

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**На правах рукопису
УДК 621.91.02**

**Вітренко Володимир Олексійович,
кандидат технічних наук, доцент**

**ГІПЕРБОЛОЇДНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ОБРОБКИ
І ОБЛАДНАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПРЯМОЗУБИХ
ЗУБЧАТИХ КОЛІС**

**Спеціальність: 05.03.01 - Процеси механічної і фізико-
технічної обробки, верстати та інструменти**

**А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук**

6011. +
Дисертація 6 рукопис.

Робота виконана
державному

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761269 (V)

Науковий консультант:

доктор технічних наук,
професор

Коняєв

Олексій Миколайович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
професор

Родін

Петро Родіонович

доктор технічних наук,
професор

Тернюк

Микола Емануїлович

доктор технічних наук,
професор

Грибанов

Віктор Михайлович

Ведуча організація

ВО Луганський верста-
тобудівний завод

Захист відбудеться "16" 10 1995р. в 14⁰⁰ годин на засі-
данні спеціалізованої Ради 201.02.09 в національному
політехнічному університеті України за адресою: 252056,
г. Київ, пр. Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці КНУ.

Автореферат розісланий "12" вересня 1995р.

Учений секретар спеціалізованої Ради

доктор технічних наук, професор

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Равська Н.С.

АНАТАЦІЯ

Дана робота присвячена обробці і обладнанню циліндричних зубчатих коліс за допомогою зубооброблюючого інструмента, заснованого на схемах формоутворення третього класу. Розроблені нові способи виготовлення коліс і інструментів, а також способи обробки їх поверхней в просторовому верстатному зацепленні. Визначені основні геометро - кінематичні показники процесу виготовлення і обладнання зубчатих коліс за допомогою розроблених гіперболоїдних інструментів, які впливають на якість обробки поверхні. Задні кути у такому інструменті не передбачаються, їх одержують кінематично у процесі виготовлення зубчатих коліс.

АВТОР ЗАХИЩАЄ

- Метод одержання в аналітичному виді за допомогою циліндричного прямозубого колеса в просторовому верстатному зацепленні поверхней зубців (витків) гіперболоїдної інструментальної поверхні.
- Аналіз геометро - кінематичних параметрів процесу нарізання і обладнання циліндричних прямозубих коліс за допомогою розроблених гіперболоїдних інструментів.
- Нові засоби виготовлення гіперболоїдних: фрез, обкатних різців, шліфувальних кругів, шеверів на серійних зубофрезерних і шліфувальних верстатах.
- Засіб аналітичного одержання розрахунку задніх кінематичних кутів більших 10° , одержуваних при обробці зубців коліс за допомогою гіперболоїдних інструментів.
- Методику розрахунку геометро - кінематичних показників процесу обробки зубців за допомогою гіперболоїдного інструменту, яка виявляє працездатність інструмента ще на стадії проектування.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність проблеми. Зубчаті колеса - один із самих масових типів деталей в машинобудуванні. Виробництво зубчатих коліс в ССР доаягло величезних масштабів - їх річний випуск нараховується сотнями мільйонів штук. Більше половини всіх виготовлених циліндричних зубчатих коліс нарізається за допомогою зуборізних інструментів, заснованих на схемах формоутворення другого класу. Вартість виготовлення коліс за допомогою таких інструментів надто висока, тому що інструмент є складним і коштовним перш за все із-за операцій затилювання і заточування.

Тому інтерес дослідників, проектувальників і конструкторів до зуборізних інструментів, заснованих на схемах формоутворення третього класу, не випадковий. Він пояснюється загальним прагненням збільшити продуктивність і якість обробки прямиозубих циліндричних зубчатих коліс.

Зуборізні інструменти, засновані на схемах формоутворення третього класу, за правилами теоретичної механіки, теорії механізмів і машин та багатьох досліджень зумовлені здійснюватись на заготовках виду "однополосного гіперболоїда". Однак, на сьогодні ні теоретично, ні практично дослідникам і виробничникам виготовити такі інструменти не вдається. Тому інструменти, що виготовляються у вигляді черв'ячних фрез, шеверів, хонів, обкатних різдів, накатників, шліфувальних кругів і інше, що розглядаються, здійснюють на циліндричних заготовках, а це призводить до окривлювання зубчатих коліс і пониження продуктивності при обробці.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена розв'язанню важливої проблеми і має надзвичайно велике народно - господарське значення.

МЕТА РОБОТИ. Розробка і практична реалізація нових засобів виготовлення і обробки зубців зубчатих коліс в просторовому верстатному зачепленні зуборізними інструментами, заснованими на схемах формоутворення третього класу.

НАУКОВА НОВИЗНА. В дисертаційній роботі:

1. Аналітично одержано в просторовому верстатному зачепленні гіперболоїдні інструменти типу: фрези, обкатні різці, шевери, шліфувальні круги, хони, накатники, притири.
2. Вперше на практиці здійснений принциповий відхід від традиційної схеми виготовлення перерахованих вище інструментів, коли осі паралельні; до схеми, коли осі схрещуються.
3. Розроблена геометро - кінематична теорія процесу виготовлення і обробки циліндричних прямозубих зубчатих коліс за допомогою розробленого гіперболоїдного інструмента.
4. Визначені геометро - кінематичні параметри процесу виготовлення і остаточної обробки гіперболоїдного інструмента за методом обгинання з одним і двома параметрами.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ. В роботі розв'язувались такі задачі:

1. Визначення поверхні зубців (витків) гіперболоїдної інструментальної поверхні в аналітичному вигляді за допомогою циліндричного прямозубого колеса в просторовому верстатному зачепленні.
2. Одержання як огиналчих одно- і двопараметричної сім'ї поверхней рівняння інструментів.
3. Визначення в аналітичному виді профілю і розмірів гіперболоїдного інструмента.
4. Дослідження геометро - кінематичних параметрів процесу нарізання і обробки циліндричних прямозубих зубчатих коліс за допомогою гіперболоїдного інструмента.
5. Розробка нових засобів виготовлення гіперболоїдних фрез, обкатних різців, шліфувальних кругів, шеверів, хонів, накатників на серійних зубофрезерних і шліфувальних верстатах.
6. Розробка методів нарізання зубців (витків) гіперболоїдних інструментів інструментальним прямозубим циліндричним колесом і дисковим інструментом.
7. Розв'язання питання шліфування гіперболоїдних інструментів в просторовому верстатному зачепленні за допомогою циліндричного шліфувального круга, заправленого

за евольвентою.

8. Знаходження засобів нарізання і шліфування гіперболоїдних інструментів на існуючому серійному обладнанні без застосування складних пристроїв.

9. Одержання аналітичних виразів, що дозволяють синтезувати кінематичні схеми формоутворення інструментальних поверхней при сполученні двох обертань навколо схрещуваних осей циліндра і тіла виду "однополосний гіперболоїд".

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ. Розроблена геометро - кінематична теорія обробки зубчатих коліс за допомогою спроектованого інструмента дає змогу прогнозувати геометричні характеристики інструмента і його працездатність ще на стадії проектування.

Відпрацьовані технології виготовлення і остаточної обробки фрез, обкатних різців, шеверів, шліфувальних кругів, хонів, накатників за допомогою стандартного ріжучого інструмента на стандартному устаткуванні.

РЕАЛІЗАЦІЯ НАУКОВО - ПРАКТИЧНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.

Розроблена методика визначення геометрії гіперболоїдного інструмента для виготовлення і остаточної обробки циліндричних прямозубих зубчатих коліс є універсальною і може бути використана на будь-якому машинобудівельному підприємстві.

Розроблений пакет програм по розрахунку і конструюванню гіперболоїдних інструментів для зубонарізання і остаточної обробки циліндричних зубчатих коліс може використовуватись на машинобудівних підприємствах, науково - дослідних, учбових лабораторіях з метою одержання оптимальної геометрії і кінематики шуканих інструментів.

Результати досліджень і пакет програм використовувались при виконанні госдоговорів "Розрахунок і проектування гіперболоїдних фрез оптимальної конструкції з $m = 3,75$ мм для виготовлення деталі 740 - 1005125" на АО "КАМАЗ" у 1992р., а також при обробці зубчатих коліс для тракторів на ВО Луганський верстатобудівний завод за допомогою шестизахідних гіперболоїдних фрез. Це дозволило підвищити продуктивність нарізання зубців циліндричних коліс і довговічність

інструмента в два рази.

За допомогою розробленої технології на верстатобудівному заводі в інструментальному виробництві виготовлені опробні багатозахідні фрези. Такі фрези не вимагають виконання багатокштовної операції затилування, тому трудомісткість їх виготовлення скорочується приблизно в два рази. При виготовленні таких фрез реалізовані розроблені методи обробки їх поверхней, захищених патентами Російської Федерації № 1797531, № 1819196, RU № 2009752.

АПРОБАЦІЯ РОЄСТИ. Основні результати виконаної роботи доповідались і одержали схвалення на Всесоюзних, міжнародних і республіканських науково - технічних конференціях: "Створення локомотивів великої потужності і підвищення їх технічного рівня" (м. Ворошиловград, 1981р.); "Створення і технічне обслуговування локомотивів великої потужності" (м. Ворошиловград, 1985р.); "Підвищення ресурсу вузлів тертя, працюючих в екстремальних умовах" (м. Перм, 1986р.); "Перспективні спрямування створення нових і вдосконалення існуючих конструкцій важковантажних редукторів і прогресивна технологія їх виготовлення" (м. Краматорськ, 1987р.); "Теорія реальних передач зачеплюванням" (м. Курган, 1988р.); "Забезпечення надійності і тривалості зубчатих передач на стадії проектування і виготовлення" (м. Харків, 1988р.); "Вдосконалення методів розрахунку, конструювання і зубообробки циліндричних і конічних зубчатих, спіроїдних, гіпоїдних та черв'ячних передач" (м. Іжевськ, 1989р.); "Досвід галузей машинобудування і наукові досягнення - виробництву тракторів і сільгоспмашин" (м. Харків, 1989р.); "Досвід досліджень, проектування, виготовлення і експлуатації зубчатих передач Новікова" (м. Рига, 1989р.); "Зубчаті передачі: сучасність і прогрес" (м. Одеса, 1990р.); "Наукові досягнення і досвід галузей машинобудування - народному господарству" (м. Харків, 1990р.); "Наукові досягнення і досвід галузей машинобудування народному господарству. Проблеми міцності, надійності і довготривалості зубчатих передач та редукторів" (м. Харків, 1991р.); "Проблеми розвитку локомотивобудування" (Крим,

1993р.); "Проблеми зубчатих передач і редукторобудування" (м. Харків, 1993р.); "Проблеми якості і надійності машин" (м. Могилев, 1994р.); "Нові технології і системи обробки в машинобудуванні" (м. Донецьк, 1994р.).

ПУБЛІКАЦІЇ. За матеріалами дисертаційної роботи надруковано тридцять шість робіт, з них - одна монографія і три патенти на винаходи.

СТРУКТУРА І ОБСЯГ РОБОТИ. Дисертаційна робота складається із вступу, восьми частин, висновку, переліку літератури із ста сімдесяти дев'яти назв, дсповнення.

Робота складається із трьохсот сімдесяти трьох сторінок друкованого тексту, сімдесяти п'яти малюнків, однієї таблиці.

Основні результати, представлені в дисертації, одержані автором самостійно.

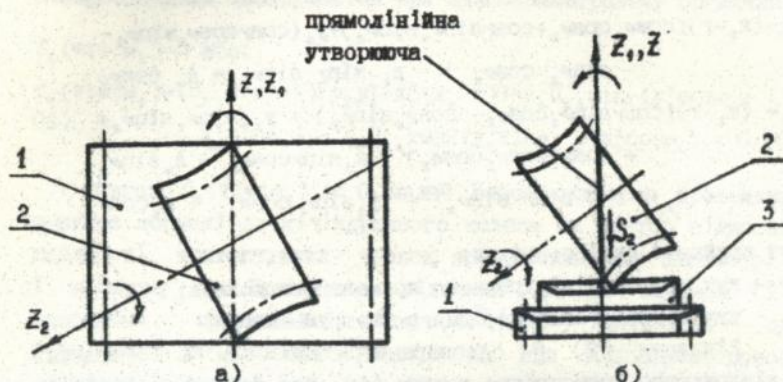
З М І С Т _____ Р О Б О Т И

У вступі обґрунтовується актуальність проблеми, сформульована мета роботи, стисло описується її структура. Відзначається, що в розвиток проблеми, котра розглядається в дисертації, великий внесок здійснили вітчизняні вчені.

У першому розділі розглядається становище, що склалося в галузі виготовлення інструменту, а також нарізка і обробка зубців циліндричних зубчатих коліс при допомозі цих інструментів. Показано, що інструменти, використані для зуботочення і "скайбінг - процесу", а також шевери, обкатні різці отримують у плоскому вертатному зачепленні на циліндричних заготовках. Всі вище згадані інструменти працюють в просторовому вертатному зачепленні. Таке становище призводить до використання для обкатних різців дуже складного профілювання і затилування, а шевер повинен працювати при вільній обкатці з мінімальними припусками.

Друга частина присвячена синтезу гіперболічних інструментів (фрез, обкатних різців, шліфувальних кругів) в

просторовому верстатному зачеплюванні. Схема дослідженого автором процесу виготовлення інструменту на заготовках виду "однополюсний гіперболоїд" показана на малюнку 1.



Мал. 1. Принципова схема виготовлення гіперболоїдного інструмента.

При цьому на мал. 1а показана схема радіального накатування витків (зубців) на гіперболоїдній заготовці 2 за допомогою циліндричного прямозубого колеса 1. Для знаходження геометрії гіперболоїдного інструмента використовувались три системи координат: рухомі системи $X_1Y_1Z_1$ і $X_2Y_2Z_2$, зв'язані відповідно з гіперболоїдним інструментом 2 та циліндричним прямозубим колесом 1, і нерухома система XYZ , відносно якої задавалось становище рухомих систем координат.

В системі координат $X_1Y_1Z_1$ (мал.1а) задано рівняння циліндричного прямозубого колеса 1 в такому вигляді:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_1(v, w) = \begin{vmatrix} x_1(v) - r \\ y_1(v) \\ z_1(w) \end{vmatrix} = [x_1(v) - r]i + y_1(v)j + z_1(w)k \quad (1),$$

де: $x_1(v)$ і $y_1(v)$ - необхідне число разів диференційовані по параметру v функції; $r = \text{const}$ - радіус кола, w - поточна координата по осі O_1Z_1 . В подальшому для простоти запису параметри v і w опущені.

Перехід від системи $X_1 Y_1 Z_1$ до системи $X_2 Y_2 Z_2$ здійснений за допомогою матриці M_{z_1} . Тоді в системі $X_2 Y_2 Z_2$ рівняння (1) приймає такий вигляд: $r_z = M_{z_1} r_1$, чи в координатній формі:

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1 - r)(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + y_1 (\cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \\ &\quad - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2) - z_1 \sin \gamma \sin \varphi_2 + A_v \cos \varphi_2 \\ y_2 &= (x_1 - r)(\cos \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) + y_1 (\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \\ &\quad + \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2) - z_1 \sin \gamma \cos \varphi_2 - A_v \sin \varphi_2 \\ z_2 &= (x_1 - r) \sin \gamma \sin \varphi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \varphi_1 + z_1 \cos \gamma \end{aligned} \quad (2)$$

Тут прийняті такі позначки:

φ_1 - кут оберту циліндричного прямокутного колеса;

φ_2 - кут оберту гіперболоїдного інструмента.

Рівняння (2) є однопараметричною сім'єю обгинаючих циліндричного прямокутного колеса (1). При цьому $\varphi_2 = U_{z_1} \varphi_1$, де U_{z_1} - передаюче число, а v, ψ - криволінійні координати. Для одержання рівнянь поверхні гіперболоїдного інструмента із рівняння (2) вилучений параметр v . З цією метою записано рівняння безперервності торкання циліндричного колеса і гіперболоїдного інструмента в такому вигляді:

$$\left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} \right] = 0 \quad (3)$$

В цьому виразі $\left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} \right] = \vec{N}$ - нормаль до зубців циліндричного прямокутного колеса перпендикулярна площині, що містить вектори $\frac{\partial \vec{r}}{\partial v}$, $\frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi}$, і записана в координатній формі:

$$\vec{N} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} = \begin{pmatrix} -x_1' \\ y_1' \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 1 & j & k \\ -x_1' & y_1' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = y_1' \vec{i} - x_1' \vec{j} + 0 = \begin{pmatrix} y_1' \\ -x_1' \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$\frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} = \vec{V}^{(12)}$ - відносна швидкість, визначена за допомогою матричного обчислення:

$$\begin{aligned} \vec{V}^{(12)} &= \{y_1 (U_{z_1} \cos \gamma - 1) - z_1 U_{z_1} \sin \gamma \cos \varphi_1 - A_v U_{z_1} \cos \gamma \sin \varphi_1; \\ &\quad (x_1 - r)(1 - U_{z_1} \cos \gamma) + z_1 U_{z_1} \sin \gamma \sin \varphi_1 - A_v U_{z_1} \cos \gamma \cos \varphi_1; \\ &\quad U_{z_1} \sin \gamma [(x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + A_v]\} \quad (5) \end{aligned}$$

Підставляючи (4) і (5) у вираз (3), одержимо рівняння безперервного торкання циліндричного прямокутного колеса з гіперболоїдним інструментом при однопараметровому обгинанні

$$f_1(v; \psi, \varphi_1) = 0 \text{ або:}$$

$$f_1(v; \psi; \varphi_1) = (U_{z_1} \cos \gamma - 1) [y_1 y_1' + x_1' (x_1 - r)] - z_1 U_{z_1} \sin \gamma (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1) - A \sqrt{U_{z_1} \cos \gamma} (y_1' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1) = 0 \quad (6)$$

Вираз $f_1(v; \psi; \varphi_1) = 0$ являє собою скалярне проведення вектора нормалі до циліндричного колеса на вектор відносної швидкості контактуючих крапок при фіксованому параметрі ψ і змінному φ_1 . Приписавши рівняння (6) до системи (2), одержимо пошуковий гіперболоїдний інструмент при фіксованому параметрі ψ , тобто при однопараметровому обгинанні поверхні.

Потім розглядаємо гіперболоїдний інструмент, одержаний як обгинача циліндричної поверхні в двопараметровому русі. Цей випадок відповідає реальному нарізанню зубчатих циліндричних коліс на виробництві. Дійсно, при реальному нарізанні деталей на зубофрезерних верстатах обертання і подача деталі (інструмента) є двома незалежними параметрами.

При двопараметровому обгинанні поверхня гіперболоїдного інструмента визначається виразами:

$$\vec{r}_2 = M_{z_1} \vec{r}_1; \quad f_1 = f_1(v, \psi, \varphi_1); \quad f_2 = f_2(v, \psi, \varphi_1) \quad (7)$$

В цьому випадку друге і третє рівняння є рівняннями безперервного торкання інструмента і деталі. При цьому друге рівняння визначається за допомогою виразу (6). Третє рівняння являє собою скалярне проведення вектора нормалі до циліндричної поверхні на вектор відносної швидкості руху точки при фіксованому параметрі φ_1 та змінному ψ в рухомій системі координат $X_1 Y_1 Z_1$. Вектор нормалі до поверхні приймає значення (4), а вектор відносної швидкості дорівнює:

$$\vec{v}'(\psi) = \frac{\partial \psi}{\partial t} \vec{k} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \partial \psi / \partial t \end{pmatrix}$$

Помноживши вираз (4) на $\vec{V}_0^{(1)w}$ отримаємо одержують третє рівняння виразу (7) у вигляді тотожного нуля. Таким чином, вираз (7) при двопараметровому об'яванні приймає такий вигляд:

$$\vec{r}_2 = M_{21} \vec{r}_1; \quad f_1 = f_1(v, w, \varphi_1).$$

Одержані вирази тотожні рівнянням (2) і (6). Звідси можна зробити надзвичайно важливий висновок, що при виготовленні гіперболоїдних інструментів на схрещених валах, коли здійснюється двопараметричний рух інструмента (або деталі), або торцове січення циліндричного прямозубого колеса описує в своєму відносному русі циліндричне прямозубе колесо, ідентичне колесу (1).

Для визначення профілю гіперболоїдного інструмента, описаного виразами (2), (6), необхідно вираховувати координати X_2, Y_2 наведених виразів в рухомій системі координат $X_2 Y_2 Z_2$. Порядок розв'язання виразів може бути таким: вираз (6) підставляємо в третє рівняння виразу (2). Тоді рішення цього трансцендентного рівняння можна записати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} Z_2 U_{21} (y_1 \cos \varphi_1 - x_1 \sin \varphi_1) = & [(x_1 - r) \sin \gamma \sin \varphi_1 + \\ & + y_1 \sin \gamma \cos \varphi_1] U_{21} (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1) - \\ & - (A_v U_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1) + (1 - \\ & U_{21} \cos \gamma) [y_1 y_1' + x_1 (x_1' - r)] \operatorname{ctg} \gamma \end{aligned} \quad (8)$$

Потім, задавши необхідну координату Z_2 і варіюючи аргументом v , відшукати із виразу (8) кут повороту φ_1 , при якому відбувається торкання циліндричного колеса і гіперболоїдного інструмента. Після цього, підставляючи знайдені кути φ_1 в перші два рівняння виразу (2), знаходимо координати X_2, Y_2 гіперболоїдного інструмента в залежності від Z_2 . Щоб знайти характеристики на прямозубому циліндричному колесі, розв'язують вираз (6) відносно змінного параметру w :

$$\begin{aligned} w = & [(U_{21} \cos \gamma - 1) (y_1' y_2 + x_1' (x_1 - r)) - A_v U_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \varphi_1 - \\ & - x_1' \cos \varphi_1)] / U_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \varphi_1 - x_1' \sin \varphi_1). \end{aligned} \quad (9)$$

Тоді сукупність рівнянь (1) і (9) при заданому значенні φ_1 будуть визначати характеристики різання на прямозубому циліндричному колесі. Змінюючи кут повороту φ_1 циліндричного колеса, одержують всю сукупність шуканих характеристик.

Поверхню торкання циліндричного колеса з гіперболоїдним інструментом легко одержати, записавши рівняння (1) в нерухомій системі координат XYZ з використанням значення параметру ψ із рівняння (9):

$$x = (x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1; \quad y = (x_1 - r) \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1;$$

$$z = ((U_{z1} \cos \psi - 1)(y_1' y_1 + x_1'(x_1 - r)) - A_0 U_{z1} \cos \psi (y_1' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1)) / U_{z1} \sin \psi (y_1' \cos \varphi_1 - x_1' \sin \varphi_1) \quad (10)$$

Із виразів (10) витікає, що при конкретному значенні кута повороту φ_1 , вирази (10) визначають характеристики на прямозубому циліндричному колесі. При $z = \psi = \text{const}$, маємо рівняння лінії верстатного зацеплення в торцовому січенні колеса. Із виразу (10) витікає, що при переході від одного торцевого січення до другого точка переміщується по профілю зуба. При фіксованому значенні аргумента ψ вирази (10) визначають характеристику при русі точки контакту від одного торця циліндричного прямозубого колеса до другого.

У третьому розділі знайдені можливі вихідні інструментальні поверхні і відповідні різучі інструменти при двох крутіннях навколо схрещуючих осей циліндричного прямозубого колеса і заготовки виду "однополюсний гіперболоїд". При цьому синтезовані різноманітні кінематичні схеми формування інструментальних поверхней на заготовках виду "однополюсний гіперболоїд".

Показано, що за рахунок варіювання кутів схрещування осей, змін величин міжосевих відстань і передаючих чисел у виразах (1), (2) і (6), можна одержати різноманітні кінематичні схеми, відомі із теорії проектування різучих інструментів як схеми формування першого, так і другого, і третього класів.

У четвертому розділі визначена точність виготовлення

циліндричних зубчатих коліс гіперболоїдними фрезами. Показано, що розроблені автором гіперболоїдні інструменти будуть виготовлять зубці коліс з евольвентним профілем, при цьому гіперболоїдний основний черв'як технологічно виготовити значно простіше, ніж основний евольвентний черв'як.

П'ятий розділ присвячений визначенню кінематичних та геометричних параметрів процесу виготовлення прямозубих циліндричних коліс гіперболоїдними інструментами. Одержані залежності, даючи можливість синтезувати просторові верстатні зачеплення, дають можливість обмежувати виробляючі поверхні шляхом винятку на них точок з безкінцевим питомим скочзанням, що приводить до інтенсивного зносу інструментів. Також одержані умови, дозволяючи визначити точки, на яких сумарна швидкість переміщення дорівнюється нулю, тобто тих точок, в яких умови різання самі благодатні і самі неблагодатні умови накатки.

В цій частині дисертації визначені вирази відносної швидкості:

$$[V^{122}]^2 = [-y(1 - U_{z_1} \cos \gamma) - \mu U_{z_1} \sin \gamma]^2 + [x(1 - U_{z_1} \cos \gamma - A_v U_{z_1} \cos \gamma)]^2 + [(x + A_v) U_{z_1} \sin \gamma]^2$$

Сумарна швидкість визначена як сума векторів швидкості точки під час руху по обгинальній і об'їмаючій поверхні:

$$U_T = \{2\sigma F / \sigma \varphi_1 [(x_1')^2 + (y_1')^2] + \sigma F / \sigma \psi (\sigma \tau_1 / \sigma \psi \dot{V}^{122})\} + [(x_1')^2 + (y_1')^2] \sigma F / \sigma \psi \sigma \tau_1 / \sigma \psi / \sqrt{[(x_1')^2 + (y_1')^2] \{[(x_1')^2 + (y_1')^2] + (\sigma F / \sigma \psi)^2 + (\sigma F / \sigma \psi)^2\}}$$

При:

$$2 \sigma F / \sigma \varphi_1 [(x_1')^2 + (y_1')^2] + \sigma F / \sigma \psi (\sigma \tau_1 / \sigma \psi \dot{V}^{122}) + [(x_1')^2 + (y_1')^2] \sigma F / \sigma \psi \sigma \tau_1 / \sigma \psi = 0$$

сумарна швидкість руху точок контакту $U_T = 0$. Це становище можна використати для виділення на виробляючій поверхні точок контакту, для яких $U_T = 0$, тобто тих точок, в яких

самі небагатні умови при накатці. При $U_T = 0$ одержуються самі багатні умови при обробці коліс різанням.

Процес різання в великій мірі залежить від кута між контактними лініями і вектором швидкості скозання. Чим менший цей кут, тим кращі умови різання із-за "виштовхування" оброблюваного матеріалу по передній різучій грані інструмента. При збільшенні зазначеного кута зменшується коефіцієнт тертя, а скозання, спрямоване в напрямку подачі, сприяє не до "відриву" металу, а його накатуванню. Кут між вектором швидкості скозання і контактними лініями може бути одержаним із виразу:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \nu_T = & \{-\partial F / \partial \psi (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12})\} / \{(\dot{x}_1')^2 + (\dot{y}_1')^2\} - \\ & - \partial F / \partial \psi (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12})\} / \{[\partial F / \partial \psi (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12}) - \\ & - \partial F / \partial \psi (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12})\} / \sqrt{(\dot{x}_1')^2 + (\dot{y}_1')^2} \end{aligned}$$

Із цього виразу витікає, що кут ν_T дорівнює $0,5\pi$ в точках контактних ліній, для котрих дільник дорівнює нулю, тобто є:

$$(\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12}) \partial F / \partial \psi - (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12}) \partial F / \partial \psi = 0.$$

При куті $\nu_T = 0,5\pi$ умови різання будуть самі небагатні, тому що різучі грані інструмента будуть виштовхуватись із зони різання. При:

$$-\partial F / \partial \psi (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12}) \{(\dot{x}_1')^2 + (\dot{y}_1')^2\} - \partial F / \partial \psi (\partial \vec{\sigma}_1 / \partial \psi \vec{V}'^{12}) = 0$$

кут $\nu_T = 0$. Цей випадок є самим багатним при різанні, так як в цьому випадку деформуючий метал деталі не буде "затягуватись" під нарізаючий інструмент.

По величині швидкості скозання важко робити висновки про величину проскозання різучих граней гіперболоїдних інструментів об нарізачі зубці. І, таким чином, немає можливості об'єктивно оцінювати процес нарізання зубців циліндричних коліс та знос гіперболоїдних інструментів. Тому в дисертації вивчені коефіцієнти питомого скозання для нарізачої деталі і гіперболоїдного інструмента, по яких можна робити висновки про величину їх проскозання:

$$\eta_1 = (-(\dot{V}^{12}) \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi) [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi -$$

$$- (\dot{V}^{12}) \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi \dot{\sigma}F / \dot{\sigma}v / \dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\varphi [(x'_1)^2 + (y'_1)^2]$$

$$\eta_2 = 1 - (\dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\varphi_1 [(x'_1)^2 + (y'_1)^2]) / (\dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\varphi_1 [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] -$$

$$- (\dot{V}^{12}) \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] \dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\psi - (\dot{V}^{12}) \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi \dot{\sigma}F / \dot{\sigma}v)$$

Якщо ділимий вираз η_1 не дорівнює нулю, то точки контакту з нескінченим значенням питомого скочвання η_1 визначаються із умови: $\dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\varphi_1 = 0$. При $\dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\varphi_1 \neq 0$ коефіцієнт питомого скочвання η_2 має значення, яке дорівнює нескінченності при умові:

$$\dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\varphi_1 [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] - (\dot{V}^{12}) \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi [(x'_1)^2 + (y'_1)^2] \dot{\sigma}F / \dot{\sigma}\psi -$$

$$- (\dot{V}^{12}) \dot{\sigma}_{r_1} / \dot{\sigma}_\psi \dot{\sigma}F / \dot{\sigma}v = 0.$$

Наведені умови можна використати для визначення точок контакту з нескінченими питомими скочваннями і таким чином робити висновок про знос інструментів.

При нарізанні коліс інструментами контактні лінії являють собою криві лінії на поверхні нарізуваних зубців. Довжина контактних ліній впливає на посилення різання і може бути записана в такому вигляді:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} \sqrt{(x'_1)^2 + (y'_1)^2 + (d\psi / dv)^2} dv$$

Діаметри гіперболоїдних інструментів збільшуються від горлового січення до торцевих. В результаті інструмент із-за загострення зубців гіперболоїдного інструмента в загальному випадку можна розв'язати таким чином. Задано Z_2 , визначене остачнім рівнянням виразу (2). Оскільки межі зміни аргументу v для обох сторін зубців циліндричного виробляючого колеса відомі, то знаходимо координати витка $X_2 Y_2$ в залежності від $\varphi_1(v)$. Змінюючи Z_2 і повторюючи вираховування, одержуємо сукупність кривих, визначаючи профілі зубців гіперболоїдного інструмента в різних торцевих січеннях Z_2 . При цьому при деякому значенні Z_2 одержувані криві, відповідаючи профілям інструмента, переохічуються, тобто буде мати місце загострення зубців гіперболоїдного інструмента.

Ці Z_2 вилучають при конструванні інструмента.

Наведена кривизна поверхней виробу та інструмента в напрямі, перпендикулярному контактним лініям, суттєво впливає на посилення різання деталі, вона записана у вигляді:

$$K_{\alpha\beta} = \frac{[(x_1'^2 + y_1'^2)(F^W)^2 + (F^V)^2] / \sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}}{(x_1'^2 + y_1'^2) F^{\phi_1} - F^V (V^{\prime 12}) / r_1 - F^W (x_1'^2 + y_1'^2) (r_1^W / r^{\prime 12})}$$

Із наведеного виразу витікає, що поверхнього контакту в верстатних зачепленнях, що розглядаються, здійснити неможливо, тому що чисельник виразу ніколи не перетворюється в нуль. Якщо ж знаменник наведеного виразу дорівнює нулю, то наведена кривизна буде дорівнювати нескінченності. В точках з такими значеннями $K_{\alpha\beta}$, питоме сковзання η_z має безкінцево більше значення, що приводить до інтенсивного зносу гіперболоїдного інструмента.

В наведених залежностях: $E_1 = (x_1')^2 + (y_1')^2$; $F_1 = 0$; $G_1 = 1$ - коефіцієнти перших квадратних форм, а $\partial x_1 / \partial \varphi_1$; $\partial x_1 / \partial \nu$; $\partial x_1 / \partial \psi$; $(\partial r_1 / \partial \nu \vec{V}^{\prime 12})$; $(\partial r_1 / \partial \psi \vec{V}^{\prime 12})$ мають таке значення:

$$\begin{aligned} \partial x_1 / \partial \varphi_1 &= v U_{21} \sin \gamma (-y_1' \sin \varphi_1 + x_1' \cos \varphi_1) + A_v U_{21} \cos \gamma (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1); \\ \partial x_1 / \partial \nu &= -(1 + U_{21} \cos \gamma) [(y_1')^2 + y_1 y_1' + x_1' (-r + x_1) + (x_1')^2] + \\ &+ v U_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1) + A_v U_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \varphi_1 - x_1' \cos \varphi_1); \\ \partial x_1 / \partial \psi &= U_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \varphi_1 + x_1' \sin \varphi_1); \\ (\partial r_1 / \partial \nu \vec{V}^{\prime 12}) &= [-x_1' y_1' + y_1 (x_1 - r)] (1 + U_{21} \cos \gamma) + U_{21} \sin \gamma (x_1' \cos \varphi_1 - \\ &- y_1' \sin \varphi_1) + A_v U_{21} \cos \gamma (x_1' \sin \varphi_1 + y_1' \cos \varphi_1); \\ (\partial r_1 / \partial \psi \vec{V}^{\prime 12}) &= -(x_1 - r) \cos \varphi_1 - y_1 \sin \varphi_1 + A_v U_{21} \sin \gamma \end{aligned}$$

В наведених виразах значення функцій x_1 і y_1 та їх похідних приймаються в залежності від вигляду кривої, якою окреслюється торцевий профіль оброблюваної поверхні.

У шостому розділі виконано численне дослідження геометро-кінематичних параметрів процесу нарізання

циліндричних коліс за допомогою гіперболоїдних інструментів.

Аналіз за допомогою БОМ числових значень показує, що, керуючи геометро-кінематичними показниками процесу виготовлення зубчатих коліс, можна керувати якістю цього процесу. Також, знаючи ці показники, можливе прогнозування працездатності інструмента ще на стадії проектування.

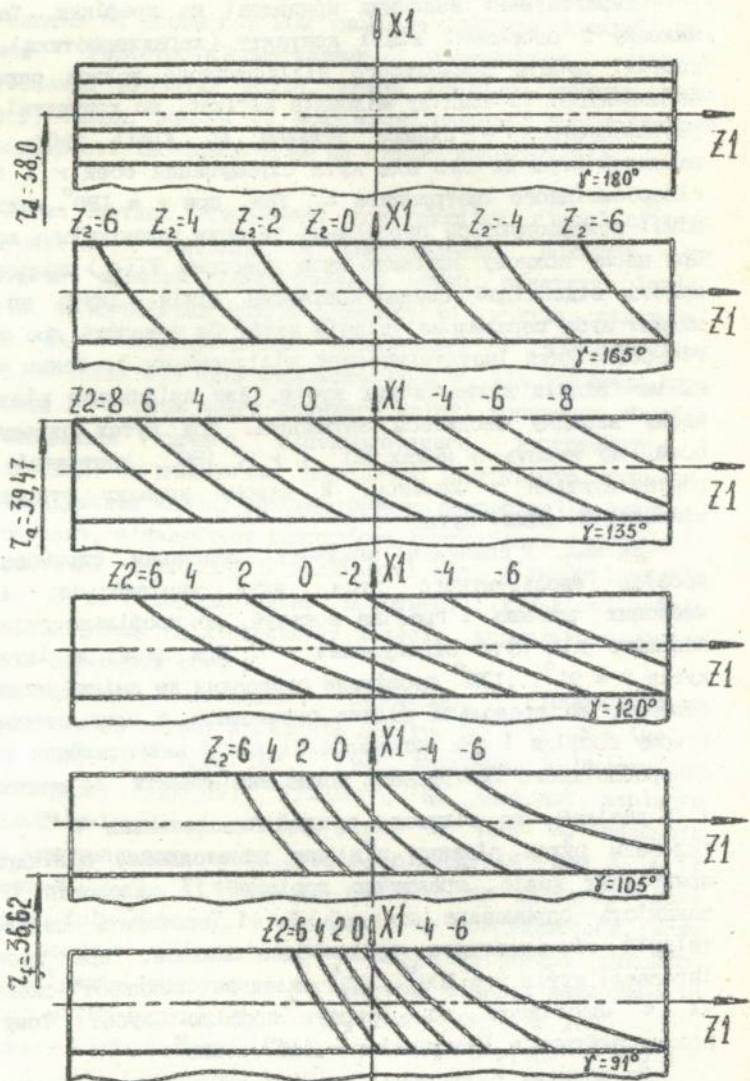
Сьома частина присвячена конструкціям гіперболоїдних інструментів і методам їх виготовлення. Показано, що геометричні розміри гіперболоїдних фрез, обкатних різців, шеверів, шліфувальних кругів залежать від модуля, кількості зубців на гіперболоїдному інструменті і циліндричному колесі, а також від кута схрещення осей γ . Від величини кута схрещення γ в свою чергу залежать якісні показники обробки і обладнання самого гіперболоїдного інструмента і оброблюваних, за допомогою одержаного інструмента, прямозубих циліндричних коліс. Використовуючи розроблені в дисертації програми, з'являється можливість розрахувати геометричні і кінематичні показники в залежності від: кількості витків (зубців) Z_2 на гіперболоїдному інструменті; кількості зубців Z_1 на прямозубому циліндричному колесі; нормального модуля m і кута схрещення осей γ .

Розглянемо методику створення гіперболоїдних інструментів на такому прикладі: $Z_2 = 16$, $Z_1 = 76$, $m = 1\text{мм}$, $\gamma = 180^\circ, 165^\circ, 135^\circ, 120^\circ, 105^\circ, \text{ і } 91^\circ$. Нарізання здійснено на зубофрезерному верстаті "Pfafter", що дозволяє нарізати мінімальну кількість зубців, рівне 5. Тому Z_2 прийнято рівним максимальному числу зубців, рівному 16. При $Z_2 = 17$ одержимо $Z_1 : Z_2 = 4,47$, що виходить за паспортні дані верстата. Крім того, Z_2 в прикладі, що розглядається, може бути менше 16 заходів. Ділильні діаметри шуканого гіперболоїдного інструмента в горловому січнні знаходимо із відомого з ТММ виразу: $d_z = m \cdot Z_2 / \cos \beta$, де: $\beta = 180^\circ - \gamma$ - кут нахилу зуба (витка). Тоді: $d_z = 1 \cdot 16 / \cos(180^\circ - 180^\circ) = 16\text{мм}$; $d_z = 1 \cdot 16 / \cos(180^\circ - 165^\circ) = 16,56\text{мм}$; $d_z = 1 \cdot 16 / \cos(180^\circ - 135^\circ) = 22,62\text{мм}$; $d_z = 1 \cdot 16 / \cos(180^\circ - 120^\circ) = 32\text{мм}$; $d_z = 1 \cdot 16 / \cos(180^\circ - 105^\circ) = 61,82\text{мм}$; $d_z = 1 \cdot 16 / \cos(180^\circ - 91^\circ) = 458,46\text{мм}$.

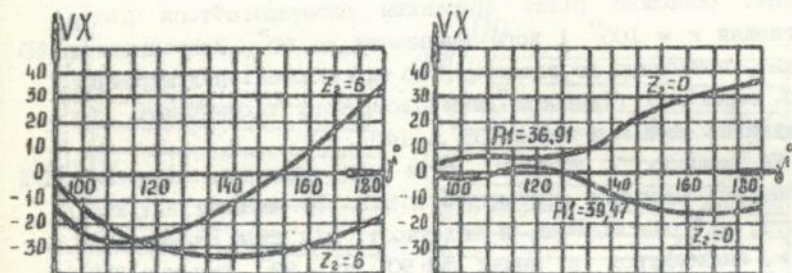
Вираховувані величини приведені на графіках. Так, на малюнку 2 зображені лінії контакту (характеристики), коли профілі зубців прямозубого циліндричного колеса окреслені евольвентою. Із аналізу малюнків витікає, що контактні лінії розташовуються з різним нахилом до лінії зуба. Нахил залежить перш за все від кута схрещування осей γ і ширини гіперболоїдного інструмента Z_2 . Так, при $\gamma = 180^\circ$ контактні лінії розташовуються паралельно твірним прямозубого колеса. При цьому кожному значенню кута повороту $\Phi(\varphi_1)$ прямозубого колеса відповідає певна контактна лінія, ідуча по всій ширині зуба паралельно твірній зуба. Це говорить про те, що гіперболоїдний інструмент стає циліндричним і, таким чином, не має задніх кінематичних кутів. Для здійснення різання в цьому випадку вводиться затіловка. При кутах схрещування осей, що лежать в межах $90^\circ < \gamma < 180^\circ$, контактні лінії розташовуються з нахилом. В даному випадку утворюються кінематичні задні кути.

На мал. 3 приведені швидкості скозання, спрямовані по профілю евольвентного зуба, який нарізається. Аналіз числових значень і графіка показує, що профільне скозання залежить від кута схрещування γ . При цьому в інтервалі кутів $\gamma = 91^\circ \dots 135^\circ$ профільне скозання не змінює знака. Це показує, що продольна подача спрямована в одну сторону по всьому профілю і при виготовленні коліс навантаження на зуб гіперболоїдного інструмента можна вирівнювати. Із малюнків 4 і 5 витікає, що відносна швидкість скозання $V^{'12}$, що є головним рухом різання під час виготовлення циліндричних прямозубих коліс, практично дорівнює її складовій VZ . Ця швидкість спрямована по осі Z_2 і проходить паралельно твірній евольвентного прямозубого колеса. При цьому в інтервалі кутів $\gamma = 100^\circ \dots 130^\circ$ складова швидкості скозання VX є постійною по всьому профілю зуба. Тому VZ розраховується в інтервалі $\gamma = 100^\circ \dots 130^\circ$.

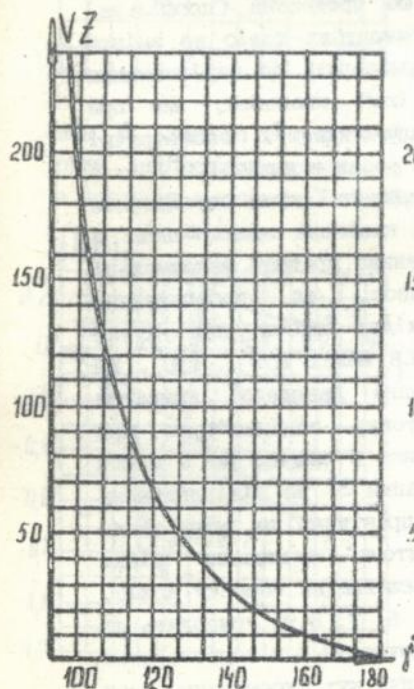
На малюнку 6 наведені графіки змін сумарної швидкості для виготовлення циліндричного прямозубого колеса гіперболоїдними інструментами. Із графіка витікає, що при зменшенні кута схрещування осей від 180° до 130° сумарна швидкість US поступово зменшується до нуля. Потім, при



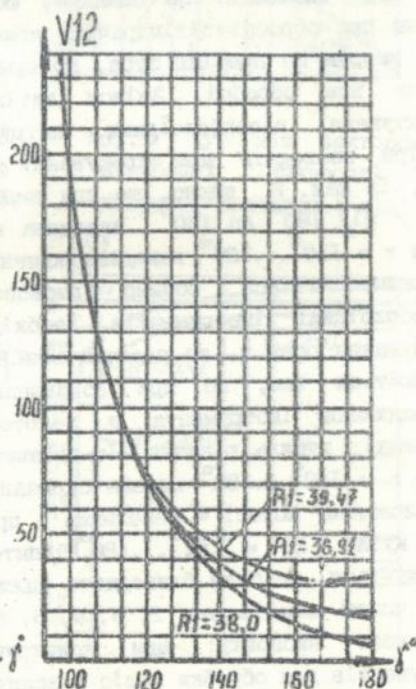
Мал. 2. Контактні лінії при виготовленні прямозубого колеса гіперboloїдними інструментами ($Z_1 = 76$; $m_n = 1$ мм; $Z_2 = 16$).



Мал. 3. Швидкість сковання по профілю прямозубого циліндричного колеса.



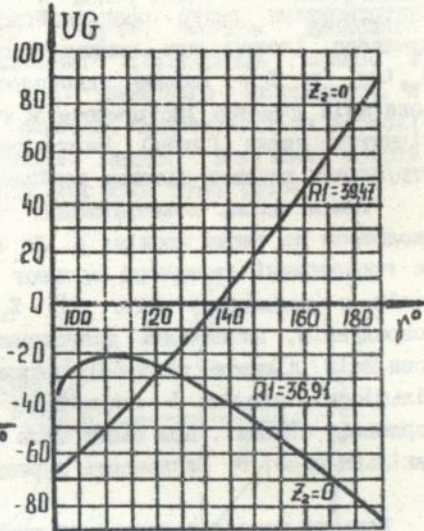
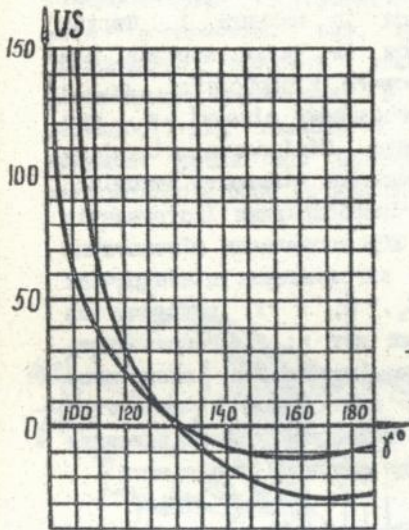
Мал. 4. Швидкість сковання по утворюючій прямозубого циліндричного колеса.



Мал. 5. Відносна швидкість сковання.

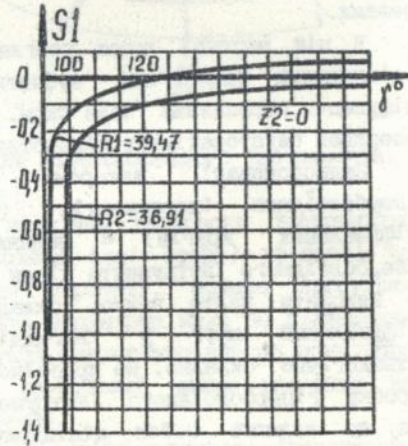
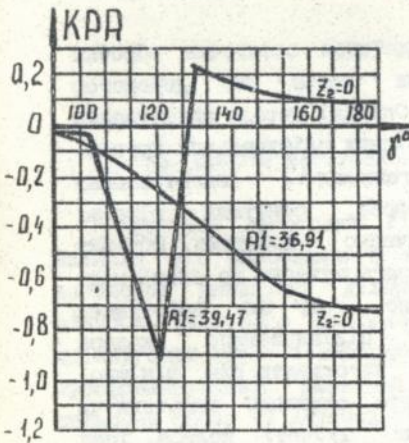
зменшуванні кута γ від 130° до 90° , швидкість US різко зростає. Особливо різке зростання спостерігається після досягнення $\gamma = 100^\circ$ і його зменшення до 90° . Узагальнюючи сказане, приходимо до висновку, що при обробці циліндричних коліс необхідно гіперболоїдний інструмент проектувати при скрещуванні осей γ в межах $105^\circ \dots 140^\circ$.

На малюнку 7 показані кути між вектором відносної швидкості і напрямом контактної лінії. Із малюнка витікає, що кути, які розглядаємо, в залежності від кута скрещування осей γ , знаходяться в межах від 90° до -90° . При $\gamma = 130^\circ \dots 180^\circ$ кути між вектором відносної швидкості і напрямом контактної лінії мають як позитивні, так і негативні значення. Таке становище пояснюється зміною напрямку скочування контактуючих поверхней по профілю. В районі кутів скрещування осей $91^\circ < \gamma < 130^\circ$ кути UG приймають тільки негативне значення. Це показує, що продольна (профільна) подача при обробці циліндричних прямозубих коліс не змінює свій напрям по профілю зуба, що призводить до вирівнювання зусиль при обробці. Звідси витікає висновок, що при проектуванні гіперболоїдних інструментів їх геометричні розміри знаходять при скрещуванні осей в межах $100^\circ < \gamma < 130^\circ$. Із мал. 8 видно, що при зменшенні кута скрещування осей γ від 180° до 130° наведена кривизна зменшується. В межах $\gamma = 110^\circ \dots 125^\circ$ наведена кривизна приймає максимальні значення. Звідси робимо висновок, що проектування гіперболоїдних інструментів необхідно вести при кутах скрещування осей γ , що знаходяться в межах $105^\circ \dots 130^\circ$. Це пояснюється тим, що при збільшенні наведеної кривизни впровадження інструмента в заготовку відбувається при зменшенні зусиль різання. Із малюнка 9 видно, що в межах кутів $\gamma = 130^\circ \dots 180^\circ$ питома скочування S_1 на циліндричному оброблюваному колесі є невеликим і практично не змінюється. При кутах $\gamma = 91^\circ \dots 120^\circ$ питома скочування різко збільшується, що буде благотвно впливати на обробку коліс. Таким чином, аналіз мал. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, приводить до загального висновку: при конструюванні гіперболоїдних інструментів для обробки коліс різанням кут скрещування осей γ повинен бути в межах $91^\circ \dots 130^\circ$. Нарізанні прямозубих



Мал. 6. Сумарна швидкість руху нарізуваних поверхней в напрямку контактної лінії.

Мал. 7. Кут між вектором відносної швидкості і напрямом контактної лінії.



Мал. 8. Наведена кривизна.

Мал. 9. Питоме скочвання.

циліндричних коліс розрахованими гіперболоїдними інструментами легко проглядається із малюнка 1. Ширина шуканого інструменту визначається із таких виразів: $B = d_{az} \operatorname{tg} \psi$, де B - ширина однополосного гіперболоїда, d_{az} - зовнішній діаметр інструмента в горловому січненні, ψ - кут підняття витка (зуба) інструмента. Мінімальна кількість стружкових канавок повинна дорівнюватись кількості заходів.

Таким чином, конструювання гіперболоїдних інструментів зводяться до таких кроків: 1. На ЕОМ визначають кінематичні та геометричні параметри процесу виготовлення циліндричних коліс в залежності від: Z_z , Z_a , η , γ і, виходячи із розрахунків, визначають допустимий кут γ ; 2. Розраховують зовнішній діаметр гіперболоїдного інструмента, визначають кількість заходів і визначають кут підняття витків у горловому січненні. При цьому може виникнути потреба виконати декілька проб; 3. Визначають ширину шуканого інструмента.

Восьмий розділ присвячений експериментальним дослідям. В ньому розробляється конструкція гіперболоїдних фрез, а також пропонуються методи нарізки витків і зовнішньої поверхні таких фрез. Розглядаються характерні особливості обробки циліндричних прямозубих зубчатих коліс гіперболоїдними фрезами.

В цій частині також розглядається остаточна обробка циліндричних прямозубих зубчатих коліс за допомогою шліфувальних абразивним черв'яком. Описані методи викатування поверхнею багатозахідних гіперболоїдних шліфувальних кругів.

Запропоновані автором технології виготовлення гіперболоїдних інструментів (фрез, обкатних різців, шліфувальних кругів) є надзвичайно простими. Обробку гіперболоїдного інструмента після загартування по схемі мал. 16 виконати надто важко, складно, тому що виготовити шліфувальний круг у вигляді циліндричного колеса технологічно складно. Не простіше виготовити для фінішної обробки гіперболоїдного інструмента алмазний накатник чи хон, що являють собою циліндричні зубчаті колеса. Тому автором розроблений і запатентований в Російській Федерації принципово новий спосіб виготовлення і остаточної обробки

гіперболоїдних інструментів і коліс (мал. 10). Поставлена мета досягається тим, що різучі частини дискового інструмента описують уявлене циліндричне колесо з необхідними параметрами. В ролі дискового інструмента, в залежності від технології обробки, застосовуються дискові модульні фрези або шліфувальні круги, крутіння котрих навколо своїх осей не залежать від всіх інших рухів.

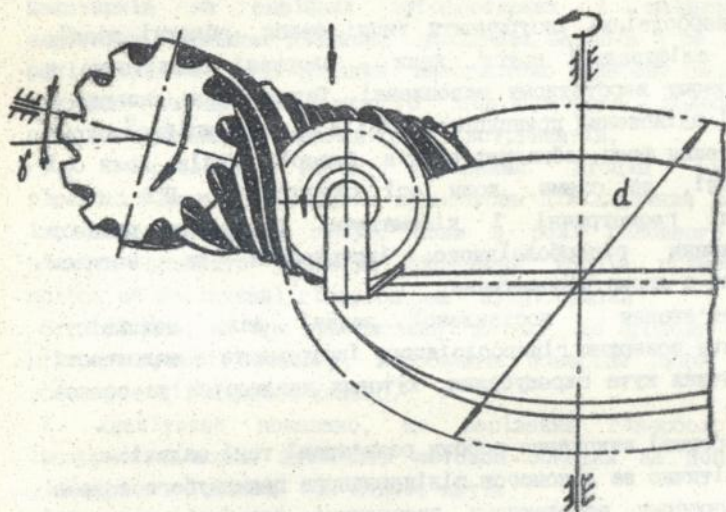


Рис. 10. Спосіб виготовлення гіперболоїдного інструмента.

Крутіння заготовки і крутіння дискового інструмента навколо осі виробляючого колеса (осі столу) зв'язані за допомогою механізму ділення верстату. Подача заготовки відносно дискового інструмента несутірно мала по відношенню до кругових рухів і вибирається аналогічно вибору подачі при зубофрезеруванні. Дисковий інструмент можна замінити на пальцеву фрезу чи летючий різець.

Таким чином, за допомогою одного дискового інструмента (пальної фрези чи летючого різця) можна виготовити гіперболоїдні інструменти різної геометрії. Переточка

дискового інструмента, пальцевої фрези, летючого різця не змінює геометрію гіперболоїдного виробу. Це пояснюється можливістю пересування дискового інструмента по радіусу (стола верстата) уявлюваного виробляючого циліндричного колеса з метою одержання необхідного діляльного діаметра цього колеса.

В И С Н О В К

Гіперболоїдні інструменти типу: фрези, обкатні різці, шевери, шліфувальні круги, хони - одержані аналітично в просторовому верстатному зачепленні. Таким чином, вперше в практиці здійснений принциповий відхід від традиційної схеми виготовлення фрез, обкатних різців, шеверів, хонів, коли осі паралельні, до схеми, коли осі скрещуються. При цьому визначені геометричні і кінематичні параметри процесу виготовлення гіперболоїдного інструмента за методом обгинання з двома параметрами.

Розв'язання поставленої задачі дало можливість установити поверхню гіперболоїдного інструмента в залежності від величини кута скрещування, кутових швидкостей та осевої подачі.

В процесі виконання роботи розв'язані такі задачі:

1. Аналітично за допомогою циліндричного прямозубого колеса в просторовому верстатному зачепленні одержані поверхні зубців (витків) гіперболоїдної інструментальної поверхні.

2. Синтезовані багатозахідні гіперболоїдні інструменти типу: фрез, обкатних різців, шліфувальних кругів, а також шеверів та хонів. При цьому рівняння інструментів одержані як обгинальні одно- и двопараметричної сім'ї поверхней. Визначені аналітично профіль і розміри гіперболоїдного інструмента.

3. Досліджені геометро-кінематичні параметри процесу нарізання і обробки циліндричних прямозубих коліс за допомогою інструментів, наведених у другому пункті висновку.

До цих параметрів відносяться:

- відносна швидкість скочвання стичних поверхней; сумарна швидкість руху оброблюваних зубців в напрямку,

перпендикулярному лініям контакту; кут між вектором відносної швидкості скозання і напрямом лінії контакту; п'ятому скозання при виготовленні циліндричних коліс гіперболоїдними інструментами; довжина лінії контакту; коефіцієнт перекриття; умови підрізання; умови загострення витків (зубців) гіперболоїдних інструментів.

4. Розроблені нові засоби виготовлення гіперболоїдних фрез, обкатних різців, шліфувальних кругів, шеверів, хонів, накатників на серійних зубофрезерних і шліфувальних верстатах. Головною різницею знайдених засобів є те, що в ролі головного руху різання використано відносне скозання ріжучих частин виробляючого циліндричного колеса по поверхнях шуканих гіперболоїдних інструментів.

5. Розроблений метод нарізання зубців (витків) гіперболоїдних інструментів прямозубим циліндричним колесом із інструментальної сталі, коли в ролі головного руху різання прийнято відносне скозання торців прямозубого колеса об нарізанні гіперболоїдні зубці (витки).

6. Доведено, що при використанні методу, що пропонується в п'ятому пункті висновку, виробляюча поверхня являє собою прямозубе циліндричне колесо.

7. Аналітично показано, що нарізання гіперболоїдного інструмента можна здійснити методом обкатки за допомогою циліндричного колеса без задніх кутів.

8. Аналітично показано, що гіперболоїдна фреза, гіперболоїдний обкатний різець, гіперболоїдний шевер, одержані в просторовому верстатному зачепленні, мають кінематичні кути більше 10° . Таке становище призводить до того, що ці інструменти не затилуються.

9. Аналітично показано, що одержана в просторовому верстатному зачепленні гіперболоїдна фреза, гіперболоїдний обкатний різець є обгинаючими циліндричного прямозубого колеса. Тому нарізання циліндричних зубчатих коліс цими інструментами можна вести при радіальній подачі, що виключає тривалий процес врізання і, таким чином, підвищує продуктивність в півтора - два з половиною рази.

10. Аналітично розв'язане питання шліфування гіперболоїдних інструментів в просторовому верстатному зачепленні за

допомогою циліндричного шліфувального круга.

11. Знайдені способи нарізання і шліфування гіперболоїдних інструментів на існуючому серійному устаткуванні без застосування складних пристроїв.

12. Одержані аналітичні вирази, що дозволяють синтезувати кінематичні схеми формування інструментальних поверхней при ополученні двох обертань навколо осей циліндра і тіла виду "однополосний гіперболоїд", що схрещуються.

13. Аналітично одержані умови, що дозволяють обмежити виробляючу поверхню шляхом вилучення на зубцях (витках) інструмента точок з нескінченним питомим сковзанням, що призводить до інтенсивного зносу інструмента.

14. Одержані умови, що дозволяють визначити точки, на яких сумарна швидкість пересування прагне до нуля, тобто тих точок, в яких самі сприятливі умови різання.

15. Визначені кути схрещування осей інструмент - заготовка, при яких профільне сковзання спрямоване в один бік, тобто не змінює знаку. Це показує, що профільна подача спрямована в один бік по всьому профілю, і при виготовленні коліс навантаження на зуб гіперболоїдного інструмента можна вирівнювати.

16. Показано, що бокові ріжучі кромки на зубцях гіперболоїдних фрез технологічно одержують в результаті перехрещення не трьох поверхней, як це здійснюється на стандартних черв'ячних фрезах, а тільки двох - основного черв'яка і стружкової канавки. В результаті бокові ріжучі кромки можуть бути розташовані лобим чином на основному черв'яку.

17. Після переточки бокові ріжучі кромки на гіперболоїдних фрезах можуть не зберігати свою форму.

18. Визначено, що нерівномірність окружної відстані між зубцями гіперболоїдних фрез не приводить до погіршностей пересування бокових ріжучих кромок.

19. Погіршність кута нахилу стружкових канавок не вносить погіршності на пересування бокових ріжучих кромок.

Таким чином, в наведених теоретичних і практичних дослідженнях одержано ряд нових рішень, котрі можуть бути продовжені при подальшому вивченні різних гіперболоїдних інструментів. Зокрема, показано, що при допомозі прямозубого

циліндричного виробляючого колеса легко реалізувати в промисловості цілий ряд гіперболоїдних інструментів таких, як: гіперболоїдні фрези, обкатні різці, шевери, кони, шліфувальні круги. Враховуючи новизну виготовлення гіперболоїдних інструментів, дану дисертаційну роботу можна розглядати як один із еталів у вивченні і освоюванні розглянутих гіперболоїдних інструментів.

СПИСОК РОБІТ АВТОРА ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Изготовление и отделка цилиндрических зубчатых колес гиперболоидными инструментами. // Министерство образования Украины. Институт системных исследований образования. Восточнoукраинский государственный университет. Киев. 1994г. 7печ. л., тираж 750экз.
2. Гиперболоидные зубообрабатывающие инструменты для цилиндрических зубчатых колес. // Деп. в ГНТБ Украины 28.10.93, N 2101 - Ук93, Луганский машиностроительный институт, Луганск, 1993г., 91с.
3. Обкаточный резец. // Патент № 1797531, зарегистрирован в Государственном комитете по изобретениям и открытиям 8 октября 1992г., приоритет изобретения от 24 июня 1991г., 2с. (соавторы: Витренко А.Н., Коняев А.Н., Кириченко Н.А., Шведчиков А.П.). (Автор разработал конструкцию резца. Его вклад составляет 80%).
4. Способ изготовления гиперболоидных зубчатых колес. // Патент № 1819196, зарегистрирован в Государственном комитете по изобретениям и открытиям 11 октября 1992г., приоритет изобретения, от 25 февраля 1991 г., 3с. (соавтор Витренко А.Н.). (Автор разработал кинематику процесса. Его вклад составляет 80%).
5. Гиперболоидный накатник. // Патент RU N 2009752, зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по патентам и товарным знакам 30 марта 1994г., приоритет изобретения от 24 июля 1991г., 3с. (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко Н.А., Коняев А.Н., Шведчиков А.П.). (Автор разработал

конструкцію накатника, його внесок складає 80%).

6. Повышение производительности и качества процесса сглаживающего накатывания деталей колесных пар тепловозов. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1983г., 22с.

7. К вопросу исследования кинематики при холодном накатывании зубьев. // Сб. "Конструирование и производство транспортных машин". Харьков: Вища школа., вып. II, 1979г., с. 90-93, (соавторы: Колмычек И.К., Гребенюк В.Н.). (Автор розробив кінематичні показники процесу холодного накатування зубців. Його внесок складає 80%).

8. К вопросу чистовой обработки прямозубых цилиндрических колес. // Сб. "Конструирование и производство транспортных машин". Харьков: Вища школа. вып. I2, 1980г., с. 84-85, (соавторы: Каплун А.М., Колмычек И.К.). (Автор розробив схему обробки зубців коліс. Його внесок складає 80%).

9. Накатка шеек оси локомотива под подшипники. // № 180Ум-Д83, деп. рук., 1983г., 9с.

10. Чистовая обработка деталей локомотива типа тел вращения накатными роликами. // УкрНИИТИ, № 181Ум - Д83, деп. рук., 1983г., 6с.

11. Чистовая обработка деталей локомотивов роликами. // Тезисы докл. Всесоюзной научно-технической конференции "Создание и техническое обслуживание локомотивов большой мощности". Ворошиловград, 1985г., с. 207, (соавтор Хмеловский Г.Л.). (Автор визначив геометро - кінематичні показники процесу обробки деталей. Його внесок складає 90%).

12. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес методом зуботочения. // Тезисы докладов научно-технической конференции "Перспективные направления создания новых и совершенствование существующих конструкций тяжело нагруженных редукторов и прогрессивная технология их изготовления. Краматорск, 1987г., с. 29-30, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор розробив конструкцію інструмента. Його внесок складає 80%).

13. Шевингование зубьев цилиндрических зубчатых колес. // Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума "Теория реальных передач зацеплением". Курган. 1988г., с. 18-20, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор визначив кінематику процесу обробки

коліс. Його внесок складає 80%).

14. Нарезание зубьев цилиндрических зубчатых колес многозаходными червячными фрезами. // Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции "Обеспечение надежности и долговечности зубчатых передач на стадии проектирования и изготовления" г. Харьков. 1988г., с. 31-32, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор розробив конструкцію фрез. Його внесок складає 80%).

15. Отделка зубьев цилиндрических зубчатых колес. // Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции "Обеспечение надежности и долговечности зубчатых передач на стадии проектирования и изготовления" г. Харьков. 1988г., с. 33-34, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор розробив конструкцію накатників. Його внесок складає 80%).

16. Разработка и внедрение технологии по уменьшению брака при формировании колесных пар. //Отчет по хозяйственной теме Т-023-88. Ворошиловград, 1988г., 50с. (соавторы: Голубенко А.Л., Горбунов Н.И., Протасов А.В.). (Автор розробив нову технологію виготовлення деталей. Його внесок складає 80%).

17. Обработка зубьев цилиндрических колес гиперболическими червячными фрезами. // Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции "Совершенствование методов расчета, конструирования и зубообработки цилиндрических и конических зубчатых, спироидных, гипоидных и червячных передач. г. Ижевск. 1989г., с. 51 - 52, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор розробив геометрію фрез. Його внесок складає 80%).

18. Изготовление цилиндрических зубчатых колес в пространственном станочном зацеплении. // Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции: "Опыт отраслей машиностроения и научные достижения - производству тракторов и сельхозмашин". Харьков, сентябрь 1989г., с. 14-15, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор визначив геометро - кінематичні показники процесу виготовлення коліс. Його внесок складає 80%).

19. Шевингование цилиндрических зубчатых колес с зацеплением Новикова. // Тезисы докладов межреспубликанской научно - технической конференции: "Опыт исследований, проектирования, изготовления и эксплуатации зубчатых передач Новикова. Рига.

- 1989г., с. 77, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор визначив кінематику процесу обробки коліс. Його внесок складає 80%).
20. Фрезерование зубьев червячными фрезами. // Тезисы докладов всесоюзной научно - технической конференции: "Зубчатые передачи: современность и прогресс". г. Одесса, сентябрь 1990г., с. 79-80, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор розробив багатозахідні фрези. Його внесок складає 80%).
21. Зуботочение цилиндрических зубчатых колес. // Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции: "Научные достижения и опыт отраслей машиностроения - народному хозяйству" г. Харьков, 25-27 сентября 1990г., с. 62, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор розробив обкатні різці. Його внесок складає 80%).
22. Нарезание цилиндрических зубчатых колес инструментами третьего порядка. // Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции: "Научные достижения и опыт отраслей машиностроения - народному хозяйству. Проблемы прочности надежности и долговечности зубчатых передач и редукторов". Харьков 19-20 сентября 1991г., с. 90, (соавтор Витренко А.Н.). (Автор визначив геометро - кінематичні показники процесу обробки. Його внесок складає 80%).
23. Разработка и испытание фрез гиперболического типа с целью повышения производительности зубонарезания и увеличения стойкости инструмента. // Отчет по договору № 359/06 от 16.08.91г. с АО "КамАЗ". Инженерная академия Украины. Луганское отделение, 1991-1992г., 3 части, 37с, 29с, 37с. (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А., Блошенко Ю.М., и др.). (Автор розробив конструкцію інструмента. Його внесок складає 75%).
24. Повышение твердости зубьев поверхностным пластическим деформированием. // Тезисы докладов IV международной научно - технической конференции: "Проблемы развития локомотивостроения". Крым 19...24 апреля 1993г. с. 80, (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А.). (Автор розробив схему накатування зубчатих коліс. Його внесок складає 75%).
25. Технология изготовления и отделки гиперболических зубчатых колес. // Тезисы докладов научно - технической конференции: "Проблемы зубчатых передач и редукторостроения."

Харьков. 1993г., с. 100, (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А.). (Автор розробив технологію виготовлення гіперболоїдних коліс. Його внесок складає 85%).

26. Накатное выглаживание цилиндрических зубчатых колес. // Тезисы докладов научно - технической конференции: "Проблемы зубчатых передач и редукторостроения". Харьков, 1993г., с. 101, (соавтор Кириченко И.А.). (Автор визначив гесметро - кінематичні показники процесу виглажування. Його внесок складає 80%).

27. Инструмент для обработки зубчатых колес методом зубочоения. // "Проблемы качества и надежности машин". Республиканская научно - техническая конференция. Могилев. 1994г., с. 16, (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А.). (Автор розробив конструкцію інструменту. Його внесок складає 80%).

28. Технология изготовления незатылованных многозаходных гиперболических фрез // "Проблемы качества и надежности машин" Республиканская научно - техническая конференция. Могилев. 1994г., с. 17, (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А.). (Автор розробив технологію виготовлення фрез. Його внесок складає 85%).

29. Технология изготовления незатылованных многозаходных гиперболических фрез. // "Новые технологии и системы обработки в машиностроении" Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции. Донецк, 1994г., с. 15-16, (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А., Доан Дык Винь). (Автор розробив технологію виготовлення фрез. Його внесок складає 80%).

30. Инструмент для обработки зубчатых колес методом зубочоения. // "Новые технологии и системы обработки в машиностроении" Тезисы докладов республиканской научно - технической конференции. Донецк, 1994г., с. 16-17, (соавторы: Витренко А.Н., Кириченко И.А., Доан Дык Винь). (Автор визначив залежність геометрії інструменту від кінематики процесу обробки коліс. Його внесок складає 85%).

Витренко

Вітренко В.О. "Гіперболоїдні інструменти для обробки і обладнання циліндричних прямозубих зубчатих коліс". Дисертація - рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - Процеси механічної і фізико - технічної обробки, верстати та інструменти. Київський політехнічний інститут. Київ, 1995.

Захищається 36 наукових робіт, з них - одна монографія і три патенти на винаходи.

Данная работа посвящена обработке и отделке цилиндрических зубчатых колес с помощью зубообрабатывающего инструмента, основанного на схемах формообразования третьего класса. Разработаны новые способы изготовления колес и инструментов, а также способы обработки их поверхностей в пространственном станочном зацеплении. Определены основные геометро - кинематические показатели процесса изготовления и отделки зубчатых колес с помощью разработанных гиперболоидных инструментов, которые влияют на качество обработки поверхности.

Задние углы на гиперболоидных инструментах не предусматриваются, их получают кинематически в процессе изготовления зубчатых колес.

This work deals with machining and finishing of cylindrical gears by means of teeth - treating tool based on the third class scheme of shaping. New methods of wheels and tools making were worked out as well as the means of their surfaces finishing in a space machine - tool gearing. There were determined the main geometry - kinematic indexes of gears making and finishing processes by means of the hyperboloid tools developed. These indexes influence the quality of finished surfaces.

The hyperboloid tools have no back angles but they appear kinematicaly in the process of gears making.

Вітренко Володимир Олександрович

ГІПЕРБОЛОЇДНІ ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ОБРОБКИ І ОБЛАДНАННЯ
ЦІЛІНДРИЧНИХ ПРЯМОЗУБИХ ЗУБЧАТИХ КОЛІС

05.03.01 - Процеси механічної і фізико-технічної обробки,
верстати та інструменти

Підписано к печати 28.06. 1995г. Формат бумаги 60*84/16.
П.л. 2. Тираж 100. Заказ 293

Ротапринт ВУГУ, 348034, г. Луганск, кв. Молодежный, 20а.

444070

AB 33.062

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mirrored and difficult to decipher.]

10050