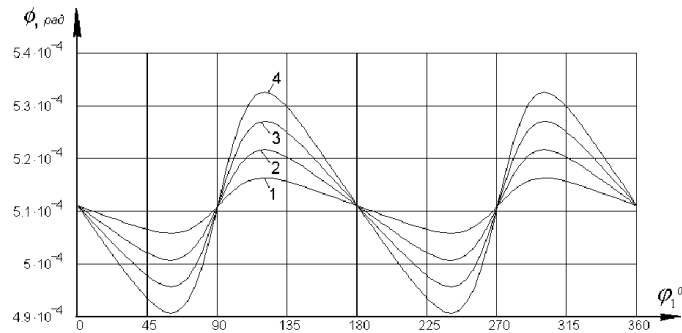


1 –  $\omega_1 = 5$  рад/с, 2 –  $\omega_1 = 50$  рад/с, 3 –  $\omega_1 = 100$  рад/с, 4 –  $\omega_1 = 150$  рад/с  
Рисунок 2 – Графік зміни частоти крутильних коливань за один повний оберт ведучого колеса при  $u = 3$ ,  $B = 1,5$  мм і різних значеннях кутової швидкості ведучого колеса  $\omega_1$



1 –  $B = 0,5$  мм, 2 –  $B = 1$  мм, 3 –  $B = 1,5$  мм, 4 –  $B = 2$  мм  
Рисунок 3 – Графік зміни кута закручування вала за один повний оберт ведучого колеса при  $u = 3$ ,  $\omega_1 = 50$  рад/с і різних значеннях коефіцієнта  $B$

лими зубчастими колесами. Тому вважаємося, що характер зміни частот крутильних коливань валів з некруглими зубчастими колесами буде підкорятися загалом закону зміни передатного відношення.

Показано залежність цих параметрів крутильних коливань від кута обертуючого колеса, а тобто від параметрів функції передатного відношення. Змінний характер частоти і періоду цих коливань на відміну від частоти і періоду власних коливань системи вказує на можливість використання цих передач для зниження їх віброактивності, що дозволить знизити шум та вібрації приводів з зубчастими передачами. Отримані результати можуть використовуватися для вибору параметрів передач із асиметричною передатною функцією для заданих параметрів приводу при проектуванні невисокошвидкісних редукторів зі зниженою віброактивністю.

**Список літератури:** 1. Декларційний патент на корисну модель № 18111 МПК В65G 23/00. Зубчастий редуктор / Утупов М.Л., Носко П.Л., Карпов О.П., Лустін П.Є. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Дала. Заявл. 26.05.2006. Опубл. 16.10.2006. Бюл. №10. 2. Утупов М.Л., Карпов О.П. Центроїди та їхні основні параметри передач з кососиметричною функцією передавального відношення // Зб. наук. пр. Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. Вип.4. – Львів: Автобус, 2000. – С.104-107. 3. Карпов А.П. Определение коэффициента неравномерности

движения механизма из некруглых кососимметричных зубчатых колес // Вестник нац. техн. ун-та "ХПИ". – Вып.40. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – С.146-150. 4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. – 640с. 5. Утупов Н.Л., Карпов А.П. О нахождении постоянных коэффициентов в функциях передаточных отношений передач некруглыми зубчатыми колесами // Вестник нац. техн. ун-та "ХПИ". – Вып.10 – Харьков: НТУ "ХПИ", 2001. – С.71-76. 6. Литвин Ф.Л. Некруглые зубчатые колеса. Проектирование, теория зацепления и производство. М-Л.: Машгиз, 1956. – 312с. 7. Вибрации в технике. Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. – 544с., ил.

Надійшла (received) 05.02.2014

УДК 621.833.002:621.9

**С.Г. КИРИЧЕНКО**, аспирант кафедри ТМ і інженерного консалтинга ВНУ імені В. Дала, Луганск

### ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ФРЕЗ

В статье рассматривается технология изготовления гиперболоидных фрез. Сложнейшая операция затылования упраздняется за счет получения витков фрезы на однополостном гиперболоиде. В результате получается автоматическая затыловка за счет уменьшения диаметров в направлении движения от торца гиперболоида к горловому сечению, что ведет к автоматическому утонению витков искомой фрезы.

**Ключевые слова:** гиперболоидная фреза, технология, изготовление, зубчатые колеса, затылование.

**Введение.** Нарезание зубьев колес и инструментов на цилиндрических заготовках производят копированием или обкаткой. Основное применение имеет обкатка, как наиболее точный и производительный способ обработки зубчатых колес и лезвийных инструментов, имеющих режущие зубья. По этому методу зубья нарезают инструментом в виде рейки, червячной фрезой, долбяком, обкаточным резцом.

Независимо от того, предназначены ли нарезаемые таким образом колеса для передач плоских или же пространственных, сам процесс нарезания во всех обычных кинематических схемах обкатки характеризуется параллельностью или скрещиванием осей нарезаемого колеса и инструмента.

При этом режущий инструмент (фреза, долбяк, обкаточный резец) подается вдоль прямолинейной образующей цилиндрической заготовки для колеса или инструмента. При этом производящие поверхности имеют линейный характер касания при параллельных осях и точечный характер (кроме обработки червячной фрезой) при скрещивающихся осях при сопряженных эвольвентных зубьях.

Для получения высококачественного зацепления передачи, необходимо, чтобы червячная фреза по своим размерам и профилю соответствовала основному червяку, с которым должно работать нарезаемое ею зубчатое колесо. Это происходит при переточке только один раз, когда основное сечение фрезы геометрически совпадает с основным червяком. Уменьшение начального цилиндра приводит к тому, что после каждой переточки меняется форма передней поверхности и форма производящего червяка. Вследствие этого для получения заданной формы зубчатой детали каждая режущая кромка фрезы как линия пересечения передней и задней поверхностей, после каждой переточки должна иметь различную форму.

Если одноименные точки режущих кромок соединить линиями, то задняя поверхность фрезы определяется сетью координатных линий, составлен-

© С.Г. Кириченко, 2014

ных из режущих кромок, форма которых различна, и линий, соединяющих одноименные точки кромок также различны. Получить необходимую форму задней поверхности каким-либо затылюющим инструментом при линейном контакте, получить нельзя. Необходимо переходить на гиперболическую червячную фрезу, в которой будет отсутствовать затыловка.

**Постановка задачи.** В настоящее время в технике широко применяют винтовые передачи, начальными поверхностями которых являются цилиндры, заменяющие часть поверхности гиперboloида, симметрично расположенную относительно горлового сечения. В винтовых передачах касание боковых поверхностей сопряженных зубьев происходит не по линии, а в точке. Поэтому профили зубьев в винтовых передачах испытывают большие давления и быстро изнашиваются. Концентрация передаваемой окружной силы в одной точке исключает возможность их применения для тяжело нагруженных передач. Поэтому они применяются в передачах с небольшими крутящими моментами (в кинематических цепях делительных механизмов, в цепях холостых ходов станков, в приборах и т.д.). Отсюда перед исследователями стоит непростая задача, заключающаяся в том, чтобы в винтовой передаче получить линейный контакт и тем самым передавать значительные нагрузки. С этой целью необходимо создать передачу, состоящую, например, из цилиндрического прямого или косозубого колеса с эвольвентным профилем и гиперболического колеса, в которых будет реализован линейный контакт.

Для этого необходимо разработать принципиально новую технологию обработки зубьев новыми инструментами на однополостных гиперболических.

**Профилирование фрезы.** При изготовлении гиперболической червячной фрезы цилиндрической обкатной инструмент (рейка) перемещается по прямолинейной образующей гиперболической, которая лежит ниже оси вращения гиперболической [1].

При этом передняя режущая грань гиперболической фрезы или инструментальной режущей рейки всегда должна совпадать с прямолинейной образующей однополостного гиперболического. В результате искомая гиперболическая фреза не затылуется (см. рисунок 1).

Обкаточный резец (рисунок 1, а), можно заменить на инструментальную рейку (резец) – рисунок 1, б. Обработку гиперболических поверхностей на токарных станках, можно произвести следующим способом.

Способ заключается в том, что задняя бабка смещается вертикально вверх на величину  $h$ . Вследствие этого ось заготовки образует определенный угол  $\alpha$  с осью центров, а резец при своем движении обтачивает гиперболическую поверхность. Из схемы видно, что

$$h = (L(D-d)/2l) \cos \alpha.$$

Рассмотрим фрезу с углом наклона прямолинейной образующей однополостного гиперболического ( $\gamma = 8^\circ$ ). Угол выбирает технолог при расчете гиперболической фрезы. Подача выбирается из таблицы станка, например 5 мм/об. Тогда из рисунка следует  $h = L \sin 8^\circ = 246,1 \cdot 0,1392 = 34,26$ . Найдем модуль нормальной гиперболической фрезы с большего торца  $m_n = S \cdot \pi = 5 \cdot 3,1495 = 1,5924$ .

Найдем модуль фрезы в торцовом сечении:  $m_t = m_n \cdot \cos 82^\circ = 11,4397$ .

Найдем диаметр гиперболической фрезы в большем торце:  $d_d = q m_t = 91,52$ ;  $d_a = d_d + 2,5 m_n = 95,5$ .

Тогда  $h = (L(D-d)/2l) \cos \alpha$ ;  $d = 78,6$ .

Из приведенных чертежей следует, что прямолинейная образующая однополостного гиперболического находится на расчетном расстоянии  $h$  от гори-

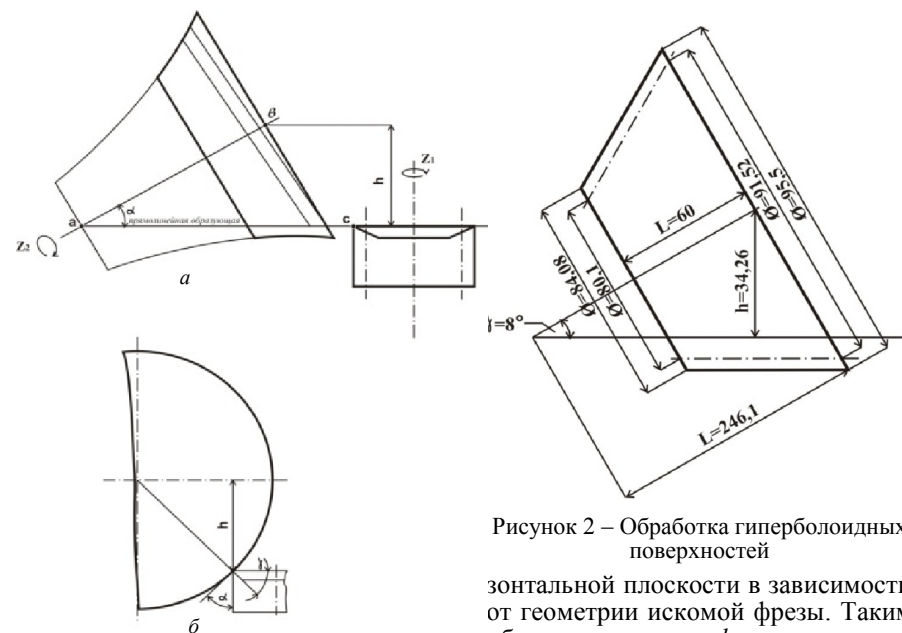


Рисунок 1 – Изготовление гиперболической червячной фрезы

$\alpha = 10-12^\circ$  и более без применения затыловки. При этом передний угол  $\gamma$  может принимать значения от  $-30^\circ$  до  $+30^\circ$  в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости. Это объясняется тем, что проекция передней режущей грани на торцевую плоскость не будет меняться из-за отсутствия операции затылования. Что касается боковых задних углов в гиперболических фрезах, то они будут появляться за счет автоматического уменьшения диаметров фрезы в направлении от большего торца к горловому сечению. Величина этих диаметров будет уменьшаться тем больше, чем цепь подъема гиперболического витка будет приниматься больше, и чем большее количество заходов будет приниматься. Таким образом, в гиперболической червячной фрезе получены боковые задние углы больше в 2, 3, 4, 5 раз от углов  $3-4^\circ$ , которые получают в фрезах в настоящее время на машиностроительных заводах мира. Из-за малых задних углов на боковых режущих кромках процесс резания протекает в тяжелых условиях при резком снижении стойкости инструмента. В предлагаемых гиперболических фрезах этот недостаток устранен.

Кинематическая пара, смонтированная на скрещивающихся осях, когда одно зубчатое колесо является цилиндрическим, а второе, сопряженное с ним должно быть осуществлено на однополостном гиперболическом. Однако, в теории зубчатых передач и инструментов, а также на практике не удается осуществить зубчатое колесо и обкатной инструмент на однополостном гиперболическом из-за кажущейся сложности. Это объясняется тем, что исследователи получают зубья на однополостном гиперболическом при помощи пальцевой фрезы, которая подается вдоль прямолинейной образующей. При этом гиперболический получают вращением прямолинейной образующей вокруг оси вращения. В

Рисунок 2 – Обработка гиперболических поверхностей

горизонтальной плоскости в зависимости от геометрии искомой фрезы. Таким образом, величина  $h$  может принимать значения от нуля до необходимой величины, чтобы получить

**Ю.М. КОРОВАЙЧЕНКО**, к.т.н., доц., директор департаменту вищої освіти МОН, Київ;  
**Е.В. НАДЄІНА**, здобувач Кіровоградського національного технічного університету

### ПРОФІЛЮВАННЯ РІЗЦІВ ЗУБОРІЗНИХ ГОЛОВОК ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБ'ІВ ПЛОСКИХ КОЛІС НАБЛИЖЕНОЇ СПІРОЇДНОЇ ПЕРЕДАЧІ

Експериментальні дослідження кінематики спіроїдної наближеної передачі і розмірів контактної зони на поверхні зуб'їв спіроїдного колеса свідчать про те, що такі передачі можуть мати достатньо високі технічні характеристики. Враховуючи це, а також те, що ці передачі технологічніші за класичні спіроїдні, в статті приведені залежності для уточнення розмірів профілю різців.

**Ключові слова:** наближене зачеплення, зуборізна головка, профіль різця

**Вступ. Актуальність задачі.** Класичні циліндричні спіроїдні передачі в порівнянні з передачами черв'ячними при однаковій міжвісьовій відстані теоретично мають в 2-2,5 рази більше навантажувальну здатність. Але цей показник циліндрична спіроїдна передача буде мати у випадку виконання її ланок – спіроїдних черв'яка і колеса – без похибок. Особливо впливають на її навантажувальну здатність такі похибки спіроїдного колеса, як похибки кроку зуб'їв, їх профілю, кута нахилу і форми лінії зуба. Для усунення цих похибок спіроїдну пару притирають або в корпусі редуктора, або на спеціальних притирочних верстатах.

Ці недолки напряму пов'язані із формоутворенням бокових (робочих) поверхонь витків спіроїдного черв'яка і зуб'їв спіроїдного колеса за другим способом Олів'є-Гохмана [1]. Стосовно до спіроїдних передач суть другого способу Олів'є-Гохмана полягає в тому, що плоске спіроїдне колесо нарізують спіроїдною черв'ячною фрезою, яка є копією спіроїдного черв'яка, що утворює з оброблюваним колесом передачу.

Якщо зважити на те, що спіроїдні черв'ячні фрези, особливо багатовиткові, складні у виготовленні і експлуатації, що зубофрезерні верстати потребують модернізації для їх використання, то спрощення способу формоутворення зуб'їв плоских коліс спіроїдних передач і верстатно-інструментального його забезпечення є актуальною задачею, розв'язок якої сприятиме розповсюдженню спіроїдних передач у машинобудуванні.

**Аналіз досліджень і літератури.** Дослідженню властивостей спіроїдних передач присвячено багато наукових робіт. Однією з особливостей цих досліджень є те, що висновком майже всіх досліджень є твердження про те, що зробити спіроїдну передачу майже нечутливою до різноманітних похибок [5]. Але такі передачі, якщо їх не притирати, не є спряженими, бо спіроїдне колесо оброблюється черв'ячною фрезою, яка не є копією парного до оброблюваного колеса черв'яка. Спосіб, запропонований в [6], також не дозволяє отримати спряжену спіроїдну пару і може бути застосований тільки для спіроїдних конічних коліс. Але позитивним в цьому способі є те, що для нарізування застосовується такий самий інструмент і верстат, як і для нарізування конічних коліс гіпоїдної передачі.

Аналіз вказаних та аналогічних досліджень показав, що відмова від другого способу Олів'є-Гохмана формоутворення активних поверхонь зуб'їв плоского спіроїдного колеса сприяє підвищенню технічного рівня спіроїдної передачі.

Так, дослідженнями [7] показано, що наближена спіроїдна передача з локалізованим контактом практично нечутлива до похибок виготовлення спіроїдного ко-

© Ю.М. Коровайченко, Е.В. Надєїна, 2014

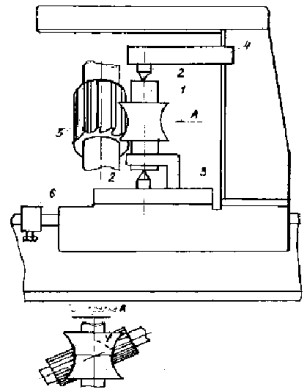


Рисунок 3 – Спосіб обробки зовнішніх поверхонь однополостних гіперболоїдів

в цьому випадку отримується канонічний гіперболоїд  $x^2/a^2 + y^2/b^2 - z^2/c^2 = 1$ .

Лабазов Н.П. в "Способе обработки наружных поверхностей однополостных гиперболоидов" попытался реалізувати запропоновану схему утворення однополостного гіперболоїда за допомогою циліндричної фрези.

З рисунка 3 видно, як відбувається обробка однополостного гіперболоїда. Принциповий недолік запропонованого способу: кожен діаметр фрези 2 буде виготовляти свій гіперболоїд при одному діаметрі горлового сечення.

Також з рисунка 3 видно, що між заготовкою 1 і фрезою 2 виникає відносна швидкість ковзання  $V^{(12)}$ , направлена вздовж режущих лезвий фрези. Тому задовільне різання в цьому випадку не відбувається.

В дослідженні запропоновано замінити циліндричну фрезу на циліндричний обкатний різець або токарний різець. Передню грань розмістити по прямолиній образуючій однополостного гіперболоїда (рисунк 1).

Звичайно обробка зовнішніх поверхонь однополостних гіперболоїдів виконується на токарних станках по копірам.

#### Висновки:

1. Гіперболоїдні обкатні інструменти не затупляються і остро не заточиваються, так як пряма, яка скрещується з осью обертання гіперболоїда відходить від нарізаємої поверхні впадини циліндричного колеса, образує задні кінематичні кути черв'ячних фрез.

2. Передня режуща грань гіперболоїдних черв'ячних фрез завжди знаходиться на більшому торці. При використанні правого або лівого торця однополостного гіперболоїда, обертання реверсується.

3. Показано, що передня режуща грань в гіперболоїдних фрезах може бути будь-якою і розташовуватися під кутом в залежності від оброблюваного матеріалу і його твердості. В результаті зусилля різання можна зменшити приблизно в два рази, то є знизити споживану потужність.

4. Режуща кромка на гіперболоїдній фрезі може приймати як просту, так і складну геометричну форму. Але так як ця кромка знаходиться не на заточеному і остро заточеному поверхні, то її проекція на торець не змінює свою теоретичну точність.

5. Швидкість переміщення режущих кромок гіперболоїдних фрез, впливаюча на зусилля різання, в основному залежить від кута скрещування осей колеса і інструмента. Розглядаєма швидкість в меншій мірі залежить від кількості оброблюваних зуб'їв.

**Список літератури:** 1. Кириченко І.А. Створення гіперболоїдних передач з лінійним контактом зуб'їв на базі спеціальних режущих інструментів: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.02. – Луганськ, 2004. – 350с. 2. Родін П.Р. Основи формоутворення поверхонь різанням: [учеб. пос. для мех. спеціальностей вузів]. – К.: Вища школа, 1977. – 192с. 3. Кириченко І.А. Інструмент для обробки зуб'їв циліндричних коліс методом зуботочення // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХГПУ, 2000. – Вип.89. – С.115-119.

Поступила (received) 30.03.2014