

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи 3
з дисципліни "ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН"

для студентів усіх спеціальностей

***МОДЕЛЮВАННЯ НАРІЗАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ЗУБЧАСТИХ
КОЛІС МЕТОДОМ ОБКАТКИ ІНСТРУМЕНТОМ
РЕЙКОВОГО ТИПУ***

Краматорськ
ДДМА
2021

УДК 621.01

Методичні вказівки до лабораторної роботи 3 з дисципліни "Теорія механізмів і машин", для студентів усіх спеціальностей. «Моделювання нарізання евольвентних зубчастих коліс методом обкатки інструментом рейкового типу» / укладачі : Н. В.Чоста, В. Є.Шоленінов – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 25 с.

Наведено теоретичні основи одержання евольвентного профілю зуба методом огинання (обкатки) інструментом рейкового типу. Показано вплив зміщення інструмента на геометричні характеристики і якісні показники евольвентного зубчастого колеса. Дано опис приладу ТММ-42 і роботи з ним, порядок виконання й оформлення роботи.

Укладачі:

Н.В.Чоста, доц.,
В.Є.Шоленінов, асист.

Відповідальний за випуск

С.Г.Карнаух, доц.

ЗМІСТ

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	4
2 ОПИС ПРИЛАДУ І РОБОТИ З НИМ.....	14
3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	16
4 НЕОБХІДНІ ПРИЛАДДА	18
5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	19
6 ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	21
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	24

Мета роботи - одержання наочного уявлення про технологічний процес нарізування зубів евольвентних циліндричних прямозубих коліс методом обкатки (огинання) інструментом рейкового типу, спостереження процесу виникнення явища підрізання зубів і засобу його усунення, вивчення впливу зміщення інструмента на форму зуба і якісні показники зубчастого колеса.

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Евольвентні колеса – це колеса, профілі зубів яких обкреслені кривою, що називається евольвентою.

Евольвента (розгортка) кола – плоска крива, яку описує будь-яка точка прямої, що перекочується без ковзання по цьому колу (рис. 1).

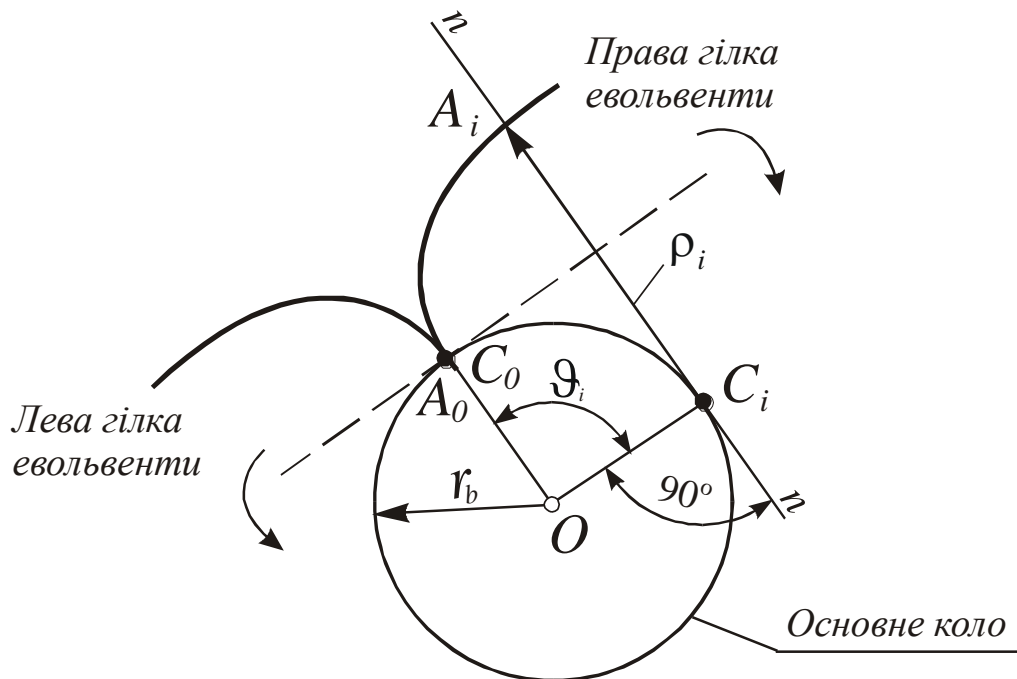


Рисунок 1 – Евольвента кола

З принципу утворення евольвенти випливає, що всі точки евольвенти лежать за межами кола, розгорткою якого вона є, а нормаль до евольвенти в будь-якій її точці A_i дотикається цього кола (точка C_i). При цьому радіус кривизни евольвенти в точці A_i дорівнює

$$\rho_{A_i} = l_{A_i C_i} = r_b \mathcal{G}_i, \quad (1)$$

де \mathcal{G}_i – кут розгорнутості евольвенти в точці A_i ;
 r_b – радіус основного кола.

Математика визначає евольвенту як криву, геометричним місцем центрів кривизни якої є коло. *Теоретичне коло евольвентного колеса, ділянки евольвенти якого описують бокові поверхні його зубів, називають **основним колом** цього колеса.*

Якщо число зубів евольвентного колеса збільшити до нескінченності, то $r_b = \infty$. Відповідно до вираження (1) і $\rho_{A_i} = \infty$. При цьому евольвентне колесо перетворюється в зубчасту рейку з прямолінійними профілями зубів, а зачеплення евольвентного колеса з такою рейкою (рис. 2) являє собою різновид зачеплення двох евольвентних коліс. Отже, при роботі даної зубчастої пари, як і при роботі зачеплення двох евольвентних коліс, профілі зубів елементів пари будуть взаємно обвідними у відносному русі. При цьому в абсолютному русі колесо 1 обертається навколо нерухомої осі O , рейка 2 переміщується поступально, а у відносному русі рейка обкочує колесо.

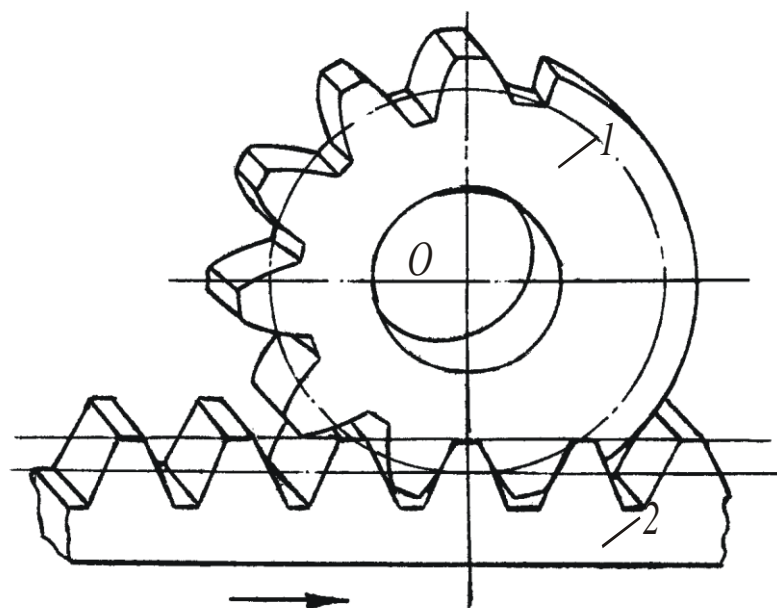


Рисунок 2 – Зубчаста пара "евольвентне колесо-рейка"

На принципі взаємного огинання у відносному русі профілів зубів евольвентного колеса і рейки з прямолінійними профілями зубів засноване нарізання евольвентних зубчастих коліс методом обкатки інструментом рейкового типу. Суть цього методу полягає в тому, що заготовці й інструменту надається такий же відносний рух, який мають ланки зубчастої пари "евольвентне колесо-рейка", тобто рух обкатки. Крім обкатки інструмент повинен здійснювати рух різання – зворотно-поступальний рух вздовж осі заготовки.

Найбільш поширеним інструментом рейкового типу є черв'ячна фреза - циліндричне тіло з різальними кромками, що утворюють уявну поверхню, що має в нормальному перетині форму зубчастої рейки з прямолінійними профілями зубів, так званий виробничий твірний рейковий контур, форма і розміри якого стандартизовані.

Будемо вважати, що рух обкатки здійснюється обертанням заготовки з кутовою швидкістю ω_3 і поступальним переміщенням рейкового інструмента зі швидкістю V_p . Після кожного повороту заготовки на малий кут $\Delta\varphi$ і відповідного йому переміщення рейки на величину ΔS здійснюється рух різання, при якому кожна грань виробничого рейкового контуру, що знаходиться в зоні заготовки, залишає (прорізає) на ній свій слід. У результаті взаємного огинання профілів евольвентного колеса і рейки сукупність цих прямолінійних слідів дає евольвентний профіль зуба (рис. 3).

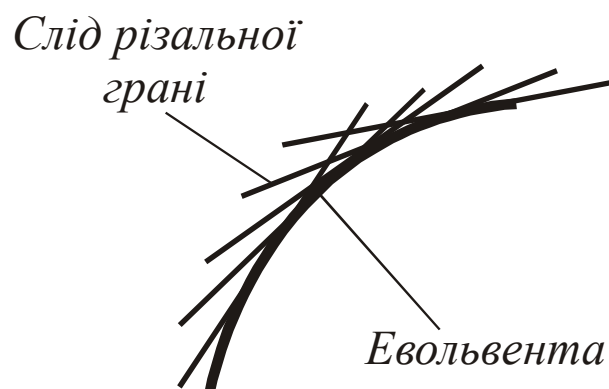


Рисунок 3 – Формування евольвентного профілю зубів

На рис. 4 показане верстатне зачеплення евольвентного колеса, що нарізається з рейковим інструментом, який має стандартні параметри виробничого (твірного) контуру:

- коефіцієнт висоти головки зуба $h_a^* = 1$;
- коефіцієнт радіального зазору $c^* = 0,25$;
- кут профілю інструмента $\alpha = 20^\circ$.

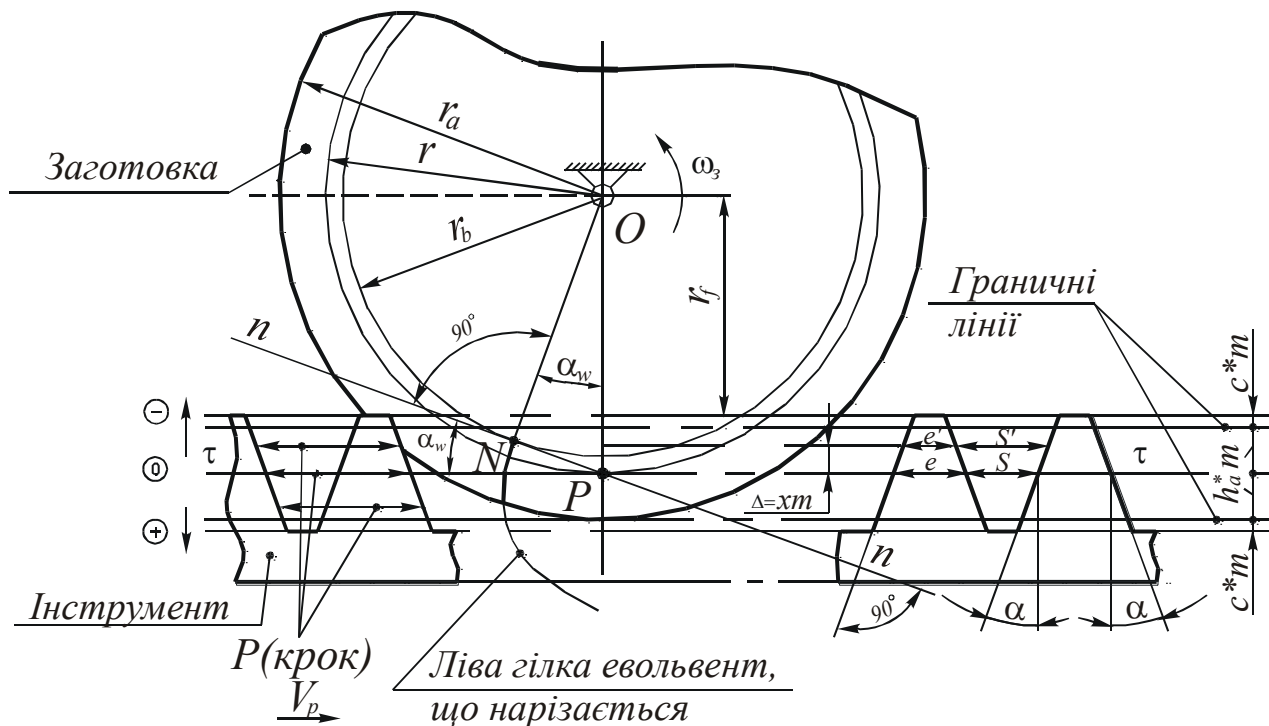


Рисунок 4 – Верстатне зачеплення евольвентного колеса, що нарізається з рейковим інструментом

При обертанні заготовки з ω_3 і поступальному переміщенні інструмента з V_p у відносному русі інструмент заготовку обточує. При цьому точки одного з кіл заготовки мають колову швидкість $V = \omega_3 r = V_p$. Подовжня лінія інструмента, що дотикається цього кола, у відносному русі перекочується по ньому без ковзання, а отже, залишає на ньому свої кроки (кроки інструмент по всіх подовжніх лініях однакові). Таке коло заготовки (колеса, що нарізаються) називається ділильним. Звідси таке визначення: **ділильне коло евольвентного колеса** – це таке його коло, на якому крок колеса дорівнює кроку інструмента, що його нарізав. Це коло приймається за базу для визначення розмірів зубів евольвентних коліс.

При нарізанні колеса з числом зубів z рейкою кроку p радіус ділильного кола r повинен задовольняти співвідношенню

$$2\pi r = pz. \quad (2)$$

З вираження (2) випливає, що оскільки π – ірраціональне число, то крок інструмента p також виражається ірраціональним числом. Тому в основу стандарту на рейковий інструмент і евольвентних коліс, що їм нарізаються вибрано не крок p , а величина

$$m = \frac{p}{\pi}, \quad (3)$$

що виражається дійсним числом і названа модулем. Звідси таке визначення: **модуль евольвентного колеса m** – це відношення його кроку по ділильному колу, до числа π .

Значення m регламентовані стандартом СТ СЕВ 310-78. При цьому формули радіуса і діаметра ділильного кола з вираження (2) і (3) набувають вигляду

$$r = \frac{mz}{2}, \quad d = mz. \quad (4)$$

Щоб нарізати евольвентне зубчасте колесо заданих z і m , інструмент модуля m потрібно без ковзання прокотити по колу радіуса r , визначуваного формулою (4), тому що це єдине коло, на якому може поміститися рівно z кроків, які відповідають цьому модулю ($p = \pi m$). Це випливає з рівності (2). Інструмент прокотиться без ковзання по колу потрібного радіуса r тільки в тому випадку, якщо верстат настроїти так, щоб виконувалася рівність

$$\omega_3 r = V_p. \quad (5)$$

При цьому по ділильному колу радіуса r без ковзання у відносному русі прокотиться та подовжня лінія інструмента, що буде її дотикатися. Установка інструмента, при якій ділильного кола дотикається його середня пряма, вважається номінальною (нульовою); колеса, нарізані при такій установці інструмента – *нульовими*, нарізаними без зміщення різального інструмента.

Зміщення інструмента відносно нульової установки від центру заготовки вважається додатним, колеса – *додатними*, зміщення інструмента до центру заготовки – від’ємним, колеса – *від’ємними*.

Відношення абсолютного зміщення інструмента Δ до модуля називають коефіцієнтом зміщення:

$$x = \frac{\Delta}{m}. \quad (6)$$

Значенням Δ і x приписують відповідні знаки. При нульовій установці інструмента $x=0$, $\Delta=xt=0$; при додатному зміщенні $x>0$ і $\Delta=xt>0$; при від’ємному зміщенні $x<0$ і $\Delta=xt<0$.

Зуби інструмента формують западини колеса, що нарізується, западини інструмента – зуби колеса. По середній лінії інструмента товщина зубів дорівнює ширині западин. Отже, у нульового колеса по ділильному колу товщина зубів S дорівнює ширині западин e . У додатних коліс $S>e$, у від’ємних $S<e$. Для знаходження S і e коліс при будь-яких значеннях x можуть бути використані знаходження:

$$S=p/2+2xmtg\alpha, \quad (7)$$

$$e=p/2-2xmtg\alpha.$$

Радіус кола западин коліс r_f визначається відстанню від центру заготовки до лінії, що проходить через вершини зубів інструмента. При цьому

$$r_f=r-m(h_a^*+c^*)+xm. \quad (8)$$

На рис. 4 ($n-n$) – лінія верстатного зачеплення (геометричне місце точок контакту зубів колеса, що нарізається, й інструмента на нерухомій площині). З теорії зачеплення двох евольвентних коліс відомо, що лінія зачеплення є нормаллю до профілів, що контактують, і дотикається їх основних кіл. Отже, кут верстатного зачеплення α_w дорівнює куту профілю інструмента α , а радіус основного кола

$$r_b=l_{ON}=rcos\alpha. \quad (9)$$

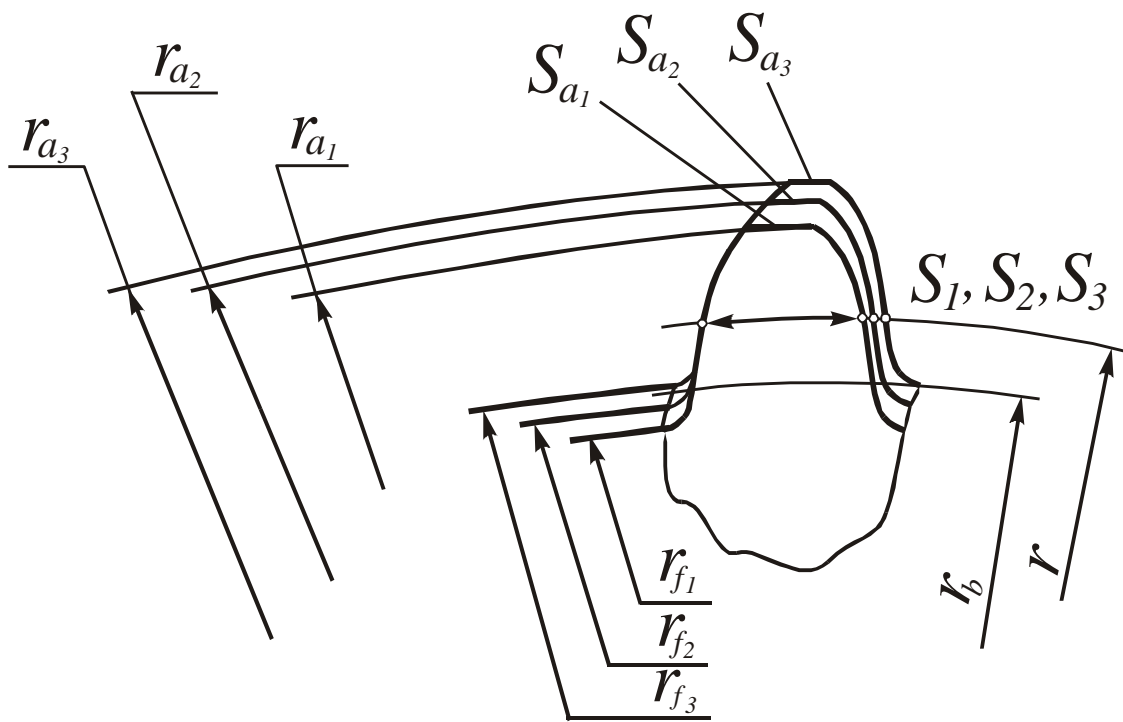
З формул (4) і (9) випливає, що r_b , як і радіус ділильного кола r , не залежить від зміщення різального інструмента, тобто незалежно від установки інструмента стосовно заготовки профілі зубів усіх коліс заданих модуля m і числа зубів z обкреслені різноманітними ділянками однієї й тієї ж теоретичної евольвенти (евольвенти одного й того ж основного кола).

При використанні коліс, нарізаних із зміщенням, коло виступів кожного колеса повинно визначатися не тільки установкою інструмента при нарізанні даного колеса, але й тим, як буде встановлено інструмент при нарізанні того колеса, з яким дане буде працювати в парі. Тому при виконанні лабораторної роботи, що розглядає одне конкретне колесо, для визначення радіуса кола виступів рекомендується використовувати наближену формулу

$$r_a \approx r + h_a^* m + xm. \quad (10)$$

На рис. 5 порівнюються профілі зубів трьох коліс, що мають однакові числа зубів, нарізаних одним і тим самим інструментом, а отже, що мають один і той самий модуль m , але з різноманітними зміщеннями: $x_1 < 0$, $x_2 = 0$, $x_3 > 0$. Відповідно до виражень (4) і (9) ці колеса мають однакові радіуси ділильних r основних r_b кіл. Отже, профілі зубів усіх трьох коліс обкреслені різними ділянками однієї й тієї ж теоретичної евольвенти. Але, як очевидно із рис. 5, товщини зубів по ділильному колу S_1, S_2, S_3 , радіуси кіл западин $r_{f_1}, r_{f_2}, r_{f_3}$, радіуси кіл виступів $r_{a_1}, r_{a_2}, r_{a_3}$ і товщини зубів по колу виступів $S_{a_1}, S_{a_2}, S_{a_3}$ будуть різними. Отже, призначаючи при проектуванні той або інший коефіцієнт зміщення, можна впливати на форму зубів коліс, а отже, і на їхні якісні показники.

З рис. 5 випливає, що при збільшенні x збільшується товщина зуба біля основи. *Отже, додатне зміщення збільшує міцність на згин зубів*, тому що зуб на згин працює як консольна балка, жорстко затиснена біля основи (рис. 6,а). *Від'ємний зсув міцність на згин зменшує.*



1 – від’ємне колесо; 2 – нульове колесо; 3 – додатне колесо

Рисунок 5 - Профілі зубів евольвентних коліс при різноманітних положеннях різального інструмента

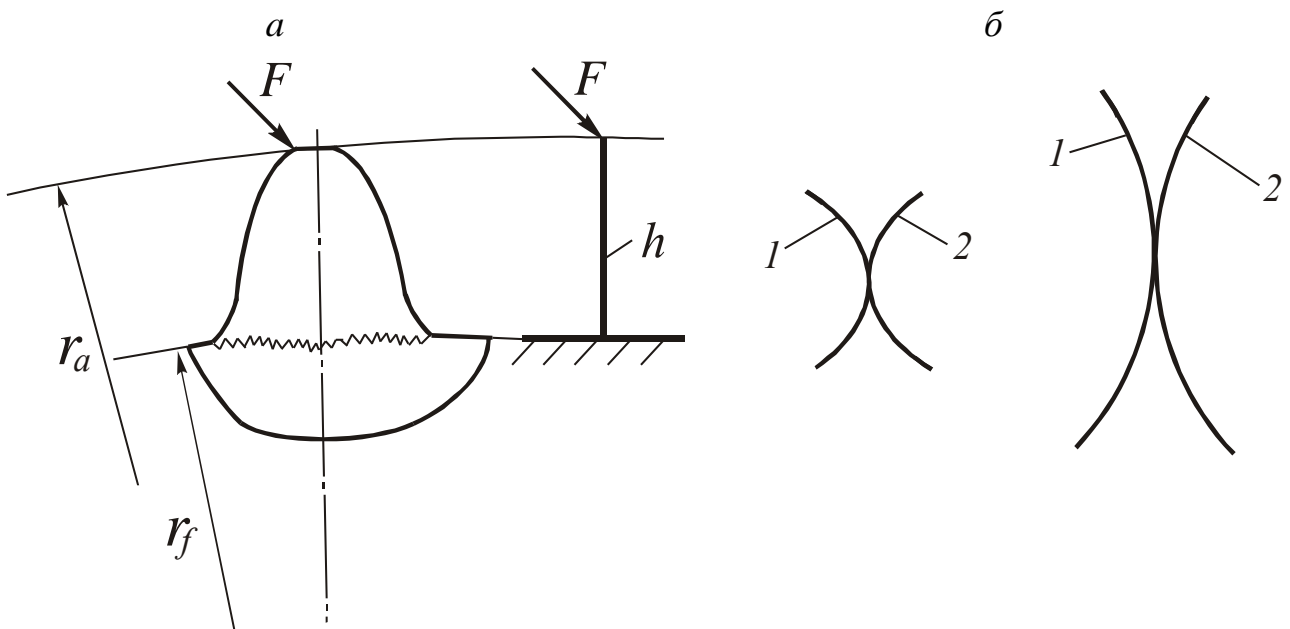


Рисунок 6 – До питання про контактну міцність зубів і міцність на згин

Із збільшенням радіусів кривизни профілів, що контактують, збільшується пляма контакту (рис. 6,б), а отже, знижуються контактні напруження. При додатному зміщенні профіль зуба, стосовно нульового колеса тих же m і z , відсувається від центру заготовки, а отже, і від основи евольвенти. При цьому, відповідно до формули (1), як робоча поверхня зуба, використовується ділянка евольвенти з великими радіусами кривизни. *Отже, додатний зсув збільшує контактну міцність зубів, а від'ємне зменшує.*

З рис. 5 очевидно, що при віддаленні від основного кола гілки його евольвенти, що формують профіль зуба, різко сходяться. Це призводить до того, що при збільшенні додатного зміщення товщина зубів по колу виступів зменшується.

Отже, додатний зсув має тенденцію до загострення зубів. Максимально можливе додатне зміщення обмежується умовою відсутності загострення зубів:

$$S_a \geq [S_a]. \quad (11)$$

Для запобігання злому вершин загострених зубів і задирання ними спряжених поверхонь приймають $[S_a] = (0,2 \dots 0,3)m$.

При нарізанні евольвентних коліс евольвенту формують прямолінійні ділянки зубів рейкового інструмента (див. рис. 4). Лінія вершин зубів інструментальної рейки формує коло западин колеса, що нарізається, а заокруглення у вершин - перехідні криві, що сполучають евольвентний профіль зуба колеса з колом западин. При нарізанні нульових зубчастих коліс можуть мати місце три випадки:

1) $z > 17$. Зовнішня гранична лінія інструмента виявиться далі від центру заготовки, чим точка N , що відповідає початковій точці евольвенти A_0 (див. рис. 1 і 4). Евольвента на заготовці буде нарізана до деякої точки B , що лежить далі від центру, чим її теоретична основа A_0 . Далі евольвенту продовжить перехідна крива, що сполучає евольвентну частину профілю зуба з колом западин (рис. 7,а).

2) $z = 17$. Зовнішня гранична лінія інструмента пройде через точку N контакту лінії зачеплення $n-n$ з основним колом. Евольвента на заготовці виявиться нарізаною до її теоретичної основи A_0 , а далі піде перехідна крива (рис. 7,б).

3) $z < 17$. Зовнішня гранична лінія рейки виявиться ближче до центру заготовки, чим точка N . Евольвента як би повинна увійти всередину основного ко-

ла. Дослідження показують, що при цьому спочатку евольвента буде нарізана до основного кола, а потім частина евольвентного профілю буде вирізана (рис. 7,в). Зуби вийдуть підрізаними в основі, що неприпустимо, тому що зменшується їхня міцність на згин. Щоб нарізати колесо при $z < 17$ із непідрізаними зубами, привівши випадок 3 до випадку 2, тобто щоб евольвента виявилася нарізаною до своєї теоретичної основи A_0 на основному колі, необхідно інструменту при нарізанні такого колеса надати додатне зміщення:

$$\Delta_{min} = x_{min} m, \quad (12)$$

де $x_{min} = \frac{17-z}{17}$ – мінімальний коефіцієнт додатного зміщення, що виключає підрізання зубів.

Якщо для $z < 17$ прийняти $x > x_{min}$, то випадок 3 буде приведений до випадку 1, тобто і при $z < 17$ евольвента буде нарізана до якоїсь точки, що лежить вище основного кола.

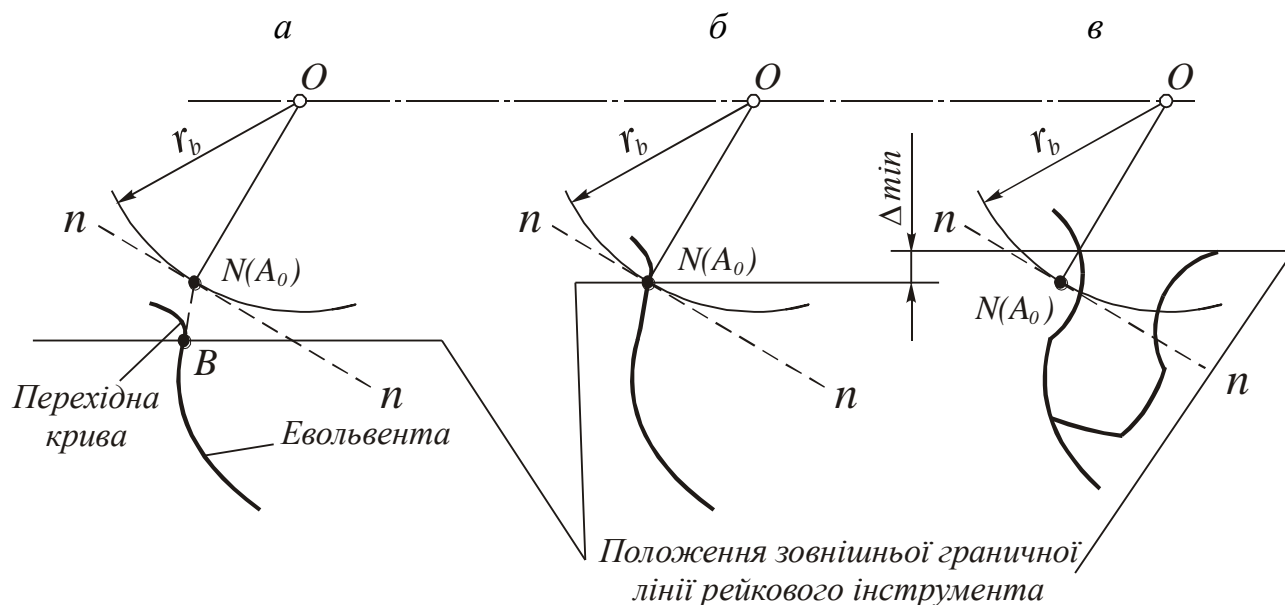


Рисунок 7 – Можливі варіанти нарізання нульових евольвентних зубчастих коліс

Зрозуміло, що при $z < 17$ нарізати від'ємні колеса не можна, тому що вони мають підрізані зуби, навіть будучи нарізаними нульовими. Їх потрібно нарізати додатними при $x \geq x_{min}$. При виконанні лабораторної роботи чисто в навчальних цілях, щоб наочно побачити вплив від'ємного зміщення інструмента на форму зубів колеса, що нарізуються, передбачено нарізання зубів колеса з $z < 17$ при від'ємному зміщенні $\Delta = -\Delta_{min}$.

Колеса з $z > 17$ можна нарізати як додатними, так і від'ємними, але якщо x має значення не менше значення, отриманого за формулою (12). У протилежному випадку й у колеса з $z > 17$ зуби будуть мати підріз, тобто випадок 1 виявиться приведеним до випадку 3.

2 ОПИС ПРИЛАДУ І РОБОТИ З НИМ

Прилад, що моделює нарізання евольвентних зубчастих коліс методом обкатки інструментом рейкового типу, показаний на рис. 8.

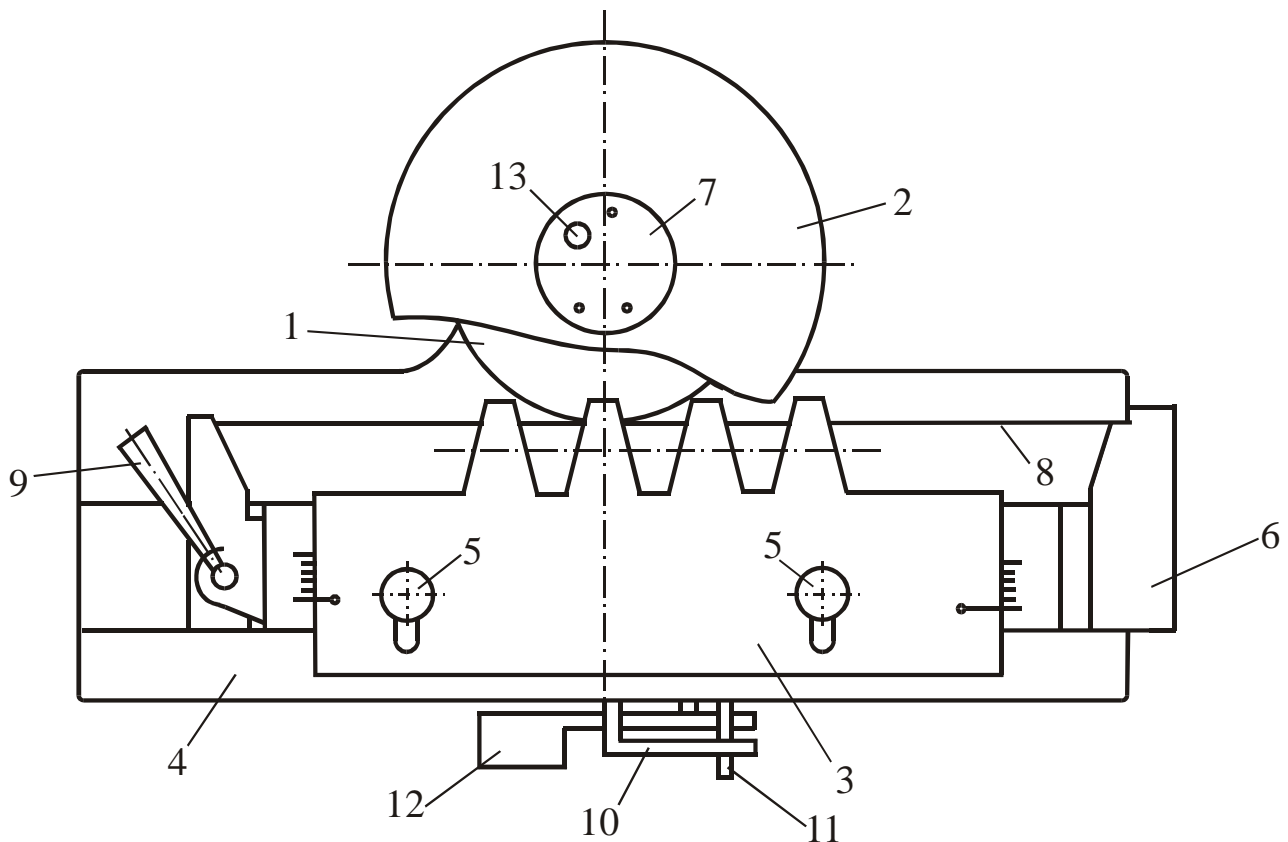


Рисунок 8 – Схема приладу ТММ-42

Основними елементами приладу є жорстко сполучені співвісні диски 1 і 2 і рейка 3, яка має розміри, що відповідають номінальним параметрам виробничого рейкового контуру зазначеного на ній модуля m .

Диски 1 і 2 можуть обертатися навколо осі, закріпленої на литій основні 4. Зубчаста рейка 3 розташована з невеликим зазором над верхнім диском 2 і закріплена гвинтами 5 на каретці 6, яка може переміщатися вліво і вправо в напрямних основи 4. Верхній диск 2 по діаметру більше кола виступів колеса, що нарізається, і призначений для закріплення на ньому паперового круга, що імітує заготовку. Паперовий круг наколюється на три спеціальні голки і притискається до диска 2 накладкою 7 за допомогою гвинта 13.

З двох рухів процесу нарізання зубчастих коліс - руху обкатки і руху різання - описаний прилад імітує тільки рух обкатки. Тому при роботі з ним кожна операція різання замінюється окресленням тих граней інструмента, що при нарізанні прорізали б на заготовці свої сліди.

Діаметр нижнього диска 1 дорівнює діаметру ділильного кола d колеса модуля m , рівного модулю рейки 3, і числа зубів $z = \frac{d}{m}$. Значення діаметра d вибито на рейці.

Кінематичний зв'язок між рейкою і заготовкою, що узгоджує переміщення обох ланок і є необхідним для здійснення руху обкатки під час креслення зубів, забезпечується натягнутою струною, яка охоплює нижній диск 1 по всьому колу, а її кінці кріпляться: правий - до каретки 6, а лівий - до важеля, що сполучений із кареткою і за допомогою ексцентрикового механізму через рукоятку 9 створює необхідний натяг струни. При переміщенні каретки 6 із рейкою 3 натягнута струна змотується з одного півкола диска 1 і намотується на інший, що змушує його повертатися. При цьому струна у відносному русі без ковзання котиться по нижньому диску, а отже, по збіжному з ним ділильному колу колеса, що нарізається. Рейка 3 у пазах каретки 6 може переміщатися у вертикальному напрямку, наближаючись або віддаляючись від центру заготовки. При цьому при переміщенні каретки в горизонтальному напрямку по ділильному колу заготовки у відносному русі буде котитися та подовжня лінія рейки 3, що збігається зі струною. На тілі рейки 3 справа і зліва є спеціальні риси, розташовані проти двох вертикальних шкал, нанесених на каретці 6. Коли риси стоять проти нульових позначок шкал, то зі струною збігається середня лінія рейки, також позначена на її зубах рисами, що відповідає номінальній її установці для нарізання

нульового колеса.

Для одержання в процесі обкатки евольвентних профілів зубів диск 2 із заготовкою й інструмента рейка 3 мають можливість здійснювати переривчастий рух з малим кроком: заготовка - обертальний на кут $\Delta\varphi$, рейка - поступальний на відстань $\Delta S=r\Delta\varphi$.

Після кожного кроку варто окреслити ті грані рейки, що потрапляють на заготовку і які при русі різання прорізали б на заготовці свої сліди. Переривчастий рух обкатки (кроками) досягається за допомогою храпового механізму, вмонтованого в нижню частину основи 4 і, який складається з допоміжної рейки малого кроку. (4...5 мм) і зуба (заскочки). Зубом заскочки управляє важіль 10. Якщо важіль 10 стоїть на упорі 11, заскочка входить у зачеплення з рейкою храпового механізму. При знятті важеля 10 з упора і повороті в протилежний бік (уліво) заскочка виходить із зачеплення з рейкою. При положенні важеля 10 на упорі 11, натискання на спеціальну плоску клавішу 12 переміщає каретку 6 разом із рейкою 3 справа наліво на величину кроку допоміжної рейки. При звільненні клавіші 12 каретка 6 і рейка 3 фіксуються заскочкою в положенні останнього кроку. Прилад передбачає вільне переміщення каретки 6 вліво або вправо. Для цього поворотом важеля 10 у крайнє ліве положення необхідно вивести заскочку з зачеплення з допоміжною рейкою. Крім того, є можливість вільного повороту диска 1. Для цього потрібно поворотом рукоятки 9 уліво послабити натяг струни 8.

Робоче положення приладу похиле. Воно забезпечується підставкою, що відкидається, розташованою з тильної сторони приладу.

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1 Отримавши методичні вказівки до лабораторної роботи і прилад, ознайомитися з його устроєм і принципом дії (розд. 2).

2 По п. 2 звіту з лабораторної роботи визначити число зубів z колеса, "що нарізається" на даному приладі, мінімальний коефіцієнт зміщення x_{min} і мінімальне абсолютне додатне зміщення $\Delta_{min}=x_{min}m$, що виключають підріз зубів при нарізанні нульового колеса з розрахованим числом зубів ($z < 17$).

3 Знявши з диска 2 (див. рис. 8) накладку 7, наколотити на його голки симетрично паперовий круг зазначеного на диску діаметра і закріпити його на-

кладкою за допомогою гвинта 13.

4 Повернути важіль 10 проти ходу годинників стрілки до упора, перевести каретку 6 із рейкою 3 у крайнє праве положення. Після цього важіль 10 повернути по ходу годинників стрілки до упора 11.

5 Рейку 3 по нанесеним на ній рисами установити на нульові позначки шкал на каретці 6, що відповідає її положенню при нарізанні нульового колеса, і закріпити гвинтами 5.

6 Перевірити натяг струни 8. При недостатньому натягу підсилити його поворотом рукоятки 9 по ходу годинникової стрілки.

7 Нарізати (окреслити контур) два зуби нульового колеса. Для цього гостро відточеним олівцем, намагаючись ставити його вістря як найближче до граней зубів рейки, обвести ті з них, що потрапили на заготовку (паперовий круг). Аналогічно окреслювати зуби рейки після кожного натискання на клавішу 12 і відповідних йому поступального переміщення каретки 6 разом із рейкою 3 і повороту заготовки. Так продовжувати доти, поки на заготовці не буде отриманий контур двох зубів (як обвідна різних положень зубів рейки). Прилад дозволяє одержати контур трьох зубів. Щоб із метою економії місця на паперовій заготовці нарізати тільки два зуби, при переміщенні рейки 3 грані третьої западини, що ввійшли в зону заготовки, окреслювати не потрібно.

8 Підготувати прилад до нарізання додатного колеса з $\Delta = \Delta_{min}$. Для цього, поставивши важіль 10 у крайнє ліве положення, перевести каретку 6 із рейкою 3 в крайнє праве положення. Повернути важіль 10 на упор 11. Ослабивши гвинти 5, відсунути рейку 3 стосовно нульової установки від центру заготовки на $\Delta = \Delta_{min}$ і знову закріпити її гвинтами. Щоб для нарізання зубів додатного колеса використовувати чисту частину паперової заготовки, необхідно, ослабивши поворотом уліво рукоятки 9 натяг струни 8, повернути диск 1 так, щоб справа від лівого зуба рейки 3 було чисте поле паперового круга. Поворотом рукоятки 9 створити необхідний натяг струни. Відповідно до рекомендацій п. 7 окреслити контур двох зубів додатного колеса.

9 Відповідно до п. 8 підготувати прилад до нарізання від'ємного колеса $\Delta = -\Delta_{min}$, для чого рейку 3 стосовно нульової установки присунути до центру заготовки. Відповідно до п. 7 окреслити контур двох зубів від'ємного колеса.

10 Зняти паперовий круг з приладу (рис. 9) і на отримані контури зубів трьох коліс нанести дуги характерних кіл окружностей: ділильного (r), основ-

ного (r_b), западин (r_f), виступів (r_a), товщину зуба S і ширину западини e по ділительному колу і товщину зуба по колу виступів S_a .

11 Оглянути отримані на паперовій заготовці зуби трьох коліс (нульового, додатного і від'ємного) і проаналізувати, як впливає зміщення різального інструмента на форму зубів коліс і їхні якісні показники.

12 Оформити протокол звіту з лабораторній роботі відповідно до зразка (с. 21 – 23).

4 НЕОБХІДНІ ПРИЛАДДЯ

1 Прилад ТММ-42.

2 Заготовка потрібного діаметра з креслярського паперу.

3 Олівець ТМ.

4 Олівцева гумка.

5 Циркуль.

6 Металева лінійка.

7 Мікрокалькулятор.

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1 Яку криву називають евольвентою кола?
- 2 Як для довільної точки евольвенти знайти радіус кривизни?
- 3 Які прямозубі зубчасті колеса називають евольвентними?
- 4 Яке коло зубчастого колеса називають основним?
- 5 В що перетвориться евольвентне зубчасте колесо, якщо число його зубів збільшити до нескінченності?
- 6 Які абсолютні рухи здійснюють ланки зубчастої пари "евольвентне колесо – рейка"?
- 7 На чому засноване нарізання евольвентних зубчастих коліс методом обкатки інструментом рейкового типу?
- 8 Що розуміють під кроком рейкового інструмента?
- 9 Яке коло заготовки і колеса, що на ній нарізається, називають ділильним і чому?
- 10 На якому колі евольвентного колеса, що нарізається, крок розташування зубів дорівнює кроку різального інструмента?
- 11 Що розуміють під модулем рейкового інструмента? Його зв'язок із кроком інструмента.
- 12 Що розуміють під модулем евольвентного колеса m ?
- 13 Запишіть формулу для діаметра ділильного кола колеса конкретних числа зубів z і модуля m .
- 14 Запишіть формулу основного кола евольвентного колеса.
- 15 Чи залежить радіус ділильного кола колеса, що нарізається, від зміщення різального інструмента?
- 16 Чи залежить радіус основного кола евольвентного колеса від зміщення різального інструмента?
- 17 Яке положення різального інструмента відносно заготовки вважають нульовим (номінальним)?
- 18 Яке зміщення різального інструмента відносно нульової установки вважають додатним?
- 19 Яке зміщення різального інструмента відносно нульової установки вважають від'ємним?
- 20 З яким мінімальним числом зубів нульові колеса можуть бути нарізані без підрізу зубів?

- 21 Як забезпечити нарізання коліс із $z < 17$ без підрізу зубів?
- 22 Що таке коефіцієнт зміщення?
- 23 Привести формулу мінімального коефіцієнта додатного зміщення, що забезпечує нарізання евольвентних зубчастих коліс із $z < 17$ без підрізу зубів.
- 24 Як зміниться товщина зуба нульового евольвентного колеса по ділильному колу, якщо його нарізати додатним?
- 25 Як зміниться товщина зуба нульового евольвентного колеса по ділильному колу, якщо його нарізати від'ємним?
- 26 Як зміниться товщина зуба нульового евольвентного колеса по колу виступів, якщо його нарізати додатним?
- 27 Як зміниться товщина зуба нульового евольвентного колеса по колу виступів, якщо його нарізати від'ємним?
- 28 Як і чому впливає додатне зміщення різального інструмента на міцність на згин зубів евольвентного колеса?
- 29 Як і чому впливає від'ємне зміщення різального інструмента на міцність на згин зубів евольвентного колеса?
- 30 Як і чому впливає додатне зміщення різального інструмента на контактну міцність зубів евольвентного колеса?
- 31 Як і чому впливає від'ємне зміщення різального інструмента на контактну міцність зубів евольвентного колеса?

6 ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Нижче наведено зразок оформлення паперової заготовки з отриманими на ній за допомогою описаного вище приладу контурами зубів трьох типів коліс (нульового, додатного і від'ємного), що мають однакові числа зубів z і модуль m , (рис. 9) і зразок протоколу до лабораторної роботи (с. 22, 23). Зазначена оформлена заготовка при захисті лабораторної роботи обов'язково повинна бути прикладена до протоколу.

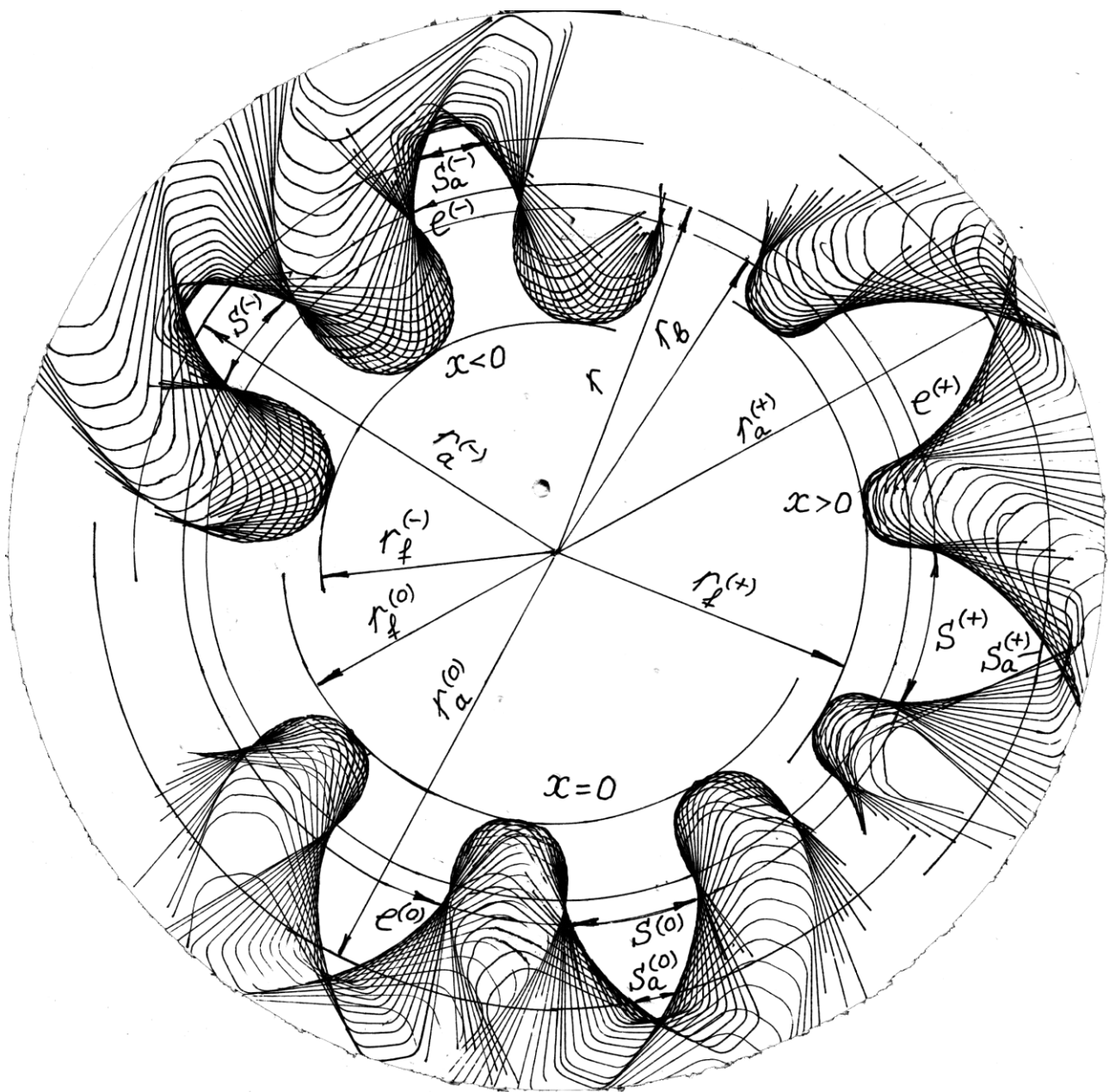


Рисунок 9 – Зразок оформлення схеми "нарізаних" евольвентних зубчастих коліс

Протокол лабораторної роботи 3

**МОДЕЛЮВАННЯ НАРІЗАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС
МЕТОДОМ ОБКАТКИ ІНСТРУМЕНТОМ РЕЙКОВОГО ТИПУ**

1 Схема верстатного зачеплення евольвентного колеса, що нарізається, з інструментом рейкового типу (рис. 1)

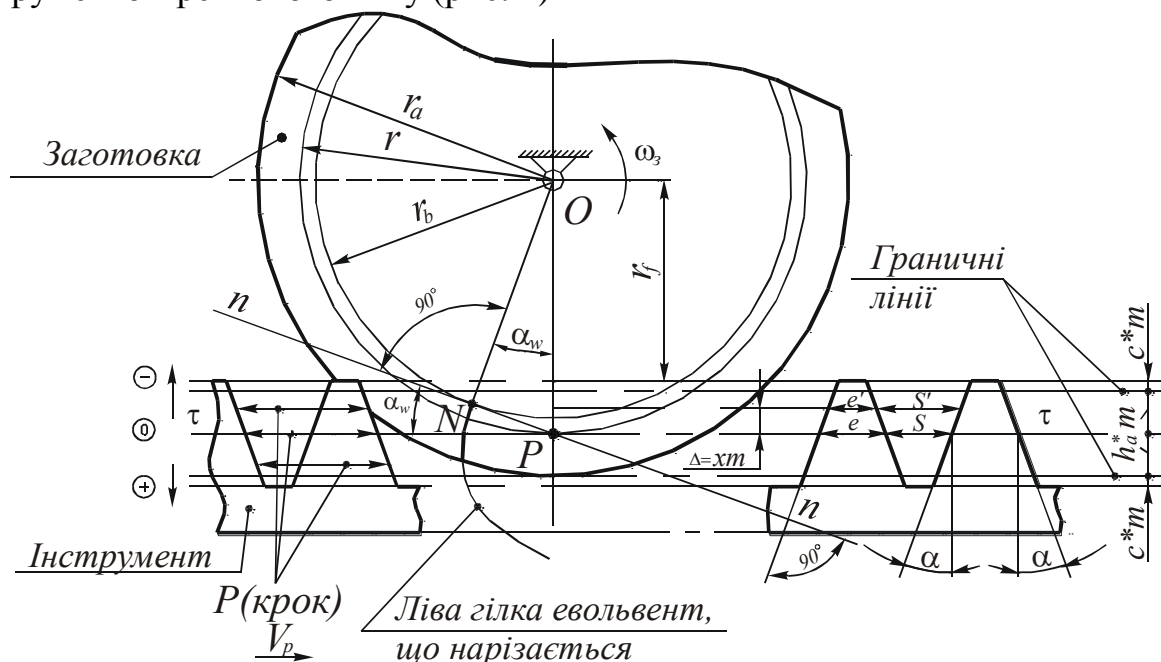


Рисунок 1 – Верстатне зачеплення евольвентного колеса, що нарізається з рейковим інструментом

Інструмент показаний у положенні номінальної (нульовий) установки - ділильне коло заготовки дотикається середньої лінії τ - τ рейкового контуру:

m - модуль інструмента і колеса, що нарізується;

n - n , p , $\alpha_w = \alpha$ - лінія, полюс і кут верстатного зачеплення відповідно.

Для рейкового інструмента з нормальною висотою зуба:

- коефіцієнт висоти головки зуба $h_a^* = 1,0$;

- коефіцієнт радіального зазору $c^* = 0,25$;

- кут профілю інструмента $\alpha = 20^\circ$.

2 Параметри коліс, що нарізуються:

- модуль $m = 16$ мм (заданий);

- діаметр ділильного кола $d = mz = 144$ мм (заданий);

- число зубів колеса, що нарізується $z = \frac{d}{m} = \frac{144}{16} = 9$.

Мінімальний коефіцієнт зміщення, що виключає підрізання зубів:

$$x_{min} = \frac{17 - z}{17} = \frac{17 - 9}{17} = 0,47.$$

Таблиця – Параметри евольвентного зубчастого колеса

Розрахунковий параметр	Формула	Значення параметрів, мм		
		колесо нульове, $x=0$	колесо додатне, $x=0,47$	колесо від'ємне, $x=-0,47$
Радіус ділительного кола	$r = \frac{mz}{2}$	72,00	72,00	72,00
Радіус основного кола	$r_b = r \cos \alpha$	67,66	67,66	67,66
Крок по ділительному колу	$p = \pi m$	50,24	50,24	50,24
Крок по основному колу	$p_b = p \cos \alpha$	47,21	47,21	47,21
Абсолютне зміщення інструмента	$\Delta = xm$	0	7,52	-7,52
Радіус кола западин	$r_f = r - m(h_a^* + c^*) + xm$	52,00	59,52	44,48
Радіус кола виступів	$r_a = r + h_a^* m + xm$	88,00	95,52	80,48
Товщина зуба по ділительному колу	$s = \frac{p}{2} + 2xmtg\alpha$	25,12	30,59	19,65
Ширина западини по ділительному колу	$e = \frac{p}{2} - 2xmtg\alpha$	25,12	19,65	30,59

3 Висновки:

- 1) Додатне зміщення різального інструмента міцність на згин _____, а від'ємне - _____.
(збільшує, зменшує) (збільшує, зменшує)
- 2) Додатне зміщення різального інструмента контактну міцність _____, а від'ємне - _____.
(збільшує, зменшує) (збільшує, зменшує)
- 3) _____ зміщення має тенденцію до загострення зубів кола.
(додатне / від'ємне)
- 4) _____ зміщення може призвести до підрізання зубів у біля основи.
(додатне / від'ємне)

Роботу виконав _____
(підпис)

Роботу прийняв _____
(підпис)

Дата _____

Дата _____

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Кіницький, Я. Т.** Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – К. : Наукова думка, 2002. – 660 с.
2. **Кіницький, Я. Т.** Короткий курс теорії механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – Львів : Афіша, 2004. – 272 с.
3. **Кореняко, О. С.** Теорія механізмів і машин / О. С. Кореняко. – К. : Вища школа, 1987. – 206 с.
4. **Артоболевский, И. И.** Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
5. Теория механизмов и механика машин / под ред. К. В. Фролова. – М. : Высшая школа, 2001. – 496 с.
6. **Заблонский, К. И.** Теория механизмов и машин / К. И. Заблонский, И. М. Белоконев, Б. М. Щекин. – К. : Вища школа, 1989. – 376 с.
7. **Левитский, Н. И.** Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1990. – 592 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З

з дисципліни "ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН"

для студентів усіх спеціальностей

***МОДЕЛЮВАННЯ НАРІЗАННЯ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС
МЕТОДОМ ОБКАТКИ ІНСТРУМЕНТОМ
РЕЙКОВОГО ТИПУ***

Укладачі: ЧОСТА Наталія Вікторівна,
ШОЛЕНІНОВ Владислав Євгенович

Редагування О. М. Болкова

17/2021. Формат 60 x 84/16. Умовн. друк. арк. 1,4.
Обл.-вид. арк. 1,09. Тираж ___ прим. Зам. № ___

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003