

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ ЧЕРВЯЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОГО ЗУБЧАТОГО КОНТУРА

*Полоцкий государственный университет  
Новополоцк, Беларусь*

Интенсификация процессов обработки плоских зубчатых контуров на торцах деталей типа храповых муфт, индукторов и т.п. имеет важное практическое значение, так как применяемые схемы формообразования и станочное оборудование зачастую не обеспечивают требуемые производительность и точность. Это относится и к наиболее распространенной технологии обработки пазов по методу единичного деления на универсальных фрезерных станках. В этой связи заслуживают внимания схемы обработки, основанные на совмещении движений формообразования и деления, что обеспечивает одновременно повышение производительности и точности нарезания зубчатых контуров.

Анализ кинематической структуры и компоновки существующих станков показывает возможность реализации таких схем на универсальных зубо- и шлицефрезерных станках при оснащении их специальными инструментами дискового или червячного типов, соответственно в виде резовых головок и червячных фрез. Последние обеспечивают более высокую производительность процесса нарезания пазов при расположении режущих зубьев на конической винтовой линии [1]. Изготовление и заточка таких фрез представляет определенные технологические трудности, поэтому разработана более простая в реализации схема нарезания зубчатых контуров цилиндрической червячной фрезой (рис. 1), ось вращения которой наклонена к плоскости вращения заготовки. Определим параметры схемы формообразования и геометрии инструмента, необходимые для ее реализации.

При обработке плоских зубчатых контуров наклоненной червячной фрезой заготовке и инструменту сообщают согласованные вращательные движения, соответственно  $V_1$  и  $V_2$ , с частотами  $n_1$  и  $n_2$  вокруг скрещивающихся под углом  $\epsilon$  осей. При этом инструмент устанавливают так, чтобы образовался определенный угол  $\lambda$  между плоскостью вращения формообразующих элементов и плоскостью, проходящей через ось вращения заготовки и точку пересечения оси вращения инструмента с плоскостью вращения его режущих элементов. Величина этого угла должна удовлетворять зависимости

$$\lambda = \arcsin \frac{R_{cp}}{R_m}, \quad (1)$$

где  $R_{CP}$  – средний радиус расположения пазов;  $R$  – радиус червячного инструмента;  $m$  – число формируемых пазов.

Угол скрещивания осей  $\epsilon$ , задаваемый при настройке станка, рассчитывается по формуле

$$\epsilon = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{f}{L \cos \lambda \sin(\lambda + \delta) - R_{CP} \sin \lambda}, \quad (2)$$

где  $f$  – глубина формируемых пазов;  $\delta$  – угловой шаг расположения пазов;  $L$  – параметр установки инструмента относительно оси заготовки.

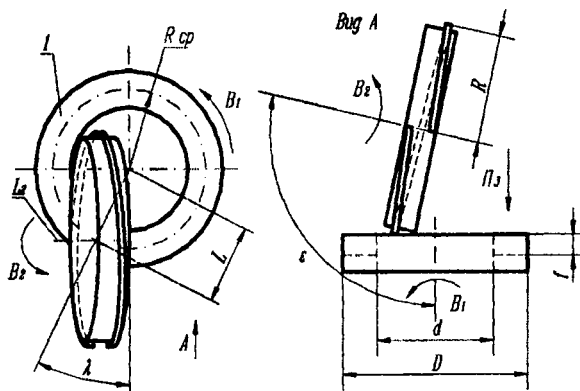


Рис. 1 Схема формообразования прерывистых поверхностей червячным инструментом

При наклоне червячного инструмента для образования угла скрещивания  $\epsilon$  имеет место искажение номинального расположения режущих элементов. Для обеспечения попадания их в формируемые пазы величина  $k_1$ , определяющая относительное расположение режущих элементов вдоль оси вращения инструмента должна удовлетворять условию

$$k_1 = \frac{L \cos \lambda \sin \left( \lambda + \frac{\beta_1 \delta}{2\pi} \right) - R_{CP} \sin \lambda}{\sin \epsilon}, \quad (3)$$

где  $\beta_1$  – величина, задающая угловое относительное расположение режущих элементов.

Для выполнения в процессе формообразования операции деления требуется соответствующая настройка отношения частот вращения инструмента и заготовки

$$n_2/n_1 = m \quad (4)$$

Затирание по левой и правой сторонам режущих элементов исключается, если

$$\alpha_{вл} \geq 90 - \operatorname{arctg} \frac{2(k_l \sin \varepsilon + 0.5t + R_{cp} \sin \lambda)}{\sqrt{d^2 - (k_l \sin \varepsilon + 0.5t + R_{cp} \sin \lambda)^2}} + \alpha_3 \quad (5)$$

$$\alpha_{вл} \geq 90 - \operatorname{arctg} \frac{2(k_l \sin \varepsilon - 0.5t + R_{cp} \sin \lambda)}{\sqrt{D^2 - (k_l \sin \varepsilon - 0.5t + R_{cp} \sin \lambda)^2}} + \alpha_3, \quad (6)$$

где  $\alpha_{вл}$ ,  $\alpha_{вп}$  – задние вспомогательные углы режущих элементов по указанным сторонам;  $t$  – ширина пазов.

Производительность формообразования  $Q$  для рассматриваемой схемы обработки

$$Q = \frac{fS n_2}{m}, \quad (7)$$

где  $S$  – подача инструмента за один оборот заготовки.

Достоинством рассмотренной схемы является более простое, по сравнению с обработкой пазов спиральным червячным инструментом, относительное расположение режущих элементов за счет установки инструмента под углом  $\varepsilon$  к оси вращения заготовки. Для компенсации наклона необходима соответствующая ориентация режущих элементов относительно корпуса инструмента. Вследствие скрещивания осей под углом  $\varepsilon$  также изменяется характеристический образ инструмента, что учитывается при определении его геометрических параметров.

Выбор радиуса инструмента при заданных параметрах обрабатываемой детали по условию непересечения формируемой поверхности с поверхностью резания осуществляется из неравенства

$$R_1 \leq \frac{\frac{f^2}{\cos^2(\varepsilon - 0.5\pi)} + \left( \sqrt{(0.5d)^2 - (0.5t + R_{cp} \sin \lambda + f \operatorname{tg}(\varepsilon - 0.5\pi))^2} + R_{cp} \cos \lambda \right)^2}{2 \frac{f}{\cos(\varepsilon - 0.5\pi)}}, \quad (8)$$

где  $d$  – внутренний диаметр зубчатого контура.

На величину радиуса инструмента влияет также допускаемое отклонение от прямолинейности дна формируемых пазов. На рис. 2 изображена траектория относительного движения точки, принадлежащей режущей кромке резца в проекции на плоскость, проходящую через ось вращения заготовки и перпендикулярно оси вращения инструмента. Согласно рис. 2, если допускаемое отклонение от прямолинейности составляет  $\Delta_1$ , то радиус инструмента

$$R_2 \geq \frac{\left( \frac{\Delta_1}{\cos(\varepsilon - 0.5\pi)} \right)^2 + (0.5c)^2}{2 \left( \frac{\Delta_1}{\cos(\varepsilon - 0.5\pi)} \right)}. \quad (9)$$

где  $c$  – ширина формируемого зубчатого венца.

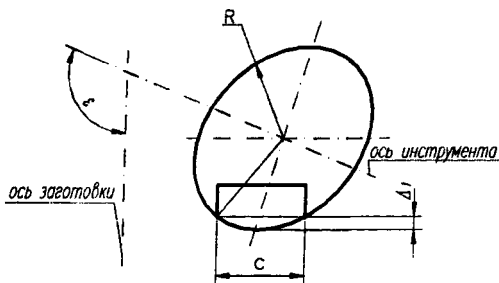


Рис. 2 Схема для определения радиуса инструмента по непрямолинейности дна формируемых пазов

Из (9) следует, что радиус инструмента зависит не только от непрямолинейности дна пазов, но и от угла его наклона.

Исходя из математической модели формообразования прерывистых поверхностей наклонным червячным инструментом

$$\begin{cases} x_1 = L \cos \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_1) \cos(\alpha + \lambda) + (k_1 - R \cos(\alpha m + \beta_1) \operatorname{tg} \epsilon) \cos \epsilon \sin(\alpha + \lambda) \\ y_1 = L \sin \alpha + R \sin(\alpha m + \beta_1) \sin(\alpha + \lambda) - (k_1 - R \cos(\alpha m + \beta_1) \operatorname{tg} \epsilon) \sin \epsilon \cos(\alpha + \lambda) \end{cases} \quad (10)$$

условие для определения радиуса инструмента, обеспечивающего формообразование боковых поверхностей пазов с допуском  $\Delta_2$  выражается системой уравнений

$$\begin{cases} x_1 = L \cos \alpha + R_3 \sin(\alpha m) \cos\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{R_{CP}}{R_m}\right)\right) - R_3 \cos(\alpha m) \operatorname{tg} \epsilon \cos \epsilon \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{R_{CP}}{R_m}\right)\right) \\ y_1 = L \sin \alpha + R_3 \sin(\alpha m) \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{R_{CP}}{R_m}\right)\right) + R_3 \cos(\alpha m) \operatorname{tg} \epsilon \cos \epsilon \sin\left(\alpha + \arcsin\left(\frac{R_{CP}}{R_m}\right)\right) \\ x_1^2 + y_1^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \\ x_2 = y_2 \cdot \operatorname{tg} \arcsin\left(\frac{R_{CP}}{R_3 m}\right) \\ x_2^2 + y_2^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \\ \Delta_2 \geq k \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \end{cases}$$

Таким образом, радиус инструмента должен определяться исходя из четырех условий:  $R \leq R_1$  (условие непересечения поверхности детали поверхностью резания);  $R \geq R_2$  (условие качественного формирования дна пазов);  $R \geq R_3$ , условие качественного формирования боковых граней пазов) и соответствия инструмента параметрам рабочей зоны технологического оборудования.

Рассмотренная схема формообразования реализована на зубофрезерном станке модели 5A308 для обработки храповой зубчатой муфты с многократным повышенным производительности по сравнению с применяемой технологией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов В.А., Киселев Р.А. Высокопроизводительный способ обработки плоских зубчатых контуров // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. Сборн. научн. трудов / Под ред. С.А.Астапчика, П.А. Витязя. – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. – С. 681–685.

УДК 621.91.04:621.824.42

В.А. Данилов, А.И. Костюченко, С.В. Спиридонов

## КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ МОМЕНТОПЕРЕДАЮЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В ТРАНСМИССИЯХ МАШИН

*Полоцкий государственный университет.*

*Новополоцк*

*Минский завод “Ударник”.*

*Минск Беларусь*

Совершенствование конструкций и технологии изготовления моментопередающих соединений представляет актуальную научно-техническую проблему. Одно из направлений ее решения связано с применением профильных (бесшпоночных) соединений, которые, благодаря эксплуатационным и технологическим преимуществам, все шире применяются вместо шлицевых в технологическом оборудовании, различных машинах и механизмах [1].

В отечественном машиностроении применение профильных соединений сдерживается недостаточным практическим опытом их эксплуатации, а также нерешенностью конструкторских и технологических задач, связанных с их проектированием и изготовлением. В этой связи Полоцким государственным университетом совместно с Минским заводом “Ударник” проведена научно-исследовательская и опытно-конструктор-