УДК 621.9.04

В.А. Настасенко
Херсонская государственная морская академия, Украина
Тел./Факс: +38 (050) 8079199; *E-mail: M_Babiy@ukr.net*

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЧЕРВЯКОВ И СПОСОБЫ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Работа относится к области деталей машин, в частности – к зубчатым и червячным передачам, а также к инструментальному производству, в частности – к червячным зуборезным инструментам, и ко всем отраслям машиностроения, где они производятся и эксплуатируются. Предложены наиболее простые технологические процессы получения гиперболоидных основных червяков и рассмотрены их типы.
***Ключевые слова**: зубчатые и червячные передачи, гиперболоидные червячные передачи, червячные фрезы, шеверы и шлифовальные круги, основные типы червяков.*

Введение. Усовершенствование зубчатых передач, в т.ч. – червячных, а также зуборезных инструментов для их обработки, является актуальной задачей, поскольку в условиях научно-технического прогресса постоянно растут потребности и требования к показателям качества различных машин и механизмов, в которых они применяются. Кроме этого, растут потребности совершенствования технологических процессов для их эффективного изготовления и применения.

Основными проблемами усовершенствования зубчатых и червячных передач является повышение их точности, износостойкости, нагрузочной способности, к.п.д., уменьшение веса и габаритов, а также повышение производительности и упрощение их производства и обслуживания при эксплуатации.

Аналогичные проблемы усовершенствования предъявляются к зуборезным инструментам, в первую очередь – к повышению их точности, износостойкости и др. При этом нагружающие способности рассматриваются, как увеличение объема металла, снимаемого инструментом при его работе (или их собственная производительность), а к.п.д. - как соотношение расходов энергии, или работы на эксплуатацию зуборезного станка, к работе, потраченной на срезание данного объема стружки.

Наиболее целесообразно комплексное совершенствование всех этих показателей, что является важной технико-экономической задачей, поскольку повышение качества слишком большой ценой – неприемлемо в условиях современного производства.

Анализ состояния проблемы, цели и задачи работы.

Одним из наиболее прогрессивных видов зубчатых зацеплений, на современном уровне техники, является гиперболоидное, которое реализовано в 2-х случаях вращения исходной образующей гиперболы:

1) относительно ее внутренней оси (двуполостные гиперболоиды), этот вариант предложен в работах О.В.Витренко [1], однако его недостатком является сложность изготовления (червяки нарезают индивидуальными внутренними зубчатыми венцами);

2) относительно ее внешней оси (однополостные гиперболоиды), такие червяки более просты и технологичны, чем первые (в традиционных технологиях производства их нарезают на станках, совершающих 6 формообразующих движений) и еще более просты в патенте [2] (2 формообразующих движения), за счет применения косой подачи

инструмента, однако и в этом способе недостатком является сложность модернизации оборудования [3-8].

Цель работы – поиск наиболее эффективных и экономичных путей повышения точности и производительности производства гиперболоидных червяков, способов и оборудования для их обработки, а на их базе – конструирование новых видов червячных передач, червячных фрез, шеверов, абразивных шлифовальных кругов и технологий их производства и эксплуатации, в т.ч. – при обработке такими инструментами зубчатых колес всех видов.

Учитывая растущие требования к точности и эффективности червячных передач при их эксплуатации и производстве, а также к червячным зуборезным инструментам, при их производстве и эксплуатации, оказывающих существенное влияние на точность обрабатываемых ими зубчатых колес, данная работа является актуальной и имеет большое практическое и теоретическое значение.

Научную новизну данной работы составляет анализ известных возможностей формообразования гиперболоидных червяков и имеющегося оборудования для их производства, а на его базе – поиск наиболее простых новых технических решений, перспективных для реализации в ближайшем будущем.

Поиск путей реализации поставленной цели.

Основным преимуществом гиперболоидных зубчатых передач является точное воспроизведение профиля зубчатой рейки на всей ее длине при любом угле ее наклона к оси основного червяка, что позволяет применять их для высокоточных червячных передач и червячных инструментов с любым количеством заходов. Причины появления погрешностей профиля у цилиндрических червячных передач и зубьев у червячных фрез обусловлены искривлением зубчатой рейки, при переходе ее исходного контура от плоской – к цилиндрической поверхности основного червяка, устранение которых возможно у гиперболоидных основных червяков, что рассмотрено в работах [7-9].

Главной особенностью проведенного в данной работе поиска является выбор путей, ведущих к минимальному и эффективному изменению базовых технологий и оборудования для производства цилиндрических червяков и червячных зуборезных инструментов, в технологии для производства гиперболоидных червяков и червячных зуборезных инструментов, которые не требуют больших затрат времени, труда и капитальных вложений на их выполнение.

Разработка новых способов обработки гиперболоидных червяков.

У современных высокоточных цилиндрических червячных передач фактическое количество заходов не превышает 4-х, что ограничивает угол наклона витков к оси червяка величиной $\omega_\omega \le 10°$. В этом случае 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, в рамках патента РФ [2], с одним существенным отличием – смещением заднего центра станка на высоту $\pm h_ц$: вниз – при обработке правозаходных червяков, вверх – при обработке левозаходных червяков установленным перед ними инструментом (рис. 1):

$$\pm h_ц = l_ц sin(\pm\omega_\omega),$$

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

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

По сравнению с исходными способами обработки основного червяка (рис. 1.а,б), с передней установкой инструмента на суппорте станка (рис. 2, вариант 1), возможны также иные способы: с установкой инструмента с обратной стороны суппорта станка (вариант 2), или сверху (вариант 3) или снизу (вариант 4) нарезаемого червяка при продольном смещении заднего центра станка. Все приведенные варианты возможны для обработки как правозаходных, так и левозаходных червяков, однако конструкция резцедержателя и процесс обработки несколько усложняется. При этом вариант 2 предпочтителен при обработке правозаходных червяков, т.к. обеспечивается при более простом смещении заднего центра – вверх, и может быть наиболее просто реализован на станках с ЧПУ.

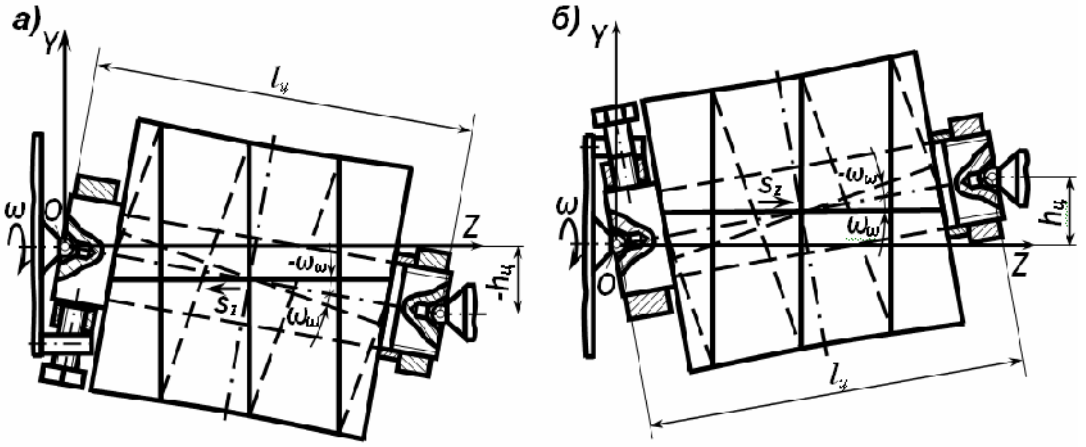


Рис. 1. Схемы обработки гиперболоидных червяков при смешении заднего центра станка: а) правозаходных, б) левозаходных

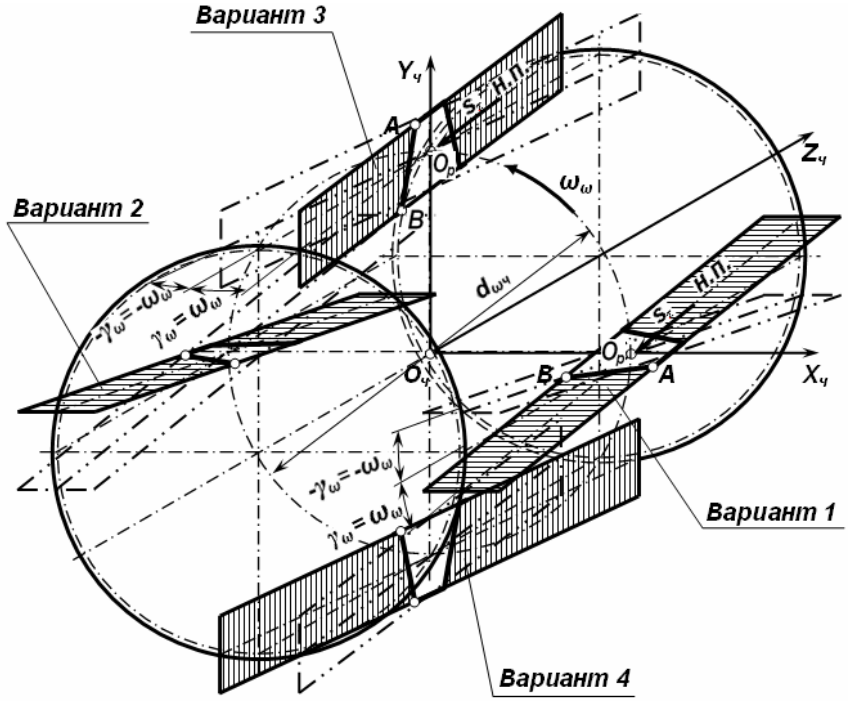


Рис. 2. Основные варианты установки инструмента при нарезании червяков

Следует также учесть, что существующие технологии обработки обеспечивают следующее разновидности цилиндрических червяков (таблица 1): архимедовы ZA (с прямолинейным профилем в осевом сечении); конволютные ZN (три варианта: ZN_1 – с прямолинейным профилем витка, ZN_2 – с прямолинейным профилем впадины, ZN_3 – с прямолинейным нормальным профилем витка – наиболее близкий к профилю рейки); эвольвентные ZI (с прямолинейным профилем витка касательным к винтовой линии, лежащей на соосной цилиндрической поверхности).

В таблице 2 приведены основные типы червяков, полученные шлифовальными кругами: образованные конусом ZK (три варианта: ZK_1 – у которых ось скрещивается с осью производящего конуса под углом, равным делительному углу подъема линии витка червяка, при этом их профили формируют вдоль одного витка или впадины, ZK_2 – ось которых пересекается с осью производящего конуса под прямым углом, ZK_3 – ось которых скрещивается с осью производящего конуса под прямым углом); а также образованные тором ZT (два варианта: ZT_1 – ось которых скрещивается с осью производящего тора под углом, равным делительному углу подъема витка червяка, ZT_2 – ось которых скрещивается с осью производящего тора под углом, при котором одно из плоских сечений главной поверхности витка червяка является дугой окружности, совпадающей с образующей производящего тора) [10].

По аналогии с этими способами, в таблицах 1 и 2 предложены способы обработки гиперболоидных червяков. При этом 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. Следует также учесть, что при прямолинейной форме передней поверхности резца, не будет различий в ZH_1, ZH_2, ZH_3 червяках – аналогах ZN_1, ZN_3, ZN_3 червяков, однако они неизбежно появятся, за счет винтовой формы витков червяка и при нормальной к ним (ZH_1), или ко впадине (ZH_2), или к боковым поверхностям витков (ZH_3), но их величина будет меньше, чем у цилиндрических конволютых червяков и минимальна у ZH_3 червяков, а полностью может быть исключена при винтовой форме передней поверхности резцов или дисковых фрез, или иных адекватных им лезвийных режущих инструментов. За счет гиперболоидной формы основного червяка, формируемая при этом в осевом сечении кривая будет отличаться от исходной удлиненной эвольвенты (конволюты), что требует дополнительных ее исследований. Формирование аналога эвольвентного червяка ZI приведет к искажениям гиперболоидной поверхности, что нецелесообразно, однако для окончательного вывода потребуются дополнительные исследования, поэтому для него сохранено резервное обозначение ZH_4.

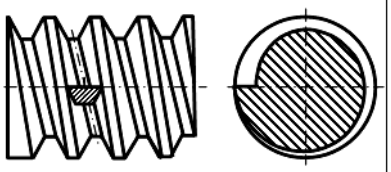
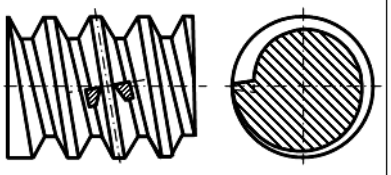
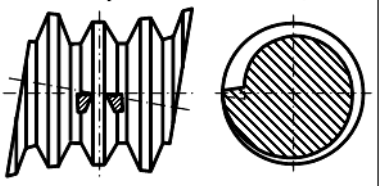
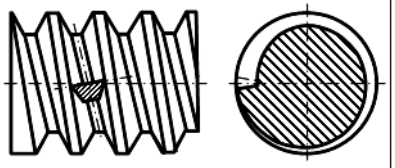
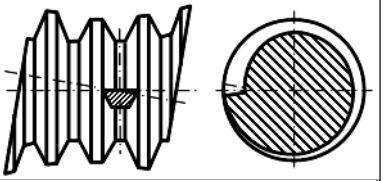
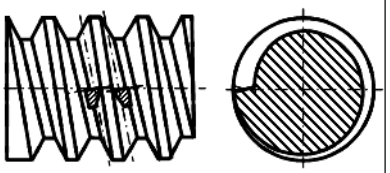
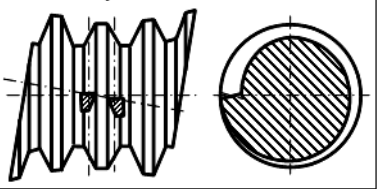
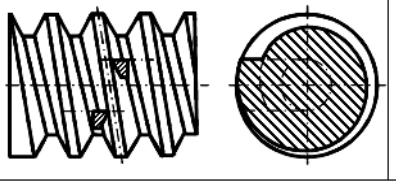
По аналогии с обработкой цилиндрических червяков шлифовальными кругами, при обработке гиперболоидных червяков: ZH_5 – получен при установке конического шлифовального круга по нормали к его впадине, ZH_6 – по нормали к его витку, ZH_7 – при обработке концевым кругом по нормали ко впадине и оси червяка, ZH_8 – при обработке конусом чашечного шлифовального круга, установленного по нормали к витку, ZH_9 – при обработке торцом чашечного шлифовального круга, установленного по нормали к витку. Последние варианты формируют наиболее точный профиль в осевом сечении червяка при обработке с двух сторон одного и того же витка, но это нетехнологично, т.к. требуется их раздельная обработка.

В таблице 2 приведены варианты высокопроизводительной обработки червяков торцовыми резцовыми головками и шлифовальными кругами [11], которые адекватны

установкам для обработки конволютых червяков, соответственно: ZT_3 и ZH_{10} – по нормали к витку, ZT_4 и ZH_{11} – по нормали ко впадине витка, ZT_5 и ZH_{12} – по нормали к боковым сторонам витка (наиболее близкий к профилю витка в осевом сечении) Для торцовых шлифовальных кругов воспроизведение последнего варианта технологически сложно, поэтому приведены 2 варианта: ZT_5 и ZH_{13} – по нормали к витку червяка, ZT_6 и ZH_{14} – по нормали ко впадине (более предпочтительный вариант).

Для смещения заднего центра на заданную величину $\pm h_ц$, которая зависит от угла $\pm\omega_\omega$ наклона витков и длины $l_ц$ червяка, предпочтительно использовать специальные приспособления с перемещаемым на величину заданного размера задним центром.

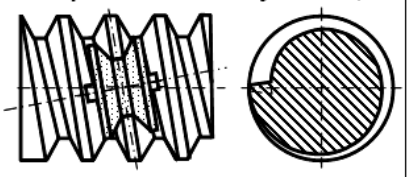
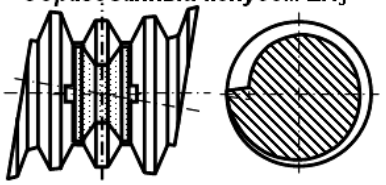
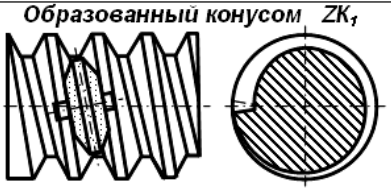
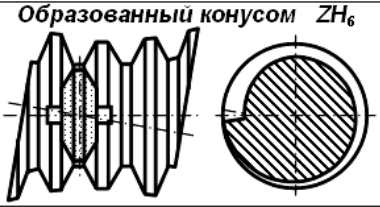
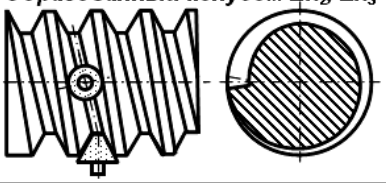
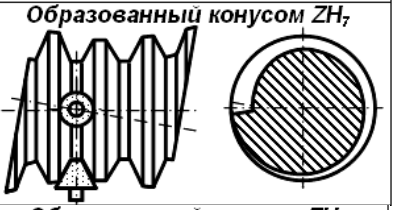
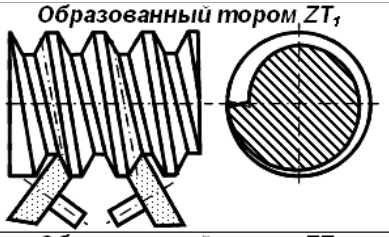
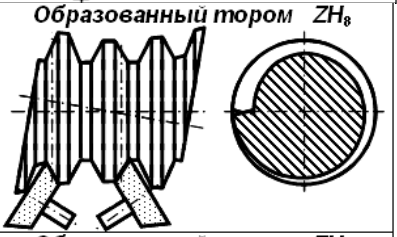
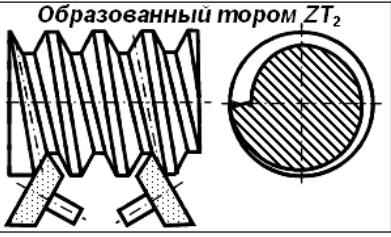
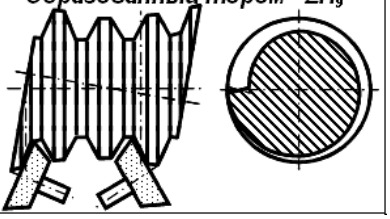
Таблица 1. Схемы формообразования основных типов червяков, нарезаемых лезвийными инструментами

Основные типы червяков, нарезанных лезвийными инструментами	
Цилиндрические червяки	**Гиперболоидные червяки**
Архимедов ZA 	–
Конволютый ZN_1 	**Гиперболоидный ZH_1** 
Конволютый ZN_2 	**Гиперболоидный ZH_2** 
Конволютый ZN_3 	**Гиперболоидный ZH_3** 
Эвольвентный ZI 	?

Учитывая, что современные методы повышения работоспособности червяков в стандартных одно- четырехзаходных редукторах, вывели их из разряда лимитирующих, поэтому реально внедрение гиперболоидных червячных передач, повышающих эти показатели на 5…20%, возможно лишь в том случае, когда их стоимость не будет

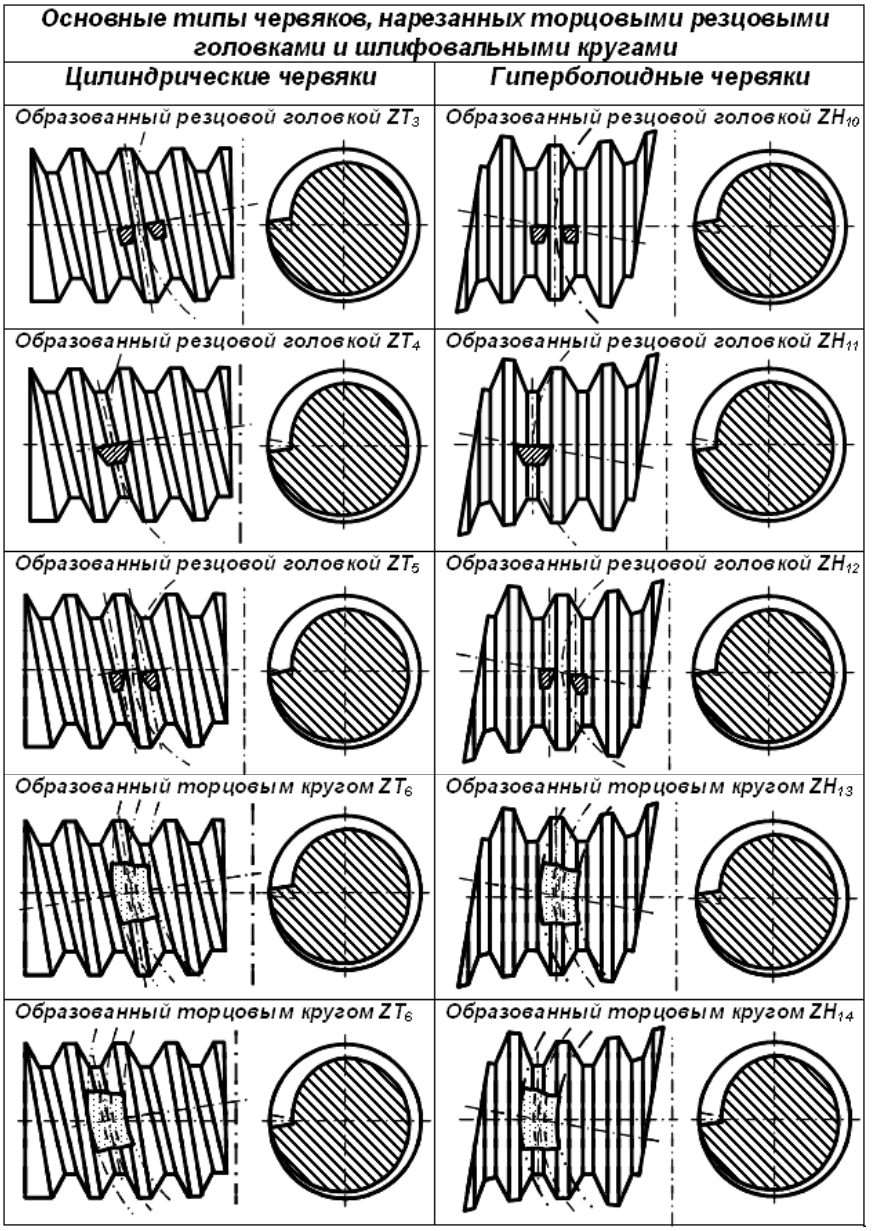
существенно отличаться от цилиндрических. Предлагаемые технологии обеспечивают такую возможность, что позволяет заменить все выпускаемые одно- четырехзаходные цилиндрические червячные передачи гиперболоидными, уже в настоящее время, в кратчайшие сроки.

Таблица 2. Схемы формообразования основных типов червяков, нарезаемых шлифовальными кругами инструментами

Основные типы червяков, нарезанных шлифовальными кругами	
Цилиндрические червяки	Гиперболоидные червяки
Образованный конусом ZK_1 	Образованный конусом ZH_5 
Образованный конусом ZK_1 	Образованный конусом ZH_6 
Образованный конусом ZK_2, ZK_3 	Образованный конусом ZH_7 
Образованный тором ZT_1 	Образованный тором ZH_8 
Образованный тором ZT_2 	Образованный тором ZH_9 

Аналогичные варианты перехода от цилиндрических к гиперболоидным червякам возможны при производстве червячных зуборезных инструментов – червячных фрез, шеверов и шлифовальных кругов. При этом обеспечивается возможность увеличения точности обрабатываемых ими зубчатых колес, что особенно важно при 4 - 3-й степени их точности, поэтому они также могут быть рекомендованы в качестве высокоточных зуборезных инструментов АА и ААА классов точности.

Таблица 3. Высокопроизводительные схемы формообразования основных типов червяков



Выводы

Учитывая, что возможности повышения качественных показателей современных червячных передач и червячных зуборезных инструментов в основном исчерпаны, получение преимуществ, при переходе к гиперболоидным червячным передачам и червячным зуборезным инструментам, обеспечивает реальный резерв. Предложенный способ обработки, со сдвигом заднего центра, несущественно усложняет технологию их изготовления, поэтому может быть рекомендован производителям и пользователям данной продукции для замены всех 1-4-х заходных цилиндрических червячных передач и червячных зуборезных инструментов гиперболоидными, уже в ближайшем будущем.

Список литературы:

1. Витренко А.Н., Витренко В.А., Зуй Б.С. и др. Повышение качества изготовления зубьев при обработке многозаходным инструментом //Современные

проблемы машиностроения и технический прогресс. Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Донецк: ДонГТУ, 1996. -с. 41-42.

2. Патент Российской Федерации на изобретение № 2200262, МПК B23 F 21/16. Червячная передача, способ ее изготовления, оборудование и инструмент для его осуществления. Автор изобретения В,А. Настасенко. Заявка № 98116838/28 от 08.09.98. //БИ 2003. № 7 от 10.03.03.

3. Nastasenko V.A. Development of perspective designs of worm teeth cut ting tools and methods of their designing. //4th World Congress on Gearing and Power Trans-mission – Paris, France: M.C.I. 1999. T1. -p.507-514.

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. Проекты модернизации червячных фрез и зуборезных станков – Мир Техники и Технологий. Междунар. техн. ж. 2006. № 11. -с.62-65.

6. Настасенко В.А., Дубовик Ю.А. Новые станки для обработки гиперболоидных червячных передач /Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XV Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк: ДонНТУ, 2008, Т3. -с. 4-9.

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. Настасенко В.О. Гіперболоїдні зубчасті передачі та інструменти, нові варіанти виготовлення і можливості використання /Машиностроение и техносфера XXI века. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк: ДонНТУ, 2011. –с. 240 – 247.

9. Настасенко В.О. Удосконалення виробництва гіперболоїдних зубчастих передач та черв'ячних зуборізних інструментів //Надежность инструмента и оптимизация технических систем. Сборник научных работ – Краматорськ: ДДМА, Випуск 30, 2012. - с.226-232.

10. Производство зубчатых колес Справочник /С.Н.Калашников, А.С.Калашников, Г.И.Коган и др. Под общ.ред. Б.А.Тайца. - М: Машиностроение, 1990, с. 13-16.

11. Игнатьев В.И., Настасенко В.А. Винтовая поверхность червяков, обработанная чашечным шлифовальным кругом или торцовой резцовой головкой. //Исследования в области станков и инструментов. Науч. труды Сарат. политехн. ин-та. Вып. 71. – Саратов: СПИ. 1974. -с.73-77.

Надійшла до редколегії 16.06.2012 р.

В.О. Настасенко

ОСНОВНІ ТИПИ ГІПЕРБОЛОЇДНИХ ЧЕРВ'ЯКІВ І СПОСОБИ ЇХ ВИРОБНИЦТВА

Робота відноситься до області деталей машин, зокрема – до зубчатих і черв'ячних передач, а також до інструментального виробництва, зокрема – до черв'ячних зуборізних інструментів, та до всіх галузей машинобудування, де вони виробляються і експлуатуються. Запропоновані найбільш прості технологічні процеси отримання гіперболоїдних основних черв'яків і розглянуті їх типи.

Ключові слова: *зубчаті і черв'ячні передачі, гіперболоїдні черв'ячні передачі, черв'ячні фрези, шевери і шліфувальні круги, основні типи черв'яків.*

V.A. Nastasenko

THE BASIC TYPES OF HYPERBOLOID WORM SCREWS AND MODES OF THEIR MANUFACTURE

The article deals with the area of parts of machines, in particular - to the toothed and worm gears, and also to the toolhouse manufacture, in particular - to worm toothed instruments, and to all branches of machine industry where they are fabricated and operated. The simplest master schedules of deriving hyperboloid basic worm screws are offered, and their types are considered.

Keywords*: h-pole serrated and worm gears, hyperboloid worm gears, worm hobs, shavers and wheels, the basic types of worm screws.*