

УДК 621.9.047

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОХИМИКОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

© 2011 А.И. Болдырев

Воронежский государственный технический университет

Поступила в редакцию 17.02.2011

Рассмотрены комбинированные методы обработки, применяемые при изготовлении деталей авиационно-космической техники, их достижимые показатели. Показано, что наибольшими технологическими возможностями обладает способ электрохимикомеханической обработки, позволяющий повысить усталостную прочность и снизить массу изделий.

Ключевые слова: *комбинированная обработка, достижимые показатели, управление процессом*

Механическая обработка по многим показателям достигла теоретически возможного предела [1]. Это связано, прежде всего, с тем, что под действием сил резания изменение одного из значимых технологических показателей ограничивает возможности других. Так, производительность любого вида обработки предполагает получение предварительной обработки, после которой необходимо обеспечить повышение точности и шероховатости обработки за счет снижения производительности. Любой вид механической обработки связан с назначением силового действия режущего инструмента на заготовку, поэтому для всех традиционных методов механической обработки управляющим параметром является сила контактного воздействия. Электрические методы обработки, как правило, бесконтактны, но действие поля возможно только в том случае, если у исходной поверхности удалены ограничения [2]. Это могут быть параметры лунки (электроэрозионная обработка, лучевая обработка), ограничения по сопротивлению прохождения тока (электрохимическая обработка), условия удаления продуктов обработки (все электрические методы обработки), свойства исходного материала, управляемости процессом.

Комбинация механической обработки и воздействия электрического поля позволяет управлять механизмом формообразования, обеспечивая высокие, а порой и теоретически достижимые показатели [3]. Так известно, что электрохимическая размерная обработка позволяет снизить высоту микронеровностей и повысить интенсивность анодного растворения

с ужесточением режимов обработки, что противоречит известным законам механической обработки. Но в случае комбинированной обработки позволяет совместить повышение производительности и точности и снижение шероховатости в одной технологической операции.

Разработанные способы и устройства позволили создать принципиально новую систему управления процессами комбинированной электрохимикомеханической обработки, открывающими возможность получать высокую точность, низкую шероховатость и гарантировать достижение предела усталостной прочности, обеспечивающего запас длительной работоспособности изделий при многоцикловых нагружениях, свойственных, в частности, авиационно-космической и другой транспортной технике. При научном обосновании гарантированного повышения усталостной прочности разработчики современной техники получают возможность снизить массу силовых элементов, что создает пути выхода на выпуск конкурентоспособной промышленной продукции.

Метод электроабразивной обработки широко применяется при изготовлении сопловых, рабочих лопаток газовых турбин и компрессоров из конструкционных хромистых сталей (13X12HBMФА, X17H2, 30XГСА и др.), алюминиевых (ВК 4, АК 6, ВЛ-17 и др.), титановых (ВТ3, ВТ4, ВТ9, ВТ3-1 и др.) и жаропрочных сплавов (ХН17ТЮР, ХН70МВЮБ, ЖС3, ЖС6-К и др.) [2]. Такая обработка стабильно обеспечивает шероховатость $R_a = 0,32-0,64$ мкм. Кроме того, наложение тока позволяет снизить расход кругов в 10-15 раз без снижения точности профиля. Электроабразивное чистовое шлифование профилей термически

Болдырев Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения». E-mail: tm@vorstu.ru

(закаливание) и химикотермически (цементирование) упрочненных зубчатых колес обеспечивает точность профиля в пределах 0,003-0,004 мм, шлицевых соединений – 0,008-0,01 мм при шероховатости $R_a = 0,08-0,64$ мкм [4]. Трудоемкость обработки детали составляла от 6 до 12 мин при износе инструмента около 0,1%. Метод эффективен и при обработке твердых токопроводящих материалов, в частности оксидно-карбидных минералокерамических и металлокерамических сплавов. Обработка алмазными кругами на прямой полярности до 3 раз увеличивает скорость съема материала и до 4 раз снижает износ кругов. При комбинированном шлифовании алмазными кругами следует применять концентрацию зерен до 100%, а обработку осуществлять в рабочих средах с содержанием 5-9% Na_3PO_4 или Na_2HPO_4 с добавками 1,5-3% Na_2CO_3 , уротропина и смачивателя [5].

Виброабразивный электрохимический метод используется главным образом для обработки деталей из цветных металлов и сплавов, а также для деталей из черных металлов и сплавов сложной конфигурации, с внутренними полостями с резьбой, труднодоступными для обработки местами. Такая комбинированная обработка нашла использование в базовых отраслях промышленности, но наиболее эффективно она применяется в авиационной и космической отраслях для производства турбин и крыльчаток из титановых и никелевых сплавов, сопловых аппаратов, конфузоров, патрубков, к которым предъявляются высокие требования по обеспечению заданной шероховатости и равномерности глубины наклепа. Метод перспективен для деталей насосов и агрегатов турбонаддува транспортных машин, для которых такая комбинированная отделочно-упрочняющая обработка позволила увеличить их ресурс на 20-60% [6]. Экспериментально установлено, что при виброабразивной электрохимической обработке высокопрочных сталей (типа 30ХГСНА) удастся повысить величину удельного съема в 50-100 раз. После обработки поверхность имеет светлый вид, шероховатость равна $R_a = 0,32-1,25$ мкм. При этом наблюдается повышение коррозионной и усталостной прочности в 2-2,5 раза.

Метод обработки в электролите с наполнителем в промышленном производстве используется для безразмерного и размерного локального удаления припуска в труднодоступных для инструмента участках и на ажурных заготовках, обеспечивая заданные показатели поверхностного слоя для повышения эксплуатационных свойств деталей, работающих

в условиях знакопеременных нагрузок. Данная электрохимикомеханическая обработка весьма эффективна для локальной финишной обработки и упрочнения деталей агрегатов турбо-насосной группы, т.к. повышает ресурс их работы на 15-20% [7].

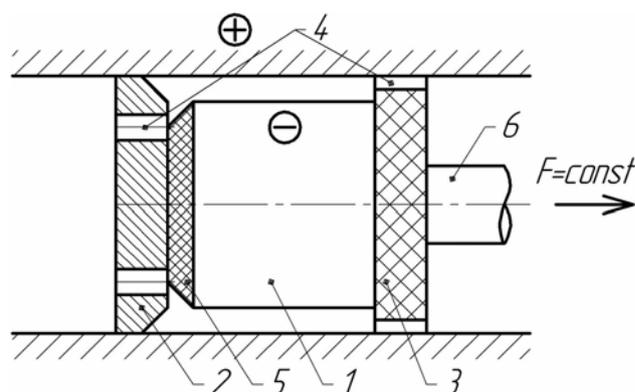


Рис. 1. Принципиальная схема ЭХМО:

1 – инструмент для ЭХО; 2 – инструмент для УО; 3 – направляющий элемент; 4 – каналы для прохождения электролита; 5 – диэлектрическая прокладка; 6 – тяга

Комбинированная обработка непрофилированным инструментом (электродом-щеткой) позволила заменить трудоемкие черновые операции по снятию напуска с литых центробежных колес из жаропрочных сплавов заготовок, удалению заусенцев и скруглению острых кромок и переходных участков штампованных и механообработанных лопаток, закладных деталей и стяжных лент из жаропрочных и титановых сплавов, а также осуществить повышение чистоты обработки и размерную чистовую обработку для полировки поверхностей под гальванические покрытия. В [8] показано, что на черновых операциях снятия напуска с литых решеток из серого чугуна (щетка с ворсом из жесткой латунной или стальной проволоки) комбинированная обработка непрофилированным инструментом снижает время обработки до 7 раз по сравнению с механообработкой, обеспечивая погрешность до $\pm 0,3$ мм и шероховатость $R_a = 5-6$ мкм. Еще более эффективна обработка на чистовых режимах (щетка с ворсом из мягкой латунной проволоки). Так при обработке литых корпусов, центробежных колес и лопаток турбин достижимая погрешность составляет $\pm 0,2$ мм при шероховатости $R_a = 3,2-5$ мкм, а производительность возрастает до 4 раз, т.к. процесс осуществляется за один рабочий ход. Положительные результаты получены также при обработке ажурных деталей из черных и цветных сплавов. Однако известные исследования в этой области касаются получения одного или двух показателей, что не может охватить весь диапазон требований

конструкторов. Использование комбинированных методов обработки по традиционным схемам управления решают, как правило, локальные задачи. В 80 годы был предложен новый метод (рис. 1) управления процессом по величине контактного давления [9], которое обеспечивало гарантийный наклеп, высокую точность, низкую шероховатость и предельно достижимую производительность при обработке каналов постоянного сечения.

Были сделаны определенные наработки по формообразованию наружных поверхностей различных сечений, которые позволяли обеспечить гарантированный наклеп, высокую точность, низкую шероховатость, однако не обеспечивали достижение таких показателей для деталей с реальным профилем поверхности. Это, в первую очередь, касалось специальных сплавов. Было установлено, что одним из показателей качества поверхностного слоя, определяющим эксплуатационные свойства изделий (в частности, усталостная прочность) является степень наклепа высоконагруженных участков деталей. Так, изменение степени наклепа сталей сверх 0,5-1% в любую сторону относительно оптимального значения в существенно снижает эффективность механического наклепа, полученного на рекомендуемых режимах. Для устранения нестабильности поверхности от наклепа предшествующей обработки требуется получать в ходе комбинированной обработки свойства поверхностного слоя со стабильными характеристиками. Это возможно, если подготовку поверхности выполнять одним из бесконтактных методов, пригодных для применения в комбинированном процессе. В этом случае проектирование комбинированного процесса требует разработки механизма воздействия всех составляющих факторов и их взаимодействия в процессе обработки. Анодное удаление наклепанного слоя поверхности позволяет создать условия для стабилизации начальных условий процессом, обеспечить стабильные конечные результаты и снизить силы, действующие в процессе механического воздействия, особенно, на окончательной стадии формирования поверхностного слоя.

Предложенный способ управления комбинированным процессом позволяет управлять изменением припуска за счет локального анодного растворения и изменение времени комбинированной обработки при удалении исходного припуска, в т.ч. неравномерного. Выполненные исследования обработки каналов показали, что сочетание анодного растворения металла и механического упрочнения по схеме дорнования позволяет снизить погрешность по

сравнению с традиционным дорнованием до 3-5 квалитетов при шероховатости поверхности ранее получаемой хонингованием и тонким шлифованием. Накопленный опыт показал, что результаты комбинированной обработки каналов постоянного сечения могут быть реализованы для отверстий с переменной формой и площадью сечения, а также при обработке наружных поверхностей из любых токопроводящих материалов произвольной формы поверхности. Реализация предложенного способа по предложенной схеме обработки возможна за счет управления режимами обработки и использования обратных связей в процессе формообразования.

Ограничения величины механических воздействий комбинированной обработки дает возможность изменять технологические показатели в зависимости от требований разработчика. Если ранее разработчик вынужден был ограничиваться в совершенствовании конструкции технологические возможности в основном механической обработкой, то комбинированные позволяют достичь точности и качества поверхностного слоя и эксплуатационных показателей значительно превышающие достижимые мирового уровня и достигающие перспективы выхода на международные рынки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Суслов, А.Г. Направления дальнейшего развития технологии машиностроения / А.Г. Суслов // Справочник. Инженерный журнал. 2010. № 1. С. 3-6.
2. Смоленцев, В.П. Технология электрических методов обработки / В.П. Смоленцев, А.В. Кузовкин, А.И. Болдырев и др. – Воронеж: ВГУ, 2001. 310 с.
3. Смоленцев, В.П. Комбинированные методы обработки / В.П. Смоленцев, А.И. Болдырев, А.В. Кузовкин и др. – Воронеж: ВГТУ, 1996. 168 с.
4. Бердник, В.В. Шлифование токопроводящими кругами с наложением электрического поля. – Киев: Вища школа, 1984. 124 с.
5. Саушкин, Б.П. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / Б.П. Саушкин и др. – М.: Дрофа, 2002. 656 с.
6. Сухочев, Г.А. Управление качеством изделий, работающих в экстремальных условиях при нестационарных воздействиях. – М.: Машиностроение, 2004. 287 с.
7. Болдырев, А.И. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя при комбинированной обработке в электролите с наполнителем / А.И. Болдырев // Известия ОрелГТУ. 2009. № 3/275(560). С. 63-66.
8. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки. – М.: Машиностроение, 2005. 511 с.
9. А.с. 1085734 СССР, МКИ³ В 23 Р 1/04. Способ электрохимикомеханической обработки / А.И. Болдырев, В.П. Смоленцев (СССР). Оpubл. 1984, Бюл. № 14.

THE COMBINED ELECTROCHEMICAL AND MECHANICAL PROCESSING OF DETAILS IN AEROSPACE TECHNICS

© 2011 A.I. Boldyrev

Voronezh State Technical University

The combined methods of processing applied at manufacturing the details of aerospace technics, their achievable indicators are considered. It is shown that the greatest technological possibilities possesses the way of electrochemical and mechanical processing, allowing to raise fatigue durability and to lower weight of products.

Key words: *combined processing, achievable indicators, process control*