

АРМИРОВАНИЕ МНОГОГРАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА БАЗЕ ЦИКЛОИДАЛЬНЫХ КРИВЫХ

*УО «Полоцкий государственный университет»
г. Новополоцк, Беларусь*

Введение. Многогранные поверхности с плоскими, выпуклыми и вогнутыми гранями распространены в конструкциях деталей машин, в частности, бесшпоночных моментопередающих соединениях. Благодаря технологическим и эксплуатационным преимуществам по сравнению со шлицевыми такие соединения все шире применяются в зарубежном машиностроении в различных машинах, металлорежущих станках, инструментальных системах, технологической оснастке и других изделиях. В отечественном машиностроении бесшпоночные соединения применяются редко, что связано с нерешенностью теоретических и конструкторско-технологических задач, к которым следует отнести синтез рациональных схем формообразования, создание станочного оборудования, специального инструментального обеспечения и т. д.

Многогранная поверхность, являясь разновидностью цилиндрической поверхности, формируется прямолинейной образующей, которая, перемещаясь по направляющей – профилю поверхности, остается параллельной заданной прямой. Поэтому в зависимости от формы направляющей многогранная поверхность может иметь профиль в виде одной плавной замкнутой линии или множества пересекающихся линий. Деталь может быть ограничена соответственно одной или множеством цилиндрических поверхностей, которые обычно являются конгруэнтными и образуют поверхность с периодически повторяющимся профилем. Профиль граней может быть очерчен разными линиями (равной ширины, синусоидальными, циклоидальными и т.д.), для воспроизведения которых требуются соответствующие станки. Выбор конкретного вида профилирующей кривой часто зависит от имеющегося оборудования.

Известно, что профилирование цилиндрической поверхности с периодически повторяющимся профилем, как и любой другой линейчатой поверхности, возможно методами копирования, следа, касания и обката, различающимися материальными носителями формы образующей производящей линии, универсальностью и сложностью реализации. Из них заслуживает внимания благодаря простой конструкции режущего инструмента, универсальности и простоте реализации метод следа, при котором производящим элементом является точка (вершина резца). В статье рассматривается формирование многогранных поверхностей этим методом на базе циклоидальных кривых, что связано с относительной простотой их получения при обработке резанием.

Схемы профилирования многогранных поверхностей. Циклоидальная кривая образуется сообщением производящей точке двух согласованных вращательных движений (рис. 1, а, в), что предопределяет несложность схем обработки и станочного оборудования и может быть реализовано двумя способами:

1. С помощью планетарного зубчатого механизма. В этом случае исполнительный орган станка, несущий режущий инструмент, должен совершать относительно неподвижной заготовки такое же движение, как спутник планетарного зубчатого механизма (рис. 1, а, в). Например, схема по рис. 1, а основана на сообщении производящему элементу вращательного движения B_1 вокруг оси L_1 и одновременно вращательного движения B_2 вокруг оси L_2 . Она обеспечивает формообразование профилей с равномерно расположенными конгруэнтными участками, форма которых определяется отношением угловых скоростей этих движений, их направлением, числом режущих элементов инструмента, а также геометрическими параметрами схемы обработки. Оси вращательных движений могут быть параллельны, пересекаться или скрещиваться.

Вторая схема (рис. 1, в) отличается тем, что оси L_1 и L_2 в момент обработки находятся по одну сторону от производящего элемента. Благодаря этому обработка осуществляется по попутной схеме, при которой скорость движения формообразования равна разности линейных

скоростей инструмента и заготовки в точке их контакта, что обеспечивает лучшие условия резания при одинаковой производительности. Первая схема реализуется резцовой головкой внешнего касания, а вторая охватывающей резцовой головкой, совершающей планетарное движение вокруг неподвижной заготовки.

2. Относительное планетарное движение инструмента и заготовки создается согласованными вращательными движениями исполнительных органов станка непланетарного типа, несущих заготовку и инструмент (рис. 1, б, г). Благодаря отсутствию в данном случае реального планетарного зубчатого механизма, упрощается конструкция и повышается жесткость формообразующей системы станка. Поэтому в большинстве случаев с точки зрения сложности реализации и обеспечения большей универсальности предпочтительно разделение вращательных движений между инструментом и заготовкой.

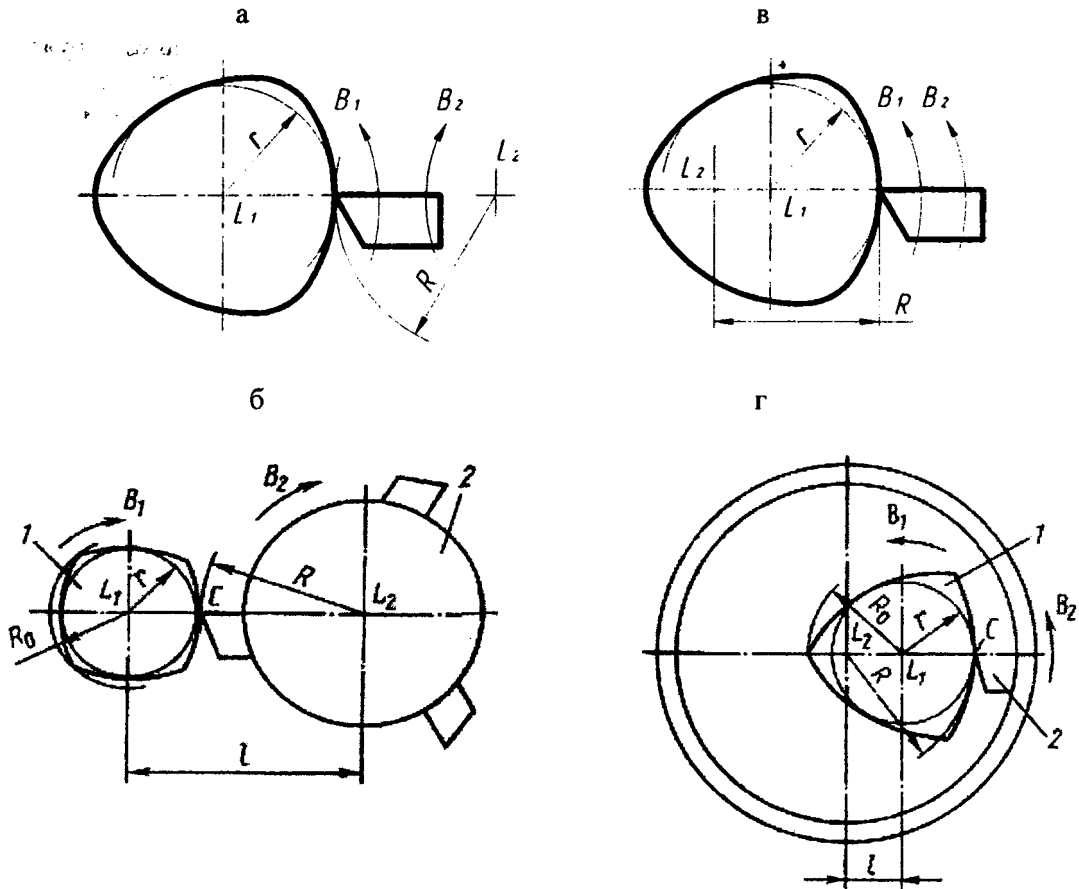


Рис. 1. Принципиальные (а, в) и практические (б, г) схемы формирования многогранных поверхностей методом следа

Во всех случаях образуемый профиль определяется кинематическим соотношением, геометрическими параметрами и относительным расположением траекторий элементарных движений, создающих движение формообразования, а также числом производящих элементов и их относительным расположением. Кинематическое соотношение элементарных движений задается таким образом, чтобы вектор скорости результирующего движения был направлен по касательной к образуемой линии.

В зависимости от соотношения скоростей вращательных движений и числа производящих элементов конгруэнтные участки профиля в виде плоских линий могут формироваться в порядке их расположения вдоль профиля или в заданной последовательности. С учетом этого отношение частот вращательных движений резцовой головки и заготовки определяется по формуле [1].

$$i = \frac{m}{z p}, \quad (1)$$

где m – число граней; z – число резцов в головке; p – целое число, задающее последовательность обработки граней.

С кинематической точки зрения циклоидальная линия обычно рассматривается как траектория точки, расположенной определенным образом в плоскости производящей окружности радиусом r , катящейся без скольжения по неподвижной окружности радиуса R [2] (рис. 2, а, б). При этом производящая точка M может быть расположена внутри, вне или на производящей окружности.

При внешнем касании производящей и направляющей окружностей (см. рис. 2, а) образуются эпициклоидальные, а при внутреннем касании (см. рис. 2, б) – гипоциклоидальные кривые.

К геометрическим параметрам теоретических схем формирования циклоидальных кривых относятся:

- радиус R направляющей и радиус r производящей окружностей;
- расстояние d между производящей точкой M и центром O_1 производящей окружности;
- расстояние l между центрами O и O_1 направляющей и производящей окружностей, которое при внешнем их касании составляет $l = R + r$, а при внутреннем касании – $l = R - r$.

Кинематическим параметром рассматриваемых схем, влияющим на форму образуемой линии, является отношение угловых скоростей вращательных движений:

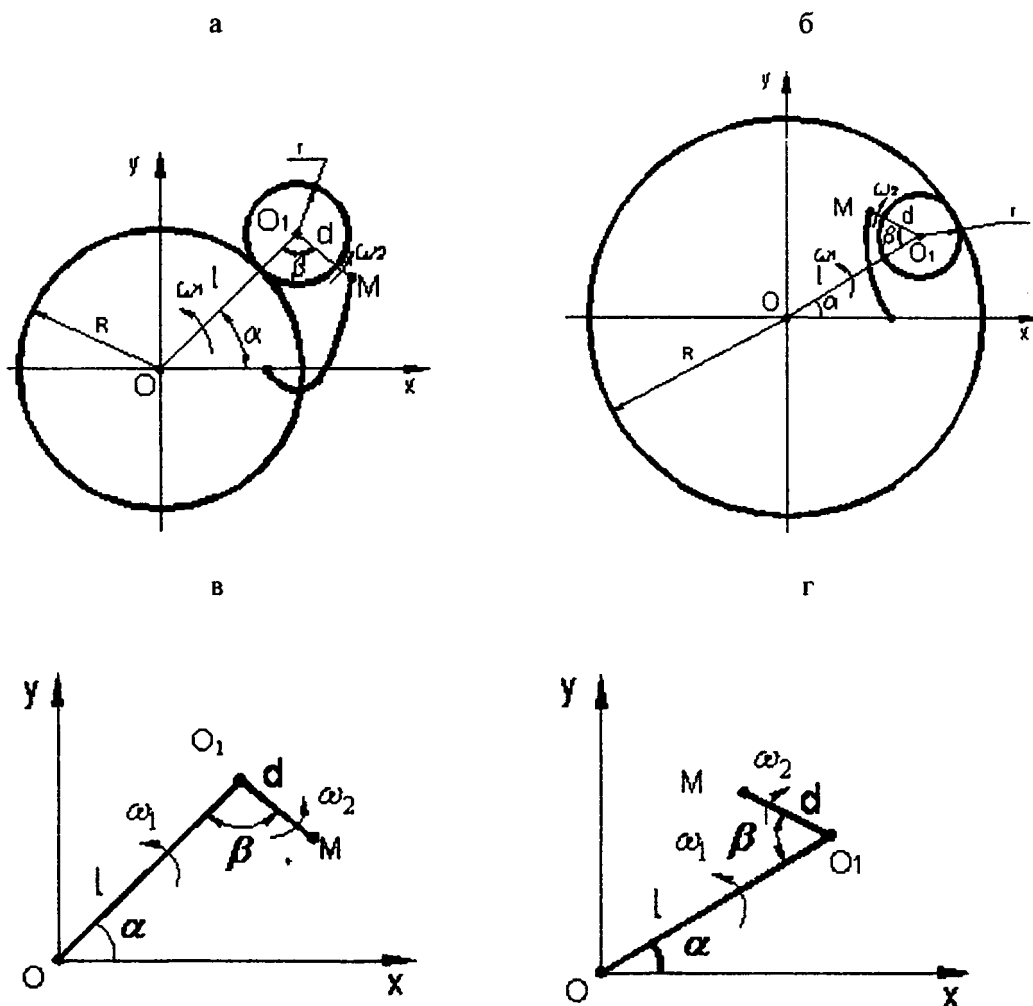


Рис. 2. Теоретические (а, б) и расчетные (в, г) схемы формирования эпициклоидальных (а, в) и гипоциклоидальных (б, г) кривых

$$i = \beta / \alpha,$$

где β - угол поворота производящей точки М от начального положения, соответствующий углу α поворота центра O_1 относительно центра O .

В начальном положении точки O , O_1 и М расположены на одной прямой, а точка М находится между точками O и O_1 и, следовательно, формирует наиболее близкую к центру O точку образуемой линии.

Анализ схем профилирования. Применительно к анализу практических схем формообразования многогранных поверхностей на станках (см. рис 1, б, г) удобно формируемую линию рассматривать как траекторию конечной точки М многозвенного механизма [3], представляющую вершину резца (рис. 2, в, г). При обработке по схеме в соответствии с рис. 1, б она описывается параметрическими уравнениями

$$\begin{cases} x = l \cos \alpha - d \cos(i+1)\alpha \\ y = l \sin \alpha - d \sin(i+1)\alpha. \end{cases} \quad (2)$$

где $l = R + r$.

Аналогично, при формировании гипоциклоидальных кривых по схеме в соответствии с рис. 1, г траектория описывается системой уравнений

$$\begin{cases} x = l \cos \alpha - d \cos(i-1)\alpha \\ y = l \sin \alpha + d \sin(i-1)\alpha. \end{cases} \quad (3)$$

где $l = R - r$.

В схемах обработки непланетарного типа (см. рис. 1, б, г) настраиваемыми являются расстояние l между осями вращательных движений инструмента и заготовки и расстояние d между производящей точкой М и осью ее вращения. В этой связи целесообразно уравнения формируемой линии выразить через настраиваемые параметры i , d и коэффициент $\eta = l/d$. С учетом этого систему уравнений (2) можно записать в виде

$$\begin{cases} x = d(\eta \cos \alpha - \cos(i+1)\alpha) \\ y = d(\eta \sin \alpha - \sin(i+1)\alpha). \end{cases} \quad (4)$$

Система (4) представляет параметрические уравнения всего семейства эпициклоидальных кривых: обыкновенных при $\eta = i+1$, укороченных при $\eta > i+1$ и удлиненных при $\eta < i+1$.

Аналогично, уравнения (3) преобразуются в систему уравнений

$$\begin{cases} x = d(\eta \cos \alpha - \cos(i-1)\alpha) \\ y = d(\eta \sin \alpha + \sin(i-1)\alpha). \end{cases} \quad (5)$$

При $\eta = i-1$ формируются обыкновенные, при $\eta > i-1$ – укороченные и при $\eta < i-1$ – удлиненные гипоциклоиды.

Из множества формируемых по рассматриваемым схемам кривых в качестве траекторий исполнительных движений (производящих линий) при обработке многогранных поверхностей практический интерес представляют те, которые удовлетворяют условию замкнутости. Это возможно, если отношение i угловых скоростей ω_2 и ω_1 выражается целым числом или дробным рациональным числом вида $i=N/q$. В первом случае формируемая линия состоит из i , а во втором из N конгруэнтных участков и является замкнутой. При этом соседние конгруэнтные участки соединяются между собой в точках, равномерно расположенных по окружности. Дан-

ное обстоятельство обеспечивает возможность многократного перемещения формообразующей точки по одной и той же траектории, что необходимо при механической обработке многогранных поверхностей.

Анализ уравнений (4), (5) [4] показывает, что схема (рис. 2, а) позволяет формировать эпициклоидальные профили многогранных поверхностей в виде дуг окружности, кардиоиды, улитки Паскаля и роз, а схема (рис. 2, б) – гипоциклоидальные кривые в виде прямолинейных отрезков, дуг окружности, эллипса, астроида, кривой Штейнера и роз.

Например, применительно к схеме (рис. 2, г) согласно (2) при $i=1$ имеем

$$\begin{cases} x = l \cos \alpha - d \\ y = l \sin \alpha \end{cases} \quad (6)$$

или

$$(x + d)^2 + y^2 = l^2. \quad (7)$$

Следовательно, формируемая линия представляет собой окружность, смещенную относительно начала координат. При наличии в резцовой головке нескольких режущих зубьев профиль многогранной поверхности представляет пересечение дуг окружностей, количество которых равно числу режущих зубьев.

При $i=2$ на основании (2)

$$\begin{cases} x = (l - d) \cos \alpha \\ y = (l + d) \sin \alpha \end{cases} \quad (8)$$

или

$$\frac{x^2}{(l - d)^2} + \frac{y^2}{(l + d)^2} = 1. \quad (9)$$

Из (7) следует, что при любых значениях l и d линия формируется в виде эллипса, малая полуось которого составляет $l - d$, а большая – $l + d$. Каждый производящий элемент образует две противоположные стороны профиля, общее количество которых поэтому в два раза больше числа производящих элементов (режущих зубьев резцовой головки).

С уменьшением разности $l-d$ эллипс сжимается вдоль малой оси, что позволяет использовать формируемые линии для профилирования с заданной точностью многогранных поверхностей с приближающимися к плоским гранями.

При $i=3$ и $\eta = 2$ формируемая линия в соответствии с (2) описывается уравнениями

$$\begin{cases} x = d(2 \cos \alpha - \cos 2\alpha) \\ y = d(2 \sin \alpha + \sin 2\alpha) \end{cases} \quad (10)$$

и состоит из трех конгруэнтных участков, образующих при любом, отличном от нуля, значении d треугольник с вогнутыми сторонами. При $i=4$ одним производящим элементом формируется четырехугольник и т.д.

Реализация схем обработки. Схема обработки многогранных поверхностей по рис. 1, б используется на станках-профиляторах фирмы «Wera» (ФРГ). Обе схемы (см. рис. 1, б, г) реализуются на широкоуниверсальном зубошлифрезерном станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан» [5]. Для этого станок оснащен сменными модулями, один из которых предназначен для обработки многогранных поверхностей резцовой головкой внешнего касания (рис. 3, а), а второй – охватывающей резцовой головкой (рис. 3, б).

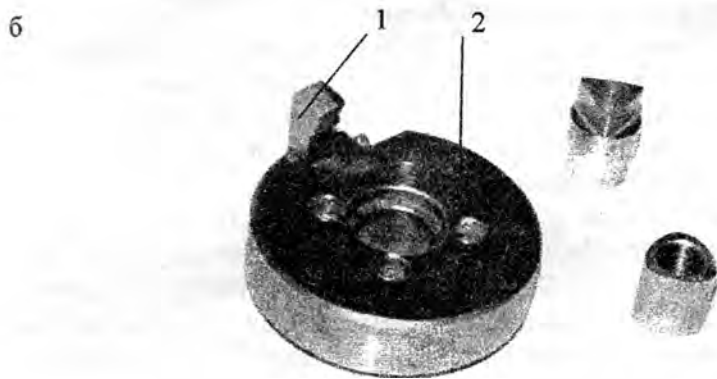
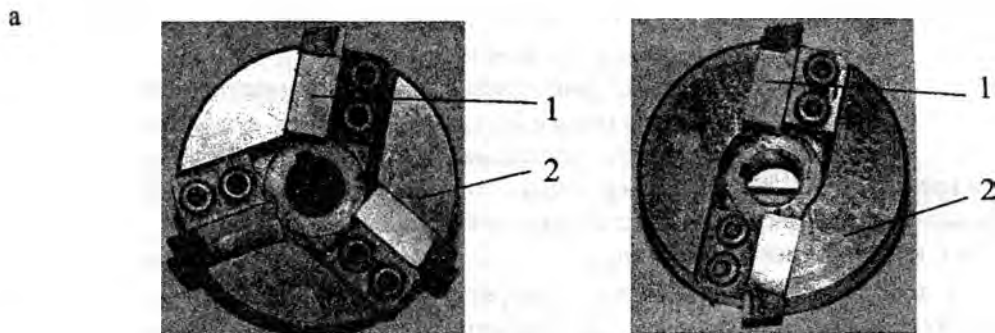


Рис. 3. Резцовые головки внешнего (а) и внутреннего касания (б) к станку модели ВС-50 с образцами обработанных деталей:
1 – резец; 2 – корпус

Рис. 4, а иллюстрирует технологические возможности схемы обработки резцовой головкой внешнего касания с равномерным расположением режущих элементов, количество которых $1 \leq z \leq 3$, по форме обработанных поверхностей при различных значениях отношения i частот вращательных движений инструмента и заготовки

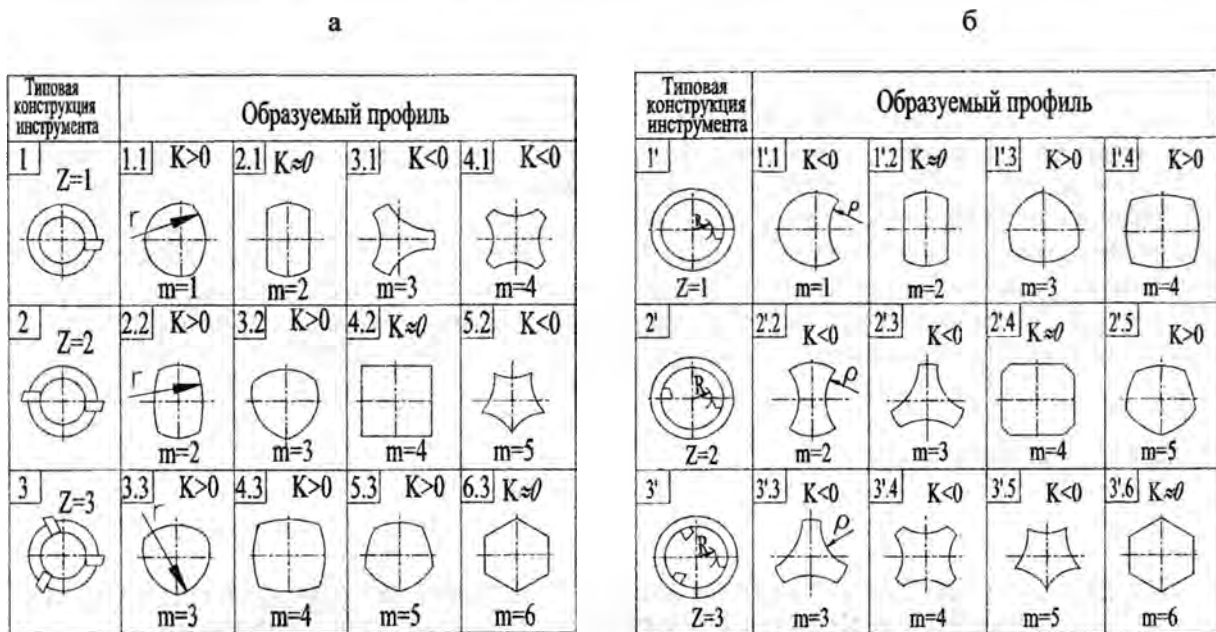


Рис. 4. Технологические возможности схемы обработки многогранных поверхностей резцовой головкой внешнего касания (а) и охватывающей резцовой головкой (б)

В приведенных обозначениях образуемых профилей первая цифра соответствует числу m граней, а вторая – числу z режущих зубьев. Отношение m/z этих чисел равно отношению i частот вращательных движений инструмента и заготовки при последовательном формировании граней профиля, т.е. при $p=1$. Изменением значения p обеспечивается управление формой про-

филя и, следовательно, повышение универсальности инструмента. Например, при $z=1$ и $p=2$ формируется трехгранная поверхность с выпуклыми гранями.

Значение i определяет форму граней, а произведение iz – их количество. Так, если $i=1$, то формируются профили 1.1, 2.2, 3.3 с числом граней $m=z$, очерченных по окружности, радиус r которой определяется уравнением (7). При $i=2$ независимо от z на заготовке обрабатывается четное число граней (профили 2.1, 4.2, 6.3), очерченных по эллипсу (9). За счет выбора диаметра d инструмента при необходимости они с требуемой точностью могут приближаться к плоским граням.

Независимо от конструкции головки при $1 \leq i < 2$ обработанные поверхности имеют выпуклые, а при $i > 2$ вогнутые грани. В каждом конкретном случае диаметр инструмента и геометрия его режущих зубьев определяется в зависимости от допускаемого изменения их рабочих углов и отклонения обработанных граней от заданной формы.

Для реализации схемы профилирования по рис. 1, $г$ создан инструмент охватывающего типа, который с образцами обработанных им на станке модели ВС50 деталей показан на рис. 3, б. Он оснащен одним резцом 2, закрепленным в корпусе 1, поэтому им возможна обработка деталей с профилями типов 1'.1, 1'.2, 1'.3 и др. (рис. 4, б). В общем случае он может быть оснащен несколькими резцами (см. рис. 4, б, инструменты типов 2' и 3').

Управление формой поперечного сечения обработанной поверхности достигается за счет параметров i , z , и R . Например, при $i=1$ (профили 1'.1, 1'.2, 1'.3) обработанные грани спрофилированы по окружности, при $i=2$ (профили 1'.2, 2'.4, 3'.6) – по эллипсу. При $i < 2$ обрабатываются поверхности с вогнутыми, а при $i \geq 2$ с выпуклыми гранями. Однорезцовая головка позволяет обрабатывать также сопряженные наружные и внутренние многогранные поверхности профильного моментопередающего соединения с выпуклыми гранями. В общем случае количество резцов в головке определяется исходя из зависимости (1).

Таким образом, схемы обработки многогранных поверхностей, основанные на применении циклоидальных кривых, обладают высокой универсальностью по форме обрабатываемых поверхностей и реализуются на отечественных станках, что позволяет более широко применять профильные моментопередающие соединения в конструкциях машин и механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: «Наука и техника», 1995. – 264 с. 2. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1997. – 870 с. 3. Карелин Н.М. Бескопирная обработка цилиндрических деталей. – М. Машиностроение, 1966. – 187 с. 4. Данилов В.А., Данилова Л.А. Кинематическое формирование производящих линий поверхности при обработке резанием на базе циклоидальных кривых // Вестник Полоцкого государственного университета, серия В "Прикладные науки". – №12. – 2004 – С. 44-53. 5. Данилов В. А. Новые технологии формообразования профильных и прерывистых поверхностей резанием // Инженер – механик. – 2003. – №3(20). – С. 26-31.

УДК. 621. 791

Дечко Э.М., Воронович А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОНТАКТА ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН И КОРПУСОВ ФРЕЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Белорусский национальный технический университет

Интенсификация процессов резания при фрезеровании за счет применения высокоскоростных станков, увеличения режимов резания, объемов снимаемого припуска металла, использования новых инструментальных материалов и конструкций инструментов выявило ряд проблем, связанных с возрастанием центробежных сил в 3-10 раз, вызывающих раскрепление режущих пластин, кассет с пластинами и др.