

УДК 621.91.04

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КРУГОВЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗАНИЕМ

*д-р техн. наук, доц. В.А. ДАНИЛОВ, А.А. ЧЕПУРНОЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрены схемы формообразования круговых винтовых поверхностей. Предложены пути их интенсификации и обосновано рациональное распределение движений между заготовкой и инструментом, совмещение исполнительных движений, исключение реверсивных движений, стабилизация параметров процесса резания, реализация принципов многоинструментальной и многопозиционной обработки одним инструментом нескольких заготовок.

Введение. В отечественном производстве применяется импортное технологическое оборудование, в котором используются детали с круговыми винтовыми поверхностями. Такую поверхность можно рассматривать как след окружности, которая перемещается вдоль оси детали по винтовой линии. Запасные части к этому оборудованию обычно закупают за рубежом. Поэтому является актуальным создание эффективных схем формообразования круговых винтовых поверхностей и несложных в реализации технологий их обработки.

Схемы формообразования круговой винтовой поверхности. Общим признаком всех моделей формообразования является генерация поверхности в результате движения производящего элемента относительно заготовки, поэтому обработанная поверхность представляет собой след образующей или огибающую исходной инструментальной поверхности [1]. Форма следа или огибающей в сечении, перпендикулярном направлению относительного движения, является характеристическим образом инструмента, который совпадает с одной из возможных образующих обработанной поверхности.

Если за образующую поверхности принять характеристический образ инструмента, то процесс ее формообразования можно рассматривать как относительное перемещение данного образа. Такое представление процесса формообразования поверхности, учитывая, что ее образующая может непрерывно изменяться при движении, являются универсальным. В этой связи одним из существенных признаков метода формообразования поверхности является форма характеристического образа инструмента.

Характеристический образ выражает общие геометрические признаки 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 в процессе движения вследствие соответствующего изменения положения режущего инструмента или его геометрии с целью, например, приближения к форме образующей номинальной поверхности изделия.

Схемы формообразования круговых винтовых поверхностей основаны на применении инструментов, у которых характеристический образ представляет точку, очерчен прямыми или кривыми линиями. Схемы различаются количеством и направлением сообщаемых инструменту и заготовке движений, а также видом и числом режущих кромок инструмента. Рассмотрим типовые схемы формообразования круговых винтовых поверхностей, реализуемые на практике с минимальными затратами, при образовании производящей окружности методами следа, касания и обката.

Применительно к обработке резанием рациональной является схема, когда круговая винтовая поверхность рассматривается как след производящей окружности (образующей) при перемещении по винтовой линии (направляющей). Поэтому метод формообразования данной поверхности определяется сочетанием методов образования окружности и винтовой линии. Во всех рассмотренных ниже схемах формообразования винтовая линия образуется согласованным вращательным движением заготовки вокруг своей геометрической оси и относительным поступательным перемещением инструмента и заготовки вдоль этой оси, т.е. винтовым движением подачи Φ_s . Следовательно, рассматриваемые схемы различаются методом и кинематикой формообразования производящей окружности.

Основными методами обработки сложных поверхностей с помощью настроенных кинематических цепей, воспроизводящих движение обрабатываемой детали относительно режущего инструмента, являются методы настройки, обката и использования фасонного режущего инструмента. Предпочтительны кинематические схемы обработки с минимальным количеством связей, для обеспечения необходимых точности и универсальности при формировании заданного семейства кривых.

Схема 1 (рис. 1) основана на формировании образующей окружности точечным производящим элементом при использовании в качестве режущего инструмента токарного проходного резца, который совершает возвратно-поступательное движение перпендикулярно геометрической оси заготовки и одновременно перемещается параллельно этой оси. Образование окружности, ось которой отстоит от геомет-

рической оси заготовки на величину эксцентриситета ℓ , осуществляется согласованными вращательными движением B'_1 заготовки и осциллирующим движением O_2 реза. В результате движения $\Phi_V(B'_1 O_2)$ на заготовке образуется эксцентрично расположенная окружность.

Схема 2 (рис. 2) основана на формировании образующей окружности методом касания. Обработка круговой винтовой поверхности осуществляется режущим инструментом в виде охватывающей резцовой головки, которая имеет возможность вращаться вокруг своей геометрической оси, смещенной на определенное расстояние от геометрической оси заготовки, и перемещаться параллельно этой оси. Для получения образующей окружности резцовой головке сообщается вращательное движение B_1 вокруг ее геометрической оси, а заготовке - вращательное движение B_2 вокруг оси, отстоящей от ее геометрической оси на величину эксцентриситета. В результате этих движений на заготовке образуется эксцентрично расположенная окружность - образующая круговой винтовой поверхности.

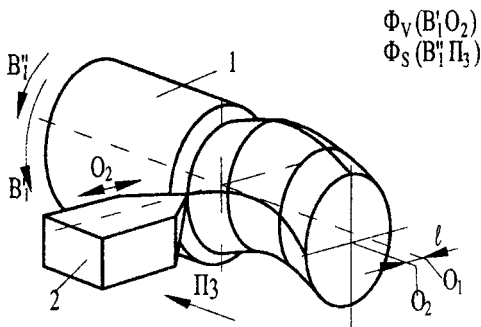


Рис. 1. Схема обработки круговой винтовой поверхности точением

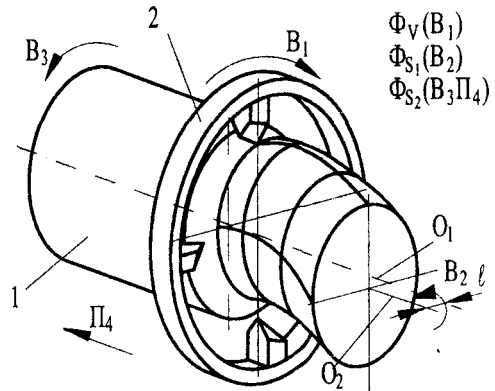


рис. 2. Схема обработки круговой винтовой поверхности резцовой головкой

Схема 3 (рис. 3) основана на формировании образующей окружности методом обката и направляющей винтовой линии - методом касания. Обработка круговой винтовой поверхности осуществляется в данном случае цилиндрической фрезой. Она совершает вращательное движение B_x вокруг своей геометрической оси, осциллирующее движение O_b перпендикулярно оси заготовки и поступательное движение Π_4 параллельно этой оси. Благодаря тому, что движение θ_3 связано функционально с вращением B'_2 заготовки, на ней образуется эксцентрично расположенная окружность.

Схема 4 (рис. 4) основана на формообразовании образующей окружности и направляющей винтовой линии методом обката. Круговая винтовая поверхность обрабатывается специальным ротационным резцом 2, который имеет возможность совершать вращательное движение B_2 вокруг своей оси, а также перемещаться параллельно геометрической оси заготовки. Формирование образующей окружности обеспечивается согласованными вращательными движениями инструмента B_2 и заготовки B_1 .

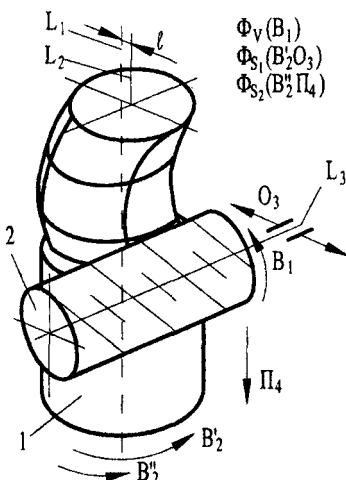


Рис. 3. Схема обработки круговой винтовой поверхности цилиндрической фрезой

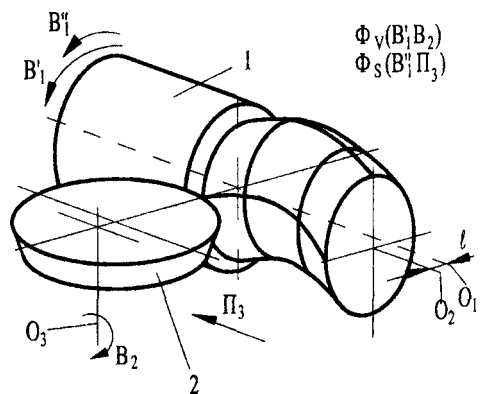


Рис. 4. Схема обработки круговой винтовой поверхности ротационным резцом

Пути оптимизации схем формообразования. Как показал анализ рассмотренных схем формообразования круговых винтовых поверхностей, оптимизация процессов их обработки возможна в следующих направлениях:

- рациональное распределение движений между заготовкой и инструментом;
- совмещение исполнительных движений;
- исключение реверсивных движений;
- стабилизация параметров процесса резания;
- реализация принципов многоинструментальной и многопозиционной обработки одним инструментом нескольких заготовок.

Рассмотрим пути их реализации. Кинематика формообразования может быть реализована множеством кинематических схем обработки, каждая из которых при одинаковых исполнительных движениях отличается распределением составляющих их элементарных движений между инструментом и заготовкой. Например, формообразование цилиндрической поверхности в зависимости от распределения исполнительных движений $\Phi_{\gamma}(B_X)$ и $\theta_s(n_2)$ между резцом и заготовкой возможно четырьмя кинематическими схемами обработки: 1 - оба движения сообщаются заготовке (обработка на автоматах продольного течения); 2 - движение б, сообщается заготовке, Π_2 - резцу (обработка на универсальных токарных станках); 3 - движение 5, сообщается резцу, Π_2 - заготовке (обработка на бесцентровых токарных станках); 4 - оба движения сообщаются резцу (обработка на специальных станках шеек коленчатых валов). Каждая из данных схем имеет область эффективного применения.

От *распределения движений* зависят компоновка, универсальность, жесткость и другие характеристики станка, поэтому кинематическая схема обработки должна приниматься на основе анализа возможных вариантов распределения элементарных движений между исполнительными органами станка с учётом технологических и конструктивных факторов.

Для схемы 1 выбор вращения заготовки вокруг своей геометрической оси или вращения резца вокруг заготовки однозначно сводится к первому варианту. Иначе, для сообщения резцу планетарного движения вокруг заготовки необходим сложный по конструкции станок. Для получения образующей окружности осциллирующее относительное перемещение резца и заготовки целесообразно реализовать возвратно-поступательным движением резца. При таком распределении движений схема резания обладает наибольшей универсальностью и позволяет обрабатывать каналовые винтовые поверхности со сложной формой профиля канала, определяемой отношением частот вращения кулачка и заготовки и формой кулачка. Для получения винтовой линии необходимо сообщить дополнительное вращательное движение заготовке или кулачку. При выборе рационального варианта необходимо учесть, что введение суммирующего механизма в цепь главного движения (вращение заготовки), не позволит изменять величину подачи резца вдоль заготовки. Поэтому суммирующий механизм должен вводиться в цепь подач, т.е. дополнительный доворот сообщается кулачку. Это позволит при настройке на один и тот же угол винтовой линии использовать разные величины подач для черновых и чистовых проходов.

Распределение движений между инструментом и заготовкой для схемы 4, ввиду использования эксцентрично расположенного ротационного резца, будет идентичным схеме 1.

При обработке по схеме 2, для получения эксцентрично расположенной окружности в поперечном сечении заготовки, необходимо вращать вокруг эксцентрично расположенной оси заготовку или резцовую головку. В первом случае из-за нежесткости заготовки невозможно изготавливать длинные валы с круговой винтовой поверхностью. Поэтому рациональным является вращение резцовой головки вокруг эксцентрично расположенной оси. Для получения винтовой линии суммирующий механизм вводится в цепь подач, как и для схемы 1.

Совмещение исполнительных движений позволяет уменьшить их количество и упростить кинематическую схему обработки. Совмещенными могут быть движения одинакового или разного функционального назначения - формообразования, деления, ориентации и др. Для реализации сложного исполнительного движения с требуемыми параметрами требуется определенная функциональная связь скоростей элементарных движений. В большинстве случаев предпочтительны, как более простые в реализации, плоские или расположенные на поверхностях вращения производящие линии. Соотношение скоростей элементарных движений при образовании плоской линии двумя прямолинейными движениями по взаимно перпендикулярным направлениям обусловлено ориентацией скорости результирующего движения по касательной к образуемой линии.

В случае круговой винтовой поверхности предпочтительно сообщать движения одновременно инструменту и заготовке, чем одному из них сложного движения, например планетарного, так как кроме упрощения конструкции улучшаются динамические условия работы станка и расширяются его технологические возможности. Учитывая это, целесообразно простое или одно из элементарных движений разлагать на два, которые сообщаются инструменту и заготовке навстречу друг другу, что позволяет при той же скорости резания в 2 раза уменьшить значения частот вращения исполнительных органов станка.

Сложность кинематики формообразующей системы станка обусловлена количеством и структурой необходимых исполнительных движений. Задание и оптимизация их структуры является одной из основных задач синтеза кинематики формообразования при проектировании станка.

Многообразие возможных решений обусловлено тем, что одна и та же линия образуется различными сочетаниями движений. Например, спираль Архимеда может быть получена при сообщении производящей точке двух согласованных осциллирующих перемещений (движением $\Phi(\theta_1, \theta_2)$) или вращения и связанного с ним радиального перемещения (движением $\Phi(B, P_2)$). Данные схемы неравнозначны по сложности их реализации на станке и влиянию на динамику работы его исполнительных механизмов. В этой связи выбор из множества возможных рационального сочетания элементарных движений представляет один из путей оптимизации кинематики формообразования и структуры исполнительных движений. В общем случае предпочтительны комбинации нереверсивных движений, обеспечивающих более высокую производительность и точность обработки. Реверсивные движения могут быть исключены геометрическим и кинематическим методами. Рациональная структура исполнительного движения геометрически может быть обеспечена путем выбора системы координатных перемещений, когда направление перемещения не меняет своего знака. Кинематически реверсивное движение может быть исключено сложением противоположно направленных движений, одно из которых осуществляется с постоянной, а другое - с переменной скоростью.

Реверсивное поступательное движение может быть исключено также заменой его вращательным. С этой точки зрения в схеме 1 осциллирующее движение резца может быть заменено на вращательное движение заготовки вокруг оси, смещенной от линии центров станка на величину эксцентриситета. Однако такое планетарное точение будет рационально для коротких (2...3 диаметра) круговых винтовых поверхностей и нецелесообразно для длинных, ввиду жесткости заготовок и необходимости усложнения кинематики станка.

Для схемы 2 сложное вращение заготовки вокруг оси, смещенной от линии центров станка на величину эксцентриситета, может быть исключено путем трансформации резцовой головки внутреннего касания так, чтобы все режущие элементы располагались на одном радиусе и одновременно участвовали в процессе резания. Для схемы, изображенной на схеме 3, осциллирующее движение инструмента целесообразно заменить на вращательное движение вокруг оси, смещенной от оси шпинделя инструмента на величину эксцентриситета.

Необходимость стабилизации параметров процесса резания обусловлены тем, что в процессе обработки круговой винтовой поверхности наблюдается непрерывное изменение углов резания. Поэтому возникает необходимость увеличения по сравнению с обычным точением переднего и заднего углов заточки режущего инструмента, что снижает прочность режущего инструмента и отрицательно сказывается на его стойкости. В связи с этим на этапе оптимизации схем формообразования необходимо исключить негативное влияние изменения углов резания. Данное обстоятельство не распространяется на схемы с резцовыми головками и цилиндрическими фрезами, а при обработке по схеме 1 может быть исключено при сообщении резцу дополнительного качательного (ориентирующего) движения. Это связано с усложнением кинематики станка, однако позволит увеличить стойкость инструмента и улучшить качество обработанной поверхности.

Важным направлением интенсификации и оптимизации процессов обработки является синтез схем *многоинструментальной и многопозиционной обработки* одним инструментом нескольких заготовок при параллельном или последовательном совмещении процессов полного или частичного формообразования при обеспечении для каждой из заготовок одинаковых условий резания. В этом случае одним инструментом при рациональных условиях резания обеспечивается обработка за один проход по всей длине нескольких деталей, что повышает производительность станка и обеспечивает стабилизацию качества обработки. Учитывая данное обстоятельство интенсификация схемы 1 обеспечивается увеличением числа режущих инструментов. Для схем с резцовыми головками и цилиндрическими фрезами она может достигаться за счет увеличения числа деталей, обрабатываемых одним инструментом, а также при увеличении числа режущих элементов инструмента.

Выводы. На основе анализа схем обработки круговых винтовых поверхностей установлено рациональное распределение исполнительных движений между инструментом и заготовкой, предложены пути исключения реверсивных движений и стабилизации параметров процесса резания, показаны возможности многоинструментальной и многопозиционной обработки, которые могут быть реализованы при модернизации существующего и создании специального станочного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Е.Г. Основы новых способов металлообработки. -Мн.: Изд-во АН БССР, 1961. - 297 с.