УДК 621.9.04

В.А. Настасенко, канд. техн. наук, доц.
Херсонская государственная морская академия (Украина)
Тел./Факс: +38 (050) 8079199; *E-mail: Nastasenko2004@front.ru*

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ В ГИПЕРБОЛОИДНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Работа относится к области червячных зуборезных инструментов, в частности – гиперболоидных, и к технологиям их производства. Рассмотрена возможность получения гиперболоидных червячных инструментов из цилиндрических и проведен ее анализ. Предложены наиболее простые технологические процессы и устройства для их изготовления, показывающие возможность замены 1-4-х заходных цилиндрических червячных фрез гиперболоидными при минимальных изменениях базовых технологий.

***Ключевые слова**: технологии изготовления цилиндрических и гиперболоидных червяков и червячных зуборезные инструментов*

Введение. К червячным зуборезным инструментам относятся червячные фрезы, шлифовальные круги и шеверы. Среди них наибольшее распространение получили цельные цилиндрические червячные фрезы, поскольку являются относительно простым, недорогим, точным и высокопроизводительным инструментом, а применяемые для них зубофрезерные станки – являются наиболее простыми и дешевыми из станков данной группы. Совокупность указанных факторов обеспечивает червячной зубообработке высокую конкурентоспособность по сравнению с зуботочением [1], зубопротягиванием [2] и другими видами обработки зубчатых колес [3, 4], поэтому усовершенствование червячных зуборезных инструментов является актуальной и важной задачей.

Однако червячные зуборезные инструменты относятся к давно исследуемым техническим системам, у которых, в рамках их жизненного цикла [5], возможности усовершенствования приблизились к естественному пределу, поэтому эффективность новых решений по улучшению их качественных показателей не превышает 3-5%.

Устранить указанный недостаток позволяет только качественный скачок, что требует поиска новых технических решений.

Анализ состояния проблемы, цели и задачи работы.

Усовершенствование червячных зуборезных инструментов, исходя из общих принципов совершенствования технических систем [5], осуществляется по следующим основным показателям:

1) *функционально-эксплуатационным* (производительность, точность и качество обработки ими зубчатых колес, износостойкость, прочность, жесткость, надежность и долговечность, ремонтопригодность, универсальность, требуемое для работы данных инструментов оборудование и оснастка и др.);

2) *производственно-технологическим* (трудоемкость и технологичность операций изготовления и сборки, уровень расчленения на сборочные единицы и детали, уровень их унификации и стандартизации, применяемые материалы и их обрабатываемость, требуемое для изготовления оборудование, оснастка и др.);

3) *экономическим* (затраты на материалы, оборудование, инструменты, оснастку, трудовые и энергетические затраты на разработку, подготовку и запуск продукции, на

производство и эксплуатацию, на обслуживание, ремонт и утилизацию, на патентно-правовую защиту, на продвижение на рынке и др.);

4) *социальным* (безопасность, экологичность, эргономичность, эстетичность, утилизуемость и другие).

Поскольку требования к улучшению приведенных выше показателей червячных инструментов постоянно растут, поэтому решение данных задач является актуальным и важным для их совершенствования. Несмотря на различную значимость приведенных показателей, для оптимальных технических решений важен учет каждого из них, с обязательным соблюдением иерархии их значимости. При исключении какого либо из показателей можно вести речь лишь о рациональном, а не об оптимальном техническом решении, поэтому каждый дополнительно учтенный показатель повышает уровень, хотя и усложняет решаемую задачу.

Анализ известных конструкций червячных фрез [6] показал, что оптимальных решений пока не найдено, однако наиболее полно указанным показателям отвечают гиперболоидные червячные инструменты. Объясняется это тем, что они повышают производительность и точность зубообработки при любом количестве заходов, имеют достаточно высокий уровень преемственности технологий, оборудования и оснастки на этапах их изготовления и эксплуатации.

Однако многозаходные гиперболоидные червячные инструменты существенно усложняют технологию их изготовления за счет большого угла подъема витков [7 – 9], а для фрез – за счет сборных конструкций и многозубых систем [10 – 12], простейшая из которых – пружинно-пластинчатая, показана на рис. 1 (1- неперетачиваемая режущая пластина, 2 – клиновая вставка, 3 – пружина, 4 – корпус).

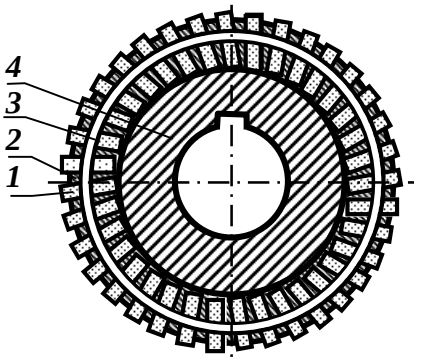


Рис.1. Червячная фреза с пружинным креплением неперетачиваемых режущих пластин

Кроме того, для эффективной эксплуатации таких инструментов нужны зубофрезерные станки с высокой скоростью вращения рабочего стола [13]. При этом следует учесть, что приблизительно каждых 10% отличий конструкций инструментов и станков увеличивает на 1 год срок на их создания, а главным фактором является потребность в них общества [14]. Существенное влияние оказывает высокая стоимость таких фрез], составляющая от 2 до 12 тыс. $ за 1 фрезу и от 1 до 6 тыс. $ за 1 комплект сменных пластин. Поэтому, несмотря на значительный срок разработки данных инструментов и станков для их производства (с 1998 года [10 – 12]), они так и не были изготовлены и внедрены, что требует поиска новых технических решений.

Таким образом, главной целью выполняемой работы является создание таких гиперболоидных червячных зуборезных инструментов (в частности – червячных фрез и способов их обработки), которые бы имели минимальные отличия по сравнению со стандартными цельными червячными фрезами и технологиями их обработки. Учитывая значительные преимущества гиперболоидных фрез по сравнению с цилиндрическими, выбранная в данной работе цель исследований является актуальной и имеет большое практическое и теоретическое значение. Научную новизну данной работы составляет анализ точности простейших конструкций и технологий обработки гиперболоидных червячных фрез, технологий и оборудования для их производства, перспективных для реализации в ближайшем будущем.

Предлагаемый путь реализации поставленной цели.

У современных цилиндрических червячных фрез ГОСТ 9324-80, фактическое количество заходов не превышает 2-х, что ограничивает угол наклона витков к их оси величиной $\omega_\omega \le 7°$. В этом случае, в рамках заявки на патент РФ [15], возможна их обработка по существующим технологиям, при равномерном вращении ω червяка и прямолинейной осевой подаче s_z режущего инструмента, выполненным по нормали к его витку, с двумя существенными отличиями – смещением заднего центра станка на высоту $\pm h_ц$ (1), а установленного перед фрезами на суппорте станка инструмента – на высоту $\pm h_и$ (2), вниз – при обработке правозаходных фрез, вверх – при обработке левозаходных фрез:

$$\pm h_ц = l_ц \sin(\pm\omega_\omega), \text{ (м)} \quad (1)$$

$$\pm h_и = l_и \sin(\pm\omega_\omega), \text{ (м)} \quad (2)$$

где $l_ц$ – расстояние между центрами сфер сферических головок переднего и заднего центров станка, м,

$l_и$ – расстояние между центром сферы сферической головки заднего центра станка и поперечной осью симметрии гиперболы, м,

ω_ω – угол наклона винновой линии основного червяка к его продольной оси.

Однако для данных способов обработки проблематичным является смещение заднего центра станка. Если для левозаходных фрез оно возможно более простым путем – смещением заднего центра вверх (например, за счет подкладок под заднюю бабку), то для обработки правозаходных фрез необходимо, либо заднее положение суппорта, что усложняет станок и управление им, или применение специальных приспособлений, ряд конструкций которых предложен в заявке на патент [15] и показан на рис. 2 и 3.

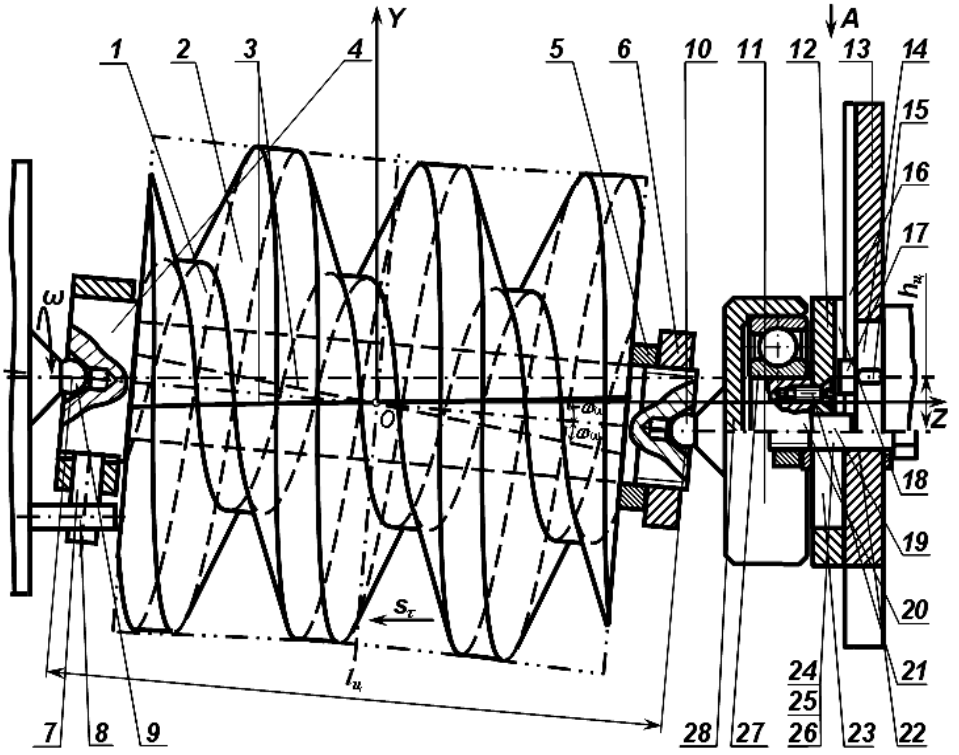


Рис. 2. Схема установки гиперболоидного червяка на оправку со смещением заднего центра бабки станка и устройство для его осуществления

На рис. 2 показан гиперболоидный червяк 1, связанный с системой координат *OYZ*, центр которой размещен на продольной оси червяка в среднем сечении впадины его витков 2, которые формируют винтовым движением начальной зубчатой рейки, содержащей ряд зубьев, входящих с ним в станочное зацепление, и развернутой к оси *OZ* червяка по винтовой линии 3 под углом ее наклона $\pm\omega_\omega$, равным углу $\pm\gamma_\omega$ подъема витков червяка на его начальном цилиндре.

Червяк может быть цельным или установлен на оправке 4, с упором в ее буртик и с зажимом втулкой 5 и гайкой 6, с возможностью вращения ω червяка или оправки зажимным поводковым устройством 7 и поводком 8.

Установку червяка на станке под углом наклона $\pm\omega_\omega$ выполняют вводом в центровые отверстия оправки переднего 9 и заднего 10 центров станка с шариковыми вершинами диаметра $d_ц$, которые адекватны диаметру этих центровых отверстий, путем сдвига заднего центра относительно переднего центра на величину (1) где $l_ц = l_{цu} - d_ц$, а расстояние $l_{цu}$ получено измерением, выполненным перед установкой червяка в центрах станка, между выступающими поверхностями введенных в оба центровых отверстия оправки шариков, диаметр которых равен диаметру $d_ц$ шаровых конечностей переднего и заднего центров станка, с вычетом из этого расстояния величины одного диаметра $d_ц$.

Устройство для сдвига заднего центра бабки станка имеет: укороченный центр 10, который закреплен на корпусе 11 с возможностью его вращения на полуоси 12, закрепленной на вертикальной подвижной каретке 13, установленной на направляющей 14, закрепленной на пиноли 15 задней бабки станка, например, шпонками 16, или на втулке, которая введена в пиноль, а эта направляющая имеет продольную канавку 17, ось которой по нормали пересекает ось пиноли, с возможностью поворота и установки в вертикальной или горизонтальной плоскостях. На торце по краям подвижной каретки на оси, которая пересекает ось заднего центра, закреплены пальцы 18, диаметр которых равен ширине канавки (исполнение 1), выполненной на направляющей, в которую они введены с возможностью продольного движения, а для закрепления подвижной каретки на направляющей, на ней выполнены продольные боковые пазы 19 и адекватные им отверстия 20 выполнены по бокам на основании каретки, в которые введены крепежные болты 21 с гайками 22 и опорными шайбами 23. При этом, для улучшения условий вращения заднего центра, между его корпусом 11 и полуосью 12 может быть установлен упорный шариковый подшипник 24. Для фиксации величины смещения $\pm h_ц$, с кареткой может быть введен в контакт винт 25, а на направляющей закреплена связанная с ним гайка 26, при этом винт может быть микрометрическим со шкалой для фиксации перемещений, и вместо гайки он закреплен в адекватной ему опоре, установленной на направляющей.

На рис. 3 показан вид сверху для исполнения 1 и новые исполнения устройства для сдвига заднего центра. В исполнении 2 оно отличается от предыдущего тем, что канавки на направляющей выполнена угловой 27 или трапециидальной формы, а вместо пальцев, на торце по краям каретке выполнены адекватные канавке выступы 28.

Исполнение 3 устройства отличается от предыдущего тем, что вместо канавки, на боковых сторонах направляющей выполнены фаски 29, а на торце по бокам подвижной каретки выполнены адекватные этим фаскам выступы 30, которые введены между собой в контакт.

Принцип работы устройств следующий. Перед установкой червяка 1 в центрах 9 и 10 станка, по зависимости $\pm h_ц = (l_{цu} - d_ц)sin\omega_\omega$ выполняют расчет величины смещения $\pm h_ц$, затем устанавливают ее с помощью винта 25 или по шкале микрометрического винта и подводят к этому винту в контакт подвижную каретку 13, положение которой

закрепляют на направляющей 11 болтами 21 и гайками 22, введенными в пазы 19 направляющей и отверстия 20 каретки, после чего устройства готовы к работе.

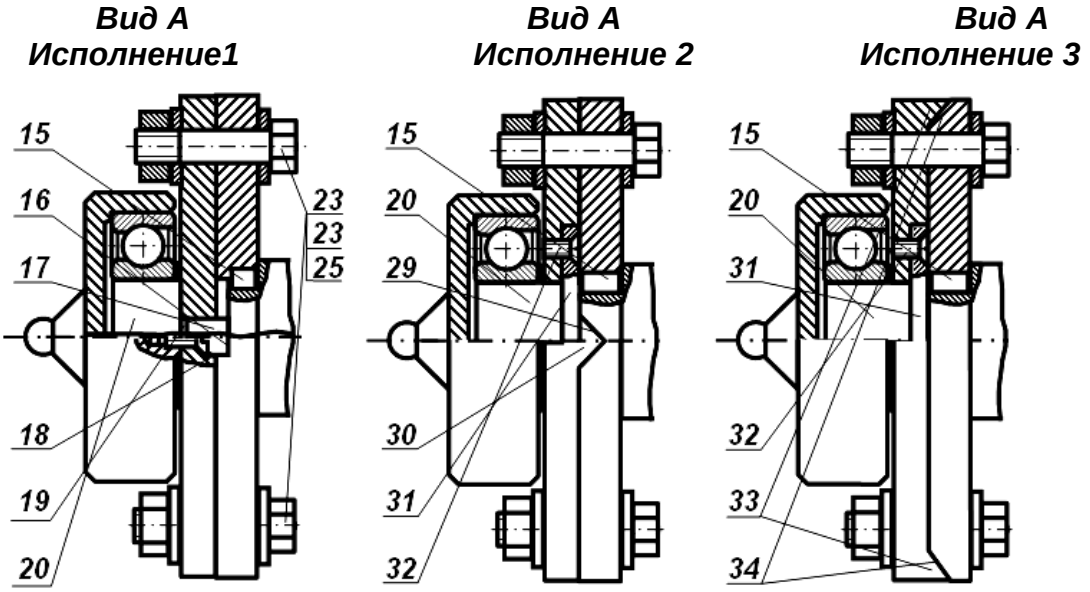


Рис. 3. Вид сверху различных исполнений устройств для сдвига заднего центра станка

Далее работа устройства и обработка гиперболоидного червяка не отличается от работы вращающихся центров и обработки аналогичных известных цилиндрических червяков.

Аналогичные исполнения устройств и изменения в технологиях необходимы для операций формирования передней поверхности, чернового и чистового затылования и заточки зубьев фрез.

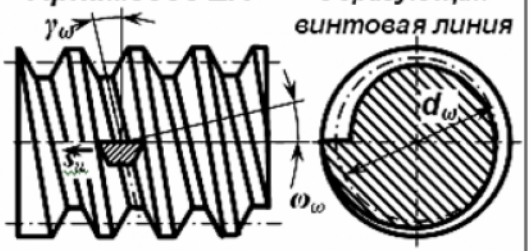
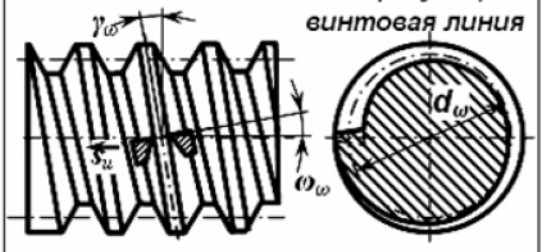
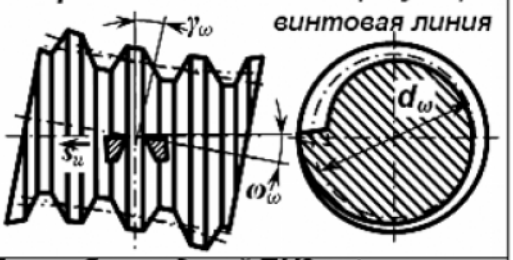
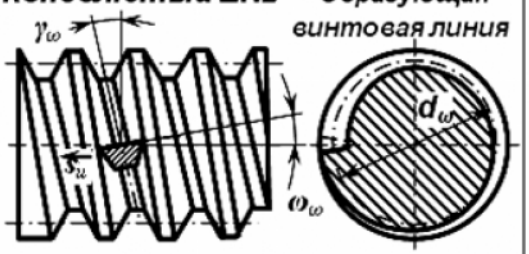
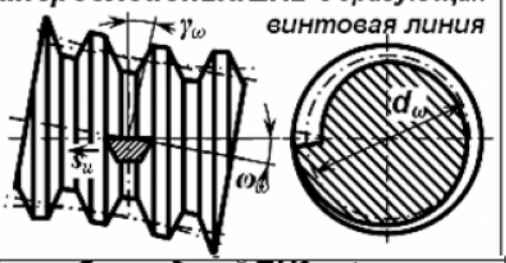
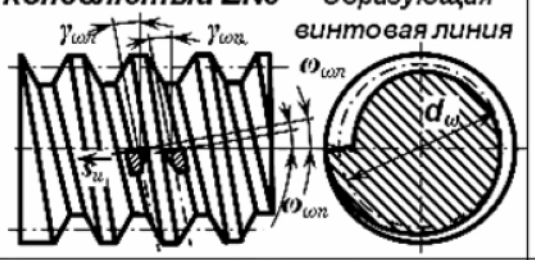
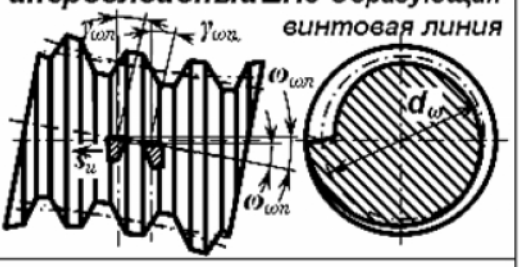
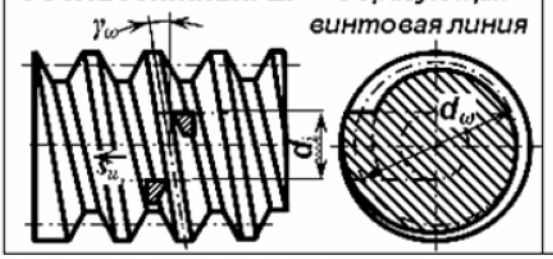
Следует также учесть, что предлагаемые технологии обработки гиперболоидных червяков обеспечивают формирование их лишь конволютного типа ZH в 3-х вариантах: ZH_1 – с прямолинейным профилем витка, ZH_2 – с прямолинейным профилем впадины, ZH_3 – с прямолинейным нормальным профилем витка – наиболее близкий к профилю рейки (таблица 1). Они являются аналогами ZN_1, ZN_3, ZN_3 цилиндрических червяков. При этом исключаются 2 разновидности цилиндрических червяков: архимедовы ZA (с прямолинейным профилем в осевом сечении) и эвольвентные ZI (с прямолинейным профилем витка касательным к винтовой линии, лежащей на соосной цилиндрической поверхности).

Воспроизведение архимедового основного червяка (в осевом сечении которого формируется архимедова спираль), невозможно при осевом движении инструмента, поскольку при гиперболидной форме начальной поверхности червяка любой сдвиг с подачей s_z от его поперечной осевой плоскости, (неизбежный при винтовой обработке с шагом t_z), приведет к отклонению от архимедовой спирали. Формирование аналога эвольвентного червяка ZI приведет к искажениям гиперболоидной поверхности, что нецелесообразно по условию ее точности, однако для окончательного вывода об отказе от их производства требуются дополнительные исследования.

Отклонения ZH_1, ZH_3, ZH_3 профилей могут быть полностью исключены при винтовой форме передней поверхности канавочных резцов, или дисковых фрез, или торцовых лезвийных режущих инструментов для нарезания витков червяка, а также для

затыловочных резцов. Однако при затылковании и заточке зубьев гиперболоидных червячных фрез коническими кругами, они все равно появятся, хотя их величина будет в 5 – 10 раз меньше аналогичных погрешностей цилиндрических червячных фрез, Поэтому выполнение винтовых поверхностей у черновых лезвийных инструментов для нарезания витков и затылования зубьев фрез, нецелесообразно.

Таблица 1. Схемы формообразования основных типов червяков, нарезаемых лезвийными инструментами

Цилиндрические червяки – аналоги	Гиперболоидные червяки
Архимедов ZA Образующая винтовая линия 	–
Конволютый ZN1 Образующая винтовая линия 	**Гиперболоидный ZH1** Образующая винтовая линия 
Конволютый ZN2 Образующая винтовая линия 	**Гиперболоидный ZH2** Образующая винтовая линия 
Конволютый ZN3 Образующая винтовая линия 	**Гиперболоидный ZH3** Образующая винтовая линия 
Эвольвентный ZI Образующая винтовая линия 	?

Предлагаемые технологии и устройства для обработки червячных фрез [15] со смещением заднего центра станка и инструмента, незначительно усложняют процесс их производства, при существенном повышении точности формирования профиля зубьев за счет выполнения профиля инструментов 2-го порядка по наиболее простой и точно воспроизводимой образующей – прямой линии. Повышение трудоемкости и, соответственно, стоимости изготовления таких фрез, не превышает 20% по сравнению со стандартными, что перекрывается их достоинством – повышением точности профиля, которое наиболее сильно проявляется у фрез АА и ААА классов. Это позволяет в кратчайшие сроки заменить гиперболоидными фрезами все выпускаемые в настоящее время цилиндрические червячные фрезы ГОСТ 9324-80, в т.ч. В и А классов точности, а также многозаходные фрезы ОСТ 2И41-3-85.

Выводы

1. Учитывая, что реальные возможности повышения точности профиля зубьев стандартных червячных фрез в основном исчерпаны, переход к гиперболоидным червячным фрезам обеспечивает резерв от 5 до 40 мкм на боковую сторону зуба.
2. У гиперболоидных червячных фрез точность профиля при 1-м, 2-х и большем количестве заходов – одинакова.
3. Предложенный в заявке на патент Российской Федерации способ обработки гиперболоидных червячных фрез со смещением заднего центра и инструментов 2-го порядка [15], несущественно усложняет технологию их изготовления, поэтому может быть рекомендован производителям и пользователям 1 – 4-х заходных цилиндрических червячных фрез, для замены их гиперболоидными, уже в ближайшем будущем.
4. После широкого испытания цельных гиперболоидных червячных фрез, может быть рекомендован переход на фрезы 2-х, 3-х и большего количества заходов с пружинным креплением неперетачиваемых режущих пластин.

Список литературы:

1. Цвис Ю.В. Профилирование обкатного инструмента. -М.:Машгиз, 1961. -154 с.
2. Харлампиев И.С. Обкатывающее протягивание зубьев зубчатых колес. -М.: Машиностроение, 1981. -211 с.
3. Грицай И.Е., Благут Е.Н. Зубчатые передачи и технологии их изготовления: новое в традиционном // Оборудование и инструмент: Международный информационно-технический журнал. – 2005. - № 2(61). – С. 36-39.
4. Производство зубчатых колес Справочник / С.Н.Калашников, А.С.Калашников, Г.И.Коган и др. Под общ. ред. Б.А.Тайца. - М: Машиностроение, 1990, -464 с.
5. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. –М.: Машиностроение, 1988. -368 с.
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. Новые технологические процессы для обработки гиперболоидных червячных передач // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. –Донецьк: ДонНТУ, 2010. Вип. 40. -с. 176-185.
8. Патент Российской Федерации № 2169061. МПК B23 F 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.

9. Патент Российской Федерации № 2200262. МПК B23 F 21/16. Червячная передача, способ ее изготовления, оборудование и инструмент для его осуществления. Авт. изобр. Настасенко В.А. Заявка № 98116838/28 от 08.09.98. // БИ. 2003. № 7.

10. Патент Российской Федерации, № 2134183. МПК B23 F 21/16. Червячный инструмент. Авт. изобр. Настасенко В.А. Заявка № 98100805/08 от 15.01.98.. БИ № 22 от 10.08.99.

11. Патент Российской Федерации, № 2147495. МПК B23 F 21/16. Червячный инструмент Авт. изобр. Настасенко В.А. Заявка № 98104340/08 от 10.03.98. // БИ. № 11 от 10.04.2000.

12. Патент Российской Федерации, № 2147496. МПК B23 F 21/16. Сборная червячная фреза Авт. изобр. Настасенко В.А. Заявка № 98104494/08 от 10.03.98. // БИ. № 11 от 10.04.2000.

13. Настасенко В.А. Новому поколению червячных фрез – новое поколение зубофрезерных станков. // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов IX Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк, ДонГТУ, 2002, Т2. –с 164-169.

14. Михайлов А.И., Настасенко В.А., Проценко В.А., Усовершенствование принципов функционально-ориентированных технологий при проектировании и производстве объектов техники // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - Хмельницький: 2011, №3 (177) – с.38 – 45.

15. Заявка на патент на изобретение Российской Федерации № 2012138947 от 11.09.2012. Способы обработки гиперболоидных червяков и червячных зуборезных инструментов и устройства для их реализации. Авт. Настасенко В.А.

V.A. Nastasenko

TRANSFORMATION OF CYLINDRICAL HOBS IN HYPERBOLOID AND TECHNOLOGY OF THEIR MAKING

Work behaves to the area of worm-gears instruments, in particular – hyperboloid, and to technologies of their production. Possibility of receipt of hyperboloid worm instruments is considered from cylindrical and its analysis is conducted. The most simple technological processes and devices for their making, showing possibility of replacement of 1-4th is conducted of cylindrical worm milling cutters hyperboloid at the minimum changes of base technologies are offered.

***Keywords**: technologies of making of cylindrical and hyperboloid worms and worm-gears instruments.*

В.О. Настасенко

ТРАНСФОРМАЦІЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ У ГІПЕРБОЛОЇДНІ І ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

Робота відноситься до галузі черв'ячних зуборізних інструментів, зокрема – гіперболоїдних, і технологій їх виробництва. Показана можливість і проведений аналіз отримання гіперболоїдних черв'яків і черв'ячних інструментів з циліндричних. Запропоновані найбільш прості технологічні процеси і пристрої для їх виготовлення, що показують можливість заміни 1-4-х заходних циліндричних черв'ячних фрез гіперболоїдними при мінімальних змінах базових технологій.

***Ключові слова**: технології виробництва циліндричних і гіперболоїдних черв'яків і черв'ячних зуборізних інструментів.*

Надійшла до редколегії 17.06.2013 р.