

обработки, когда элементы поверхности располагаются в шахматном порядке и между ними отсутствуют площадки с исходной шероховатостью. В результате имитационного моделирования процесса формообразования установлено, что ПРМР образуется при выполнении условия

$$K_n = m \pm 0,8i + j/i,$$

где $m = 1, 2, 3, \dots$; $j = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm i$. На рис. 1 показана схема ПРМР до (а) и после (б) приработки и кривая опорной поверхности (в), обработанной однозаходным ВРР ($R_0 = 32,5$ мм; $h = 6$ мм; $i = 1$; $\epsilon = 25^\circ$; $s = 0,78$ мм/об; $r = 20$ мм; $K_n = 12,8$). Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментом. В зависимости от условий обработки размеры лунки могут изменяться в следующих пределах: $R = 3 \dots 20$ мкм; $l = 0,5 \dots 50$ мм; $b = 0,5 \dots 5$ мм.

Использование ВРР при обработке ПРМР обеспечивает значительное упрощение кинематики, заключающейся в сообщении резцу вращательного и прямолинейного движений, согласованных с вращением детали. Способ может осуществляться на шлицефрезерных, зубофрезерных и токарных станках. Последние при этом оснащаются приводом инструмента.

Повышение эксплуатационных свойств поверхностей с ПРМР, а также технологическая простота получения таких поверхностей при обработке ВРР определяют целесообразность использования ВРР при чистовой обработке.

УДК 621.914.1

**П.С.ЧИСТОСЕРДОВ, канд. техн. наук,
А.И.КРЕЗ (ММИ)**

ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ РАДИУСНЫХ СИНУСОИДАЛЬНЫХ КАНАВОК

В Могилевском машиностроительном институте разработан принципиально новый редуктор с синусошариковым зацеплением, который успешно внедряется в производство. Основной конструктивной особенностью редуктора являются замкнутые синусоидальные канавки, выполненные на наружной и внутренней цилиндрических поверхностях его деталей. Профиль канавок в нормальном к ним сечении соответствует дуге окружности определенного радиуса.

Получение канавок такого типа основано на сообщении цилиндрической заготовке относительно концевой фрезы со сферической головкой сложного движения (равномерного вращения вокруг своей оси и возвратно поступательного перемещения вдоль этой оси). В результате сложения этих двух движений точка пересечения оси фрезы с цилиндрической поверхностью заготовки диаметром D (рис. 1) описывает на этой поверхности кривую, параметрические уравнения которой в развертке имеют вид

$$x = 0,5 D \varphi, \quad y = A \sin k\varphi, \quad (1)$$

где A — амплитуда воспроизводимой синусоиды; k — целое число, равное числу периодов синусоиды на цилиндре; φ — угол поворота заготовки.

Основной величиной, характеризующей различные стороны процесса фрезерования, является подача на зуб фрезы. В общем случае ее значение определяется по формуле

$$S_z = 2\pi v / Z\omega_\phi, \text{ мм/зуб}, \quad (2)$$

где v — скорость движения фрезы относительно заготовки, мм/с; Z — число зубьев фрезы; ω_ϕ — угловая скорость фрезы, с^{-1} .

В нашем случае абсолютная скорость движения фрезы относительно заготовки равна геометрической сумме двух ее составляющих, параллельных осям x и y . На основании уравнений движения (1) :

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \omega_3 \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (Ak \cos k\varphi)^2}, \text{ мм/с}, \quad (3)$$

где ω_3 — угловая скорость заготовки, с^{-1} .

После подстановки формулы (3) в выражение (2) последнее примет вид

$$S_z = \frac{2\pi\omega_3}{Z\omega_\phi} \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + (Ak \cos k\varphi)^2}, \text{ мм/зуб}. \quad (4)$$

Анализ полученного выражения показывает, что величина подачи непрерывно изменяется в зависимости от угла поворота заготовки, достигая максимума при $\varphi = a\pi/k$, где a — любое целое число. Эти углы соответствуют прохождению фрезой осевой линии синусоиды.

Из выражения (4) следует также, что величина подачи различна для различных рабочих участков фрезы в зависимости от их высоты над ее вершиной. Это обусловлено ее увеличением при возрастании диаметра обработки, изменяющегося в пределах глубины канавки h .

Таким образом, максимальное значение подачи на зуб фрезы при фрезеровании синусоидальной канавки на цилиндрической поверхности

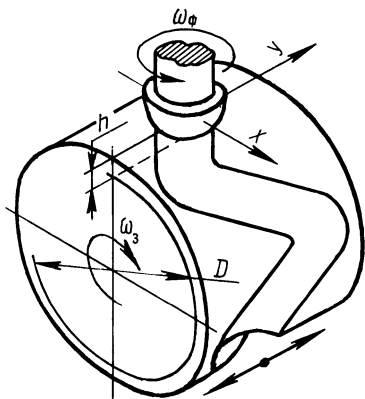


Рис. 1. Схема фрезерования радиусной синусоидальной канавки на поверхности цилиндра

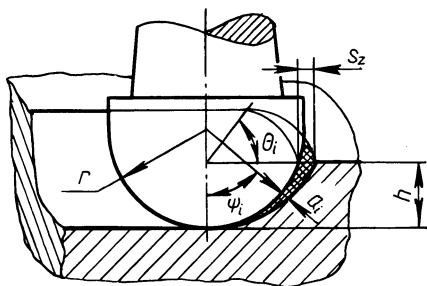


Рис. 2. Схема для определения элементов срезаемого слоя при фрезеровании радиусной канавки концевой фрезой со сферической головкой

$$S_{r_{\max}} = \frac{2\pi n_3}{Z n_{\phi}} \sqrt{\left(\frac{D_{\max}}{2}\right)^2 + (Ak)^2}, \text{ мм/зуб}, \quad (5)$$

где n_3 и n_{ϕ} — частота вращения в минуту соответственно заготовки и фрезы.

Под входящим в выражение (5) D_{\max} следует понимать максимальный диаметр обработки, который в случае фрезерования канавок на наружной поверхности равен диаметру заготовки, а при фрезеровании на внутренней поверхности — диаметру, определяемому по впадинам канавки.

Второй важнейший элемент, характеризующий процесс обработки — это скорость резания, определяемая окружной скоростью периферийных точек вращающейся фрезы. В нашем случае она равна скорости режущих кромок, участвующих в процессе резания и расположенных на наибольшем расстоянии от оси вращения:

$$v_p = \frac{\pi n_{\phi}}{1000} \sqrt{h(d-h)}, \text{ м/мин}, \quad (6)$$

где n_{ϕ} — частота вращения фрезы в минуту; h — глубина фрезеруемой канавки, мм; d — диаметр сферической головки концевой фрезы, мм.

Отметим, что для определения элементов срезаемого слоя основными допущениями, принятыми при их выводе, являются: замена циклоидальной кривой, представляющей собой траекторию движения режущих кромок, окружностями и перенос процесса обработки синусоидальных канавок на наружных и внутренних поверхностях цилиндра на плоскую поверхность. Последнее допущение обусловлено тем, что плоскость в этом случае является как бы усредненным вариантом.

С учетом этого текущее значение толщины срезаемого слоя в положении, определяемом углами ψ и θ (рис. 2), выразится: $a_i = S_z \sin \theta_i \sin \psi_i$. Максимальную же толщину при фрезеровании канавки глубиной h необходимо определять по формуле:

$$a_{\max} = S_z \frac{\sqrt{h(2r-h)}}{r}, \text{ мм}. \quad (7)$$

Площадь поперечного сечения срезаемого припуска

$$F_h = r^2 \arcsin \frac{\sqrt{h(2r-h)}}{r} - (r-h) \sqrt{h(2r-h)}, \text{ мм}^2. \quad (8)$$

Зная эту величину, легко определить объем слоя металла, снимаемого одним зубом фрезы за оборот инструмента:

$$W_z = S_z F_h, \text{ мм}^3. \quad (9)$$

Площадь поверхности резания при фрезеровании концевой фрезой со сферической головкой радиусной канавки глубиной h

$$S_p = \pi r h, \text{ мм}^2. \quad (10)$$

Известно, что средняя толщина слоя металла, срезаемого зубом любой фрезы, равна $a_{\text{ср}} = W_z / S_p$ [2]. Зная по выражениям (9) и (10) величины W_z и S_p , получим:

$$a_{\text{ср}} = \frac{S_z}{\pi r h} \left[r^2 \arcsin \frac{\sqrt{h(2r-h)}}{r} - (r-h) \sqrt{h(2r-h)} \right], \text{ мм.}$$

Полученные зависимости являются основой для расчетов при поиске оптимальных режимов обработки и для силового анализа процесса фрезерования радиусных синусоидальных канавок на деталях синусошарикового редуктора.

Г л а в а II. ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

УДК 621.91.01

В.И.ХОДЫРЕВ, канд. техн. наук,
Н.Д.ДОБОРОВЛЬСКИЙ (ММИ)

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ РОТАЦИОННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДЕФЕКТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛА

Дефектные слои металла при производстве литья и проката снимаются главным образом механической обработкой заготовок. Производительность таких процессов довольно низка, поскольку режущие инструменты работают в весьма неблагоприятных условиях (наличие корок, твердых включений и т.д.). Для подобных условий на кафедре "Металлорежущие станки и инструменты" Могилевского машиностроительного института созданы конструкции многолезвийных ротационных резцов с винтовыми режущими кромками, позволяющими в несколько раз повысить стойкость инструмента.

На рис. 1 показаны схемы обработки винтовыми ротационными резцами цилиндрических поверхностей. В случае, когда необходимо снять дефектный слой металла глубиной t со всей цилиндрической поверхности (рис. 1, а), следует применять цилиндрические винтовые резцы. Режущая часть такого резца представляет собой многозаходный червяк из инструментального материала. Ось режущей части наклонена на угол ϵ к вектору скорости главного движения в направлении продольной подачи и в процессе точения вращается под действием сил резания. В работе одновременно находятся несколько витков режущей кромки, между которыми разделяется срезаемый припуск. За счет винтовой формы режущих лезвий их активные участки перемещаются в направлении оси режущей части при ее вращении. В результате создается циклическая прерывистость резания и обеспечивается кинематическое дробление стружки при любых условиях обработки. Винтовые ротационные резцы имеют целый ряд преимуществ перед известными чашечными резцами и позволяют значительно повысить производительность обработки, обеспечивая получение транспортальной и безопасной стружки.