

Технологический процесс Исходная информация для проектирования технологического процесса включает сведения о детали после выполнения операции размещения (точность качество поверхностного слоя); ограничения (допустимые габариты заготовки, производительность, себестоимость, операции, обрабатываемость, масштаб выпуска, потери материала, технологичность, и др.); сведения об инструменте (наличие, характеристики и др.); сведения об оборудовании (наличие, технические характеристики и др.) [1].

Выбираемые параметры: 1. Окружная скорость диска. Зависит от размеров дискового инструмента, сечение заготовки, ее формы, ограничений по точности, шероховатости и других факторов. 2. В статье рассматриваются металлосберегающие технологии разделения, поэтому толщина дискового инструмента должна лежать в диапазоне 0,3-0,5 мм. Для этого диапазона скорость может применяться в достаточно широких пределах $15 \leq W_{и} \leq 30$ м/сек. Скорость электроабразивного инструмента составляет 10-25 м/с и зависит от сечения заготовки, скорости ее вращения. Для случая электроалмазного разделения хрупких и вязких материалов тонкими дисками базовый рабочий диапазон скоростей составляет 20-25 м/сек (при сечении заготовки 8 мм). Выбранная скорость корректируется (в зависимости от формы и размеров сечения заготовки)[7]. 3. Рабочая среда. Для рассматриваемых дефицитных и хрупких материалов предложены рабочие среды на базе NaNO_3 , обеспечивающие стабильные технологические показатели при разделении. Электролиты имеют практически одинаковые показатели, но добавка их в состав NaNO_2 способствует защите от коррозии деталей оборудования и оснастки, поэтому для сложных обрабатываемых модулей рекомендуется рабочая среда 15% NaNO_3 +2% NaCl при температуре до 300K, что обеспечивается за счет естественного охлаждения жидкости [9]. 4. Напряжение. Рекомендуется применять при электроабразивном шлифовании напряжения от 8 до 12В. При разделении материалов без управления положением диска уже при напряжении 8В режим становится не стабильным, что вызывает новые случайные и систематические погрешности, нарушает показатели качества поверхностного слоя из анализа результатов исследований следует, что стабильный режим начинается с 5-6В и заканчивается при 7-8В. С использованием адаптивного управления подачей инструмента, положением режущего участка в пазе диапазон напряжений может быть расширен до 48В.

Таблица 1 Технологические показатели при разделении вольфрама (диам. 8мм) различных рабочих средах ($U=6\text{В}$, $W_{и}=20\text{м/с}$)

№	Состав рабочей среды	Средняя скорость подачи инструмента, мм/мин	Погрешность, мм (без управления)	Токсичность
1	10% NaNO_3	2-2,8	0,1-0,15	не токсич.
2	10% NaNO_3 + 2% NaNO_2 + 1% Бура	2,5-3,0	0,1-0,15	слабо токсич.
3	10% KCl + 2% $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	2-2,5	0,08-0,1	слабо токсич.
4	15% NaNO_3 + 2% NaNO_2	2,8-3,0	0,1-0,15	не токсич.

5. Расчет режимов разделения. Реализация технологического процесса возможна, если создать новый гибкий

автоматизированный модуль с адаптивными управляющими координатами. Исследования [3] создали предпосылки проектирования модуля, который был спроектирован. В модуле предусмотрено 4 рабочих управляющих координаты и 1 резервная. Поэтому технологический процесс строится с учетом реализации режимов обработки по управляющим координатам. I координата – управление скоростью подачи дискового инструмента. Скорость регулируется по критерию $R_{уд} \rightarrow const$. Наибольшая величина R в диаметральном сечении может быть найдена для различных размеров заготовок расчетным путем и автоматически скорректирована модулем по экспериментальному значению [6]. Сигналом для изменения подачи диска может служить изгиб профиля инструмента, управляемый датчиками, колебание периферийной части инструмента к стенкам паза, что нарушает точность, увеличивает ширину диска, расширяет припуск на последующую операцию. При стабильных исходных данных адаптивное управление подачей инструмента обеспечивает работу диском с толщиной более 0,25-0,3 мм, ширину паза от 0,3 мм, погрешность, в зависимости от диаметра заготовки от 0,15 мм, шероховатость $R_a=1-1,5$ мкм. II координата – управление положением режущей части диска в пазы. Обеспечивает стабильность обработки путем гашения колебательных, особенно автоколебательных перемещений периферии диска. Предложенный способ позволяет на ранней стадии колебательного процесса погасить развитие неустойчивости (время реакции 0,5-2 сек.), что практически не нарушает точности паза за счет смещения режущей части диска в сторону стенок паза. В таблице 2. приведены статистические сведения о влиянии на качество деталей (таблетки $D_3=6,2$ мм, толщина 2,2 мм) из магнитного сплава АЛНИКО при их разделении без адаптивного управления положением режущей части диска и с применением системы стабилизации инструмента. Таблица 2 Влияние системы стабилизации режущей части инструмента на технологические показатели разделения магнитных сплавов ($U=8B$, $W_{и}=20$ м/с, $D_3=6,2$ мм, $D_u=80$ мм, $H=0,35$ мм) №

Способ разделения	Показатели	Брак деталей (%)	причины	погрешность, мм	шероховатость, R_a , мкм	износ диска по объему, %
1	Без стабилизации	0,25-0,35				
2	Со стабилизацией положения диска и подаче	0,2-0,25		1-1,25		
3	С управляемой подачей диска	0,12-0,15		0,63-1,25	10-15	Отсутств.

Анализ таблицы 2. показывает, что использование двух управляемых координат позволяет получать готовые детали с диаметром до 5 мм. III координата – стабилизация формы диска. Позволяет исключить воздействие случайных факторов, вызывающих изгиб диска. Способ раскрыт в [5]. Использование этой координаты необходимо при разделении заготовок в кассете, когда приходится увеличивать диаметр диска на глубину разделения нескольких рядов заготовок. Управление процессом выполняется по сигналу датчика путем инициирования разряда. Режим работы третьей координаты определяется энергией разряда через емкость конденсаторов. Сила упругости материала диска зависит от

свойств материала, схемы закрепления (в нашем случае принимается как балка с опорами на концах), места разряда (принимается, наружный контур паза), допустимый прогиб (изменение ширины паза на сторону за счет анодного растворения стенок). Применение многоинструментальной обработки повышает производительность процесса. Многоинструментальное разделение целесообразно использовать в серийном производстве с числом дисков не более 10-12. Далее обеспечить стабильность процесса не удастся даже при полной адаптации управления процессом. В рассматриваемом случае усложняется настройка оборудования, могут возникать дополнительные погрешности из-за неравномерного износа инструмента. IV координата обеспечивает калибровку стенок паза по способу, предложенному [8]. Осевое перемещение инструмента позволяет снизить погрешность до 20 и даже 10мкм, но требуется предусматривать припуск на калибровку, который зависит от суммарной погрешности при разделении. Расширять этот припуск нежелательно, т.к. он увеличивает потери дефицитных материалов. Минимальная величина припуска зависит от суммарной погрешности при разделении заготовки и допуска на размер детали. Адаптация включает выбор минимального осевого перемещения заготовок или инструмента и оценку необходимости в калибровке. В серийном производстве четвертая координата может быть не адаптивной

Гибкий автоматизированный модуль С учетом технологических требований, изложенных в разделе [3], и патентов [2,8] был спроектирован автоматизированный модуль с 4 управляющими координатами (имеется резервная координата). Общая компоновка станка включает см. Рис.1: 1. Корпус 2. Суппорт 3. Пульт управления 4. Панель силовая 5. Головка 6. Камера рабочая 7. Привод самохода 8. Гидроагрегат

Модуль включает однотумбовый корпус, который разделен перегородкой. В первой половине корпуса размещено электрооборудование станка. В другой половине установлен гидроагрегат, состоящий из бака для электролита и насоса для подачи электролита в зону обработки. Суппорт установлен на столе станка и обеспечивает продольную и поперечную подачу заготовки. На тумбе установлен пульт управления. Головка станка включает в себя двигатель со шпинделем. Вращение от электродвигателя передается на шпиндель посредством ременной передачи. На шпиндель устанавливается алмазный отрезной круг. Зона обработки закрыта рабочей камерой, изготовленной из нержавеющей стали и имеющую прозрачную крышку, выполненную из органического стекла. Для слива электролита в рабочей камере имеется сливное отверстие. Рис. 1 Модуль для разделения материалов электроабразивным диском

Стойка силового оборудования состоит из блока трансформатора технологического тока, блока задания режимов, блока управления шаговым двигателем, блока питания, вентилятора и реле переключения шаговых двигателей. Блок трансформатора технологического тока предназначен для преобразования 3-х фазного переменного напряжения в

постоянное напряжение устанавливаемое в пределах от 2В до 11В с дискретностью 0,5В и состоит из силового 3-х фазного трансформатора, коммутирующих и диодного моста. Блок задания режимов предназначен для включения привода режущего диска насоса подачи электролита, выбора величины технологического напряжения и состоит из предохранительной, коммутационной аппаратуры, переходных штепсельных разъемов и трансформатора питания силовой автоматики с выпрямителем на выходное напряжение 27В. Блок питания предназначен для питания блока индикации и управления низковольтным стабилизированным напряжением. Вентилятор предназначен для охлаждения силовых тиристоров в блоке управления шаговым двигателем. Реле переключения шаговых двигателей предназначено для коммутации питания на один из шаговых двигателей в зависимости от выбранной координаты перемещения рабочего стола станка. На столе установлен суппорт, обеспечивающий продольную и поперечную подачу заготовок. Выводы В технике при разделении заготовок с сечением менее 15 мм² используются следующие технологические схемы: 1. Разрезка одним диском одной заготовки с постоянной подачей, заготовка 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_i . 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. 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 необходимы 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. 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 [4]. Автоматизация процесса разделения заготовок снижает негативное воздействие на человека и окружающую среду.