

**Ю.В. ТИМОФЕЕВ** д-р. техн. наук, НТУ «ХПИ», г. Харьков,  
**Е.В. МИРОНЕНКО** док. техн. наук, **А.А. КЛОЧКО** канд. техн. наук,  
**В.Ф. ШАПОВАЛОВ** канд. техн. наук,  
**О.Е.МИРОНЕНКО**, ДГМА, г. Краматорск

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ

З метою підвищення технологічної точності при зубофрезеруванні крупномодульних загартованих зубчастих коліс з різним числом зубів і скорочення номенклатури вживаного інструменту розроблені різні модифікації універсальних крупномодульних твердосплавних черв'ячних фрез  $m=10-65\text{мм}$ . Як паллоїди верстатного зачеплення твердосплавних черв'ячних фрез з оброблюваним колесом використовується ділильне коло колеса, а кут профілю зубів інструментів рівний  $\alpha_n=20^\circ$ .

With the purpose of increase of technological exactness at zubofrezzerovaniі krupnomodul'nykh of hard-tempered gear-wheels with the different number of points and reduction of nomenclature of the applied instrument different modifications of universal krupnomodul'nykh of hard-alloy worm milling cutters of  $m=10-65\text{mm}$  are developed. As palloidy of the machine-tool hooking of hard-alloy worm milling cutters with the processed wheel is the delitel'naya circumference of wheel used, and the corner of type of points of instruments is equal  $\alpha_n=20^\circ$ .

Одним из существенных недостатков специальных твердосплавных фрез, оказывающим влияние на качество зацепления сопрягающихся колес, является невозможность обработки одним и тем же инструментом зубчатых колес, значительно отличающихся друг от друга числом зубьев. Между тем, в практике тяжелого машиностроения достаточно широко используются передачи, включающие шестерню с малым числом зубьев, например  $z_1=12-40$  и колесо с большим числом зубьев, например  $z_2=180-316$ . Это зубчатые передачи угле- и рудоразмельных мельниц, экскаваторы и др.

При обработке таких колес разными червячными фрезами не будет обеспечена идентичность основного шага зубьев, что, несомненно, отразится на качестве зацепления и долговечности зубчатой передачи.

Особо важное значение для качества зацепления приобретает обработка одним и тем же инструментом сопрягающейся пары закаленных ( $HRC_s>45$ ) зубчатых колес, эксплуатационная приработка которых практически исключена.

С целью повышения точности зацепления сопрягающихся, преимущественно закаленных зубчатых колес с различным числом зубьев и сокращения номенклатуры применяемого инструмента разработаны различные модификации универсальных крупномодульных  $m=10-65\text{мм}$  твердосплавных червячных фрез.

В качестве паллоиды станочного зацепления таких фрез с обрабатывае-

мым колесом используется делительная окружность колеса, а угол профиля зубьев инструментов равен  $\alpha_n=20^\circ$ .

Двухкорпусная конструкция фрез одностороннего резания предназначена для обработки зубьев колес за два прохода. Фреза (рис.1) состоит из левого 1 и правого 2 корпусов с конической винтовой нарезкой одного направления, в пазах которой с помощью гибких элементов 3 и штифтов 4 закреплены державки 5, наличие рифленной поверхности или буртика предохраняет зубья фрезы от смещения в осевом направлении под действием сил резания. Благодаря конической винтовой нарезке зубья фрезы размещены только на линии станочного зацепления инструмента и обрабатываемого колеса 7. Зубья колеса 7 до закалки должны быть нарезаны с припуском червячной, дисковой или пальцевой червячной фрезой с «протуберанцем».

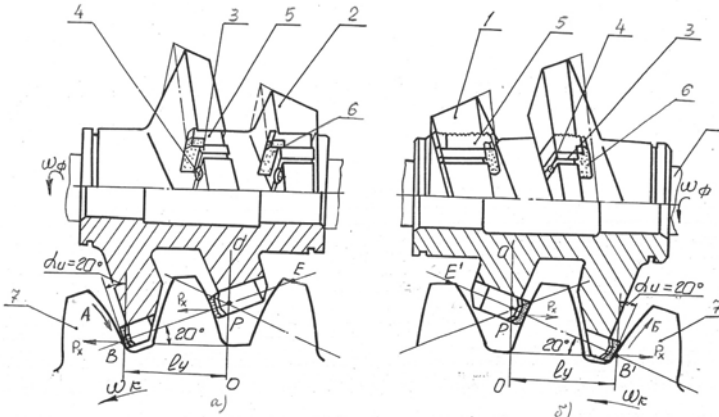


Рис.1 – Двухкорпусная фреза одностороннего резания.  
а – правый корпус; б – левый корпус.

Согласно разработанному для этой конструкции способу зубообработки [1] каждый из корпусов фрезы устанавливается отдельно на зубофрезерной оправке со смещением относительно межосевого перпендикуляра  $00'$  пары «инструмент-деталь» на расстояние  $l_y$  (рис.2), определяемое точкой В (В') пересечения окружности нижней граничной точки эвольвенты зубьев и линии станочного зацепления ВЕ (В'Е'). Размеры установочного расстояния не зависят от числа зубьев обрабатываемого колеса. Величина  $l_y$  (рис.2) определяется профильным углом исходного контура зубчатой рейки  $\alpha_0$ , высотой ножки зуба  $h_f$  и радиусом закругления головки зуба черногового инструмента  $r_f$ . Эти параметры зависят только от модуля и коэффициента смещения исходного контура зубчатой рейки.

Установочное расстояние определяется по формуле

$$l_y = \frac{h_f - x_m - r_f(1 - \sin \alpha_0)}{\operatorname{tg} \alpha_0}, \quad (1)$$

где  $x$  – коэффициент смещения исходного контура зубчатой рейки;  $m$  – модуль зубьев колеса.

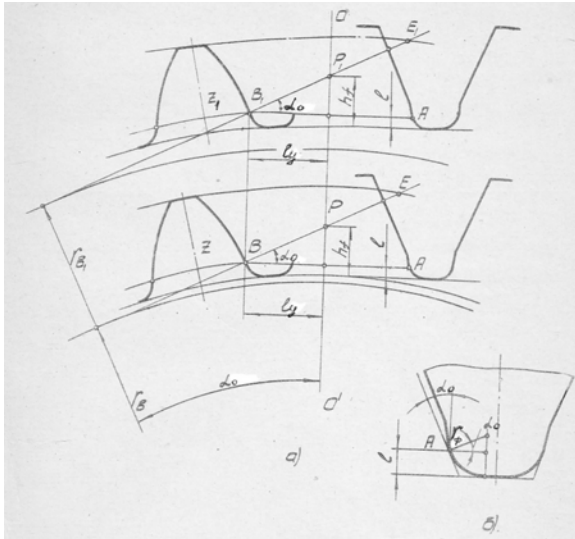


Рис.2 – К определению установочного расстояния  $l_y$  корпусов фрезы  
 а – установочное расстояние  $l_y$  для колес с разным числом зубьев;  
 б – параметры головки зуба черновой фрезы.

Для колес с исходным контуром зубчатой рейки согласно ГОСТ13755-81, где  $\alpha_n=20^0$ ,  $h_f=1,25 \cdot m$  и при  $r_f=0,3 \cdot m$  формула 2.10 упрощается и имеет вид

$$l_y = \frac{m \cdot (1,052 - x)}{0,36397} \quad (2)$$

Таким образом, поочередно устанавливая со смещением на зуборезной оправке каждый из корпусов, одной фрезой можно обрабатывать за два прохода зубчатые колеса с любым числом зубьев.

Смещение корпуса фрезы с межосевого перпендикуляра на расчетное расстояние  $l_y$  осуществляется с помощью специального шаблона, устанавливаемого в центроискатель станка.

Анализ схем резания и кинематики зубообработки специальными двухкорпусными фрезами [1] показывает, что при работе правого корпуса (см.рис.1,а) осевые силы резания  $P_x$  совпадают с направлением вращения обрабатываемого колеса  $\omega_k$  (направлением вращения делительного червячного колеса станка), а сьем припуска идет последовательно от основания зуба к его вершине (стрелка Б).

В случае совпадения направлений действия  $P_x$  и  $\omega_k$  осевая сила стремится «отделить» зубья делительного червячного колеса от витков делительного червяка, и это может привести к нарушению плавности работы делительной

червячной пары станка, колебаниям обрабатываемого колеса и снижению качества его обработки.

При съеме припуска в направлении стрелки Б (рис.3,б) ширина срезаемых зубьями левого корпуса слоев, хотя и не превышает номинальной длины режущей кромки 20 мм, но все же в 2 – 2,5 раза больше, чем у зубьев правого корпуса [1].

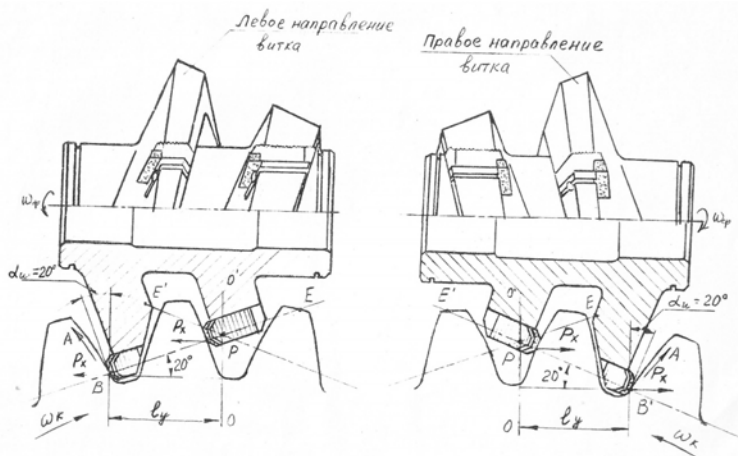


Рис.3 – Схема обработки колеса корпусами фрезы с различным направлением витков

Для обеспечения одинаковых условий обработки как по динамике резания, так и по схеме срезания припуска, корпуса фрезы можно выполнить с винтовой нарезкой разных направлений. Левый корпус фрезы (рис.4) имеет правую винтовую нарезку, а правый корпус – левую. В этом случае в процессе обработки осевые составляющие силы резания направлены навстречу вращению колеса  $\omega_k$ , а съём припуска обоими корпусами идет в одном и том же направлении по стрелке А – от основания зуба к его вершине.

Для повышения экономичности использования инструмента обработку обеих боковых поверхностей зубьев колеса можно вести только одним, например правым, корпусом фрезы, поочередно смещая его влево и вправо на зуборезной оправке. В этом случае (рис.4) при обработке левых боковых поверхностей необходимым реверс направлений вращения инструмента  $\omega_f$  и колеса  $\omega_k$  и обработка ведется попутным фрезерованием [2].

Разработанные конструкции сборных твердосплавных червячных фрез имеют определенные технологические преимущества.

Смена затупившегося инструмента на тяжелых зубофрезерных станках и последующее центрирование нового занимают большое количество времени. Поэтому твердосплавная фреза, как правило, не меняется до окончания прохода и работает при диаметре обрабатываемого закаленного колеса 900-1600 мм и длине зуба  $l_z=400-600$ мм в течение 12 -18 часов. При этом износ ее

зубьев по задним граням составляет 0,5-0,8 мм, а иногда отдельные зубья имеют сколы и непригодны к дальнейшей работе.

Благодаря сборной конструкции фрезы перед переточкой зубья, имеющие сколы, заменяются новыми. Это позволяет продлить срок службы инструмента, сократить на 30-40% время переточки и др.

Уменьшение размеров зубьев позволяет в 3-6 раз сократить расход твердого сплава, идущего на изготовление инструмента.

Одинаковые в диапазоне модулей  $m=18-65$  мм размеры зубьев позволяют изготавливать их большими партиями, что снижает себестоимость изготовления инструмента и повышает производительность труда.

Для удобства практического определения на рис.5 представлен график зависимости установочного расстояния  $l_u$  от модуля нарезаемых зубьев колеса и коэффициента смещения исходного контура  $x$ .

При значениях коэффициента смещения исходного контура  $x > 1,0$  величина установленного расстояния  $l_u$ , рассчитанная по зависимостям (1) и (2), может получиться с отрицательным знаком. Это значит, что инструмент при установке необходимо перемещать на станке так, чтобы его первый зуб с наибольшим радиусом вращения, при смещении не пересекал межосевой перпендикуляр  $OO'$ , как это показано на рис.1, рис.2 и рис.3, а наоборот – не доходил до межосевого перпендикуляра.

Практически, установка инструмента на расчетное расстояние  $l_u$  не требует высокой точности и может выполняться либо с помощью специального шаблона, либо с использованием линейки, установленной на суппорте станка.

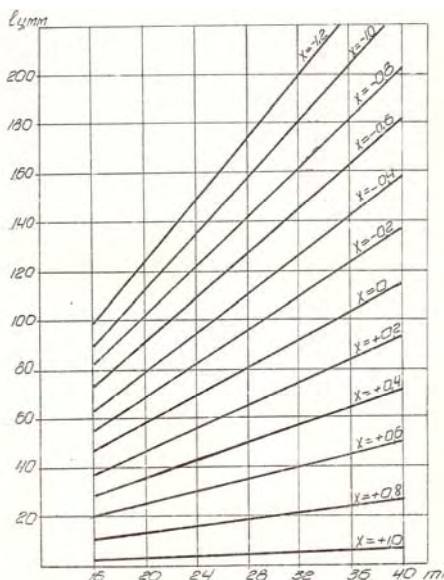


Рис.5 - График для определения установочного расстояния  $l_u$ .

Погрешность в установке фрез в ту или иную сторону не оказывает влияния на форму зуба, несмотря на то, что каждая из его боковых поверхностей обрабатывается отдельно.

Во всех случаях рекомендуется иметь отклонение расстояния  $l_y$  в сторону уменьшения на 1-3 мм, т.к. в противном случае, при отклонениях в сторону увеличения, возможно появление на обратной эвольвентной поверхности грубых рисок от заборной фаски на зубьях фрезы.

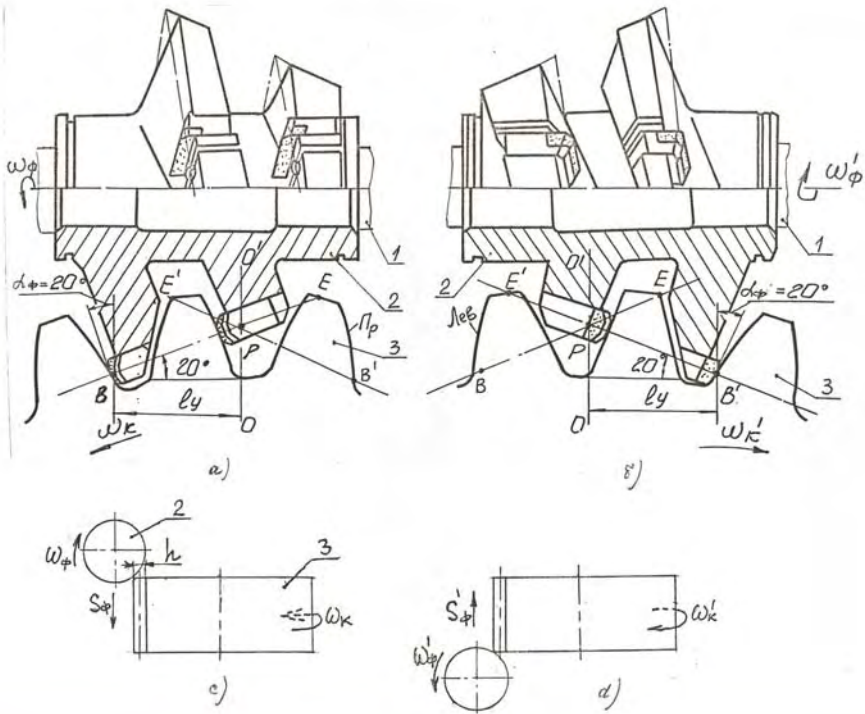


Рис.4 – Схема обработки зубьев колеса одним правым корпусом фрезы  
 а,с – правый корпус, встречное фрезерование; б,д – правый корпус, попутное фрезерование с реверсом вращения фрезы и колеса.

Это объясняется тем, что линия станочного зацепления располагается несимметрично по отношению к краям твердосплавной пластинки: от нижнего края она удалена на 5 мм, а от верхнего - на 15 мм.

С целью обеспечения постепенного удаления линии станочного зацепления от нижнего края пластинки на первом зубе до середины пластинки на последнем зубе, наружный конус конической винтовой нарезки корпуса необходимо выполнять с углом на  $2-3^{\circ}$  меньше, чем угол станочного зацепления инструмента и детали. При этом профилирование эвольвентной поверх-

ности зубьев колеса проходит более качественно, повышается стойкость инструмента.

На рис. 6 показана рабочая конструкция левого корпуса твердосплавной фрезы модуль  $m=25$  мм одностороннего резания.

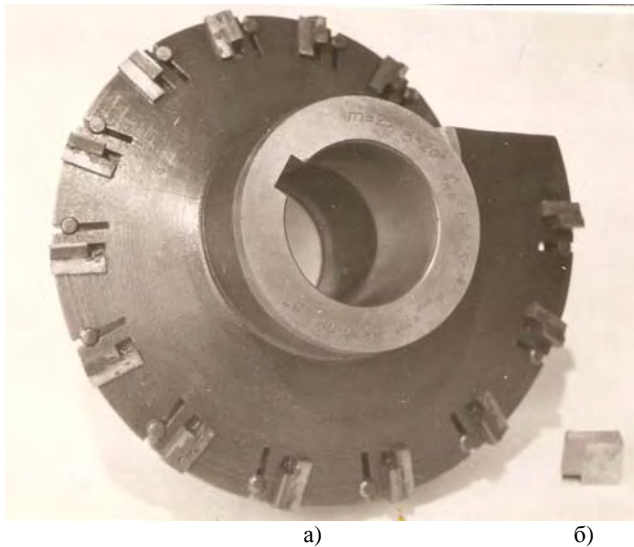


Рис.6 - Рабочая конструкция левого корпуса двухкорпусной фрезы  $m=25$ мм  
а – корпус в сборе с резцами б – вставной резец

С уменьшением модуля фрезы уменьшается и толщина витка ее корпуса, что затрудняет осуществление механического закрепления вставных зубьев. Поэтому разработанные конструкции червячных твердосплавных двухкорпусных фрез одностороннего резания модуль  $m=10-16$  мм выполнены со вставными коническими зубчатыми рейками.

Фреза (рис.7) состоит из корпуса, в продольных пазах которого размещены конические зубчатые рейки, на вершинах выступов которых напаяны твердосплавные пластинки. С обоих торцов фрезы рейки закреплены крышками и винтами.

Так же как и у фрез со вставными зубьями, реечная конструкция инструмента предусматривает размещение режущих кромок – твердосплавных пластинок, только на линии станочного зацепления ВЕ инструмента и детали.

Реечные фрезы одностороннего резания могут быть выполнены с различными направлениями витков, а установочное расстояние для них определяется по тем же зависимостям (1) и (2), что и для фрез со вставными резцами

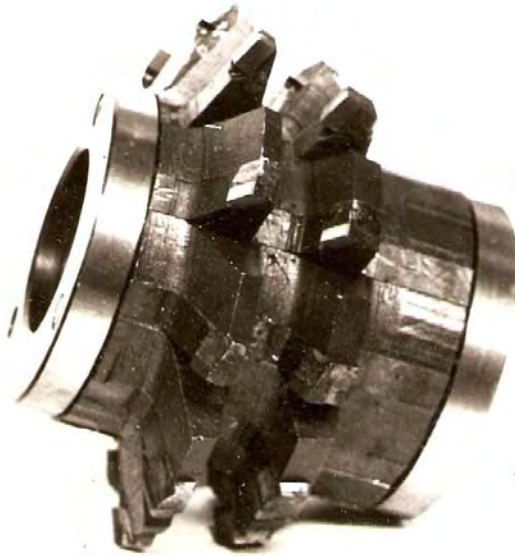


Рис.7 - Рабочая конструкция правого корпуса двухкорпусной фрезы  $m=16\text{мм}$  со вставными зубчатыми рейками.

## ВЫВОДЫ

Для повышения технологической точности при зубофрезеровании крупномодульных закаленных зубчатых колес с различным числом зубьев и сокращения номенклатуры применяемого инструмента разработаны различные модификации универсальных крупномодульных твердосплавных червячных фрез  $m=10-65\text{мм}$ . В качестве паллоиды станочного зацепления твердосплавных червячных фрез с обрабатываемым колесом используется делительная окружность колеса, а угол профиля зубьев инструментов равен  $\alpha_n=20^\circ$ .

**Список литературы:** 1. *Е.В. Мироненко, В.Ф. Шаповалов., А.А. Клочко, А.В. Колесник, В.В. Трунов.* Крупномодульные закаленные колеса. Новые технологические направления зубообработки.- Металлообработка. Оборудование и инструмент для профессионалов. Международный информационно-технический журнал. - Харьков, №4 2009.- С 18-21. 2. *Шаповалов В.Ф., Печеный В.И., Коротун А.Н., Клочко А.А., Михайлов Г.И.* О патриархе зубообработки А.К. Сидоренко (к 100-летию со дня рождения). – В сб. Вестник национального технического университета ХПИ, - 2009, №20. с.3-9. 2.

*Поступила в редколлегию 21.06.10*