

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК, ИНСТРУМЕНТЫ

УДК 621.91.04

СИНТЕЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КАНАЛОВЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗАНИЕМ

В.А. ДАНИЛОВ, А.А. ЧЕПУРНОЙ
(Полоцкий государственный университет)

На основе исследования геометрии круговых винтовых поверхностей разработана схема их обработки при формообразовании производящих линий методом следа, установлены закономерности изменения скорости резания и составляющих сил резания в процессе обработки в зависимости от параметров винтовой поверхности.

Каналовая винтовая поверхность образуется при сообщении винтового движения замкнутой линии. Геометрия такой поверхности определяется параметрами винтового движения и ее сечения плоскостью, перпендикулярной оси винта. При синтезе схем формообразования данное сечение целесообразно принять за одну из производящих линий поверхности, например ее образующую, тогда направляющей поверхностью является винтовая линия.

Процесс формообразования любой поверхности резанием связан с воспроизведением ее производящих линий определенным сочетанием методов следа, касания, копирования, обката [1] или комбинированных методов [2], различающихся формой производящего элемента инструмента (точка, линия, поверхность) и кинематикой формообразования.

Множество возможных для заданной поверхности сочетаний элементарных и комбинированных методов генерации производящих линий определяет совокупность схем ее формообразования. При выборе из них рациональной следует учитывать, что перенесение функции кинематики формообразования на инструмент обеспечивает более простую кинематику станка при усложнении формы инструмента и понижении универсальности схемы обработки. Из-за переменной формы каналовых винтовых поверхностей во всех направлениях более простыми являются схемы их формообразования, основанные на воспроизведении обеих производящих линий методом следа.

Замкнутая плоская линия, которой является образующая каналовой винтовой поверхности, формируется методом следа при перемещении вдоль нее производящей точки, например вершины резца. В практических схемах обработки резанием данное перемещение создается сочетанием как минимум двух элементарных движений (B – вращательного, K – качательного, O – осциллирующего (возвратно-поступательного), совершаемых исполнительными органами станка, несущими инструмент и заготовку.

Применительно к обработке каналовой винтовой поверхности сочетанием указанных движений создается движение резания Φ_v (например: $\Phi_v(B_1O_2)$, $\Phi_v(B_1B_2)$, $\Phi_v(B_1K_2)$ и др.). Форма образуемой линии определяется сочетанием скоростей элементарных движений.

Оба элементарных движения могут сообщаться инструменту, заготовке или могут быть распределены между ними. Поэтому кинематика формообразования образующей каналовой винтовой поверхности методом следа может быть основана в данном случае на любом из следующих вариантов реализации движения Φ_v , например $\Phi_v(\bar{B}_1O_2)$, $\Phi_v(\bar{B}_1O_2)$, $\Phi_v(\bar{B}_1\bar{O}_2)$ или $\Phi_v(B_1O_2)$, где символ $(-)$ над обозначением движения указывает на то, что оно сообщается заготовке. Схема обработки каналовой винтовой поверхности (рис. 1) основана на движении $\Phi_v(\bar{B}_1O_2)$.

Производящая винтовая линия, формируемая методом следа, образуется винтовым движением подачи Φ_s , создаваемым согласованными вращательным B и поступательным Π движениями, кото-

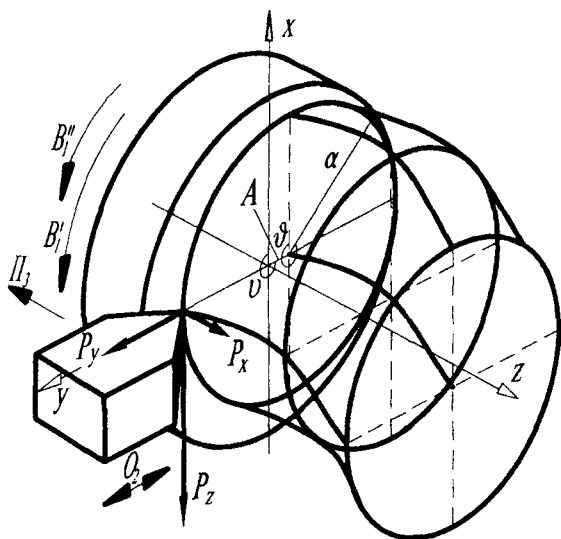


Рис. 1. Схема обработки круговой винтовой поверхности

рые также могут быть распределены различным образом между инструментом и заготовкой: $\Phi_s(V\Pi)$, $\Phi_s(\bar{B}\bar{\Pi})$, $\Phi_s(\bar{B}\Pi)$, $\Phi_s(\bar{B}\bar{\Pi})$.

Многообразие возможных кинематических схем обработки канальных винтовых поверхностей определяется структурой исполнительных движений Φ_v и Φ_s , а также распределением между инструментом и заготовкой составляющих их элементарных движений.

Для упрощения конструкции станка вращательные движения, необходимые для формирования образующей и направляющей канальной винтовой поверхности, целесообразно выполнить вокруг общей оси. На этом основана схема обработки (см. рис. 1), где вращательное движение B'_1 вокруг оси Z участвует в формировании образующей, а движение B''_1 вокруг этой же оси – направляющей винтовой поверхности. Поэтому кинематика формообразования при данной схеме обработки в формализованном виде [3] выражается определителем $[\Phi_v(\bar{B}'_1O_2), \Phi_s(\bar{B}''_1\Pi_3)]$. Она позволяет обрабатывать канальные винтовые поверхности с постоянной или переменной по длине детали формой поперечного сечения, что обеспечивает широкую универсальность данной схемы обработки.

В частном случае, когда поперечное сечение представляет собой окружность, центр которой смещен относительно оси винтового движения, по рассмотренной схеме формируется прямая круговая винтовая поверхность, описываемая параметрическими уравнениями [4]:

$$\begin{cases} x = A \cos \nu + a \cos(\theta + \nu) \\ y = A \sin \nu + a \sin(\theta + \nu) \\ z = p \nu \end{cases} \quad (1)$$

где a – радиус производящей окружности; θ – угол поворота в поперечном сечении точки приложения нормали к винтовой поверхности; ν – угол поворота поперечного сечения вокруг оси винтовой поверхности; A – расстояние от центра поперечного сечения до оси винтовой поверхности; $p = H/2\pi$ – параметр винта; H – шаг винтовой поверхности.

Круговые винтовые поверхности применяются в рабочих органах винтовых насосов импортного технологического оборудования, приобретаемых в качестве запасных частей за рубежом. Поэтому создание и освоение технологии их изготовления имеет актуальное значение для отечественной промышленности. Эта задача решена на основе анализа и синтеза схем формообразования и кинематической структуры станков для обработки канальных винтовых поверхностей, исследования их геометрии.

Один из вариантов решения основан на схеме обработки круговой винтовой поверхности (см. рис. 1), реализованной на модернизированном отечественном оборудовании, в которой в качестве режущего инструмента используется токарный проходной резец. Он имеет возможность совершать возвратно-поступательное движение перпендикулярно геометрической оси заготовки и перемещаться параллельно этой оси. Для образования окружности радиусом a , ось которой отстоит от геометрической оси заготовки на величину эксцентриситета A , вращательное движение B'_1 заготовки посредством механизма-профилятора согласовано с осциллирующим движением O_2 режущего инструмента. В результате этих движений формируется эксцентрично расположенная окружность. Для перемещения производящей окружности по винтовой линии дополнительное вращательное движение B''_1 заготовки вокруг своей геометрической оси связано с поступательным движением Π_3 инструмента параллельно этой оси. В результате образуется круговая винтовая поверхность с заданными эксцентриситетом и шагом.

Требуемая величина эксцентриситета обеспечивается механизмом-профилятором, а шаг винтовой поверхности – настройкой станка. При соответствующей настройке механизма-профилятора обеспечивается обработка круговых винтовых поверхностей. Реализованная схема обработки позволяет обрабатывать такие канальные поверхности с отличной от окружности формой поперечного сечения.

Изменение радиуса поперечного сечения круговой винтовой поверхности относительно оси вращения заготовки обуславливает непостоянство скорости резания:

$$V = 2\pi r \dot{\nu}, \quad (2)$$

где r – текущее значение радиуса поперечного сечения круговой винтовой поверхности (схема определения радиуса поперечного сечения представлена на рис. 2).

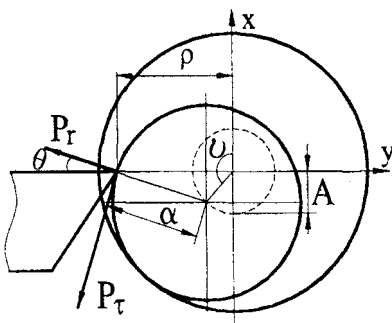


Рис. 2. Схема определения радиуса поперечного сечения

Согласно рис. 2

$$\rho = A \sin \nu + \sqrt{a^2 - A^2 \cos^2 \nu}, \quad (3)$$

следовательно,

$$V = 2\pi n(A \sin \nu + \sqrt{a^2 - A^2 \cos^2 \nu}). \quad (4)$$

Изменение угла ν в диапазоне $0 \dots 2\pi$ рад за каждый оборот заготовки обуславливает циклическое изменение скорости резания, зависящее от величины эксцентриситета A , что следует учитывать при назначении режима резания.

Особенностью обработки круговых винтовых поверхностей является изменение тангенциальной P_t , радиальной P_r и осевой P_o составляющих силы резания по величине и направлению. Величины этих сил, как следует из известной зависимости [5], равны:

$$P_{t,o} = 10C_p t^x s^y V^n K_p, \quad (5)$$

где C_p, K_p, x, y, n – коэффициенты; t – глубина резания; s – подача, переменны вследствие непрерывного изменения скорости резания V , определяемой в рассматриваемом случае зависимостью (4).

Тангенциальная составляющая P_t силы резания ориентирована по касательной к траектории движения вершины резца, направление которой в системе XYZ станка определяется переменным углом θ . Его непостоянство является причиной изменения величины и направления проекций P_{tx} и P_{ty} силы P_t на оси координат:

$$P_{tx} = P_t \cos \theta; \quad (6)$$

$$P_{ty} = P_t \sin \theta. \quad (7)$$

Это также касается и радиальной составляющей P_r силы резания, значения проекций которой P_{rx} и P_{ry} также зависят от угла θ :

$$P_{rx} = P_r \sin \theta; \quad (8)$$

$$P_{ry} = P_r \cos \theta. \quad (9)$$

Изменение величины и направления сил P_t и P_r и их проекций на оси координат обуславливает переменность результирующих сил R_y и R_x , действующих в горизонтальной и вертикальной плоскостях:

$$R_x = P_t \cos \theta + P_r \sin \theta; \quad (10)$$

$$R_y = P_t \sin \theta + P_r \cos \theta. \quad (11)$$

Величина угла θ в (6)...(11) зависит от параметров винтовой поверхности и выражается уравнением:

$$\theta = \arccos \frac{\sqrt{a^2 - A^2 \cos^2 \nu}}{a}. \quad (12)$$

На величину угла θ изменяются рабочие углы инструмента, что учитывается при определении геометрии его режущей части.

Характер изменения отмеченных силовых факторов при точении круговой винтовой поверхности на заготовке из стали 12Х18Н10Т с частотой $n = 63$ об/мин, подачи $S = 0,16$ мм/об и глубиной резания $t = 2$ мм при отношении радиусов поперечного сечения $\rho_{max} / \rho_{min} = 2$ показан на рис. 3. Параметры поверхности: $\rho_{max} = 22$ мм; $A = 11,5$ мм. Если составляющие P_t и P_r силы резания изменяются только по величине в относительно небольшом диапазоне, то проекция силы P_t на ось Y переменна не только по величине, но и по направлению. Это обуславливает изменение в широком диапазоне результирующей силы R_y , определяющей величину упругих деформаций элементов обрабатываемой системы в радиальном направлении, наиболее существенно влияющих на точность обработки. Данное обстоятельство важно для оценки устойчивости процесса резания и динамического качества станка [6].

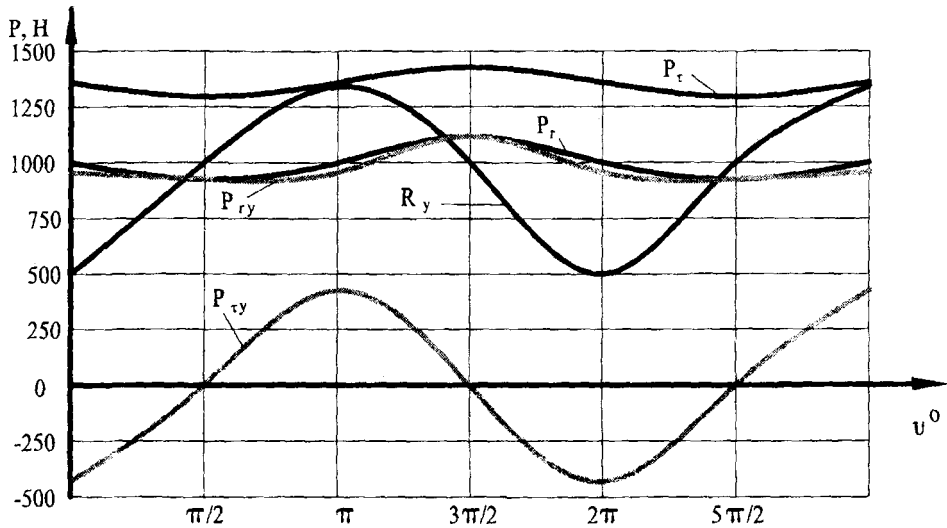


Рис. 3. Зависимость силовых факторов от угла поворота заготовки

Рассмотренные особенности кинематики и динамики процесса обработки винтовой поверхности не имеют место при точении цилиндрических поверхностей. Их следует учитывать при проектировании и модернизации станков для обработки изделий с такими поверхностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: Навука і тэхніка, 1995. – 264 с.
3. Данилов В.А. Формализованное описание кинематических схем обработки резанием // Известия вузов. Машиностроение. – 1983. – № 6. – С. 156 – 158.
4. Справочник технолога машиностроителя: В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
5. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.