

*В.А. НАСТАСЕНКО*, к.т.н., профессор каф. ЭСЭУ и ОП ХГМА, Херсон

### **НОВЫЙ ВИД ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПРУЖИННО-ПЛАСТИНЧАТЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ШЕВЕРОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Работа относится к области червячных зуборезных инструментов, в частности – к сборным червячным шеверам из пластин быстрорежущих сталей и твердых сплавов, предназначенным для обработки червячных зубчатых колес, а также к технологиям их изготовления. Проведен анализ известных пружинно-пластинчатых червячных инструментов, показаны их достоинства и недостатки и предложены новые конструкции, устраняющие данные недостатки. Показана предпочтительная сфера их применения и разработана технология их изготовления. Совокупность проведенных исследований позволяет рекомендовать данные инструменты для высокопроизводительной высокоточной чистовой обработки червячных колес.

**Ключевые слова:** червячная передача, червячный зуборезный инструмент, шеверы.

#### **Введение, связь работы с основными направлениями исследований.**

Работа относится к областям машиностроения и инструментального производства, в частности – к червячным шеверам для обработки червячных зубчатых колес. Ее выполнение связано с потребностью совершенствования червячных передач и инструментов для их изготовления. Одним из путей решения данной проблемы является чистовая обработка червячных зубчатых колес шевингованием. При этом основные пути совершенствования червячных шеверов направлены на повышение их точности, износостойкости и производительности, за счет улучшения конструктивных и геометрических параметров, применения инструментальных материалов и их покрытий, однако сложность производства и эксплуатации таких инструментов, как правило, повышается. Устранение указанных недостатков является актуальной и важной задачей, поскольку от них зависят основные технико-экономические показатели производства и эксплуатации данных инструментов.

**Анализ состояния проблемы и постановка задачи.** Особенностью червячных зубчатых пар является жесткая связь между зубьями червячных колес и сопрягаемыми поверхностями их червяков, которая зависит от их начальных диаметров. Поэтому для обработки червячных колес используют червячные фрезы, диаметры которых равны диаметрам сопрягаемых червяков, а фрезы отличаются от них лишь выполнением стружечных канавок, заточкой передних поверхностей и затылованием зубьев. Поскольку червячные фрезы нуждаются в переточках, их наружный диаметр при этом уменьшается, что адекватно изменяет точность формообразования зубьев червячных колес, ухудшает точность зацепления зубчатой пары и требует ограничения количества переточек инструментов до 2–3-х штук, что ведет к увеличению их расхода [1]. Поскольку переточки уменьшают наружный диаметр  $D_a$ , инструментов, их проектируют с учетом среднеарифметической величины между исходным  $D_a + \Delta$ , и конечным  $D_a - \Delta$ , диаметрами (рисунок 1).

Таким образом, новые и окончательно переточенные червячные фрезы являются наименее точными, а среднесточенные – наиболее точными.

Повысить точность и качество обработки зубьев червячных зубчатых колес позволяют червячные шеверы, которые как и фрезы, выполняют на базе сопрягаемого с колесом червяка, а режущие кромки на боковых поверхностях

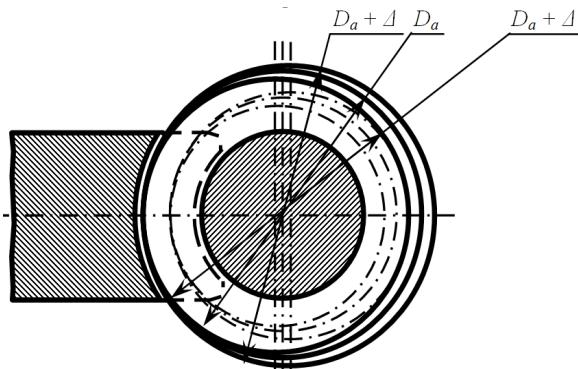


Рисунок 1 – Трансформация условий формирования зубьев червячных колес при обработке их червячным инструментом – непереточенным  $D_a + \Delta$ , средне сточенным  $D_a$  (базовый вариант) и максимально переточенным  $D_a - \Delta$  отдельной обработкой левой и правой сторон зубьев червячного колеса с адекватным осевым сдвигом шевера [1, 2].

Поэтому необходимо устранение указанных недостатков, что является *главной целью данной работы*.

Ее *научную новизну* составляет создание и технико-экономическое обоснование наиболее предпочтительных конструкций червячных шеверов.

**Исходные положения для достижения поставленной цели.** Среди анализируемых конструкций шеверов основное внимание уделено таким, которые исключают потребность выполнения переточек и связанного с этим процессом изменения параметров их зубьев. При этом учитывали, что шеверы являются чистовыми инструментами, которые срезают тонкие нитевидные стружки, поэтому нагрузка силами резания их зубьев является небольшим. Кроме того, обеспечивается равномерный износ режущих кромок шевера за счет равномерного припуска, образованного на этапе предыдущей зубообработки, а вершины режущих кромок шевера в резании не участвуют, поскольку у ножек предварительно обработанных зубьев червячных колес целесообразно выполнение поднутрений на глубину этого припуска [2].

Исключить потребность в переточках позволяют сборные конструкции червячных шеверов, оснащенные неперетачиваемыми сменными режущими пластинами из компактируемых быстрорежущих сталей или твердых сплавов, предложенные в работах [3-5]. Дополнительным их преимуществом является увеличение количества режущих кромок до 60 на 1 виток за счет применения пружинно-пластинчатых конструкций. Применительно к червячным фрезам ГОСТ 9324-81, их принципиальная схема показана на рисунке 2. Во впадины витков, выполненных на корпусе 1 фрезы, введены нанизанные на пружину 2 режущие пластины 3 плоской прямой формы, чередующиеся с клиновыми вставками 4, размещенными между ними. При толщине пластин 1...2мм это позволяет уменьшить шаг зубьев по наружному диаметру до 6...8мм, что характерно шагу канавок для конструкций обычных червячных шеверов.

Осесимметричное выполнение на верхней и нижней частях пластин профилей режущих зубьев с высотой головки  $h_a$  и ножки  $h_f$  в исполнении 1 позволяет

витков шеверов формируют долблением стружечных канавок от наружного к внутреннему диаметру. Данный процесс является трудоемким, используется специальный долбежный резец и оснастка для долбежного станка, что существенно удорожает производство червячных шеверов, а их переточку выполняют путем перешлифовки по боковому профилю витков, что ведет к уменьшению их толщины и требует отдельной обработки левой и правой сторон зубьев червячного колеса с адекватным осевым сдвигом шевера [1, 2].

выполнять 4 перестановки, что адекватно уменьшает их расход. Однако диаметры червячных шеверов, особенно средних и крупных модулей, не позволяют выполнять винтовые канавки такой большой глубины, поэтому для них предпочтительны режущие пластины в исполнении 2. Недостатком таких червячных зуборезных инструментов является потребность выполнения высокоточного отверстия в пластинах, что ограничивает их минимальные размеры модулем  $m=3$ мм, уменьшает их прочность, удорожает производство и усложняет технологический процесс сборки. Поэтому требуется устранение указанных недостатков, что является второй задачей выполняемой работы.

**Предлагаемый путь решения поставленной задачи.** В основу положена заявка на патент Украины [6], главным отличием которой от базовых червячных фрез [4, 5], является размещение крепежных пружин 2 у ножек между витками, собранными из чередующихся режущих пластин 3 и клиновых вставок 4, основания 5 и боковые стороны 6 которых введены в адекватные им канавки корпуса 1, а режущие кромки 7 выполнены над пружинами (рисунок 3). Для закрепления и затяжки витков, у их окончаний, на выполненных с обоих торцов лысках установлены упоры 8 с зажимными винтами 9, а для зажима концов пружин, например, по их скосам, на упорах установлены накладки 10 с винтами 11. Фикса-

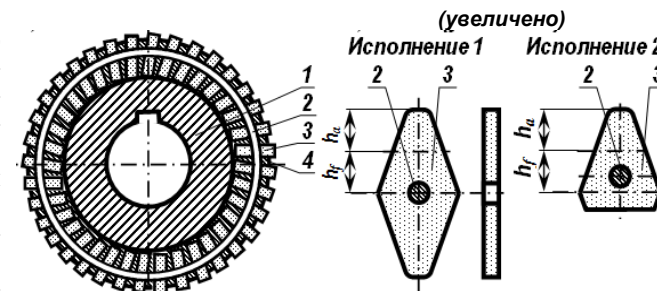


Рисунок 2 – Сборная червячная фреза по патенту Российской Федерации №2169061 с установленным в винтовых канавках на ее корпусе набором из неперетачиваемых режущих пластин и клиньев, закрепленных введенными в их отверстия пружинами и режущие пластины для ее оснащения

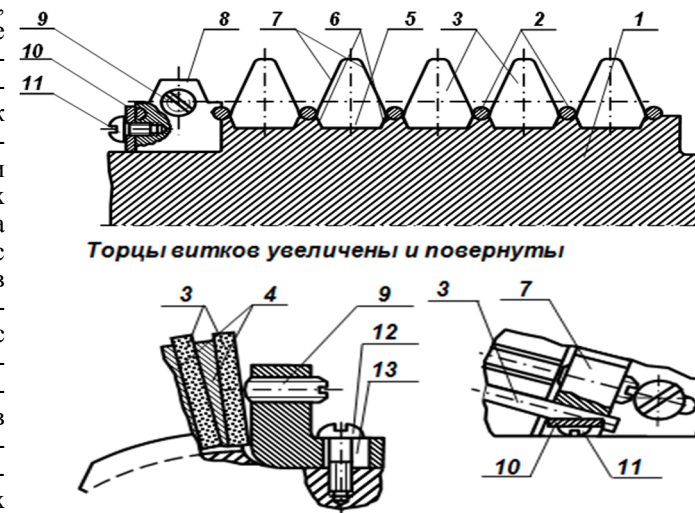


Рисунок 3 – Конструкция сборного червячного зуборезного инструмента с креплением витков, набранных из сменных режущих пластин и клиновидных вставок – пружинами, расположенными у ножек между этими витками

ция и сдвиг упоров на корпусе инструмента выполнены винтами 12, введенными в канавки 13 упоров.

Конструктивное исполнение пластин 3 и пружин 2 между их ножками показано на рисунке 4. Для исключения потребности выполнения поднутрений на ножках зубьев червячных колес при черновой обработке, зубья шевера могут быть выполнены полнопрофильными, с головкой высотой  $0,25m$ . Это позволяет использовать их, не только как шеверы, но и как фрезы.

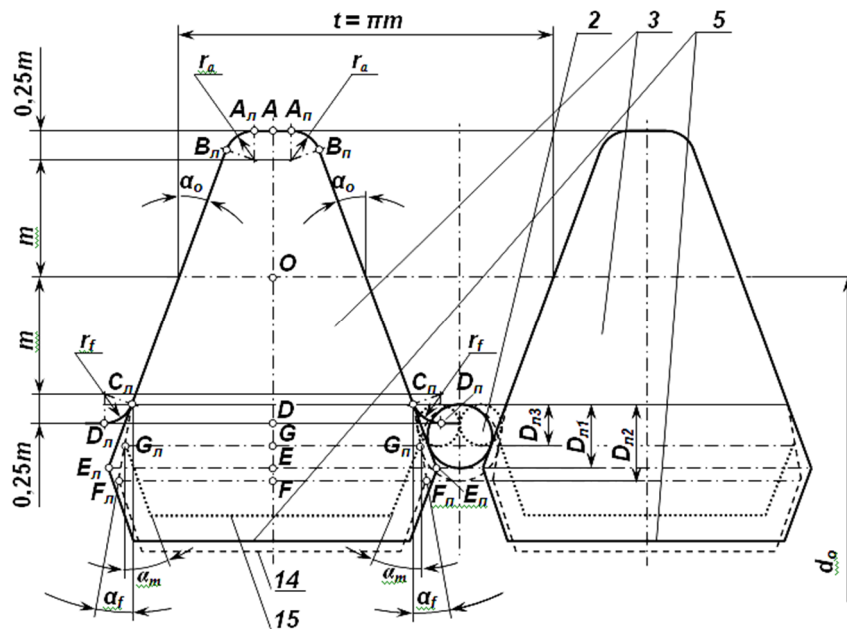


Рисунок 4 – Параметры профиля быстросменных режущих пластин для червячного шевера и пружин, введенных между их ножками

Профиль пластин принят производным от профиля обрабатываемых ими зубьев и имеет головку  $AO$  и ножку  $OD$ , параметры которых обусловлены величиной модуля  $m$  и боковыми углами профиля  $\alpha_o$ . Высота головки зуба –  $h_a=1,25m$ , ножки  $h_f=1,25m$ , радиусы округления на вершинах и на впадинах  $r_a=r_f=0,25m$ . Шаг установки пластин  $t=\pi m$  на делительном диаметре  $d_o$  совпадает с шагом по нормали к виткам канавок на наружном диаметре  $D_{ак}$  корпуса инструмента (рисунок 3). Такие зубья на правой ( $n$ ) и левой ( $l$ ) сторонах имеют на вершинах участки  $A_nA_l$  и радиусные профилирующие участки  $A_nB_n$  высотой  $r_a(1-\sin\alpha_o)$ . На боковых сторонах зуб имеет профилирующие участки  $B_nC_n$  и  $B_lC_l$  высотой  $2m+r_a\sin\alpha_o$ , а на ножках зубьев – радиусные непрофилирующие участки  $C_nD_n$ ,  $C_lD_l$  высотой  $r_a(1-\sin\alpha_o)$ .

Вместо радиусных участков у ножки, профиль пластин имеет удлинение на непрофилирующих участках  $C_nE_n$ ,  $C_lE_l$  для размещения между соседними витками из комплектов пластин, спиральных пружин 2, диаметр  $D_{n1}$  которых расположен ниже профилирующих участков  $B_nC_n$ ,  $B_lC_l$ . Общая высота профиля пластин составляет величину  $AE$ , от которой выполнено основание 5 трапецевидной формы, служащее для удержания пластин в канавках корпуса ин-

струмента, а угол  $\alpha_m$  трапецевидного основания выполнен больше угла  $\alpha_o$  подъема винтовой линии канавок на корпусе.

Для повышения прочности пружин 2 за счет увеличения диаметра до значения  $D_{n2}$ , профиль зуба может иметь удлинения на непрофилирующих участках  $C_nF_n$ ,  $C_lF_l$  с углами  $\alpha_f$ , которые меньше углов  $\alpha_o$ . Общая высота такого профиля пластин составляет величину  $AF$ , а глубина трапецевидного основания смещена в положение 14.

Для уменьшения общей высоты пластин, в рамках возможности их пресования, диаметр пружин может быть уменьшен до величины  $D_{n3}$ , а их количество удвоено, из условия размещения пружин между витками. При этом профиль зуба также продлен на непрофилирующих участках  $C_nG_n$ ,  $C_lG_l$ , а их углы  $\alpha_f$  уменьшены относительно углов  $\alpha_o$  для увеличения диаметра пружин. Общая высота такого профиля пластин составляет величину  $AG$ , а глубина трапецевидного основания смещена в положение 15.

Точность выполнения трапецевидного основания пластин должна быть максимально возможной, поэтому перед сборкой должна выполняться их шлифовка, лучше всего – в многоступенчатом приспособлении. Точность профиля пластин лучше всего обеспечивать после сборки шевера шлифовкой боковых сторон витков, что позволяет выполнить ZK1, ZK2, ZK3, ZT1, ZT2 червяки.

**Технико-экономические показатели предлагаемых шеверов.** Конкретное выполнение предлагаемых инструментов зависит от модуля нарезаемых зубчатых колес. Например, для шевера  $m=4$ мм, его наружный диаметр составляет  $D_a=90$ мм, а максимальная высота пластин 12мм, что при углах их профиля  $\alpha_o=20^\circ$  позволяет использовать пружины диаметра  $D_{n1}=2,2$ мм, а при уменьшении углов у ножек до  $\alpha_f=10^\circ$  диаметры пружин достигают  $D_{a2}=2,6$ мм,  $D_{n3}=1,4$ мм. Поскольку в двухпружинном варианте общая площадь сечения пружин уменьшается в 3,2 раза, преимущества имеет однопружинный вариант, который также обеспечивает удержание витков двумя пружинами, из которых средняя – нагружена двумя витками пластин, а их прочность – достаточна для удержания пластин в корпусе в процессе резания. Количество пластин и клиновых вставок достигает 60 штук на 1 виток, и даже для 4-х заходных шеверов обеспечивает 15 зубьев на 1 заход, что больше количества зубьев стандартных однозаходных фрез. Всего при 5 работающих зубьях в каждом ряду инструментальной рейки, шевер имеет 300 пластин, Толщина пластин 2 мм, а клиновых вставок 3 мм, угол клина в сечении  $6^\circ$ , потому он самотормозящий, зажим пластин в витке осуществляется винтом-пробкой с резьбой М6, что обеспечивает ей высокую прочность, а шеверам – работоспособность при режимах резания, аналогичных базовым.

При внедрении предлагаемых шеверов исключается потребность долбления  $2 \times 300 = 600$  режущих канавок на боковых поверхностях профиля витков, трудоемкость которых, с учетом переналадки положений червяка на станке, составляет около 1200 минут, или 20 нормочасов. При стоимости 1 нормочаса на ответственных предпринятиях около 20\$, затраты на данную операцию составляют 400\$. Общие затраты на изготовление базового шевера составляют около 700\$.

У предлагаемого шевера, за счет уменьшения наружного диаметра его корпуса и глубины винтовых канавок, материалоемкость и трудоемкость изготовления снижается на 10%, что компенсирует затраты на изготовление крепежных элементов и пружин. Кроме того, корпус и крепежные элементы – многократного использования, что обеспечивает дополнительную экономию.

Наиболее затратным является изготовление комплектов из 300 пластин. В твердосплавном исполнении, при цене за 1 пластину около 5\$, стоимость комплекта составит около 1500\$, однако с учетом повышения их стойкости при двукратной перестановке, они могут заменить 10 базовых шеверов общей стоимостью 7 тыс.\$ . Таким образом, при стоимости корпуса с крепежными элементами около 300\$ и стоимости дополнительных заточек оснований пластин и витков  $\approx 200$ \$, общая стоимость предлагаемого шевера составит 2000\$, что по сравнению с 10 базовыми шеверами обеспечивает экономию 5000\$. Дополнительный экономический эффект обеспечивает возможность повышения производительности шевингования за счет применения твердых сплавов, что уменьшает технологическое время, количество дорогостоящих зубообрабатывающих станков и занимаемые ими производственные площади.

Проблема одна – мизерное производство червячных колес в Украине, поэтому предлагаемые шеверы будут экономически целесообразными только для крупных зарубежных производителей высокоточных червячных передач, например – для лифтовых редукторов и др.

#### **Выводы:**

1. Учитывая возможности повышения производительности, точности и экономичности эксплуатации, переход к сборным червячным инструментам обеспечивает реальный резерв для повышения этих показателей.

2. Предложенные сборные червячные шеверы существенно повышают технологичность их изготовления и эксплуатации, поэтому могут быть рекомендованы для замены шеверов, применяемых в настоящее время.

**Список литературы:** 1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.Ф. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846с.: ил. 2. Производство зубчатых колес Справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др. Под общ. ред. Б.А.Тайца. – М: Машиностроение, 1990, – 464с. 3. Патент Российской Федерации № 2169061. МПК В23F 21/16. Червячный инструмент, способ и оборудование для его изготовления. Авт. изобр. Настасенко В.А. Заявка № 98116845/08 от 08.09.98 // БИ. – 2001. – №17. 4. 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. 5. Настасенко В.А. Новое поколение пружинно-пластинчатых червячных зуборезных инструментов // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 7-й Междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК "ФЭД", 2003. – С.94-97. 6. Заявка на патент України на винахід. МПК В23F 21/16. № 2013 09603 Від 01.08.2013 р. Збірний багатозаходний черв'ячний зуборізний інструмент та змінні поворотні непереточувані пластини для його оснащення. Авт. заявки Настасенко В.О.

**Bibliography (transliterated):** 1. Spravochnik instrumental'shhika / I.A. Ordinarcev, G.F. Filippov, A.N. Shevchenko i dr.; Pod obshh red. I.A. Ordinarceva. – Leningrad: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1987. – 846 p.: il. 2. Proizvodstvo zubchatykh koles. Spravochnik / S.N.Kalashnikov, A.S.Kalashnikov, G.I.Kogan i dr. Pod obshh. red. B.A.Tajca. – Moscow: Mashinostroenie, 1990, – 464p. 3. Patent Rossijskoj Federacii No 2169061. MPK B23F 21/16. Chervjachnyj instrument, sposob i oborudovanie dlja ego izgotovlenija. Avt. izobr. Nastasenko V.A. Zajavka No98116845/08 ot 08.09.98. // BI. – 2001. – No17. 4. Nastasenko V.A. Novaja koncepcija povyshenija tochnosti chervjachnyh zuboreznyh instrumentov. // Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroenija. Mezhdunar. sb. nauchnyh trudov.– Doneck: DonGTU, 2001. Vol.17. – P.109-114. 5. Nastasenko V.A. Novoe pokolenie pruzhinno-plastinchatyh chervjachnyh zuboreznyh instrumentov // Fizicheskie i kompjuternye tehnologii v narodnom hozjajstve. Trudy 7-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. – Kharkov: KhNPK "FED", 2003. – P.94-97. 6. Zajavka na patent Ukrainy na vinahid. MPK B23F 21/16. No2013 09603 Vid 01.08.2013. Zbirnij bagatozahodnij cherv'jachnij zuboriznij instrument ta zminni povorotni neperetochuvani plastini dlja jogo osnashennja. Avt. zajavki Nastasenko V.O.

*Поступила (received) 05.04.2015*