

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Широкожухова А.А.¹, Юхневич С.С.^{1,2}

¹АО «Конструкторское бюро химавтоматики» г. Воронеж, anamyagkih@yandex.ru

²Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж,

Ключевые слова: комбинированные методы обработки, отверстия малого диаметра, электронно-лучевая прошивка, электроэрозионная обработка, лазерная прошивка.

Производство аэрокосмической отрасли характеризуется большой номенклатурой и сложностью производимых изделий, что стимулирует развитие специальных и, зачастую, уникальных технологий. Исходя из жестких условий эксплуатации, высоких температурных и вибрационных нагрузок, изделия ЖРД изготавливаются, преимущественно, из труднообрабатываемых сплавов. В сочетании с высокими требованиями к точности обработки и качеству получаемой поверхности использование традиционных методов получения отверстий малого диаметра, таких как сверление, применительно к деталям ЖРД, зачастую неэффективно и экономически нецелесообразно. Большим потенциалом в реализации данного технологического направления обладают комбинированные методы обработки.

При оценке качества выполнения отверстия малого диаметра основными критериями являются точность, форма, наличие и размер конусности по глубине канала, шероховатость поверхности, наличие микротрещин, грата. На выбор оптимальной комбинации физических, химических, механических и иного рода воздействий влияют также конструктивные особенности детали, наличие производственной базы, длительность производственного цикла, экономическая эффективность.

Электронно-лучевая прошивка отверстий широко применяется для изготовления отверстий диаметром 0,3 ... 1,0 мм при толщине заготовки 0,05... 5мм за счет следующих преимуществ: высокая производительность (скорость прошивки 1 ... 2000отв/с) и точность обработки ($\pm 0,025$ мм, погрешность расположения отверстий $\pm 0,01$ мм), отсутствие окисления ввиду того, что процесс происходит в вакууме, малая зона термического влияния и отсутствие микротрещин, малая конусность отверстий (зависит от глубины прошиваемого канала), широкая номенклатура обрабатываемых материалов [1].



Рисунок 1 - Металлический фильтр, изготовленный методом электронно-лучевой обработки (78000 отверстий диаметром 0,3 мм в детали сферической формы толщиной 1,5 мм)

Перспективным направлением, составляющим конкуренцию электронно-лучевой прошивке при изготовлении большого количества отверстий малого диаметра в деталях из труднообрабатываемых материалов, является лазерная обработка. Это обусловлено возможностью получения отверстий диаметром от десятков микрометров до нескольких миллиметров, значительной глубины (с соотношением L/d более 50), с высокой производительностью и точностью, в любых металлах, сплавах и керамиках. Помимо этого, главными преимуществами лазерных источников являются бесконтактная обработка, управление пространственным расположением отверстия, возможность контроля глубины отверстия за счет подбора длительности импульса, небольшая зона прогрева заготовки.

Комбинирование лазерной обработки с последующей калибровкой отверстий при помощи продувки сжатым воздухом позволяет повысить точность метода и качество поверхности за счет увеличения выброса жидкой фазы материала.

При изготовлении струйно-центробежных форсунок камеры сгорания ЖРД одна из главных трудностей – точное изготовление прямолинейного отверстия малого диаметра, расположенного под углом. Точность геометрических размеров, качество поверхностного слоя и взаимное расположение отверстий в форсунках определяют процесс распыления топлива и организацию процесса смесеобразования.

При выполнении подобного вида отверстий хорошо зарекомендовала себя электроэрозионная обработка проволочными или стержневыми электродами-инструментами. Уступая по производительности электронно-лучевой и лазерной прошивке, данный метод обладает преимуществами: достаточно высокие значения точности отверстий (погрешность не более 0,01 мм), малая шероховатость внутренней поверхности канала ($Ra = 0,32 \dots 0,05$ мкм), что обеспечивает заданные гидравлические характеристики форсунок. Производительность электроэрозионного сверления может быть увеличена за счет орбитального движения электрода инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия, что способствует снижению конусности и регулирует размер отверстия изменением радиуса орбитального движения.

Достоинством электрохимической прошивки отверстий малого диаметра является отсутствие механических и термических воздействий на заготовку, что дает возможность получать хорошее качество поверхности без износа электрода-инструмента, заусенцев и острых кромок. Однако данный метод имеет низкую производительность из-за скорости обработки (0,5 ... 4,0 мм/мин), нестабильности протекания процесса вследствие неблагоприятных условий эвакуации продуктов электрохимической реакции и применяется в основном для неглубоких отверстий малого диаметра. Проблему получения глубоких отверстий с прямой или криволинейной осью, в том числе с переменным сечением, позволяет решить комбинирование электрохимической обработки с наложением на рабочую среду ультразвуковых колебаний [2].

Сочетание различных видов воздействий существенно нивелирует отрицательные составляющие каждого процесса и повышает эффективность и качество обработки изделий. Расширение технологических возможностей за счет применения комбинированных методов обработки является перспективным направлением развития ракетно-космической отрасли машиностроения.

Список литературы:

1. Shirokzhukhova A., Ryazantsev A., Gritsyuk V., Science-based technologies creation based on combined processing methods for fabrication aerospace filters, *Materials Today: Proceedings* Volume 19, Part 5, 2019, P. 2065-2067.

2. Ломакин И.В., Юхневич С.С., Рязанцев А.Ю., Широкожухова А.А. Высокоэффективные технологии получения отверстий малого диаметра в деталях жидкостных ракетных двигателей. *Инженерный журнал: наука и инновации*. – 2023. – № 3(135). – DOI 10.18698/2308-6033-2023-3-2258. – EDN AURCOT.

Сведения об авторах

Широкожухова А.А., канд. техн. наук, заместитель начальника отдела АО КБХА. Область научных интересов: технология машиностроения.

Юхневич С.С., канд. техн. наук, главный инженер, АО КБХА; доцент кафедры технологии машиностроения, Воронежский государственный технический университет. Область научных интересов: технология машиностроения.

COMBINED PROCESSING METHODS IN THE SMALL DIAMETER HOLES MANUFACTURE

Shirokozhukhova A.A.¹, Yukhnevich S.S.^{1,2}

¹JSC Design Bureau of Chemical Automation, Voronezh, Russia, anamyagkih@yandex.ru

²Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Keywords: combined processing methods, small diameter holes, electron beam stitching, electroerosion processing, laser stitching.

The paper discusses combined processing methods for the manufacture of small diameter holes. The main advantages of electron beam, laser, electro erosion and electrochemical methods of making holes in relation to products of the rocket and space industry are determined.