

УДК 621.9

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ МЕЛКОРАЗМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ*

И. О. Аверьянова, Р. К. Продан

В статье предложена новая технология обработки внутренней сложнопрофильной поверхности мелкоразмерного высокоточного соединения деталей (гайки), рассмотрены вопросы проектирования и изготовления инструмента для ее обработки на электроэрозионном и токарно-фрезерном оборудовании. Представлена комплексная методика проектирования, расчета элементов передачи, описания фигурных поверхностей обрабатываемых деталей и технологии изготовления элементов передачи.

Ключевые слова: мелкоразмерная деталь, электроэрозионная обработка, электрод-инструмент, эквидистанта, межэлектродный зазор, геометрическое проектирование, твердотельное моделирование.

Введение

В машиностроении имеется большая номенклатура деталей, относящихся к классу мелкоразмерных, с высокой точностью обработки внутренних сложнопрофильных поверхностей, изготовление которых сопряжено с определенными трудностями. Например, к такому классу деталей принадлежит передача «винт-гайка» качения с диаметром винта менее 30 мм. К соединениям такого типа предъявляются высокие требования:

– использование передачи должно обеспечивать плавное, равномерное, беззазорное и точное перемещение исполнительных узлов и механизмов различных технологических машин;

– в приборостроении, точной механике, в нанотехнологии габариты элементов передачи постоянно меняются в сторону уменьшения линейных размеров;

– из-за высоких контактных напряжений между шариками и желобами на винте и гайке, возникающих в результате сложных движений трущихся пар, материалы элементов передачи должны обладать высокой твердостью и износостойкостью;

– свойства элементов передачи и ее работоспособность не должны ухудшаться в процессе эксплуатации несмотря на разнохарактерные стратегии технологии обработки винта и гайки;

Вышеизложенные требования ставят задачу

* Работа проводилась в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009–2011 гг.», госконтракт ПЗ14.

поиска и разработки новой технологии изготовления подобных деталей в связи с тем, что такие классические методы поверхностной обработки, как механическая, химическая и термическая, трудозатратны или не обеспечивают нужный профиль деталей. Обработка материалов концентрированными потоками энергии является альтернативным методом обработки деталей такого класса.

Целью работы является исследование процесса обработки внутренних сложнопрофильных поверхностей мелкогабаритных высокоточных деталей из труднообрабатываемых материалов с помощью электроэрозионного оборудования.

Особенности предложенной технологии изготовления

По действующей технологии изготовления гайки процесс формирования ее внутренней поверхности происходит на координатно-расточном станке за несколько переходов, необходимость выполнения которых объясняется следующим. Поскольку для малых габаритов гаек в качестве материалов используются легированные стали, то между полустовыми и чистовыми операциями включается термическая обработка гайки. Формирование внутреннего профиля винтовой резьбы гайки производится специально изготовленными для полустовых и чистовых операций резцами. Кроме того, после каждого перехода происходит смена баз, которая контролируется измерительным щупом непосредственно на координатно-расточном станке. И еще одна особенность – любая контактная механическая обработка деталей связана с потерей стойкости режущего инструмента и возможностью получения искаженного профиля деталей. Для исключения подобных явлений необходимо систематически осуществлять контроль параметров режущей части резца предпочтительно непосредственно на станке в процессе обработки.

С уменьшением габаритов винтовой передачи технологическая проблема изготовления гайки возрастает, а технологические средства становятся ограниченными. Высокоинтенсивные методы поверхностной обработки мелкогабаритных деталей, в данном случае пары «винт-гайка», при использовании концентрированных импульсных потоков энергии имеют ряд преимуществ перед классическими методами поверхностной (механической) обработки.

Например, обработка импульсными потоками энергии ведется без непосредственного контакта инструмента с заготовкой и, следовательно, нет силового воздействия на заготовку. Обеспечивается формирование уникального физико-химического состояния материала в поверхностном слое, достижение нанометровой точности изготовления и шероховатости поверхности $Ra = 0,05–0,06$ мкм, а также высокой экологической чистоты производства.

Постановка задачи

Для возможности осуществления предложенного технологического процесса была поставлена задача разработки и изготовления формообразующей электрода-инструмента, повторяющей профиль резьбы мелкогабаритного соединения «винт-гайка» (рис. 1). Профиль желоба может быть самым разнообразным, но исходя из технологических соображений в основном в винтовых передачах используют полукруглый профиль.

Экспериментальные работы проводились в Ресурсном центре МГИУ. При электроэрозионной прошивке форма электрода-инструмента отображается в электроде-заготовке. Возможность проведения электроэрозионной обработки в нормальных условиях обусловлена минимальной электропроводностью материалов обоих электродов (заготовки и инструмента) от 10^{-2} до 10^{-1} См/м¹. Съем материала производится в диэлектрической жидкости с помощью электрических разрядов между электродом и заготовкой [1].

Профиль и геометрические размеры рабочей части электрода-инструмента являются эквидистантным отображением профиля полости детали с размерами, уменьшенными на величину межэлектродного зазора и припуска на последующую обработку.

В общем виде номинальный размер B электрода-инструмента определяется выраже-

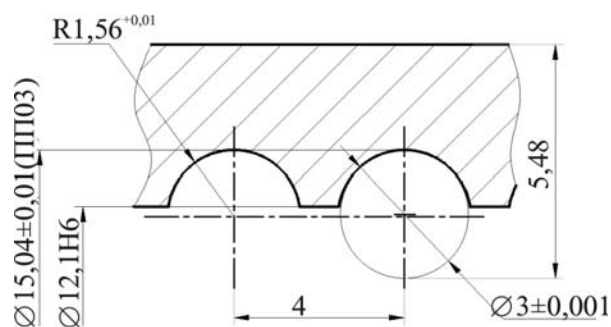


Рис. 1. Профиль резьбы

нием:

$$B = A \pm 2(\delta + Z_{\min}), \quad (1)$$

где A – размер обрабатываемого элемента детали по чертежу; δ – межэлектродный зазор; $Z_{\min}$ – минимальный припуск на последующую обработку; знак «плюс» берется при обработке наружных поверхностей, знак «минус» – при обработке внутренних [1].

При объемном копировании расчет межэлектродного зазора для чистового режима обработки может быть выполнен по эмпирической формуле [2]:

$$\delta = k(2,12 + 4,12I_{\text{cp}} - 0,0001f + 3,29q + 0,195U_{\text{x.x}} + 0,39j + (0,785h - 0,065I_{\text{cp}}j - 0,02I_{\text{cp}}h - 0,008I_{\text{cp}}U_{\text{x.x}})), \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий сочетание материала электрода-инструмента и электрода-заготовки; I_{cp} – средняя сила тока, А; f – частота, Гц; q – скважность; $U_{\text{x.x}}$ – амплитудное напряжение холостого хода, В; j – плотность тока, А/см²; h – длина вертикальной трассы удаления шламов, мм.

Числовые значения коэффициентов и необходимых параметров для расчета межэлектродного зазора определяются исходя из заданных параметров точности и физико-химических свойств материалов детали и инструмента [2] и, соответственно, в данной работе выбрано:

$$k = 1; I_{\text{cp}} = 3 \text{ А}; f = 66 \text{ кГц}; q = 3; U_{\text{x.x}} = 200 \text{ В}; j = 0,4422 \text{ А/см}^2; h = 10 \text{ мм}.$$

При электроэрозионной обработке на точность изготовления деталей влияют точность изготовления электрода-инструмента, износ электрода-инструмента вследствие эрозии, погрешности формы и размеров углубления на заготовке относительно электрода-инструмента.

В процессе обработки форма и размеры электрода-инструмента нарушаются из-за износа. Казалось бы, целесообразно выполнять ее с широкими допусками, однако окончательный профиль углубления формируется неизношенным участком электрода-инструмента, поэтому электрод-инструмент изготавливают на 1–2 качества точнее, чем обрабатываемые детали. Допуски на размеры электрода-инструмента составляют обычно 0,015–0,100 мм, что соответствует требованиям к изготовлению металлорежущих инструментов.

Изготовление инструментов

На основе рекомендаций по технологии прошивки резьбы [1] принимается, что рабочая длина электрода L должна составлять не менее двух расстояний глубины резьбы, а его геометрия должна повторять профиль резьбы гайки с числом витков, вдвое большим, чем у нее. Это необходимо для обеспечения чистоты поверхности на завершающем этапе обработки и точности повторения геометрических параметров. Данная конструкция электрода позволяет построить технологический процесс так, что обработка всей поверхности внутренней резьбы, включая доводочную операцию, производится без смены технологических баз, т. е. за один установ. Таким образом, вся накопленная погрешность изготовления гайки сводится к совокупности только двух погрешностей – изготовления электрода-инструмента и изготовления твердосплавной пластины для нарезания сложно-профильной резьбы. Данные погрешности стремятся к нулю и соответствуют полям допусков за счет применения высокоточного оборудования для изготовления инструментов.

Модель электрода-инструмента, разработанная в среде геометрического проектирования системы *Pro/ENGINEER*, представлена на рис. 2.

Электрод-инструмент для прошивки гайки изготавливается на высокоточном токарно-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ *Index ABC*, предназначенном для обработки мелкоразмерных деталей с прецизионной точностью, что позволяет минимизировать погрешность изготовления конечной детали. Соответственно при проектировании профиля пластины принимаются во внимание физические свойства материалов. Критериями выбора материалов для электрода-инструмента являются легкость их механической обработки и высокая электропроводность с низким износом рабочей поверх-

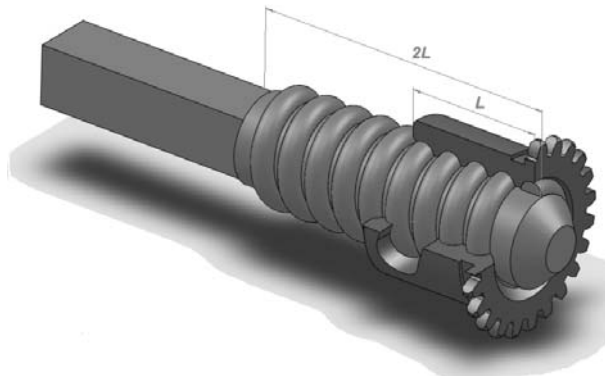


Рис. 2. Модель электрода-инструмента

ности. Данные по относительному износу электрода в зависимости от материала приведены в таблице.

Проведение эксперимента

Были проведены пробные испытания по обрабатываемости разных материалов с целью выбора наиболее рентабельного варианта изготовления высокоточного соединения «винт-гайка». На основе полученных результатов и данных таблицы в качестве материала для изготовления электрода-инструмента были выбраны графит и медный сплав. Графит хорошо подвергается механической обработке, практически без образования стружки, что позволяет упростить формообразующую режущей кромки пластины, т. е. отказаться от использования стружколома. Свойства и структура данного материала позволяют изготавливать изделия сложных форм с малыми допусками и высокой точностью. Сочетание такого количества положительных свойств в одном материале предопределило его широкое применение для изготовления электродов-инструментов. Медь обладает большей электропроводностью и ее чаще используют для чистовых проходов.

Для моделирования профиля пластины применялся программный продукт *Pro/ENGINEER*, включающий в себя модуль твердотельного моделирования, расчета нагрузок и пластических деформаций и модуль производства [3, 4].

Используя вышеуказанные рекомендации по параметрам точности, разработали профиль для резьбонарезной пластины с учетом закрепления в державке резца (рис. 3). Все геометрические параметры для получения эскиза твердосплавной пластины были взяты с рабочих чертежей готовой детали. Формообразующая режущей кромки пластины является эквидистантой сложного профиля резьбы в нормальном сечении с занижением на величину межэлектродного зазора, рассчитанного согласно технологическим параметрам обработки методом электроэрозионной прошивки электродом-инструментом из выбранного материала.

Посредством функций программы *Pro/ENGINEER* при использовании эскиза, представленного на рис. 3, была построена твердотельная геометрическая модель пластины с заданной толщиной (рис. 4). Программный продукт *Pro/ENGINEER* позволяет наделить модель необходимыми механическими свойствами готовой детали, что делает возможным произвести расчеты, связанные с нагрузкой на данную пластину во время ее эксплуатации, и дать оценку ее работоспособности.

Зависимость относительного износа (%) некоторых материалов от силы рабочего тока

Материал электрода-инструмента	$I_{\text{ср}}, \text{A}$				
	20	40	60	80	100
Красная медь	10	12	13	14	15
Алюминиевый сплав АЛ5	27	20	19	17	16
Алюминиевый сплав Д1	40	23	20	16	14
Серый чугун	12	14	15	16	17
Графитизированный материал ЭЭГ	1,0	1,5	1,7	1,5	1,0

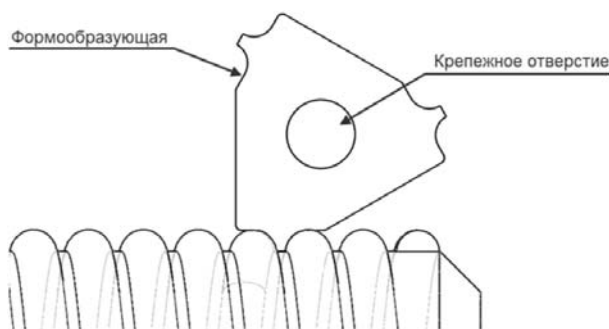


Рис. 3. Эскиз твердосплавной пластины

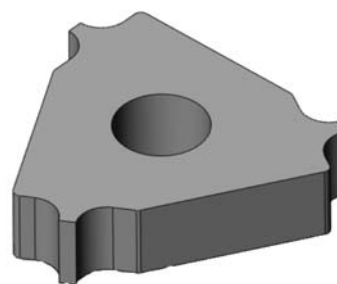


Рис. 4. Твердотельная модель пластины для нарезания резьбы заданного профиля

В результате проведенного эксперимента установлено:

- использование медных электродов, в отличие от графитовых, минимизирует засорение межэлектродного промежутка в процессе электроэрозионной обработки, поэтому в соответствии с поставленной задачей для заготовки была выбрана медь;

- выбранный материал заготовки (медь) оказывает минимальную нагрузку на режущую кромку твердосплавной пластины;

- сила резания при точении практически не влияет на стойкость и не изменяет режущую кромку пластины. Следовательно, токарная обработка будет проводиться с сохранением заданных геометрических параметров.

Таким образом, предложенная технология позволяет решить поставленную задачу по изготовлению труднообрабатываемых деталей мелкогабаритных соединений.

Заключение

Научная и практическая ценность проведенного исследования заключается в разработке комплексной методики проектирования, расчета элементов передачи и моделирования фигурных поверхностей обрабатываемых деталей и технологии изготовления элементов передачи с применением электроэрозионного оборудования.

В отличие от процесса механической обработки деталей для процесса формирования сложных поверхностей с помощью электроэрозионной обработки характерно следующее:

- твердость закаленных деталей не является препятствием для электроэрозионной обработки, поэтому термическая обработка может проводиться непосредственно на заготовке на любом этапе технологического процесса;

- все технологические переходы – начало процесса формирования резьбы (предварительное формообразование), полное выполнение винтовой внутренней поверхности (окончательное формообразование), выхаживание (доводка точности формообразования) – осуществляются за один ход электрода-инструмента без смены базы заготовки.

Список литературы

1. Аверьянова И.О. Обработка деталей концентрированными потоками энергии: учеб. пособие. – М.: МГИУ, 2011. – 180 с.
2. Немилев Е.Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1989. – 164 с.
3. Виноградов А.В., Зубков В.А., Тимофеев В.Н. Разработка геометрических моделей и чертежей деталей на базе системы CAD/CAM Pro/Engineer: учеб. пособие. Ч. 1. – М.: МГИУ, 2008. – 212 с.
4. Аверьянова И.О., Продан Р.К. Использование системы Pro/ENGINEER при геометрическом моделировании электрода-инструмента для прошивочных электроэрозионных станков с ЧПУ // СТИН. 2010. № 3. С. 20–22.

Материал поступил в редакцию 11.11.2010

АВЕРЬЯНОВА Инна Олеговна

Е-mail: inn-av@yandex.ru
Тел. +7 (495) 620-37-39

Кандидат технических наук, доцент. И.о. заведующего кафедрой металлообрабатывающих систем с ЧПУ, заведующая межвузовской лабораторией станков с ЧПУ МГИУ. Область научных интересов – металлообрабатывающие системы с ЧПУ. Автор более 26 научных трудов.

ПРОДАН Роман Константинович

Е-mail: prk11@yandex.ru
Тел. +7 (495) 620-37-39

Ведущий инженер межвузовской лаборатории станков с ЧПУ, аспирант кафедры металлообрабатывающих систем с ЧПУ МГИУ. Область научных интересов – металлообрабатывающие системы с ЧПУ. Автор 8 научных трудов.