

**Список литературы:** 1. Шиилов В.П., Носко П.Л., Филь П.В. Теоретические основы синтеза передач зацеплением: Моногр. – Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Далія, 2006. – 408с. – ISBN 966-590-480-9. 2. Шабанов И.Р. О зубчатой передаче с конхoidalной линией зацепления Надежность и качество зубчатых передач. – НИИ ИНФОРМТЯЖМАШ. 18-67-106, 1967. – С.1-8. 3. Аникин Ю.В. Синусоидальное зацепление – Воронеж: изд-во ВГУ, 1975. – 56с. 4. Боишански М., Токоли П., Ваня Ф., Кожух И. Возможность использования незвольного зацепления в коробках передач сельскохозяйственных машин // Вісник НТУ "ХПІ" – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – №29. – С.21-30. – ISSN 2079-0791. 5. Шиилов В.П., Носко П.Л., Муховатый А.А. Высоконагруженные зубчатые передачи // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2011. – №28. – С.180-186. – ISSN 2079-0791. 6. Протасов Р.В., Устиненко А.В. Исследование коэффициента перекрытия эвольютных передач // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – №29. – С.154-165. ISSN 2079-0791. 7. Шиилов В.П., Бурко В.В., Ревакина О.А., Муховатый А.А. Синтез зубчатых передач с пониженной энергоемкостью // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В.Далія. – 2012. – №13(184). – Ч.1. – С.117-123. – ISSN 1998-7927. 8. Федякин Р.В., Чесноков В.А. К выбору оптимальных параметров исходных контуров для передач с зацеплением Новикова / Сборник статей "Зубчатые передачи с зацеплением Новикова". – М.: Издание ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1962. – С.164-184. 9. Кудрявцев В.Н. Детали машин: учебник. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464с. 10. Трение. Изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. Кн. 1,2 / Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алипина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400с., 1979. – 358с. 11. Шиилов В.П. Критерии оценки работоспособности передач зацеплением / Шиилов В.П., Панкратов Д.А., Муховатый А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – №12. – С.33-40. – ISBN 593-226-8.

Поступила (received) 04.03.2014

УДК 621.9.04

**В.А. НАСТАСЕНКО**, к.т.н., профессор каф. ЭСЭУ и ОП ХДМА, Херсон;  
**А.И. ПОДЗОЛКОВ**, магистр ХНТУ, Херсон

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОЗАХОДНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Работа относится к сфере технологии производства червячных зуборезных инструментов, в частности – гиперболоидных фрез, шеверов и шлифовальных кругов. Предложены наиболее простые технологические процессы для производства гиперболоидных червяков и проведен их анализ. Показана предпочтительность применения сборных конструкций фрез с цельными твердосплавными вставными рейками при модуле до 3мм, а при модуле до 8мм – закрепленных винтами на рейках твердосплавных пластин, повышающих технологичность их изготовления и эксплуатации.

**Ключевые слова:** червяк, фреза, зубообработка, гиперболоид.

**Введение, связь работы с основными направлениями исследований.** Работа относится к областям машиностроения и инструментального производства, в частности – к производству червячных инструментов для обработки зубчатых колес. Основой для выполнения данной работы является потребность совершенствования инструментов для зубообработки, к которым относятся червячные фрезы, шеверы и шлифовальные круги.

Потребности поиска новых технических решений в области червячных зуборезных инструментов обусловлены тем, что они относятся к давно изучаемым объектам, поэтому традиционные пути их совершенствования во многом исчерпаны, а сферы их возможного применения сокращаются и заменяются более эффективными инструментами, в частности – протяжками [1] и резаками для зуботочения [2]. Основные пути усовершенствования червячных зуборезных инструментов связаны с повышением их точности, износостойкости и производительности, за счет оптимизации конструктивных и геометрических параметров, улучшения инструментальных материалов и нанесения на

них износостойких покрытий, при этом сложность производства и эксплуатации таких инструментов, как правило, повышается. Устранение указанных недостатков является *главной целью выполняемой работы*.

**Анализ состояния проблемы и постановка задачи.** В работах [3-7] показано, что наиболее перспективный путь повышения производительности и точности червячных зуборезных инструментов связан с переходом от цилиндрических конструкций к многозаходным ( $i > 4$ ) и многозубым ( $z \geq 60$ ) гиперболоидным, созданным на базе однополостного гиперболоида. Однако технология их изготовления существенно усложняется, поскольку в рамках традиционной осевой обработки [8], схема которой показана на рисунке 1, необходима реализация 1-го равномерного вращения и сложения 4-х движущей переменной величины, связанных с движением центра кривизны гиперболы: 1) продольной подачи  $s_o \text{ var}$ , 2) поперечной подачи  $s_r \text{ var}$ , 3) величины вылета  $r \text{ var}$ , 4) величины угла  $\varphi \text{ var}$  разворота инструмента в осевой плоскости.

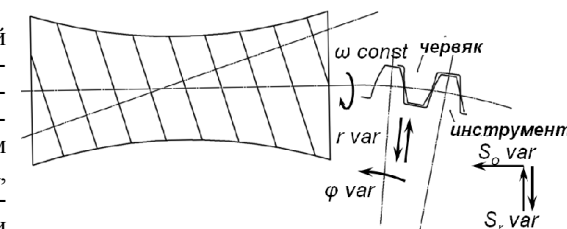


Рисунок 1 – Схема формирования однополостного гиперболоидного червяка при осевой обработке

шлифовальными кругами – добавляется их вращение, как главное движение резания.

Обработка гиперболоидных винтовых поверхностей по такому варианту требует:

- а) точной настройки канавочного резца на размер начального диаметра червяка с разворотом резца в направлении по нормали к крайней точке гиперболы и установки его на исходный угол разворота по нормали к ней в этой точке, с исходной величиной вылета, равной радиусу кривизны гиперболы в этой точке и по 2-м координатам текущего центра ее кривизны;
- б) сложных видов движений для обработки – равномерного вращения червяка и согласованных с ним и шагом его витков в осевом сечении (из расчета смещения на 1 шаг витка за 1 оборот червяка), неравномерных изменений угла поворота и величины текущего вылета резца, зависящих от параметров кривизны гиперболы;
- в) выполнения 2-х неравномерных подач суппорта – продольной и радиальной, формирующих траекторию движения точки текущего центра кривизны гиперболы.

Выполнение всех этих групп движений возможно на кинематически сложных станках, или на станках с ЧПУ, программируемым по 8 движениям, или при применении кинематических приспособлений, еще более сложных, чем для обработки глобоидных червяков.

Данной технологией ограничивается лишь производство гиперболоидных червячных шлифовальных кругов, для цельных фрез – к ним прибавляются операции формирования винтовых стружечных канавок, затывания и заточки зубьев, а для шеверов – выполнения стружечных канавок на боковых сторонах витков, что существенно повышает сложность и стоимость таких инструментов.

Другим недостатком обработки гиперболоидных инструментов в осевой плоскости – является несовпадение профиля их витков, режущих зубьев и профиля инструмента 2-го порядка для их обработки, как между собой, так и с профилем исходной зубчатой рейки, что усложняет контроль профиля самого

червяка, а также изготовление и контроль профиля инструментов 2-го порядка. В работе [8] им был принят формообразующий инструмент, полученный на базе зубчатого колеса, сопрягаемого с конкретным гиперболоидным червяком, с единственным для данной червячной пары количеством заходов и зубьев, что исключает универсальность, как применяемого инструмента 2-го порядка, так и технологического процесса обработки гиперболоидных инструментов.

Уменьшает указанные выше недостатки – изготовление гиперболоидных червяков и фрез по предложенным в патентах РФ способам [9, 10] с наклонной подачей инструментов 2-го порядка по нормали к винтовой линии основного червяка (рисунок 2), что исключает зависимость его профиля от количества зубьев сопрягаемого с ним колеса и производящего инструмента. Количество за-

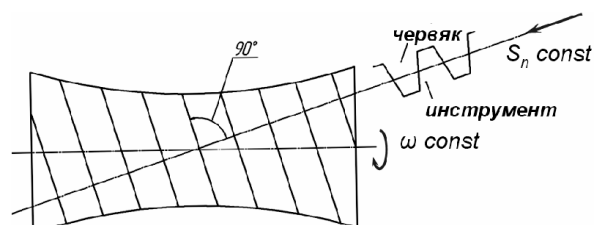


Рисунок 2 – Схема формирования гиперболоидного червяка при наклонной подаче инструментов 2-го порядка по патенту РФ № 2200262

с ним равномерной наклонной подачи инструмента 2-го порядка, из расчета его смещения на 1 шаг по нормали к впадинам или к виткам червяка за 1 его оборот. При этом все вспомогательные движения – врезания, быстрого подвода и отвода инструмента 2-го порядка, движения для многопроходной и многозаходной обработки червяка, остаются одинаковыми с базовым способом [11].

Дополнительным преимуществом данного способа [9] является полное совпадение профиля витков червяка и инструментов 2-го порядка с профилем зубьев рейки в плоскости рабочей подачи, что упрощает их изготовление и контроль.

Однако для реализации предложенного способа обработки, необходима модернизация токарных, гидрокопировальных и резьбофрезерных станков [9], а также затыловочных и заточных станков [10], недостатком которой является относительная сложность ее выполнения, а в ряде случаев – уменьшение размеров зоны для обработки и размеров червячных инструментов, а также снижение жесткости и точности технологической системы.

Таким образом, необходима минимизация данных процессов обработки в червячных гиперболоидных инструментах, чего можно достичь за счет исключения затылования и заточки при переходе к сборным конструкциям. Поэтому *объектом исследований* в данной работе являются конструкции известных многозаходных червячных зуборезных инструментов, в т.ч. – гиперболоидных, *предметом исследования* является разработка на их базе новых конструкций, *научную новизну* работы составляет анализ возможностей повышения их точности, работоспособности и технологичности изготовления.

Решение данных проблем является важной и актуальной задачей в сфере совершенствования червячных зуборезных инструментов.

**Предлагаемый путь реализации поставленных задач.** Среди анализируемых конструкций основное внимание уделено сборным червячным фрезам и шеверам из твердых сплавов, поскольку они являются наиболее сложными

инструментами ближайшего будущего [12]. Из них наиболее простыми следует считать конструкции фрез с цельными зубчатыми рейками.

Однако при современных технологиях спекания твердых сплавов, длина реек не превышает 60мм, что ограничивает возможности выполнения зубьев величиной модуля  $m \leq 3$  мм, а количество заходов – величиной  $i \leq 5$ , поэтому при больших значениях данных параметров, рейки должны изготавливаться из быстрорежущих сталей, что снижает их режущие свойства по сравнению с твердыми сплавами. Пример исполнения таких фрез для цилиндрической конструкции показан на рисунке 3 [13].

Отличием гиперболоидных фрез по патенту [14], является наклон реек относительно оси фрезы на угол, равный углу  $\gamma_w$  подема ее винтовой линии на начальном цилиндре, пример исполнения которых показан на рисунке 4.

Для черновых фрез рейки 1 выполнены плоскими и установлены на цилиндрическом корпусе 2 в прямолинейных пазах 3, имеющих наклон  $\gamma_w$  к оси фрезы с креплением, показанным на рисунке 3, для чистовых – рейки должны быть выполнены винтовыми с плоскопараллельным основанием, адекватным пазам 3. Такое исполнение обеспечивает формирование гиперболоидной производящей поверхности 4.

Для точных фрез винтовые рейки должны быть выполнены Г-образной формы, показанной на рисунке 3 и иметь возможность переточек по передней поверхности.

При винтовой форме реек их профиль полностью совпадает с исходным инструментальным контуром, что исключает искажения фрезы при любом количестве заходов. На плоских рейках для черновых фрез предпочтительна установка плоских твердосплавных пластин 5 симметричной ромбической формы, верхняя и нижняя части которых повторяют профиль зубьев фрезы.

На рисунке 5, а, б показана схема крепления на рейках 1 пластин 5 винтами 6 с гайками 7 через их центральное отверстие, с базированием боковых сторон по выполненным на корпусе 2 канавкам 8 (в торцовой проекции фрезы с разрезом по витку – выделены тонированием серого цвета).

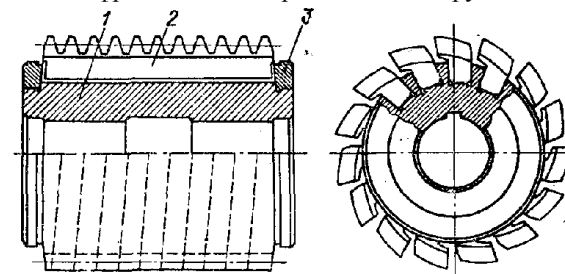


Рисунок 3 – Сборная червячная фреза с поворотными рейками фирмы "Klingelberg":

1 – корпус, 2 – рейки, 3 – зажимные гайки

Для чистовых – рейки должны быть выполнены винтовыми с плоскопараллельным основанием, адекватным пазам 3. Такое исполнение обеспечивает формирование гиперболоидной производящей поверхности 4.

Для точных фрез винтовые рейки должны быть выполнены Г-образной формы, показанной на рисунке 3 и иметь возможность переточек по передней поверхности.

При винтовой форме реек их профиль полностью совпадает с исходным инструментальным контуром, что исключает искажения фрезы при любом количестве заходов. На плоских рейках для черновых фрез предпочтительна установка плоских твердосплавных пластин 5 симметричной ромбической формы, верхняя и нижняя части которых повторяют профиль зубьев фрезы.

На рисунке 5, а, б показана схема крепления на рейках 1 пластин 5 винтами 6 с гайками 7 через их центральное отверстие, с базированием боковых сторон по выполненным на корпусе 2 канавкам 8 (в торцовой проекции фрезы с разрезом по витку – выделены тонированием серого цвета).

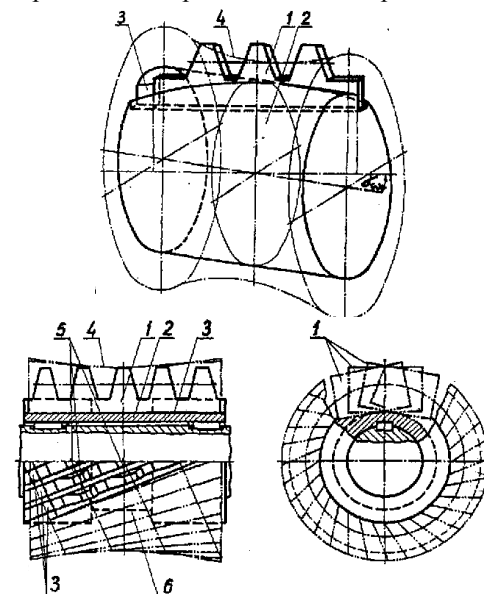


Рисунок 4 – Сборная червячная фреза по патенту РФ №2147496

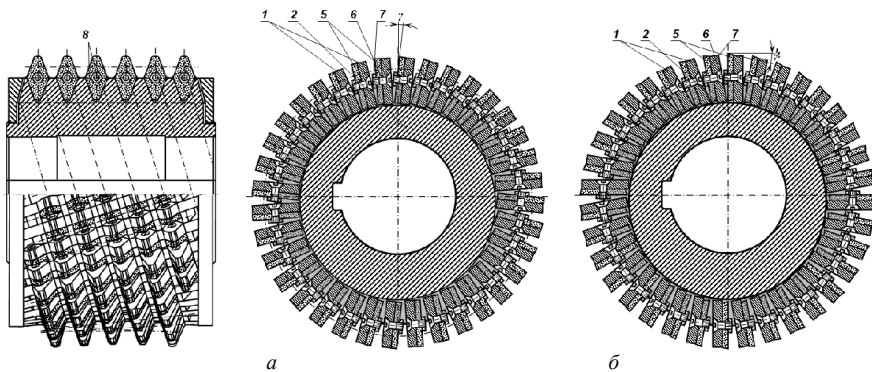


Рисунок 5 – Новые конструкции гиперболических фрез с рейками

В симметричном ромбическом варианте исполнения режущих пластин с задними углами  $\alpha = + (6 \dots 10^\circ)$  (б) по всему контуру пластин – возможна их двукратная переустановка, а в исполнении (а) без задних углов, с установкой их на рейках с отрицательным передним углом  $\gamma = - (6 \dots 10^\circ)$  – возможна четырехкратная ( $2 \times 2$ ) переустановка. Количество реек доведено до 36.

В сочетании с нанесением износостойких покрытий, не удаляемых при переточках, суммарная стойкость второго вида пластин (рисунок 5,б) адекватна 2,5 переточкам реек фрез фирмы "Klingelberg", а за счет увеличения до  $6 \dots 10^\circ$  боковых задних углов на режущих кромках, их стойкость повышается до 2-х раз, что доводит адекватность по переточкам до 5. Для первого вида пластин (рисунок 5,а) возможна 4-разовая переустановка, что при наличии износостойких покрытий, не удаляемых при переточках, повышает их суммарную стойкость до 6 переточек. При этом, за счет уменьшения суммарной толщины рейки с пластиной в 2 раза по сравнению с толщиной реек фрез фирмы "Klingelberg", их количество может быть увеличено в 2,5 раза, что адекватно повысит их общую стойкость, для пластин с задним углом – до 12-ти переточек, а без заднего угла – до 15-ти переточек, предельно возможных для данных фрез. Таким образом, расширяется диапазон применения твердых сплавов до модуля  $m = 8$  мм, а расход инструментальных материалов, за счет перехода от цельных режущих реек, к режущим пластинам, уменьшается в 4...5 раз, что в сочетании с исключением потребности выполнения переточек, повышает экономичность эксплуатации фрез в 2,5...3 раза. Увеличение количества реек в 2,5 раза без увеличения их наружного диаметра по сравнению с базовыми (рисунок 3), ведет к адекватному снижению огранки фрезеруемых зубьев, что создает резерв для увеличения количества заходов червячных фрез до 4-5 и повышения их производительности до 3...4 раз [3].

Для гиперболических червячных шевров, срезающих тонкие стружки, толщина пластин и реек может быть уменьшена еще в 2 раза, что адекватно увеличивает количество реек и количество заходов данного инструмента.

Проведенный анализ показывает, что, все предлагаемые гиперболические червячные зуборезные инструменты превышают технико-экономические показатели эксплуатации применяемых в настоящее время червячных фрез, шевров и шлифовальных кругов, и могут быть изготовлены в условиях современного инструментального производства.

#### Выводы:

1. Учитывая, что возможности повышения производительности, точности и экономичности эксплуатации современных цилиндрических червячных

фрез и шевров в основном исчерпаны, переход к сборным гиперболическим червячным зуборезным инструментам обеспечивает реальный резерв для повышения указанных показателей.

2. Предложенные конструкции гиперболических червячных зуборезных инструментов существенно повышают технологичность их изготовления и эксплуатации, поэтому могут быть рекомендованы для замены применяемых в настоящее время цилиндрических червячных зуборезных инструментов.

**Список литературы:** 1. Харлампиев И.С. Обкатывающее протягивание зубьев зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1981. – 211с. 2. Цвис Ю.В. Профилирование обкатного инструмента. – М.: Машгиз, 1961. – 154с. 3. Настасенко В.А. Дополнительный анализ возможности повышения производительности зубофрезерования увеличением числа заходов фрезы // Вестник машиностроения. – 1996. – №1. – С.38-40. 4. Настасенко В.А. Оценка производительности однозаходных и многозаходных червячных фрез в условиях повышения режущих свойств // Современные проблемы и методология проектирования и производства силовых зубчатых передач: Сб. науч. трудов. – Тула: ТГУ, 2000. – С. 148-151. 5. Настасенко В.А. Комплексная оценка путей повышения производительности червячных фрез // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов X Междунар. науч.-техн. конф. в Севастополе. – Донецк: ДонГТУ, 2003. – Т3. – С.290-297. 6. Настасенко В.А. Новая концепция повышения точности червячных зуборезных инструментов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Междунар. сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2001. – Вып.17. – С.109-114. 7. Настасенко В.А. Комплексная оценка путей повышения точности червячных фрез // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф. в Севастополе. – Донецк: ДонГТУ, 2004. – Т.2. – С.266-270. 8. А.с. СССР №536902, В23F 9/04 Способ нарезания зубчатых колес. Авт. изобр. В.Н. Сердюк, А.Н. Витренко. Заявка № 1871424 от 10.01.73 // Б.И. – 1976 – №44 от 26.11.76. 9. Патент Российской Федерации на изобретение № 2200262, МПК В23F 21/16. Червячная передача, способ ее изготовления, оборудование и инструмент для его осуществления. Авт. изобр. В.А. Настасенко. Заявка №98116838/28 от 08.09.98 // Б.И. – 2003. – №7 от 10.03.03. 10. Патент Российской Федерации №2169061, МПК В23F 21/16. Червячный инструмент, способ и оборудование для его изготовления. Авт. изобр. В.А. Настасенко. Заявка № 8116845/08 от 08.09.98 // Б.И. – 2001. – №17. 11. Производство зубчатых колес. Справочник / С.Н. Калашиников, А.С. Калашиников, Г.И.Коган и др. Под общ. ред. Б.А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1990. – 464с. 12. Настасенко В.А. Червячные фрезы XXI века // Прогрессивные технологии машиностроения и современность. Междунар. науч.-техн. конф. – Севастополь, 1997. – С.176-177. 13. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.Ф. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1987. – 846с. 14. Патент Российской Федерации, №2147496. Сборная червячная фреза. Авт. изобр. В.А. Настасенко. Заявка №98104494/08 от 10.03.98. Оpubл. 20.04.2000 // Б.И. – 2000. – №11.

Поступила (received) 14.03.2014

УДК 621.833

**А.В. НЕМЕНКО**, к.т.н., доцент кафедры технической механики и машиноведения СевНТУ, Севастополь;

**М.М. НИКИТИН**, инженер кафедры технической механики и машиноведения СевНТУ

### ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Предложена схема моделирования процесса развития усталости в зубчатой передаче с помощью совместного использования цепей Маркова и асимптотических методов. Рассмотрены вопросы построения матрицы вероятностей переходов процесса на основании набора кривых выносливости. Показана применимость к оценке технического состояния редуктора средств контактной и акустической диагностики.

**Ключевые слова:** зубчатая передача, циклическая прочность, предельное состояние, прогноз.

**Введение.** Техническое состояние зубчатой передачи зависит от внутренних факторов и внешних воздействий, качественная и количественная характе-