

## **Профилирование зуборезных долбяков с фасонной передней поверхностью для обработки зубчатых колёс**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»  
Киевский авиационный техникум  
Национальный технический университет Украины «КПИ»*

Рассмотрены вопросы профилирования долбяков с наклонной осью, имеющих фасонную поверхность, дано аналитическое решение задачи профилирования долбяков на основе исходной инструментальной поверхности, образованной с помощью вспомогательной производящей поверхности.

**Ключевые слова:** долбяк, фасонная поверхность, профилирование долбяков, инструментальная поверхность

### **Вступление**

Современное производство предъявляет высокие требования к качеству инструмента, от которого зависит точность формообразования различных поверхностей деталей, особенно это актуально при нарезании высокоточных зубчатых колес, используемых в моторостроении, станкостроении, авиационной технике и других ответственных машинах и механизмах.

Поэтому проблема создания современного высокопроизводительного металлорежущего инструмента, работающего на основе новых схем формообразования, всегда будет актуальной для науки и производства.

Важной задачей в решении этой проблемы является профилирование зуборезного инструмента, в частности зуборезных долбяков с наклонной осью, работающих по схеме формообразования второго класса, которая сводится к качению без скольжения круглого конуса, связанного с заготовкой, по круглому конусу, связанному с инструментом.

Небольшое количество выполненных исследований доказывает перспективность исследования рассматриваемого процесса формообразования и применяемого инструмента — долбяков с наклонной осью, которые обладают рядом преимуществ в сравнении со стандартными долбяками. Острыми недостатками стандартных долбяков являются чрезвычайно малые, и при этом резко меняющиеся, передние и задние углы на боковых режущих кромках, а также изменение ширины наиболее загруженной вершинной режущей кромки при переточках и изменении условий зацепления долбяка и обрабатываемого зубчатого колеса.

Проведенные исследования [3] показали, что увеличение передних и задних углов зуборезных долбяков позволяет в несколько раз повысить их стойкость. На стандартных долбяках увеличение углов приводит к резкому сокращению числа возможных переточек и сокращению срока эксплуатации инструмента.

Переточка долбяка с наклонной осью производится по передней поверхности и с учётом, что задняя поверхность является цилиндрической поверхностью с образующими, параллельными оси долбяка, переточки инструмента не вносят никаких изменений в профиль нарезаемого колеса, не изменяются и условия зацепления долбяка и нарезаемого колеса.

В результате зуборезные долбяки с наклонной осью могут проектироваться с увеличенной величиной длины зубьев, что приводит к возрастанию количества переточек и общего срока эксплуатации инструмента.

Обычно зуборезные долбяки с наклонной осью проектируются с передней конической поверхностью. С целью повышения точности обработки целесообразно проектировать инструмент с передней поверхностью в форме плоскости, перпендикулярной оси инструмента.

В этом случае, оптимальные величины передних углов на режущих кромках долбяка можно создавать за счёт подточки передней поверхности обособленно на каждом зубе инструмента.

При этом возникает задача профилирования долбяков с наклонной осью с фасонной передней поверхностью.

Вопросы профилирования долбяков с наклонной осью рассматривались в ряде работ [4, 7, 8, 9] на основе исходной инструментальной поверхности, образованной по первому способу из трех известных на сегодняшнем этапе исследований в этом направлении.

Известно, что определение исходной инструментальной поверхности по второму способу отмечается своей простотой и меньшей трудоёмкостью. Однако, задача профилирования зуборезных долбяков с наклонной осью, имеющих фасонную переднюю поверхность, на базе исходной инструментальной поверхности, образованной по второму способу с помощью производящей рейки, не была решена. Эта задача решается в данной статье.

Целью этой статьи является аналитическое решение задачи профилирования зуборезных долбяков с наклонной осью, имеющих фасонную переднюю поверхность, на основе исходной инструментальной поверхности, образованной по второму способу.

### **Профилирование долбяков с фасонной передней поверхностью для обработки зубчатых колёс**

Долбяки с конической передней поверхностью имеют недостаточные величины передних углов на вершинной и на боковых режущих кромках, что снижает их работоспособность [1, 2, 5, 10].

С целью повышения работоспособности были разработаны всевозможные способы подточки передней поверхности каждого зуба долбяка, что позволило повысить их стойкость за счет более целесообразного изменения величины передних углов на режущих кромках долбяка [6].

Анализ показывает, что зуборезные долбяки с конической передней поверхностью вносят определенные погрешности в профиль обрабатываемого зубчатого колеса. Для того, чтобы повысить точность обработки зубчатых колес, целесообразно проектировать долбяки с режущей кромкой, расположенной в плоскости, перпендикулярной его оси.

Методика проектирования долбяков с наклонной осью с режущей кромкой, расположенной в плоскости, перпендикулярной его оси, включает следующие этапы:

1. Определяется режущая кромка как линия пересечения исходной инструментальной поверхности и выбранной плоскости  $\Sigma$ , перпендикулярной оси долбяка. За плоскость  $\Sigma$  примем исходное сечение  $II-II$  (рис. 1), перпендикулярное оси долбяка, которое проходит через точку  $A$ , лежащую в осевой плоскости обрабаты-

ваемого колеса и долбяка. Точка *A* является точкой пересечения образующих начальных цилиндров колеса и долбяка при их зацеплении с вспомогательной производящей рейкой.

2. Создаётся фасонная задняя цилиндрическая поверхность путём прямолинейно-поступательного движения режущей кромки параллельно оси долбяка. При этом профиль задней поверхности будет совпадать с формой режущей кромки. Однако, если принять переднюю поверхность долбяка в форме плоскости  $\Sigma$ , то на режущей части создаются отрицательные величины передних углов, в различных ее точках, что не рекомендуется при разработке быстрорежущего инструмента.

Поэтому, для того, чтобы создать целесообразные величины передних углов, приходится подтачивать переднюю поверхность каждого зуба долбяка. Отсюда, при профилировании рассматриваемого инструмента возникает задача определения формы передней поверхности долбяка и профиля шлифовального круга для ее обработки.

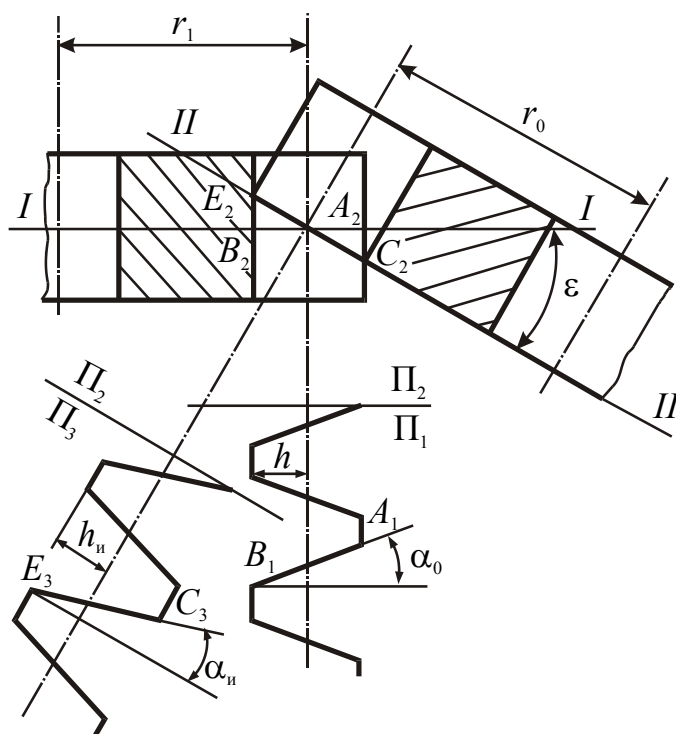


Рис. 1. Схема определения формы профиля зубьев рейки, сопряженной с долбяком с наклонной осью

Рассмотрим обработку некорригированного зубчатого колеса с числом зубьев  $z_1$ , модулем  $m$ , радиусом делительной окружности  $r_1 = \frac{mz_1}{2}$  (рис. 2).

Ось долбяка наклонена на угол  $\epsilon$ . Радиус  $r_0$  делительной окружности долбяка равен:

$$r_0 = \frac{mz_0}{2},$$

где  $z_0$  — число зубьев долбяка.

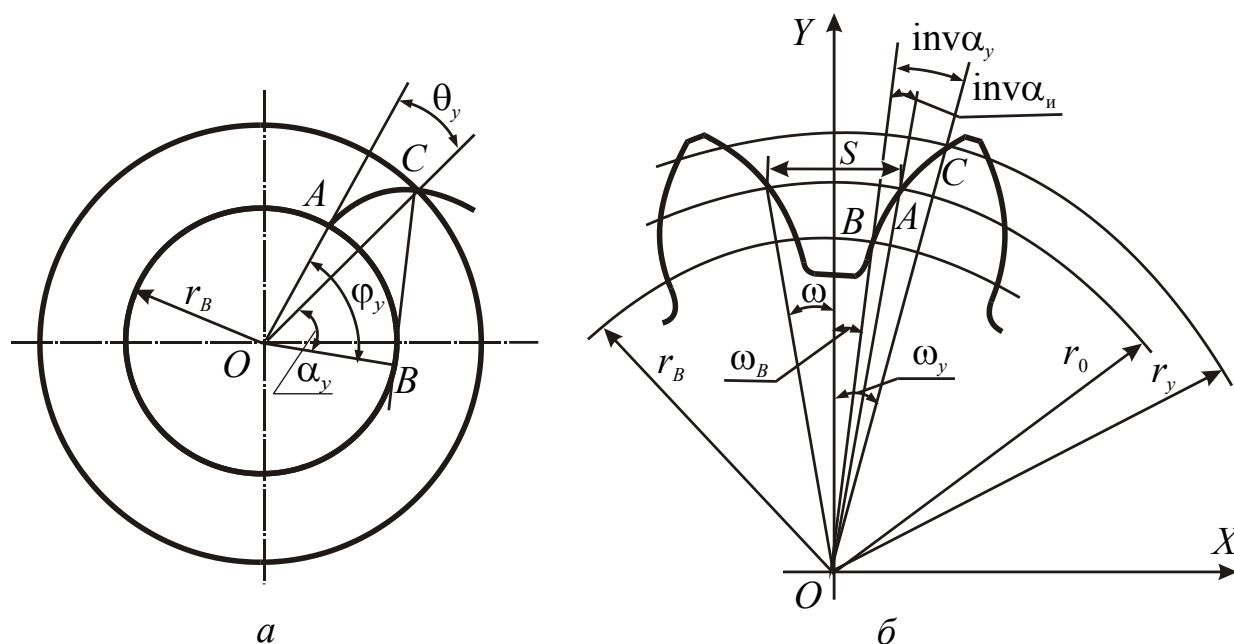


Рис. 2. Схемы формообразования:  
 а — эвольвентной поверхности зуба заготовки;  
 б — формы режущей кромки долбяка

Исходную инструментальную поверхность долбяка образуем по второму способу с помощью производящей стандартной рейки с углом профиля  $\alpha_0 = 20^\circ$ .

В процессе обработки некорригированного колеса средняя линия рейки будет катиться без скольжения по делительной окружности колеса.

В сечении  $II-II$ , перпендикулярном оси долбяка, форма сопряженной с инструментом рейки будет иметь угол профиля  $\alpha_u$ , равный:

$$\operatorname{tg} \alpha_u = \operatorname{tg} \alpha_0 \cdot \cos \varepsilon.$$

Высотные размеры этой рейки будут равны:

$$h_u = \frac{h}{\cos \varepsilon},$$

где  $h$  — соответствующий высотный размер стандартной рейки.

Радиус основной окружности долбяка будет равен:

$$r_{e0} = r_0 \cdot \cos \alpha_u.$$

Уравнение эвольвенты (рис. 2, а) будет:

$$Q_y = \operatorname{tg} \alpha_y - \alpha_y = \operatorname{inv} \alpha_y;$$

$$r_y = \frac{r_B}{\cos \alpha_y}.$$

Определим форму режущей кромки долбяка в системе  $XY$  (рис. 2, б).

Ширина  $S$  впадины зуба на делительной окружности:

$$S = \frac{\pi m}{2} - \Delta S.$$

Величина  $\Delta S$  вводится для обеспечения боковых зазоров в передаче.

Угол  $\omega$  для точки  $A$  на делительной окружности определяется по формуле:

$$\omega = \frac{S}{2r_0}.$$

Координаты точки  $A$  будут такие:

$$X_A = r_0 \cdot \sin \omega; \quad Y_A = r_0 \cdot \cos \omega.$$

Координаты точки  $B$ , расположенной на основной окружности:

$$X_B = r_{B0} \cdot \sin \omega_B; \quad Y_B = r_{B0} \cdot \cos \omega_B,$$

где  $\omega_B = \omega - Q = \omega - \text{inv } \alpha_n$ .

Координаты произвольной точки  $C$ , расположенной на выбранном радиусе  $r_y$ , будут равны:

$$X_i = r_y \cdot \sin \omega_y; \quad Y_i = r_y \cdot \cos \omega_y,$$

где  $\omega_y = \omega_B + \text{inv } \alpha_y$ .

$$\cos \alpha_y = \frac{r_{B0}}{r_y}.$$

Совокупность точек  $A, B, C, \dots$  будет режущей кромкой долбяка с наклонной осью с плоской передней поверхностью, перпендикулярной оси долбяка. В рассматриваемом случае создаются неблагоприятные величины передних углов, что существенно снижает работоспособность инструмента. Для получения оптимальных величин передних углов предложено подтачивать переднюю поверхность долбяка специальным фасонным шлифовальным кругом. Форма рабочей поверхности шлифовального круга определяется как поверхность вращения режущей кромки долбяка вокруг оси шлифовального круга.

При графическом определении профиля шлифовального круга в системе плоскостей проекции  $\Pi_1/\Pi_2$  (рис. 3) изображается форма  $ABC$  режущей кромки долбяка, расположенная в плоскости  $X_0Y_0$ .

Точка  $A$  на вершине зуба долбяка принята за базовую, в которой создается принятая величина переднего инструментального угла  $\gamma_n$ . Положение оси  $X_1$  шлифовального круга определяется величиной его радиуса  $R_k$  в базовой точке  $A$ . Вращая точки  $A, B, C$  режущей кромки вокруг оси шлифовального круга, получаем совокупность окружностей, которая будет искомой инструментальной поверхностью. Так, например, произвольная точка  $B$  режущей кромки описывает при вращении вокруг оси круга окружность  $BL$ .

Профиль шлифовального круга определяется как линия пересечения исходной инструментальной поверхности и плоскости  $Y_1 = 0$ .

Так окружность  $BL$  пересекается с плоскостью  $Y_1 = 0$  в точке  $L$ . Точка  $L$  будет точкой профиля шлифовального круга. Аналогично точке  $L$  находятся другие точки профиля круга. Истинная форма профиля круга (линия  $L_3E_3$ ) проецируется на плоскость  $\Pi_3$ .

При аналитическом определении профиля шлифовального круга определяется режущая кромка  $ABC$  на затачиваемом зубе долбяков в системе  $X_0Y_0Z_0$ . При известных координатах режущей кромки в системе  $XY$  (см. рис. 1) координаты точек режущей кромки в системе  $X_0Y_0$  рассчитываются по формулам преобразования координат:

$$\begin{aligned} X_0 &= X \cos t - Y \sin t; \\ Y_0 &= Y \cos t + X \sin t; \end{aligned}$$

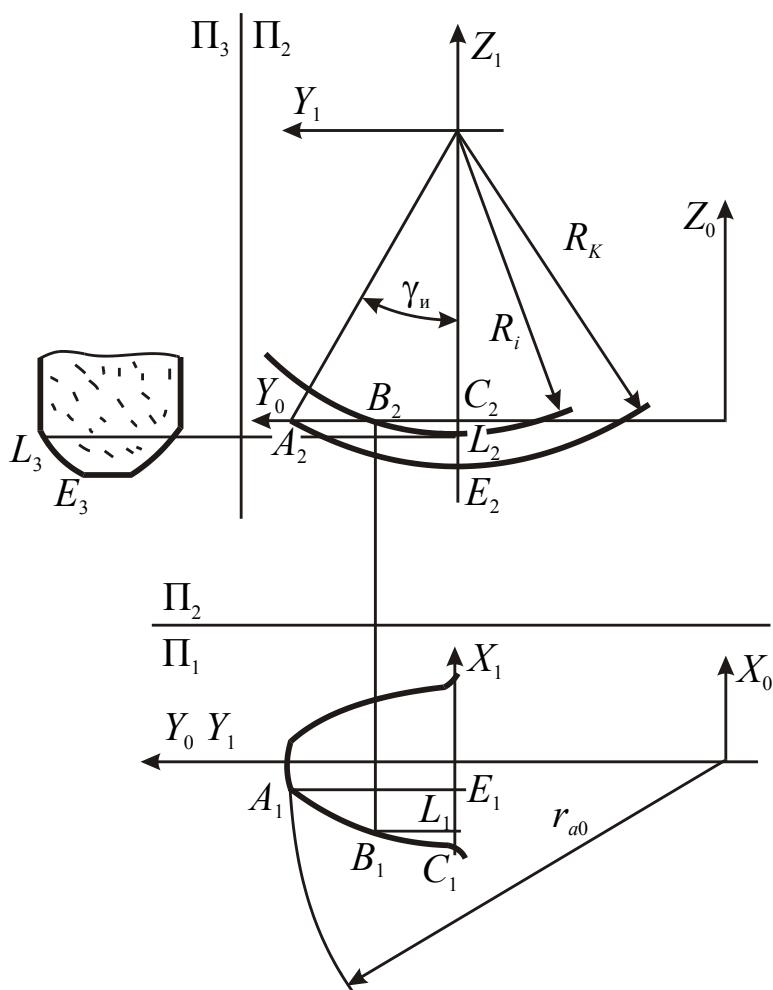


Рис. 3. Графическое определение профиля шлифовального круга

$$Z_0 = 0,$$

где  $t = \frac{\pi t}{2r_0}$ .

В системе  $X_1 Y_1 Z_1$  координаты точек режущей кромки определяются по следующим формулам преобразования координат:

$$Y_1 = Y_0 - (r_{a0} - R_K \sin \gamma_n);$$

$$X_1 = X_0;$$

$$Z_1 = Z_0 - R_K \cos \gamma_n;$$

Радиус  $R_i$  вращения точек режущей кромки вокруг оси шлифовального круга будет равен:

$$R_i = \sqrt{Y_1^2 + Z_1^2}.$$

Профиль шлифовального круга будет определяться величинами радиусов  $R_i$  и координатой  $X_1$ , определенными для выбранных точек режущей кромки долбяка.

Профиль круга по технологическим соображениям, по известным алгоритмам и программам, заменяется дугами окружностей либо отрезками прямых линий.

### Выводы

1. Решена задача профилирования зуборезных долбяков с наклонной осью для обработки зубчатых колёс, у которых режущая кромка располагается в плоскости, перпендикулярной оси инструмента.
2. Для создания на режущей части оптимальных величин передних углов целесообразно на каждом зубе создавать фасонную переднюю поверхность вращения.
3. Формообразование профиля передней поверхности зуба долбяка с наклонной осью с целью повышения производительности следует проводить профилем шлифовального круга, который определяется по приведенной в статье методике.

### Список литературы

1. Костенко В. В. Зуборезные долбяки с наклонной осью: Автореф. канд. техн. наук.
2. Ле Минь Нгон. Исследование геометрии передней поверхности зуборезных долбяков: автореф. канд. техн. наук. — К.: КПИ, 1972.
3. Мамлюк О.В., Родин Р.П. Профилирование долбяков с режущей кромкой, расположенной в плоскости, перпендикулярной оси инструмента, при обработке шлицевых валов. — Научно-технологический журнал «Технологические системы» №2(22). — К., 2004.
4. Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. — Ж., 2000.
5. Радченко Ю. Г., Ле Минь Нгон. Влияние формы передней поверхности на стойкость долбяков. // Резание и инструмент.— Х., 1972. — Вып. 6.
6. Родин П. Р., Ле Минь Нгон. Профиль шлифованного круга для подточки передней поверхности долбяка. // Резание и инструмент. — Х., 1970. — Вып. 1.
7. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностной резанием. — К.: Вища школа, 1977. — 192 с.
8. Родин П.Р., Самохин Г.И. Эвольвентные долбяки с наклонной осью, работающие методом обкатки. // Станки и режущие инструменты. — Вып. 5. — Х., 1967.
9. Родин П.Р., Самохин Г.Н. Профилирование долбяков с наклонной осью. // Станки и режущие инструменты. — Вып. 5. — Х., 1967.
10. Романов В. Ф. Зуборезные долбяки оптимальной геометрии // Станки и инструмент. — 1963. — № 9.

**Рецензент:** к.т.н., доцент О.С. Бутенко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 25.05.09

## **Профільювання зуборізальних довбачів, що мають фасонну передню поверхню для обробки зубчастих колес**

Розглянуто питання профільювання довбачів з похилою віссю, що мають фасонну поверхню, дано аналітичне розв'язання задачі профільювання довбачів на базі вихідної інструментальної поверхні, створеної за допомогою допоміжної твірної поверхні.

**Ключові слова:** довбач, фасонна поверхня, профільювання довбачів, інструментальна поверхня

## **Profiling the cutters with formed front surface to machine tooth gears**

Problems of profiling the inclined cutters with formed surface are considered, analytical solution of problems of profiling the cutters based on reference instrumental surface formed by means of auxiliary generating surface is given

**Keywords:** cutter, formed surface, profiling the cutters, instrumental surface