

ударной обработки сварных соединений // Машиностроение. 1980. №5. с. 10-19. **6.** Вагапов И.К., Ганиев М.М., Шинкарев А.С. Исследование влияния ультразвуковой ударной обработки на значение и распределение остаточных напряжений в сварной заготовке // Изв. ВУЗов. Авиационная техника. 2005. №2. с. 56-59. **7.** Артемьев В.В., Клубович В.В., Сакевич В.Н. Ультразвуковые виброударные процессы. Мн.: БНТУ, 2004. 258 с. **8.** Бабицкий В.И. Теория виброударных систем. М., «Наука». 1978. 352 с. **9.** Вагапов И.К., Клубович В.В. Теоретическое и экспериментальное исследование ультразвуковой микроковки // Физика и химия обработки материалов. 1995. №3. с. 100-107. **10.** Асташев В.К., Тресвятский А.Н. Об изгибно-угловых колебаниях виброударной системы с распределенными параметрами. //Машиноведение. 1980. №5. с. 10-19. **11.** Асташев В.К. Нелинейная динамика ультразвуковых технологических машин. Автореферат докт. дисс., М., Институт машиноведения РАН. 2000. с. 34. **12.** Шестаков С.Д., Ганиев М.М. Ультразвуковой виброударный инструмент. Патент РФ №2259912. Бюл. №25, 2005.

Сдано в редакцию 10.05.06

Рекомендовано д.т.н. Бутенко В.И.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Витренко В.А., Воронцов Б.С., Кириченко И.А., Лейба А.В., Пилипенко В.Н.
(ВНУ им. В.Даля, г.Луганск, Украина)

The article investigates profiling of grinding wheels produced from a workpiece of “one-cavity hyperboloid” type. Peculiarities of such instrument production depending on production types has been shown.

Основной задачей проектирования инструмента, основанного на схемах формообразования 3-го класса для финишной обработки зубчатых колес, является определение профиля, как наружной поверхности, так и профиля боковых витков этого инструмента.

Профиль боковой поверхности такого зуба представляет собой кривую линию, описать которую можно при помощи теории зубчатых зацеплений [1]. При определении профиля инструмента теория зацепления рассматривает вопросы получения поверхности зуба при помощи сопряженной поверхности, а на практике образование сопряженной поверхности получается при помощи метода обкатки, причем не поверхностями, а линиями, представляющими собой режущие кромки инструмента.

При определении профиля инструмента исследователи принимают ряд допущений, которые искажают правильный теоретический профиль [2]. В результате получается зацепление цилиндрического зубчатого колеса с эвольвентным профилем зубьев с червячным шлифовальным кругом. Поэтому профилирование и изготовление абразивного инструмента должно осуществляться в пространственном станочном зацеплении, что позволяет избежать погрешностей профиля такого инструмента и максимально приблизиться к теоретической форме.

В рассматриваемой работе авторы находят профиль гиперboloидного инструмента для финишной обработки зубчатых колес в пространственном станочном зацеплении. В этом случае необходимо оси шлифовального круга и обрабатываемого зубчатого колеса повернуть под определенным углом, привести в согласованное вращение и дать подачу зубчатому колесу вдоль своей оси. В результате таких движений форма наружной поверх-

ности шлифовального круга получается в виде однополостного гиперboloида вращения, а профиль зубьев такого инструмента располагается в плоскости, перпендикулярной образующей однополостного гиперboloида (рис.1).

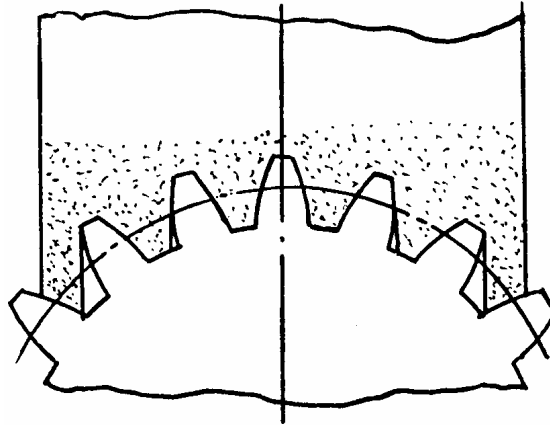


Рис.1. Профилирование абразивного гиперboloидного инструмента

Такой инструмент позволяет при помощи метода обкатки формировать зубья цилиндрических зубчатых колес. Естественно, такая геометрия инструмента и кинематика процесса обработки позволяет значительно повысить производительность обработки зубьев зубчатых колес, так как инструмент получается многозаходным. Схема обработки зубчатых колес при помощи такого инструмента имеет вид (рис.2).

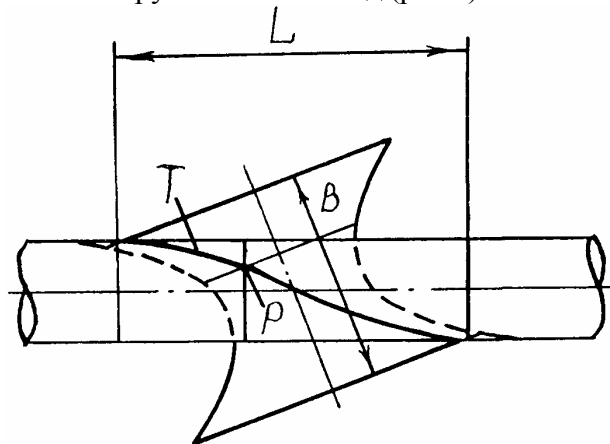


Рис.2. Способ обработки зубьев цилиндрического зубчатого колеса

Возникает вопрос нахождения профиля такого инструмента в теоретическом виде. Для этого найдем огибающую поверхности обрабатываемого зубчатого колеса в ее относительном движении вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида:

$$\begin{aligned}
 X_2 &= x_1(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + y_1(-\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \\
 &\quad + \cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) - z_1 \sin \gamma \sin \varphi_2 + A_w \cos \varphi_2; \\
 Y_2 &= x_1(\cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) + y_1(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \\
 &\quad + \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2) - z_1 \sin \gamma \cos \varphi_2 - A_w \sin \varphi_2; \\
 Z_2 &= x_1 \sin \gamma \sin \varphi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \varphi_1 + z_1 \cos \gamma; \\
 f_1 &= (U_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] - z_1 U_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1) - \\
 &\quad - A_w U_{21} \cos \gamma (y_2' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1).
 \end{aligned}$$

Здесь: x_1, y_1, x_1', y_1' - определяются в зависимости от профиля обрабатываемого зуба цилиндрического зубчатого колеса.

В последнее время возросло количество работ по синтезу сопряженных поверхностей зубьев цилиндрических передач с учетом показателей работоспособности [5-7]. Современные компьютерные технологии позволяют осуществлять интерактивный динамический синтез передач с визуальным многокритериальным анализом показателей работоспособности [8,9].

При интерактивном синтезе в уравнения профиля зубьев цилиндрического колеса $\bar{r}_i = \bar{r}_i(\lambda, X, Y)$ и показателей работоспособности, кроме текущего параметра λ , входят векторы координат управляющих элементов $X = (x_{p0}, x_{p1}, x_{p2}, x_{p3})$, $Y = (y_{p0}, y_{p1}, y_{p2}, y_{p3})$. Это позволяет управлять профилем зуба с помощью курсора прямо на экране монитора и одновременно визуально анализировать динамически изменяемые графики показателей работоспособности передач. Наиболее подходящий профиль можно использовать при определении огибающей поверхности зубьев гиперboloидного инструмента.

Порядок дальнейшего решения рассмотрим на примере эвольвентной передачи. Для этого разбиваем вдоль оси гиперboloидного колеса координаты z_2 на равные части, затем задаем угол профиля эвольвенты от 1^0 до 60^0 через интервал, равный 1^0 и решаем это уравнение для каждого угла профиля эвольвенты. Затем отыскиваем угол поворота обрабатываемого цилиндрического колеса и по точкам касания отыскиваем профиль гиперboloидного шлифовального круга. В этих уравнениях межосевое расстояние, передаточное отношение и угол скрещивания осей принимается для каждой схемы станочного зацепления цилиндрического колеса с гиперboloидным шлифовальным кругом.

После закалки цилиндрических зубчатых колес необходимо устранить погрешности и закалочные деформации, полученные зубьями колеса во время термической обработки. В этом случае необходимо получить стабильное и высокое качество зуба, которое в значительной мере зависит от качества абразивного инструмента и технологии обработки зубчатых колес.

В промышленности зубья колес обрабатывают при помощи метода обкатки, который является самым точным и производительным методом обработки зубчатых колес. При этом обрабатываемое зубчатое колесо смещается в осевом направлении относительно цилиндрического абразивного червяка для того, чтобы боковые стороны зуба шлифовались по всей ширине зубчатого колеса. Существующая технология позволяет вести обработку зуба колеса при помощи абразивного червяка, при которой между инструментом и колесом имеется точечное касание, что снижает производительность обработки из-за термоперегрузки на обрабатываемом колесе. Кроме того, профилирование червячного шлифовального круга, как правило, осуществляется при плоском станочном зацеплении.

В работе рассматривается шлифование зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи многозаходных шлифовальных кругов на зубошлифовальных станках, работающих по методу обкатки. При этом возникает вопрос правки шлифовальных кругов. Этот процесс может осуществляться при помощи различных методов. Так, например, в массовом или крупносерийном производстве для выкатывания гиперboloидных шлифовальных кругов изготавливается алмазный накатник, геометрия и профиль которого полностью соответствуют геометрии и профилю цилиндрического зубчатого колеса, которое подлежит обработке. Схема такой обработки показана на рис.3а.

Для правки шлифовальных кругов в единичном и мелкосерийном производстве способ, представленный на рис.3а, не годится, т.к. имеет высокую себестоимость, поэтому

предлагаются методы, показанные на рис.3б и рис.3в. По схеме (рис.3б) производится правка витков шлифовального круга. Изготавливаемый гиперboloидный шлифовальный круг закрепляется на шпинделе станка, который поворачивается на угол γ , зависящий от числа зубьев (витков) круга, модуля и делительного диаметра шлифовального круга в горловом сечении. Дисковый инструмент закрепляют на вращающемся столе станка таким образом, чтобы он вращался вокруг своей оси, расположенной параллельно верхней поверхности стола, а средняя плоскость вращения дискового инструмента проходит через диаметр стола станка. При перечисленных выше движениях дисковый инструмент работает аналогично резцу летучке, при помощи которого нарезают червяки и червячные колеса. Меняя расстояние дискового инструмента от оси стола станка, можно при помощи одного и того же дискового инструмента профилировать гиперboloидные шлифовальные круги разной геометрии. По схеме, представленной на рис.3в, профилируют наружную поверхность гиперboloидных шлифовальных кругов. Изменяя расстояние резца летучки от оси вращения стола станка, получают наружную поверхность гиперboloидных шлифовальных кругов разной геометрии.

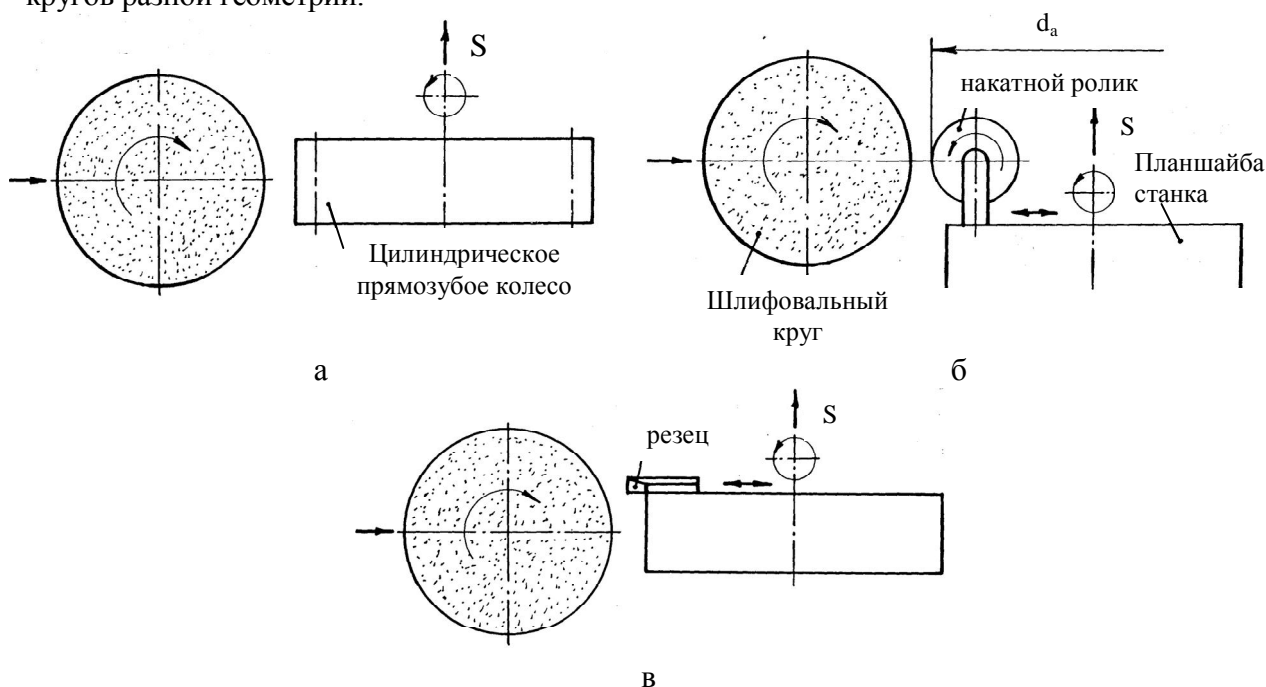


Рис.3. Схемы профилирования и правки абразивных шлифовальных кругов.

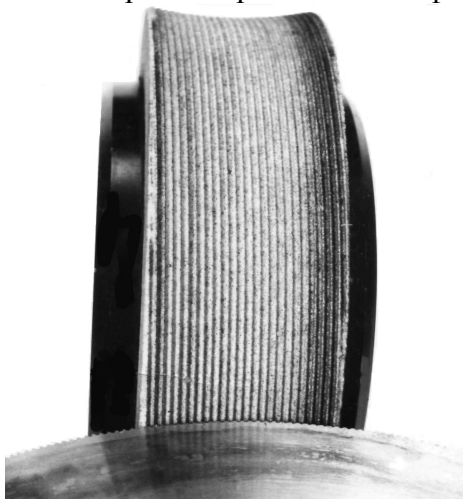


Рис.4. Шлифование зубьев при помощи гиперboloидного круга.

Так, при помощи описанной выше технологии изготовления шлифовальных кругов для мелкосерийного производства, был изготовлен шлифовальный круг со следующими параметрами: $m_n=1$ мм., $z_2=20$ (число заходов шлифовального круга), $d_d=270$ мм. – диаметр делительной окружности, $\psi = 4^{\circ}15'$ – угол наклона витка шлифовального круга. При этом гитара деления зубошлифовального станка настраивалась по следующей зависимости: $k/z_2/z_1=48*27/100*25$. Здесь: k – характеристика станка; $z_1=270$ – количество зубьев обрабатываемого колеса.

Ширина шлифовального круга определялась по следующей зависимости: $B=270 \operatorname{tg} 4^{\circ}15' = 20$ мм.

При помощи полученного шлифовального круга были обработаны зубья цилиндрических прямозубых зубчатых колес с $m_n=1$ мм и числом зубьев $Z_1=270$. Схема обработки зубьев при помощи полученного круга представлена на рис.4.

Выводы.

1. В аналитическом виде получен профиль гиперболоидного многозаходного шлифовального круга, описываемый при помощи цилиндрического зубчатого колеса в пространственном станочном зацеплении.
2. Разработаны технологические методы изготовления многозаходных гиперболоидных шлифовальных кругов, зависящие от вида производства.
3. Многозаходные гиперболоидные шлифовальные круги получены методом обкатки на существующих зубошлифовальных станках.
4. Разработаны практические рекомендации, а также отработана технология окончательной обработки зубьев при помощи гиперболоидного, обкатного шлифовального инструмента.

Список литературы: 1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1968. – 584 с. 2. Кириченко И.А. Создание гиперболоидных передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов. Дисс. ... докт. техн. наук. – Луганск, 2004. – 350 с. 3. Родин П.Р. Проектирование и производство режущего инструмента. [Учеб. пособие для вузов специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»]. Изд.2-е, перераб. и доп. – К.: Техника, 1968. – 358 с. 4. Родин П.Р., Климов В.И. Технология изготовления зуборезного инструмента. – К.: Техника, 1982. – 207 с. 5. Шишов В.П., Носко П.Л., Ткач П.М., Філь П.В. Високонвантажени циліндричні передачі з двоопукло-ввігнутими зубцями: Монографія. - Луганськ: Вид-во СНУ ім.В.Даля, 2005. – 216 с. 6. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100 с. 7. Иванова И.С. Геометрическое моделирование сопряженных поверхностей и автоматизированный контроль состояния инструмента: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.01.01/Мелитополь. 2002. – 19 с. 8. Воронцов Б.С., Бочарова И.А. Компьютерное управление геометрией зубьев зубчатых колес и зуборезных инструментов// Збірник наукових праць Київського національного університету технологій та дизайну (спецвипуск): Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: ДОП КНУТД, 2005 – С.184-189. 9. Воронцов Б.С., Витренко В.А., Бочарова И.А., Кириченко И.А. Моделирование гиперболоидных инструментов с использованием САД – систем // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем// Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, вип. №17, 2005. – С. 318-323.

Сдано в редакцию 30.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.