

## СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

УДК 621.01

### АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ С ПОЗИЦИЙ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ СИСТЕМ

*канд. техн. наук, проф. А.И. ГОЛЕМБИЕВСКИЙ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассмотрены примеры произвольно выбранных способов формообразующей обработки, основанных на методах удаления материала с заготовки, перераспределения материала заготовки и прибавления материала к заготовке. Показано, что любой способ формообразующей обработки независимо от метода воздействия на материал заготовки, вида используемой при этом энергии и количества энергетических источников характеризуется со стороны целостности как относительно обособленный объект из совокупности всех известных способов, объединенных общей целью: со стороны функции – как процесс формообразования поверхностей заданной формы и размеров с определенными физико-механическими свойствами, т.е. как процесс качественного изменения материала заготовки; со стороны структуры – как множество целесообразно связанных элементов (приемов, их последовательности и правил выполнения). Показано, что любой способ формообразующей обработки как целесообразно организованное техническое решение (техническая идея) является технической системой, обозначаемой как S-система.*

**Введение.** С точки зрения науки принципиальной особенностью ее развития во второй половине XX столетия является возникновение общей теории систем. Автор этой теории Л. фон Берталанфи так определил ее сущность [1]: «Общая теория систем – это логико-математическая область, задачей которой является формулирование и вывод общих положений, возможных при рассмотрении систем вообще». Наука о системах занимается свойствами отношений исследуемых систем (объектов), а не их экспериментальными свойствами, и ее интеграцией с основанными на эксперименте традиционными научными дисциплинами. Закономерность возникновения науки о системах можно объяснить тем, что к моменту ее появления в различных областях теории и практики, основанных на экспериментальных исследованиях, сложился значительный массив совокупностей операций теоретического и практического освоения действительности, подчиненных решению конкретной задачи. Эта наука, базирующаяся на логике, содержит минимальное количество допущений, основным из которых является понятие системы.

Известны многочисленные попытки дать четкое определение системы. Как правило, они не альтернативны, а взаимно дополняют друг друга. Вместе с тем все известные определения понятия системы можно разделить на две принципиально различные группы. Первую составляют определения, в которых предпринимается попытка унифицировать всю системную концепцию путем формулирования некоторого единого всеобщего определения системы на основе общих законов, граничащих с философскими. Во вторую группу входят определения, характеризующие систему как некоторый фрагмент объективной реально существующей действительности, вычлененной для достижения заданной цели. При этом само вычленение зависит как от характера реальности, так и от познавательных или практических потребностей. Понятия второй группы включают субъективный фактор. Тем не менее применительно к конкретному исследованию в области естественных наук более корректны определения понятия системы, составляющие именно эту группу, так как в данном случае теория систем имеет свою сферу применения, в то время как определения первой группы фактически приводят к утрате качественной специфики этого понятия. Наиболее приемлемым для настоящей работы является одно из известных определений понятия системы, относящегося ко второй группе.

Система – это совокупность целесообразно организованных функционально связанных элементов, участвующих в процессе достижения определенной цели, выступающих по отношению к другим системам и окружающей среде как нечто единое [2]. Качественная определенность системы обусловлена ее структурой и функцией. Будем понимать под структурой схему связей и отношений между элементами системы, а под функцией – порядок ее функционирования, или осуществление процесса.

**Способ формообразующей обработки как S-система.** Из приведенного определения системы следует, что любой способ формообразующей обработки может быть отнесен к категории системных в том случае, если он обладает целостностью, а его свойства и функции не сводятся непосредственно к свойствам и функциям составляющих его элементов. Для доказательства данного тезиса рассмотрим ряд примеров.

В основу большинства зубодолбежных станков для обработки цилиндрических зубчатых колес положен пионерный способ обкатного зубодолбления, предложенный в конце XIX столетия Феллоу Гир-

Шепером. По этому способу (рис. 1) заготовку 1 относительно долбяка 2 устанавливают в плоскости  $A-A$ , совпадающей с плоскостью осей заготовки и долбяка. Процесс получения зубчатого колеса осуществляют в результате сообщения долбяку и заготовке нескольких формообразующих и вспомогательных движений. Образующая зубчатого колеса – прямая, параллельная оси заготовки, – воспроизводится элементарным формообразующим поступательно-возвратным движением  $\Phi\nu(\Pi_1)$  долбяка, а направляющая, имеющая форму профиля поперечного сечения нарезаемого колеса, – сложным движением обката  $\Phi s(B_2B_3)$ , состоящим из двух функционально связанных элементарных движений: вращения  $B_2$  долбяка и вращения  $B_3$  заготовки. На начальном этапе одновременно с указанными движениями заготовке (или долбяку) сообщают движение  $Vp(\Pi_4)$  радиального врезания на высоту зуба нарезаемого колеса. В течение всего цикла обработки долбяку (или заготовке) сообщают движение  $Vc(\Pi_5)$  «отскока», синхронизированное с движением  $\Phi\nu(\Pi_1)$  долбяка. Движение отскока предназначено для отвода долбяка от заготовки при его возвратном ходе с целью устранения скольжения зубьев долбяка о профилируемые зубья колеса.

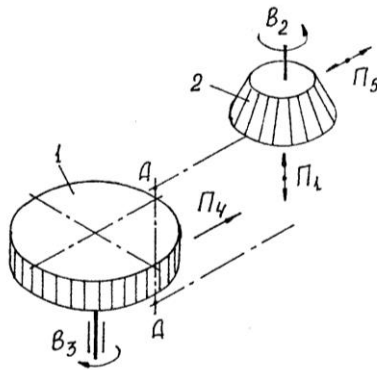


Рис. 1. Схема способа долбления прямозубых цилиндрических колес

В приведенном примере способ формообразующей обработки характеризуется некоторой совокупностью приемов, т.е. целенаправленных действий, совершаемых над материальными объектами (заготовкой и долбяком) для достижения конкретной цели – получения прямозубого колеса внешнего зацепления. Наряду с приемами целенаправленных действий в качестве признаков способа выступают последовательность приемов и правила выполнения отдельных приемов – определенность установки заготовки относительно направления движения врезания и существенно меньшей скорости движения врезания  $Vp(\Pi_4)$  и скорости обката  $\Phi s(B_2B_3)$  по сравнению со скоростью резания  $\Phi\nu(\Pi_1)$ . Следует отметить, что выполнение отдельных приемов не имеет причинной связи с технологическими режимами выполнения операции зубодолбления. Таким образом, целенаправленная совокупность приемов, выполняемых в заданной последовательности с определенными правилами выполнения отдельных приемов, обеспечивает качественное изменение объекта производства – твердого тела. В этом заключается целостность пионерного способа обкатного зубодолбления и его функция.

Чистовую упрочняющую обработку сферической поверхности заготовки 1 осуществляют механическим воздействием (рис. 2) посредством плашек 2 и 3, профиль которых соответствует образующей обрабатываемой поверхности. Причем плашка 3 неподвижна, а плашка 2 получает движение  $\Phi\nu(\Pi_1)$  – аналог скорости резания. Фрикционный контакт между сферой и плашками обеспечивает вращение заготовки и обработку ее сферической поверхности. Особенностью рассматриваемого способа является также то, что определенность установки (базирования) заготовки обеспечивается инструментом – обкатными плашками.

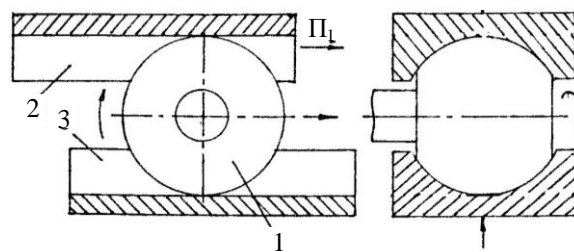


Рис. 2. Схема способа полноконтактной обкатки сферической поверхности

Данный способ основан на пластическом деформировании поверхностного слоя заготовки, т.е. на перераспределении материала ее поверхностного слоя. Целесообразно организованная совокупность приемов воздействия на обкатываемую поверхность, последовательность и правила выполнения этих приемов характеризуют приведенный способ как целенаправленный технический объект, обеспечивающий качественное изменение объекта производства. В этом заключается его целостность и функция.

На рисунке 3 показана схема способа алмазно-электролитического кольцевого сверления, используемого для обработки отверстий в твердых сплавах, закаленных сталях, магнитных сплавах и других токопроводящих труднообрабатываемых материалах. По этому способу обработку ведут алмазным сверлом 1, закрепленным в шпинделе станка с помощью специальной головки, которая кроме передачи движения вращения  $\Phi\nu(B_1)$  и подачи  $\Phi s(\Pi_2)$  обеспечивает также подачу электролита под давлением  $P_3$  во внутреннюю полость инструмента. Рассверливаемая заготовка 2 является анодом, а сверло 1 – катодом.

Процесс обработки основан на использовании трех видов первичного воздействия: механического и двух видов электрического – электрохимического и электроэрозионного. Наиболее интенсивный сьем материала происходит при преимущественном механическом воздействии. В этом случае абразивный сьем должен осуществляться при высоких удельных давлениях. В результате достигается высокая производительность, но происходит интенсивный износ инструмента. Если решающее значение при выполнении операции имеет обеспечение высокой стойкости инструмента, то основную роль в процессе съема припуска должно иметь электрохимическое воздействие. При определенных режимах обработки существенное значение может иметь электроэрозионное воздействие, которое обусловлено интенсивными электроэрозионными разрядами, происходящими вследствие контактирования токопроводящей связки алмазного слоя инструмента с обрабатываемой поверхностью.

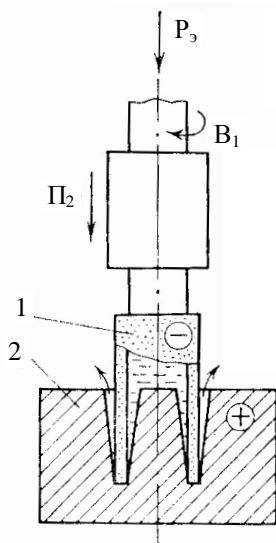


Рис. 3. Схема способа алмазно-электролитического сверления

Анализируя данный способ кольцевого сверления, замечаем, что он обеспечивает качественное изменение объекта производства. В этом состоит целостность способа и его функция. Структура способа состоит из следующих целесообразно организованных элементов: приемов (установка заготовки 2 относительно инструмента 1, сообщение инструменту движений  $\Phi v(B_1)$  и  $\Phi s(P_2)$ , подача электролита под давлением  $P_3$ , подключение инструмента и заготовки к источнику постоянного напряжения); последовательности приемов (вначале установка заготовки, затем последовательно сообщение движений скорости резания и подачи инструменту, подача электролита в зону обработки и подключение пары инструмент – заготовка к источнику напряжения); правил выполнения приемов (определенность базирования заготовки относительно инструмента, существенно большей скорости движения  $\Phi v(B_1)$  по сравнению со скоростью  $\Phi s(P_2)$ , величина давления электролита и напряжения в зоне обработки). Эффективность рассматриваемого способа еще более возрастает при дополнении его четвертым видом (методом) воздействия на заготовку – вибрационным.

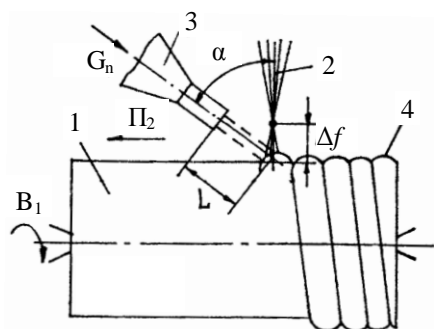


Рис. 4. Схема способа газоплазменной лазерной наплавки

При газоплазменной лазерной наплавке (рис. 4), основанной на прибавлении вещества к заготовке, функцию инструмента выполняет концентрированный источник энергии – луч лазера, расплавляющий газопорошковую смесь (прибавляемое вещество). По этому способу формообразующей обработки заготовку 1 устанавливают в шпиндель технологической машины по линии центров под смонтированными на суппорте источником лазерного луча 2 и питателем 3 газопорошковой смеси. Затем заготовке сообщают вращательное движение скорости наплавки  $\Phi v(B_1)$ , а суппорту – продольную подачу  $\Phi s(P_2)$ . Одновременно с движением подачи на поверхность заготовки направляют луч лазера и поток газопорошковой смеси. Этот поток под воздействием лазерного луча переходит в жидкое состояние и наплавляется на заготовку в виде спирального валика. На процесс формирования валика оказывают влияние коэффициент  $\Delta f$

фокусировки луча и параметры  $G_n$ ,  $L$ ,  $\alpha$  подачи газопорошковой смеси. Рекомендуемая скорость формообразования поверхности (геометрическая сумма векторов скоростей движений  $B_1$  и  $P_2$ ) равна 8,3...50 мм/с. Способ газоплазменной лазерной наплавки также характеризуется некоторой совокупностью приемов, т.е. целенаправленных действий, последовательностью и правилами их выполнения для достижения конкретной цели – наплавки материала на поверхность заготовки, что обеспечивает качественное изменение объекта производства. В этом заключается целостность данного способа и его функция.

Анализ произвольно выбранных способов формообразующей обработки показывает, что они подпадают под приведенное выше понятие технической системы. Аналогично можно рассматривать и другие способы, независимо от вида энергии, используемой для воздействия на твердое тело. Следовательно, это позволяет утверждать, что любой способ формообразующей обработки одновременно является системой. Можно целенаправленно изменять структуру и функцию исходных способов, называемых в научно-технической экспертизе изобретений аналогами, и тем самым получать качественно новые способы с иной структурой и функцией, обеспечивающие достижение новой конкретной цели. Естественно, структурные изменения могут охватывать не только отдельные структурные элементы, но и значительно преобразовывать структуру и функцию, что влечет за собой появление новых способов, в том числе подлежащих правовой охране. Однако любой новый способ формообразующей обработки будет характери-

зоваться со стороны целостности как относительно обособленный объект из совокупности всех известных и возможных новых способов, объединенных общей пионерной или первообразной целью: со стороны функции – как процесс формообразования поверхностей заданной формы и размеров с определенными физико-механическими свойствами, т.е. как процесс качественного изменения твердого тела; со стороны структуры – как множество целесообразно связанных элементов (приемов, их последовательности и правил выполнения). Объекты – способы формообразующей обработки, обладающие совокупностью названных свойств, – являются результатом творческого поиска и создаются для решения конкретных задач. Выделим способы формообразующей обработки из многообразия системных объектов в отдельный класс S-систем, объединенных общей пионерной целью – получение на твердом теле поверхностей заданных геометрических форм и размеров.

**Цель как критерий целесообразности развития S-систем.** В широком смысле функцию системы можно определить как ее способность к целесообразной деятельности в рамках более сложной системы, в состав которой она входит. Целесообразная деятельность S-систем заключается в воздействии на твердое тело в пространстве и времени, т.е. внешней среде, характеризуемой системой координат и временем как независимой переменной с целью получения из исходного объекта – заготовки готового изделия с заданными геометрическими формами, размерами и физико-механическими свойствами. Наряду с названной целью, которую можно рассматривать как первообразную, определяющую основную сущность функционирования всех S-систем, в соответствии с потребностями практики машиностроения ставится ряд конкретных производных целей при создании таких систем. Как показывает анализ патентных источников, производной целью может быть повышение точности или производительности обработки, увеличение периода стойкости инструмента, снижение энергоемкости процесса обработки, достижение новых ранее неизвестных совокупностей свойств изделий, исключение из процесса некоторых промежуточных фаз и т.п. При создании новых S-систем на уровне изобретений цель при переходе от прототипа к новому техническому решению изменяется скачкообразно как при количественном, так и при качественном ее задании. При материализации новой системы в виде технологической операции цель, заданная количественно, может быть оптимизирована через управляемые независимые параметры процесса обработки. Все это приводит к периодической переоценке места и значимости разных S-систем и их групп на основе широкого комбинирования различных вариантов структурных элементов, их последовательностей и правил выполнения. Проиллюстрируем изложенное на примере обкатного зубодолбления.

Принципиальной особенностью зубодолбления является дискретный характер резания, так как срезание стружки происходит только при рабочем ходе долбяка при его поступательно-возвратном движении. Количество резов обратно пропорционально скорости обката, определяемой круговой подачей долбяка. При этом основная масса припуска при зубодолблении срезается вершинными и входными режущими кромками зубьев долбяка. Причем толщина стружек, срезаемых режущими кромками на окружностях выступов, приблизительно одинакова, а толщина стружек, срезаемых выходными режущими кромками, значительно меньше толщин стружек, срезаемых входными режущими кромками на одноименных окружностях. Таким образом, для зубодолбления характерны неодинаковость толщин стружек на различных режущих кромках зубьев долбяка и возрастание толщин стружек от основания к вершине зубьев долбяка. При прохождении каждым зубом долбяка зоны обработки прослеживаются следующие этапы процесса срезания стружки [3]:

- период, начинающийся с момента начала резания вершинной и входной режущими кромками до вступления в зону обработки выходной режущей кромки: стружка имеет *L*-образную форму;
- период резания вершинной, входной и выходной режущими кромками: стружка имеет *U*-образную форму;
- период выхода зуба долбяка из зоны резания: стружка имеет *L*-образную форму, постепенно переходящую в *I*-образную.

При малых круговых подачах, принятых при зубодолблении по традиционной схеме за один-три прохода наиболее распространен тип *U*-образного схода стружки. При этом выходная режущая кромка срезает тонкие стружки, соизмеримые с естественным радиусом закругления режущей кромки. При таком характере резания более толстая вершинная стружка прижимает стружку, сходящую с выходной режущей кромки, к передней поверхности и затрудняет ее сход. Стружка, срезаемая вершинной режущей кромкой, отклоняется от стружки, сходящей с входной режущей кромки, и подвергается высокой растягивающей нагрузке. Это приводит к разрыву промежуточной зоны стружки между вершинной и входной режущими кромками зуба долбяка. Затем обе стружки сходят беспрепятственно и не вызывают высоких механических или температурных деформаций на границе между вершинной и входной режущими кромками. Тонкая стружка, срезаемая выходной режущей кромкой зуба, также отделяется от толстой стружки, сходящей с вершинной режущей кромки. Эта стружка выдавливается толстыми стружками в зазор между боковой стороной зуба долбяка и обрабатываемой поверхностью, где она истирается на участке стыка вершинной и выходной режущих кромок. Здесь образуется лунка локального износа по пе-

редней поверхности. При малых круговых подачах расстояние от выходной режущей кромки до центра этой лунки весьма мало. Развитие лунки локального износа приводит к разрушению выходной режущей кромки на участке ее возникновения заметно раньше общего допустимого износа зубьев. Таким образом, лунка локального износа лимитирует период размерной стойкости зуборезного долбяка.

Поиск путей повышения периода размерной стойкости долбяков на основе приведенного анализа схода стружки при зубодолблении обозначил современную тенденцию в области конструирования и производства зубодолбежных станков ведущих станкостроительных фирм – переход от традиционного одно-трех проходного способа зубодолбления к многопроходному при шести-десяти проходах с увеличенными на порядок круговыми подачами до 3,5...4 мм / дв. ход долбяка на предварительных проходах. Такое изменение правила выполнения движения обката при сохранении производительности традиционного зубодолбления с малыми круговыми подачами обеспечивает повышение периода размерной стойкости зуборезных долбяков. Объясняется это следующими обстоятельствами. С увеличением круговой подачи толщина стружки возрастает, одновременно уменьшается ее длина, т.е. происходит перераспределение параметров сечения стружки. При этом количество срезаемых стружек уменьшается примерно на порядок. Увеличение толщины стружек, срезаемых выходной режущей кромкой, обеспечивает благоприятные условия их схода и, как следствие, лунку локального износа сдвигает к центру передней поверхности зуба. Интенсивность развития лунки локального износа заметно замедляется. Кроме того, каждый зуб долбяка, срезая существенно меньшее количество стружек, меньше нагревается. В результате возрастает термоциклическая стойкость режущих кромок зубьев. В итоге время до разрушения выходной режущей кромки увеличивается, приближаясь к времени общего допустимого износа зубьев долбяка.

При многопроходном зубодолблении с увеличенными круговыми подачами каждому проходу предшествует радиальное врезание на часть высоты зуба, совмещаемое с движением профолирования (обката). После каждого врезания в течение полного оборота заготовки осуществляется соответствующий проход. В итоге при большом количестве проходов из-за дополнительного поворота заготовки на каждом этапе врезания, предшествующем проходу, увеличивается машинное время обработки за счет увеличения суммарного времени врезания. Устранить данный недостаток, т.е. повысить производительность многопроходного зубодолбления, позволяет способ многопроходного зубодолбления [4, 5], по которому на предварительных проходах врезание осуществляется непрерывно по спирали. В данном случае производная цель обеспечивается за счет одновременного выполнения двух приемов (движений врезания и обката) и правил их выполнения на предварительных проходах.

**S-система как объединение кинематической, базирующей и энергетической подсистем.** Рассматривая различные S-системы (способы формообразующей обработки), несмотря на их большое многообразие, уровень сложности (развитости), вид используемой энергии и характер функционирования, в их структуре можно выделить некоторые наиболее общие составляющие, присущие всем известным и возможным новым S-системам.

Рассмотренные примеры S-систем подтверждают известный тезис о том, что процесс воздействия на твердое тело при формообразующей обработке осуществляется при определенных относительных движениях заготовки и инструмента. Определенность траекторий формообразующих движений обеспечивается схемой формообразования поверхности, которая определяет закономерности относительного движения заготовки и инструмента без учета физических явлений, протекающих в зоне обработки, действующих сил, температур и активных сред. По существу схема формообразования является графическим представлением соответствующего способа. Следовательно, схема формообразования характеризует общую составляющую S-систем – кинематическую. Она относительно выделена, наделена определенной структурой и функцией. Будем называть ее кинематической подсистемой S-системы.

Второй общей составляющей S-систем является совокупность элементов, обеспечивающих определенность исходной установки заготовки относительно инструмента или в общем случае относительно объекта, воздействующего на заготовку. Эта составляющая S-систем обеспечивается схемой базирования заготовки, реализуемой в конкретных технологических машинах различными по конструкции устройствами. Схема базирования, являясь составной частью S-системы, также характеризуется относительной выделенностью, наделена определенной структурой и функцией. Такую общую составляющую S-систем будем называть базирующей подсистемой.

Процесс воздействия на твердое тело осуществляется посредством подвода в зону обработки энергии различного вида. Вид используемой энергии определяет вид физического или физико-химического воздействия, играющего роль в изменении исходного состояния твердого тела: в снятии материала удаляемого слоя, в прибавлении материала к заготовке или в перераспределении материала твердого тела. Определенность энергетического воздействия на твердое тело обеспечивается схемой подвода энергии, характеризующей закономерности подвода энергии непосредственно для технологических целей без учета ее преобразований, происходящих в обрабатываемом материале. Схема энергетического воздействия – третья общая составляющая, присущая всем S-системам. Так же как и две предыдущие, она харак-

теризуется относительной выделенностью и имеет определенную структуру и функцию. Будем называть ее энергетической подсистемой.

S-системы как объекты техники имеют жесткую организацию. Качественная определенность их обусловлена структурой и функцией. Следовательно, системное описание любой S-системы есть множество

$$S_s = \{\{Q_i\}, \{V_i\}, \{F_i\}\},$$

где  $S_s$  – системное описание S-системы (способа формообразующей обработки);  $\{Q_i\}$  – конечное множество элементов и их свойств;  $\{V_i\}$  и  $\{F_i\}$  – соответственно конечное множество связей и функций.

Системное описание строится по многоуровневому принципу путем последовательной декомпозиции подсистем. В наиболее общем виде, т.е. на первом уровне разбиения, абсолютное большинство способов формообразующей обработки, определяемых как S-система, можно представить в виде множества относительно обособленных трех подсистем:

$${}_1S_s = \{{}^kM, {}^oM, {}^aM\},$$

где  ${}^kM$ ,  ${}^oM$ ,  ${}^aM$  – соответственно кинематическая, базирующая и энергетическая подсистемы.

Существенным признаком структуры технической системы является назначение (свойство) ее элементов. Преобразование вещества твердого тела в S-системах может быть механическим, физическим, химическим или смешанным, объединяющим первые три в различных сочетаниях. Этот процесс требует энергии определенного вида, а ее передача невозможна без информации. Отсюда энергетические, информационные или вещественные свойства элементов S-системы.

Структурные свойства зависят от характера связей. Выделим энергетические, информационные и вещественные связи, определив их в том же смысле, что и соответствующие им свойства. Энергетические связи предназначены для переноса энергии, а информационные – информации. Вещественные связи переносят вещество твердого тела, но одновременно энергию и информацию, так что характер связи определяется удельным весом соответствующего компонента. Связь между элементами S-системы зависит от природы воздействия на твердое тело.

В приведенном на рисунке 1 способе зубодолбления функция кинематической подсистемы – обеспечение таких условий механического воздействия, при которых долбяк удаляет вещество твердого тела по линии зуба; функция базирующей подсистемы – обеспечение определенности и повторяемости механического воздействия; функция энергетической подсистемы – механическое воздействие на твердое тело (заготовку) посредством долбяка. Функция – целенаправленное поведение каждой из подсистем, одновременно определяет ее назначение (свойство). При функционировании анализируемой S-системы энергия механического воздействия подводится через кинематическую подсистему, а количество вещества, удаляемого в единицу времени, определяет потребление энергии во времени. Кинематическая подсистема несет также информацию о траектории исполнительных движений, т.е. осуществляет обмен информацией между взаимодействующими объектами – инструментом и заготовкой. Эта информация определяет форму зубчатого венца, воспроизводимого на заготовке.

Таким образом, можно утверждать, что энергетическая и кинематическая подсистемы пересекаются. Связь между подсистемами носит преимущественно вещественно-энергетический характер. Отметим, что кинематический обмен информацией между объектами кинематической подсистемы, т.е. на уровне разбиения кинематической подсистемы, требует некоторой энергии, которая является энергией функционирования данной подсистемы и, следовательно, для воздействия на твердое тело не используется. В станковедении такая энергия называется энергией холостого хода.

Следовательно, системное описание способа зубодолбления на первом уровне имеет вид:

$${}_1S_s = \{{}^kM \cap {}^aM, {}^oM\}.$$

В способе полноконтактной обкатки сферической поверхности по рисунку 2 энергетическая и кинематическая подсистемы пересекаются. Связь между ними носит преимущественно энергетический характер. Кинематическая подсистема несет также информацию о траектории исполнительного движения. Определенность базирования обеспечивается инструментом. Следовательно, базирующая подсистема и характеристический образ  $P$  инструмента пересекаются. Такой вид связи характерен для S-систем, в которых функция базирования полностью или частично перенесена на инструмент или в общем случае на объект, выполняющий его функцию. Таким образом, системное описание данного способа имеет вид:

$${}_1S_s = \{{}^kM \cap {}^aM, {}^oM \cap P\}.$$

Энергетическая подсистема способа алмазно-электролитического сверления (см. рис. 3) включает три энергетические компоненты. Функцию механической компоненты (механическое воздействие инструмента на материал заготовки) выполняет кинематическая подсистема. Связь между кинематической подсистемой и механической компонентой носит преимущественно вещественно-энергетический харак-

тер. Связь между кинематической подсистемой и двумя другими компонентами (электрохимической и электроэрозионной) энергетической подсистемы носит информационный характер. Причем этой связью можно управлять в зависимости от частной производной цели – максимизация производительности или минимизация износа инструмента. Системное описание данного способа формообразующей обработки на первом уровне имеет вид:

$${}^1S_s = \{{}^kM \cap {}^1M, {}^2M, {}^3M, {}^6M\}.$$

Энергетическая подсистема способа газоплазменной наплавки (см. рис. 4) содержит три компонента. Первая компонента, перемещающая наплавляемый валик по поверхности заготовки, совмещена с кинематической подсистемой. Связь этой компоненты и кинематической подсистемы носит преимущественно информационный характер. Вторая компонента – механическая – воспроизводит газопорошковую смесь. Третья компонента – концентрированный источник энергии – воспроизводит лазерный луч, расплавляющий газопорошковую смесь. Связь между второй и третьей компонентами энергетической подсистемы вещественно-энергетическая. Максимизации производительности обеспечивается посредством управления информационно-энергетическими связями между кинематической и компонентами энергетической подсистемы. Базирующая подсистема относительно выделена, материализация ее составляющих не зависит от характеристического образа инструмента. Системное описание способа на первом наиболее общем уровне имеет вид:

$${}^1S_s = \{{}^kM \cap {}^1M, {}^2M, {}^3M, {}^6M\}.$$

Способы формообразующей обработки, представляемые как S-системы, состоящие из трех названных подсистем, решают геометрическую задачу при воспроизведении реальных поверхностей. При этом точность получаемых поверхностей ограничивается статическим заданием правил выполнения приемов воздействия на заготовку, т.е. статическим заданием параметров обработки.

**Адаптивные S-системы.** На рисунке 5 представлена схема пионерного способа токарной обработки. По этому способу заготовке 1, определенным образом ориентированной относительно резца 2, сообщают движение скорости резания  $\Phi_v(B_1)$ , а резцу – поступательное перемещение подачи  $\Phi_s(P_2)$ . В результате целенаправленного выполнения этих приемов резец 2 срезает с заготовки 1 определенный слой

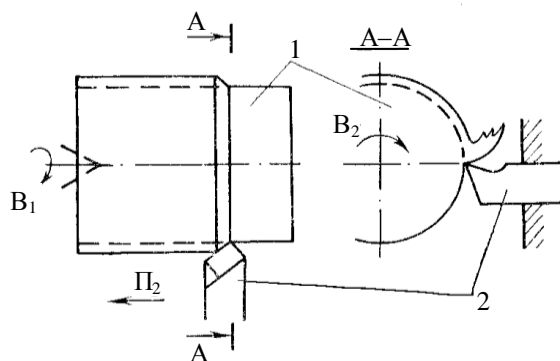


Рис. 5. Схема способа токарной обработки

материала, образуя на твердом теле поверхность заданной формы и размеров с физико-механическими свойствами, зависящими от режимов выполнения приемов и свойств материала заготовки.

Структура данного способа также состоит из трех названных выше подсистем. При его функционировании энергия механического воздействия подводится через кинематическую подсистему, а количество материала, удаляемого в единицу времени, определяет потребление энергии во времени. Кинематическая подсистема несет также информацию о траектории исполнительных движений. Эта информация определяет геометрическую форму поверхности, воспроизводимой на заготовке. Точность воспроизводимой поверхности, как и в рассмотренных выше примерах, ограничивается статическим заданием правил выполнения приемов.

Дальнейшее повышение точности обработки возможно при непрерывном изменении во времени статически заданных правил выполнения приемов (динамическое управление), обеспечивающим стабилизацию силового воздействия на заготовку посредством устранения влияния изменяющихся случайно факторов – неравномерности припуска и микротвердости обрабатываемых заготовок от сечения к сечению – на силовое воздействие, например, силу резания. Такую стабилизацию силового воздействия в терминах теории автоматического регулирования принято называть двухсторонним предельным регулированием. Следовательно, можно утверждать, что схема стабилизации силового воздействия является четвертой составляющей, присущей S-системам с адаптацией к случайно изменяющимся факторам. Так же как и три предыдущие, она относительно выделена и имеет определенную структуру и функцию. Будем называть эту составляющую подсистемой стабилизации силового воздействия. Тогда системное описание S-системы, содержащей подсистему стабилизации силового воздействия, – это объединение четырех подсистем:

$${}^1S_s = \{{}^kM \cap {}^1M, \cap {}^cM, {}^6M\},$$

где  ${}^cM$  – подсистема стабилизации силового воздействия.

Силовое воздействие может регистрироваться в виде силы резания, крутящего момента или мощности резания. А стабилизировать силовое воздействие можно посредством изменения подачи или скорости резания в противофазе с изменением этого воздействия. Отсюда следует, что процесс резания является источником информации и энергии для подсистемы стабилизации силового воздействия. В свою очередь подсистема стабилизации силового воздействия является источником информации для кинематической подсистемы. Это позволяет утверждать, что рассматриваемая подсистема пересекается с энергетической и кинематической подсистемами.

Информация, вырабатываемая подсистемой стабилизации силового воздействия, сообщается структурным составляющим кинематической подсистемы, осуществляющим формообразующие движения скорости резания или подачи. Принципиальное значение при этом имеет выбор структурной составляющей кинематической подсистемы, для которой подсистема стабилизации силового воздействия является источником информации. Рассмотрим это обстоятельство на конкретных примерах.

Кинематическая подсистема способа точения цилиндрической поверхности по рисунку 5 включает две структурные составляющие, каждая из которых воспроизводит элементарное формообразующее движение соответственно  $\Phi_V(B_1)$  и  $\Phi_S(P_2)$ . В этом случае при преобразовании данного способа в адаптивную S-систему подсистема стабилизации силового воздействия может быть источником информации для любой из названных структурных составляющих кинематической подсистемы. Однако предпочтительнее составляющая, воспроизводящая движение  $\Phi_S(P_2)$ , так как сила резания более чувствительна к изменению подачи.

Кинематическая подсистема способа нарезания резьбы фасонным резцом содержит только одну структурную составляющую, воспроизводящую сложное формообразующее движение  $\Phi_V(B_1P_2)$ . В этом случае подсистема стабилизации силового воздействия будет источником информации для названной структурной составляющей кинематической подсистемы. При этом силовое воздействие может регистрироваться в виде силы резания, крутящего момента или мощности резания. А стабилизировать силовое воздействие можно только посредством изменения скорости резания в противофазе с изменением этого воздействия.

#### **Выводы:**

1) методической основой объединения способов формообразующей обработки, основанных на удалении материала с заготовки, перераспределении материала заготовки и прибавлении материала к ней, независимо от метода воздействия на заготовку, вида используемой при этом энергии и количества энергетических источников в класс S-систем является общая теория систем;

2) установлено, что развивающийся класс S-систем состоит из двух подклассов, различающихся характером функционирования;

3) первый подкласс образуют S-системы, представляющие собой объединение кинематической, базирующей и энергетической подсистем. Функционирование этих систем осуществляется при статическом задании правил выполнения приемов формообразующих движений. К этому подклассу относится абсолютное большинство известных способов формообразующей обработки;

4) во второй подкласс входят адаптивные предельного регулирования S-системы, дополнительно включающие подсистему стабилизации силового воздействия. В этих системах правила выполнения приемов также задаются статически. Однако функционирование их осуществляется при динамическом управлении правилами выполнения отдельных приемов. Такое управление отдельными приемами осуществляет в процессе резания устранение влияния изменяющихся случайно факторов – неравномерности припуска и микротвердости обрабатываемых заготовок от сечения к сечению – на силовое воздействие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bertalanffy, L. *Ogólna teoria systemów* / L. Bertalanffy. – Warszawa: Polskie wydawnictwo narodowe, 1984.
2. Голембиевский, А.И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / А.И. Голембиевский. – Минск: Наука и техника, 1986.
3. Кениг, В. Стружкообразование и износ инструмента при зубодолблении / В. Кениг, К. Бузакис // Экспресс-информация, режущие инструменты. – М.: ВИНТИ, 1978.
4. Способ обработки зубчатых колес: авт. свид. 1763112 СССР, В23F 5/12 / А.И. Голембиевский; заявитель Полоц. гос. ун-т; опубли. 1992 // Бюл. изобретений. – 1992. – № 35.
5. Голембиевский, А.И. Многопроходное зубодолбление со спиральным врезанием / А.И. Голембиевский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2004. – № 12. – С. 54 – 58.

Поступила 22.04.2009