

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ПРЕЦИЗИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКОЙ

И.И.Хафизов к.т.н., доцент, hafizov80@yandex.ru, ФГАОУ ВПО К(П)ФУ  
З.Б.Садыков д.т.н., профессор, КНИТУ им. А.Н. Туполева

Аннотация: Основным требованием при разрезании дефицитных материалов является получение деталей с минимальным отходом, что достигается применением тонких (менее 1 мм) дисковых инструментов. Для этих деталей наиболее выгодным является применение комбинированной электроалмазной обработки. В данной статье рассматриваются основные требования к технологическим режимам, инженерные расчеты предельных размеров инструментов (алмазных дисков), и достижимые точности по непараллельности стенок паза, шероховатости обработанных поверхностей разреза.

Ключевые слова: разделение материалов, токопроводящие материалы, комбинированные методы, технологический процесс, малоотходное разделение, технологический режим.

Требования разработчика изделий должны учитывать технологические возможности используемых приемов обработки. Эти сведения достаточно доступны и достоверны для традиционных методов разделения материалов армированным кругом, резанием металлическим инструментом, но для комбинированных процессов такая информация отсутствует или носит фрагментальный характер.

Граничные показатели по образованию боковых зазоров, определяющих одну из составляющих погрешности могут быть установлены путем моделирования электроабразивного процесса (рис.1).

Как показано в [1] скорость ( $V_{и}$ ) подачи (3 на рис.1, а) при разделении крупных заготовок без их вращения должна изменяться по закону

$$V_{и} = f(F) \rightarrow var, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь донной части паза.

Если принять ширину паза в месте обработки  $H$ , то площадь обработки ( $F$ )

$$F=H \cdot L, \quad (2)$$

где  $L$ – длина образующей контура реза. Для плоских заготовок это может быть толщина, для круглых (без вращения) – длина периферийного участка инструмента–диска в зоне резания.

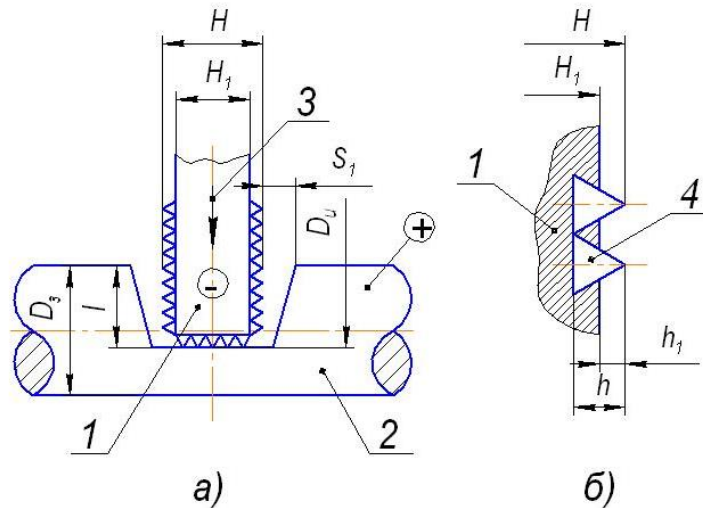


Рис. 1 Схема комбинированного разделения токопроводящих материалов

- а) Положение диска 1 относительно заготовки 2 при разделении заготовки 2  
 3 – подача инструмента – диска 1 на врезание;  
 $S_1$ – боковой зазор со стороны врезания диска 1;  
 $H$  – толщина инструмента;  
 $H_1$ – толщина диска;  
 $D_3$ – диаметр заготовки;  
 $D_0$ – диаметр инструмента;  
 $l$  – глубина обработки.  
 б) Закрепление режущих зерен (4) в диске (1).  
 $h$  – размер зерна;  
 $h_1$  –выступание зерна на инструменте.

Площадь  $F$  (рис.1) представляет из себя произведение длины дуги в заготовке на ширину  $H$ . Принимая кривую контакта инструмента отрезком прямой из геометрических построений можно найти  $F = L \cdot H$ ,

$$\text{где } L = 2\sqrt{l(D_3 - l)}$$

Условием стабильности (управляющая функция) резания абразивными зернами является

$$P_{уд} \rightarrow \text{const} \quad (3)$$

где  $P_{уд}$  - расчетное давление резания при переменной площади торцевой поверхности инструмента, участвующей в разделении.

На рис.1а, показано изменение положения поверхности паза по мере углубления инструмента в заготовку. Это происходит за счет анодного растворения сформированных инструментом боковых поверхностей паза, где зазор зависит от выступающих зерен ( $h_1$  на рис.1 б)

Активная часть электролизера зависит от площади боковой поверхности инструмента, занятой абразивными зернами, которые, как правило не токопроводящие. Для изготовления алмазных отрезных кругов используются концентрации зерен от 50 до 150 ед/см<sup>3</sup>[2].

Используя в качестве управляющей функции критерий постоянства давления можно установить закон регулирования скорости подачи по известным свойствам разрезаемого материала (через давление  $P_{уд}$ ), геометрии заготовки и инструмента через силу подачи ( $P$ )

$$P = 2 K_p \cdot \bar{P}_{уд} \cdot H \sqrt{l(D_3 - l)} \quad (4)$$

где  $P_{уд}$  - давление электроабразивного круга при разделении заготовок (справочный материал);  $K_p$  – коэффициент, учитывающий снижение давления при наложении электрического поля ( $K_p = 0,8 - 0,82$ );  $H$  – ширина паза в месте обработки (равна толщине электроабразивного диска - инструмента);  $l$  – глубина паза;  $D_3$  – диаметр (или сечение в плоскости резания ) заготовки.

Время ( $\tau$ ) разделения заготовки по глубине при переменной скорости подачи может быть рассчитано по зависимостям:

- при вращении заготовки

$$\tau = \frac{D^3}{4 \cdot V_{\text{нач}} \left(1 + \frac{l_0}{D_3}\right)}, \quad (5)$$

где  $V_{\text{нач}}$  - начальная скорость врезания.

$l_0$  - глубина врезания инструмента в заготовку, где происходит адаптация системы подачи на разделение ( $l_0 = 0,2-0,5$  мм).

- без вращения заготовки время  $\tau_n = 2\tau$ .

Рассмотрены предельные значения погрешностей, вызванных воздействием электрического поля на поверхности паза. Для крупных заготовок с их вращением при разделении нижний предел погрешности ( $\delta$ ) за счет образующейся конусности составляет:

$$\delta = K_a \sqrt{\left(\frac{H - H_1}{2}\right)^2 + 2 \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \eta \cdot \chi \cdot (U - \Delta U) \cdot \frac{D^3}{4 \cdot V_{\text{нач}} \left(1 + \frac{l_0}{D_3}\right)}} \quad (6)$$

где  $K_a$  – коэффициент активного использования для прохождения тока боковой поверхности инструмента ( $K_a=0,5 - 0,7$ ).

$H$  – толщина рабочей части диска;

$H_1$  – толщина нерабочей части диска;

$\alpha$  – электрохимический эквивалент материала заготовки;

$\gamma$  – плотность материала заготовки;

$\eta$  – выход по току;

$\chi$  – удельная электропроводность рабочей среды;

$U$  – напряжение на электродах;

$\Delta U$  – потери напряжения;

Если заготовка не вращается, то погрешность ( $\delta_n$ ) возрастает в 2 раза.

При допуске на полученные разделением диски 0,02 мм даже при адаптивной подаче удастся получить окончательный размер детали для

диаметров заготовок не более 3 мм, а с допуском 0,05 мм – до диаметра  $D_3 \leq 5-7$  мм (для различных материалов)[3].

Предложен новый способ калибровки паза путем осевого перемещения инструмента на величину конусности (уклона стенок) паза. Это сняло ограничения по диаметру заготовки, хотя и вызвало увеличение ширины паза на 0,05-0,1 мм. Процесс калибровки осуществим при наличии в оборудовании координаты с адаптивным управлением[4].

Разработана модель изменения положения и формы тонкого инструмента (толщина от 0,25-0,3 мм) Показано, что в зависимости от свойств материала предельные размеры инструмента при расчетной силе Р находят:

–наибольший диаметр инструмента  $D_u$  из зависимости

$$D_u = y - \frac{B}{3a}, \quad (7)$$

$$B = \frac{4}{3} \cdot l^2 \cdot \mu^2, \quad (8)$$

где  $\mu$  - коэффициент приведенной длины, (табличное значение) зависит от схемы закрепления. В нашем случае  $\mu = 0,699$ ,  $a = 4 \cdot l \cdot \mu^2$

В формуле (6)  $y = U + V$ , (9)

$$\text{где } U = \sqrt[3]{\left( \frac{K_y \cdot E \cdot H_1 \cdot D_3}{48 \cdot K_P^2 \cdot P_{уд}^2 \cdot H^2 \cdot l \cdot \mu^2} - \frac{l^3}{729} \right)} + \sqrt{\left( \frac{K_y \cdot E \cdot H_1 \cdot D_3}{48 \cdot K_P^2 \cdot P_{уд}^2 \cdot H^2 \cdot l \cdot \mu^2} - \frac{l^3}{729} \right)^2 - \frac{l^6}{729}}$$

где  $K_y$  – коэффициент устойчивости (табличные значения).

В нашем случае  $K_y = 20,19$ .

$$V = \sqrt[3]{\left( \frac{K_y \cdot E \cdot H_1 \cdot D_3}{48 \cdot K_P^2 \cdot P_{уд}^2 \cdot H^2 \cdot l \cdot \mu^2} - \frac{l^3}{729} \right)} - \sqrt{\left( \frac{K_y \cdot E \cdot H_1 \cdot D_3}{48 \cdot K_P^2 \cdot P_{уд}^2 \cdot H^2 \cdot l \cdot \mu^2} - \frac{l^3}{729} \right)^2 - \frac{l^6}{729}}$$

$E$  - модуль продольной упругости материала инструмента (для латунного диска  $E = 1,3 \cdot 10^5$  МПа)

Минимальная толщина инструмента абразивного диска (Н)

$$H = H_1 + \frac{2}{3} h \quad (10)$$

где  $h$  – размер абразивного зерна.

Расчеты показывают, что минимальная толщина инструмента с абразивом составляет 0,25 мм. Для такого диска наибольший диаметр, обеспечивающий устойчивость при расчетной силе подачи, не более 80-100 мм, что подтверждается экспериментальными результатами, где применялась толщина диска не ниже 0,3 мм (учитывается нестабильность свойств материалов, зерна, режимов)[5].

Рассмотрены пути стабилизации положения диска в пазе. Авторы использовали материалы изобретений и предложили свои решения, на которые поданы заявки на патенты.

При разделении заготовок в кассете диаметр инструмента близок к предельному минимальному и случайные воздействия на процесс могут вызвать изгиб диска в пазе, что нарушает стабильность процесса, точность и качество детали. Предложено предусмотреть в модуле управляющую координату, которая по сигналу о возможности короткого замыкания между инструментом и стенками паза подает импульсный короткий разряд, вызывающий в рабочей среде активное противодействие изгибу инструмента.

$$P_{\text{Э}} = 0,12 \cdot \mu_0 \cdot k_{\text{Н}}^2 \cdot U^2 \cdot C \quad (11)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$  Гн/м);

$k_{\text{Н}}$  – коэффициент, характеризующий разрядник (устанавливается экспериментально);

$U$  – напряжение импульса (более 40 кВ);

$C$  – емкость разрядной цепи. Рассчитывается по величине упругости диска при изгибе в пределах паза.

Наличие в модуле управляющих координат позволяет стабилизировать положение режущей кромки инструмента в пазах, что значительно снижает величину погрешностей из-за вибрации диска. Для подачи стабилизирующей жидкости используется насос высокого давления, подающий рабочую среду (электролит) на боковые поверхности дискового инструмента на выходе его из паза по сигналам датчиков положения режущей кромки. Это гасит автоколебания инструмента, нарушающие стабильность разделения, точность деталей и показатели качества поверхностного слоя[6].

Анализ представленной работы показывает, что для комплексного обеспечения требуемой точности разделения и шероховатости паза необходимо обеспечить стабильность положения инструмента в пазах, устранить клиновидность стенок паза, ввести адаптивное управление параметрами режима.

Научно обоснованы пути повышения точности и качества поверхностного слоя за счет технологических факторов, адаптации системы подачи инструмента, многоступенчатой обработки и калибровки паза.

Обоснованы достижимые границы обеспечения точности при комбинированной обработке, что позволило разработчикам технологического процесса обоснованно назначать заключительные операции или ограничивать параметры объектов обработки.

Разработаны новые методы стабилизации положения тонкого диска, обоснованы режимы обработки и структура технологического процесса с калибровкой паза.

Экспериментально обоснованы режимы, вытекающие из моделирования процесса, предельные размеры инструмента, обеспечивающие минимальный отход дефицитных материалов.

### Список источников

1. Смоленцев В.П. Сухоруков Н.В. Физические основы и технологическое применение электроконтактного процесса. Воронеж РИА 1998, 148с.
2. Бердник В.В. Шлифование токопроводящими кругами с наложением электрического поля. Киев «Высшая школа» 1984, 124с.
3. Общетехнический справочник. Москва Машиностроение 1982, 496с.
4. Хафизов И.И. Малоотходное чистовое разделение дефицитных материалов комбинированным методом. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Изд-во ГОУ ВПО ВГТУ, 2007. – 18 с.
5. Патент РФ на изобретение № 2333820 Способ комбинированного разделения токопроводящих материалов. Зарегистрировано в государственном реестре изобретений РФ 20 сентября 2008г. Бюл. № 26
6. Хафизов И.И., Садыков З.Б., Закирова А.Р. Разработка новых технологических режимов комбинированной обработки различных видов материалов. Современные технологии и материалы – ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения: Материалы Международной научно-практической конференции. Т.2. Казань, 10-11 августа 2010 года. – Казань: Изд-во «Вертолет», 2010.