

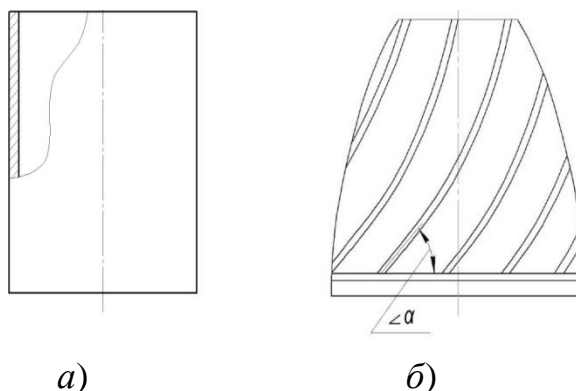
УДК 621.9.047, УДК 621.9.048

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ  
ТИПА «ТОНКОСТЕННЫЕ ОБОЛОЧКИ»

А.А. Коровин, Е.В. Смоленцев (ВГТУ)

В современных высокотехнологичных отраслях машиностроения, таких, как авиастроение, судостроение, ракетостроение и т.д., для решения ряда задач требуется получение крупногабаритных тонкостенных оболочек (корпуса, носовые обтекатели, сопла, камеры сгорания и т.д.) с высокой точностью геометрических размеров и высоким качеством поверхностей.

В большинстве случаев данные детали представляют собой тела вращения различного профиля (рис. 1).



*a)* – цилиндрическая корпусная деталь;  
*б)* – оболочка сопла ЖРД с канавками системы проточного охлаждения

Рисунок 1 – Детали типа «тонкостенные оболочки»

Зачастую задача усложняется необходимостью получения на поверхностях данных деталей сложных конструктивных элементов, таких, как полости, пазы, отверстия, местные углубления профиля каналов и т.д. В этих случаях появляются проблемы, связанные со сложностью выполнения и автоматизации традиционных методов обработки (долбление, методы пластической деформации, сверление тангенциальных отверстий малого диаметра и т.д.), что сказывается на производительности и стабильности выполняемых процессов.

В данной статье изложены исследования, которые велись в области повышения эффективности обработки узлов ЖРД в рамках гранта Президента РФ для поддержки молодых ученых-кандидатов наук МК-283.2010.8.

Технология изготовления оболочки камеры сгорания или сопла современного ЖРД включает в себя несколько операций механической обработки, выполняемых на различном оборудовании – точение поперечных канавок системы охлаждения, фрезерование продольных (прямолинейных и/или винтовых) каналов охлаждения, вырубка недорезов фрезерования перекрещивающихся каналов охлаждения (поперечных и продольных), создание выступов-турбулизаторов на поверхностях продольных каналов (в основном – накаткой роликом) для повышения эффективности охлаждения камеры сгорания или сопла потоком жидкости или газа [1], сверление тангенциальных отверстий в стенке камеры сгорания для создания завесной системы охлаждения [1].

При относительно высокой эффективности операций точения и фрезерования, операции вырубки, накатки и сверления в настоящее время низкоэффективны и, на наш взгляд, имеется ряд оснований для их замены более высокотехнологичными методами.

Операция вырубки недорезов фрезерования перекрещивающихся пазов (рисунок 2) в настоящее время в большинстве случаев осуществляется вручную, что значительно снижает производительность обработки оболочки, стабильность выполнения процесса. Данный процесс значительно усложняется при необходимости обработки сопряжения винтового канала. На наш взгляд, выполнение данной операции целесообразно осуществлять электрохимической, электроэрозионной или комбинированной электроэрозионнохимической обработкой (ЭХО, ЭЭО и ЭЭХО соответственно) [2, 3]. Учитывая небольшую высоту «h» недорезов фрезерования (обычно не более 1 мм), что предотвращает необходимость создания сложной системы подачи рабочей жидкости, данные методы позволят выполнять операцию их удаления с большой производительностью (до 1,5 мм/с при ЭЭХО), достигая при этом требуемые показатели качества (достижимая шероховатость при ЭЭХО –  $R_a = 2,5$  мкм при заданной разработчиком –  $R_a = 1,6 \dots 3,2$  мкм).

Для снижения неравномерности износа инструмента при ЭЭО и ЭЭХО можно применить схему с его вибрацией вдоль оси обрабатываемого канала, что также должно положительно сказаться на производительности обработки из-за улучшения условий эвакуации продуктов обработки из зоны обработки.

При создании выступов-турбулизаторов накаткой роликом производительность процесса также является низкой. К тому же не каждый материал под-

дается эффективной обработке данным методом. При этом деформация материала может привести к неблагоприятным последствиям при нагреве камеры или сопла в процессе эксплуатации, поэтому во многих случаях требуются последующие операции отжига и механической доработки. Предлагаемый нами метод изготовления выступов-турбулизаторов с помощью ЭХО или ЭЭХО позволит упростить процесс обработки, избежав вышеперечисленные проблемы метода накатки, при существенном увеличении производительности процесса.

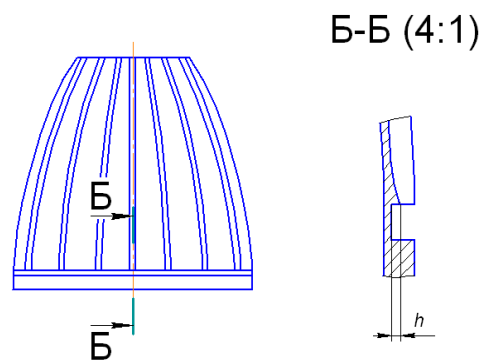


Рисунок 2 – Недорез мест сопряжения перекрещивающихся пазов

Сверление тангенциальных отверстий (рисунок 3) завесной системы охлаждения камеры сгорания ЖРД также связано с большим количеством проблем из-за их малого диаметра (обычно 1-1,5 мм), относительно большой глубины (от 5 до 30 и более миллиметров) и расположения под углом к оси изделия. Среди данных проблем можно выделить сложность врезания сверла в материал заготовки, образование заусенцев на входе и выходе сверла, частые поломки сверла из-за его малого диаметра, увод оси инструмента из-за его малой жесткости при относительно больших силах резания и т.д.

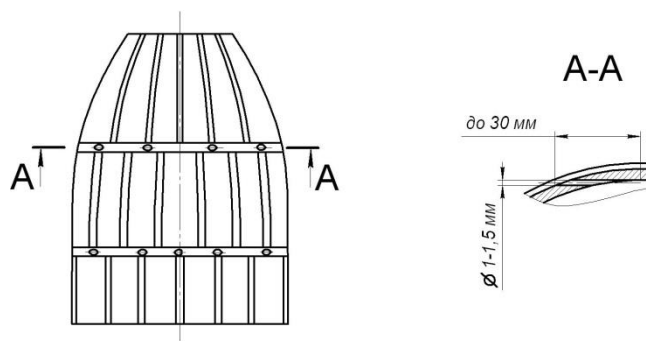


Рисунок 3 – Отверстия завесной системы охлаждения камеры сгорания ЖРД

Из-за нестабильности процесса обработки в настоящее время при производстве оболочек камер сгорания в большинстве случаев сверление тангенциальных отверстий выполняют вручную, что негативно сказывается на производительности процесса. Применение метода ЭЭО, ЭХО или ЭЭХО позволит автоматизировать процесс получения тангенциальных отверстий, обеспечивая требуемые показатели качества при существенном повышении производительности. Для поддержания производительности процесса на высоком уровне при глубоком прошивании нами предлагается проводить процесс с вращением инструмента, при этом инструмент необходимо изготавливать из трубок (выпускаются серийно промышленностью с диаметром наружным от 0,2 мм) с приданием рабочей части овальной формы (овального сечения) с наибольшим диаметром, равным диаметру получаемого отверстия минус двойной расчетный межэлектродный зазор [2]. Через внутреннее отверстие трубки необходимо подавать технологическую жидкость, а вывод жидкости с продуктами обработки будет происходить по межэлектродному зазору. Также можно реализовать схему с планетарным движением электрода-инструмента [4].

На наш взгляд, представляется перспективной разработка автоматизированной многофункциональной установки электрохимической, электроэрозионной и электроэрозионно-химической обработки с числовым программным управлением (ЧПУ) для решения представленных задач при изготовлении широкой номенклатуры изделий типа тонкостенные оболочки ЖРД.

Схема предлагаемой установки представлена на рисунке 4.

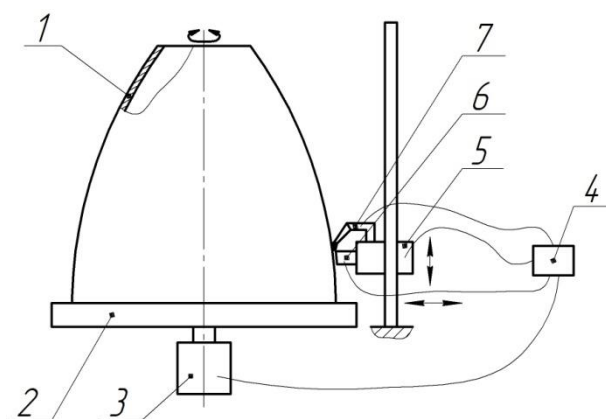


Рисунок 4 – Схема установки для обработки деталей типа «тонкостенные оболочки»

Обрабатываемая деталь 1 закрепляется на поворотном столе 2, способном

осуществлять поворот на заданный угол посредством привода 3, связанного с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ) 4. Каретка 5 со сменным электрододержателем (неподвижным, вибрирующим, вращающимся и т.д.) перемещается посредством приводов (электроприводов, гидро- или пневмоприводов и т.д.), управляемых ЭВМ 4, в горизонтальной и вертикальной плоскости. Подача напряжения на электрод-инструмент 6 и подача рабочей жидкости системой подачи рабочей жидкости 7 (подача рабочей жидкости может быть организована через электрод-инструмент) также управляется посредством ЭВМ 4. Помимо этого, имеется возможность закрепления в каретке 5 толщиномер (ультразвукового и т.п.) или щупа для замеров толщин стенки оболочки с целью последующего размерного снятия припуска (для устранения разнотолщинности оболочки).

Таким образом, данная установка позволит в автоматизированном режиме производить широкую номенклатуру операций обработки, в зависимости от обрабатываемого инструмента и программы управления – прошивку пазов, полостей, отверстий и т.д., удаление недорезов фрезерования перекрещивающихся пазов, удаление припуска раскатки оболочек и т.д. Это, на наш взгляд, позволит значительно снизить себестоимость данных деталей и, возможно, повысить их качество.

Все вышеперечисленные операции обработки (ЭХО, ЭЭО, ЭЭХО) можно производить по многоэлектродной или многоконтурной схеме, что позволит многократно увеличить производительность данных процессов.

#### Библиографический список

1 Васильев, А. П. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей : Учебник / А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов и др.; Под ред. В. М. Кудрявцева. – 3-е изд., испр. и доп. М. : Высш. школа, 1983. – 703 с., ил.

2 Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : Учеб. пособие (в 2-х томах.). Т. I. Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – 208 с., ил.

3 Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : Учеб. пособие (в 2-х томах.). Т. II. Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии / Под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – 247 с., ил.