

Новиков Ф. В.

Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнеця, г. Харьков, Украина

Клочко А. А., Камчатная-Степанова Е. В., Старченко Е. П.

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ШЕВРОННЫХ ЗАКАЛЕННЫХ КОЛЕС

Технологические схемы зубофрезерования крупномодульных шевронных закаленных колес являются перспективным направлением и направлены на повышение производительности зубофрезерования червячными фрезами увеличением подачи инструмента и увеличением скорости резания с обеспечением параметров шероховатости поверхностного слоя эвольвентных поверхностей зубьев.

Для чистовых червячных фрез рост величины подачи ограничивается условиями требуемой чистоты обработки профиля зубьев. Поэтому используя этот путь, в конструкции фрезы производились изменения, главным образом, с точки зрения уменьшения волнистости на обработанной поверхности зубьев колеса. Корреляционная связь между высотой гребешков волнистости h_s , подачей фрезы S , профильным углом зубьев инструмента α_u и радиусом вращения рассматриваемой точки зуба фрезы r определяется формулой

$$h_s = \frac{s^2 \sin \alpha}{8r} \quad (1)$$

Из (1) видно, что при неизменной подаче S высота гребешков уменьшается наиболее интенсивно с уменьшением профильного угла зубьев фрезы α_u . Следовательно, при уменьшении угла, можно увеличивать подачу S не увеличивая высоты гребешков h_s , снижающих точность профиля. Уменьшить величину волнистости можно и за счет роста размеров фрезы (r). Но этот путь менее эффективен, так как для достижения экономичной стойкости инструмента придется уменьшать обороты инструмента, а, следовательно, снижать и производительность процесса.

Предложенные технологические схемы формообразования с применением червячных фрез с уменьшенным либо равным 0° углом профиля зубьев конструкции Кельнера А.Н., фрезы "Байкал" конструкции Печерских А.И. имеют «нулевой» угол профиля зубьев. Фреза с уменьшенным либо равным 0° углом профиля зубьев конструкции Кельнера А.Н. предназначена для чернового и чистового нарезания зубьев шевронного колеса, имеет скорректированные по высоте зубья. Фреза "Байкал" - только чистовая. Обе фрезы состоят из двух корпусов, каждый из которых обрабатывает только одну из боковых сторон зуба колеса. Серьезным недостатком рассмотренных конструкций является пов-

реждение ранее обработанной поверхности зуба колеса на верхнем участке траектории движения зуба инструмента. Однако отдельную обработку противоположных боковых сторон зубьев колеса и отсутствие резания вершинными кромками зубьев инструмента при чистовом фрезеровании следует считать прогрессивными решениями. Первое позволяет улучшить условия резания боковых кромок за счет создания разнонаправленных стружечных канавок, второе исключает стесненность процесса резания (коробчатые стружки) и тем самым улучшает динамику резания, повышает стойкость инструмента и точность нарезаемых зубьев.

Стремление к улучшению геометрических параметров режущей части червячных фрез, главным образом к увеличению задних углов резания на вершинных и боковых кромках, привело исследователей к созданию острозаточенного сборного инструмента.

Лабораторные исследования и промышленное внедрение инструмента показали, что по сравнению с дисковыми модульными и червячными затылованными фрезами, режимы резания при работе острозаточенными фрезами выше: скорость резания на 10-20%, подача на 50-80%. Машинное время обработки колеса сокращается в среднем на 40%. При повышенных режимах резания, стойкость острозаточенных фрез в 3-4 раза выше стойкости дисковых модульных фрез и в 2 раза выше стойкости червячных затылованных фрез. Однако, такие технологические схемы чистовой обработки закаленных шевронных колес не получили широкого применения на машиностроительных заводах ввиду сложности изготовления и эксплуатации острозаточенных фрез.

Предложена технология чистового нарезания закаленных шевронных колес обкаточными резцами (рис. 1).

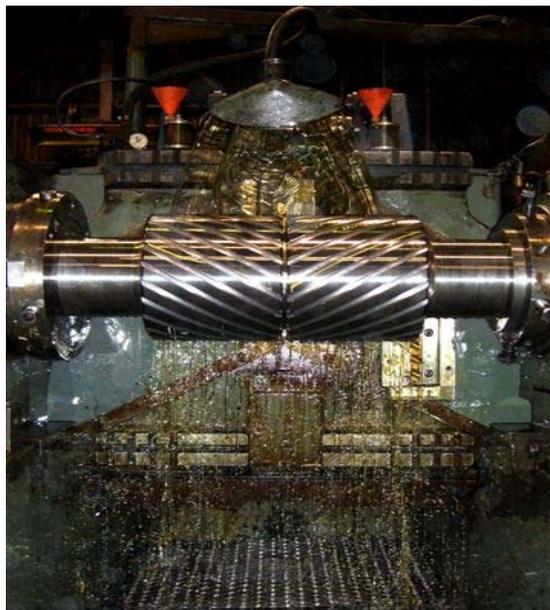


Рисунок 1 – Обработка шевронной вал-шестерни обкаточными резцами

При работе обкаточными резцами настройка всех кинематических цепей горизонтального зубофрезерного станка производится так же, как при фрезеро-

вании червячными фрезами. Обработка каждой стороны зуба может осуществляться как поочередно, так и одновременно. Конструкция инструмента позволяет обеспечить передний и задний углы режущей части значительно большими, чем у затылованных червячных фрез.

Обкаточные резцы нашли применение в производстве при нарезании сравнительно небольших крупномодульных вал-шестерен $m = 20-28$ мм: $Z = 20-47$. Шевронные вал-шестерни (рис. 2) изготавливают из поковок, имеющих более высокую твердость и лучшую структуру материала, чем у крупногабаритных колес, получаемых, как правило, литьем.



Рисунок 2 – Шевронные вал-шестерни

В последнее время появились и совершенствуются различные сборные конструкции так называемых незатылованных червячных фрез, у которых зубья вместо затылования подвергаются шлифовке по задним поверхностям на резьбошлифовальных или червячношлифовальных станках. Зубья шлифуются при установке их либо в рабочем корпусе фрезы, либо в специальном приспособлении. Рациональные задние углы обеспечиваются путем изменения положения зубьев в рабочем корпусе по отношению к положению при их шлифовании.

Способ шлифования зубчатых реек на резьбо или червячно-шлифовальных станках позволяет обеспечить высокую точность профиля по всей длине зуба, высокую точность шага витка и шероховатость рабочих поверхностей не более $R_a = 0,63$ мкм. Современные червячношлифовальные станки в состоянии шлифовать фрезы до $m = 25$ мм.

Чистовое зубофрезерование червячными твердосплавными фрезами (рис. 3) используется для обработки зубчатых колес 7-8 степени точности по DIN 3962, что соответствует, примерно, 7-8 степени по ГОСТ 1643-81. Зубообработка закаленных шевронных колес на современных зубофрезерных станках с ЧПУ позволяет нарезать зубья без ограничения скорости резания, в зависимости от стойкости твердосплавной фрезы и позволяет обрабатывать на скорости до $v=5$ м/с.

Конструктивные особенности и возрастающие требования к точности зуборезного инструмента накладывают свой отпечаток на технологию его изготовления, применяемое оборудование и измерительные приборы. Большинство

фирм, выпускающих зуборезный инструмент, решают эти вопросы комплексно, т.е. изготавливают инструмент, специальные зубофрезерные станки, а также станки и измерительные приборы для изготовления инструмента. Ведущее место в производстве оборудования, приборов и инструмента занимают станкостроительные и инструментальные фирмы Германии. Червячные фрезы любой точности и размеров существующих стандартов, шлифовально-затыловочные и заточные станки, а также измерительные приборы производятся в основном двумя фирмами - "Klingelnberg" и "Fette". Кроме этих, имеется еще ряд фирм, такие как "Pfauder" (Германия), "David Broun" (Англия) изготавливающих червячные фрезы, по своим качествам уступающие фрезам фирм "Klingelnberg" и "Fette". В Германии и Франции получили наибольшее распространение сборные конструкции червячных фрез, в то время как в США и Англии предпочтение отдается монолитным конструкциям.

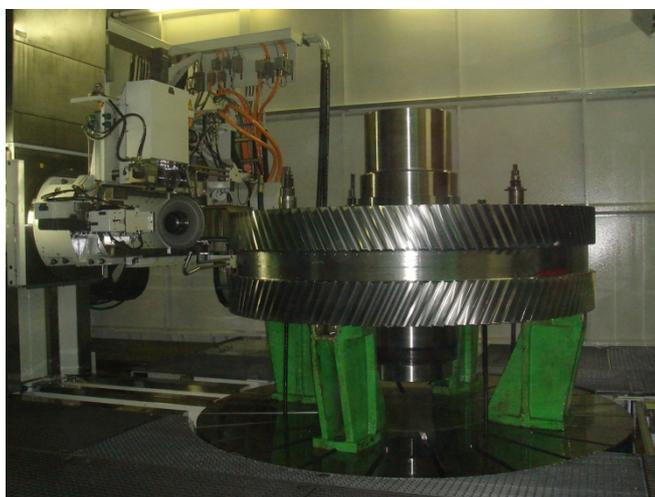


Рисунок 3 – Обработка шевронного колеса червячной твердосплавной фрезой

Чистовые крупномодульные червячные фрезы немецкими фирмами изготавливаются сборными. Профиль зубчатых реек этих фрез может шлифоваться непосредственно после их окончательной сборки в рабочем корпусе на шлифовально-затыловочных станках, как правило, пальцевыми кругами или, для отдельных конструкций, в специальных технологических корпусах на резьбошлифовальных станках (незатылованные червячные фрезы). Отдельные конструкции фрез фирмы "Klingelnberg" позволяют осуществить оба вышеизложенных способа шлифования. В конструкциях сборных фрез с поворотными рейками фирмы "Fette" используются рабочие корпуса, а в них одна база для шлифования профиля зубьев и установки зубчатых реек. Такие конструкции хотя и трудоемки в изготовлении, но более экономичны, чем использующие технологические корпуса.

Повышение производительности зубофрезерования тесно связано с обеспечением рациональных геометрических параметров режущей части червячных фрез. Исследования нарезания зубчатых колес $m=10$ мм, сталь 45, НВ 170-210 червячными затылованными фрезами с положительным передним углом

$\varphi = 10^\circ$ при режимах резания: $V = 24\text{--}23$ м/мин, $S = 1,6\text{--}2,47$ мм/об. показали, что стойкость данных фрез повышается по сравнению со стойкостью фрез, имеющих $\varphi = 0^\circ$, в 1,5 раза. Расход мощности, потребляемой станком на процесс резания, уменьшается на 15–20%, что позволяет увеличить подачу инструмента /34/. Однако при работе на скоростях свыше 28 м/мин это различие сокращается, а при $V = 37$ м/мин наблюдается обратное явление.

При обработке шевронных колес из стали 18ХГТ $m = 4,5$ мм, $Z = 35$ за один проход червячными фрезами с различными передними ($\varphi = 0^\circ\text{--}15^\circ$) задними ($\alpha_b = 15^\circ - 18^\circ$) углами были получены следующие данные. Увеличение переднего угла фрезы до $\varphi = 15^\circ$ уменьшает тангенциальную составляющую усилия резания P_z на 16%. Увеличение заднего угла на 5° снижает P_z на 28,6%. Одновременное изменение переднего и заднего углов в вышеуказанных пределах уменьшает силу P_z на 40%. Последняя конструкция фрезы ($\varphi = 15^\circ$, $\alpha_b = 18^\circ$) имела износ в 3 раза меньше по задней поверхности зубьев, чем фреза с $\varphi = 0^\circ$, $\alpha_b = 15^\circ$, несмотря на то, что подача на каждый ее зуб была в 2 раза больше, т.к. фреза была двухзаходной.

Макроотклонения в профиле зубьев колеса, связанные с органическими погрешностями профилирования фрез, имеют несколько методик расчета. Под органическими погрешностями червячной фрезы понимают отклонения профиля ее зубьев от профиля теоретического эвольвентного червяка в определенном сечении – осевом или отстоящем от осевого на расстоянии, равном радиусу основного цилиндра эвольвентного червяка. Органические погрешности полностью переносятся на профиль нарезаемых зубьев колеса. Величина их резко возрастает с увеличением модуля фрезы. Так с увеличением модуля от 8 мм до 16 мм, т.е. в 2 раза, органические погрешности архимедовых червячных фрез по ГОСТ 9324-60 возрастают почти в 5 раз, составляя соответственно: 11 мкм и 53 мкм. Поэтому вопросы точности профилирования крупномодульных червячных фрез имеют особо важное значение.

Значительное влияние на точность нарезания зубьев оказывают технологические факторы обработки. В зависимости от режимов резания и срезаемого припуска технологическая система подвергается действию различных по величине сил резания. Под действием упругих деформаций, вызываемых силами резания, происходит смещение исходного контура инструмента, упругий поворот фрезы вокруг своей оси, дополнительный поворот обрабатываемого колеса и т.д. Все эти отклонения в кинематике относительных движений инструмента и детали приводят к погрешностям зубьев нарезаемого колеса.

Изменение подачи в пределах $S = 0,5\text{--}1,4$ мм/об оказывает незначительное влияние на точность зубофрезерования. При $S = 1,5$ мм/об наблюдается существенный рост погрешности профиля нарезаемых зубьев, отклонения длины общей нормали, накопленной погрешности окружных шагов зубьев. Например, при увеличении подачи с 1,5 мм/об до 2,5 мм/об, т.е. в 1,6 раза, погрешность профиля зубьев возросла с 18 мкм до 40 мкм, т.е. в 2,2 раза, а накопленная погрешность окружного шага зубьев увеличилась с 30 мкм до 65 мкм, т.е. в 2 раза.

Скорость резания оказывает наиболее существенное влияние на погреш-

ность профиля зубьев. Так при увеличении скорости резания с 20 м/мин до 40 м/мин, т.е. в 2 раза, погрешность профиля зубьев возросла с 16 мкм до 60 мкм, т.е. в 3,7 раза. Точность фрезерования червячными фрезами повышается с уменьшением глубины резания (припуска на чистовую обработку). При $t = 0,5-1$ мм отклонения показателей точности колеса не выходили за пределы 7-й степени точности. Погрешности профиля зубьев колеса, возникающие под действием сил резания, меньше погрешностей, являющихся следствием недостаточно точного изготовления самой фрезы. Только в условиях недостаточной жесткости эти погрешности становятся сравнимыми.

Результаты работ по исследованию влияния технологических факторов обработки на точность нарезания зубьев не всегда совпадают, а иногда носят и противоречивый характер. С увеличением скорости резания точность обработки зубьев может повышаться, но могут иметь обратные результаты. Противоречивость данных свидетельствует, прежде всего, о недостаточно глубоком изучении технологических подходов к обработке закаленных шевронных зубчатых колес. Следует отметить, что в области обработки шевронных колес крупных модулей такие исследования практически отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ключко А. А. Технологические основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко, А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС". – Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.: ил., табл.; – (Серия: «Проектирование и применение режущего инструмента в машиностроении» / Общ. ред. Ю. М. Соломенцев). ISBN 978-5-906703-02-6.
2. Технологические процессы формирования поверхностного слоя зубчатых колес тяжелых токарных станков с ЧПУ / А. А. Ключко, Е. В. Мироненко, О. А. Анцыферова., Л. А. Макастрова., В. Е. Киреев // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2015. – Вып. 37. – С. 105–112.
3. Конструкторско-технологические способы повышения производительности и качества зубообработки крупногабаритных зубчатых венцов / Е. В. Мироненко, В. Ф. Шаповалов, А. А. Ключко, С. Ю. Палашек, Е. В. Остапович // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2015. – № 4 (1113). – С. 28–32. – Бібліогр.: 3 назв.
4. Исследование процессов зубофрезерования закаленных шевронных зубчатых колес / А. А. Ключко, М. И. Гасанов, Е. В. Басова, С. Ю. Палашек, А. Л. Невмержицкий // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2017. – Вип. 40. – С. 90–101.
5. Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. The current state of scientific research and technology in the industry. – Kharkiv. 2018. – № 3 (3). – P. 59–70.