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж, 2002. – С.22-31.
7. Никифоров, А.Д. Высокие технологии размерной обработки в машиностроении / А.Д. Никифоров, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. – М.: Высшая школа. – 2007. – 327 с.
8. Макаров, В.Ф. Метод автоматизированного скругления и полирования острых кромок деталей газотурбинных двигателей абразивно-полимерными щетками / В.Ф. Макаров, А.В. Виноградов // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. ст. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2010. – С.25-31.
9. Кириллова, О.О. Механизм повышения эффективности производства в условиях применения новых информационных технологий / О.О. Кириллова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2008. Т.4. №8. – С. 29-32.
10. Кириллов, О.Н. Технология комбинированной обработки непрофилированным электродом: монография / О.Н. Кириллов. – Воронеж: ВГТУ, 2010. – 254 с.
1. *Metal Cutting: Technologist's Reference Book* / A.A. Panov, V.B. Anikin, I.G. Boim et al. under the general editorship of A.A. Panov. M.: Mechanical Engineering, 1988. pp. 736.
2. Paley M.M. *Technology of Metal-Cutting Tool Production: textbook for college students* / M.M. Paley. M.: Mechanical Engineering, 1982. pp. 256.
3. Granovsky G.I. *Metal Cutting* / G.I. Granovsky, V.G. Granovsky – M.: Higher School, 1985 – pp. 304.
4. Smolentsev V.P. Technological methods of electro-physical-chemical and combined treatment of work-pieces / V.P. Smolentsev, A.I. Boldyrev, E.V. Smolentsev // *Technologist's Reference Book* / under the editorship of A.G. Suslov. M.: "Innovation Mechanical Engineering". 2020 – pp. 800.
5. Popov E.P. *Theory and Calculation of Flexible Elastic Rods*. – M.: Science, 1986. pp. 290.
6. Pisareva A.V. Technological value control in machining with electrode-brush / A.V. Pisarev // *Non-conventional Methods of Machining: Proceedings of the Inter. Scientif.-Tech. Conf. Voronezh*, 2002. pp. 22-31.
7. Nikiforov A.D. *Science Intensive Technologies of Dimensional Machining in Mechanical Engineering* / A.D. Nikiforov, A.N. Kovshov, Yu.F. Nazarov. M.: Higher School. 2007. pp. 327.
8. Makarov V.F. Method of automated rounding and polishing acute edges of gas turbine engine parts by abrasive-polymer brushes / V.F. Makarov, A.V. Vinogradov // *Problems of Vibration Technology*:

Inter-College Proceedings. Rostov-upon-Don: DSTU, 2010. pp. 25-31.

9. Kirillova O.O. Mechanism for production effectiveness increase under conditions of new infor-

mation technologies use / O.O. Kirillova // *Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2008. Vol.4. No.8. pp. 29-32.

Ссылка для цитирования:

Кириллов О.Н., Смоленцев В.П., Котуков Е.В. Обработка сопряженных поверхностей в пересекающихся каналах // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 3. С. 4–10. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-3-4-10.

Статья поступила в редакцию 08.02.20.

Рецензент: к.т.н., гл. инженер АО КБХА

Юхневич С.С.

Статья принята к публикации 12. 02. 20.

Сведения об авторах:

Кириллов Олег Николаевич, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета, e-mail: kirillov.olli@yandex.ru.

Смоленцев Владислав Павлович, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» Воро-

нежского государственного технического университета, e-mail: vsmolen@inbox.ru.

Котуков Евгений Васильевич, аспирант кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета, e-mail: evgeniy_kotukov@outlook.com.

Kirillov Oleg Nikolaevich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Engineering Technique”, Voronezh State Technical University, e-mail: kirillov.olli@yandex.ru.

Smolentsev Vladislav Pavlovich, Dr. Sc. Tech., Prof. of the Dep. “Engineering Technique”, Voronezh State Technical University, e-mail: vsmolen@inbox.ru.

Kotukov Evgeny Vasilievich, Post graduate student of the Dep. “Engineering Technique”, Voronezh State Technical University, e-mail: evgeniy_kotukov@outlook.com.