

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.91.04

УПРАВЛЕНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

д-р техн. наук, доц. В.А. ДАНИЛОВ, В.А. ТЕРЕНТЬЕВ, Л.А. ДАНИЛОВА
(Полоцкий государственный университет)

На основе структурной модели дано представление о способе формообразующей обработки как системном управляемом объекте. Определены цели, уровни и методы управления формообразованием. Дан анализ геометрических, кинематических и цикловых методов управления, показано их применение для синтеза рациональных схем обработки при функциональном проектировании станочного оборудования.

Постановка задачи

Качественные и количественные характеристики способа формообразующей обработки резанием определяются в первую очередь структурой способа, совершенством его структурных компонентов [1]. Это выражается в том, что эффективность способа в значительной мере зависит от метода формообразования поверхности [2], параметры которого могут быть стабильными или переменными в процессе обработки. Управление ими представляет перспективное направление в технологии механической обработки [3, 4]. Данное обстоятельство обуславливает необходимость разработки универсальных методов управления формообразованием как основы синтеза эффективных схем обработки различных поверхностей резанием и реализующих их исполнительных систем при функциональном проектировании станочного оборудования. В статье рассмотрены некоторые аспекты этой проблемы исходя из общих принципов синтеза рациональных технологий формообразующей обработки резанием [1].

Формообразование как объект управления

Под управлением понимают совокупность действий, выбранных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования объекта в соответствии с заданной программой (алгоритмом) или целью функционирования [5]. Применительно к формообразующей обработке резанием управление следует рассматривать как процесс преобразования и передачи информации в соответствии с основной функцией формообразования [6].

Исходя из известных воззрений, способ обработки резанием является техническим системным объектом [7 - 9], который имеет определенную структуру. В способе обработки выделяются как основные следующие структурные компоненты [10]:

- определяющая метод обработки совокупность физических, химических и иных процессов, связанных с удалением материала резанием, его поверхностно-пластическим или объемным деформированием;
- схема формообразования в пространстве и времени поверхности с заданными формой и размерами;
- потоки материалов, энергии и информации, осуществляемые посредством формообразующей системы.

Указанные компоненты выделены из следующих соображений.

Способы обработки резанием различаются прежде всего типом инструмента, видом используемой энергии, способом ее подвода, технологической средой, механизмом разрушения материала, схемой среза припуска. Указанные признаки определяют *первый компонент* способа обработки - метод (вид) обработки, например, фрезерование, шлифование, электрохимическая обработка и т.д.

Любую поверхность можно обработать одним методом, но разными комбинациями движений, сообщаемых инструменту и изделию, при различных направлениях и траекториях исполнительных движений. Так, обработка плоской поверхности торцевой фрезой возможна при сообщении заготовке относительно инструмента прямолинейной или круговой подачи. В данном случае один метод обработки (фрезерование) присущ двум различным схемам формообразования плоской поверхности, реализуемым разными станками. Следовательно, способы обработки различаются также схемами формообразования - *второй компонент* способа обработки.

Возможные схемы формообразования любой поверхности различаются взаимным расположением и направлением относительного перемещения инструмента и обрабатываемой поверхности, формами траектории этого перемещения и характеристического образа инструмента, числом инструментов и их расположением, характером обработки (многоцикловая или одноцикловая), т.е. общими схемами обработки, а также кинематикой формообразования - сочетанием и соотношением скоростей и направлений элементарных движений, сообщаемых инструменту относительно заготовки. Кинематика формообразо-

вания поверхности определяется пространственными и временными характеристиками методов генерации её производящих линий. К пространственным характеристикам относится, в частности, форма производящих линий, а к временным - закон возникновения их во времени, в смысле непрерывности. Кинематика формообразования и резания является основой кинематической схемы обработки - совокупности абсолютных элементарных движений, сообщаемых инструменту и заготовке в процессе обработки, а также делительных и установочных движений.

Принятая схема формообразования поверхности и метод обработки реализуются формообразующей системой - совокупностью технических средств, составляющих её базирующую, инструментальную, кинематическую, транспортную (манипуляционную), энергетическую, управляющую, контрольно-измерительную и другие подсистемы - *третий компонент* способа обработки.

Структура способа обработки, отражающая его основные компоненты, представлена на рис. 1.

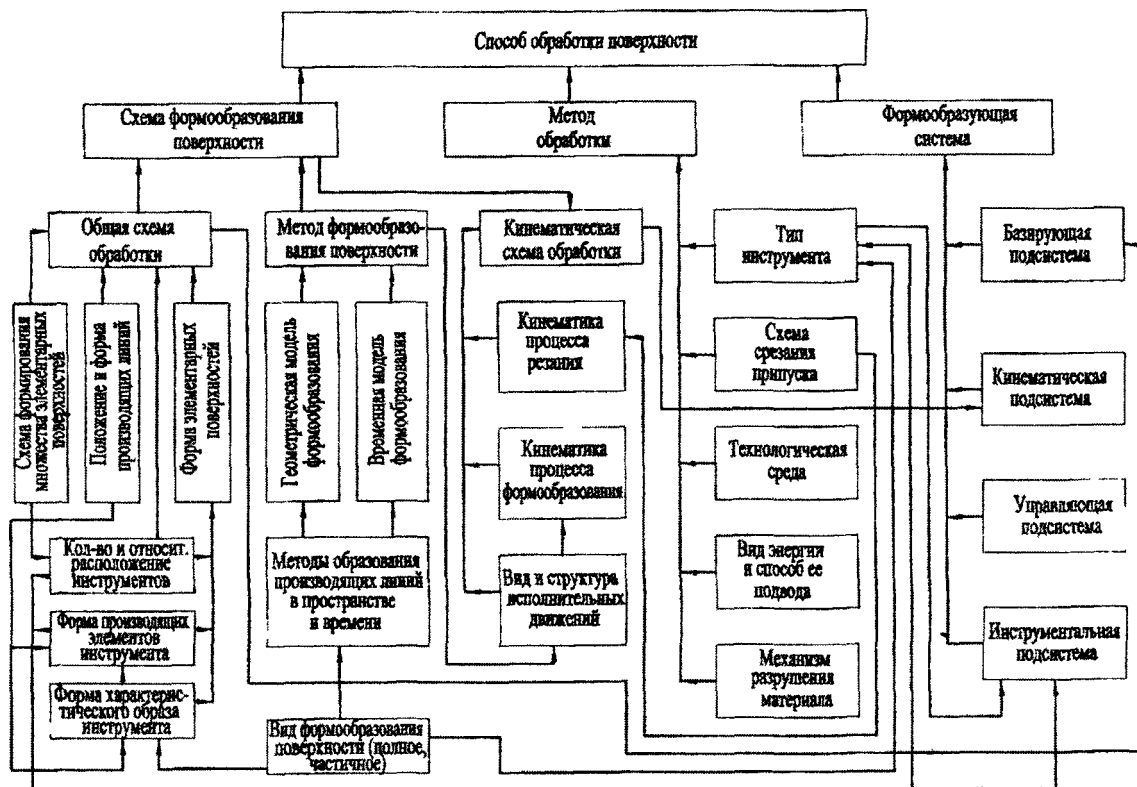


Рис 1. Структурная модель способа формообразующей обработки

При таком представлении способ обработки может рассматриваться как технология формообразования, под которой понимается совокупность метода обработки и реализующего его оборудования [6].

Возможные способы обработки заданной поверхности могут различаться всеми или отдельными своими структурными компонентами. Например, при нарезании резьбы резцом в зависимости от распределения между инструментом и заготовкой элементарного вращательного и поступательного движений, создающих исполнительное винтовое движение, т.е. в зависимости от кинематической схемы обработки, возможны четыре способа формообразования. Данное обстоятельство с учетом разнообразных по форме обрабатываемых поверхностей обуславливает многообразие возможных способов обработки. Отсюда следует необходимость их исследования и сопоставительного анализа при синтезе или выборе рационального способа обработки.

Представленная структурная модель отражает взаимосвязь основных компонентов способа обработки. Например, схема формообразования поверхности как совокупность общей схемы обработки и метода формообразования является основой синтеза кинематической схемы обработки, определяющей структуру кинематической подсистемы формообразующей системы станка.

Целенаправленное изменение (управление) любых из входящих в указанные компоненты признаков обуславливает иные технико-экономические показатели способа обработки. Так, например, переход от полного формообразования поверхности к частичному влечет за собой, как следует из структуры модели способа, модернизацию всех его основных компонентов - схемы формообразования поверхности, метода обработки и формообразующей системы станка.

Таким образом, способ формообразующей обработки резанием является управляемым системным объектом, т. е. его выходные параметры могут целенаправленно изменяться. Способ (схема) формообразования как структурная часть способа обработки также представляет собой структурный системный объект. Отсюда следует вывод об управляемости формообразования и о возможности использования в способе обработки резанием системы управления формообразованием.

Задачи управления формообразованием могут быть различными в зависимости от технологических потребностей производства. Как показывает анализ известных способов обработки резанием *основной целью управления формообразованием* является повышение его эффективности, т.е. улучшение качественных и количественных показателей процесса формообразования: повышение универсальности, минимизация и стабилизация погрешностей макро- и микрогеометрии обработанной поверхности; повышение производительности; стабилизация параметров схемы формообразования и процесса резания и др.

Структура и методы управления формообразованием

Управление формообразованием как процесс преобразования и передачи информации целесообразно рассматривать с двух точек зрения.

Во-первых, его можно толковать расширенно, рассматривая процесс формообразующей обработки как преобразование информации по схеме «чертеж - деталь» [6]. Во-вторых, процесс управления формообразованием можно представить более узко, как управление в процессе обработки. Таким образом, можно выделить две разновидности управления формообразованием, *проектно-технологическое* и *технологическое*. Соответственно объектами анализа являются проектно-технологическая и технологическая системы управления.

При анализе системы *проектно-технологического управления* формообразованием (рис. 2) следует иметь в виду то, что она будет выполнять свою функцию лишь при наличии управляемых адаптивных процессов выбора и разработки способов (схем) формообразования. В противном случае она представляет собой систему управляемого выбора, что характерно для современного уровня развития большинства отраслей машиностроения.

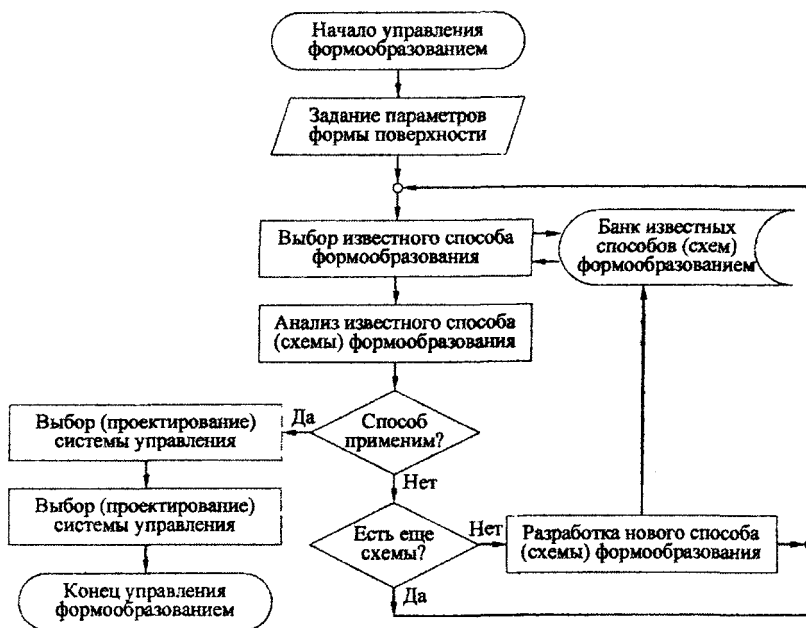


Рис 2 Структурная схема проектно-технологического управления формообразованием

Проектно-технологическая система управления предполагает наличие сквозной системы автоматизированного проектирования и производства, включающей в себя автоматизированные системы научных исследований, автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и управления технологическими процессами.

В обеспечении технического прогресса системы проектно-технологического управления являются перспективными, особенно при использовании для обработки резанием современных гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС), позволяющих оперативно реализовать различные схемы управления процессами формообразующей обработки, в частности, благодаря применению мехатронных исполнительных систем.

Методы технологического управления формообразованием, т.е. управления непосредственно в процессе обработки резанием, являются объектом анализа в данной работе. Определяя управление как информационный процесс, можно представить систему технологического управления формообразованием в виде следующей схемы (рис. 3).

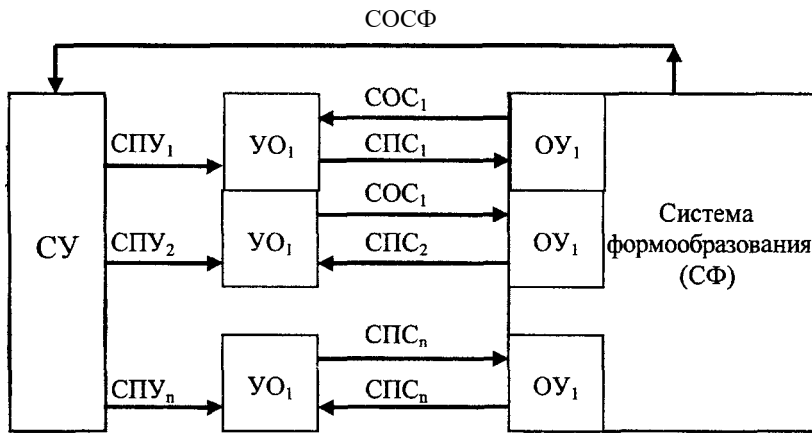


Рис. 3. Блок-схема технологического управления формообразованием: СУ – система программного управления СФ, УО_{1-н} – управляющий орган (объект) СУ, ОУ_{1-н} – управляемый объект (объект управления) СФ; СПУ_{1-н} – сигнал программы управления; СПС_{1-н} – сигнал прямой связи; СОС_{1-н} – сигнал обратной связи

Первичной задачей управления формообразованием является выявление управляемых объектов ОУФ_{1-н} системы (способа) формообразования. Анализ известных способов формообразующей обработки резанием и системных моделей позволил выявить ряд основных групп объектов управления в системах формообразования, которые представлены на рис. 4. Данная модель развиваема, т.е. может быть раскрыта более подробно при соответствующей детализации управляемых компонентов системы формообразования.

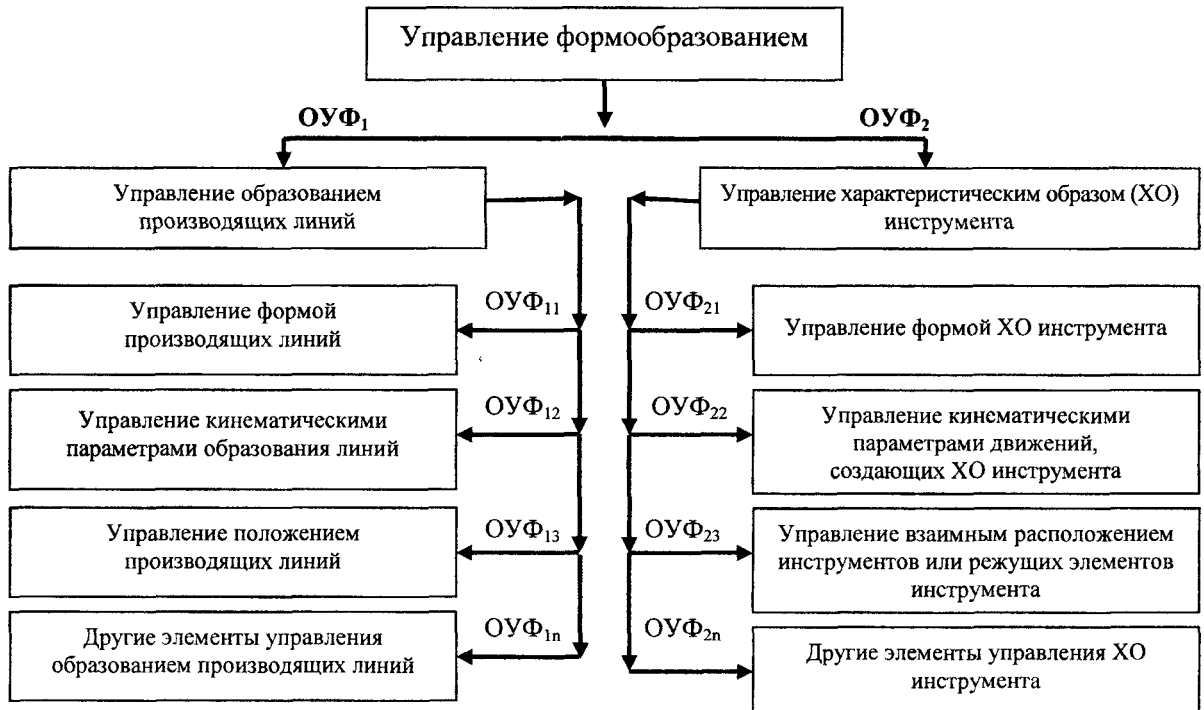


Рис. 4. Управляемые объекты системы формообразования

Анализ системы формообразования как управляемой подсистемы способа формообразующей обработки резанием, выявление ее управляемых компонентов, а также рассмотрение известных способов регулирования процессами резания позволили выделить четыре обобщенных группы методов управления формообразованием: геометрические, кинематические, цикловые и комбинированные (рис. 5).

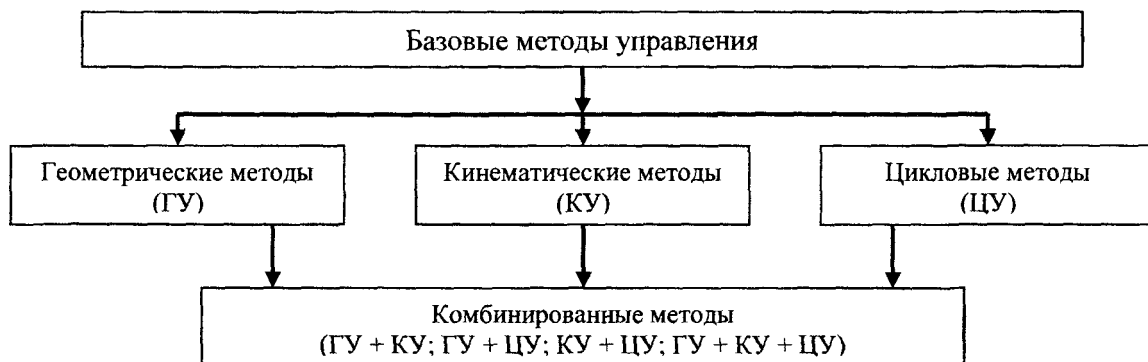


Рис. 5. Методы управления формообразованием

Каждый из указанных методов направлен на достижение определенной цели управления за счет изменения соответствующих параметров способа обработки в цикле формообразования. Геометрические и кинематические методы управления служат соответственно для изменения геометрических и кинематических параметров, а цикловые методы обеспечивают рациональную организацию цикла обработки за счет управления взаимосвязями и расположением компонентов способа формообразования, например, совмещение в одном цикле процессов частичного и полного формообразования.

Геометрические, кинематические и цикловые методы управления могут использоваться также комбинированно, в различных сочетаниях.

Анализ методов управления формообразованием

Суть *геометрических методов управления* формообразованием состоит в закономерном изменении параметров образуемых производящих линий и характеристического образа инструмента с целью повышения эффективности формообразования. При таком управлении программно изменяются следующие геометрические параметры: форма, размеры, границы, взаиморасположение и др.

Наиболее эффективны геометрические методы для управления характеристическим образом инструмента, форма которого является одним из существенных признаков метода формообразования поверхности [2]. Характеристический образ выражает общие геометрические свойства возможных инструментов, существенные для процесса формообразования поверхности. Кроме того, его форма, положение и направление перемещения в системе отсчета, связанной с заготовкой, относятся к основным признакам общей схемы обработки. Форма характеристического образа может изменяться дискретно или непрерывно в процессе движения за счет соответствующего изменения положения режущего инструмента или его геометрии с целью, например, приближения к форме образующей номинальной поверхности изделия.

Степень приближения обработанной поверхности к номинальной зависит от соответствия формы характеристического образа инструмента и траектории движения формообразования производящим линиям номинальной поверхности, в связи с чем при синтезе способов формообразования важны выбор и обеспечение его рациональной формы. Рассмотрим некоторые общие пути решения этой задачи.

Трансформация характеристического образа инструмента является одним из основных методов управления формообразованием. Данный геометрический метод управления формой характеристического образа основан на её зависимости от параметров установки инструмента относительно направления движения формообразования. В частности, если ось вращения инструмента перпендикулярна указанному направлению, то его характеристическим образом является прямолинейный отрезок (рис. 6).

При иной установке инструмента характеристический образ трансформируется в эллипсы 2 или 4, параметры которых определяются положением оси вращения относительно направления движения, или представляет окружность 3. В первом случае при прямолинейном движении образуется плоская, а в остальных — цилиндрическая (эллиптическая или круговая) поверхность. Такой метод управления формой характеристического образа инструмента является более универсальным по сравнению с его геометрическим профилированием, характерным для фасонных режущих инструментов.

Непрерывное изменение ориентации инструмента относительно направления исполнительного движения соответственно трансформирует характеристический образ, что позволяет приблизить его к заданной поверхности исходя из требуемой точности формообразования [11].

На этом методе обеспечения рациональной формы характеристического образа инструмента основан способ строчечной обработки [12] сложных поверхностей торцевой фрезой 1, ось вращения которой расположена под углом α к направлению строчечной подачи S_1 (рис 7).

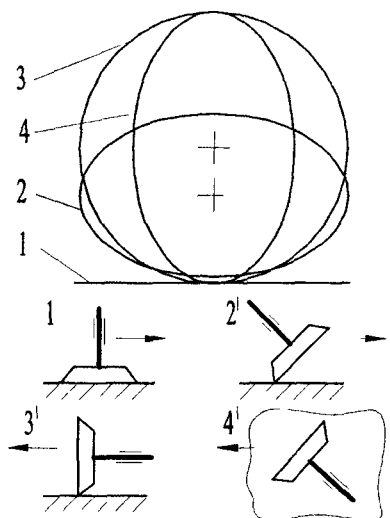


Рис 6 Трансформация формы характеристического образа инструмента в зависимости от его установки

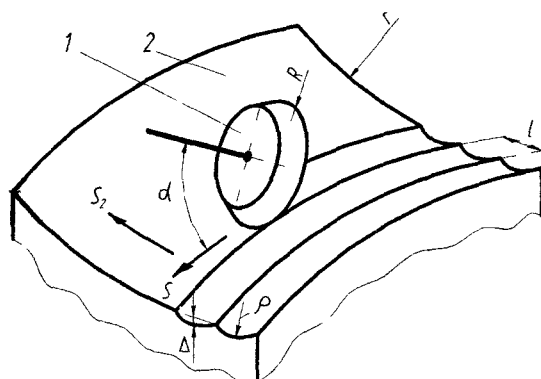


Рис 7 Формообразование сложной поверхности при управлении характеристическим образом инструмента

При такой установке фрезы ее характеристический образ в виде эллипса имеет точечный контакт с номинальной поверхностью изделия 2. Поэтому при межстрочечной подаче S_2 на ширине строчки, равной l , образуются гребни, высота Δ которых определяется по зависимости

$$\Delta = 0,125l^2(K_1 + K_2), \quad (1)$$

где K_1 (K_2) – кривизна образующей номинальной (элементарной) поверхности [13]

Для данной схемы обработки характеристический образ инструмента в пределах ширины строчки с достаточной для практических расчетов точностью аппроксимируется окружностью, радиус ρ которой равен радиусу кривизны в вершине эллипса, принадлежащей его малой оси, поэтому

$$\rho = R / \cos \alpha, \quad (2)$$

где R – радиус инструмента, α – угол наклона оси инструмента к направлению его перемещения.

Тогда погрешность формообразования

$$\Delta = 0,125l^2(\cos \alpha / R \pm 1/r), \quad (3)$$

где r – радиус номинальной поверхности изделия, откуда следует, что при обработке поверхности переменной кривизны торцевой фрезой (см. рис 7), ось которой наклонена к направлению подачи под постоянным углом α , погрешность формообразования Δ переменна вдоль строчки, что исключает возможность обеспечить одинаковое качество обработки и, следовательно, одинаковую технологическую наследственность на всей поверхности.

Стабилизация величины Δ за счет изменения межстрочечной подачи снижает производительность, поэтому более эффективно управление формой образующих элементарных поверхностей [13], что в рассматриваемой схеме достигается изменением угла α согласно зависимости

$$\alpha = \arccos(R(8\Delta/l^2 \pm 1/r)) \quad (4)$$

В этом случае трансформация характеристического образа инструмента обеспечивает постоянное значение $IK_1 + K_2I$, условия для наилучшего приближения обработанной поверхности к номинальной поверхности изделия и стабилизации шероховатости обработанной поверхности.

Рассмотренный метод управления формой характеристического образа инструмента является универсальным и может быть использован для повышения точности частичного формообразования различных поверхностей, например цилиндрических, охватываемым инструментом [14].

Суть *кинематических методов управления* формообразованием состоит в закономерном изменении кинематических параметров образования производящих линий и характеристического образа инструмента с целью повышения эффективности формообразования. При таком управлении программно могут изменяться следующие параметры движения: траектория, исходная точка, скорость, направление, путь. Рассмотрим некоторые типичные кинематические методы, применимые к различным способам формообразования.

Наиболее универсальным из кинематических методов является *сообщение дополнительных перемещений* инструменту или его элементам для управления траекторией движения или создания рациональной формы характеристического образа инструмента.

Для инструмента с подвижными производящими элементами требуемая форма его характеристического образа создается кинематическим перемещением производящих элементов по соответствующей траектории. Чтобы обеспечить полное формообразование, участок данной траектории и номинальная поверхность изделия должны быть конгруэнтны. В частности, при обработке вращающимся лезвийным инструментом это достигается дополнительным относительным перемещением хотя бы одного производящего элемента.

Рассмотрим этот метод управления формообразованием на примере фрезоточения. По известной схеме [15] обработка цилиндрической поверхности осуществляется вращающейся резцовой головкой 3 (рис. 8), совершающей также движение подачи Π_3 вдоль оси вращения B_1 заготовки 1. Поэтому характеристический образ инструмента отличается от прямолинейной образующей цилиндрической поверхности, что обуславливает образование на ней гребней. Если же режущим зубьям 2 инструмента радиусом R (или одному из них) в зоне резания сообщать дополнительно радиальное перемещение Π_4 , величина h которого связана с углом φ поворота B_2 зависимостью

$$h = R(\sec \varphi - 1), \quad (5)$$

то вершины режущих зубьев будут перемещаться на участке cd характеристического образа инструмента по прямолинейной образующей номинальной поверхности изделия [16]. Участки bd и ac – переходные. За счёт формы кривой ac возможна оптимизация условий резания. Таким образом, рациональная форма характеристического образа инструмента обеспечивает полное формообразование цилиндрической поверхности при фрезоточении.

Аналогично решена задача управления в способе обработки резанием многолезвийным вращающимся инструментом [17, 18]. В этом случае используют инструмент, резцы которого устанавливают по группам, причем скорость радиального смещения для резцов каждой группы устанавливают различной на одних и тех же участках зоны резания.

Резцы 6 и 7 двух чередующихся групп инструмента 2 принудительно перемещают по замкнутой кривой 8 (рис. 9, а, б), например окружности, – движение B_3 . На устанавливаемых по длине и положению участках зоны резания 9 резцы 6 первой группы дополнительно смещают в радиальном направлении – движение Π_4 . Длина L_1 участка 9, его расположение и относительная скорость перемещения резца 6 в движении Π_4 устанавливаются при помощи механизма 10 управления, например кулачкового.

При сообщении резцу 6, перемещающемуся по окружности, дополнительного радиального перемещения со скоростью V_1 , его режущее лезвие участвует в двух взаимно перпендикулярных движениях. Величина и направление скорости $V_{\Sigma 1}$ результирующего движения зависит от количественных характе-

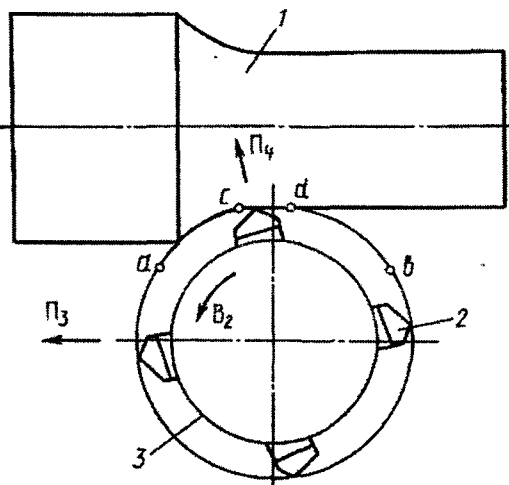


Рис. 8. Схема фрезоточения при управлении характеристическим образом инструмента

ристик ее касательной V_{k1} и радиальной V_1 составляющих. При этом величина задающей радиальной скорости V_1 описывается зависимостью

$$V_1 = \omega R f_1(\varphi_1), \tag{6}$$

где ω – угловая скорость перемещения резцов по окружности; R – радиус окружности перемещения режущих лезвий резцов, φ_1 – угол, определяющий положение точки контакта A режущего лезвия резца первой группы с заготовкой и отсчитываемый в направлении подачи инструмента от нормали к обработанной поверхности, проходящей через центр инструмента O_u ; $f_1(\varphi_1)$ – функциональный коэффициент, зависящий от угла φ_1

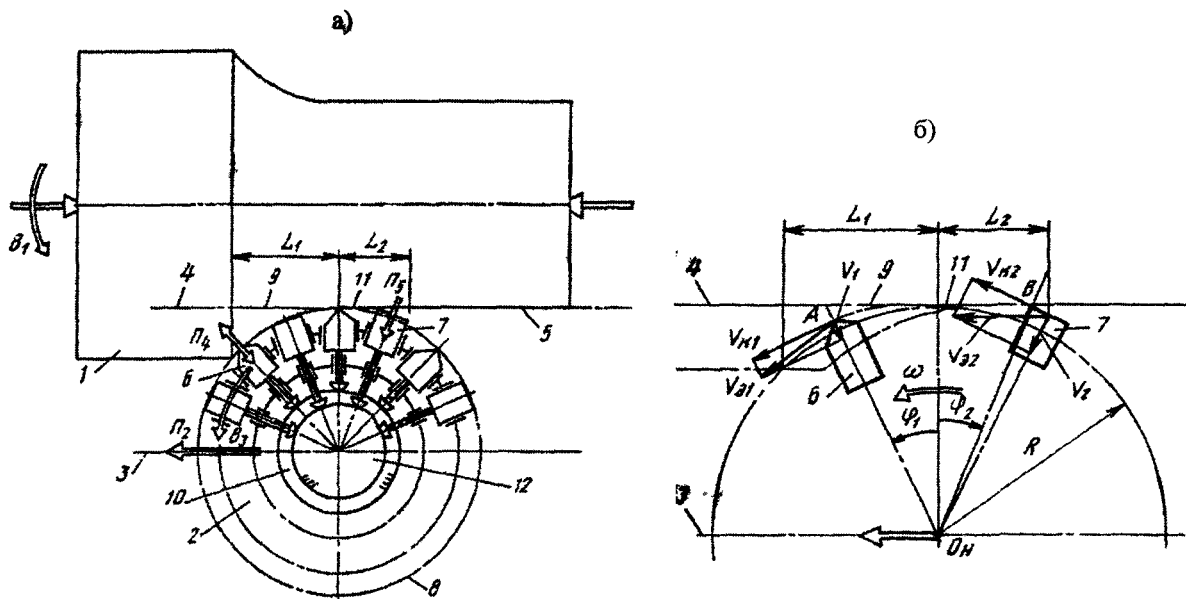


Рис 9 Схема обработки многолезвийным инструментом при управлении его характеристическим образом

Функциональная взаимосвязь входящих в коэффициент $f_1(\varphi_1)$ величин определяется характером реализуемых в процессе резания задач: получение определенной конфигурации срезаемого слоя с целью повышения равномерности силовых нагрузок на резцы; оптимизация процесса резания путем поддержания постоянства главного угла в плане; компенсация динамических нагрузок на инструмент, варьирование режима резания и т. п.

На устанавливаемых по длине и положению участках 11 зоны резания, соответствующих участкам поверхности детали, обработанным предыдущими резцами первой группы, резцы 7 второй группы смещают в радиальном направлении – движение Π_5 . При этом направление и величина скорости V_{32} результирующего перемещения зависят от величины ее касательной V_{k2} и радиальной V_2 составляющих. Величина скорости радиального смещения резцов второй группы определяется зависимостью

$$V_2 = \omega R f_2(\varphi_2), \tag{7}$$

где φ_2 – угол, определяющий положение точки (зоны) контакта B режущего лезвия резца с заготовкой и отсчитываемый от нормали к обработанной поверхности, проходящей через центр инструмента O_u , $f_2(\varphi_2)$ – функциональный коэффициент, зависящий от угла φ_2

Функциональная зависимость для коэффициента $f_2(\varphi_2)$ определяется аналогично коэффициенту $f_1(\varphi_1)$. В частности, при решении дополнительно задачи снижения шероховатости обработанной поверхности резцы 7 второй группы смещают в радиальном направлении со скоростью, обеспечивающей перемещение режущего лезвия каждого резца этой группы параллельно линии профиля 4 обрабатываемой поверхности 5, а коэффициент $f_2(\varphi_2)$ рассчитывают по формуле

$$f_2(\varphi_2) = \sin(\varphi_2)/\cos(\varphi_2)$$

Аналогично обеспечивается управление точностью формообразования сложных поверхностей при сообщении производящим элементам дополнительного движения для создания формы характеристического образа инструмента, конгруэнтной или близкой к образующей номинальной поверхности [19]

Цикловые методы управления формообразованием относятся к организации в пространстве и времени цикла обработки поверхности. В соответствии со структурной моделью (см. рис. 1) это связано с заданием положения производящих линий на формируемой поверхности, количества и расположения инструментов, последовательностью их работы - совмещенная или разделенная во времени.

От положения производящих линий, в частности направляющих элементарных поверхностей, существенно зависит непрерывность и производительность формообразования [20]. Возможность управления этим параметром должна быть обеспечена при функциональном проектировании станка.

Следует иметь в виду, что от положения направляющих элементарных поверхностей зависит форма образующей номинальной поверхности, ее кривизна. Соответственно это должно учитываться при выборе и обеспечении рациональной формы характеристического образа инструмента, в частности, геометрическим (кинематическим) методом управления. В этой связи задача управления формообразованием в данном случае должна решаться комплексно путем совместного применения циклового и геометрического (кинематического), т.е. комбинированного метода управления.

Эффективными цикловыми методами управления являются *совмещение процессов частичного и полного формообразования* и *многократное профилирование* в одном цикле обработки поверхности.

Совмещение процессов частичного и полного формообразования или различных схем частичного формообразования позволяет создавать комбинированные методы размерной обработки с более высокими технико-экономическими показателями. На этом принципе основаны прогрессивные схемы обработки круглых и некруглых цилиндрических поверхностей ротационными инструментами [10].

Устойчивое дробление стружки независимо от свойств обрабатываемого материала обеспечивается при обработке резцовыми головками [21]. Профилирование ими обработанной поверхности осуществляется методом касания, поэтому её поперечное сечение формируется множеством кривых - траекторий режущих зубьев, образующих многоугольник. Его отклонение от заданного профиля представляет огранку обработанной поверхности, высота которой зависит от количества и формы указанных кривых.

Рациональная форма кривых обеспечивается кинематикой формообразования. Количество кривых обусловлено отношением частот вращательных движений инструмента и заготовки и числом режущих зубьев. Уменьшение высоты огранки за счёт повышения частоты вращения инструмента по отношению к частоте вращения заготовки при заданных скорости резания и подаче снижает производительность, так как она пропорциональна частоте вращения заготовки. Увеличение же числа режущих зубьев инструмента ограничено допустимым шагом между ними.

В этой связи более эффективно уменьшение высоты огранки путем *многократного профилирования* поверхности повернутыми относительно друг друга P множествами кривых за счёт совмещения процессов частичного формообразования. Практический интерес представляет синтез схем обработки, обеспечивающих указанное совмещение за время одного прохода (цикла), что возможно кинематическим или геометрическим (конструктивным) путем [11]. В обоих случаях число кривых, формирующих профиль поверхности, возрастает в P раз. Соответственно в P раз сокращается расстояние между точками контакта образующей номинальной поверхности с формирующими её кривыми. Благодаря этому высота огранки уменьшается в P^2 раз.

Кинематически совмещение процессов частичного формообразования и многократное профилирование обработанной поверхности за один проход достигаются, если отношение i частот вращательных движений инструмента 2 (рис. 10) и заготовки 1 удовлетворяет условию

$$i = mS(1 + 1/m)/(zL), \quad (8)$$

где m – число сторон многоугольника, которыми формируется профиль поверхности; S – продольная подача; z – число режущих зубьев; L – длина режущих кромок 4 зубьев 3 [22].

При указанном значении i осуществляется L/S кратное профилирование обработанной поверхности равномерно повернутыми относительно друг друга многоугольниками с $m_0 = zK$ сторонами, где $K = mS/(zL)$, поэтому по сравнению с однократным профилированием высота огранки Δ уменьшается в $(L/S)^2$ раз.

Рассмотрим применение метода многократного профилирования при обработке некруглых поверхностей методом касания эксцентрично установленным лезвийным инструментом [23]. Процесс формообразования характеризуется образованием огранки, высота которой зависит от числа резцов, формирующих заданный профиль изделия. Возможности управления высотой огранки за счёт числа режущих зубьев ограничены допустимым угловым шагом между ними. Поэтому более эффективен метод повышения точности формообразования за счет *многократного профилирования* обработанной поверхности. Кинематически оно обеспечивается тем, что заготовке 1 (рис. 11) и эксцентрично установленному инструменту 3 сообщаются согласованные вращательные движения B_1 и B_2 вокруг параллельных осей 2 и 4 и относительное движение подачи B_3 , а инструменту – поворот B_4 вокруг его геометрической оси 5 в конце каждого оборота заготовки.

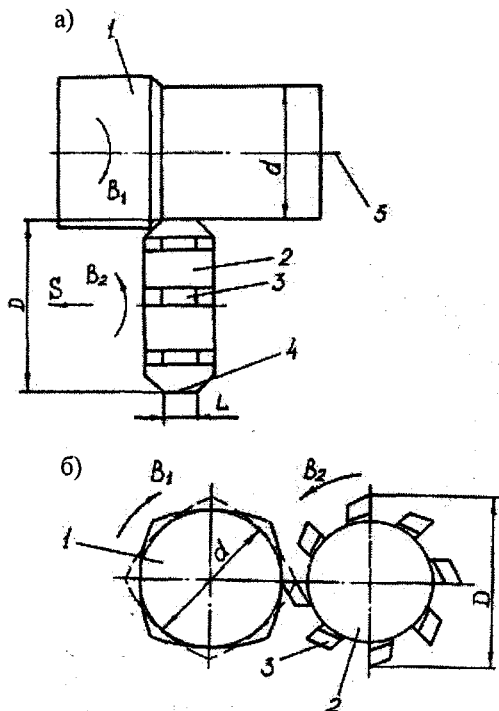


Рис. 10. Совмещение процессов частичного формообразования за счет кинематических параметров схемы обработки:
а – схема обработки; б – схема профилирования

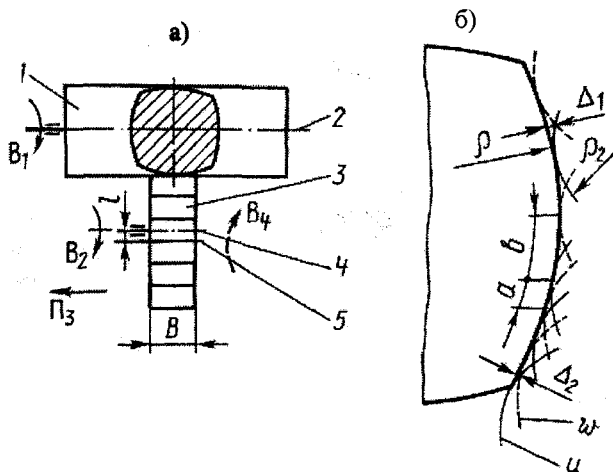


Рис. 11. Формообразование некруглой поверхности при многократном профилировании:
а – кинематическая схема обработки;
б – схема профилирования

Угол φ периодического поворота инструмента задается в целое число раз меньше центрального угла между его соседними режущими зубьями

$$\varphi = 2\pi S / (zB), \tag{9}$$

где B – ширина режущей части; z – число зубьев инструмента; S – подача за один оборот детали.

Если подача меньше половины ширины инструмента, то обеспечивается неоднократное формирование обработанной поверхности. Профиль каждой ее грани за один оборот заготовки формируется (см. рис. 11, б) как касательная к множеству M кривых u – траекторий режущих зубьев инструмента, расположенных на угле контакта его с гранью обработанной поверхности (на рис. 11, б – сплошные линии).

Поскольку после каждого оборота заготовки инструменту сообщается поворот на угол, в N раз меньший центрального угла между соседними режущими зубьями, то обработанное за предыдущий ее оборот поперечное сечение повторно формируется M кривыми w (показаны штриховыми линиями), смещенными относительно кривых u вдоль профиля на расстояние $a = b/N$, где b – расстояние между соседними кривыми u . Тогда высота Δ_1 огранки профиля, образованного кривыми u , составляет

$$\Delta_1 = 0,125b^2(1/\rho_1 + 1/\rho_2), \tag{10}$$

где ρ_1 – радиус кривизны профиля; ρ_2 – радиус кривизны траектории точки режущей кромки в зоне контакта с образуемым профилем.

Высота Δ_2 огранки профиля, образованного кривыми u и w , равна

$$\Delta_2 = 0,125a^2(1/\rho_1 + 1/\rho_2). \tag{11}$$

Следовательно,

$$\Delta_1/\Delta_2 = b^2/a^2 = N^2. \tag{12}$$

Таким образом, высота огранки, обусловленной схемой формообразования, уменьшается в N^2 раз, что позволяет управлять точностью профилирования.

Конструктивный метод управления высотой огранки при многократном профилировании при частичном переносе функции кинематики формообразования на режущий инструмент для исключения его периодического поворота. В данном случае конструкция инструмента должна обеспечивать многократное формообразование каждого поперечного сечения некруглой поверхности несколькими смещенными относительно друг друга множествами кривых за время одного прохода, что возможно, если траектория относительного движения выходной точки каждого лезвия инструмента совмещается с траекторией относительного движения входной точки предыдущего лезвия [24]. Данное условие выполняется, если указанные точки расположены на одной прямолинейной образующей инструментальной поверхности, что возможно при винтовой форме режущих лезвий (рис. 12).

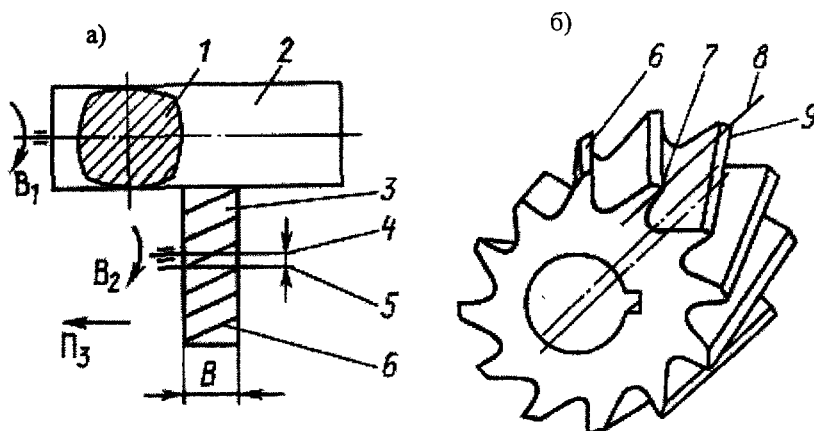


Рис. 12. Формообразование некруглой поверхности дисковым инструментом с винтовым зубом:
а – кинематическая схема обработки, б – режущий инструмент

Изделие 1 обрабатывается инструментом 3 с винтовыми режущими кромками 6, входная точка 7 каждой предыдущей и выходная точка 9 каждой последующей которых расположены на прямолинейной образующей 8 инструментальной поверхности [25]. За один оборот инструмента 3 вокруг оси 4 осуществляется обработка в данном сечении одной грани указанными входными точками. Поэтому профиль грани (см. рис. 11, б) образуется как огибающая z' кривых v траекторий относительного движения точек 7, где z' – число участвующих в работе режущих зубьев, и имеет огранку высотой Δ_1 .

Так как лезвия 6 имеют винтовую форму, то рассмотренное сечение обрабатывается повторно точками, удаленными от входных точек 7 в осевом направлении на расстояние, равное подаче S , и формируется z' кривыми w , смещенными относительно кривых v . Каждое сечение грани обработанной поверхности за время одного прохода формируется описанным способом K раз, где K – целая часть отношения B/S , B – ширина цилиндрической части режущего инструмента.

Управление высотой огранки достигается за счет величины K , так как в соответствии с (12) она обратно пропорциональна значению K^2 . Преимуществом данного метода управления точностью профилирования является возможность применения простых по кинематике станков, в частности широкоуниверсального станка модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан». Рассмотренные методы управления положены в основу новых технологий формообразования сложных поверхностей [26 - 28].

Выводы

1. Структура способа формообразующей обработки и его основных компонентов позволяют рассматривать их как системные объекты, управление которыми обеспечивает повышение уровня технологий формообразования.
2. Управление способами формообразования возможно в рамках предложенных проектно-технологических и технологических систем геометрическими, кинематическими, цикловыми и комбинированными методами в соответствии с целями управления.
3. Выявленные в результате анализа методы управления формообразованием имеют универсальный характер и представляют необходимый инструмент синтеза рациональных схем обработки при функциональном проектировании станочного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А. Общие принципы синтеза рациональных технологий формообразования сложных поверхностей резанием // Мир технологий: Междунар. научн.-практ. журнал. - 2003. - № 1. - С. 61 - 71.
2. Коновалов Е.Г. Основы новых способов металлообработки. - Мн.: Изд-во АН БССР, 1961. - 257 с.
3. Филонов И.П., Климович Ф.Ф., Козерук А.С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов. - Мн.: Дизайн ПРО. - 1995. - 208 с.
4. Маляренко А.Д., Филонов И.П. Технологические основы управляемого формообразования. - Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ БГПА, 1999. - 212 с.
5. Политехнический словарь; Гл. ред. И.И. Артоболевский. - М.: Советская энциклопедия, 1977. - 608 с.
6. Смирнов А.И. Анализ перспектив развития методов формообразования в машиностроении. - М.: НИИМаш, 1982.-49 с.
7. Подураев В.Н. Технология физико-механических методов обработки. - М.: Машиностроение, 1985. - 264 с.
8. Голембиевский А.И. Основы системологии способов формообразующей обработки в машиностроении / Под ред. В.А. Петрова. - Мн.: Наука и техника, 1986. - 168 с.
9. Данилов В.А., Терентьев В.А. Системная модель способа зубообработки как средство его интенсификации на этапе синтеза // Машиностроение: Сб. научн. тр.; Под ред. И.П. Филонова. - Мн.: УП «Технопринт», 2000. - Вып. 16. - С. 115 - 120.
10. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. - Мн.: Наука и техника, 1995.-264 с.
11. Данилов В.А., Данилова Л.А. Пути повышения точности профилирования поверхностей вращения при обработке резцовыми головками // Техника машиностроения. - 1995. - № 3. - С. 45 - 50.
12. Способ обработки сложных поверхностей: А.с. 1255303 СССР, МКИ⁴ В23С 3/16 / В.А. Данилов, Л.А. Данилова (СССР); Новопол. политехи, ин-т; Оpubл. 07.09.86, Бюл. № 33 // Открытия. Изобретения. - 1986.-№ 33. - С. 48.
13. Данилов В.А., Данилова Л.А. Определение рациональных схем профилирования сложных поверхностей // Машиностроение: Межвед. сб. научн. тр.; Гл. ред. П.И. Ящерицын. - Мн., 1986. - Вып. 11. - С. 63 - 67.
14. Способ обработки поверхностей вращения: А.с. 1355356 СССР, МКИ⁴ В23В 1/00 / В.А. Данилов, Л.А. Данилова (СССР); Новопол. политехи, ин-т; Оpubл. 30.11.87, Бюл. № 44 // Открытия. Изобретения. - 1987,-№44.-С. 42.
15. Новоселов Ю.А., Попок Н.Н. Прерывистое резание с переменным сечением срезаемого слоя (фрезоточение) // Машиностроение: Межвед. сб. научн. тр. - Мн.: Выш. шк., 1973. - Вып. 3. - С. 129 - 132.
16. Способ обработки резанием: А.с. 854593 СССР, МКИ³ В23В 1/00 / В.А. Данилов (СССР); Новопол. политехн, ин-т; Оpubл. 15.08.81, Бюл. № 30 // Открытия. Изобретения. - 1981. - № 30. - С. 52.
17. Способ обработки резанием многолезвьевым вращающимся инструментом: А.с. 1726138 СССР. / Терентьев В.А., Попок Н.Н. (СССР); Новопол. политехн, ин-т; // БИ. - 1992. - № 14.
18. Вращающийся многолезвьевый инструмент: А.с. 1726149 СССР. / Попок Н.Н., Терентьев В.А. (СССР); Новопол. политехн, ин-т; // БИ. - 1992. -№ 14.
19. Способ обработки сложных поверхностей: А.с. 521075 СССР, МКИ² В23С 3/16 / В. А. Данилов (СССР); Новопол. политехн, ин-т; Оpubл. 15.07.76, Бюл. № 26 // Открытия. Изобретения. - 1976. - № 26. - С. 31.
20. Данилов В.А. Влияние схемы формообразования на эффективность обработки резанием сложных поверхностей // Известия вузов. Машиностроение. - 1982. - № 6. - С. 105 - 108.
21. Этин А.О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. - М.: Машиностроение, 1964.-323 с.
22. Способ обработки цилиндрических поверхностей: А.с. 1692765 СССР, МКИ⁵ В23С 3/04 / В.А. Данилов (СССР); Новопол. политехн, ин-т; Оpubл. 23.11.91, Бюл. № 43 // Открытия. Изобретения. - 1991. — №43.-С. 65.
23. Данилов В.А., Данилова Л.А. Анализ схем формообразования многогранных поверхностей дисковыми эксцентричными инструментами // Известия вузов. Машиностроение. - 1987. - № 11. - С. 145 - 149.
24. Данилов В.А. Пути повышения точности некруглых поверхностей эксцентричными лезвийными инструментами // Известия вузов. Машиностроение. - 1991. - № 7 - 9. - С. 107-110.
25. Способ обработки многогранных криволинейных поверхностей: А.с. 1673278 СССР, МКИ⁵ В23В 5/44, В23С 3/04 / В.А. Данилов (СССР); Новопол. политехн, ин-т; Оpubл. 30.08.91, Бюл. № 32 // Открытия. Изобретения. - 1991. - № 32. - С. 51.
26. Данилов В.А. Новые технологии формообразования профильных и прерывистых поверхностей резанием // Инженер-механик. - 2003. - № 3(20). - С. 26 - 31.
27. Данилов В.А., Терентьев В.А. Рациональная компоновка зубодолбежного станка // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Тематич. сб. / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. - Мн.: УП «Технопринт»; Новополоцк: ПГУ, 2003. - С. 338 - 339.
28. Терентьев В.А. Модернизация способа зубодолбления и зубодолбежного станка // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Тематич. сб. / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. - Мн.: УП «Технопринт»; Новополоцк: ПГУ, 2003. - С. 339 - 341.