

УДК 678.5.046.364

И. И. Хафизов

## СХЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОАБРАЗИВНЫМ КРУГОМ

*Ключевые слова:* разделение материалов, погрешность, энергоресурсосберегающий технологический процесс, оборудование.

*Применяемые методы разделения металлов позволяют, в основном, выполнять заготовительные операции, где не требуется высокая точность и качество поверхностного слоя, которые обеспечиваются на последующих этапах обработки, требующих значительных припусков на процесс, имеющих высокую трудоемкость и удельную энергоемкость. Рассмотрены схемы разделения абразивным кругом.*

*Keywords:* division of materials, error, the power resource-saving technological process, equipment.

*Applied methods of division of metals allow, generally to carry out procuring operations where high precision and quality of a blanket which are provided at the subsequent stages of processing demanding considerable allowances on process, having high labor input and specific power consumption isn't required. Schemes of division are considered by an abrasive circle.*

### Схемы разделения материалов

Проводя научные исследования в области энергоэффективности и энергосбережения следует обратить внимание, что в технике при разделении заготовок с сечением менее 15 мм<sup>2</sup> используются следующие технологические схемы:

1. Разрезка одним диском одной заготовки с постоянной подачей, заготовка 1 может иметь любое сечение.

Для осесимметричных сечений, например круглых заготовка может иметь вращательное движение вокруг оси со скоростью до 10 м/мин. Подача может происходить с регулированием по силе  $P$  или скорости  $V_{\text{и}}$ .

К достоинствам схемы относится простота оборудования, средств технологического оснащения.

Однако, процесс весьма трудоемок. В ряде случаев вспомогательное время в 2-3 раза превышает машинное. При перестановке инструмента или заготовки возникают погрешности, в конце разделения имеют место сколы кромок хрупких материалов.

Погрешность в месте разделения, как правило, превышает 0,3-0,4 мм, а припуск на последующую обработку более 0,5 мм на сторону. Ширина паза более 0,5 мм. Схема находит использование в единичном производстве.

2. Та же схема, но с управляемой скоростью или силой подачи.

Здесь можно устранить некоторые дефекты, возникающие при разделении. В частности снижается изгиб диска под действием силы  $P$ , что позволяет снизить ширину паза для мелких заготовок до 0,35-0,4 мм. Однако, трудоемкость операции высока, погрешности могут превышать толщину диска. Схема применяется для разделения хрупких материалов в единичном и мелкосерийном производстве.

3. Многоинструментальная схема с несколькими дисками, подключенными к одному источнику тока.

В этом случае требуется регулируемая подача инструмента или заготовки в направлении резания. Возможно вращение заготовки.

Режимы разделения зависят от условий протекания процесса под каждым диском и управление при такой схеме возможно, если оборудование оснащено адаптивной системой подачи блока инструментов с обратной связью по сигналам датчиков положения дисков. Схема используется на предприятиях при наличии специального оборудования.

Ширина паза обычно не менее 0,4 мм, погрешность 0,2 – 0,3 мм на сторону, для крупных (сечение более 2-3 мм) заготовок требуется окончательная обработка паза для снижения погрешностей. Скорость подачи зависит от числа диска и снижается с увеличением их количества.

4. Схема с индивидуальными источниками тока на каждый диск.

Здесь заготовка соединяет электрическую цепь и эффект от усложнения конструкции станка и средств управления становится не существенным. Такая схема не нашла применения, хотя и исследовалась специалистами.

5. Кассетное разделение одним или несколькими дисками с последовательной обработкой заготовок.

Здесь наиболее эффективным является адаптивное управление подачей кассеты (иногда инструмента), т.к. каждая последующая заготовка повторяет этапы разделения предшествующей и система адаптации настраивается на оптимальный режим, обеспечивающей наиболее высокие технологические показатели [3].

Прижимы обеспечивают стабильность получения всех деталей и снятие их с кассеты и после обработки. В схеме может использоваться система адаптивной стабилизации положения дисков, устранения прогибов по диаметру.

Однако, точность разрезки по такой схеме не высока из-за анодного растворения боковых поверхностей деталей. Для использования необходи-

мы инструменты с диэлектрическим покрытием боковых поверхностей. Толщина покрытия, как правило, превышает 0,2-0,3 мм на сторону, что требует уточнения диска в зоне покрытия и общего увеличения его толщины в 2-3 раза. Это приводит к потере дефицитных материалов, хотя и позволяет в ряде случаев избежать последующих технологических операций по чистовой обработке торцов.

К недостаткам такого инструмента можно отнести нарушение изоляции при изгибах и невозможность использования разрядов на боковой поверхности для стабилизации положения диска.

6. Разделение в кассете с постоянной площадью обработки. Весь слой заготовок, заполняющих полость в кассете, прижат зажимами.

Диск с начала разделения работает при режимах, близких к стационарным, но воздействие электрического поля на торцевые поверхности деталей вызывает, значительные погрешности и потери материала. Возрастают погрешности между деталями, получаемыми из заготовок, находящихся на различных участках кассеты. Требуются диски увеличенного диаметра, что ухудшает точность разделения [1].

Рассматриваемая схема является наиболее перспективной, если будут предложены методы калибровки непосредственно в кассете боковых поверхностей пазов. Последнее становится возможным, если оборудование оснащено еще одной координатой, возможно, с адаптивным управлением.

Таким образом, повышение точности обработки при минимальных потерях материала при разделении возможно при использовании закономерностей процесса разделения дисковыми инструментами с расчетными геометрическими параметрами при адаптивном управлении по нескольким координатами, создании новых способов управления положением различных частей инструмента и калибровке паза после разделения заготовки с минимальным припуском.

Исключение последующих операций по обработке мест разделения деталей позволяет в несколько раз ускорить процесс обработки, значительно повысить точность и качество деталей, снизить расход дефицитных материалов.

Автоматизация процесса разделения заготовок снижает негативное воздействие на человека и окружающую среду [4].

### **Обоснование границ достижения заданных технологических показателей**

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.

Как показано в [9] скорость подачи при разделении крупных заготовок без их вращения должна изменяться по закону

$$V_{и} = f(F) \rightarrow var,$$

где  $F$  – площадь донной части паза.

Если принять ширину паза в месте обработки  $H$ , то площадь обработки:

$$F = H \cdot L,$$

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.

Расчеты могут выполняться по известным эмпирическим зависимостям для обработки деталей абразивным инструментом. Поскольку соотношение сил подачи  $P$  для разделения армированным диском и электроабразивным инструментом достаточно стабильно для широкого диапазона диаметров диска, то можно принять  $R_{уд}$  для электроабразивной обработки пропорциональной давлению абразивной резки

### **Не параллельность стенок паза за счет воздействия электрического поля**

При разделении материалов рассматривается 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 выступания зерен.

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.

Фактически площадь активной зоны боковой поверхности диска составляет 50-70% , следовательно коэффициент активного использования площади инструмента внутри паза

Скорость подачи инструмента при разрезании круглых заготовок будет переменной. Если заготовка не вращается, то скорость подачи снижается до пересечения диском диаметра заготовки, затем возрастает по тому же закону до отрезки материала [6].

На боковую поверхность действует ток, подаваемый на инструмент. Время анодного растворения боковой поверхности со стороны входа диска – инструмента зависит от общего времени разделения заготовки.

Начальная скорость врезания зависит от диаметра диска – инструмента, его толщины, силы подачи, материала заготовки.

Наибольший уклон образуется на участке врезания инструмента, где время действия электрического поля наибольшее.

Оценка погрешности позволяет установить технологические возможности процесса разделения заготовок по показателю точности.

Погрешности, вызванные анодным растворением, значительно превышают пределы, задан-

ные для разделения (0,02-0,03 мкм). Готовые детали с заданной точностью можно получить только при вращении заготовок с диаметром до 2-3 мм (при допуске 0,02 мм) и с  $D_3 \leq 5$  мм (для вольфрама),  $D_3 \leq 7$  мм (для магнитного сплава) при допуске 0,05 мм.

Шероховатость поверхности паза зависит от зернистости круга, стабильности его положения при разделении, наличия и мощности боковых разрядов, напряжения.

При разделении диском шероховатость зависит в основном от окружной скорости, свойств разрезаемого материала и зернистости круга. Чем выше зернистость, тем ниже чистота. Но при этом дольше сохраняются режущие свойства инструмента, особенно при разделении вязких материалов [7].

В случае электроалмазного (электроабразивного) разделения зернистость не оказывает существенного влияния, т.к. за счет наложения электрического поля можно снизить давление, налипание материала заготовки. Существенное влияние на величину шероховатости оказывает напряжение на электродах и стабильность движения круга. В данном случае показано изменение высоты неровностей боковых поверхностей паза от величины зерна и напряжения от 5 до 7 В, где обеспечиваются требования к деталям по шероховатости и достигается высокая интенсивность разделения. Видно, что высота неровностей слабо зависит от размеров зерна. Резкое возрастание шероховатости объясняется боковыми замыканиями из-за изгиба или колебаний диска в пазе.

Выполнив анализ видно, что для комплексного обеспечения требуемой точности разделения и шероховатости паза необходимо обеспечить стабильность положения инструмента в пазе, устранить клиновидность стенок паза, ввести адаптивное управление параметрами режима [2].

### **Стабилизация показателей процесса разделения заготовок калибровкой боковой поверхности паза после разделения материала**

Как показано в [8] в процессе разделения материалов возникает погрешность поверхности паза, что ограничивает технологические возможности при разделении заготовок с повышенным сечением. Способ калибровки боковой поверхности, позволяет снизить остаточную погрешность от воздействия электрического поля до 1-3 мкм при увеличении потерь материала не более чем на 5%.

Схема осуществления способа:

Инструмент может быть выполнен в форме диска или ленты и перемещается относительно заготовки (вращение, продольное движение). На наружной поверхности инструмента закреплены абразивные зерна. Инструмент подключен к отрицательному, а заготовки к положительному полюсу источника тока. Разделяют заготовку при прямой подаче инструмента в сторону заготовки до окончания разделения. Далее прямую подачу инструмента отключают. После разделения боковые поверхности и зоны разделения заготовки имеют уклоны (или конусы образованные при вращении заготовки), вызванные анодным растворением боковыми поверхностями инструмента в период раз-

деления заготовки.

Направление перемещения заготовки перпендикулярно направлению подачи инструмента в направлении боковой поверхности зоны разделения до соединения с боковой поверхностью инструмента. Процесс перемещения заканчивается при стабилизации величины технологического тока, поступающего на инструмент и заготовку от источника тока.

Далее следует перемещение заготовки перпендикулярно направлению подачи инструмента до соединения боковой поверхности зоны разделения заготовки с боковой поверхностью инструмента до стабилизации величины технологического тока. Конечное положение инструмента относительно разделенной заготовки после выхода инструмента из зоны разделения заготовки при обратной подаче.

Процесс осуществляют следующим образом: заготовку устанавливают на электроабразивный станок с положением зоны разделения напротив электроабразивного инструмента, зерна, которого препятствуют прямому контакту инструмента с заготовкой. Включают перемещение инструмента относительно заготовки (вращение для дисков, продольное движение для лент), подают электролит в место разделения заготовки, ток на инструмент (минус) и заготовку (плюс). Включают прямую подачу инструмента и разделяют заготовку с образованием боковых поверхностей в зоне разделения заготовки, которые под действием анодного растворения боковыми поверхностями инструмента получают уклоны (если заготовка не вращается) или конусы (при вращении заготовки). Уклоны и конусы должны быть удалены, что требует дополнительной операции (как правило, шлифования) с потерей большого слоя материала на припуск и средств на дополнительную операцию. Для исключения дополнительной операции заготовку перемещают: в направлении, например, в сторону боковой поверхности инструмента. При этом за счет удаления уклона (конуса) на боковой поверхности зоны разделения площадь обработки возрастает и увеличивается ток (от источника тока), поступающий на инструмент и заготовку. Ток стабилизируется при контакте инструмента со своей боковой поверхностью зоны разделения заготовки. После этого заготовку перемещают в направлении до совмещения боковых поверхностей с отключением перемещения в момент стабилизации величины технологического тока. Ток может быть выключен. Затем включают обратную подачу инструмента и выводят инструмент из зоны разделения заготовки [5].

Рассмотрен пример конкретного осуществления способа: требуется разделить на таблетки круглый прут из вольфрама. Диаметр прутка 6,4 мм, высота таблетки 1,2 мм. При разделении армированным диском (диск шириной 2,5 мм) для удаления припуска (1,2 мм) на последующее шлифование требовалось 0,3 минуты при общей трудоемкости на разделение 2,8 минуты. При этом брак деталей по точности достигал 25%. Электроабразивное резание, применяемое ранее, не позволяло избегать последующего шлифования, хотя снижало трудоемкость

разделения до 2,5 минуты, а брак - до 20%.

Разделение по предлагаемому способу испытано при режимах: напряжение 5В, сила тока до 12А, прямая подача инструмента до 4 мм/мин, обратная подача инструмента 50 мм/мин, это позволило снизить погрешность таблеток до 30 мкм, что исключило необходимость в последующем шлифовании. Общее время обработки составило 2 минуты. Брак деталей устранен полностью.

Из-за постоянного обновления абразивных зерен усилия резания при электроабразивной обработке в 1,5...2,0 раза ниже, чем при шлифовании.

При этом снижается наклеп поверхности, не образуются микротрещины. Металл, снимаемый с заготовки, не налипает на инструмент - исключается сильный нагрев из-за трения контактных поверхностей и не возникают местные прижоги. Такие дефекты особенно опасны для высоконагруженных деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок (зубчатых колес, элементов шлицевых соединений). Отсутствие шлифовочных прижогов позволяет повысить ресурс деталей. С целью повышения точности при шлифовании последние ходы обычно выполняют без тока и тогда шероховатость электроабразивной и электроалмазной обработки близка к получаемой после шлифования инструментом той же зернистости.

### Выводы

1. Рассмотрены схемы разделения материалов. Подход заключается в рассмотрении технологической проблемы разделения материалов с минимальными потерями нарезки как единого процесса, включающего технологические вопросы, характеристики оборудования средств технологического оснащения и адаптивного управления составляющими элементами
2. Научно исследованы пути повышения точности и качества поверхностного слоя за счет технологических факторов, адаптации системы подачи инструмента, многоступенчатой обработки и калибровки паза.
3. Изучены достижимые границы обеспечения точности при комбинированной обработке, что позволит разработчикам технологического процесса обоснованно назначать заключительные операции или ограничивать параметры объектов обработки.
4. Изучены новые методы стабилизации положения тонкого диска, обоснованы режимы обработки и структура технологического процесса с калибровкой паза.
5. Изучены режимы, вытекающие из моделирования процесса, предельные размеры инструмента, обеспечивающие минимальный отход дефицитных материалов.
6. Изучены наработки прошлых лет для решения поставленной проблемы по созданию ресурсос-

берегающего технологического процесса и оборудования, обеспечивающего приоритет страны в создании конкурентоспособной продукции по показателям качества стоимости и новизны.

7. Решение проблемы стабилизации параметров разделения возможно при адаптивном управлении процессом, режимами, положением режущей части инструмента в пазе, что даст возможность предельных показателей по точности при разделении заготовок. Расширение технологических возможностей процесса становится реальным после калибровки боковых поверхностей пазов [8].

### Литература

1. Электрофизические и электрохимические методы, обработки материалов/ Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др. Т.1,2 Обработка материалов с применением инструмента/ Под ред. В.П. Смоленцева. - М.: Высш шк., 1983., 320 с.
2. Пат. 2323071 Российская федерация, МПК<sup>7</sup> В23Н3/00, В23Н9/14. Способ электрохимической обработки./Хафизов И.И., Закирова А.Р., Садыков З.Б., заявитель и патентообладатель Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. - № 2006113276/02; заявл. 10.04.06; опубл. 10.11.07, Бюл. № 12.-3с.
3. Хафизов И.И. Малоотходное чистовое разделение дефицитных материалов комбинированным методом.: дисс. канд. техн. наук: 05.03.01: защищена 19.09.07: утв. 14.12.07 / Хафизов Ильдар Ильсурович.- ВГТУ, Казань, 2007 – 184 с.
4. Хафизов И.И. Пути снижения расхода материалов при их разделении комбинированными методами/ И.И. Хафизов// Вестн. Казан. технол. ун-та – 2013. – Т16. № 1. – С.208-211.
5. Хафизов И.И. Технологические приемы с наложением электрического поля при малоотходном разделении материалов/ И.И. Хафизов// Вестн. Казан. технол. ун-та – 2012. – Т15. № 18. – С.31-36.
6. Седыкин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин I М.: Машиностроение. 1976.302 с
7. Хафизов И.И. Способы управления стабильностью процесса при комбинированном разделении заготовок./ И.И. Хафизов// Современные технологии, материалы, оборудование и ускоренное восстановление квалифицированного кадрового потенциала - ключевые звенья в возрождении отечественного авиа- и ракетостроения: Сб. докладов междунаучно-практ. конф. Т.П. - Казань: Изд-во "Вертолет", 2012.- 438 с. С.194-199.
8. Пат. 2341358 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В23Н3/00, 7/00, 7/12. Способ разделения заготовки из токопроводящего материала / В.П. Смоленцев, О.Н. Кириллов, Е.В. Смоленцев, А.М. Гренькова, И.И. Хафизов; №2007111233/02; заявл. 27.03.2007; опубл. 20.12.2008, Бюл. №35. 4 с.
9. Физические основы и технологическое применение электроконтактного процесса/ В.П. Смоленцев, Н.В. Сухоруков/ Воронеж: РИА. 1998. 148 с.