

$$F(\varphi^u) = \begin{cases} m_{H1}(-\varphi^u - (0.5\pi - x_c) + (\alpha - \frac{\pi}{2} + \phi_1)) + p \\ \text{if } -(0.5\pi - x_c) + (\alpha - \frac{\pi}{2} + \phi_1) \leq \varphi^u \leq \phi_1 + (\alpha - \frac{\pi}{2}) \\ m_{R1}(R_c - \varphi^u + (\pi + \alpha) + \phi_1) + v_c \text{ if } \phi_1 + (\alpha - \frac{\pi}{2}) \leq \varphi^u \leq \phi_1 \\ m_{H2}(\varphi^u) + 0.25\pi \text{ if } \phi_1 \leq \varphi^u \leq -\phi_1 \\ m_{R2}(R_c(\varphi^u + \alpha) + \phi_1) + q_c \text{ if } -\phi_1 \leq \varphi^u \leq -\phi_1 - (\alpha - \frac{\pi}{2}) \\ m_{H3}(-\varphi^u - (\alpha - \frac{\pi}{2} + \phi_1) - (x_c + 0.5\pi)) + w \\ \text{if } -\phi_1 - (\alpha - \frac{\pi}{2}) \leq \varphi^u \leq -(\alpha - \frac{\pi}{2} + \phi_1) - (x_c + 0.5\pi) \end{cases} \quad (7)$$

Для профилей отличных от эвольвентного для каждого зубчатого колеса передачи необходимо задавать свой исходный и свой исходный формообразующий контур.

Исходные формообразующие реечные контуры для шестерни и колеса зубчатой передачи с профилем Новикова представлены на рис. 3.

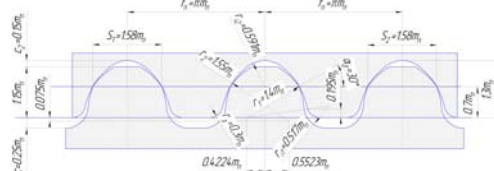


Рисунок 3 – Исходные формообразующие контуры для зубчатого колеса и шестерни зубчатой передачи с профилем Новикова

Математические модели исходных формообразующих контуров зубчатой передачи с профилем Новикова запишутся следующим образом:

Для зубчатого колеса (8):

$$m_{H1}(\varphi^u) = \begin{cases} 27.95 \cos(\varphi^u) + 40.16 \\ 27.95 \sin(\varphi^u) - 5 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \text{ if } 1.883 \leq \varphi^u \leq \frac{17}{18}\pi \\ \begin{cases} 11.92 \cos(\varphi^u) + \frac{17}{18}\pi + \frac{\pi}{18} + 0.896 \\ 11.92 \sin(\varphi^u) + \frac{17}{18}\pi + \frac{\pi}{18} - 11.923 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \text{ if } \frac{17}{18}\pi \leq \varphi^u \leq \frac{25}{18}\pi \\ \begin{cases} -\varphi^u + \frac{25}{18}\pi + 0.896 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \text{ if } \frac{25}{18}\pi \leq \varphi^u \leq \frac{25}{18}\pi + 0.896 \end{cases} \quad (8)$$

Для шестерни (9):

$$m_{H1}(\varphi^u) = \begin{cases} \varphi^u \cos(\frac{7}{12}\pi) + 30.943 \cos(\frac{\pi}{12}) - 11.026 \\ \varphi^u \sin(\frac{7}{12}\pi) + 30.943 \sin(\frac{\pi}{12}) - 1.5 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \text{ if } -7.328 \leq \varphi^u \leq 0 \\ \begin{cases} 30.943 \cos(\varphi^u + \frac{\pi}{12}) - 11.026 \\ 30.943 \sin(\varphi^u + \frac{\pi}{12}) - 1.5 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \text{ if } 0 \leq \varphi^u \leq \frac{\pi}{12} + \arctan 0.962 \\ \begin{cases} 11.798 \cos(\varphi^u - 1.671) \\ 11.798 \sin(\varphi^u - 1.671) + 14.152 \\ 0 \\ 1 \end{cases} \text{ if } \frac{\pi}{12} + \arctan 0.962 \leq \varphi^u \leq 1.3 \end{cases} \quad (9)$$

Примеры формообразованных эвольвентного профиля и профилей с зацеплением Новикова представлены на рис. 4.

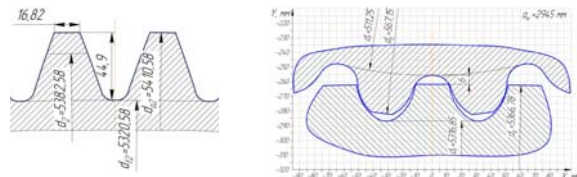


Рисунок 4 – Эвольвентный профиль колеса и профили зацепления Новикова

Проведенный анализ формообразования показал, что до величины износа 5 мм можно использовать при формообразовании изношенных зубчатых колес эвольвентный профиль, а для величин износа более 5 мм и до 8 мм необходимо использовать профиль Новикова.

Для реализации процесса формообразования изношенных зубчатых колес были спроектированы специальные сборные червячные фрезы, объемные модели которых представлены на рис. 5, а узел крепления пластин-зубьев на рис. 8.



Рисунок 5 – Объемные модели червячных фрез для зацепления Новикова (а) и эвольвентного зацепления (б).

После чего исходя из приведенных расчетов и объемных моделей были сделаны червячные фрезы при помощи которых были обработаны крупногабаритные зубчатые колеса и введена в эксплуатацию передача с выпукло-вогнутым профилем на Ингульце ГОКЕ рис. 6, [7].

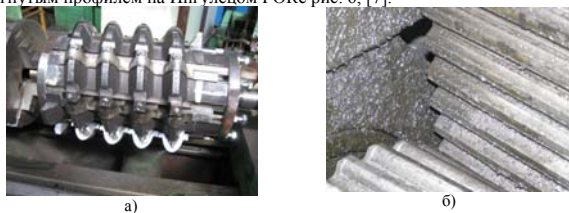


Рисунок 6 – Червячная фреза для обработки зубчатого колеса с профилем Новикова (а) и изготовленная зубчатая передача (б).

Особенностью червячной фрезы, является то, что ее, делают сборной, т.е. в корпусе в прямых пазах расположены режущие элементы, которые прижаты со стороны передней поверхности в направлении опорной поверхности пазов при помощи прижимных элементов. Режущие элементы выполняются в виде клиньев, при этом одна сторона этих клиньев непосредственно взаимодействуют с опорной поверхностью прямых пазов, а противоположная сторона передняя поверхность поджимается прижимным элементом при помощи клина. Клинья в сборе создают ступеньки, угол наклона которых соответствует углу подъема винтовой линии фрезы на ее расчетном диаметре начального цилиндра рис. 7, [8].

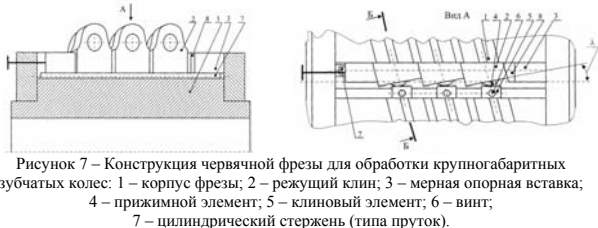


Рисунок 7 – Конструкция червячной фрезы для обработки крупногабаритных зубчатых колес: 1 – корпус фрезы; 2 – режущий клин; 3 – мерная опорная вставка; 4 – прижимной элемент; 5 – клиновидный элемент; 6 – винт; 7 – цилиндрический стержень (типа прутков).

Благодаря установке типовых режущих элементов вдоль прямого паза, а не в ступенчатую рейку уменьшается количество баз установки режущих элементов, в следствии чего увеличивается точность обработки.

Нижние поверхности режущих элементов для базирования в радиальном направлении взаимодействуют с цилиндрическими стержнями, заложенными в поперечные угловые канавки на дне прямых пазов рис. 8.

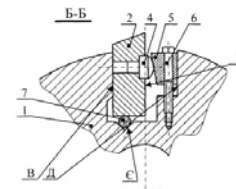


Рисунок 8 – Узел крепления режущего элемента червячной фрезы для обработки крупногабаритных зубчатых колес

Благодаря базированию режущих элементов в радиальном направлении при помощи цилиндрических стержней (типа прутков), которые заложены в продольные угловые канавки на дне прямых пазов, улучшается технологичность червячной фрезы.

Выводы.

1. Эксплуатация зубчатой передачи в течении 6 месяцев показала перспективность направления восстановления крупномодульных зубчатых колес методом формообразования изношенных зубчатых колес без наплавки

2. В дальнейшем необходимо исследовать возможность формообразования изношенных зубчатых колес с износом до 8 мм с использованием эвольвентного модифицированного профиля.

Список использованных источников: 1. Вторую жизнь крупногабаритным зубчатым колесам во многом обеспечил комплект твердосплавных фрез / О.А. Розенберг и др. // Инструмент. Світ. – 2000. – № 9. – с. 4-7. 2. Новиков М.Л. Основные вопросы геометрической теории точного зацепления, предназначенного для зубчатых передач большой мощности: Дис. – Д-ра. Техн. наук. – М., 1956. – 324 с. 3. А.В. Кривошей, В.Е. Мельник, С.И. Сташукевич. Совместное использование обобщенной структурной схемы теоретического формообразования плоских контуров цилиндрических зубчатых колес с различным профилем 478 - 484 с. Порода разрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сборник научных трудов. – Вып. 12 – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, НАН Украины, 2009. – 544 с. 4. Кривошей А.В., Мельник В.Е., Коринец А.В. Математические модели формообразования звеньев плоских систем зубчатых зацеплений. Сверхтвердые материалы. – Киев, 2003 г. – вып. 5, 60-76. 5. Перепелица Б. А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием. – Харьков: Выпаш шк., 1981. – 107с. 6. Мельник В.Е. Совершенствование методики математического описания исходных формообразующих профилей системы зубчатых зацеплений. Резание и инструмент в технологических системах: Межд. науч.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004 – Вып. 66 – 247 с. С.97-108. 7. О.А. Розенберг, В.Я. Рыбак, А.В. Кривошей, В.Е. Мельник, В.В. Лотоус. Анализ и пути совершенствования восстановления крупномодульных крупномодульных зубчатых передач шаровых мельниц горно-обогатительных комбинатов 484 - 490 с. Порода разрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сборник научных трудов. – Вып. 12 – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, НАН Украины, 2009. – 544 с. 8. Патент Украины на корисну модель № 34950 МПК B23F 21/00. / Червячная фреза / О.О. Розенберг, В.Я. Рыбак, О.А. Микищенко та ін. Опубл. 26.08.08, Бюл. № 16.

Поступила в редакцию 06.05.2012