

ЗУБОРЕЗНЫЕ ГРЕБЕНКИ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКА

Змінні по формі зрізувані прошарки матеріалу при нарізанні зубчастих коліс мають ділянки, товщина яких наближується до нуля, що негативно впливає на стійкість інструмента. Для виявлення цих ділянок вирішена задача визначення товщини зрізу при обробленні зубчастих коліс гребінками. Наведено графічне вирішення цієї задачі, на основі якого отримані аналітичні залежності для визначення товщини зрізу у будь-якій точці різальної кромки. Розглянуто можливі схеми зрізання припуску при обробленні прямозубих зубчастих коліс гребінками, запропоновано схему багатопрохідного оброблення, показано переваги та недоліки схем зрізання припуску, розглянутих у статті.

Variables on a form the cut off layers of material at cutting of gear-wheels have areas, the thickness of which approaches a zero which negatively influences on tool life. For the exposure of these areas the task of determination of thickness of cut is decided at treatment of gear-wheels by rack-shaped cutters. The graphic decision of this task, on the basis of which analytical dependences are got for determination of thickness of cut in any point of cutting edge, is resulted. The possible charts of cutting away of assumption are considered at treatment of spur by rack-shaped cutters, the chart of multipass treatment is offered, advantages and lacks of charts of cutting away of machining allowance, considered in the article are retined.

Введение.

При обработке зубчатых колес используются зуборезные гребенки. Среди инструментов, обрабатывающих зубчатые колеса по методу обката, гребенки являются идеальным теоретически точным инструментом [1-7].

Это обусловлено тем, что гребенки затачиваются по передней плоскости. При заточке удаляется изношенная режущая кромка и обнаруживается новая той же самой формы. Это обеспечивает обработку и новой и переточенной гребенками одних и тех же зубчатых колес.

Область применения зуборезных гребенок непрерывно расширяется, особенно при обработке крупномодульных колес.

Работоспособность зуборезных гребенок и, соответственно, производительность обработки зубчатых колес в значительной степени зависит от принятой при конструировании гребенок схемы срезания припуска.

Однако вопросы разработки зуборезных гребенок при различных схемах срезания припуска не решены. Для разработки прогрессивных схем срезания припуска, прежде всего, необходим анализ толщин среза, которые в процессе нарезания зубчатых колес имеют различную форму от параллелепипеда, треугольника, Г-образной формы до П-образной. Вопросы перехода от П-образной формы к Г-образной решены [8, 9].

При нарезании колес гребенками, как и другими инструментами, работающими методом обката, следует учитывать, что при входе и выходе зубьев наблюдаются толщины среза, близкие к нулю, что отрицательно сказывается на стойкости инструмента. Определение таких толщин в процессе работы любого инструмента является актуальной задачей.

Поэтому в данной статье рассмотрена задача определения толщин среза и предложены новые схемы срезания припуска при обработке прямозубыми зуборезными гребенками эвольвентных прямозубых зубчатых колес.

Определение толщины среза при обработке зубчатых колес прямозубыми гребенками

Для успешного решения задачи создания совершенных конструкций инструментов необходимо знать характер загрузки различных участков режущих кромок. При нарезании зубчатых колес характером загрузки режущих кромок наиболее просто управлять, изменяя толщину среза. Выявляя наиболее благоприятные, с точки зрения теории резания, значения толщин среза, можно разрабатывать инструменты с прогрессивными схемами срезания припуска. При обработке зубчатых колес гребенками эта задача не рассматривалась.

Нагрузка исследуемой точки режущей кромки при обработке заданной заготовки известным инструментом главным образом определяется скоростью резания \bar{V} , толщиной среза a , а также продолжительностью ее контакта с материалом заготовки [2].

Рассмотрим графическое определение толщины среза.

Обработка зубчатых колес прямозубыми гребенками производится методом обкатки. Начальная прямая, связанная с зуборезной гребенкой, катится без скольжения по начальной окружности, связанной с обрабатываемым зубчатым колесом. Гребенка совершает возвратно-поступательные движения резания со скоростью \bar{V} , параллельной оси зубчатого колеса. При этом движения обкатки не осуществляется. Графически определим толщину среза a при обработке зуборезной гребенкой (рис. 1). При обработке зубчатых колес в рассматриваемом случае поверхности резания будут поверхностями зуборезной рейки, сопряженной с обрабатываемым зубчатым колесом. Будем считать, что в рассматриваемый момент времени поверхность резания, в сечении, перпендикулярном оси зубчатого колеса, будет иметь профиль сопряженной рейки ABCD, положение которого определяется размером PL.

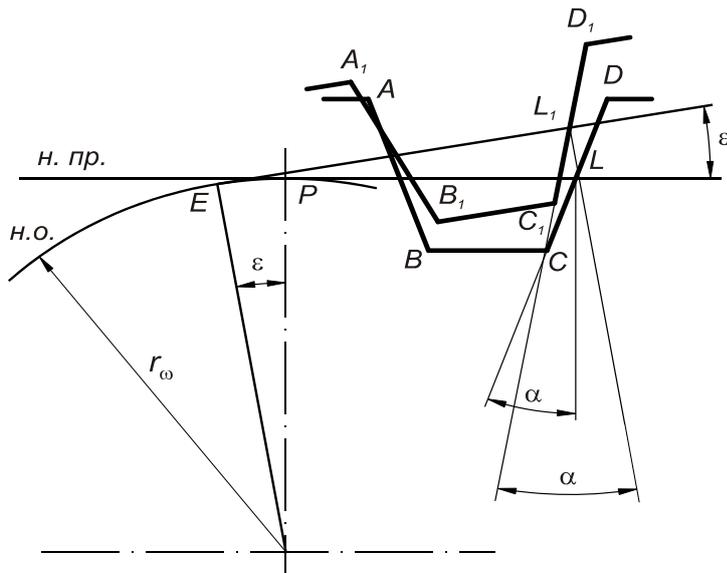


Рис. 1. Графическое определение толщины среза

смежными профилями поверхностей резания. Толщина a , например, в исследуемых точках прямой CD будет расстоянием между прямыми CD и C_1D_1 , измеряемым по нормали к прямой CD .

Для аналитического определения толщины среза воспользуемся формулой [2]:

$$a = \frac{(\vec{N}, \vec{S})}{|\vec{N}|},$$

где \vec{N} - вектор нормали к обрабатываемой поверхности, \vec{S} - вектор подачи.

При аналитическом определении толщины среза a вводятся системы координат $X_1Y_1Z_1$ и $X_2Y_2Z_2$ (рис. 2).

Система координат $X_1Y_1Z_1$ связана с выбранным положением режущей кромки в рассматриваемый момент среза притупки. Система координат $X_2Y_2Z_2$ связана с положением рейки при предыдущем проходе. Положение центра L_2 системы координат $X_2Y_2Z_2$ в системе координат $X_1Y_1Z_1$ определяется размерами ΔX и ΔY . В соответствии с графическим решением величины ΔX и ΔY определяются по зависимостям:

$$\Delta X = (l + r_\omega \varepsilon) \sin \varepsilon - r_\omega (1 - \cos \varepsilon);$$

$$\Delta Y = l(1 - \cos \varepsilon) + r_\omega (\sin \varepsilon - \varepsilon \cos \varepsilon),$$

где l - расстояние от точки P (полюса зацепления) до точки L_1 .

Формулы преобразования координат будут:

$$X_1 = X_2 \cos \varepsilon + Y_2 \sin \varepsilon + \Delta X;$$

$$Y_1 = Y_2 \cos \varepsilon - X_2 \sin \varepsilon + \Delta Y.$$

При определении толщины среза выбираем в системе $X_1Y_1Z_1$ исследуемую точку A режущей кромки с координатами (X_{1A}, Y_{1A}) . Аналогичная точка B режущей кромки в системе координат $X_2Y_2Z_2$ будет иметь координаты $X_{2B}=X_{1B}$ $Y_{2B}=Y_{1A}$ (Рис.1).

По формулам преобразования координат рассчитываются координаты точки B (X_{1B} , Y_{1B}) в системе координат $X_1Y_1Z_1$:

$$X_{1B} = X_{1A} \cos \varepsilon + Y_{1A} \sin \varepsilon + \Delta X;$$

$$Y_{1B} = Y_{1A} \cos \varepsilon - X_{1A} \sin \varepsilon + \Delta Y.$$

Вектор подачи \vec{S} в исследуемой точке A в системе координат $X_1Y_1Z_1$ будет расстоянием от точки A до точки B :

$$\vec{S} = \vec{i}(X_{1A} - X_{1B}) + \vec{j}(Y_{1A} - Y_{1B}).$$

Вектор \vec{V} скорости резания идет параллельно оси Z_1 .

$$\vec{V} = \vec{k}$$

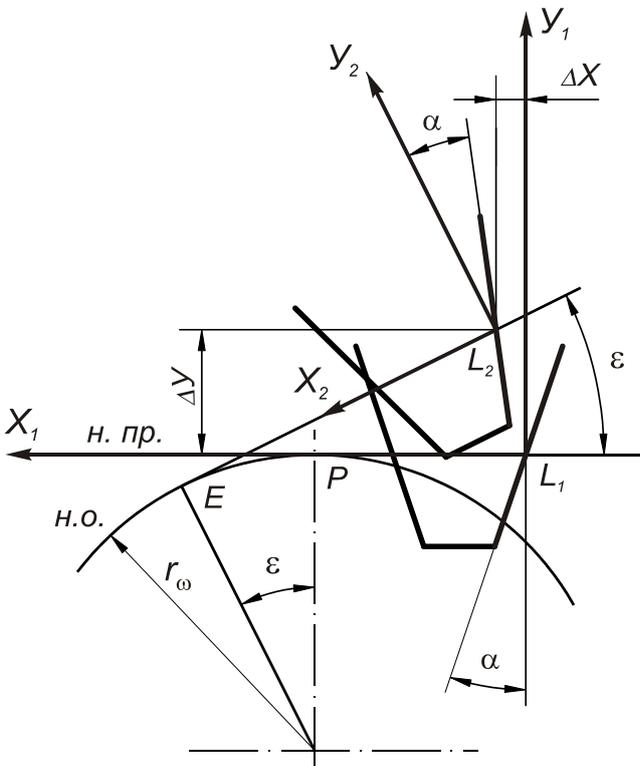


Рис. 2. Схема аналитического определения толщины среза

При обработке задается окружная подача S_0 , измеряемая по начальной окружности зубчатого колеса.

$$S_0 = \cup PE$$

Угол ε , соответствующий дуге $\cup PE$, и, соответственно, подаче S_0 будет равен:

$$\varepsilon = \frac{S_0}{r_\omega}$$

где r_ω - радиус начальной окружности обрабатываемого колеса.

Положение профиля поверхности резания предыдущего прохода гребенки будет $A_1B_1C_1D_1$. При этом начальная прямая будет занимать положение EL_1 . Расстояние EL_1 будет равно:

$$EL_1 = PL + S_0 = PL + r_\omega \cdot \varepsilon$$

В соответствии с расстоянием EL_1 вычерчивается положение профиля $A_1B_1C_1D_1$ поверхности резания предыдущего прохода. Сечение среза заключено между рассматриваемыми

При определении толщины среза a вместо реальной режущей кромки инструмента можно выбирать произвольную прямую линию, касательную к поверхности резания в исследуемой точке режущей кромки. За такую прямую примем прямую, расположенную в плоскости, перпендикулярной оси обрабатываемого зубчатого колеса.

В рассматриваемом случае примем вектор \vec{P} равным:

$$\vec{P} = \vec{i} \cos \varphi - \vec{j} \sin \varphi,$$

где $\varphi = 90 - \alpha$.

Подставляя величины $\vec{S}, \vec{P}, \vec{V}$ в общую формулу для определения толщины среза a будем иметь:

$$a = \frac{(X_{1A} - X_{1B})(-\sin \varphi) + (Y_{1A} - Y_{1B})(-\cos \varphi)}{\sqrt{\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi}}.$$

Отсюда толщина среза a будет равна:

$$a = (X_{1A} - X_{1B}) \cos \alpha + (Y_{1A} - Y_{1B}) \sin \alpha.$$

Для вершинной кромки при $\alpha = 90^\circ$ будем иметь:

$$a = Y_{1A} - Y_{1B}.$$

По предложенной методике определения толщины среза a и выведенным зависимостям можно оценивать загрузку режущей кромки гребенки, на основе чего разрабатывать более прогрессивные схемы срезания припуска.

Схемы срезания припуска зуборезными гребенками.

Известно, что заданное обрабатываемое прямозубое эвольвентное зубчатое колесо имеет большое количество сопряженных с ним исходных реек с прямолинейным профилем с разнообразными углами профиля α и различными шагами t , измеренными вдоль начальной прямой. Расстояние t между смежными зубьями рейки, измеренное на начальной прямой, равно шагу зубьев обрабатываемого зубчатого колеса, измеренному на начальной окружности:

$$t = \frac{2\pi r \omega}{Z},$$

где Z – число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса.

Общим у всех реек, сопряженных с заданным зубчатым колесом, будет шаг t_H нормали – расстояние между смежными прямыми соседних зубьев реек, измеренное по перпендикуляру к ним. Шаг t_H по нормали равен шагу зубьев обрабатываемого зубчатого колеса, измеренному по его основной окружности:

$$t_H = t \cdot \cos \alpha.$$

Используя различные, сопряженные с заданным обрабатываемым колесом рейки, проектируются прямозубые зуборезные гребенки с разнообразными величинами углов профиля α .

При изменении угла профиля рейки α , соответственно, меняется схема срезания припуска и работоспособность инструмента. Наиболее часто угол профиля исходной рейки выбирают равным $\alpha=20^\circ$. Зуборезные гребенки могут иметь уменьшенный угол профиля α сопряженной исходной рейки. Снижение величины угла α профиля сопряженной исходной рейки способствует увеличению продолжительности зацепления зуборезной гребенки с обрабатываемым колесом при его нарезании. Это приводит к снижению шероховатости и гранности обработанной поверхности. При этом создаются благоприятные условия для увеличения стойкости инструмента и производительности обработки, за счет соответствующего изменения схемы срезания припуска. Практика показывает, что угол профиля исходной рейки α можно уменьшать до $\alpha=12^\circ$. Однако при малых углах профиля исходной рейки зуборезные гребенки, спроектированные на их основе, имеют малые величины задних углов на боковых режущих кромках, что, соответственно, снижает работоспособность инструмента. Анализ и соответствующие экспериментальные исследования с учетом двух различных тенденций влияния угла профиля исходной рейки α на процесс резания определяет их целесообразное значение.

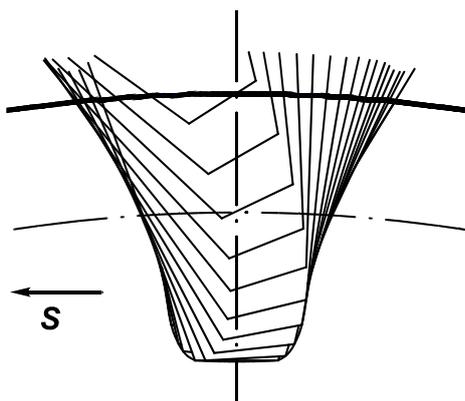


Рис. 3. Схема срезания припуска при однопроходной обработке

Изменять схему сечения срезаемого припуска можно также за счет многопроходной обработки.

Схема срезания припуска, характеризующая процесс обработки прямозубыми гребенками, рассматривается в сечении, перпендикулярном оси обрабатываемого прямозубого зубчатого колеса. Во всех сечениях, перпендикулярных оси обрабатываемого колеса, картина идентичная.

Поэтому, анализируя схему срезания припуска, достаточно рассмотреть картину только в одной плоскости.

Многопроходную обработку можно вести одной и той же зуборезной гребенкой при различных проходах, и, таким путем,

изменять схемы срезания припуска и добиваться повышения стойкости инструмента и производительности обработки.

При многопроходной обработке стандартной прямозубой гребенкой можно добиться существенного повышения стойкости инструмента и производительности обработки. При однопроходной обработке прямозубыми гребенками прямозубых зубчатых колес схема срезания припуска (рис. 3) характеризуется тем, что зуб гребенки длительное время находится в контакте с заготовкой, что вызывает его нагрев.

Кроме того, на выходной стороне зуба гребенки создаются тонкие стружки – малые величины толщин среза a . Это вызывает повышенный износ зуба гребенки. При двухпроходной обработке одной и той же гребенкой (рис. 4) при увеличенной круговой подаче режущие кромки зуба гребенки остаются в контакте с заготовкой сравнительно короткое время, что снижает нагрев режущих кромок, и на выходной стороне создаются сравнительно толстые стружки. В результате при двухпроходной обработке, как показывают экспериментальные исследования,

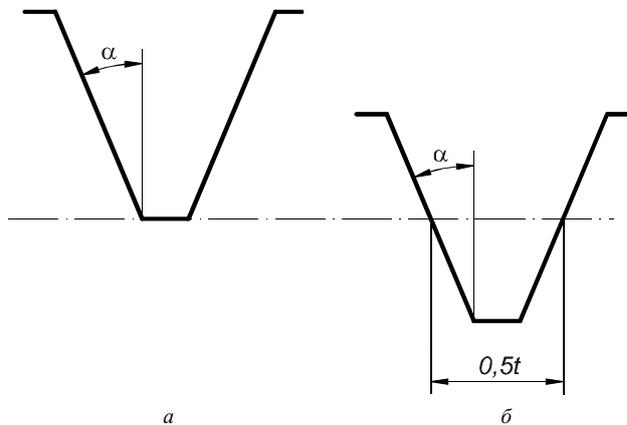


Рис. 4. Схема срезания припуска при двухпроходной обработке

стойкости инструмента и производительности обработки. При этом режущие кромки инструмента остаются в контакте с обрабатываемым зубчатым колесом сравнительно короткое время, что снижает нагрев режущих кромок.

При втором проходе гребенкой полной высоты профиля уменьшаются длины активных участков боковых режущих кромок, увеличивается толщина среза a на этих кромках, уменьшается время контакта инструмента с обрабатываемым зубчатым колесом, что способствует повышению стойкости инструмента.

Таким образом, первый проход является черновым проходом. Тогда, например, для первого прохода можно использовать гребенку с уменьшенной высотой зубьев, спроектированную на базе исходной прямозубой рейки с углом профиля $\alpha=30^\circ$. Для второго прохода применять гребенку, спроектированную на основе исходной прямозубой рейки полной высоты с углом профиля $\alpha=20^\circ$ или с углом профиля $\alpha=12^\circ$. Это вызывает соответствующее изменение схем срезания припуска при первом и втором проходах.

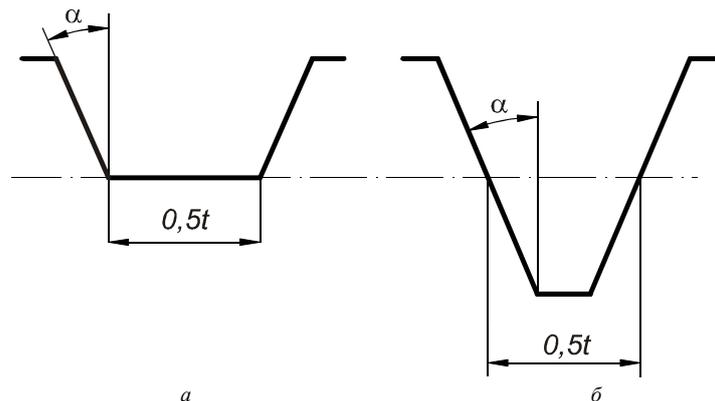


Рис. 5. Прямозубые гребенки первого (а) и второго (б) прохода

При двухпроходной обработке

целесообразны величины активных частей исходной рейки и углов их профилей α зависят от модуля, числа зубьев и материала обрабатываемого зубчатого колеса. Двухпроходную обработку рекомендуется применять для зубчатых колес с модулем более 3мм.

Выводы.

Решена задача определения толщины среза a в различных точках режущей кромки гребенки при обработке прямозубых эвольвентных зубчатых колес.

Предложен способ двухпроходной обработки зубчатых колес прямозубыми зуборезными гребенками, отличающийся тем, что с целью повышения производительности обработки при первом проходе используется гребенка с уменьшенной высотой зуба и увеличенной длиной вершинной режущей кромки, а обработка при втором проходе осуществляется стандартными гребенками с уменьшенной высотой срезаемого слоя.

Список литературы.

1. Иноземцев Г. Г. Проектирование металлорежущих инструментов. — М.: Машиностроение, 1984. — 272 с.
2. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. Киев, выща школа, 1990. — 424 с.
3. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. -К.: Выща школа, 1986.- 455 с.
4. Сахаров Г.Н. Обкаточные инструменты. М. «Машиностроение», 1983.- 232с.
5. Сухоруков Ю.Н., Евстигнеев Р.Н. Инструменты для обработки зубчатых колес методом свободного обката. Киев, Техника, 1983.-120 с.
6. Семенченко И.И Матюшин В.Н. Сахаров Г.Н. Проектирования металлорежущих инструментов. М.Машгиз, 1962.-952с.
7. Кирсанов Г. Н. Проектирование инструментов. Кинематические методы. — М.: Машиностроение, 1978. — 288 с.
8. Лашнев С.И. Формообразование зубчатых деталей реечными и червячными инструментами.М.,Машиностроение, 1971.
9. Медведицков С. Н. Червячные фрезы с новыми схемами резания. — М.: Наука, 1967.