

Л и т е р а т у р а

1. Кривоухов В.А. Геометрия и конструкция резцов для высокоскоростного резания металлов и результаты внедрения их в промышленность. Сб.: "Скоростные методы обработки металлов", изд. МОНИТОМАШ, "Машгиз", М., 1949.
2. Аваков А.А. Физические основы теорий стойкости режущих инструментов. М., "Машгиз", 1960.

УДК 621.9.013

Г.Г.Иноземцев, В.Ф.Шаповалов

ВОЛНИСТОСТЬ ПРИ ЧИСТОВОМ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИИ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ КОЛЕС

При чистовом зубофрезеровании методом обкатки крупномодульных ($m = 20-60$ мм) колес специальными червячными фрезами "Победа" [1] с уменьшенным профильным углом ножей ($\alpha_{\omega\kappa} = 5^\circ - 19^\circ$) представляет интерес изучение факторов, влияющих на величину и характер распределения волнистости на обработанной поверхности зубьев.

В данной работе на основе графических построений и аналитических расчетов проведен теоретический анализ влияния подачи и конструктивных параметров червячных фрез "Победа" [2] и фрез со стандартным профильным углом ножей ($\alpha_{\omega\kappa} = 20^\circ$) [3], [4] на величину волнистости при обработке колес с различным числом зубьев.

Волнистость (рис.1) образуется в результате продольной подачи s фрезы на каждый оборот заготовки. Расчетную или геометрическую высоту волны h_s по нормали к профилю зуба можно определить по следующим формулам [5], [6]:

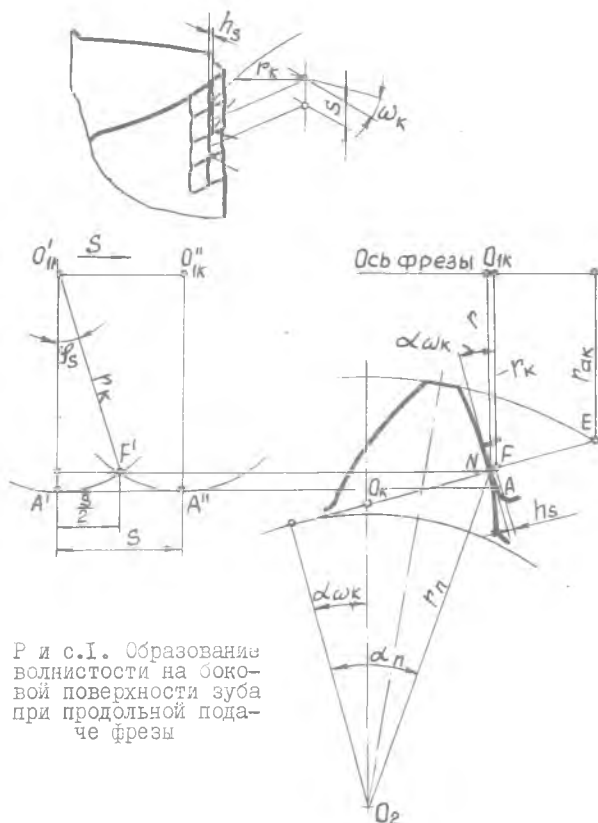
$$h_s = 2r_{\kappa} \sin^2 \frac{s}{2} \sin \alpha_{\omega\kappa},$$

где r_{κ} - радиус вращения точки А режущей кромки ножа фрезы, формирующей волну;

$\alpha_{\omega\kappa}$ - профильный угол ножей фрезы в нормальном сечении;

φ_s - угол формирования волны;

$$\sin \varphi_s = \frac{S}{2z_k \cos \omega_k}, \quad (2)$$



Р и с.1. Образование волнистости на боковой поверхности зуба при продольной подаче фрезы

где ω_k - угол подъема витка фрезы на начальном цилиндре;

S - продольная подача фрезы, мм/об.изд.

Ввиду малых значений угла φ_s ($\varphi_s < 2^\circ$) можно принять:

$$\sin^2 \frac{\varphi_s}{2} = \frac{S^2}{16z_k^2 \cos^2 \omega_k} \quad (3)$$

Подставив значение $\sin^2 \frac{\varphi_s}{2}$ в формулу (1), получим высоту волны

$$h_s = \frac{s^2 \sin \alpha \omega_k}{8 z_k \cos^2 \omega_k} \quad (4)$$

Для косозубых колес величина h_s рассматривается в плоскости, нормальной к направлению зуба. А так как подача вдоль зуба в этом случае равна $\frac{s}{\cos \beta}$, то

$$h_s = \frac{s^2 \sin \alpha \omega_k}{8 z_k \cos^2 \omega_k \cos^2 \beta} \quad (5)$$

где β - угол наклона зуба колеса.

Формулы (4) и (5) свидетельствуют о том, что при прочих равных условиях червячные фрезы "Победа", имеющие уменьшенный профильный угол ножей $\alpha \omega_k$ по сравнению со стандартными фрезами ($\alpha \omega_k = 20^\circ$), обеспечивают получение меньшей волны на обработанной поверхности зуба колеса.

Зная радиус рассматриваемой точки ножа фрезы z_k , можно определить величину и характер распределения волнистости в поперечном направлении к зубу. Наибольшая высота волны будет у вершины зуба, где z_k минимальный, и далее, с ростом z_k , она постепенно уменьшается к основанию зуба. Величина волны у вершины зуба является определяющей при назначении режимов резания и установлении погрешности профиля нарезаемых зубьев.

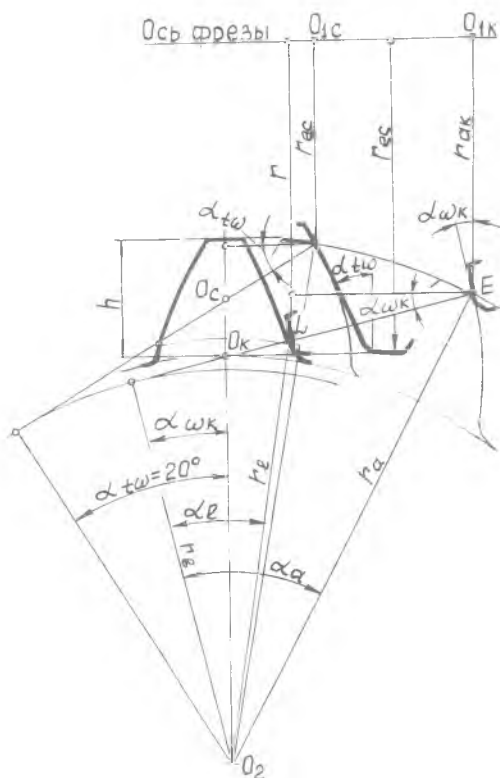
На рис. 2 сделаны графические построения к определению радиусов вращения точек ножей, формирующих волну у вершины зуба: для стандартной фрезы - z_{ac} , для фрезы "Победа" - z_{ak} .

Нетрудно убедиться, что при одинаковых наружных диаметрах $2z_c$ фрез* z_{ak} всегда больше, чем z_{ac} из-за более полуского расположения линии зацепления $O_k E$ фрезы "Победа" с заготовкой (угол зацепления фрезы "Победа" $\alpha \omega_k$ всегда меньше стандартного $\alpha \omega_k = 20^\circ$). Это обстоятельство также способствует снижению волнистости при обработке зубьев фрезами "Победа".

Для удобства аналитических выводов и с учетом того, что погрешность вычисления h_s от замены радиуса z_k на радиус вращения профилирующей точки z не превышает 0,1% примем в качестве расчетной величину z .

* Для фрез "Победа" имеется в виду наибольший диаметральный размер конуса

Тогда наибольшую геометрическую высоту волны можно определить по следующим формулам.



Р и с. 2. Определение радиусов вращения точек ножей, формирующих волну у вершины зуба

Для червячных фрез стандартной конструкции

$$h_{sc} = \frac{s^2 \sin \alpha_{tu}}{8 \{ z_{ec} - h - z_a [1 - \cos(\alpha_a - \alpha_{tu})] \} \cos^2 \omega_c \cos^2 \beta} \quad (5)$$

Для червячных фрез "Победа"

$$h_{sk} = \frac{S^2 \sin \alpha_{\omega_k}}{8[z - z_e (\operatorname{tg} \alpha_a - \operatorname{tg} \alpha_e) \sin \alpha_{\omega_k}] \cos^2 \omega_c \cos^2 \beta}, \quad (6)$$

- где z_{ec} - радиус наружного цилиндра стандартной фрезы;
 z_a - радиус вершин зубьев колеса;
 z_e - радиус основной окружности;
 z_p - радиус окружности нижней граничной точки эвольвенты;
 z - радиус вращения точки ножа фрезы "Победа", сопряженной с нижней граничной точкой эвольвенты (выбирается конструктивно);
 h - высота зуба;
 α_a - угол профиля на окружности вершин зубьев;
 α_e - угол профиля на окружности нижней граничной точки эвольвенты.

Формулы (5) и (6) можно преобразовать, выразив h , z_a и z_e через модуль m и число зубьев Z колеса:

$$h_{sc} = \frac{S^2 \sin 20^\circ}{8[z_{ec} - m[2,25 - (Z+2) \sin^2 \frac{\alpha_a - 20^\circ}{2}] \cos^2 \omega_c \cos^2 \beta}, \quad (7)$$

$$h_{sk} = \frac{S^2 \sin \alpha_{\omega_k}}{8[z - \frac{m Z \cos 20^\circ}{2} (\operatorname{tg} \alpha_a - \operatorname{tg} \alpha_e) \sin \alpha_{\omega_k}] \cos^2 \omega_c \cos^2 \beta}. \quad (8)$$

На рис. 3 показана зависимость максимальной геометрической высоты волны, рассчитанной по формулам (5) и (6), от подачи для червячных фрез различных исполнений при обработке прямозубых колес. При одинаковых наружных диаметрах высота волны для фрез "Победа" в 1,5 раза меньше, чем для червячных фрез, изготовленных по нормали Новокаматорского машиностроительного завода им. В.И.Ленина и почти в 2 раза меньше, чем для фрез $m=20$ мм, изготовленных по ГОСТ 9324-60, имеющих несколько меньший диаметр.

Высота волны интенсивно увеличивается для всех фрез с ростом подачи.

С ростом модуля высота волны снижается только потому, что увеличивается наружный диаметр фрезы. Такая закономерность справедлива для стандартных фрез.

Фрезы "Победа" конструктивно можно исполнить с одинаковыми наружными диаметрами в определенном диапазоне модулей, например: фрезы $m=20-33$ мм - $D_e = 290$ мм; $m = 36-42$ мм - $D_e = 330$ мм

и т.д. Как показывают расчеты, в этом случае на каждые 10 мм роста модуля высота волны увеличивается на 20-22%, если учесть, что высота волны значительно меньше допуска на профиль зуба даже по 7-й степени точности (ГОСТ 1643-72) при $z = 90$, $f_{\text{m}=20} = 53 \text{ мкм}$, $f_{\text{m}=40} = 71 \text{ мкм}$, такая унификация наружных диаметров весьма целесообразна, так как при увеличенном в 1,8-2 раза количестве ножей по сравнению со стандартными фрезами дает значительное снижение расхода конструкционной стали при изготовлении фрез, делает их более компактными и удобными в установке и настройке.

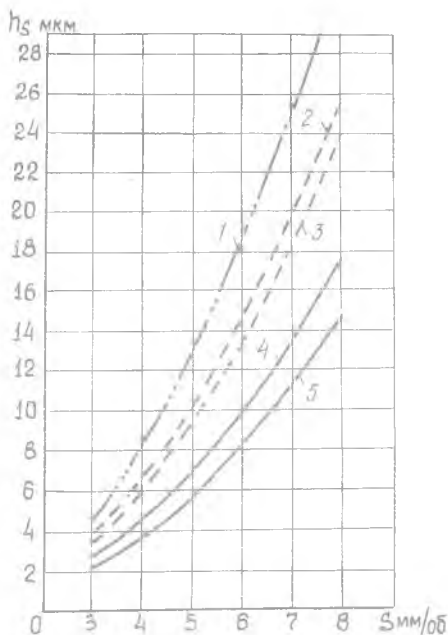
На рис.4 показана зависимость максимальной геометрической высоты волны от числа зубьев обрабатываемого колеса.

Во всем рассматриваемом диапазоне чисел зубьев ($z = 30-330$) фрезы "Победа" дают, по сравнению с фрезами НКМЗ, меньшую волну. Разница в высоте получаемых волн уменьшается с ростом числа зубьев, что объясняется постепенным

сближением значений профильных углов ножей фрез.

Червячные фрезы $m = 20 \text{ мм}$, выполненные по ГОСТ 9524-60, уступают приведенным типам фрез.

Для стандартных фрез с профильным углом ножей 20° характерно стабильное изменение высоты волны (в пределах 1 мкм), что



Р и с.3. Зависимость максимальной геометрической высоты волны от подачи для червячных фрез различных исполнений ($z = 90$): 1 - фреза, изготовленная по ГОСТ 9524-60 ($m = 20$, $D_e = 250$); 2 - фреза, изготовленная по нормали НКМЗ ($m = 20$, $D_e = 295$); 3 - фреза, изготовленная по нормали НКМЗ ($m = 40$, $D_e = 400$); 4 - фреза "Победа" ($m = 20$, $D_e = 295$); 5 - фреза "Победа" ($m = 40$; $D_e = 400$)

обусловлено постоянством профильного угла $\alpha_{t\omega}$ (рис.2) и незначительными изменениями радиуса r_{ac} .

Эффективность фрез "Победа" особенно проявляется в диапазоне чисел зубьев $z = 30-90$, где при значительно меньшем (чем для стандартных фрез) профильном угле ножей расчетная высота волны в 2-5 раз меньше, что указывает на возможность существенного повышения подачи инструмента.

Вместе с тем, рассматриваемая волнистость как отклонение эвольвентной поверхности, можно утверждать, что точность обработки зубьев фрезами "Победа", по сравнению со стандартными фрезами, выше. Она растет с уменьшением числа нарезаемых зубьев.

Для ориентировочного выбора подачи при обработке зубчатых колес фрезами "Победа" на рис. 5 дана обобщенная зависимость геометрической высоты волны от подачи инструмента и числа нарезаемых зубьев колеса. При определении высоты волны необходимо найденную величину h_{sm} в соответствии с модулем разделить на коэффициент K_m .

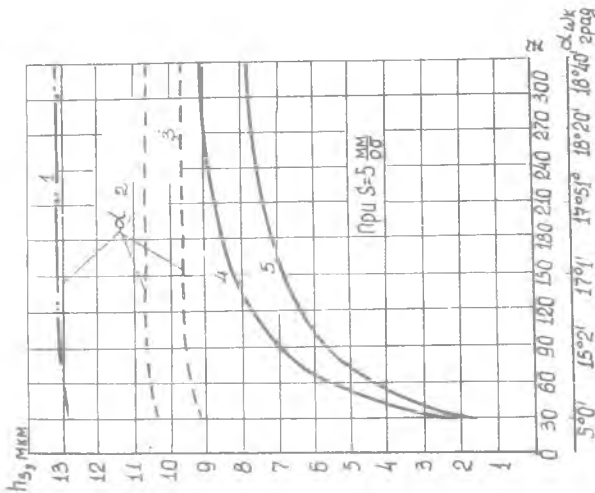
График построен для фрез "Победа", имеющих наружные диаметры, соответствующие приведенным в [2]:

$$m = 20-35 \text{ мм} - D_e = 230$$

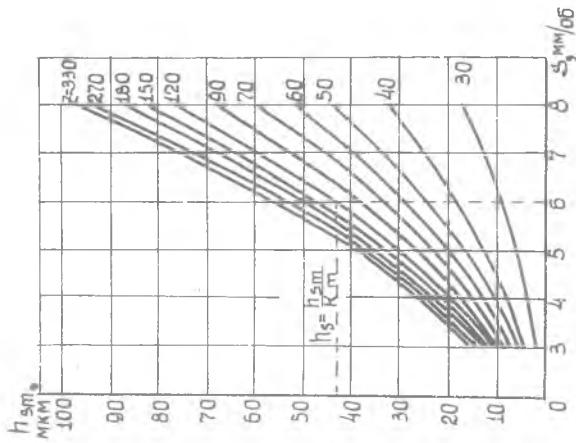
$$m = 35-42 \text{ мм} - D_e = 330$$

$$m = 50-60 \text{ мм} - D_e = 420$$

Полученные расчетные значения высоты волны определены без учета факторов реального процесса резания. Поэтому их следует рассматривать как минимальные и неизбежные, вызванные кинематикой движения инструмента. Реальная волнистость будет больше, так как она в значительной мере определяется жесткостью и связанными с ней вибрациями системы СПИД, которые в свою очередь зависят от технологических факторов обработки (припуска, подачи, скорости резания), схемы резания, геометрии инструмента и др.



Р и с. 4. Зависимость максимальной геометрической высоты волны от числа зубьев обрабатываемого колеса для фрез различных исполнений ($S = 5$ мм/об): 1 - фреза, изготовленная по ГОСТ 9324-60 ($m = 20, D_e = 250$); 2 - фреза, изготовленная по нормали НКМЗ ($m = 20, D_e = 295$); 3 - фреза, изготовленная по нормали НКМЗ ($m = 40; D_e = 400$); 4 - фреза "Победа" ($m = 20, D_e = 295$); 5 - фреза "Победа" ($m = 40, D_e = 400$)



Р и с. 5. График для определения максимальной геометрической высоты волны при частотном зубофрезеровании колес фрезями "Победа": $m = 20 - K_m = 40; m = 30 - K_m = 30; m = 40 - K_m = 4,4; m = 50 - K_m = 60 - K_m = 4,4, 2$

Л и т е р а т у р а

1. Иноземцев Г.Г., Сидоренко А.К., Шаповалов В.Ф. Рационализация конструкции и геометрии крупномодульных червячных фрез. В сб.: "Исследование в области станков и инструментов", вып.2. Саратовский политехнический институт, 1976.
2. ОСТ 24,667.02. Фрезы червячные "Победа" - конструкция и размеры, МТЭ и ТМ, М., 1972.
3. СТП 48.15.70. Фрезы червячные чистовые с приварными зубьями $m=18-30$ мм. Стандарт предприятия, НКМЗ, 1971.
4. ГОСТ 9324-60. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. М., Комитет стандартов, 1968.
5. Шишков В.А. Обработка поверхностей резанием по методу обкатки. Машгиз, 1951.
6. Сидоренко А.К., Шаповалов В.Ф. Кинематика чистового зубофрезерования червячными фрезами "Победа". Труды НИИПТМАШ, вып.11. Краматорск, 1974.

УДК 621.951.7

В.В. Лукин, А.С. Горячев,
А.К. Моргунов

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗВЕРТОК С ДЕМПФИРУЮЩЕ-ВЫГЛАЖИВАЮЩИМИ ВСТАВКАМИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОТВЕРСТИИ

Степень шероховатости обработанных отверстий имеет важное значение при изготовлении деталей и узлов самолетов из высокопрочных сталей ($\sigma_s = 110-190$ кгс/мм²). Чем выше класс шероховатости обработанных поверхностей изделий, тем более высокий уровень прочностной прочностью они обладают.

С целью повышения качества обработанных отверстий авторами разработана конструкция развертки с демпфирующе-выглаживающими вставками (рис.1).

К корпусу развертки 1 припаяны твердосплавные режущие зубья 2, определяющие исполнительный размер развертки D . За каждым зубом в специальных пазах 6 и 7 располагаются твердосплавные пластины 3, опирающиеся на эластичные полиуретановые вставки 4. При этом пластины 3 выступают над режущей частью зубьев развертки на определенную величину, определяемую размером D_0 .

Применение таких разверток обеспечивает благоприятные условия работы, особенно при входе инструмента в предварительные