

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ И ПРЕРЫВИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗАНИЕМ

В.А. Данилов, д.т.н., Полоцкий государственный университет

Применение профильных моментопередающих соединений, обладающих существенными эксплуатационными и технологическими преимуществами по сравнению с традиционными шлицевыми и шпоночными, представляет, как показывает зарубежный опыт, одно из эффективных направлений совершенствования конструкций трансмиссий машин и механизмов. Однако такие соединения практически не нашли применения в отечественном машиностроении, что обусловлено нерешенностью теоретических и прикладных вопросов, связанных с созданием эффективных технологий их формообразования, т.е. методов и схем обработки, а также реализующих их станков и инструментов.

Решение данной проблемы должно быть основано на общей научной базе, которой объективно является теория формообразования поверхностей резанием, созданная в значительной степени научными школами академиков Е.Г. Коновалова и П.И. Ящерицына. Предложенный [1] подход к синтезу методов формообразования поверхностей, основанный на задании рациональных сочетаний методов генерации их производящих линий – образующей и направляющей, является универсальным и эффективным для любых поверхностей, в частности, со сложной геометрией [2].

Реализация метода формообразования поверхности требует на этапе функционального проектирования станка синтеза рациональной кинематической схемы обработки, что обеспечивается на основе общих принципов, которые включают [3]:

- перенесение функции кинематики формообразования на инструмент;
- синтез структуры исполнительных движений, обеспечивающей благоприятные условия резания и работы механизмов станка за счет исключения геометрическим или кинематическим методами реверсивных движений исполнительных органов, замены



возвратно-поступательных движений вращательными;

- совмещение исполнительных движений для упрощения кинематической схемы обработки и повышения производительности;

- введение движений для стабилизации условий резания, управления точностью формообразования, схемой или условиями резания;

- задание на основе математического моделирования рационального сочетания скоростей элементарных движений для стабилизации скорости исполнительного движения или управления ею по требуемому закону;

- рациональное распределение элементарных движений между исполнительными органами станка для повышения его универсальности.

На этих принципах основаны схемы обработки некруглых поверхностей при непрерывном или прерывистом их профилировании методами следа, касания и обката, некоторые из которых приведены на рис.1. Общим для этих схем является образование некруглого профиля только за счет согласованных вращательных движений инструмента и заготовки резцовыми головками при встречном (схема 1) или попутном (схема 2) резании, планетарным точением (схема 3), дисковым (схема 4), цилиндрическим (схема 5) или ротационным (схема 6) эксцентрично установленным режущим инструментом, что обеспечивает простоту реализации данных схем обработки.

Форма обработанных поверхностей определяется приведенными на рис. 1 уравнениями профиля, где для схем 1-3 обозначено: l – расстояние между осями вращательных движений инструмента и заготовки; R – радиус инструмента; β – угол поворота инструмента, соответствующий углу α поворота заготовки. Разработанные методы управления формообразованием некруглых (многогранных) поверхностей, основанные на задании различной последовательности формирования граней, кинематических и геометрических параметров

схемы обработки [2], позволяющие одним инструмен- поверхности разной формы, что имеет важное том обрабатывать практическое значение.

№	Схема обработки	Схема профилирования	Уравнения профиля
1			$\begin{cases} x = l \cos \alpha - R \cos(\beta - \alpha) \\ y = l \sin \alpha + R \sin(\beta - \alpha) \end{cases}$ $l = R + r$
2			$\begin{cases} x = -l \cos \alpha + R \cos(\beta - \alpha) \\ y = l \sin \alpha + R \sin(\beta - \alpha) \end{cases}$ $l = R - r$
3			$l = R - r$
4			$F(x, y, \alpha) = 0$ $\frac{\partial F(x, y, \alpha)}{\partial \alpha} = 0$
5			$\rho = \frac{r_0 - l \cos m \varphi}{\arctg \frac{m l \sin m \varphi}{r_0 - l \cos m \varphi}}$ $r_0 = r + l$
6			$\rho = r_0 - l \cos m \varphi$ $r_0 = r + l$

Рис. 1. Схемы обработки некруглых поверхностей

Так, при $n_1/n_2 = m/(zP)$ формируются прямые, а при $n_1/n_2 = m/(zP(1 \pm S/t))$ - винтовые грани с шагом t , где $n_2(n_1)$ - частота вращения инструмента (заготовки); $m(z)$ - количество граней (производящих элементов); $1 \leq P < m$ - число, задающее последовательность обработки граней; S - подача. Схема 1 при $n_2/n_1 = \sqrt{1+r/R} = A$

обеспечивает формообразование плоских, при $n_2/n_1 > A$ - выпуклых и, если $n_2/n_1 < A$, - вогнутых поверхностей. Для схемы 2 плоские, выпуклые и вогнутые поверхности формируются, соответственно, при $n_2/n_1 = \sqrt{1-r/R} = B$, $n_2/n_1 < B$, $n_2/n_1 > B$.

Параметры режущих инструментов определяются исходя из их влияния на погрешность профилирования и диапазон изменения рабочих углов резцов. Управление точностью профилирования некруглых поверхностей без коррекции параметров инструмента достигается наиболее просто за счет настройки угла пересечения или скрещивания осей вращательных движений инструмента и заготовки, что следует учитывать при проектировании станка. Заданием этих углов осуществляется управление кривизной формируемого профиля без дополнительных корректирующих движений для обеспечения требуемой точности профилирования.

Интенсификацию процесса формообразования обеспечивает попутная схема обработки, которая по сравнению со встречной обеспечивает повышение технологической производительности в $(i+r/R)/(i-r/R)$ раз при одинаковой скорости резания и подаче, более высокую непрерывность процесса формообразования, возможность формирования замкнутого наружного и внутреннего контура, уменьшение динамических нагрузок в обрабатывающей системе станка.

Разновидность попутной схемы обработки, при которой профилирование некруглой поверхности осуществляется планетарным движением заготовки - вращением с частотой n_1 вокруг своей оси и с частотой $n_2 = n_1 m/P$, где $1 \leq P < m$, вокруг параллельной ей оси. Из возможных более эффективна схема обработки, при которой эти вращательные движения взаимно противоположны (схема 3), а вращение заготовки вокруг своей оси осуществляется с меньшей частотой в направлении к задней поверхности резца. В этом случае, при $P = m - 1$, достигается непрерывность процесса обработки, благодаря чему обеспечивается формирование сопряженных наружных и внутренних профильных поверхностей с технологической производительностью в $((1+l/r)m-1)/(1+lm/r)$ раз большей, чем при $P = 1$.

На принципах совмещения движений профилирования и резания и частичного перенесения функции кинематики формообразования на инст-

румент основана высокопроизводительная схема профилирования многогранных поверхностей методом касания эксцентрично установленным дисковым инструментом (схема 4). Ее разновидность - попутная схема обработки - имеет преимущества по универсальности, неравномерности и непрерывности процесса резания, стабилизации геометрических параметров режущей части. Управление точностью формообразования по данной схеме обработки обеспечивается кинематическими и геометрическими методами, основанными на принципе многократного профилирования обработанной поверхности за время одного прохода.

Из схем профилирования методом обката также предпочтительны схемы с совмещенными движениями профилирования и резания эксцентрично установленными инструментами с цилиндрической (схема 5) или конической производящей поверхностью. Так как некруглый профиль формируется множеством прямых, его параметры не зависят от диаметра инструмента, что позволяет обрабатывать некруглую поверхность на одном станке по общей схеме формообразования последовательно разными по диаметру и назначению инструментами (фрезами, опилителями или для поверхностно-пластического деформирования).

Эффективным направлением в технологии обработки некруглых поверхностей является ротационное резание, основанное на согласованных вращательных движениях заготовки и эксцентрично установленного круглого резца (схема 6). В этом случае формируется синусоидальный профиль с m равномерно расположенными по окружности радиуса r выступами высотой, равной удвоенному значению эксцентриситета l . Образующий профиль не зависит от радиуса резца, который изменяется при переточке, что имеет практическое значение. На базе данной схемы разработаны способы ротационного точения с более широкими технологическими возможностями, обеспечивающие интенсификацию процессов обработки некруглых поверхностей за счет оптимизации геометрических и кинематических параметров схемы обработки, управления условиями резания, совмещения процессов частичного и полного формообразования при применении комбинированных инструментов.

Высокая стоимость импортного оборудования для обработки некруглых поверхностей ограничивает возможность его применения в отечественной промышленности, что обуславливает актуальность создания собственных аналогичных

станков и их инструментального оснащения, реализующих прогрессивные процессы формообразования таких поверхностей.

В зависимости от реализуемых схем обработки станки для обработки некруглых поверхностей можно отнести к четырем типам [4]: с вращательным движением шпинделя изделия и осциллирующим или качательным движением инструмента; с планетарным движением изделия; с планетарным движением инструмента; с вращательными движениями инструмента и изделия. Станки последнего типа, благодаря рациональной кинематике, обладают более широкими технологическими возможностями и производительностью, поэтому промышленная реализация процессов формообразования некруглых и прерывистых поверхностей была ориентирована на создание станков данного типа. Эта задача решалась по следующим направлениям: проектирование специального оборудования с необходимым инструментальным оснащением; расширение технологических возможностей близких по кинематической структуре универсальных станков за счет обеспечения необходимых параметров настройки и оснащения их сменными обрабатывающими модулями; создание специальных станков на базе универсальных.

По первому направлению разработан не имеющий аналогов с СНГ станок-профилятор с ЧПУ модели ВС-400Ф2 с инструментальным оснаще-

Витебским станкостроительным заводом им. Коминтерна и Полоцким государственным университетом по договору с Госкомпромом Республики Беларусь. Станок обеспечивает обработку методами кинематического профилирования некруглых и прерывистых поверхностей с периодически повторяющимся профилем и по сравнению с аналогичным станком фирмы «Wera» Германия имеет более широкие технологические возможности, благодаря реализации рассмотренных выше прогрессивных схем формообразования некруглых поверхностей цилиндрическими, дисковыми, ротационными и комбинированными инструментами.

Структурная схема станка ВС-400Ф2 приведена на рис. 2. Инструментальный шпиндель I вертикального суппорта V соединен внутренней связью 1-2, содержащей орган настройки i_x (гитару деления) со шпинделем II изделия, который смонтирован в бабке III, установленной с возможностью поперечного перемещения Π_4 от двигателя M_3 относительно каретки IV. Последняя имеет возможность перемещения Π_3 по направляющим станины станка от двигателя M_2 . Двигатели M_2 и M_3 управляются системой ЧПУ, обеспечивающей взаимосвязь движений Π_3 и Π_4 при обработке некруглых конических или фасонных поверхностей. Настройка скорости движения $\Phi_V(B_1B_2)$ обеспечивается гитарой i_v внешней связи 3-4, по которой вращение от двигателя M_1 пе-

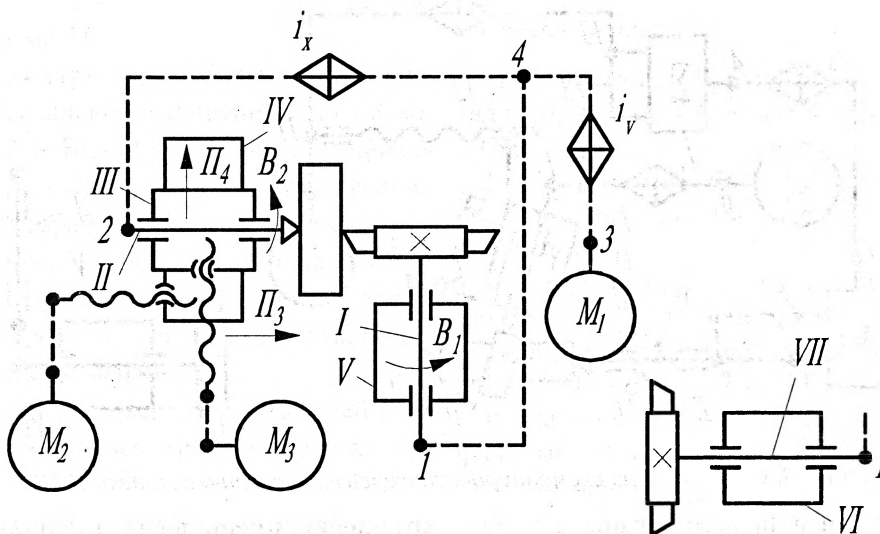


Рис. 2. Структурная схема станка профилятора с ЧПУ модели ВС-400Ф2

нием для обработки по прогрессивным схемам формообразования некруглых и прерывистых поверхностей. Эта работа выполнена совместно

редается во внутреннюю связь.

Сменный горизонтальный суппорт VI с инструментальным шпинделем VII устанавливается

вместо суппорта V и используется для реализации схем обработки, основанных на вращательных движениях инструмента и заготовки вокруг параллельных осей.

Во всех случаях обработка осуществляется методом кинематического профилирования, основанном на исполнительном движении $\Phi_v(B_1B_2)$. Необходимые наладочные и установочные перемещения бабки 3 и каретки 4, движения врезания и подачи создаются двигателями M_2 и M_3 от системы ЧПУ.

Перспективным направлением решения проблемы станочного обеспечения производства деталей с некруглыми поверхностями является расширение технологических возможностей универсальных станков для выполнения на них соответствующих прогрессивных схем формообразования. Такой подход реализован в широкоуниверсальном зубошлицефрезерном станке модели ВС-50, который создан совместно Витебским специальным конструкторским бюро зубообрабатывающих, шлифовальных и заточных станков (разработка рабочего проекта станка), Полоцким государственным университетом (обоснование кинематической структуры станка, разработка и исследование схем формообразования некруглых и прерывистых поверхностей, разработка мето-

новые базовые модели конкурентноспособного металлообрабатывающего оборудования и инструмента" (ГНТП «Станки и инструмент»).

Благодаря особенностям кинематики и сменным обрабатывающим модулям станок позволяет обрабатывать цилиндрические зубчатые колеса и шлицевые валы червячными, модульными дисковыми и концевыми фрезами; наружные и внутренние резьбы – дисковыми и гребенчатыми фрезами; шпоночные пазы, винтовые канавки и многогранники – концевыми фрезами; червяки – дисковыми фрезами и долбьяками, а также некруглые поверхности с периодически повторяющимся профилем методом кинематического профилирования по всем представленным на рис. 1 схемам.

На рис. 3 изображена частная кинематическая структура станка ВС-50, обеспечивающая обработку некруглых и прерывистых поверхностей.

Инструментальный шпиндель I соединен кинематической цепью внутренней связи 1–2–3– Σ –4– i_x –5–МП–6–8[7], содержащей суммирующий механизм Σ , гитару деления i_x и переключающий механизм МП, со шпинделем II, несущим обрабатываемое изделие. Учитывая существенное различие значений передаточного

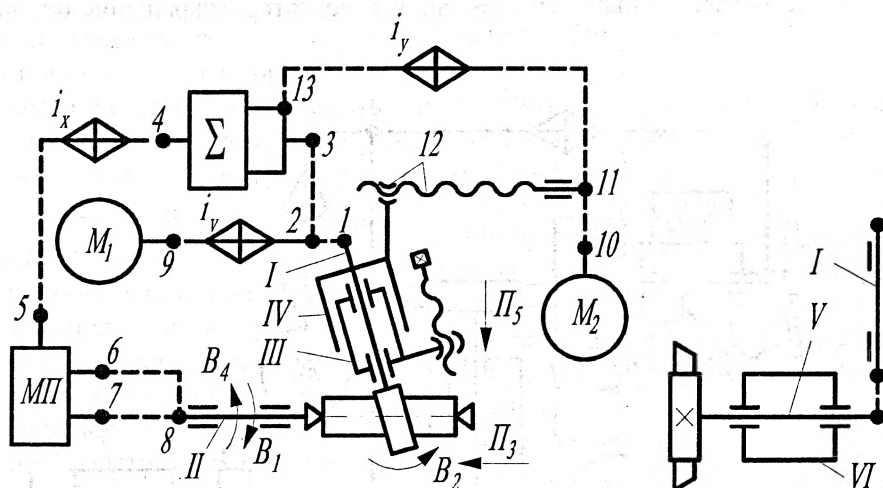


Рис. 3. Структурная схема широкоуниверсального станка модели С-50

дики настройки станка, проектирование его инструментального оснащения) и Витебским станкостроительным заводом им. Коминтерна (изготовление станка и специальных режущих инструментов) по Государственной научно-технической программе "Создать и освоить в производстве

отношения i цепи деления при обработке некруглых поверхностей ($1 \leq i \leq 5$) и прерывистых поверхностей на торцах деталей, когда значение i может превышать 100, в нее введен переключающий механизм МП, благодаря которому дан-

ная цепь содержит две ветви 5-МП-6-8 и 5-МП-7-8, участки 6-8 и 7-8 которых имеют различные передаточные отношения. Такая структура внутренней связи обеспечивает широкие технологические возможности станка модели ВС-50 по форме обрабатываемых поверхностей.

Для реализации кинематических схем обработки некруглых и прерывистых поверхностей, основанных на вращательных движениях инструмента и заготовки вокруг параллельных осей, последовательно со шпинделем I соединяется инструментальный шпиндель V сменного обрабатывающего модуля VI, который устанавливается на суппорте III станка.

Кинематическая структура станка обеспечивает прямолинейное $\Phi_8(P_3B_4)$ движение подачи. Первое создается простой кинематической группой, содержащей регулируемый двигатель M_2 , связанный цепью 10-11 с тяговым устройством 12. Для создания движения $\Phi_8(P_3B_4)$ при обработке некруглых винтовых поверхностей используется сложная кинематическая группа, внутренняя связь которой 12-11- i_y -13- Σ -4- i_x -5-МП-6-8[7] посредством органа настройки i_y обеспечивает согласование движений P_3 и B_4 соответственно каретки IV и шпинделя II исходя из шага обработанной поверхности. В общих случаях скорость движения подачи настраивается изменением частоты вращения двигателя M_2 .

Кинематическая структура, конструкция и созданное инструментальное оснащение станков моделей ВС-400Ф2 и ВС-50 при скрещивающихся осях движений B_1 и B_2 обеспечивают реализацию следующих схем обработки:

- некруглых наружных поверхностей цилиндрическим инструментом, эксцентрично установленным круглым резцом, винтовым резцом, комбинированным инструментом;
- пазов на наружных поверхностях деталей типа шлицевых валов, звездочек, храповых колес и т.п. резцовыми головками;
- пазов на торцевых поверхностях деталей типа кулачковых и храповых муфт, других изделий с плоским зубчатым контуром .

При параллельных осях движений B_1 и B_2 на обоих станках реализуются процессы обработки:

- наружных профилейных (многогранных) по-

верхностей резцовыми головками внешнего касания и дисковыми инструментами;

- сопряженных наружных и внутренних профилейных поверхностей инструментом охватывающего типа по попутной схеме резания;
- пазов на торцах деталей типа кулачковых муфт, корончатых гаек и т.п. резцовыми головками.

На базе станка модели ВС-50 по заданию региональной научно-технической программы "Инновационное развитие Витебской области" (исполнители Полоцкий государственный университет и Витебский станкостроительный завод им. Коминтерна) для Минского автомобильного завода создан специальный станок модели ВС50-9601, который реализует высокопроизводительные схемы нарезания плоских зубчатых контуров на торцах моментопередающих деталей типа храповых и кулачковых муфт, а также деталей измерительных систем типа индукторов системы АБС автомобилей методом фрезерования и кругового протягивания с непрерывным движением деления специальными инструментами [5]. Применение прогрессивных схем формообразования в созданных станках обеспечивает по сравнению с применяемыми в промышленности (в 2,5-4 раза) повышение производительности при более высокой точности обработки.

Список литературы

1. Коновалов Е.Г. Основы новых способов металлообработки. – Мн.: Изд-во АН БССР, 1961. – 297с.
2. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: Наука и техника, 1995. – 264с.
3. Данилов В.А. Общие принципы синтеза рациональных технологий формообразования сложных поверхностей резанием// Мир технологий. – 2003. – №1. – С. 61-71.
4. Данилов В.А. Станки для обработки профилейных поверхностей, передающих момент// Техника машиностроения. – 1998. – №4. – С.102-105.
5. Патент ВУ553, МКИ В23 С3/28. Инструмент для обработки пазов на торцах деталей/ В.А. Данилов, Р.А. Киселев. – №и20010263; Заявл. 06.11.2001; Оpubл. 30.06.2002.