

УДК 621.833

**К.Ю. Хрячков**, инженер, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (Тула, Россия)  
(e-mail: hryachkovavv@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ НАНЕСЕНИЯ НАСЕЧЕК НА БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ ЧЕРВЯЧНОГО ШЕВЕРА

*Для чистовой обработки червячных колес применяют червячные шевера. Насечки на боковых поверхностях могут быть прямолинейными (получаются долблением в упор - они трудоемки в изготовлении, не позволяют осуществлять доводку зубчатого венца со специальным профилем, не технологичны в условиях индивидуального производства), иметь криволинейную форму (гипоциклоида), а также выполненными в виде системы отверстий (патент на полезную модель №105211). В конструкции рассматриваемого червячного шевера (патент на полезную модель №38125 [1]) на боковых поверхностях нарезаются стружечные канавки гипоциклоидальной формы. Форма насечек обусловлена непрерывностью процесса резания при свободном обкате. Стружечные канавки такой формы возможно нанести на вертикально-фрезерном станке с помощью торцевой фрезы, но канавки при этом получают переменной глубины, а так же возникает «недорез» или «срез» кромки. При наличии станка с ЧПУ возможно более точное нанесение насечек концевой фрезой. Для нанесения насечек гипоциклоидальной формы выбрано следующее оборудование: станок Fanuc Robodrill  $\alpha$ -T21i с поворотным столом Nikken, в качестве режущего инструмента выбрана концевая пятизубая фреза. Обработка происходит за счет взаимного запрограммированного движения фрезы и заготовки. Обработка червяка при этом осуществляется по стандартной технологии. Рекомендаций по выбору геометрических параметров канавок нет, поэтому для моделирования червячного шевера и проектирования операции нанесения насечек была рассмотрена червячная передача  $m=10$ , а параметры червячного шевера были взяты из работы [2]. При нарезании канавок на станке с ЧПУ возможно избежать погрешности кромки, но возникает огранка. При исследовании величины огранки обработки насечек червячного шевера величину огранки можно определить аналогично способу определения огранки при обработке эвольвенты зубчатого колеса. Для исследования огранки возникла необходимость в ее математическом описании. На основе положений дифференциальной геометрии выведены формулы для расчета огранки.*

**Ключевые слова:** червячный шевер, параметры, стружечные канавки, концевые фрезы, обработка, огранка, насечки.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-3-39-44

**Ссылка для цитирования:** Хрячков К.Ю. Исследование операции нанесения насечек на боковых поверхностях червячного шевера // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 4(73). С. 39-44.

\*\*\*

Операцию нанесения насечек на боковые поверхности червячного шевера [1,2] (рис 1, а) возможно осуществить, запрограммировав взаимные перемещения фрезы (рис 1, б) и заготовки на программируемых станках.

Обработку необходимо осуществлять на фрезерных станках с ЧПУ, в которых возможно взаимное движение заготовки относительно фрезы вдоль координат X, Y, Z, а также вращения заготовки вокруг оси центров для осуществления обката или деления.

Комплекс Fanuc Robodrill серии  $\alpha$ -iF [3] представляет (рис.2, а) собой созданный на базе технологии искусственного интеллекта универсальный сверлильно-фрезерный станок с ПУ высокой производительности. Станок имеет шпиндель с конусом №30 и предназначен для осуществления скоростной высокоточной механической обработки деталей.

Высокая жесткость механической системы дает возможность эффективно выполнять операции сверления, фрезерования и обработки боковых сторон.

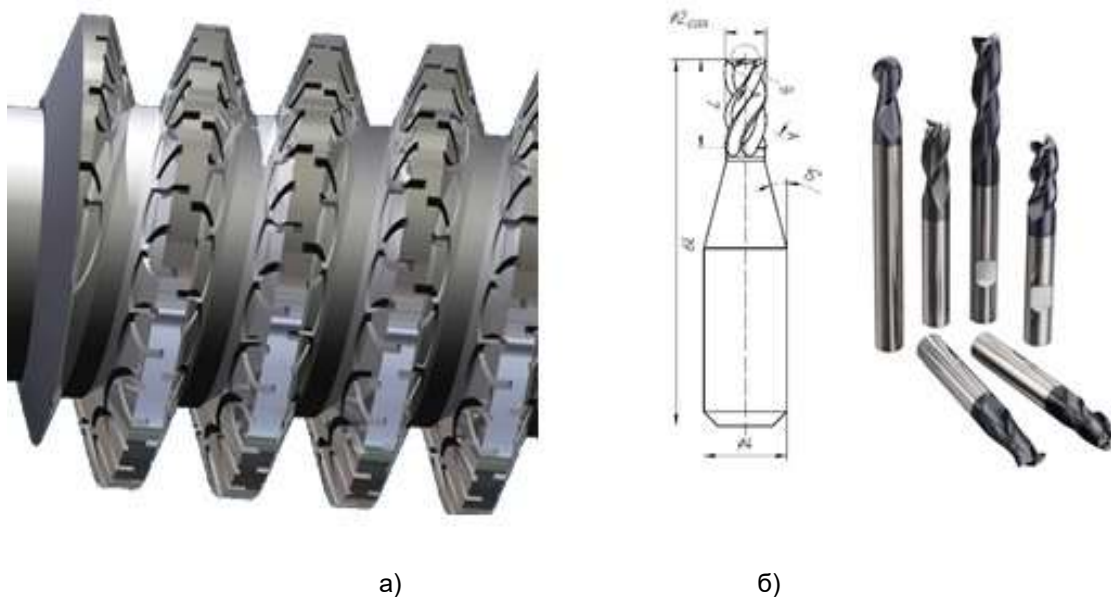


Рис. 1. Составляющие операции нанесения насечек: а – червячный шевер; б – концевые фрезы

Функции многократной и контурной обработки способствуют процессу автоматизированного изготовления деталей.

Для получения насечек на червячном шевере выбрана концевая пятизубая фреза [4] диаметром 2 мм по ГОСТ 17025-71. Уменьшенный диаметр позволяет снизить погрешность обработки во время интерполяции, но увеличивает погрешность за счет слабой жесткости режущей части фрезы.

Для обработки резанием глубоких пазов в корпусных деталях, взаимно перпендикулярных плоскостей, контурных выемок, уступов используются концевые фрезы. Фрезы в шпинделе станка крепятся посредством конического или цилиндрического хвостовика. Основная работа по фрезерованию осуществляется главными режущими кромками, которые расположены на цилиндрической поверхности, дно обрабатываемой канавки формируется торцевыми вспомогательными режущими кромками соответственно. Фрезы, как правило, применяют с винтовыми или наклонными режущими кромками,

угол наклона которых доходит до 30-45°. При выборе концевых фрез следует отдавать предпочтение тем, чей диаметр меньше, вплоть до 0,1 мм, поперечного профиля канавки, ведь при фрезеровании имеет место разбивание канавки.

Заготовку необходимо закрепить в поворотный стол Nikken [5] (рис. 2,б), установленный на станке Fanuc Robodrill  $\alpha$ -iF.

Поворотные и поворотно-наклонные столы дают возможность добавить одну или несколько контролируемых осей к основным управляемым осям станка. Благодаря своей высокой надежности CNC столы NIKKEN для станков и обрабатывающих центров позволяют вести круглосуточную обработку деталей. Твердость червячного колеса - HV-930 - позволяет воспринимать значительные нагрузки длительное время без потери качества и точности обрабатываемых деталей.

Обработка происходит за счет взаимного запрограммированного движения фрезы и заготовки в два установка (рис.3).



а)

б)

Рис. 2. Оборудование: а -станок Fanuc Robodrill α-T21i; б - поворотный стол Nikken

Перед выполнением операции необходимо настроить инструмент с помощью датчика положения инструмента, проверить вылет инструмента из цанго-

вого патрона. Он должен составлять не менее 18 мм. Это позволит во время обработки избежать удара патрона о заготовку, что может повредить станок.

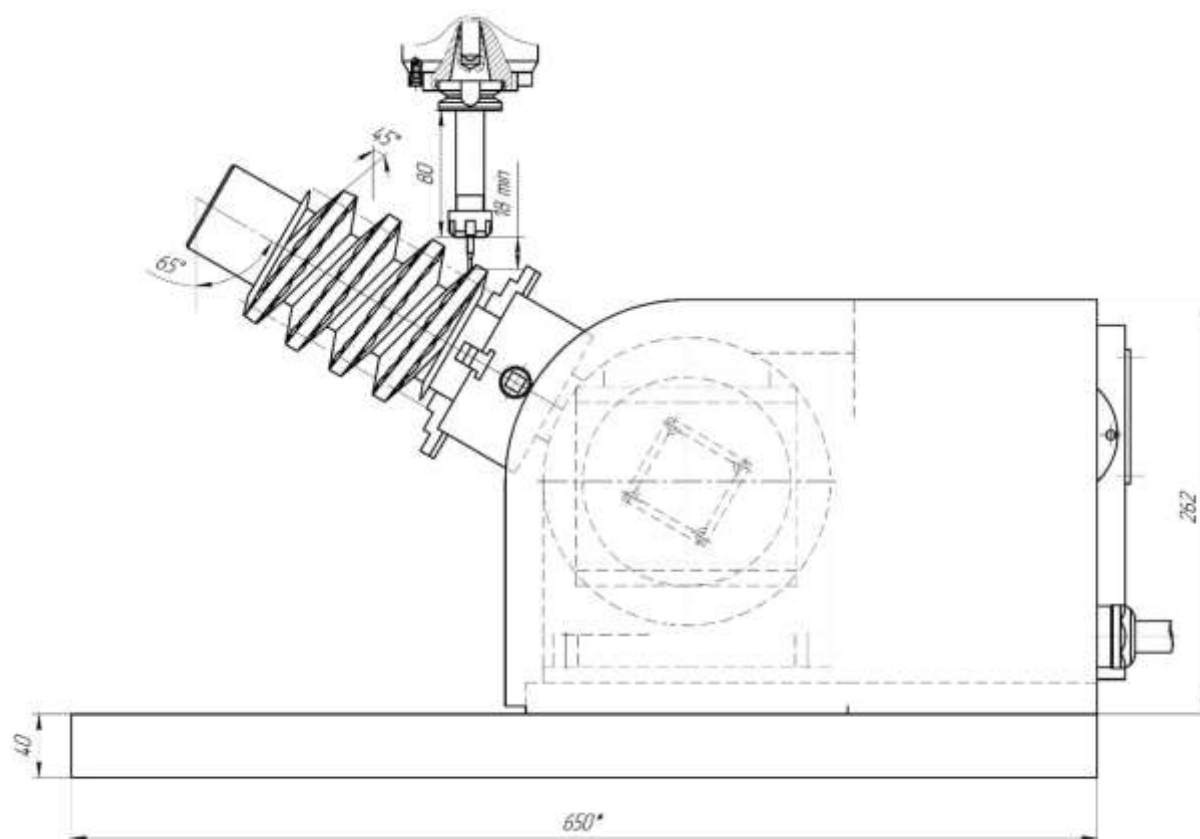


Рис.3. Схема взаимного положения фрезы и заготовки

Заготовка, закрепленная в поворотном столе Nikken, располагается под наклоном  $65^\circ$  к оси шпинделя, для того, чтобы боковая поверхность червячного шевера располагалась под углом  $45^\circ$  к оси шпинделя. Это позволит за один проход получить канавку необходимой формы.

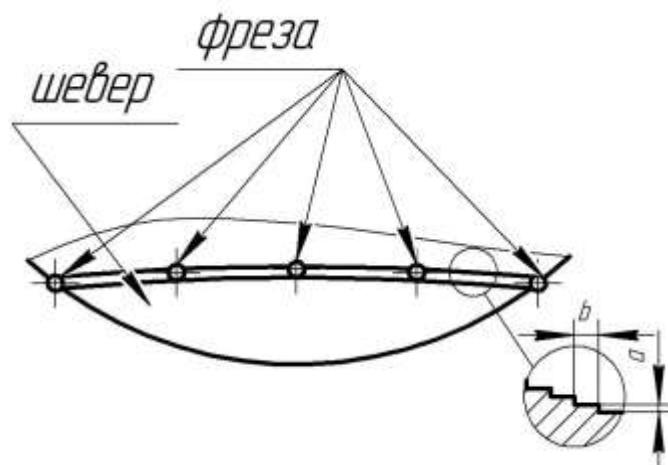


Рис. 4. Схема определения огранки

Известно, что при зубонарезании цилиндрических колес по методу обката максимальная величина огранки образуется у окружности вершин зубьев. Рассматривая огранку как расстояние от линии пересечения двух последовательно полученных поверхностей резания до номинальной поверхности профиля зуба колеса, можно определить при заданной погрешности профиля количество резцов, необходимое для профилирования его активной части.

Исходными данными выполнения для расчета являются: модуль  $m$ , число зубьев колеса  $z_1$ , коэффициент смещения исходного контура  $x_1$ , коэффициент высоты головки исходного контура  $h_a^*$ , угол профиля исходного контура  $\alpha$ , коэффициент радиального зазора  $c^*$  и доля погрешности бокового профиля зуба от огранки  $f_g$ .

Расчетные зависимости выведены для произвольной точки эвольвентного бокового

Профиль, расположенного во вращающейся системе координат заготовки. При исследовании величины огранки обработки насечек червячного шевера в схеме (рис.4) величину огранки можно определить аналогично способу определения величины огранки для обработки эвольвенты зубчатого колеса.

Профиля, расположенного во вращающейся системе координат заготовки.

Погрешность  $f_g$  измеряется по нормали к номинальному торцовому профилю. В связи с этим поле ее допуска располагается эквидистантно профилю.

Уравнение эвольвенты в параметрическом виде:

$$\left. \begin{aligned} x_y &= r_b (\sin v_y - v_y \cos v_y) \\ y_y &= r_b (\cos v_y + v_y \sin v_y) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тогда уравнение эквидистанты:

$$\left. \begin{aligned} x_y &= r_b (\sin v_y - v_y \cos v_y) + f_g \sin v_y \\ y_y &= r_b (\cos v_y + v_y \sin v_y) - f_g \sin v_y \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При зубофрезеровании профиль зуба колеса образуется последовательным расположением следов поверхностей резания, имеющих общую касательную плоскость с номинальной зубчатой поверхностью в контактных точках, поэтому угол между нормальными к касательным плоскостям является разницей углов развернутости эвольвенты в рассматриваемых

точках профиля, а соответственно, и углом поворота заготовки между соседними резами.

На основе положений дифференциальной геометрии [6] уравнение касательной линии к эвольвенте можно записать:

$$y_{yk} = \frac{y'_y}{x'_y} (x_{yk} - x_y) + y_y, \quad (3)$$

где производная  $x'_y = \frac{\partial x_y}{\partial v_y} r_{bl} v_y \cos v_y$ , а

$$y'_y = \frac{\partial y_y}{\partial v_y} r_{bl} v_y \sin v_y.$$

Подставив их в уравнение (3) и упростив его, получим

$$y_{yk} = (x_{yk} - x_y) \operatorname{tg} v_y + y_y. \quad (4)$$

Совместное решение уравнения эквидистанты (2) с уравнением касательной к эвольвенте определяет координаты вершины гребня (точка  $M_{y3}$ ). Решение производится в следующем порядке:

– из трансцендентного уравнения определяем угол развернутости эвольвенты в произвольной точке  $M_{y3}$ :

$$\begin{aligned} & (r_{bl} v_{My} + f_g) \cos v_{My} + \\ & + (r_{bl} v_{My} \sin v_{My} + \\ & + f_g \sin v_{My} - x_{Ay}) \operatorname{tg} v_{My} + y_{Ay} = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

– найденное значение  $v_{Ay}$  подставим в уравнение (2) и определим координаты точки  $M_{y3}$ :

$$\left. \begin{aligned} xM_{y3} &= r_{bl} (v_{My} \sin v_{My} + \cos v_{My}) + f_g \sin v_{My} \\ yM_{y3} &= r_{bl} (\sin v_{My} - v_{My} \cos v_{My}) - f_g \cos v_{My} \end{aligned} \right\} (6)$$

Для расчета угла развернутости эвольвенты  $v_{By}$ , соответствующего точке контакта касательной  $M_y B_y$  с основной окружностью, в уравнение (4) вместо  $x_y$  и  $y_y$  подставим координаты точки, принадлежащей эвольвенте из уравнения (1) при значении угла  $v_{By}$ , а вместо координат  $x_{yk}$  и  $y_{yk}$  подставим их значения из

зависимости (5). В результате получим уравнение:

$$\begin{aligned} y_{My3} &= (x_{My3} - r_{bl} v_{By} \sin v_{By}) \times \\ & \times \operatorname{tg} v_{By} - r_{bl} v_{By} \cos v_{By}. \end{aligned} \quad (7)$$

Известно, что максимальная величина огранки образуется у окружности вершин зубьев колеса, а затем она уменьшается до нулевого значения у основной окружности. Поэтому максимальной величине огранки соответствует максимальное значение угла  $\Delta v_a$  поворота заготовки между соседними резами. Если обозначить через  $i_a$  номер режущего зуба, обрабатывающего участок профиля у окружности вершин зубьев, то номер следующего за ним по витку зуба будет  $i_a - 1$ . Таким образом,

$$\Delta v_a = v_{ia} - v_{ia-1}, \quad (8)$$

где  $v_{ia}$  и  $v_{ia-1}$  рассчитываются соответственно по формулам (5) и (7).

Полученные зависимости позволяют вычислить огранку при получении насечек червячного шевера.

### Список литературы

1. Инструмент для чистовой обработки червячных колёс. Полезная модель № 38125 от 27 мая 2004 г. Феофилов Н.Д., Ананьева В.В.
2. Ананьева В.В. Шевингование крупномодульных червячных колес шеверами с криволинейными стружечными канавками: дис. ... канд. техн. наук/ ТулГУ. Тула, 2004. 141 с.
3. Вертикальный обрабатывающий центр ROBODRILL – Fanuc. URL: [www.fanuc.eu/Robodrill](http://www.fanuc.eu/Robodrill)
4. Центр металлообрабатывающего оборудования. URL: [http://www.stanki.ru/catalog/frezy\\_kontsevye/](http://www.stanki.ru/catalog/frezy_kontsevye/)
5. Осевые поворотные столы. URL: [www.nikken-world.com](http://www.nikken-world.com).
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1970. 720 с.

7. ГОСТ 18498–73 Передачи червячные. Термины, определения и обозначения. М.: Изд-во стандартов, 1987. 22с.

8. Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968.

9. Тимофеев Б. П., Филиппов С. Г. Теоретические и экспериментальные ис-

следования процессов шевингования и модификация конструкции шевра. Л.: ЛПИ, 1983. С 5-18.

10. Клепиков В. Д. Шевинг-процесс. М.: Машиностроение, 1946. 146 с.

*Поступила в редакцию 22.05.17*

UDC 621.833

**K.Yu. Khryachkov**, Engineer, Tula State University (Tula, Russia) (e-mail: hryachkovav@mail.ru)

## THE STUDY OF THE PROCES OF HOBGING OF WORM GEAR SHAVER LATERAL SURFACES

*Worm gear shavers are used for finishing hob gears. The incisions on the lateral surfaces can be rectilinear (they are obtained by grooving at point blank range – their manufacture is labour-consuming, it is impossible to finish the gear tooth with a special profile in the conditions of individual production), have a curvilinear shape (hypocycloid), and also be made in the form of a system of holes (utility model patent No. 102111). According to the design of the worm gear shaver under study (utility model patent No. 38125 [1]), clearance grooves of a hypocycloid shape are cut on lateral surfaces. The shape of the incisions is due to the continuity of the generating process. Clearance grooves of this shape can be cut using vertical turning mills with end cutter, but in this case the grooves vary in depth and 'undercutting' or 'cutting' of the edge can occur. Using CNC machines, it is possible to cut the grooves more accurately with end cutter. For cutting the grooves of the hypocycloidal shape, the following equipment was used: Fanuc Robodrill  $\alpha$ -T21i machine with a Nikken rotary table, an end five-tooth milling cutter. Processing takes place due to the mutually controlled motion of the cutter and of the workpiece. The processing of the worm gear is carried out applying standard technology. There are no recommendations concerning the choice of the geometric parameters of the grooves, therefore a worm gear  $m = 10$  was used for modelling worm gear shaver and for designing grooves cutting and the parameters of the worm gear shaver were taken from [2]. When cutting grooves using a CTC machine, it is possible to avoid inaccuracy in edges but a facetting occurs. When examining the size of facetting of the grooves of the worm gear shaver, it can be determined using the same technique applied when determining the facetting when processing the involute of the gear wheel. To study the facetting there was a need its mathematical definition. Based on the provisions of differential geometry, formulas for facetting calculation were derived.*

**Key words:** worm gear shaver, parameters, clearance grooves, end cutter, processing, facetting, grooves.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2017-21-4-39-44

**For citation:** Khryachkov K.Y. The Study of the Proces of Hobbing of Worm Gear Shaver Lateral Surfaces. Proceedings of the Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 4(73), pp. 39-44 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Instrument dlja chistovoj obrabotki chervjachnyh koljos. Poleznaja model' № 38125 ot 27 maja 2004 g. Feofilov N.D., Anan'eva V.V.

2. Anan'eva V.V. Shevingovanie krupnomodul'nyh chervjachnyh koles sheverami s krivolinejnymi struzhechnymi kanavkami: dis. ... kand. tehn. nauk / TulGU. Tula, 2004, 141 p.

3. Vertikal'nyj obrabatyvajushhij centr ROBODRILL – Fanuc. URL: [www.fanuc.eu/Robodrill](http://www.fanuc.eu/Robodrill)

4. Centr metallobrabatyvajushhego oborudovanija. URL: [http://www.stanki.ru/catalog/frezy\\_kontsevye\\_](http://www.stanki.ru/catalog/frezy_kontsevye_)

5. Osevyje povorotnye stoly. URL: [www.nikken-world.com](http://www.nikken-world.com).

6. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov. M.: Nauka, 1970, 720 p.

7. GOST 18498–73 Peredachi chervjachnye. Terminy, opredelenija i oznachenija. M.: Izd-vo standartov, 1987, 22 p.

8. Litvin F. L. Teorija zubchatyh zaceplenij. M.: Nauka, 1968.

9. Timofeev B. P., Filippov S. G. Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovanija processov shevingovanija i modifikacija konstrukcii shevera. L.: LPI, 1983, pp. 5-18.

10. Klepikov V. D. Sheving-process. M.: Mashinostroenie, 1946, 146 p.