

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.91.04

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МОДУЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ЛУЧОМ

д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ, канд. техн. наук Р.А. КИСЕЛЕВ
(Полоцкий государственный университет);
В.С. КРУТЬКО
(ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск)

Рассмотрены задачи функционального и компоновочного проектирования технологического оборудования модульного типа для раскроя материалов с применением источников концентрированной энергии с учетом направлений его развития, реализуемых технологий формообразования. Дана характеристика основных этапов разработки такого оборудования, принципов соответствия и преемственности технических решений при модульном проектировании. Исходя из системной модели технологий формообразования и структуры способа обработки рассмотрены задачи типизации и формирования состава модулей оборудования, синтеза рациональных схем формообразования энергетическим лучом линейчатых поверхностей и их сопряжений между собой, пути реализации схем формообразования соответствующими модулями при создании нового и модернизации существующего технологического оборудования.

Введение. Создание и совершенствование оборудования для раскроя конструкционных материалов плазменным и гидроабразивным методами имеет важное технико-экономическое значение благодаря преимуществам и эффективности этих методов заготовительного производства. Современным направлением в создании технологического оборудования является его модульное построение [1] на базе унифицированных компонентов определенного функционального назначения, обеспечивающее:

- уменьшение стоимости оборудования, сокращение сроков его проектирования и запуска в производство благодаря широкому применению унифицированных устройств;
- гибкость системы проектирования – возможность построения множества компоновок различного технологического оборудования из одних и тех же модулей;
- упрощение модернизации за счет установки более совершенных и дополнительных модулей с целью повышения производительности и расширения технологических возможностей оборудования;
- повышение надежности, упрощение диагностики, технического обслуживания и ремонта оборудования благодаря использованию апробированных устройств;
- возможность экономичного централизованного изготовления модулей, комплектующих механизмов, деталей и др.

Эффективность модульного проектирования повышается при наличии типовых решений, унификации модулей. В этой связи практическое значение имеет развитие методологических основ модульного построения технологического оборудования, в частности решения соответствующих задач функционального и компоновочного проектирования (типизация и формирование состава модулей, разработка схем формообразования поверхностей и реализующих их механизмов, формирование и анализ структурных и функциональных связей в исполнительной системе станка и др.).

Рассмотрим некоторые из этих задач с учетом тенденций развития рассматриваемого оборудования, которые не нашли должного отражения в научно-технической литературе.

Тенденции развития оборудования для раскроя материалов. При проектировании оборудования для раскроя материала следует учитывать накопленный зарубежный и отечественный опыт создания и применения такого оборудования. Несмотря на различие в реализуемых механизмах разрушения материала, кинематика и компоновка оборудования для раскроя материала разными методами близки друг другу, так как реализуются схожие схемы формообразования. Это позволяет выделить *общие тенденции* данного оборудования *в направлении повышения его технического уровня, универсальности, производительности и качества резки* [2]. К ним, в частности, относятся:

- 1) расширение технологических возможностей оборудования за счет увеличения типов применяемых на нем инструментов (плазматронов, головок для гидроабразивной резки, устройств для механической обработки и т.п.). Например, дополнительно к плазматрону на станке могут быть установлены газовый резак, сверлильная головка, маркер-разметчик линий сгиба на вырезаемых деталях и мест свер-

ления отверстий и другие устройства. Повышение универсальности оборудования портального типа достигается также при его оснащении дополнительным манипуляционным модулем, обеспечивающим пятикоординатную обработку при выполнении профильной резки, реза со скосом, снятии фасок, а также за счет введения дополнительной угловой координаты для сообщения вращательного движения заготовке, например, при раскрое труб;

2) повышение производительности оборудования за счет установки на нем нескольких (на практике до 8 – 10 шт.) одновременно работающих рабочих органов, осуществляющих вырезание одинаковых или разных изделий;

3) совершенствование конструкции режущих устройств и технологии резки, оптимизация условий резания для повышения производительности и точности вырезаемых деталей, снижения энергозатрат;

4) создание оборудования комбинированного типа, например, для плазменного раскроя из листового и трубного проката. В этом случае станок оснащается столом для установки плоских заготовок, вращателем для установки заготовок круглой формы и соответствующей системой программного управления. По этому принципу модернизируют существующее оборудование для раскроя плоского материала;

5) реализация на станке комбинированных способов раскроя материалов в сочетании плазменной и гидроабразивной резки и других методов;

6) возможность ведения процесса резания в различных средах. Так, в ГНПО «Центр» НАН Беларуси разработаны и серийно выпускаются автоматизированные комплексы плазменной резки как в воздушной среде (КПР-01), так и в водной (КПР-02) [3], что значительно расширяет универсальность этого оборудования. Наличие водной среды упрощает реализацию на одном станке технологий раскроя материалов комбинированными методами – плазменной и гидроабразивной резкой;

7) оснащение оборудования для гидроабразивной резки материалов динамической режущей системой с активным контролем угла наклона энергетического луча, что позволяет без ухудшения качества повысить скорость резки, корректировать конусность обрабатываемых отверстий, обеспечить перпендикулярность реза поверхности заготовки, изменяя автоматически с помощью системы управления угол подачи струи воды;

8) переход от электромеханического привода координатных перемещений к приводу на основе линейного электродвигателя. На этом принципе основана, например, исполнительная система комплекса для гидроабразивной резки материалов КГР-1 конструкции ГНПО «Центр» [4]. Благодаря отсутствию между подвижной и неподвижной частями промежуточных устройств обеспечиваются более высокие динамические характеристики привода и точность перемещений рабочих органов, повышается надежность и долговечность исполнительной системы.

Типизация и формирование состава модулей. Модульное построение особенно эффективно для оборудования с близкими по кинематике схемами формообразования и реализуемыми методами обработки. Например, методам обработки с высокой концентрацией энергетического потока (гидроабразивная, лазерная, плазменная резка и др.) присущи общие приемы осуществления, основанные на многокоординатном перемещении энергетического потока (луча), воздействующего на материал заготовки. Это позволяет применять в соответствующем оборудовании однотипные модули.

Анализ необходимых технологических блоков для осуществления этих методов обработки, а также выделение в обрабатывающих системах общих элементов, объединенных функциональным назначением, показывает, что ими в рассматриваемом оборудовании являются исполнительные устройства с приводами координатных перемещений и системы управления. Поэтому эти компоненты в большей степени соответствуют модульному построению оборудования и могут быть унифицированы. Такое построение основано на соблюдении принципов совместимости структурных компонентов оборудования и предъявляет определенные требования к их проектированию, в частности:

- возможность стыковки отдельных модулей с обеспечением передачи информации и энергии как между ними, так и через них;

- функциональную согласованность и дополняемость отдельных модулей, что позволяет, например, существенно повысить производительность оборудования для раскроя материала за счет обеспечения возможности одновременной работы нескольких модулей;

- технологическая надежность и безопасность создаваемого оборудования.

При технико-экономической целесообразности по модульному принципу могут быть построены и отдельные модули.

Основой модульного построения технологического оборудования для обработки изделий машиностроения механическими и физико-техническими методами служат системная модель технологий формообразования и структура способа обработки [5; 6], исходя из которых может быть сформирован состав исполнительных модулей как компонентов формообразующей системы технологического оборудования. При решении этой задачи следует руководствоваться общими принципами типизации и формирования исполнительных модулей.

Типизация модулей основана на представлении технологии формообразования как совокупности потоков энергии, информации, материалов, обеспечивающих обработку изделия. Соответственно можно выделить энергетические, информационные, манипуляционные и обрабатывающие модули.

Энергетические модули служат для преобразования и передачи энергии в обрабатывающей системе от источника энергии исполнительным органам. К энергетическим модулям относятся, например, встраиваемые в технологическое оборудование источники постоянного тока, частотные преобразователи для питания двигателей переменного тока.

Информационные модули обеспечивают хранение, преобразование и передачу информации в процессе формообразования. Они могут быть механического, электромеханического и немеханического (электронного типов). Механическими информационными модулями в оборудовании для раскрытия материала с копировальными системами являются копиры. К электромеханическим информационным модулям можно отнести элементы автоматики систем циклового программного управления технологическим оборудованием. Современными немеханическими информационными модулями в рассматриваемом оборудовании являются устройства числового программного управления.

Манипуляционные (кинематические) модули входят в кинематическую подсистему формообразующей системы и предназначены для создания вспомогательных, настроечных, ориентирующих и рабочих относительных перемещений инструмента и заготовки.

Обрабатывающие модули служат для энергетического воздействия на материал заготовки, которое может осуществляться физико-техническими и механическими методами. В рассматриваемом оборудовании к ним относятся устройства для лазерной, плазменной и гидроабразивной резки, сверлильные головки и др.

Модульное построение формообразующих систем технологического оборудования предполагает соблюдение *принципов соответствия и преемственности* на разных стадиях проектирования. Так, при проектировании кинематики оборудования используются кинематические модули, при разработке его компоновки – компоновочные модули, а при конструировании узлов – конструкторские модули. В этом находит отражение принцип соответствия проектных решений. Указанные модули разрабатываются с учетом преемственности технических решений. Применение принципа преемственности выражается, в частности, в том, что компоновочные и конструкторские модули строятся на основе кинематических модулей. В этой связи решение задач синтеза и оптимизации структуры кинематических модулей имеет первостепенное значение при проектировании формообразующих систем технологического оборудования.

Формирование состава и структуры модулей обусловлено функциями конкретной подсистемы, включающей данные модули. Так, кинематическая подсистема станка, обеспечивающая исполнительные перемещения рабочих органов, может включать в себя модули кинематических цепей механического, немеханического или комбинированного типов, которые в зависимости от состава создаваемых движений исполнительных органов могут иметь бездифференциальную или дифференциальную структуру [7]. Таким образом, формообразующая система оборудования определяется в значительной мере составом и структурой кинематических модулей.

По функциональному назначению можно выделить следующие типы кинематических модулей:

- обеспечивающие возможность получения определенного по траектории движения (поступательного, вращательного, винтового и др.);
- служащие для преобразования одного вида движения в другое – вращательное в поступательное или качательное и т.п.;
- для сложения движений (дифференциальные модули);
- для настройки параметров исполнительного движения (скорости, направления, траектории), согласования движений нескольких исполнительных органов и др.

По конструктивным и эксплуатационным соображениям (обеспечение компактности и ремонтно-пригодности узла, удобства настройки и т.п.) отдельные элементарные модули, например, для сложения и настройки движений могут быть объединены в один модуль.

Универсальность формообразующей системы станка определяется множеством реализуемых на нем методов обработки, каждый из которых осуществляется соответствующим инструментальным (рабочим) модулем, поэтому обрабатывающая подсистема формообразующей системы включает множество необходимых рабочих модулей. Например, обрабатывающая подсистема универсального станка для раскрытия материала, кроме модулей для воздействия на материал заготовки энергетическим лучом (плазменная и гидроабразивная резка), может иметь также модули для механической обработки (сверление отверстий и др.).

Применение на одном станке разных технологий резки позволяет реализовать преимущества каждой из них: как известно, гидроабразивная резка обеспечивает более высокие качественные параметры резки, а для плазменной резки требуются меньшие производственные расходы. Сверление может быть более эффективным по производительности и затратам энергии по сравнению с обработкой отверстий

энергетическим лучом. Поэтому комплексное применение на станке различных методов обработки, кроме универсальности, обеспечивает также его более высокие технико-экономические показатели.

В общем случае обрабатывающие модули могут быть в составе оборудования *постоянными и сменными*. Необходимость применения как постоянных, так и сменных модулей следует учитывать при проектировании кинематической структуры и компоновки, конструировании узлов оборудования. Выполнение этого условия в первом случае связано с типизацией структур кинематических связей, выделением и анализом типовых кинематических модулей, разработкой на их базе кинематической структуры станка, а также конструктивных модулей как сборочных единиц технологического оборудования.

Компоновка же станка должна обеспечить соответствующую его универсальности совокупность «технологических модулей», каждый из которых состоит из блоков, необходимых для создания определенного исполнительного движения [8]. Количество технологических модулей, формируемых из блоков данной компоновки, определяется его кинематической структурой, устанавливающей связи между исполнительными органами и источниками движения.

Это обстоятельство обуславливает необходимость комплексного подхода к проектированию механики и компоновки оборудования модульного типа.

Типовые решения по формированию состава исполнительных модулей обрабатывающей системы станка должны базироваться на принципиальных кинематических схемах обработки, учитывая, что перемещение энергетического луча в пространстве в зависимости от формы направляющей линии, ее положения и вида движения (прямолинейное, вращательное, винтовое) позволяет формировать соответствующими модулями различные линейчатые поверхности (в виде плоскости, цилиндра, конуса, однополосного гиперболоида, геликоида и др.), сочетание которых определяет геометрию обработанной поверхности.

Этапы разработки технологического оборудования модульного типа. Исходя из изложенного можно определить основные этапы разработки технологического оборудования модульного типа с источниками концентрированной энергии.

1. *Выработка общей концепции проектирования*, определяющей методы энергетического, информационного и силового взаимодействия элементов системы. На данном этапе необходимо обосновать реализуемые физические процессы, обеспечивающие эффективное разрушение материала, задать систему координатных перемещений с позиции формирования траектории для достижения требуемых универсальности и точности оборудования, механику механизмов перемещения носителя энергетического потока в координатной системе станка, выбрать систему управления процессами обработки и контроля и т.д.

2. *Обоснование построения компоновки*, определяющей необходимость и достаточность модулей системы, их совместимость (стыкуемость) и относительную ориентацию, обусловленную технологией обработки. Качество компоновки оценивается через характеристики рабочей зоны (поля) как критерий, определяющий технологические возможности оборудования [5]. Компоновка и рабочее поле зависят от реализуемой в проектируемом оборудовании системы координатных перемещений (рис. 1).

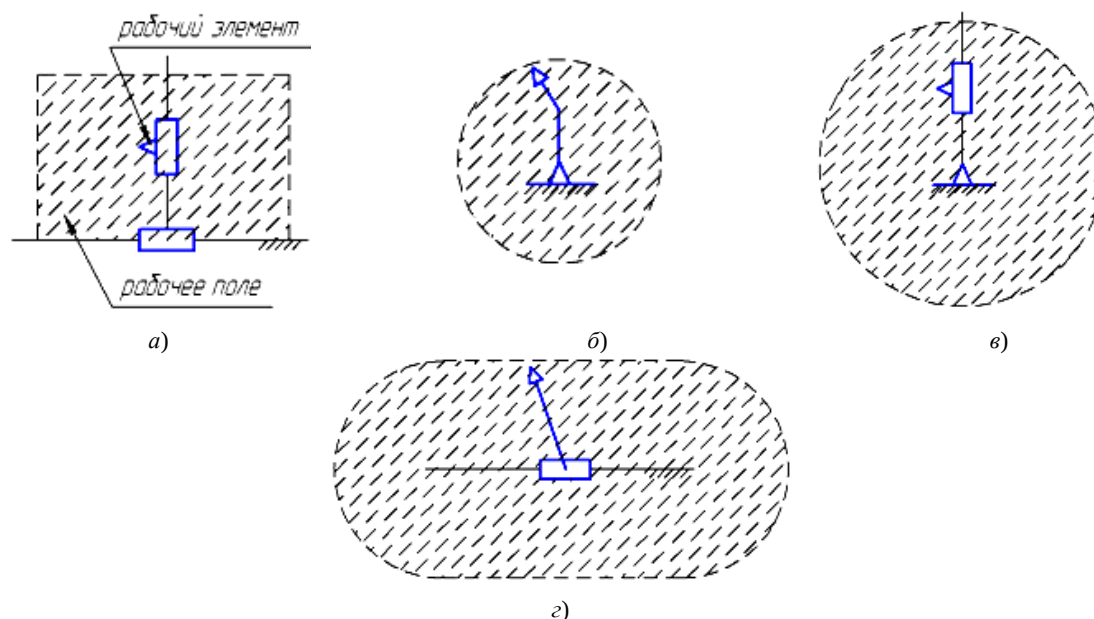


Рис. 1. Схемы исполнительных устройств с двумя прямолинейными координатными перемещениями (а), с двумя вращательными движениями (б), с вращательным и поступательным движениями (в), с поступательным и вращательным движениями (г)

В компоновках высокоэнергетического оборудования для раскроя материала наряду с наиболее распространенной декартовой системой координат, основанной на прямолинейных перемещениях (рис. 1, а), в ряде случаев исходя из геометрии формируемых поверхностей целесообразно применять системы координатных перемещений, построенные на вращательных движениях (рис. 1, б), а также на сочетании вращательного и поступательного движений (рис. 1, в, г), которые предопределяют кинематику обрабатывающей системы и ее рабочее поле. Такие системы, несмотря на определенные сложности реализации, имеют определенные преимущества как в технологическом, так и в эксплуатационном плане при вырезании изделий по криволинейным траекториям. Например, более высокая точность формирования круглых изделий, чем при формировании той же окружности за счет двух согласованных прямолинейных перемещений (см. рис. 1, а), обеспечивается формообразующей системой, основанной на сообщении рабочему элементу вращательного движения (см. рис. 1, б).

Следует отметить целесообразность разработки в обоснованных случаях модулей, основанных на механизмах-построителях, например циклоидального типа, позволяющих формировать разные по форме траектории (производящие линии поверхностей) [9] более экономично по сравнению с ЧПУ, что может быть эффективно в условиях серийного и массового производства.

От пространственных характеристик рабочей зоны оборудования зависят форма и габариты заготовок, геометрические параметры получаемых при раскрое материала деталей – плоских из листового материала и профильных из труб, фасонного проката и т.п. Параметры рабочей зоны влияют также на структуру модульных систем для перемещения заготовки (рис. 2) и энергетического источника как составных элементов обрабатывающей системы. Указанные модульные системы основаны на перемещении энергетического источника над заготовкой и могут быть вращательного и поступательного типов.

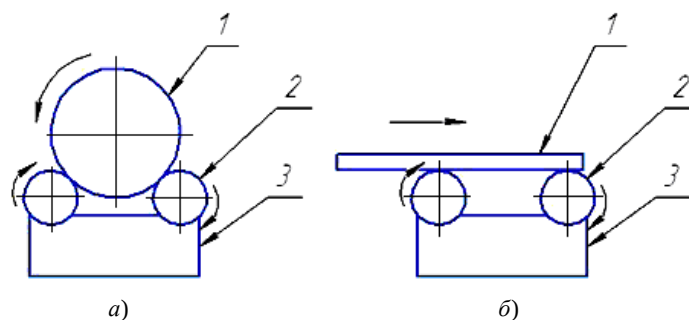


Рис. 2. Схемы модульных систем перемещения заготовки в виде трубы (а) и листа (б):
1 – обрабатываемая заготовка; 2 – транспортирующие элементы; 3 – силовая часть модуля

3. *Синтез рациональных схем формообразования и анализ возможностей системы координатных перемещений по формированию траекторий исполнительного звена.* Рассмотрим эту задачу на примере обработки энергетическим лучом фаски на плоской детали и сопряжения фасок между собой (рис. 3).

Кинематика формообразования поверхности энергетическим лучом аналогична обработке прямолинейной режущей кромкой, поскольку для создания образующей поверхности в обоих случаях не требуется исполнительное движение. При высокой энергоемкости рассматриваемого процесса линейное касание производящего элемента с номинальной поверхностью изделия обеспечивает минимальные затраты энергии. Перемещение прямой в пространстве в зависимости от формы направляющей линии, ее положения и вида движения (прямолинейное, вращательное, винтовое) позволяет формировать различные линейчатые поверхности, сочетания которых определяет геометрию обработанной поверхности – в виде плоскости, цилиндра, конуса, однополосного гиперболоида, геликоида и др.

Механика исполнительной системы станка базируется на кинематике реализуемых схем обработки.

Рассмотрим формообразование линейчатой поверхности в виде фаски на плоской заготовке. По геометрии можно выделить четыре группы фасок, ограниченных поверхностями – плоской, цилиндрической, конической или общего порядка, формообразование каждой из которых осуществляется определенной совокупностью движений. При формообразовании плоской фаски необходимы формообразующее движение $\Phi(P_1)$ и движение ориентации $Op(B_2)$, первое из которых обеспечивает перемещение образующей по прямолинейной направляющей, а второе служит для установки угла фаски. Фаска в виде цилиндрической поверхности формируется движениями $\Phi(P_1, P_2)$ и $Op(B_3)$. Сочетание прямолинейных движений P_1 и P_2 обеспечивает перемещение образующей по направляющей в виде плоской кривой, что определяет необходимость кинематической связи между ними. Движение $\Phi(P_1, P_2)$ может быть заменено движением $\Phi(B_1, B_2)$, образованным двумя согласованными вращательными движениями B_1 и B_2 .

Фаска, ограниченная конической поверхностью, формируется движением $\Phi(\Pi_1, B_3)$, при этом движение Π_1 служит для перемещения образующей по направляющей, а кинематически связанное с ним движение B_3 обеспечивает заданный угол α между образующей формируемой поверхности и поверхностью заготовки.

Для обработки фаски в виде поверхности общего порядка необходимо формообразующее движение $\Phi(\Pi_1, \Pi_2, B_3, B_4)$. Его элементарные движения Π_1 и Π_2 обеспечивают перемещение образующей по направляющей, вращательное движение B_3 – необходимый угол между образующей формируемой поверхности и поверхностью заготовки, а вращательное движение B_4 задает плоскость движения B_3 .

Кинематика формообразования определяется формой заготовки (плоская, круглая и т.п.), поверхностями, формирующими деталь, и геометрией сопряжения этих поверхностей. Например, две плоские фаски могут быть сопряжены по прямой, конической поверхности и плоскости (рис. 3). Каждое из этих сопряжений может быть получено различными сочетаниями исполнительных движений и последовательностью их выполнения, что необходимо учитывать при проектировании обрабатывающей системы станка.

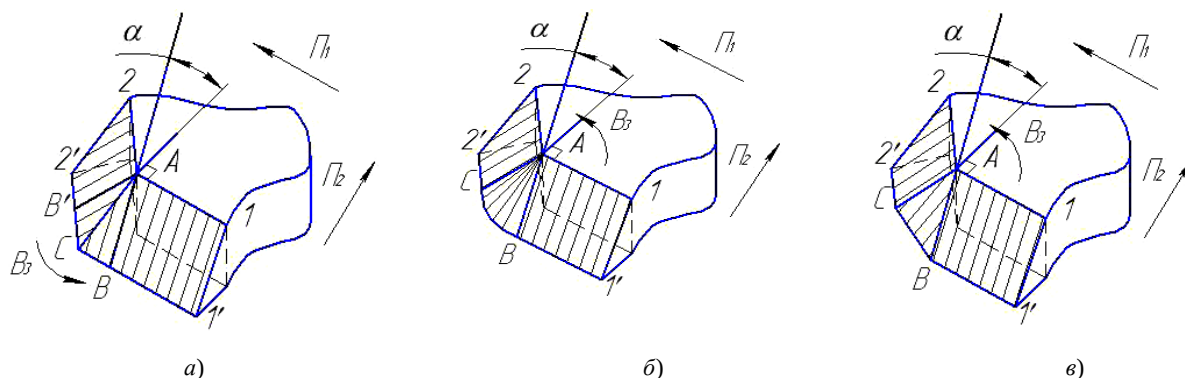


Рис. 3. Геометрия и кинематика формообразования сопряжения фасок по прямой (а), по конической поверхности (б), по плоскости (в)

Сопряжение двух фасок по прямой AC (рис. 3, а) возможно по различным схемам, из которых менее энергоемкой является следующая. Формируем поверхность фаски ($1'1AB$) до точки B , сообщив образующей AB движение $\Phi(\Pi_1, \Pi_2)$. Затем поворачиваем в плоскости $AB1'1$ движением $Op(B_3)$ образующую AB (направление энергетического луча) относительно точки A до плоскости второй фаски $AC2'2$. Далее, поворачивая образующую AB относительно точки A в плоскости второй фаски (поверхность $AC2'2$) до положения AB' , формируем эту фаску. При этой схеме необходимо также вспомогательное вращательное движение $B_{cn}(B_4)$, определяющее плоскость движения ориентации.

Сопряжение тех же плоских фасок по конической поверхности ACB (рис. 3, б) обеспечивается поворотом (движением $\Phi(B_3)$) ее образующей вокруг точки A из положения AB в положение AC . Сопряжение двух плоских фасок по плоскости ABC (рис. 3, в) обеспечивается поворотом $\Phi(B_3)$ образующей AB вокруг точки A в плоскости ABC до плоскости второй фаски $AC2'2$. В данном случае необходимо вспомогательное вращательное движение $B_{cn}(B_4)$, определяющее плоскость вращательного движения $\Phi(B_3)$.

Сопряжение двух фасок по прямой AC (рис. 3, а) возможно по различным схемам, из которых менее энергоемкой является следующая. Формируем вначале поверхность фаски ($1'1AB$) до точки B , сообщив образующей AB движение $\Phi(\Pi_1, \Pi_2)$. Затем поворачиваем в плоскости $AB1'1$ движением $Op(B_3)$ образующую AB (направление энергетического луча) относительно точки A до плоскости второй фаски $AC2'2$. Далее, поворачивая образующую AB относительно точки A в плоскости второй фаски (поверхность $AC2'2$) до положения AB' , формируем эту фаску. При этой схеме необходимо также вспомогательное вращательное движение $B_{cn}(B_4)$, определяющее плоскость движения ориентации.

Движение формообразования $\Phi(\Pi_1, \Pi_2)$ присуще всем станкам для раскрытия металла с декартовой системой позиционирования. Для осуществления движений $\Phi(B_3)$, $B_{cn}(B_4)$ в исполнительную систему необходимо ввести дополнительный модуль, позволяющий изменять создаваемыми им движениями положение образующей (направление энергетического луча), в том числе с сохранением неподвижной точки ее поворота. Модуль может быть построен на базе различных механизмов традиционного, нетрадиционного (параллельной кинематики) или смешанного типов.

Рассмотрим кинематику дополнительного модуля, основанную на традиционной механике (рис. 4). В простейшем случае он должен сообщать образующей два вращательных движения в перпендикулярных плоскостях относительно точки A (рис. 4, а). Но данная кинематика не позволяет формировать поверхности общего порядка и обеспечивать сопряжение фасок по прямой и плоскости, с обеспечением условия энергосбережения процесса резания. Для выполнения данного условия необходимо дополнить кинематику

модуля вращательным движением B_5 , осуществляющим поворот образующей в плоскости, перпендикулярной плоскости ее ориентации (рис. 4, б), или создать сложное движение формообразования $\Phi(B_3, B_4)$.

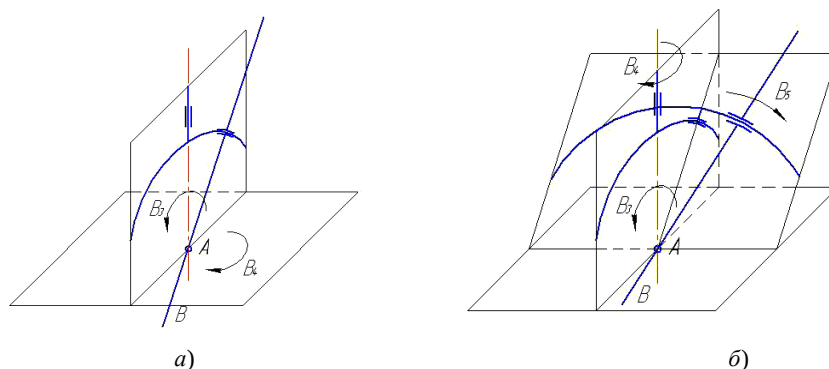


Рис. 4. Кинематика дополнительного модуля, создающего два (а) или три (б) элементарных движения

Построение модуля на базе механизма с параллельной кинематикой значительно упрощает структуру модуля и повышает его универсальность. Использование в качестве дополнительного модуля гексапода (механизма Стюарта) здесь не рационально, так как данный механизм имеет шесть степеней свободы, а исходя из геометрии и кинематики формообразования, для обеспечения оптимального положения энергетического луча по отношению к обрабатываемой заготовке достаточно не более трех степеней свободы. Этому условию отвечает трипод – механизм с тремя степенями свободы, осуществляющий два вращательных движения и одно поступательное. Благодаря этому он может обеспечить высокую точность позиционирования образующей (энергетического луча) и возможность ее поворота в любой плоскости из любого положения. Возможно применение и других механизмов. Автономность дополнительного модуля обеспечивает возможность модернизации существующих станков portalного типа.

4. *Разработка исполнительных модулей, осуществляющих передачу потоков информации и энергии.* Для нормальной работы оборудования необходимо обеспечить требуемые точность позиционирования и скорость перемещения исполнительных органов с учетом мощности воздействующего на заготовку энергетического потока, сохраняя во времени кинематические и энергетические параметры движения,

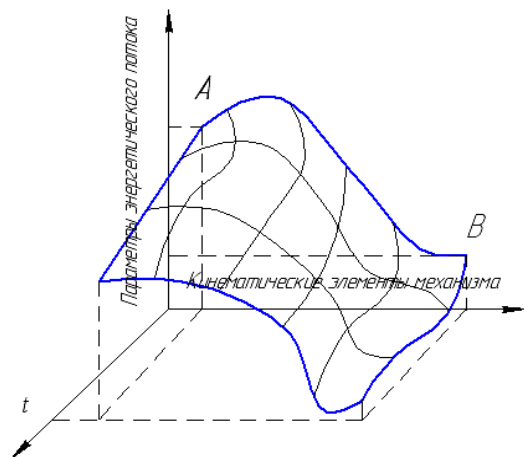


Рис. 5. Графическое представление изменения параметров энергетического потока

что достигается за счет соответствующей конструкции исполнительных механизмов. Следовательно, необходим комплексный подход к решению конструкторских задач. Например, применительно к высокоточным механизмам при анализе их конструкции и функционирования целесообразно рассматривать изменение энергетического потока с момента подачи к оборудованию до преобразования его в энергию движения с требуемыми характеристиками. Поступающая в исполнительную систему энергия проходит ряд состояний, характеризуемых мощностными и информационными параметрами. Прохождение энергетического потока через любое устройство связано с изменением этих параметров и графически может быть представлено траекторией точки, движущейся в n -мерном пространстве состояний от некоторого начального состояния A до конечного состояния B (рис. 5).

В каждый момент времени в любой кинематической паре механизма состояние энергетического потока характеризуется значениями его параметров.

Текущее состояние энергетического потока представляет результат его предшествующих изменений. Преобразование энергетического потока из состояния A в состояние B зависит от конструкции и свойств исполнительного механизма. Различным траекториям от A до B соответствуют определенные конструктивные исполнения данного механизма. Изменение поверхности отклика во времени определяется нестабильностью характеристик элементов механизма вследствие их изнашивания и других эксплуатационных факторов.

Таким образом, необходим комплексный подход к оценке свойств проектируемых механизмов, рассматривая их кинематические и конструктивные характеристики в совокупности, так как информационное и энергетическое преобразования осуществляются одновременно.

Рассмотрим эту задачу на примере анализа механизмов, обеспечивающих прямолинейное поступательное перемещение исполнительного органа (рис. 6). По кинематике и конструкции данные механизмы различны, но параметры создаваемых движений должны удовлетворять предъявляемым требованиям в отношении точности, быстродействия и др. Критерием, определяющим предпочтение того или иного исполнения механизма, является комплексная характеристика, определяемая назначением механизма и его свойствами.

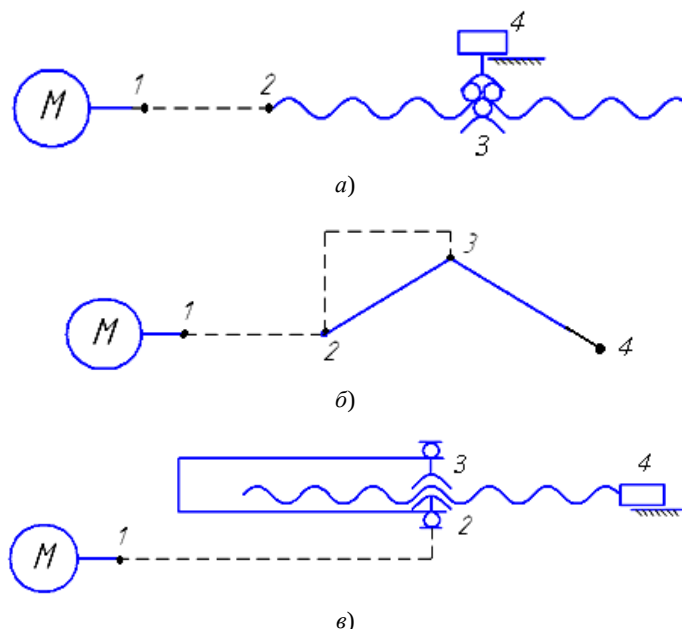


Рис. 6. Кинематические структуры исполнительных механизмов типа винт-гайка качения (а), волновой передачи винт – гайка (б) и рычажного механизма (в)

Механизм (рис. 6, а) представляет собой передачу винт – гайка качения. Энергетический поток, передаваемый по кинематической цепи от двигателя ходовому винту и далее исполнительный винтовой паре, преобразуется, определяя силовую характеристику движения. Траектория движения исполнительного звена обеспечивается здесь конструктивно – формой конечного элемента, в данном случае прямолинейной направляющей и не зависит от характеристик движения ведущего звена (ходового винта). При этом непрямолинейность траектории не может быть меньше непрямолинейности направляющей. Повышенные требования к точности и долговечности тел качения, винта и гайки, направляющих, а также необходимость в надежной защите этих элементов обуславливают относительно высокую стоимость данного механизма.

Второй механизм (рис. 6, б) основан на волновой передаче винт – гайка. Наличие волнового элемента в его кинематике позволяет более точно дозировать энергетический поток, что обеспечивает высокую точность перемещения исполнительного

звена ($0,1 - 0,0025$ мм). Прямолинейность же траектории движения, как и в первом случае, определяется точностью исполнения направляющей.

Третий механизм (рис. 6, в) рычажного типа, его вращательные пары 2 и 3 соединены между собой кинематически внутренней связью 2 – 3 в соответствии с требуемой траекторией движения конечного элемента 4, что позволяет формировать этим механизмом различные траектории, включая и прямолинейную. Заметим, что в данном случае траектория движения формируется не конструктивно, как в первых двух случаях, а кинематически, что позволяет управлять ею для обеспечения требуемой точности, что принципиально невозможно в механизмах с винтовой передачей. Необходимая точность перемещения (позиционирования) достигается во всех рассмотренных схемах с помощью системы обратной связи.

Следует отметить преимущество применения третьего механизма при необходимости перемещения рабочего органа станка по криволинейной траектории. Если для получения криволинейного движения исполнительного элемента с модулями, в которых траектория движения определяется прямолинейными направляющими, необходимо два модуля, то модуль с внутренней связью решает данную задачу самостоятельно. Таким образом, при меньшей сложности он обладает теми же технологическими возможностями, что и два модуля с прямолинейными направляющими. Данное обстоятельство определяет преимущество модулей с внутренней кинематической связью.

Следует отметить, что использование в структуре оборудования модулей с механизмами, определяющими траекторию выходного звена кинематически, обеспечивает высокую надежность, ремонтопригодность, универсальность, а наличие элементов, позволяющих осуществлять точное дозирование энергетического потока, – и повышенную точность позиционирования.

Жесткость исполнительных механизмов обрабатывающей системы при их проектировании должна соответствовать заданной точности обработки. Эта задача решается известными методами, применяемыми, например, при проектировании металлорежущих станков.

5. *Анализ возможностей модулей по форме траекторий создаваемых движений.* Траектория создаваемого модулем движения и возможность управления ею устанавливаются на основе анализа математической модели схемы обработки. Например, схема обработки, основанная на двух вращательных движениях (см. рис. 1, б), и соответствующий ей модуль обеспечивают перемещение рабочего органа по гипотили эпициклоидальным кривым, основными формами которых в зависимости от направления враща-

тельных движений и геометрических параметров схемы обработки могут быть прямая, окружность, эллипс и другие линии [9].

Заключение. В соответствии с изложенными основными этапами разработки оборудования модульного типа для раскроя материалов энергетическим лучом являются: выработка общей концепции проектирования; обоснование компоновки, типов и структуры модулей системы, их совместимости и относительной ориентации; синтез рациональных схем формообразования, системы координатных перемещений и анализ ее возможностей по формированию траекторий исполнительного движения; разработка исполнительных модулей с учетом передаваемых потоков информации и энергии. При этом методологической основой модульного построения технологического оборудования для раскроя материалов энергетическим лучом, решения соответствующих задач его функционального и компоновочного проектирования служат системная модель технологии формообразования и структура способа обработки. Использование данного подхода позволило предложить рациональную технологию формирования линейчатых поверхностей и их сопряжений применительно к обработке фасок на изделиях, получаемых при раскрое заготовок энергетическим лучом. Полученные результаты могут быть использованы как при проектировании нового, так и при модернизации существующего технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
2. Данилов, В.А. Направления развития оборудования для плазменной и гидроабразивной резки / В.А. Данилов, Р.А. Киселев, В.С. Крутько // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 11 апр. 2012 г.); редкол.: Б.М. Хрусталева (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2012. – С. 41 – 42.
3. Автоматизированные комплексы плазменной резки / В.И. Бородавко [и др.] // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 11 апр. 2012 г.); редкол.: Б.М. Хрусталева (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2012. – С. 60 – 61.
4. Автоматизированный комплекс гидроабразивной резки / В.И. Бородавко [и др.] // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 11 апр. 2012 г.); редкол.: Б.М. Хрусталева (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2012. – С. 62 – 63.
5. Смирнов, А.И. Анализ перспектив развития методов формообразования в машиностроении / А.И. Смирнов. – М.: НИИмаш, 1982. – 49 с.
6. Данилов, В.А. Общие принципы синтеза рациональных технологий формообразования сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов // Мир технологий. – 2003. – № 1. – С. 61 – 71.
7. Данилов, В.А. Синтез внутренних связей кинематических групп при проектировании металлорежущих станков / В.А. Данилов // Машиностроение: республ. межведомств. сб. науч. тр., Вып. 25. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 312 – 318.
8. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков / Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208 с.
9. Данилов, В.А. Кинематическое формирование производящих линий поверхности при обработке резанием на базе циклоидальных кривых / В.А. Данилов, Л.А. Данилова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Прикладные науки. – 2004. – № 12. – С. 44 – 53.

Поступила 25.06.2012

FEATURES OF BUILDING SYSTEMS PROCESS EQUIPMENT SHAPE MODULAR TYPE MATERIAL CUTTING ENERGY BEAM

V. DANILOV, R. KISELYOV, V. KRUTKO

The tasks of the functional layout and design of process equipment module type for cutting materials with concentrated energy sources, taking into account the directions of its development, the ongoing shaping of technology are considered. The characteristics of the main stages of development of such equipment, the principles of consistency and continuity of technical solutions in a modular design are given. On the basis of the technology shaping system model and the structure of the processing method, tasks of typification and formation of equipment units, synthesis of rational schemes of forming by beam energy of ruled surfaces and their conjugation with each other, ways of realization of schemes of forming by respective modules when creating new and upgrading the existing engineering equipment are observed.