

Геометрия контакта и технологические аспекты затылования зубьев зуборезных червячных фрез

Часть 3. Технологические аспекты оптимизации процесса затылования

А. И. Сандлер

Разработан метод расчета единого угла установки оси шлифовального круга для обработки обеих боковых поверхностей зубьев фрезы.

Уточнены параметры технологичности процесса затылования, исключая подрезание шлифуемых поверхностей зубьев при обработке.

Ключевые слова:

радиальное затылование, боковые поверхности зубьев червячных фрез, шлифовально-затыловочный станок, профилирование шлифовального круга, линии контакта

УДК 621.833, 621.914.6 | ВАК 2.5.5

DOI: 10.22184/2499-9407.2024.36.3.66.72

Введение

Основной задачей оптимизации процесса затылования боковых поверхностей зубьев зуборезных червячных фрез является сокращение трудоемкости операции, включая наладочные работы. В ч. 1 и 2 статьи (№ 1 и № 2, 2024) были рассмотрены такие технологические аспекты операции затылования, как предварительные расчеты параметров затылования и наладок шлифовально-затыловочного станка, прогнозирующие обеспечение требуемой точности профилей затылуемых поверхностей зубьев фрезы при их раздельном шлифовании.

В ч. 1 выявлено и формализовано образование линий контакта рабочих поверхностей шлифовального круга и затылуемых поверхностей зубьев фрезы и определены связанные с ними параметры наладки затыловочного станка. В ч. 2 определен метод профилирования рабочих поверхностей шлифовального круга. Выявлено, что требуемый осевой профиль рабочей поверхности шлифовального круга в общем виде можно аппроксимировать двумя дугами окружностей со стыком участков дуг в точке, соответствующей обработке затылуемой поверхности на делительном

цилиндре боковой поверхности зуба. Определено, что наименее трудоемкий расчет и реализация профиля шлифовального круга имеет место, если оси шлифовального круга и фрезы либо параллельны, либо угол β_w наклона оси шлифовального круга определен из условия сходимости касательных к основным цилиндрам точек профиля затылуемой поверхности на оси шлифовального круга. Также определен расчет профиля шлифовального круга при произвольном назначенном угле β_w наклона его оси.

Дальнейшее направление оптимизации процесса связано с определением единого угла наклона оси шлифовального круга для шлифования обеих сторон зубьев. Установка угла наклона оси шлифовального круга, единого для шлифования обеих сторон зубьев, позволяет свести переналадку затыловочного станка к смене шлифовального круга на шпинделе станка и тем самым ограничить время переналадки только реализацией необходимого профиля рабочей поверхности шлифовального круга. Заметим еще раз, что при затыловании **однозаходных** фрез, для той стороны зуба, которая имеет угол подъема меньше угла подъема производящей поверхности, осевой профиль

шлифовального круга можно править по прямой линии с требуемым углом профиля [1].

Кроме того, при создании станков с механизмом правки, позволяющим профилировать обе стороны шлифовального круга, такая наладка позволит производить двухстороннее затылование зубьев червячных фрез.

В практике технологии радиального затылования боковых поверхностей зубьев зуборезных червячных фрез сложилась традиция устанавливать угол наклона оси шлифовального круга равным углу подъема производящей поверхности фрезы. Однако теоретически оптимальность этой наладки не подтверждена.

Важным аспектом технологичности операции затылования является исключение подрезания шлифуемых поверхностей в конце рабочего хода затылования. Опасность этого дефекта связана с повреждением поверхностей зуба, следующего за обрабатываемым [1, 2]. Исключение подрезания регулируется ограничением рабочего хода затылования и диаметра шлифовального круга.

Определение единого угла наклона оси шлифовального круга для обработки обеих боковых сторон зубьев

Условием единого значения угла установки шлифовального круга для шлифования обеих затылуемых поверхностей является единая точка начала шлифования обеих боковых сторон зубьев.

Начало обработки зубьев на каждой из сторон зуба имеет место в той точке профиля зуба, которая первоначально пересекает линию контакта поверхностей зуба фрезы и шлифовального круга. На той из боковых сторон, где угол подъема больше, чем у производящей поверхности фрезы (у правой боковой стороны зубьев правозаходных фрез), начало обработки имеет место на вершине зуба. За счет больших значений радиусов основных цилиндров точек профиля, участок входа зуба на полную высоту шлифования (участок врезания) является более протяженным (рис. 1 и 2 в ч. 1). Соответственно, длина рабочего хода затывания и дуга поворота фрезы за время этого хода больше, чем у противоположной стороны зуба.

В этой связи, единую точку начала одновременной обработки обеих сторон зуба, как необходимое условие, следует определять пересечением линий контакта правой и левой сторон не на наружном диаметре прямолинейного участка профиля зуба, а в точке вблизи делительного цилиндра, где на обеих боковых сторонах имеет место середина участка врезания и совпадают углы подъема производящей поверхности фрезы и передней поверхности зубьев.

Определение точки пересечения контактных линий

Пересечение линий контакта боковых поверхностей зубьев на делительном цилиндре определяем как пересечение

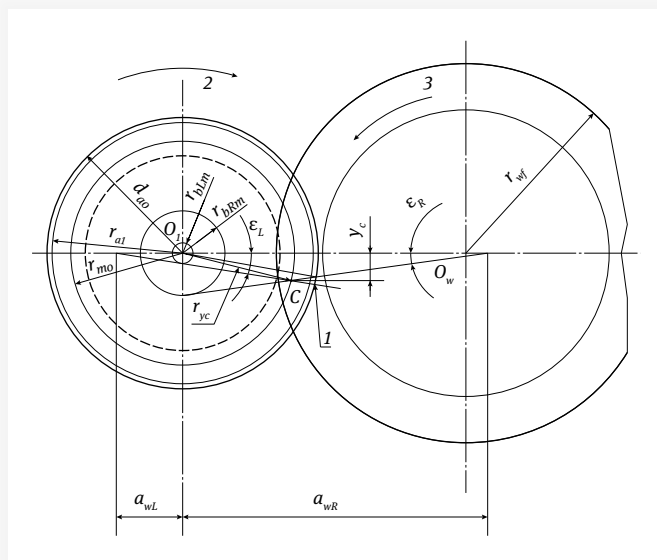


Рис. 1. Определение угла β_{w2} при затыловании поверхностей зуба с разными направлениями ($m_0 = 4$ мм): 1 – вершина зуба, 2 – направление вращения фрезы, 3 – направление вращения шлифовального круга

касательных к основным цилиндрам точек профиля на делительном цилиндре. Точку пересечения касательных к обоим основным цилиндрам точек профиля на делительном цилиндре прямолинейной части режущих кромок в общем виде находим следующим образом.

Обратимся к рис. 1:

1. Задаемся некоторой величиной угла β_{w_2} . Индекс $(_2)$ обозначает единый угол для обеих боковых сторон. Расстояния a_{wR} , a_{wL} от оси фрезы до точек пересечения касательных к основным цилиндрам точек профилей с межосевым перпендикуляром определяем выражениями:

$$\begin{aligned} a_{wR} &= (p + k \operatorname{tg} \alpha_{xR}) / \operatorname{tg} \beta_{w2}; \\ a_{wI} &= (p - k \operatorname{tg} \alpha_{xI}) / \operatorname{tg} \beta_{w2}. \end{aligned} \quad (1)$$

2. Находим углы между касательными и межосевым перпендикуляром: ϵ_R – для правой стороны зуба, ϵ_L – для левой стороны, из выражений:

$$\sin \varepsilon_R = r_{hRm} / a_{wR}; \sin \varepsilon_L = r_{hLm} / a_{wL}. \quad (2)$$

3. Расстояние Y_{cl} от межосевого перпендикуляра до точки пересечения линий контакта профилей определяем из геометрических построений выражением:

$$Y_c = (a_{wR} - a_{wI}) \operatorname{tg} \varepsilon_R \operatorname{tg} \varepsilon_I / (\operatorname{tg} \varepsilon_R + \operatorname{tg} \varepsilon_I). \quad (3)$$

4. Находим радиус r_{yc1} фрезы, на котором находится точка пересечения проекций касательных и, соответственно, линий контакта профилей:

$$r_{yc} = \left[\left(\left(Y_c / \operatorname{tg} \varepsilon_L \right) + a_{wL} \right)^2 + Y_c^2 \right]^{0,5}, \quad (4)$$

и сравниваем его величину с радиусом r_{m0} .

5. Величины r_{bLm} и a_{wL} в приведенных формулах берутся с соответствующим знаком из (8) в ч. 1 и выражения (1).

Чтобы найти точку пересечения линий контакта (пересечения касательных к делительным цилиндрам профилей) в пределах рабочего профиля зуба фрезы, на участке вблизи делительного цилиндра: $r_{yc} \approx r_{m0}$, – необходимый поиск наладки начинаем с расчета координат Y_c и r_{yc} точки пересечения линий контакта по формулам 1–4.

Первоначальное значение угла β_{w2-1} установки оси шлифовального круга для затылования соответствующего типоразмера фрезы определяем равным углу γ_{m0} подъема производящей поверхности на делительном цилиндре. Значения радиусов r_{bRm} , r_{bLm} основных цилиндров для точек профиля на делительном цилиндре определяем формулой (8 в ч. 1). Если полученное значение радиуса r_{yc1} не совпадает с размером радиуса r_{m0} делительного цилиндра, то находим параметр p_{rc} изменения радиуса r_{yc1} в зависимости от угла β_{w2} в виде:

$$p_{rc1} = r_{yc1} \operatorname{tg} \beta_{w2-1}. \quad (5)$$

Индекс (1) в формуле (5) указывает порядок приближения к искомому значению r_{yc} . Далее находим следующее приближение угла β_{w2-2} наклона оси шлифовального круга, чтобы получить точку пересечения линий контакта на делительном цилиндре фрезы:

$$\operatorname{tg} \beta_{w2-2} = p_{rc1} / r_{m0}. \quad (6)$$

И вновь повторяем расчет по (1)–(4) координат точки пересечения касательных линий к основным цилиндрам точек профиля шлифуемой поверхности на делительном цилиндре. Если и в этом случае $r_{yc2} \neq r_{m0}$, то вновь уточняем параметр p_{rc} радиуса аналогично (5):

$$p_{rc2} = r_{yc2} \operatorname{tg} \beta_{w2-2}$$

и определяем новое приближение угла установки оси круга аналогично (6):

$$\operatorname{tg} \beta_{w2-3} = p_{rc2} / r_{m0}.$$

Расчеты прекращаем при достижении сближения величин r_{yc} и r_{m0} в пределах $\pm 0,1$ мм. Таким образом, методом последовательных приближений определяем требуемый угол β_{w2} установки оси шлифовального круга, при котором

обеспечивается вступление в обработку обеих боковых поверхностей при одной наладке хода затылования.

На рис. 1 представлен поиск точки C пересечения линий контакта на примере однозаходной правой фрезы модулем 4 мм, ($p < k \operatorname{tg} \alpha_{x0}$).

В табл. 1 приведены расчетные параметры последовательного приближения к требуемому результату – расположение точки пересечения касательных к основным цилиндрам профилей на делительном цилиндре этой фрезы.

Исходные данные:

$$m_0 = 4 \text{ мм};$$

$$Z = 1;$$

$$d_{a0} = 85 \text{ мм};$$

расчетные данные:

$$r_{m0} = 37,5 \text{ мм};$$

$$\gamma_{m0} = 3,0643^\circ;$$

$$p = 2,003 \text{ мм};$$

$$k = 8,467 \text{ мм};$$

$$\alpha_{Rx} = 20,107^\circ;$$

$$\alpha_{Lx} = 19,934^\circ;$$

$$\gamma_{Rm} = 7,7487^\circ;$$

$$\gamma_{Lm} = -1,631^\circ;$$

$$\alpha_{bRm} = 21,333^\circ;$$

$$\alpha_{bLm} = 19,990^\circ;$$

$$r_{bRm} = 13,0654 \text{ мм};$$

$$r_{bLm} = -2,935 \text{ мм}.$$

При реальной обработке расчетную величину β_{w2} , при которой достигнуто значение $r_{yc} = r_{m0}$, на шлифовально-затыловочном станке устанавливают с точностью отсчетной шкалы установки угла наклона оси шлифовального круга. На старых моделях станков точность установки этого параметра составляла $0,1^\circ$.

То есть, в рассмотренном случае на таком шлифовально-затыловочном станке следует установить $\beta_{w2} = 3,0^\circ$. Радиус точки пересечения линий контакта составит $\approx 37,3$ мм. Отклонение – 5% от модуля.

Из приведенного примера (рис. 1) важен следующий вывод: у фрез с сочетанием параметров $p < k \operatorname{tg} \alpha_{x0}$ начало обработки обеих боковых поверхностей зуба имеет место на вершине зуба, так как касательные к основным цилиндрам точек профиля на делительном цилиндре находятся по одну сторону от межосевого перпендикуляра. Полученное значение β_{w2} меньше угла $\gamma_{m0} = 3,0643^\circ$, в данном случае, в пределах цены деления шкалы установки угла β_w на станке.

Для фрез с соотношением параметров $p > k \operatorname{tg} \alpha_{x0}$ методика расчета координат точки C пересечения линий контакта остается прежней, с использованием параметра p_{rc} и радиуса контакта r_{yc} , как это показано в (5) и (6). На рис. 2 показано определение точки C при затыловании фрезы $m_0 = 16$ мм.

В табл. 2 приведено последовательное приближение радиуса расположения точки к радиусу делительного цилиндра с расчетом величины угла наклона оси шлифовального круга при затыловании этой фрезы.

Таблица 1. Пример расчета угла β_{w2} установки оси шлифовального круга затылования фрез с соотношением параметров $p < k \operatorname{tg} \alpha_{\gamma 0}$

№ приближения	$\beta_{w2}, ^\circ$	$a_{wR}, \text{мм}$	$a_{wL}, \text{мм}$	$\varepsilon_R, ^\circ$	$\varepsilon_L, ^\circ$	$Y_c, \text{мм}$	$r_{yc}, \text{мм}$	$p_{rc}, \text{мм}$	$\beta_{w2-1, 2, 3 \dots}, ^\circ$
1	3,0643	95,318	-19,945	7,8784	8,4622	8,264	36,546	1,9567	2,9868
2	2,9868	97,7937	-20,463	7,6778	8,2465	8,2595	37,445		
По шкале станка	3,0	97,365	-20,373	7,7118	8,2831	8,2602	37,292		

Исходные данные:

$$m_0 = 16 \text{ MM};$$
 $Z=1;$
$$d_{a0} = 200 \text{ mm};$$

расчетные данные:

$$r_{m0} = 80 \text{ mm};$$
$$Y_{m0} = 5,739^\circ;$$

$p = 8,04$ мм;

 $k = 20,0535 \text{ мм};$
$$\alpha_{p_v} = 20,26^\circ;$$
$$\alpha_{I_{\gamma}} = 19,923^{\circ};$$
$$\gamma_{P_m} = 10,925^\circ;$$
$$\gamma_{Im} = 0,553^\circ,$$
 $\alpha_{hPm} = 22,614^\circ;$
$$\alpha_{hIm} = 19,929^\circ;$$
$$r_{hRm} = 37,072 \text{ mm};$$
$$r_{hIm} = 2,13 \text{ mm.}$$

При затыловании на станке с точностью нониуса $0,1^\circ$ шкалы отсчета угла β_{w2} следует установить величину $\beta_{w2} = 5,6^\circ$. Радиус расположения точки пересечения линий контакта составит 79,556 мм – отклонение от делительного цилиндра составляет 0,444 мм, что в данном случае пренебрежимо мало – 2,8% от модуля.

Особенностью затылования боковых поверхностей фрез с соотношением параметров $p > k \operatorname{tg} \alpha_{0x}$ является различие вступления сторон в обработку, а именно: боковая сторона, у которой угол подъема больше угла подъема производящей поверхности, вступает в обработку вершиной зуба, а противоположная боковая сторона зуба, у которой угол подъема меньше угла подъема производящей поверхности фрезы, вступает в обработку на цилиндре впадин. Для однозаходной фрезы модуля 16 мм (рис. 2), где сторона с меньшим углом подъема имеет относительно

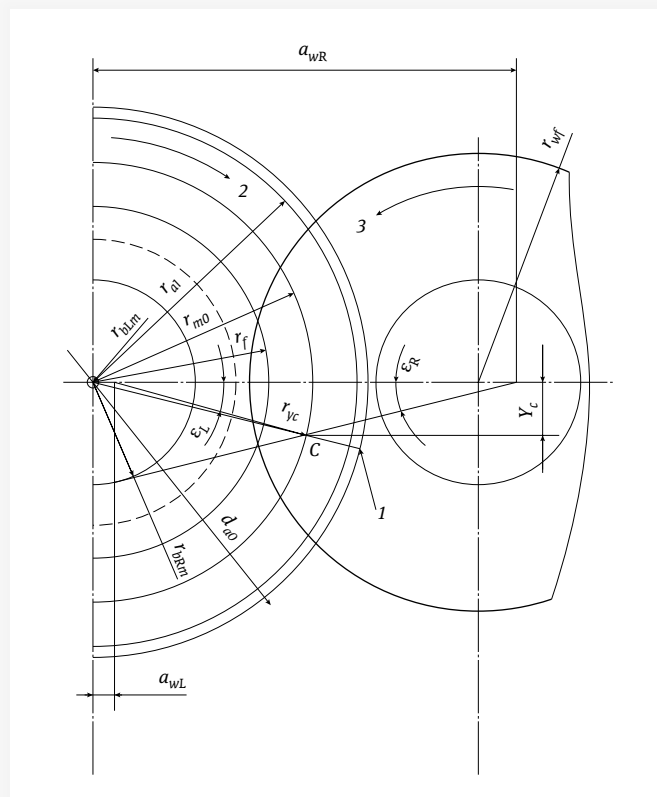


Рис. 2. Определение угла β_{w2} при затыловании боковых поверхностей зуба с одним направлением ($m_0 = 16$ мм):

1 – вершина зуба, 2 – направление вращения фрезы,
3 – направление вращения шлифовального круга

малый основной цилиндр, этот эффект практически не заметен.

Таблица 2. Пример расчета угла β_{w2} установки оси шлифовального круга для затылования фрез с соотношением параметров $p < k \operatorname{tg} \alpha_{x0}$

№ приближения	$\beta_{w2}, ^\circ$	$a_{wR}, \text{мм}$	$a_{wL}, \text{мм}$	$\varepsilon_R, ^\circ$	$\varepsilon_L, ^\circ$	$Y_c, \text{мм}$	$r_{yc}, \text{мм}$	$p_{rc}, \text{мм}$	$\beta_{w2-1, 2, 3...}, ^\circ$
1	5,739	153,654	7,682	13,961	16,096	19,495	77,725	7,811	5,577
2	5,577	158,153	7,907	13,557	15,627	19,456	79,87		
По шкале станка	5,6	157,494	7,8745	13,614	15,694	19,461	79,556		

Рассмотрим пример определения единого угла β_{w2} для двухзаходной правой фрезы модулем 8 мм (рис. 3).

Исходные данные фрезы:

$$m_0 = 8 \text{ мм};$$

$$Z = 2;$$

$$d_{a0} = 120 \text{ мм};$$

расчетные данные:

$$r_{m0} = 50 \text{ мм};$$

$$\gamma_{m0} = 9,2069^\circ;$$

$$p = 8,104 \text{ мм};$$

$$k = 11,937 \text{ мм};$$

$$\alpha_{Rx} = 20,495^\circ;$$

$$\alpha_{Lx} = 19,978^\circ;$$

$$\gamma_{Rm} = 14,1077^\circ;$$

$$\gamma_{Lm} = 4,3061^\circ;$$

$$\alpha_{bRm} = 24,2478^\circ;$$

$$\alpha_{bLm} = 20,3675^\circ;$$

$$r_{bRm} = 27,899 \text{ мм};$$

$$r_{bLm} = 10,141 \text{ мм}.$$

Ориентируемся на направление вращения фрезы. На правой стороне зуба в точке 1 вступает в обработку вершина зуба на цилиндре радиусом r_{a1} , далее по этой линии контакта идет обработка на делительном цилиндре в точке 3, точка 5 – последняя точка участка врезания на цилиндре впадин радиусом r_f , после нее происходит обработка полного профиля боковой поверхности.

На левой стороне зуба начало обработки происходит в точке 2 – на цилиндре впадин радиусом r_f , далее по этой линии контакта идет обработка к делительному цилиндру

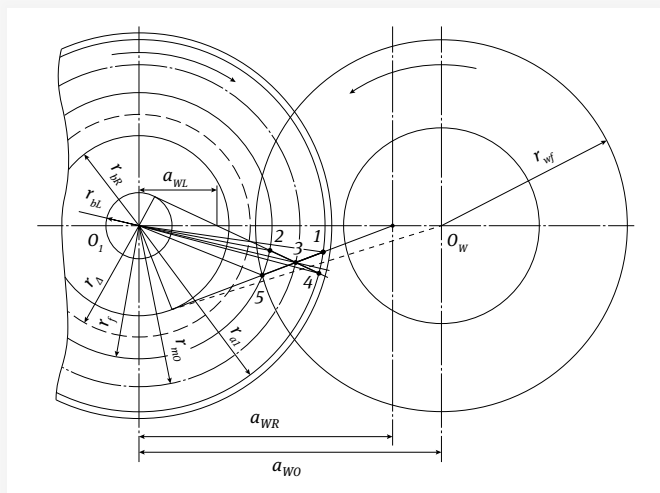


Рис. 3. Определение угла β_{w2} при затыловании боковых поверхностей зубьев фрезы ($m_0 = 8$ мм, $Z = 2$) с одним направлением затылованных поверхностей: 1, 3, 5 – точки линии контакта правой стороны зуба при затыловании; 2, 3, 4 – точки линии контакта левой стороны зуба при затыловании

в точке 3, и затем выход в точку 4 на вершине зуба, на цилиндре радиусом r_{a1} , с дальнейшей обработкой полного профиля.

В соответствии с изложенной выше методикой, определяем величину угла $\beta_{w2} = 8,95^\circ$. Для реальной обработки на станке принимаем значение этого угла 9° . Радиус расположения точки пересечения линий контакта составит 79,717 мм – отклонение от делительного цилиндра составляет 0,283 мм, что в данном случае составляет 3,5% от модуля.

Анализ произведенных расчетов показал преимущественную зависимость величины угла β_{w2} от величины угла подъема производящей поверхности фрезы на делительном цилиндре. В этой связи, с достаточной точностью для практических расчетов, рекомендуем использовать для определения β_{w2} следующую зависимость:

$$\tan \beta_{w2} = 0,9722 \tan \gamma_{m0}. \quad (7)$$

Исключение подрезания шлифуемых поверхностей зубьев фрезы

В процессе обработки рабочий ход затылования каждого зуба заканчивается скачковым реверсом затыловочного суппорта (отскоком), после которого начинается новый рабочий ход. Подрезание шлифуемых поверхностей зубьев при затыловании имеет место в случае врезания наружного диаметра шлифовального круга или его затылующей поверхности в режущую кромку следующего зуба. На практике подрезание исключают путем подбора соответствующего диаметра (радиуса) шлифовального круга и регулировкой длины рабочего хода затылования [2].

Исключение подрезания при затыловании боковых поверхностей зубьев фрезы с параллельными осями шлифуемой поверхности и шлифовального круга достаточно подробно изложено в [1], где показано, что наиболее чувствительной к подрезанию является та сторона зубьев, где угол подъема боковой поверхности меньше угла подъема производящей поверхности фрезы. И при модулях фрез до 6 мм этот параметр обработки требует ограничения диаметра шлифовального круга.

Рассмотрим это явление при затыловании боковых поверхностей зубьев с установкой оси шлифовального круга на значимый угол наклона β_w .

При раздельной обработке боковых поверхностей зубьев фрезы для той стороны, где угол подъема затылка зуба больше угла подъема производящей поверхности, рекомендовано угол β_w установки оси шлифовального круга определять в значении β_{w1} , которое позволяет практически повторить условия и преимущества профилирования шлифовального круга аналогично наладке с параллельными осями фрезы и шлифовального круга (расчет β_{w1} приведен в формулах (11...15) и (17) в ч. 1).

Значение β_{w1} для правой стороны правозаходной фрезы больше угла подъема производящей поверхности на делительном цилиндре и на цилиндре головок, следовательно, опасность подрезания не исключена. При шлифовании этой боковой поверхности зуба первым в обработку вступает участок на вершине зуба и на следующем в обработке зубе аналогичный участок является наиболее опасным для подрезания. Общий угол поворота фрезы за рабочий ход затылования составляет величину φ_a из формулы (19) в ч. 2.

Затылование боковых поверхностей зубьев выполняется до обработки радиусных закруглений головок зубьев, поэтому высоту зуба в пределах шлифуемой поверхности принимаем равной $2,25 m_0$. Рассмотрим взаимное расположение поверхности круга и затылуемой боковой поверхности зуба фрезы в момент непосредственно после рабочего хода шлифования зуба перед отскоком затыловочного суппорта (рис. 4).

Примем точку B_1 – на пересечении боковой и наружной затылованных поверхностей зуба фрезы – последней точкой контакта при повороте фрезы на угол φ_a и, соответственно, рабочего хода затылования (перед отскоком затыловочного суппорта). В системе координат $OX_p Y_p$ ось X_p совпадает с проекцией оси шлифовального круга, наклонена к оси фрезы O_1-O_1 под углом β_w и проходит через точку B_1 боковой затылованной поверхности зуба. Точка O – центр кривизны поверхности шлифовального круга в плоскости, параллельной оси фрезы; ось Y_p – параллельна касательной к затылованной поверхности зуба в точке B_1 .

Смещение Δ_0 вершины B_2 режущей кромки зуба, следующего после обрабатываемого, параллельно оси O_1-O_1 шлифуемого изделия относительно точки B_1 линии контакта поверхностей круга и зуба определим как:

$$\Delta_0 = (2\pi/z_0) - (p + k \operatorname{tg} \alpha_{xR}) \varphi_a. \quad (8)$$

Расстояние y_0 от точки B_1 до вершины следующего зуба B_2 в проекции на перпендикуляр к оси изделия, с достаточной для практических расчетов точностью, определим как:

$$y_0 = r_{a0} (2\pi/z_0 - \varphi_a). \quad (9)$$

Расстояние l_z между точками B_1 и B_2 является основанием равнобедренного треугольника, боковые стороны которого равны радиусу ρ_w кривизны сечения поверхности шлифовального круга в рассматриваемой плоскости.

Расстояние l_z определим из очевидной геометрической зависимости:

$$l_z = (y_0^2 + \Delta_0^2)^{0.5}. \quad (10)$$

Радиус ρ_w определяется, с одной стороны, в зависимости от радиуса r_{wB} круга в точке B_1 и угла профиля α_w круга по формуле:

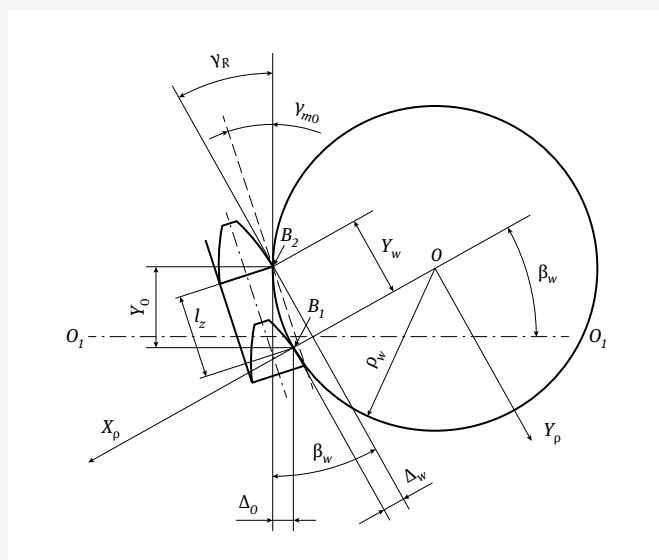


Рис. 4. Исключение подрезания поверхности зуба фрезы

$$\rho_w = r_{wB} / \operatorname{tg} \alpha_w, \quad (11)$$

где величина угла α_w в рассматриваемой точке профиля шлифовального круга равна нормальному углу профиля шлифуемой поверхности, а именно:

$$\operatorname{tg} \alpha_w = \operatorname{tg} \alpha_{xR0} \cos \beta_w. \quad (12)$$

С другой стороны, в координатах $OX_p Y_p$ величина радиуса ρ_w определяется параболической зависимостью:

$$\rho_w = y_w^2 / 2\Delta_w. \quad (13)$$

Здесь y_w – расстояние от оси X_p до вершины B_2 режущей кромки следующего зуба, в общем виде определяем как:

$$y_w = l_z \cos [\beta_w - \operatorname{atg} (\Delta_0 / y_0)], \quad (14)$$

а Δ_w – стрелка выпуклости сечения шлифовального круга плоскостью $OX_p Y_p$:

$$\Delta_w = l_z \sin [\beta_w - \operatorname{atg} (\Delta_0 / y_0)]. \quad (15)$$

С учетом (3.11) и (3.13) условие исключения подрезания определяем как:

$$r_{wB} = y_w^2 \operatorname{tg} \alpha_w / 2\Delta_w, \quad (16)$$

и, соответственно, максимально допустимый диаметр d_w шлифовального круга:

$$d_w < 2r_{wB} + 4,5m_0. \quad (17)$$

Таблица 3. Параметры затылования, определяющие максимально допустимый диаметр d_w шлифовального круга при угле β_{w1} установки шлифовального круга

m_0 , мм	r_f , мм	γ_{Rf} , °	$\alpha_{bf} = \gamma_{bf}$, °	r_{bf} , мм	a_{w0} , мм	β_{w1} , °	α_w , °	Δ_0 , мм	y_0 , мм	y_w , мм	Δ_w , мм	r_{wb} , мм	d_w , мм
2	28,00	7,006	21,070	8,913	86,997	2,265	20,046	0,0383	10,709	10,703	0,373	56	121
2,5	29,375	7,322	21,173	9,745	88,251	2,450	20,054	0,076	11,207	11,200	0,386	59,31	129
3,0	30,75	7,908	21,363	10,920	89,415	2,735	20,067	0,0783	11,602	11,594	0,438	56,08	125
3,5	32,25	8,300	21,499	11,899	90,625	2,960	20,074	0,0894	12,004	11,994	0,501	52,48	120
4	33,50	8,661	21,629	12,869	91,836	3,180	20,081	0,0985	12,384	12,372	0,554	51,5	119
5	36,25	9,297	21,869	14,786	94,264	3,600	20,094	0,0958	13,086	13,069	0,673	46,42	115
6	39,00	9,853	22,091	16,902	97,183	4,038	20,105	0,195	17,251	17,226	0,935	58,1	143
8	42,00	11,312	22,712	20,073	98,950	4,853	20,132	0,394	14,059	14,047	0,681	53,1	142
10	42,50	12,878	23,452	22,399	98,846	5,614	20,149	0,267	21,516	21,4393	1,839	45,85	136
11	50,25	12,448	23,241	25,828	106,290	5,958	20,122	0,596	30,325	30,223	2,555	65,5	180

В табл. 3 приведены расчетные данные диаметра шлифовального круга при угле наклона оси шлифовального круга β_{w1} .

Приведенные расчеты для фрез Исполнения 2 с модулями до 11 мм показали, что небольшое ограничение диаметра шлифовального круга следует соблюдать при затыловании фрез модулем 4 мм (d_w не более 119 мм) и 5 мм ($d_w \leq 115$ мм). Фрезы модулем 11 мм и более, в связи с уменьшенным количеством z_0 стружечных канавок и увеличенными диаметрами фрез, можно обрабатывать без опасности подрезания, в том числе при диаметре шлифовального круга до 175 мм (например, на шлифовально-затыловочном станке мод. МВ-107).

Опасность подрезания практически исключена при установке угла β_w наклона оси шлифовального круга в значении β_{w2} , едином для обработки обеих поверхностей (см. первый раздел), которое меньше и угла γ_{m0} подъема производящей поверхности, и величины β_{w1} для боковой стороны с большим углом подъема. Но необходимо назначать величины рабочего хода затылования $K_a = k \varphi_a$ и угла поворота фрезы φ_a по формуле (19) из ч. 2:

$$\varphi_a \approx \left(\pi / 3 z_0 \right) + r_{bm} 2,25 m_0 / \left[r_{a0} (r_{a0} - 2,25 m_0) \right]. \quad (18)$$

Заключение

1. Определена методика расчета угла наклона оси шлифовального круга, единого для наладки затылования обеих сторон зубьев, при этом точка пересечения линий контакта круга и шлифуемой поверхности находится

в пределах высоты рабочего профиля зубьев, вблизи делительного цилиндра фрезы.

2. Значение этого угла для ряда типоразмеров меньше угла подъема производящей поверхности на делительном цилиндре.
3. Выведена упрощенная формула расчета величины угла наклона оси шлифовального круга, единого для обеих боковых сторон зубьев.
4. Для исключения подрезания головки зуба, следующего за обрабатываемым, разработана методика расчета необходимых ограничений диаметра шлифовального круга.
5. Показано, что при ограничении длины рабочего хода затылования требованиями стандарта по длине шлифованной части зуба, опасность подрезания практически исключена при значении угла наклона оси, единого для обеих затылуемых сторон зубьев.

Литература

1. Сандлер А. И. Функционально-ориентированная технология затылования зубьев зуборезных червячных фрез нового стандарта // Научные труды в машиностроении. 2022. № 1(127). С. 37–48. doi: 10.30987/2223-4608-2022-1-37-48.
2. Сандлер А. И., Лагутин С. А., Гудов Е. А. Теория и практика производства червячных передач общего вида / Под общ. ред. С. А. Лагутина; 2-е изд. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 346 с. ISBN 978-5-9729-0534-8

Автор

Сандлер Александр Исерович – кандидат технических наук, независимый эксперт



**9–12
сентября
2024**

**20-я юбилейная
международная
выставка «Машины,
оборудование,
технологии
для лесозаготовительной,
деревообрабатывающей
и мебельной
промышленности»**

Организатор



При поддержке



ЛЕСТЕХ®

Реклама



**Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»**

**ЛЕС
ДРЕВ
МАШ**

www.lesdrevmash-expo.ru



12+