

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9

Антонюк В.Е., Николаенкова И.Н.¹, Дечко Э.М.², Рудый В.В.³

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПРОФИЛЯМИ

1) *Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,*

2) *Белорусский национальный технический университет,*

Минск, Беларусь

3) *ОАО «Белорусский автомобильный завод»,*

Жодино, Беларусь

Профилирование червячных фрез для обработки деталей с различными профилями возможно на основе теории формообразования, если любой профиль зуба фрезы рассматривать как частный случай червячной фасонной фрезы. Это позволяет выработать единый методологический подход к профилированию инструментов, способствует формализации процесса и использование ЭВМ.

Различные математические модели при проектировании червячных фрез дают возможность оптимизации конструкции инструментов по определенным критериям, зависящим от заданных условий. Критериями оптимальности для инструмента в большинстве случаев являются элементы профиля и конструкции. Правильный выбор критерия оптимальности является сложной задачей.

Теория профилирования червячных фрез, развивалась в двух направлениях – аналитическом и графическом (графоаналитическом), каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Профилирование решается, как геометрическая задача на основании теории сопряженных поверхностей. Графические и графоаналитические методы широко применяются при профилировании червячных фрез. Методики проектирования разрабатывались таким образом, чтобы максимально упростить задачу конструктору-инструментальщику и представлялись в виде формуляра последовательных расчетов [1].

Метод математического моделирования при проектировании инструментов является наиболее эффективным как при проектировании новых конструкций инструмента, так и при исследовании взаимосвязей отдельных его элементов и в совокупности с параметрами детали. При «ручном» способе проектирования возможно учитывать особенности расчета фрез для различных профилей деталей, а также применение этих фрез для групп деталей. Такой подход дает удовлетворительные результаты лишь при профилировании фрез для обработки деталей с достаточно изученными профилями. При профилировании фрез с модифицированными профилями это приводит к тому, что изготовленный инструмент не обеспечивает необходимую геометрию детали, нуждается в доработке при внедрении, а иногда вообще оказывается негодным [2].

В современных условиях при возросших требованиях к точности профилирования деталей и повышению производительности такой подход не может удовлетворить практику. Рациональное решение всех вопросов, связанных с исследованием процесса формообразования зубчатых изделий, заключается в разработке общих схем расчета и использовании единообразных аналитических зависимостей. Практика использования основных выводов и положений теории формообразования для решения вопросов профилирования червячных фрез при обработке деталей с различными профилями показала, что эти вопросы могут быть успешно решены лишь в том случае, когда любая фреза рассматривается как частный случай червячной фасонной фрезы. Это удобно в методологическом отношении, позволяет выработать единый подход к решению ряда задач по профилированию, способствует формализации процесса и разрабатывать математические зависимости для последующего программирования [3].

Расчет параметров фрез под последующую обработку с полнопрофильным закруглением головки зуба и с усиком начинается с расчета калибра зуба фрезы (инструментальной рейки) $S_{\text{но}}$, h_{α_0} ,

исходя из S_{\max} фрезерования, с обеспечением диаметра впадин зубьев колеса d_f по типовым методикам. При этом целесообразно вводить проглубление, которое даст возможность менять S_{\max} фрезерования и предельные отклонения готовой детали и применять фрезы для других зубчатых колес. Полученный в результате расчета калибр зуба фрезы целесообразно приводить к положению $S_{no} = 0,5 \pi m$ с пересчетом величины головки зуба. Этот способ представления калибра является основным элементом унификации фрез. По такому принципу построен немецкий стандарт DIN 3972 на исходный контур зуборезного инструмента. Представленный таким образом калибр зуба удобно называть «приведенным».

Следующим этапом проектирования назначается толщина усика (протуберанца) фрезы n_{yc} , ориентируясь на величину поднутрения зуба колеса по чертежу n_{dem} и величину припуска на сторону зуба под последующую обработку, например, зубошлифование:

$$n_{yc} \geq n_{dem} + 0,5 \Delta w_{cp}, \quad (1)$$

где n_{dem} - поднутрение, заданное чертежом.

Предварительно назначается радиус закругления зуба фрезы ρ_{ao} , начиная со значения ρ_f исходного контура зубчатого колеса [4,5]. Рассчитывается высота головки зуба фрезы, достаточная для того, чтобы в контур головки геометрически вписались назначенные параметры n_{yc} и ρ_{ao} :

$$h_{ao} = \frac{0,5 S_{no} \cdot \cos \alpha + n_{yc} - \rho_{ao} (1 - \sin \alpha)}{\sin \alpha} \quad (2)$$

Рассчитываются параметры геометрического пространства для размещения усика для проверки возможности применения назначенной толщины усика n_{yc} . Если места под усик недостаточно – произойдет срезание активного профиля зубьев колеса у ножки зуба выше предельно допустимой точки. Для расширения пространства под усик, в случае необходимости, уменьшается диаметр впадин колеса d_f и, соответственно, увеличивается высота головки зуба фрезы h_{ao} при той же толщине S'_{no} . В более «узкий» контур головки впишется новый, меньший радиус ρ_{ao} , который должен быть уточнен по зависимости:

$$\rho_{ao} = \frac{0,5 S_{no} \cdot \cos \alpha + n_{yc} - h_{ao} \sin \alpha}{1 - \sin \alpha}. \quad (3)$$

Диаметр впадин зубьев колеса d_f и радиус закругления головки фрезы ρ_{ao} понижают до предельно возможных значений. Если расчетное пространство под усик в результате предпринятых действий все-таки не соответствует назначенной толщине усика n_{yc} , то уменьшается толщина усика в соответствии с ограничением, которое позволяет место под усик. Величины h_{ao} и ρ_{ao} должны быть уточнены по тем же зависимостям с новой толщиной усика. Высота усика также уточняется с обеспечением заданного угла усика и условия $\rho_l \leq \rho_p$ (или $d_l \leq d_p$).

При расчете фрез одновременно решается задача их унификации. Унификация фрез возможна применительно к конкретному модулю в том случае, если назначен единый исходный контур и применяются единые и постоянные в пределах данного модуля припуски на последующую обработку. При этом целесообразно рассчитанный калибр зуба фрез приводить к единому виду, зависящему только от модуля. В этом случае тогда разница между фрезами будет выражаться только в различных коэффициентах головки зуба $S_{no} = 0,5 \pi m$ и $h_{ao} = h_{ao}^* \cdot m$. Приведенный калибр получают простым пересчетом начального калибра зуба фрезы под конкретную деталь

$$\Delta h_{ao} = \frac{0,5 \pi m - S'_{no}}{2 \tan \alpha}, \quad (4)$$

где S'_{no} , h_{ao}^* – известный калибр зуба фрезы.

Новый приведенный калибр зуба фрезы будет равен:

$$h_{ao} = h'_{ao} + \Delta h_{ao} \quad (5)$$

Разница между фрезами одного модуля выразится только в различных коэффициентах h_{ao}^* . Приведенные калибры зуба фрез под один и тот же вид обработки должны быть одинаковы при одинаковом исходном контуре зубчатых колес и при одинаковых пропусках на последующую обработку.

Важным условием работы фрезы с протуберанцем является попадание центра радиуса закругления ρ_{ao} на ось симметрии зуба 0-0, для чего необходимо обеспечить равенство отрезков АБ и СД так, как представлено на рис. 1.

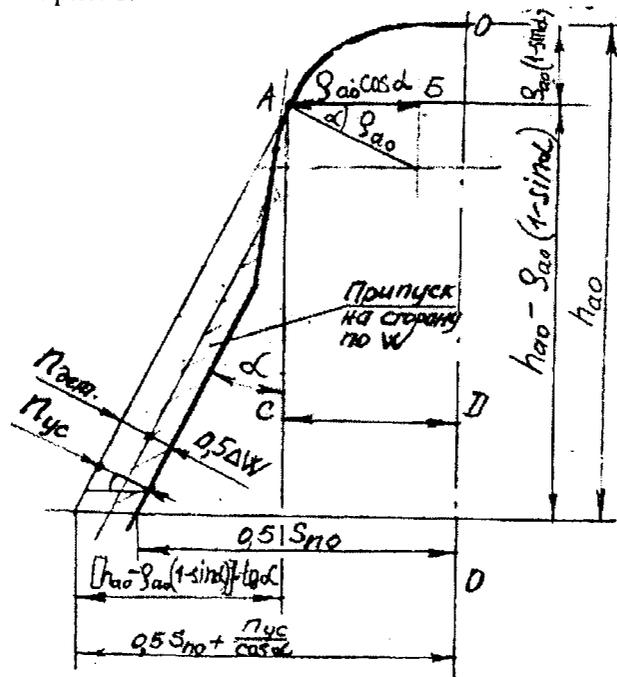


Рис. 1. Определение взаимосвязи между калибром фрезы и радиусом закругления

Из рис. 1. взаимосвязь между калибром фрезы и радиусом закругления определяется как

$$\rho_{ao} \cdot \cos \alpha = 0,5S_{no} + \frac{n_{yc}}{\cos \alpha} - [h_{ao} - \rho_{ao}(1 - \sin \alpha)] \cdot \text{tg} \alpha,$$

$$n_{yc} = n_{дем} + 0,5\Delta W, \quad AB = \rho_{ao} \cos \alpha,$$

$$CD = 0,5S_{no} + \frac{n_{yc}}{\cos \alpha} - [h_{ao} - \rho_{ao}(1 - \sin \alpha)] \cdot \text{tg} \alpha.$$

Значения калибра фрезы ρ_{ao} и h_{ao} при нахождении центра на оси симметрии можно определить как

$$\rho_{ao} = \frac{0,5S_{no} \cos \alpha + n_{yc} - h_{ao} \sin \alpha}{1 - \sin \alpha}, \quad (7)$$

$$h_{ao} = \frac{0,5S_{no} \cos \alpha + n_{yc} - \rho_{ao}(1 - \sin \alpha)}{\sin \alpha}, \quad (8)$$

Высота от начальной прямой рейки фрезы до расчетной точки равна $h_k = h_{ao} - \rho_{ao}(1 - \sin \alpha)$, где h_{ao} - начальная высота головки зуба рейки.

Диаметр профиля зуба на зубофрезерной операции, выше которого подрез недопустим, равен

$$d_l = \sqrt{d_a^2 + 4(\rho_p + 0,5W_{cp})^2} \quad (9)$$

Угол профиля зуба на диаметре d_l равен

$$\cos \alpha_1 = \frac{d_*}{d_1}, \quad \operatorname{inv} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 - \alpha_1,$$

где d_* - диаметр основной окружности.

Промежуточные углы:

$$\cos \lambda_1 = \frac{d - 2h_k}{d_1}; \quad \theta_1 = \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_1; \quad \varphi_1 = \lambda_1 + \theta_1.$$

Расчетная ширина места под усик фрезы в зацеплении «рейка-зубчатый венец» в торцовом сечении колеса

$$e = (0,5d - h_k) \operatorname{tg} \lambda_1 - (0,5d \varphi_1 - h_k \operatorname{tg} \alpha) \quad (10)$$

и по нормали к профилю

$$n_{np} = e \cdot \cos \alpha. \quad (11)$$

Необходимая толщина усика определяется исходя из принятого припуска и должна быть уточнена из условия $n_{yc} \leq n_p$. При невыполнении условия необходимо проглубить диаметр впадин d_f .

Расчет угла усика сводится предварительному назначению h_{yc} , затем к определению промежуточной величины

$$u = h_{yc} \operatorname{tg} \alpha - \frac{n_{yc}}{\cos \alpha} + \rho_{ao} \operatorname{tg} \left(\frac{0,5\pi - \alpha}{2} \right) \text{ и угла } \alpha \text{ в выражении } \operatorname{tg} \left(\frac{0,5\pi - \alpha}{2} \right) \text{ в радианах.}$$

Следующим шагом определяются вспомогательные углы β_1, β_2 : $\sin \beta_1 = \frac{\rho_{ao}}{\sqrt{(h_{yc} - \rho_{ao})^2 + u^2}}$, если

$\sin \beta_1 \geq 1$ - радиус закругления на вершине зуба не вписывается в параметры усика, то следует изменить параметры усика;

$\sin \beta_2 = \frac{h_{yc} - \rho_{ao}}{u}$, если $\sin \beta_2 \geq 1$ - радиус закругления на вершине зуба не вписывается в

параметры усика, следует изменить параметры усика.

Угол усика будет равен

$$\alpha_{yc} = 0,5\pi - \beta_1 - \beta_2, \text{ рад.} \quad (12)$$

При неудовлетворительном угле α_{yc} изменяют h_y , принимая во внимание также вопросы унификации фрез и обеспечение радиуса кривизны в нижней точке профиля зуба колеса.

Окончательный профиль модифицированной фрезы с протуберанцем при изготовлении зубчатых колес с использованием зубошлифования приведен на рис. 2.

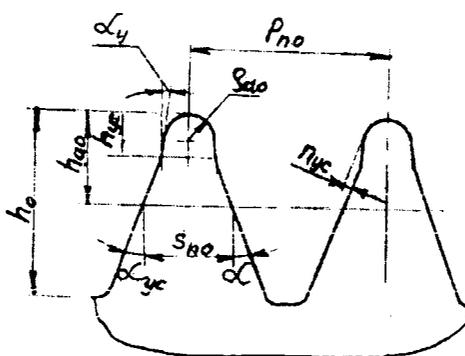


Рис. 2. Профиль фрезы в нормальном сечении

В качестве примера для расчета червячной фрезы с протуберанцем под зубошлифование взята пара зубчатых колес с исходными параметрами, приведенными в таблице 1. В таблице 2 приведены

расчетные параметры унифицированной фрезы, в таблице 3 – результаты проверки использования этой фрезы для фрезерования пары зубчатых колес.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета фрезы, мм

Модуль	$m = 10$	
Число зубьев z	21	30
Радиус закругления ρ_f	4,069	
Глубина поднутрения у ножки зуба готовой детали	$0,3 \pm 0,15$	
Припуск на зубошлифование	0,25	
W на зубофрезерные операции	57,61- 0,1	135,24- 0,1
S фрезерования тах	15,134	25,457
Коэффициент ножки зуба в соответствии с исходным контуром h_f^*	1,5	
Диаметр впадин при заданном h_f^*	135,1	341,5
Радиус кривизны активного профиля в нижней точке ρ_p	20,45	54,54

Таблица 2 – Расчет конструктивных параметров унифицированной фрезы

Модуль	$m = 10$
ρ_{no}	31,416
h_o	26,0
S_{no}	15,708
h_{ao}	15,8
$h_{ao}^* = h_{ao}/m$	1,58
h_{yc}	5,81
n_{yc}	0,6
ρ_{ao}	3,9
α_{yc} (справочно)	$8^\circ 0' 17''$

Таблица 3 – Проверка обеспечения основных параметров зубчатых колес после зубофрезерования унифицированной фрезой

Модуль	$m = 10$	
Число зубьев z	22	29
ρ_p	32,76	42,53
ρ_f - от фрезы	30,57	41,47
d_p	216,9	285,5
d_f - от фрезы	215,6	284,85
d_f -(чертежное значение)	204,2	273,4
d_f - от фрезы	203,6	272,8
Δd_f - проглубление	0,3	0,3

В результате спроектированная фреза обеспечивает условия $\rho_f < \rho_p$, $d_f < d_p$, и в пределах приемлемого $\Delta d_f = 0,13...0,45$ находится проглубление .

Выводы.

1. Предлагаемая методика расчета модифицированных фрез с протуберанцем позволяет гарантировать после зубошлифования достижение требуемой формы зуба и провести унификацию фрез для сокращения их типоразмеров.

2. Разработанные методы расчетов целесообразно использовать при производстве зубчатых колес и шестерен, обрабатываемых с использованием зубошлифования и зубошевингования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов / В.Ф. Романов. – М.: Машиностроение, 1969. – 255 с.
2. Дорофеев В.Л. Технология производства высокопрочных зубчатых передач. Двойная модификация профиля зубьев // Конверсия в машиностроении. - 2001. - № 5. - С. 79-84.
3. Антонюк В.Е., Кане М.М., Старжинский В.Е., и др. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / Антонюк, В.Е.[и др.]. – С-Пб.: Профессия, 2007. – 832 с.
4. ГОСТ 13755-81 (СТ СЭВ 308-76). Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Исходный контур. – М. – Издательство стандартов. -1981.
5. ГОСТ Р 50531-93. Исходный контур высоконапряженных передач. – М. – Издательство стандартов. -1993.

УДК 621.914.1-669.14:539.4

Галилеев А.Г., Баршай И.Л.

ВЛИЯНИЕ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ИЗНОС СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В статье изложены результаты изучения влияния процесса иглофрезерования на износостойкость стальных деталей, в частности, на относительный объемный износ. Использование полученных данных позволит оптимизировать условия для формирования необходимой износостойкости деталей в зависимости от условий эксплуатации.

В основе повышения износостойкости и усталостной прочности деталей лежит воздействие на рабочую поверхность деталей и элементы кристаллической решетки металла путем применения различных видов обработок. В настоящее время с этой целью применяется широкий спектр различных видов обработки, среди которых термические и химико-термические способы, механическая обработка, виброобкатывание, дробе- и гидроструйные методы, электроискровая обработка и т.д. Перспективным методом обработки металла за наибольшую простоту, дешевизну и экологичность по отношению к перечисленным методам считается иглофрезерование.

В качестве инструмента при иглофрезеровании используется иглофреза – режущий инструмент с несколькими сотнями тысяч режущих элементов, собранный в виде тела вращения из прямых и равных по длине отрезков высокоуглеродистой стальной проволоки – игл с твердостью НВ 500, с плотностью упаковки на рабочей поверхности 65...85%. Каждая проволока (игла) представляет собой микрорезец с отрицательным передним углом резания. Материал проволочных элементов – легированные пружинные стали 51ХФА, 60С2А, 65С2ВА и др. Особенность геометрии режущих элементов иглофрезы – незначительный радиус округления режущей кромки, которая в процессе работы самозатачивается. Обязательным условием работоспособности инструмента является упругость каждой иглы и всей совокупности игл, участвующих в контакте с обрабатываемым материалом. Процесс осуществляется при вращении режущего инструмента, который, будучи прижатым к поверхности движущегося изделия (либо двигаясь сам) обрабатывает последнее.

Исследования влияния иглофрезерования на износостойкость конструкционных сталей проводили на образцах – колодках из сталей 45 и 12ХНЗА. Образцы из стали 45 были использованы для сравнения результатов исследований. В качестве другого элемента пары трения (контртела) использовали ролики из закаленной стали 45. Для сравнения использовали образцы из сталей 45 и 12ХНЗА, поверхности которых были обработаны плоским шлифованием.

Обработка плоских поверхностей образцов иглофрезерованием выполнялась на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г. Образцы закреплялись в машинных тисках. Использовалась иглофреза диаметром $D = 125$ мм, шириной $B = 20$ мм и плотностью набивки проволочных элементов 75...85%. Диаметр единичного проволочного элемента $d = 0,3$ мм, вылет $l = 20$ мм.

Исследования трибологических характеристик поверхностей после иглофрезерования выполнялись на машине трения А-135 типа Amsler.

Для определения влияния параметров режима иглофрезерования на изменение характеристик топографии поверхности использовали математическое планирование эксперимента [1]. При планировании исследований применяли метод ЛПт последовательностей. В этом случае точки