

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
МР.ПМКм-04.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-22-1

Бережанський Дмитро

Михайлович

2023

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки

Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Бережанський Дмитро Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.91

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Моделювання процесу однопрохідного багатониткового точіння конічної замкової нарізі

NC12

(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування

(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Д.М. Бережанський

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Онисько О.Р., професор кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор Панчук В. Г.

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

м. Івано-Франківськ — 2023 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« ____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Бережанському Дмитру Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання процесу однопрохідного багатониткового точіння конічної замкової нарізі NC12

керівник роботи Онисько О.Р., професор кафедри КМВ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом закладу вищої освіти від "13" грудня 2023 року № 224/7

2. Строки подання студентом роботи 25 січня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи: конічна замкова нарізь NC12, середовище програм SolidWorks

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд науково-технічної інформації щодо виготовлення конічних нарізей бурильних замкових з'єднань. 2. Методологія дослідження виготовлення профілю нарізі NC12 за допомогою гребінки. 3. Результати досліджень дослідження виготовлення профілю нарізі NC12 за допомогою чотириниткової гребінки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальні схеми та рисунки виготовлення конічних замкових з'єднань. 2. Схеми встановлення чотириниткової гребінки різця із нахилом різальної крайки λ , формула для розрахунку кута нахилу різальної крайки. 3. Чотиринитковий нарізевий профіль при різних способах подачі врізання нарізевими пластинами. 4. Геометричні моделі, що пояснюють

походження повздовжніх та кутових відхилів точок профілю нарізі, формули для розрахунку відхилів. 5. Схема ілюстрації формул для розрахунку функціональної залежності профілю нарізі від величини тангенціального відхилу установлення різця. 6. Результати дослідження точності замкової конічної нарізі форми VI виготовленої точнінням за допомогою чотириниткового різця.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | Онисько О.Р., професор кафедри КМВ | | |
| 2 | Онисько О.Р., професор кафедри КМВ | | |
| 3 | Онисько О.Р., професор кафедри КМВ | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітки |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Огляд науково-технічної інформації щодо виготовлення конічних нарізей бурильних замкових з'єднань | 01.01.2024 | |
| 2 | Методологія дослідження виготовлення профілю нарізі NC12 за допомогою гребінки | 09.01.2024 | |
| 3 | Результати досліджень дослідження виготовлення профілю нарізі NC12 за допомогою чотириниткової гребінки | 19.01.2024 | |
| 4 | Захист магістерської роботи | 29.01.2024 | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____ Березанський Д.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Онисько О.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

“ ___ ” _____ 2020_p.

Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: Моделювання процесу однопрохідного багатониткового точіння конічної замкової нарізі NC12. Дана робота складається зі 45 аркушів. До неї входять 31 рисунки, 3 таблиць, 2 додатки. Для розрахунку роботи було використано 23 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження – профіль конічної замкової нарізі NC12.

Предмет дослідження – точність виготовлення профіль конічної замкової нарізі NC12 за допомогою однопрохідного багатониткового точіння.

Мета роботи – дослідити аналітичним методом точність параметрів профілю конічної замкової нарізі NC12 .

Основним завданням роботи є дослідити аналітичним методом точність параметрів профілю конічної замкової нарізі NC12 за допомогою однопрохідного багатониткового точіння.

Відповідно до поставленої задачі в першій частині магістерської роботи було проаналізовано застосування та типи замкових нарізей , наведено посилання на джерела, що досліджують процеси формоутворення конічних замкових нарізей, а також складено план подальшого дослідження.

У другій частині магістерської роботи було проаналізовано методологію дослідження виготовлення профілю нарізі NC12 за допомогою гребінки.

У третій частині викладено результати досліджень дослідження виготовлення профілю нарізі NC12 за допомогою чотириниткової гребінки.

У четвертій частині викладено результати дослідження точності замкової конічної нарізі форми 6 виготовленої точінням за допомогою чотириниткової гребінки.

У п'ятій частині викладено результати досліджень відхилів профілю нарізі на основі 3d-геометричної однопрохідної моделі точіння замкової різьби NC12 за допомогою 4-ниткової гребінки.

В додатках наведено креслення стандартного з'єднання ніпель-муфта, три-вимірна схема установки одно і двониткової твердосплавної різальної

вставки, аналіз кінематичної точності створення профілю нарізі за допомогою гребінки та результати досліджень.

Ключові слова: конічна замкова нарізь, ніпель, муфта, кут підйому конічної нарізі, двонитковий нарізевий профіль, тангенціальне зміщення, повздожне зміщення, геометрична модель.

Студент Бережанський Д.М.

Summary

Master's qualification thesis on the topic: Modeling of the process of single-pass multi-thread turning of the NC12 conical lock thread. This work consists of 93 sheets. It includes 32 figures, 20 tables, 2 appendices. 15 bibliographic titles were used to calculate the work.

The object of the research is the profile of the NC12 conical lock cutting.

The subject of the study is the accuracy of manufacturing the NC12 conical keyway profile using single-pass multi-thread turning.

The purpose of the work is to investigate the accuracy of the parameters of the profile of the NC12 conical lock cutting using an analytical method.

The main task of the work is to investigate the accuracy of the parameters of the profile of the NC12 conical lock cutting by means of single-pass multi-thread turning using an analytical method.

In accordance with the task, in the first part of the master's work, the application and types of keyholes were analyzed, references were given to sources investigating the processes of forming conical keyholes, and a plan for further research was drawn up.

In the second part of the master's thesis, the research methodology for the production of the profile of the NC12 thread with the help of a comb was analyzed.

In the third part, the results of the research on the production of the profile of the NC12 thread using a two-thread comb are presented.

In the fourth part, the results of the study of the accuracy of the lock conical cut of form 6 made by turning with the help of a two-thread cutter are presented.

The fifth part presents the results of studies of thread profile deviations based on a 3d-geometric single-pass model of NC12 lock thread turning using a 4-thread comb.

In the appendices, there are drawings of a standard nipple-coupling connection, a three-dimensional diagram of the installation of a one- and two-thread carbide

cutting insert, an analysis of the kinematic accuracy of creating a thread profile using a comb, and the results of research.

Key words: conical locking thread, nipple, coupling, angle of elevation of the conical thread, two-thread threaded profile, tangential displacement, longitudinal displacement, geometric model.

Student Berezhanskyi D.M.

Зміст

| | |
|--|----|
| Вступ..... | 6 |
| 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНИХ НАРІЗЕЙ БУРИЛЬНИХ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ..... | 12 |
| 1.1 Опис, Опис, призначення та конструкції замкових нарізей | 12 |
| 1.2 Аналіз технологічності нарізевої конічної поверхні замкового бурильного з'єднання..... | 14 |
| 1.3 Постановка задачі дослідження точності виконання профілю нарізі..... | 17 |
| 2. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ..... | 19 |
| 3. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ | 21 |
| 3.1 Аналіз технічного креслення різьбового ніпеля NC12 з точки зору можливості застосування багато-ниткового інструменту гребінки | 21 |
| 3.2 Геометричне моделювання процесу однопрохідного багато-ниткового точіння конічної замкової нарізі | 24 |
| 3.3 Моделювання точності профілю замкової нарізі, що отримана внаслідок фінішного одного проходу за допомогою точіння чотири-нитковою гребінкою | 28 |
| 3.4 Моделювання точності профілю замкової нарізі у середовищі 3 вимірного моделювання SolidWorks | 32 |
| 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДХИЛІВ ПРОФІЛЮ НАРІЗИ НА ОСНОВИ 2d-ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОДНОПРОХІДНОЇ МОДЕЛІ ТОЧІННЯ ЗАМКОВОЇ РІЗЬБИ NC12 ЗА ДОПОМОГОЮ 4-НИТКОВОЇ ГРЕБІНКИ | 33 |
| 4.1 Розрахунок кута нахилу різальної крайки | 33 |
| 4.2 Розрахунок тангенціальних відхилів крайніх точок профілю гребінки та осьових зміщень профілю отриманої нарізі | 32 |

| | | | | | | | |
|-----------|------|---------------------|--------|------|--------------------------------|------|--------|
| | | | | | <i>МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | | |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | | <i>Бережанський</i> | | | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Перевір. | | <i>Онисько О.Р.</i> | | | 9 | 45 | |
| Рецензент | | | | | <i>ІФНТУНГ ПМКМ-22-1</i> | | |
| Затверд. | | <i>Панчук В.Г.</i> | | | | | |

*Пояснювальна
записка*

| | |
|---|-----------|
| 4.3 Розрахунок осьових зміщень профілю отриманої нарізі отриманих на основі алгоритму | 33 |
| 4.4 Результат сумісної дії осьових зміщень точок профілю нарізі внаслідок кінематичного характеру: випередження-запізнення і конволютного характеру гвинтової поверхні (реалізації алгоритму) | 36 |
| 5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДХИЛІВ ПРОФІЛЮ НАРІЗИ НА ОСНОВІ 3D-ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОДНОПРОХІДНОЇ МОДЕЛІ ТОЧІННЯ ЗАМКОВОЇ РІЗЬБИ NC12 ЗА ДОПОМОГОЮ 4-НИТКОВОЇ ГРЕБІНКИ..... | 37 |
| 5.1 Побудова тривимірної моделі виконання нарізі у середовищі SolidWorks..... | 37 |
| 5.2 Визначення різниці профілів точок сформованих першим і четвертим різцем гребінки | 38 |
| Висновки..... | 40 |
| Список використаних джерел..... | 41 |
| Додатки..... | 45 |

ВСТУП

Конічні нарізи використовують для з'єднання елементів бурильного обладнання, прокладення трубопроводів, в також інструментів, що працюють в екстремальних умовах (високі крутні моменти, температури, агресивні середовища, різного роду вібрації і т.д). Конструкція переважної більшості труб нафтогазового сортаменту передбачає наявність саме конічної нарізі, тому що такий тип нарізі забезпечує герметичність та передавання великих крутних моментів та осьових сил – це стало причиною їх широкого використання.

Переважно для виготовлення конічних нарізей використовують токарні верстати, тому що ніпель і муфта є ротаційними елементами. Ніпель має зовнішню різьбу, а муфта – внутрішню. Для збільшення терміну служби карбідної вставки кут різальної кромки приймають рівним куту підйому різьби для зниження темпів зношення і сил різання. Точність різьби залежить від точності кроку, середнього діаметру та її профілю. Якщо дослідити параметри обробки які впливають на точність отриманих конічних різьб, то таким чином можна збільшити продуктивність нарізоточіння конічних різьб, і це призведе до зменшення собівартості виготовлення бурильних колон та трубопроводів і, відповідно, до зменшення ціни на вуглеводні, знаходження прісних водойм та прокладання трубопроводів. Також точність виготовлення конічних різьб впливає на згвинчуваність та герметичність конічного зєднання. Це дуже важливо так як тиск подач МОР всередині бурильних колон сягає 20МПа. Тому в даній роботі дослідимо аналітичним методом точність параметрів профілю конічної замкової нарізі NC12 від параметрів обробки.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ВИГОТОВЛЕННЯ КОНІЧНИХ НАРІЗЕЙ БУРИЛЬНИХ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ

1.1 Опис, призначення та конструкції замкових нарізей

Конічні нарізи використовують для з'єднання елементів бурильного обладнання, прокладення трубопроводів, в також інструментів, що працюють в екстремальних умовах. Так як ніпель і муфта є ротаційними елементами, то їх обробку проводять на токарних верстатах з ЧПУ. Ніпель і муфта бурильного замка зєднуються між собою за допомогою великої замкової різьби (конічна різьба трикутного профілю), а приєднання їх до бурильних труб здійснюється за допомогою конічної дрібної трубної різьби трикутного або трапецієвидного профілю. Велика замкова різьба з великою конусністю дозволяє багаторазово згвинчувати і розгвинчувати свічки з незначною затратою часу. Застосування бурильних замків прискорює спуско-підймальні операції та запобігає передчасному зношуванню бурильних труб.

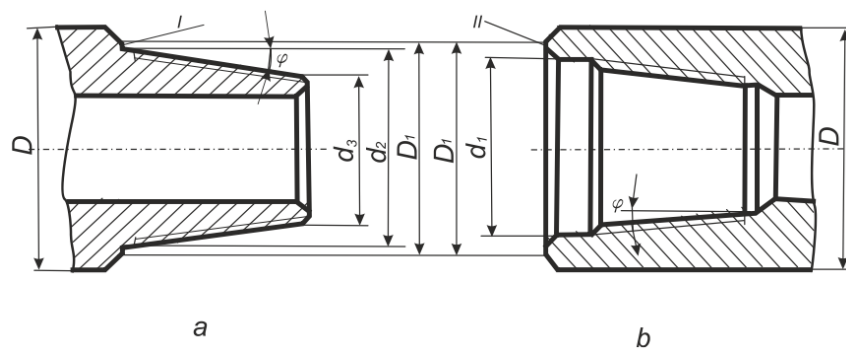


Рисунок 1.1 – Схема кресленика ніпеля (а) і муфти (б)

КЛАСИФІКАЦІЯ КОНІЧНИХ ЗАМКОВИХ НАРІЗЕЙ:

1. За призначенням:

1а. геологічна розвідка;

1б. нафтогазове буріння (елементи низу бурильних колон, ведучі труби, бурильні труби, обважені труби);

2. За механічними властивостями:

2а. твердість від 250НВ до 340НВ;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

- 2б. міцність від 655МПа до 1241МПа;
3. За висотою вихідного трикутника: 3,66мм, 4,376мм, 5,471мм, 5,487мм;
4. За розмірами:
- 4а. діаметр (50мм; 59,8-81мм; 82,6-196мм);
- 4б. конусність (1:5, 1:6, 1:4);
- 4в. крок (5,08мм, 6,35мм);
5. За формою профіля нарізі:
- 5а. трикутна заокруглена (форма 1, 2, 3, 4 і 5);
- 5б. трикутна (форма 6).



Рисунок 1.2 – Схема класифікації конічних замкових нарізей

Зараз на ринку можна придбати спеціальні профільовані різці під всі профілі різьб NC стандарту API7. Передній кут як правило має нульове значення (позитивно-негативна пластинка), а кут різальної кромки приймають рівним куту підйому різьби.

1.2 Аналіз технологічності нарізаної конічної поверхні замкового бурильного з'єднання

Перевагами конічних з'єднань є можливість регулювання величину зазору або натягу відносним зсувом деталей уздовж осі; при нерухомому з'єднанні з натягом можливе часте розбирання та збирання складальних одиниць (вузлів); конічні з'єднання забезпечують хороше центрування деталей і герметичність. До недоліків можна віднести несиметричність профілю різьби з різними значеннями кроку через конусність і складність їх виготовлення, так як діаметри конічних різьб є змінними.

Позначення різьби по державному стандарту: 3-35.

Зарубіжний аналог різьби по стандарту API 7: NC12.

Форма профілю по державному стандарту: 6.

Форма профілю по стандарту API 7: V-0,05.

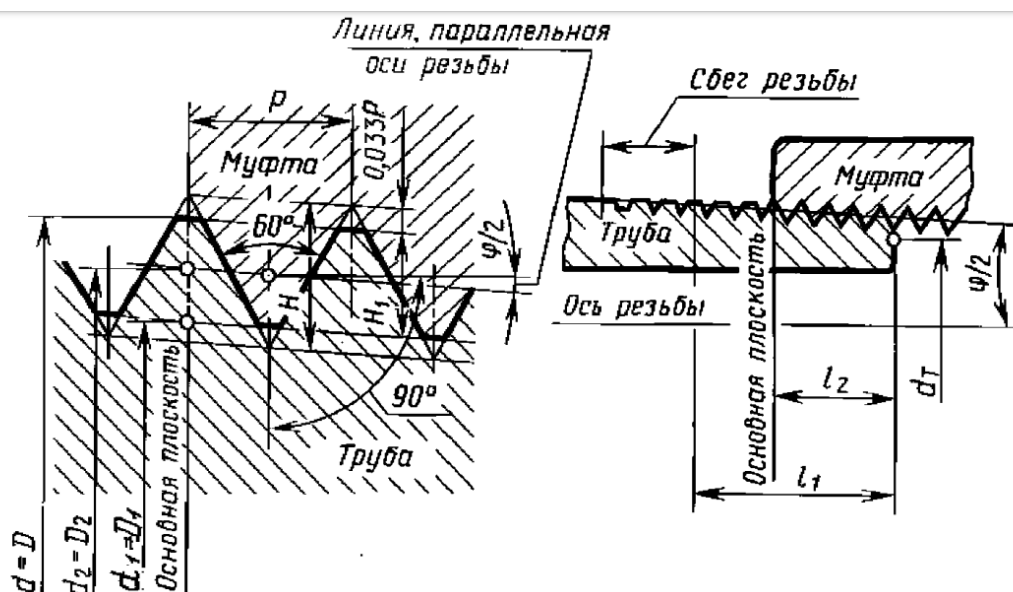


Рис. 1.3 – Схема форми профілю різьби NC12.

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

Арк.

13

Таблиця 1.1 – Параметри профілю конічної замкненої різьби ніпеля та муфти [21]

| Параметри нарізі | Форма профілю | | | | | |
|----------------------------|---------------|-------|------------|-------|-----------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| К-сть кроків на дюйм | 5 | | 4 | | | |
| К (tg φ) | 1:4 | | 1:6 | | 1:4 | 1:8 |
| φ | 7° 7' 30" | | 4° 45' 48' | | 7° 7' 30" | 3° 34' 35" |
| H, мм | 4,376 | 5,471 | 5,487 | | 5,471 | 3,660 |
| h1, мм | 2,993 | 3,742 | 3,755 | 3,095 | 3,083 | 1,420 |
| h, мм | 2,626 | 3,283 | 3,293 | 2,633 | 2,625 | 1,242 |
| b, мм | 0,875 | 1,094 | 1,097 | 1,427 | 1,423 | 1,209 |
| f, мм | 0,508 | 0,635 | | 0,965 | | 1,081 |
| a, мм* | 1,016 | 1,270 | | 1,651 | | 1,397 |
| r, мм | 0,508 | 0,635 | | 0,965 | | 0,38 |
| r1, мм | 0,38 | | | | | 0,38 |

В процесі експлуатації елементи бурильної колони зазнають впливу асиметричного навантаження. Тиск промивної рідини сягає 20МПа, тому потрібна герметичність. Багаторазове використання вимагає зносостійкості різьбового з'єднання. А використання бурильних колон у польових умовах і важкодоступних місцях вимагає ефективного згвинчування та розгвинчування.

Спробуємо знайти залежність між параметрами точіння, геометрії карбідних вставок і експлуатаційними характеристиками згаданими вище. Для цього розглянемо такі дослідження:

В роботі [1] розглядається використання фрезерної обробки для утворення замкових конічних нарізей. Профіль бічної частини скоректованої фрези не є прямою лінією. Про точність середнього діаметру в роботі не йдеться.

В роботі [2] і [3] розглядається залежність між зношенням різальної крайки різців від часу їх використання.

В роботі [2] і [3] розглядається залежність між зношенням різальної крайки різців від часу їх використання.

В роботі [4] розглядається залежність між спрацюванням вершини різця та температурних змін від швидкості точіння та способу подачі різального інструменту.

В роботі [5] йдеться про нарізання різі “Батрес” на заготовці з високоміцної нержавіючої сталі.

В роботі [6] розглядається залежність між профілем отриманої різьби та вібрацій, які виникають під час точіння.

В роботі [7] розглядаються спеціальні способи точіння конічних різьб для підвищення продуктивності через відведення стружки.

В роботах [8] і [9] досліджується вплив параметрів різця на зношування різальної кромки.

В роботах [10], [11] і [12] досліджується вплив спрацювання різців на зміну сил різання в процесі нарізання різців однолезовими та багатолезовими різцями та фрезами.

В роботі [13] досліджується залежність значень переднього кута різця на сили під час точіння конічних нарізей.

В роботах [14] і [15] розглянуті показники точності. В роботах [16], [17], [18] та [19] розглянуто показники якості.

1.3 Постановка задачі дослідження точності виконання профілю нарізі

Недоліками конічної різьби є несиметричність профілю різьби з різними значеннями кроку через конусність і складність їх виготовлення, так як діаметри конічних різьб є змінними.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докum.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 15 |

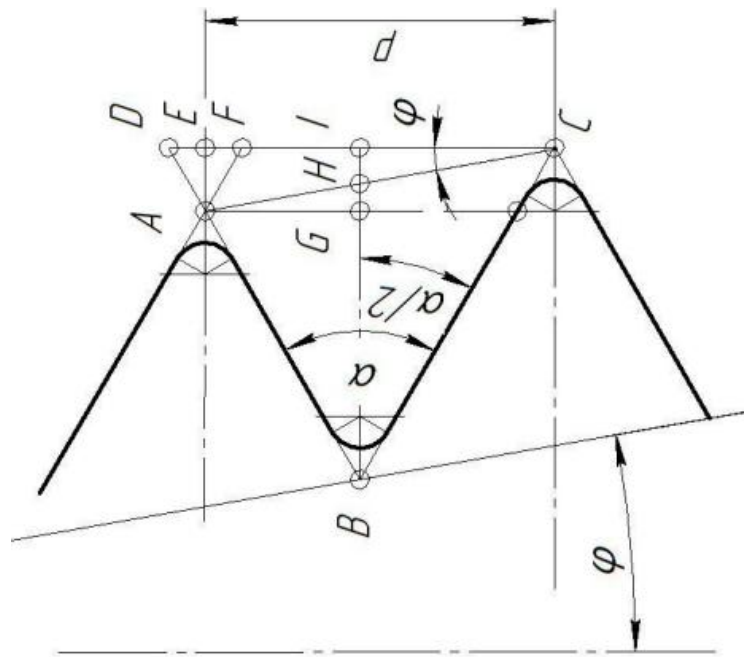


Рис. 1.4 – Схема конічної нарізі

Передній кут як правило має нульове значення (позитивно-негативна пластинка), а кут різальної кромки приймають рівним куту підйому різьби. Якщо потрібно різати нержавіючу сталь, то вставку профілюють через підкладки з певним кутом, щоб досягнути потрібного значення переднього кута.

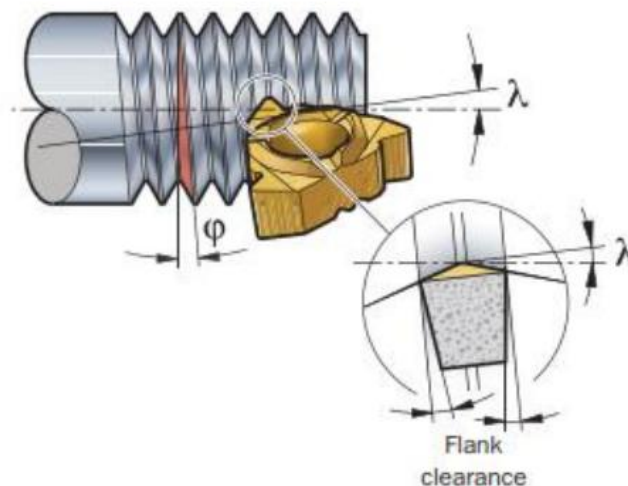


Рис. 1.5 – Схема установки платини під кутом кут різальної кромки λ

На сьогоднішній день конічні замкові нарізі утворюють переважно на токарних станках за допомогою простих (однолезових) карбідних вставок. Але якщо є потреба збільшити продуктивність нарізоточіння, особливо великих різьб,

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

Арк.

16

то можна використати багато нитковий інструмент. Аби збільшити продуктивність такого багатолезового різця його теж можна повернути на кут різальної кромки λ .



Рис. 1.6 – Приклад гребінки та багатолезового різця

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

2. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Запропоновані провідними виробниками гребінки для велико-крокових нарізей в основному зводяться до 3-5 ниткових твердосплавних вставок, серед яких є інструменти для нафтогазових нарізей (рис.1.1, вгорі, посередині). Проте саме для замкових нарізей пропонувано тільки одониткові три-змінні твердосплавні вставки для токарних операцій. (рис.1.1 внизу)



Рис. 2.1 – твердосплавні вставки для велико-крокових нарізей: три-ниткова гребінка для нарізі з трикутним профілем, п'яти-ниткова гребінка для нарізі трапецеїдального профілю, звичайна три-змінна пластина для замкової нарізі.

Імовірно такий стан ринкових пропозицій пов'язаний із відсутністю наукового і технічного обґрунтування можливості застосування таких різальних інструментів попри вельми зрозумілу економічну доцільність цього. До складностей у реалізації такого проєкту слід віднести великий кут підйому гвинтової лінії, а відповідно значний кут нахилу різальної крайки гребінки, який є присутній у замкових нарізях малих діаметрів (наприклад NC12) і сягає 3° .

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

Мета роботи - науково-технічне обґрунтування можливості застосування багато-ниткової гребінки для точіння замкових нарізей малих діаметрів (на прикладі NC12). Для досягнення вказаної мети слід вирішити такі **задачі**:

1. На основі аналізу технічного креслення різьбового ніпеля NC12 та існуючих схем профілювання різьб розробити 2-D геометричну модель одного проходу точіння різьби багато-нитковою гребінкою та здійснити аналіз можливих осьових відхилів профілю нарізі.
2. На базі існуючої розробленої проф. О. Ониськом та проф. В. Копеєм прикладної програми та враховуючи геометричні параметри гребінки виконати розрахунок можливих осьових відхилів та кутових відхилів профілю нарізі.
3. У середовищі 3 вимірного моделювання SolidWorks розробити геометричну модель формування замкової різьби NC12 багато-нитковою гребінкою та здійснити аналіз осьових відхилів профілю отриманої нарізі
4. Здійснити порівняльний аналіз відхилів профілю різьби, які пораховані згідно із пунктами 1, 2, 3.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 19 |

3. МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Аналіз технічного креслення різьбового ніпеля NC12 з точки зору можливості застосування багато-ниткового інструменту – гребінки.

Технологічними обмеженнями застосування гребінок щодо замкових різьб є:

- довжина повно-профільної нарізі L ;
- відстань між нарізевою поверхнею та уступом 1 - 15,875 мм. (рис.3.1);
- відстань між різьбовим виходом та уступом 1 - 12,7 мм. (рис.3.1);
- великий крок P і водночас малий діаметр замкової нарізі, зокрема для NC 12

Конструктивними особливостями гребінок для виготовлення замкових різьб є:

- доволі велика конусність замкової нарізі (кут $\varphi = 3,58^\circ$), що призводить до значної відмінності довжин протилежних сторін профілю різьби, а відповідно профілю гребінки (рис.3.1).

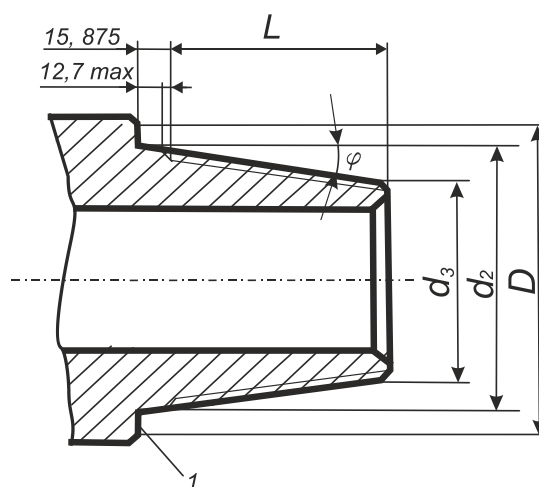


Рис. 3.1 – робоче креслення ніпеля замкового з'єднання за стандартом API7.

d_3 – зовнішній діаметр нарізі малої основи ніпеля, φ – кут конусності, d_2 – зовнішній діаметр нарізі великої основи ніпеля, D – зовнішній діаметр уступа, L – довжина повно-профільної нарізі.

Отже виходячи із відомих значень L (довжина нарізі) і P (крок) можна виявити кількість ниток різьби ніпеля n і відповідно цьому максимально-можливу кількість ниток гребінки:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

$$n = \text{int}(L/P), \quad (3.1)$$

де: *int* - функція відбору цілої частини отриманого значення.

Приймаючи до уваги що відстань між різбовим виходом та уступом 1 (рис.3.1) становить 12,7 мм можна сформулювати виразити максимально-можливу кількість неповно-профільних ниток гребінки k_{\max} :

$$k_{\max} = \text{round}(12.7/P), \quad (3.2)$$

де: *round* - функція заокруглення до цілого значення.

Наприклад для двониткової гребінки потрібний вільний вихід інструмента довжиною не менше ніж два кроки (рис. 3.2).

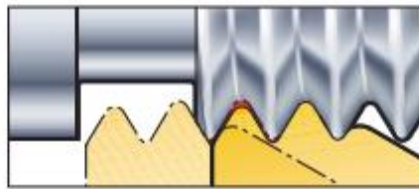


Рис. 3.2 – Схема забезпечення виходу двониткової гребінки після проходу в операції точіння нарізі

Визначення змінного кута підйому нарізі ψ можна здійснювати, як функцію кута конусності φ та зовнішнього діаметру нарізі малої основи ніпеля d_3 .

$$\psi = \text{arctg} \frac{P}{2(d_3 + P \cdot \text{tg}(\varphi)N)}, \quad (3.3)$$

де N – номер витка нарізі, P - крок.

Рівняння (3.3) вказує на те, що найбільшого значення кут підйому ψ набуває на першому витку ($N=1$). Проте слід врахувати, що у реальних умовах підприємств кут нахилу різальної крайки λ , що забезпечує рівномірність спрацювання різця та плавність процесу врізання наближено дорівнює значенню кута підйому гвинтової лінії різьби ψ .

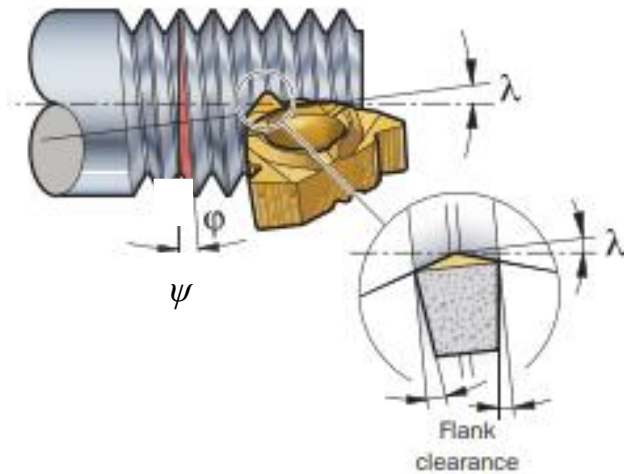


Рис. 3.3 – Схема встановлення різальної пластини різця для точіння нарізі під кутом нахилу різальної крайки λ

Пояснюється це тим, що його забезпечують за рахунок застосування підкладних пластин (рис. 3.3), які виробниками постачаються, так щоб забезпечувати ціло-чисельне значення кута λ у діапазоні від -2° до 4° (рис. 3.4). Причому стандартна підкладна пластина у багатьох виробників інструментів забезпечує кут що дорівнює 1° , що властиво доводить значущість цього параметра для гарантування зносостійкості різьбових інструментів.

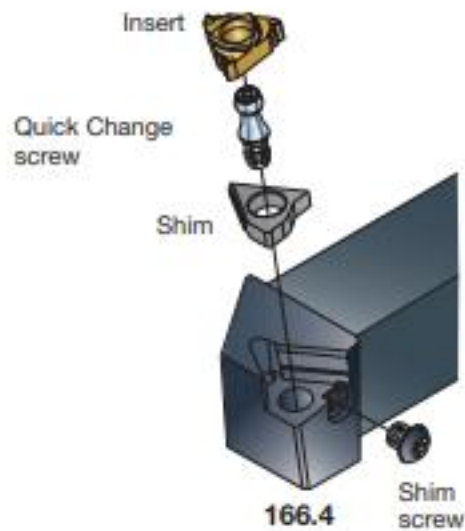


Рис. 3.4 – Схема встановлення підкладної (shim) і різальної пластини (insert) різця для точіння нарізі.

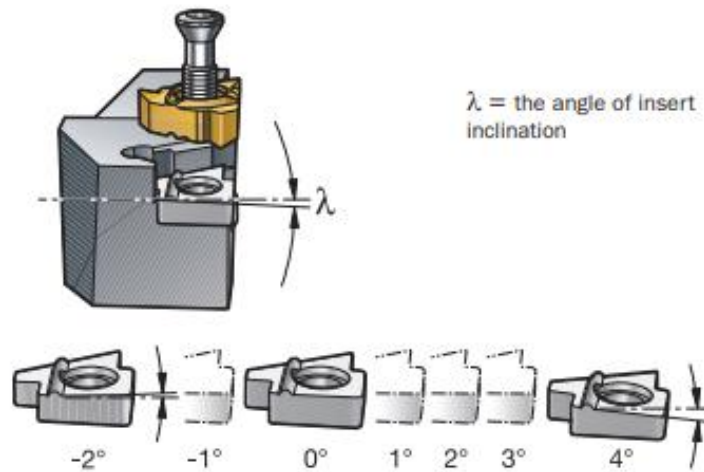


Рис. 3.5 – забезпечення (insert) різця для точіння нарізі

Оскільки профілювання нарізей різцями, а відповідно гребінками може класифікуватися за трьома способами подачі врізання: бокове, радіальне та покрокове (рис.3.5) то слід здійснити аналіз можливостей застосування вказаних способів для виготовлення замкової нарізі NC12.

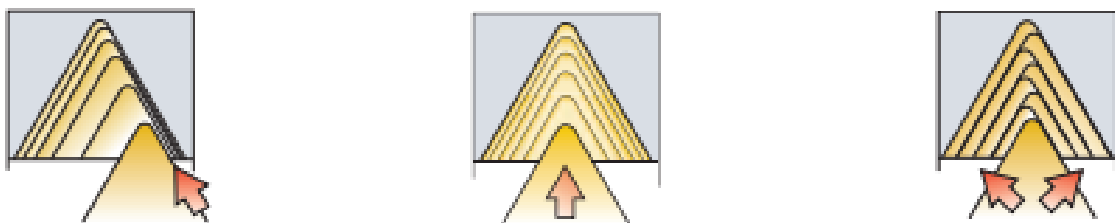


Рис. 3.6 – Способи врізання різця для точіння нарізі: бокове (зліва), радіальне (посередині), покрокове (справа).

3.2. Геометричне моделювання процесу однопрохідного багато-ниткового точіння конічної замкової нарізі .

Подачу врізання багато-нитковими пластинами теж можна організовувати за допомогою різних способів у тому числі радіального та бокового врізання Кожний наступний різець гребінки починаючи від №1 відрізняється від попереднього на глибину врізання t . Останній різець є таким, що відповідає повному профілю заданої нарізі – DCEF (рис.3.6).

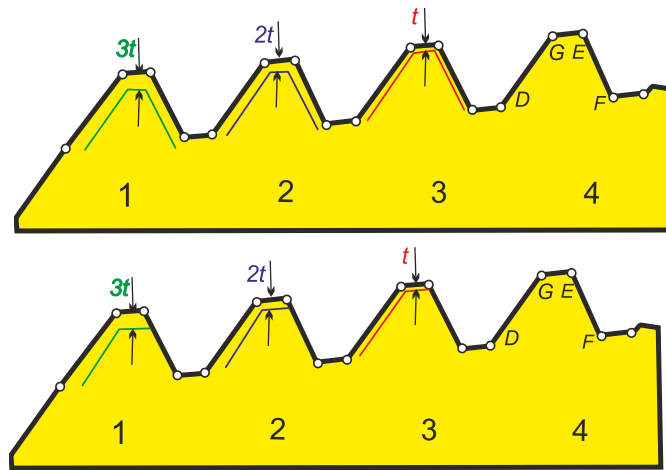


Рис. 3.7 – Схема чотириниткової різьбо-нарізної гребінки із радіальним способом врізання (верхній рисунок) та боковим способом врізання. Профілі різців зелений, синій та червоний показано без дотримання масштабу, Чорний профіль різців 1,2,3 показано умовно, для ілюстрації припусків на врізання.

Застосування бічного врізання слід думати є більш прогресивним, оскільки в такому разі стружка позбувається коробчастої форми, проте створюються прецедент - різець № 1, а також №2 і №3 мають однакову за розміщенням і профілем меншу сторону, тобто дублюють один одного і бік *EF* гребінки. (рис.3.7).

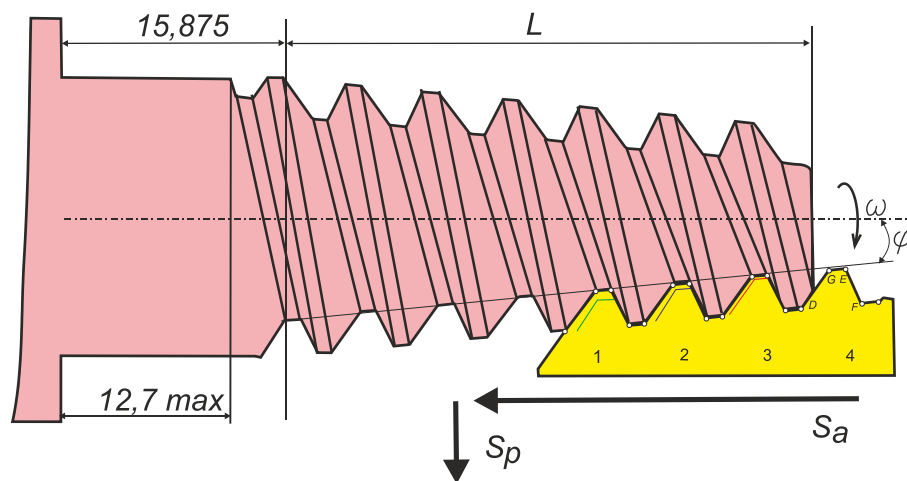


Рис. 3.8 – Схема початку фінішного проходу 4-ниткової гребінки під-час виконання замкової нарізі . S_a – повздовжня подача гребінки, S_p -поперечна подача гребінки, ω - рух обертання заготовки навколо осі.

Під час фінішного проходу, тобто на момент остаточного формування першої нитки замкової різьби (на меншій основі конуса) і далі до формування

останньої нитки різьби (більша основа конуса ніпеля) теоретично не відбувається формування малого боку нарізи, а тільки ковзання по ньому (рис.3.8). Проте це не стосується випадку, коли різальна крайка не суміщена із осьюовою площиною ніпеля, тобто коли значення кута λ не дорівнює 0. (рис.3.9)

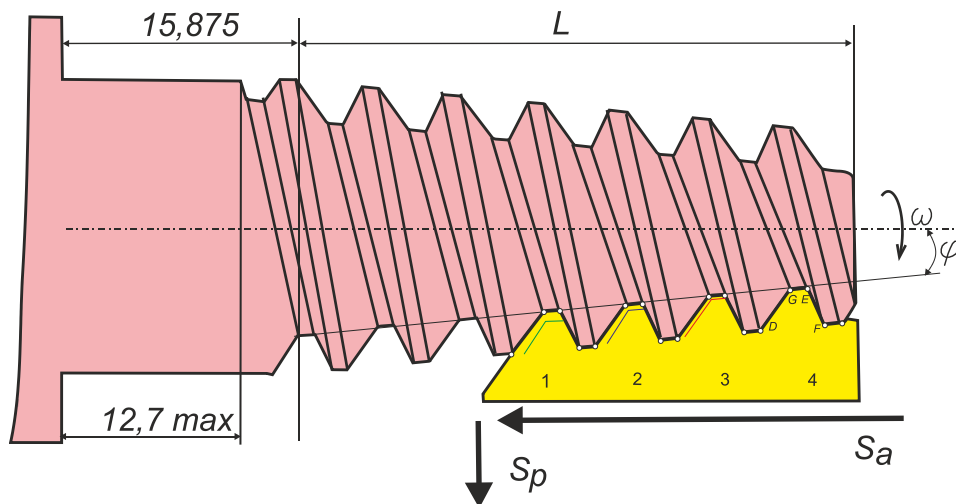


Рис. 3.9 – Схема формування першого витка замкової нарізи на ніпелі

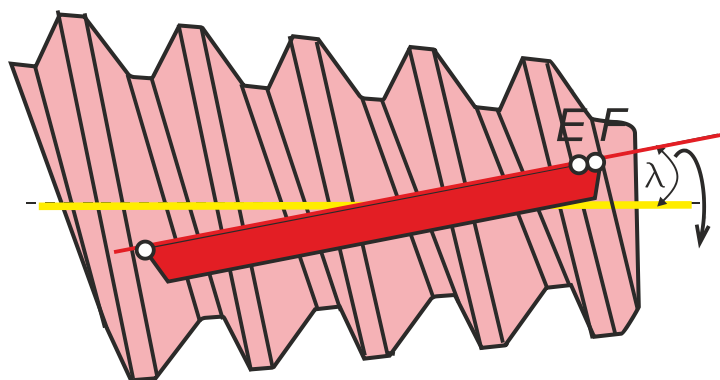


Рис. 3.10 – Схема формування першого витка замкової нарізи на ніпелі. Слід осьової площини- жовтим, слід передньої площини - червоним. EF точки різальної крайки, що найбільш віддалені від осі ніпеля.

Аналізуючи технічний ескіз на рис.3.1 і вираз (3.2) та використовуючи схематичну профільну побудову можна зробити висновок про можливість застосування багато-ниткового точіння замкової нарізи на ніпелі. Методично розмір 15,875 вказує на відстань від уступу до місця де завершується нарізь повного профілю. Для цього слід визначитися про те, що брати до уваги -впадину

нарізі (червона виносна лінія), як вказано на рис.3.10 чи її гребінь ((рис.3.10), синя виносна лінія).

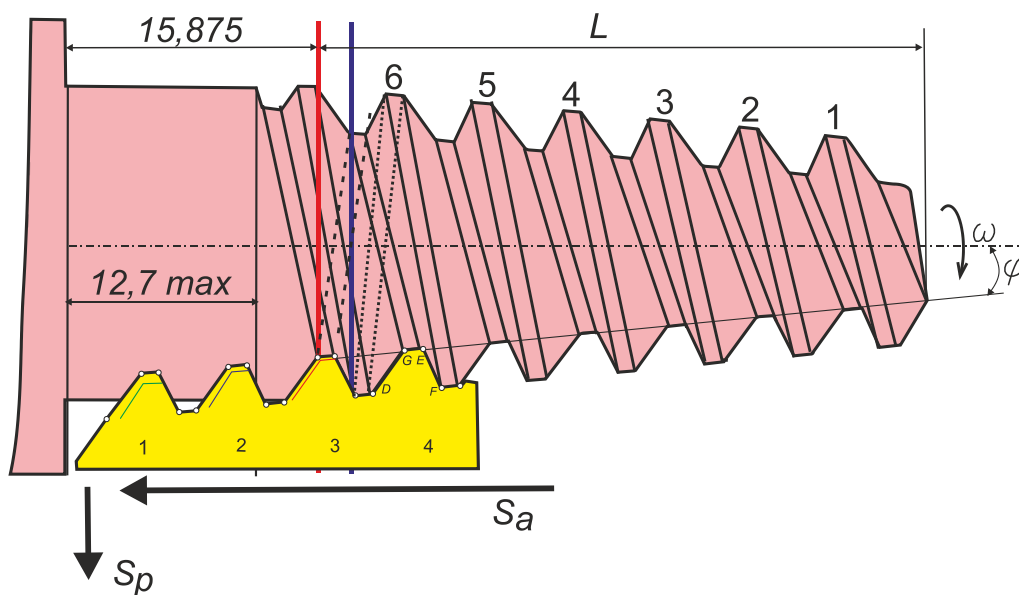


Рис. 3.11 – Схема формування останнього витка замкової нарізі на ніпелі.
Червона межа повно-профільної нарізі відповідає впадині витка 6, синя межа повно-профільної нарізі відповідає гребеню витка 6.

Якщо прийняти гребінь витка (синя виносна лінія), то на рисунку виток 6 є повністю сформованим за рахунок чистового різця 4, тобто його профільною стороною DG . В такому разі для чотири-ниткової гребінки мінімальна відстань від торця до витка повного профілю G складає:

$$G=3P= 3 \times 4.233=12.7 \text{ (мм)}$$

Отже $15.875 \text{ мм} > G$, а це доводить геометричну придатність чотириниткової гребінки для точіння замкових нарізей (необхідна умова). Придатність геометричної моделі точіння нарізі NC12 слід перевірити ще й на достатню умову, тобто спрогнозувати точність її профілю, який має забезпечити запропонована гребінка.

3.3. Моделювання точності профілю замкової нарізі, що отримана внаслідок фінішного одного проходу за допомогою точіння чотири-нитковою гребінкою

Прогнозне моделювання профілю на базі існуючої розробленої проф. О. Ониськом та проф. В. Копеєм [23] прикладної програми відбувається на основі застосування алгоритму:

$$Y_s(x) = \operatorname{tg}(\alpha)x - |OA| \quad (3.4)$$

$$Y(x) = \left(\Delta \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \tau \right) - r \right) \operatorname{tg} \alpha - \frac{P\tau}{2\pi} \quad (3.5)$$

де $\tau = \arcsin \frac{\Delta}{x}$, де Δ – один із тангенційних відхилів $\Delta e, \Delta f, \Delta d_1, \Delta g_1$;

r – радіус впадин нарізі, тобто

$$r = \frac{d_3}{2} - h,$$

OA -відрізок який є відстанню осі ніпеля до вершини теоретичного трикутника профілю різьби (рис. 3.11).

Алгоритм [2] створено на основі теоретичного дослідження [1], що пояснює будь-яку гвинтову поверхню нарізі не як косий закритий гелікоїд (3.4), а як конволютний гвинт (3.5). На рис. 3.11 точки профілю запрогнозованої алгоритмом нарізі отримали певне осьове зміщення (зелений колір). Тобто для ключових точок профілю слід порівняти координати на осі Y_s : стандартного профілю (білі точки) за формулою (3.4) і прогнозованого профілю (зелені точки) згідно із рівнянням (3.5). Наприклад: $\Delta Y = Y - Y_s$.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 27 |

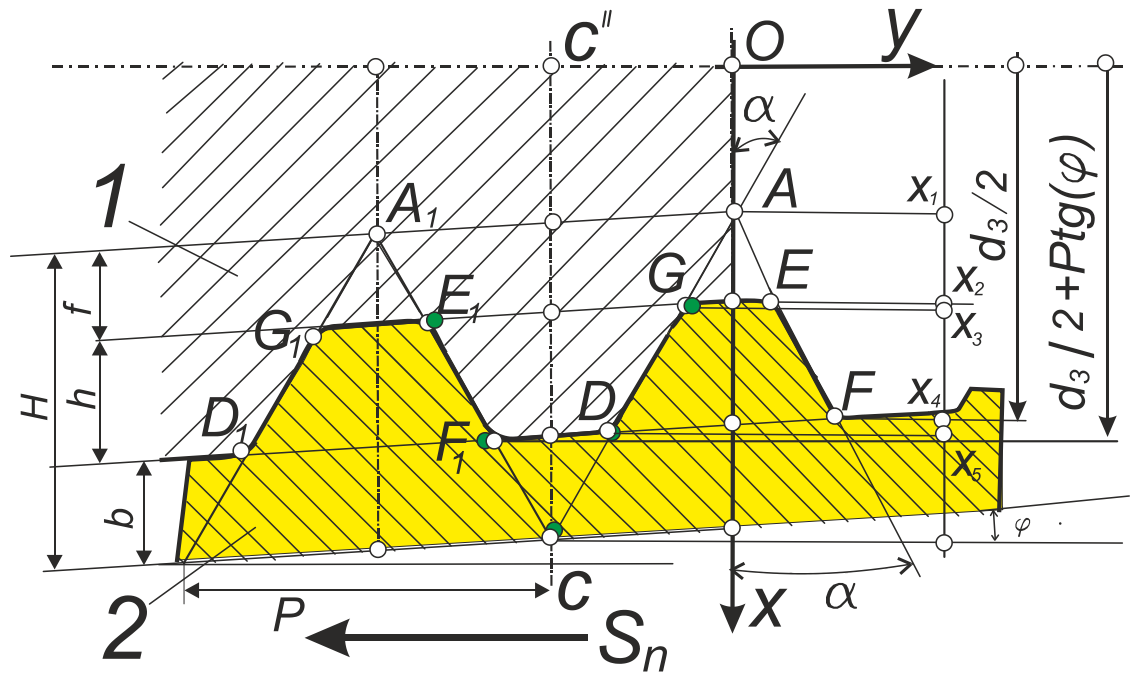


Рис. 3.12 – Схема для ілюстрації формул (3.4), (3.5). 2 - ділянка профілю гребінки- 1 – ділянка профілю нарізі ніпеля.

Для реалізації вказаного алгоритму і визначення тангенційних відхилів Δf , Δd_1 слід скористуватися побудовою 2D-геометричної моделі точіння нарізі чотиринитковою гребінкою із кутом нахилу різальної крайки λ . За точку повороту доцільно взята точка С, яка розміщена посередині між двома лівими та двома правими різцями. Тангенціальні відхили можна визначити за дещо наближеною формулою (рис.3.12):

$$\Delta f = \Delta d_1 = 2P \sin \lambda \quad (3.6)$$

Тангенціальні відхили точок e і g_3 можна вважати такими ж, як і тангенціальні відхили Δf , Δd_1 .

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

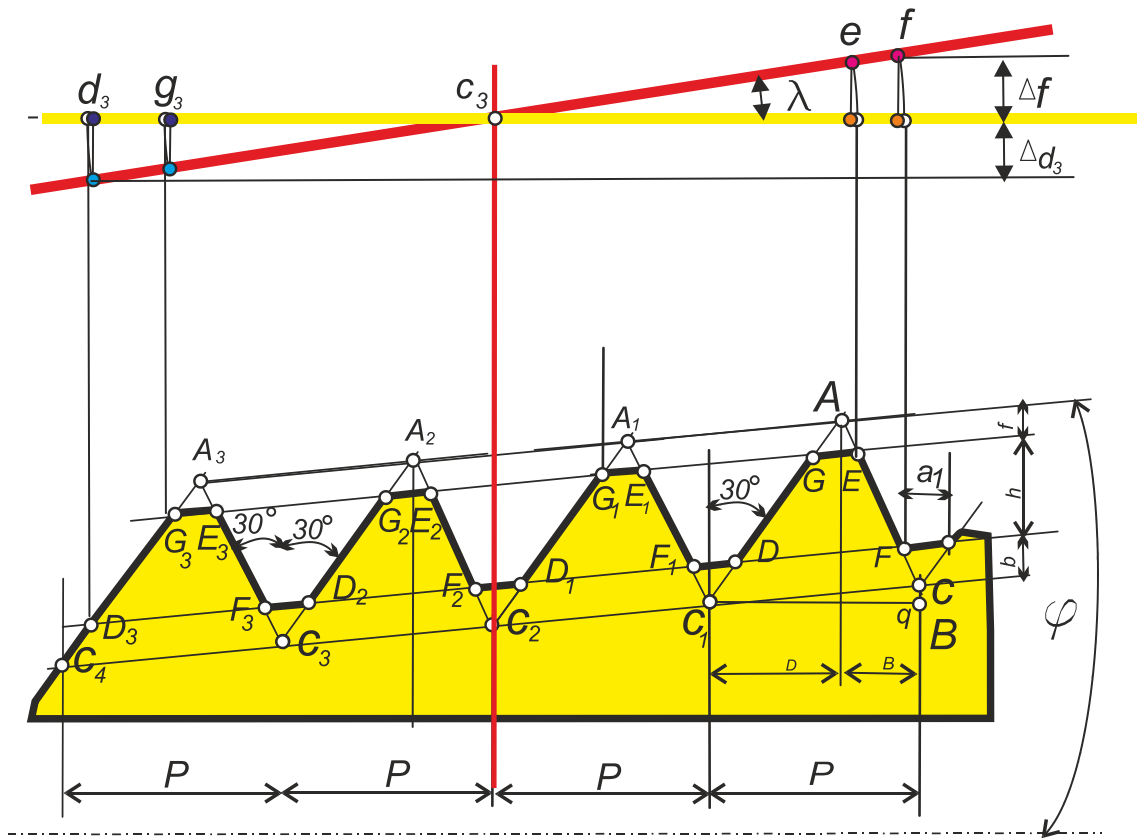


Рис. 3.13 – Схема влаштування кута нахилу різальної крайки 4-ниткової гребінки.

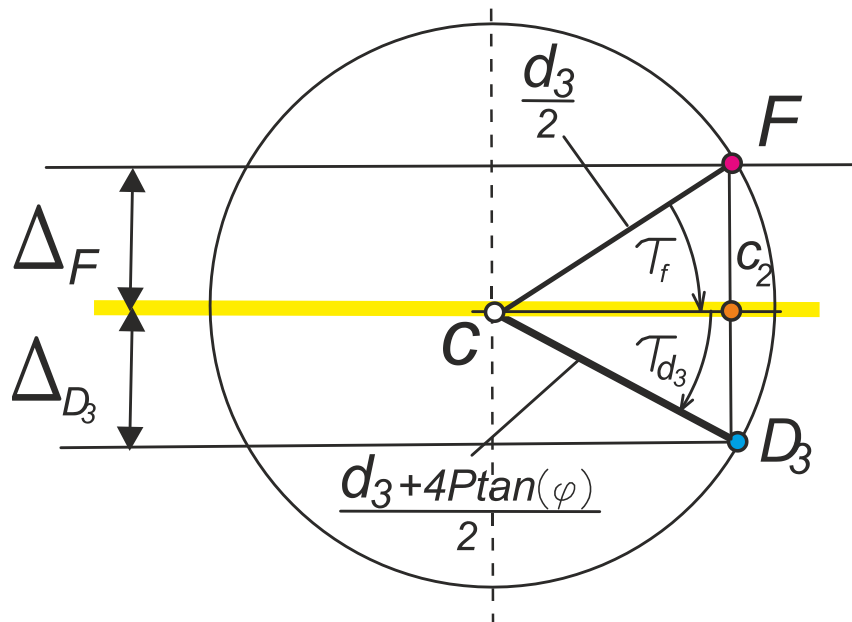


Рис. 3.14 – Схема влаштування кута кінематичних випередження і відставання

Кінематичні кути випередження та відставання можна визначити використавши схему 3.13:

$$\tau_F = \arcsin \frac{2\Delta f}{d_3} \quad (3.7)$$

$$\tau_{D3} = \arcsin \frac{2\Delta f}{d_3 + 4Ptg\varphi} \quad (3.8)$$

Рівняння (3.7), (3.8) слугуватимуть визначенню величин осьових зміщень, точок профілю нарізі внаслідок випередження δ_f і запізнення δ_d (рис.)

$$\delta_f = P \frac{\tau_F}{2\pi} \quad (3.9)$$

$$\delta_d = P \frac{\tau_{D3}}{2\pi} \quad (3.10)$$

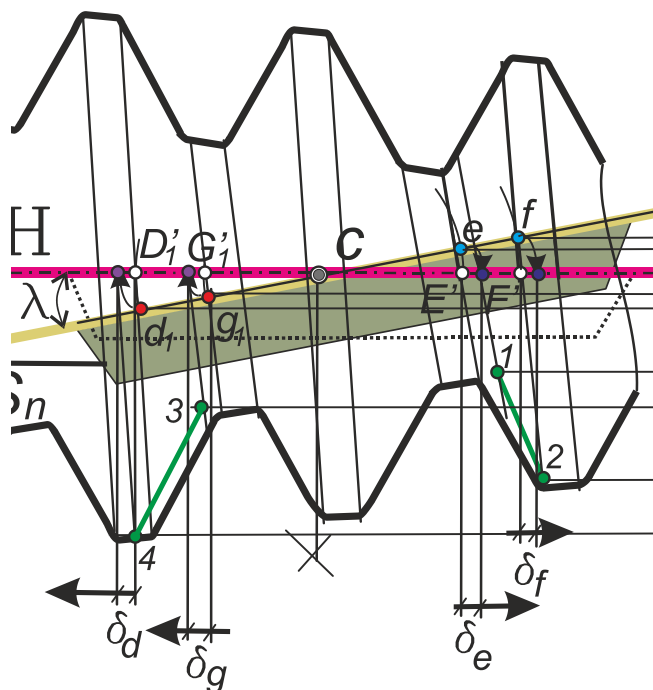


Рис. 3.15 – Схема визначенню величин осьових зміщень, внаслідок випередження δF і запізнення δ_{p3}

Випередження призводить до того, що зміщення δ_f спрямоване у протилежний бік до осьової подачі Sa , а запізнення призводить до того, що зміщення δ_d є спів-направлене із Sa . (Рис. 3.14)

3. 4. Моделювання точності профілю замкової нарізі у середовищі 3 вимірного моделювання SolidWorks.

Розроблення три-вимірної геометричної моделі формування замкової різьби NC12 багато-нитковими гребінками із нульовим кутом λ та $\lambda > 0$ дозволить здійснити аналіз осьових відхилів профілю отриманої нарізі і порівняти їх із відхилами п.3.3 та 3.2. Звісно, до уваги береться тільки один фінішний прохід операції різьбо-точіння.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДХИЛІВ ПРОФІЛЮ НАРІЗИ НА ОСНОВИ 2d-ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОДНОПРОХІДНОЇ МОДЕЛІ ТОЧІННЯ ЗАМКОВОЇ РІЗЬБИ NC12 ЗА ДОПОМОГОЮ 4-НИТКОВОЇ ГРЕБІНКИ

Загальна кількість повно-профільних ниток нарізи n визначено за допомогою формули (3.2) за умови, що довжина замкової нарізи NC12 $L=28_{-3}$ мм.

Отже враховуючи допуск загальна кількість ниток повного профілю:

$$n = \text{int} (28/4/23) = \text{int} (6.6) = 6$$

Схема на рис.3.10 містить саме таку кількість повно-профільних витків.

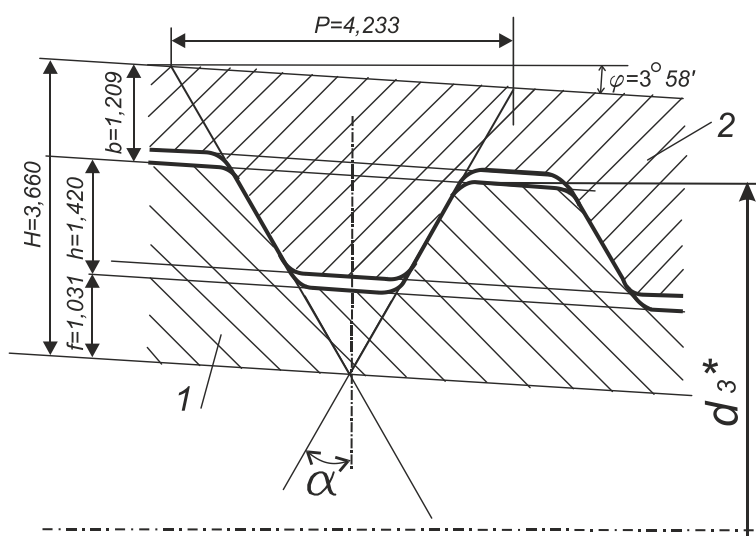


Рис. 4.1 – Схема замкового з'єднання за API7 standard формою V-0,055 с: 1-ніпель, 2- муфта.

Табл. 4.1. Дані для форми профілю замкової нарізи V-0.055

| крок | Висота профіля | Зріз вершини нарізи | Зріз вершини нарізи | Кут нахилу | висота вихідного трикутника |
|-------|----------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| P, мм | h, мм | b, мм | f, мм | $\varphi, ^\circ$ | H, мм |
| 4.233 | 1.420 | 1.209 | 1.081 | 3,58 | 3.66 |

Для NC12 (з-35) $d_3 = 29,857$ (мм) .

4.1. Розрахунок кута нахилу різальної крайки

Застосовуючи формулу (3.3) та дані таблиці 4.1 знайдено значення кута підйому гвинта $\psi=3.09^\circ$.

Отже кут установлення гребінки щодо осі ніпеля прийнято таким $\lambda=3^\circ$.

4.2. Розрахунок тангенціальних відхилів крайніх точок профілю гребінки (3.6) та осьових зміщень профілю отриманої нарізі (3.9)-(3.10).

Згідно з формулою (3.6) тангенціальний відхил точок профілю різальної крайки гребінки від осі ніпеля:

$$\Delta f = \Delta d_1 = 0.423 \text{ (мм)}$$

Згідно із формулами (3.7) та (3.8) кути випередження та відставання становлять:

$$\tau_F = 1,6^\circ$$

$$\tau_{D3} = 1,03^\circ$$

Згідно із формулами (3.9) та (3.10) осьові зміщення випередження δ_f відставання δ_d : профілю отриманої нарізі становлять:

$$\delta_f = 0,019 \text{ мм}$$

$$\delta_d = 0,012 \text{ мм}$$

4.3. Розрахунок осьових зміщень профілю отриманої нарізі отриманих на основі алгоритму (3.4)-(3.5)

Для реалізації алгоритму (3.4) і (3.5) та визначення повздовжніх зміщень $\Delta Y = Y - Y_s$ (рис.3.11) застосовано прикладну програму [1] і отримані у параграфі 4.2 результати розрахунку $\Delta f = \Delta d_1$. У програмному коді (рис.4.2) різниця $\Delta Y = Y - Y_s$ представлено різницею $Z2 - Z1 = 0$ (мм). Координата $X = 12.490$ мм це координата точки А (рис.3.11), тобто довжина $|OA| = 12.49$ мм.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

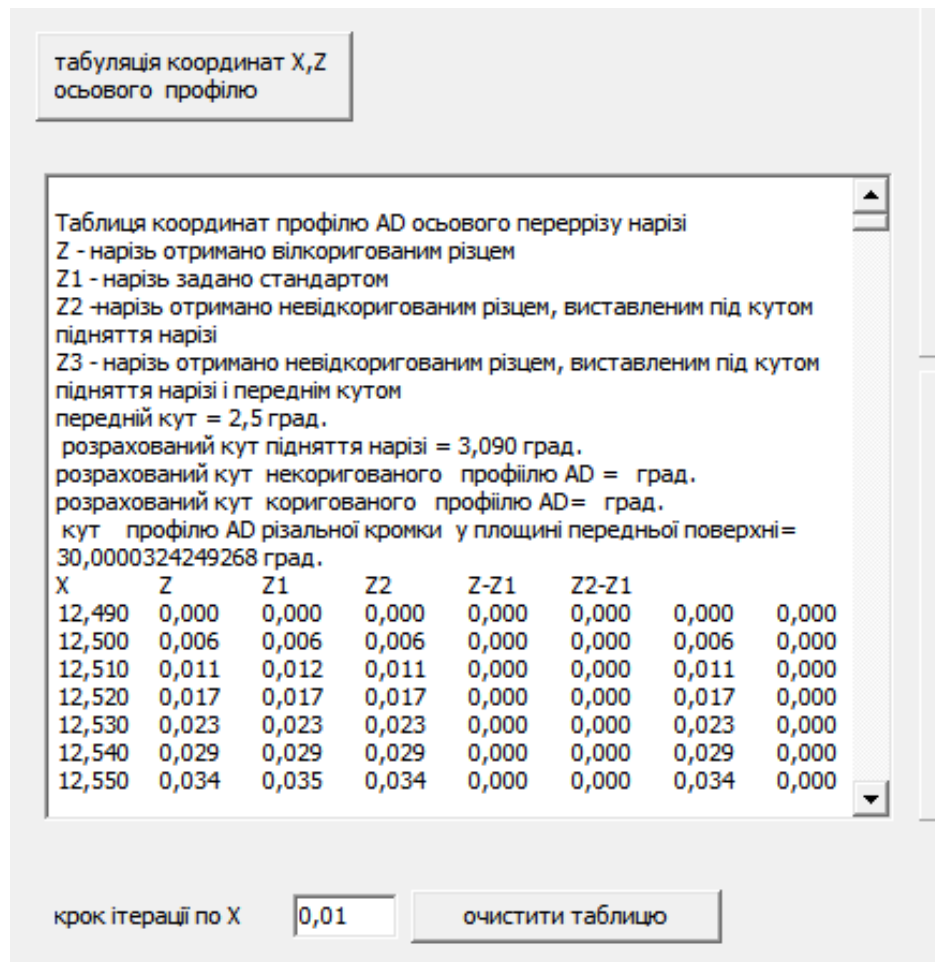


Рис. 4.2 – Фрагмент програмного коду, що відповідає початковим даним розрахунку профіля стандартної нарізі та нарізевого профілю отриманого на основі алгоритму (3.5)

Точці С відповідає фінішні рядки програми розрахунку профілю замкової нарізі NC 12 (рис.4.3)

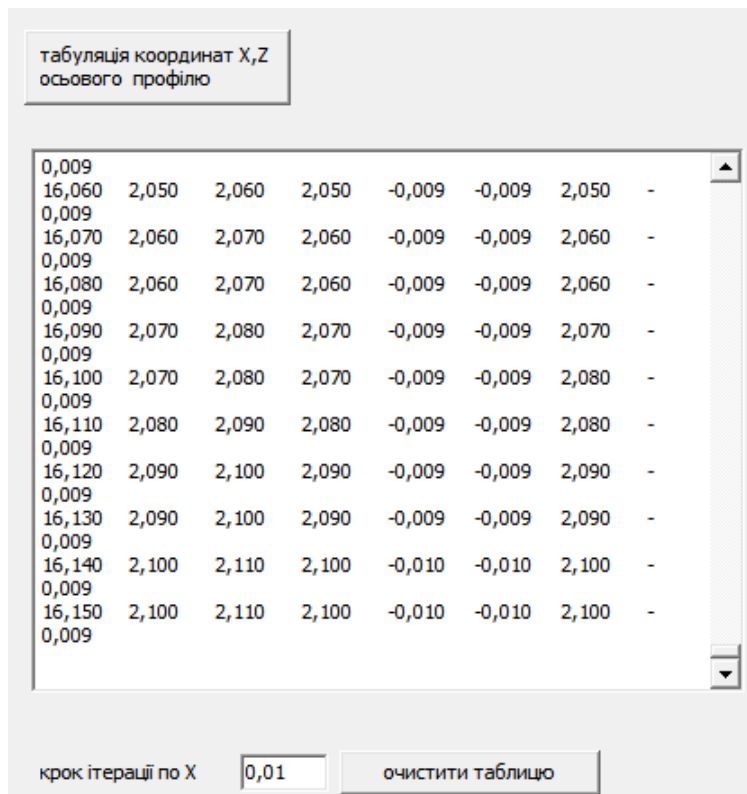


Рис. 4.3 – Фрагмент програмного коду, що відповідає кінцевим даним розрахунку профіля стандартної нарізі та нарізевого профілю отриманого на основі алгоритму (3.5)

Отже точці С відповідає координата $X=16,150$ мм. Різниця: $\Delta Y_C = Y - Y_s = -0,010$ мм. Знак «-» вказує що профіль отриманої нарізі зсунутий у бік проти напрямку подачі. Проте точка С є теоретичною частиною профілю нарізі. Для визначення координати X точки F скористуватися рис.3.12 і формулою

$$X_F = 16.150 - b$$

Тож після установлення значення $b=1,209$ отримано значення $X_F=14,941$ мм, тобто з точністю до 0,01 координата цієї точки $X_F=14,940$ (мм). Відповідна їй різниця становить $\Delta Y_F = -0,007$ мм (рис.4.4).

14,940 1,410 1,410 1,410 -0,007 -0,007

Рис. 4.4 – Фрагмент програмного коду, що відповідає точці профіля F стандартної нарізі та нарізевого профілю отриманого на основі алгоритму (3.5)

Для визначення різниці ΔY_{DI} розраховано координату $X_{d1}=15.08$ мм . Результат розрахунку різниці $\Delta Y_{DI} = -0,001$ мм (рис.4.5).

табуляція координат X,Z
осьового профілю

```

0,001
15,060  1,480  1,480  1,480  -0,002  -0,001  1,480  -
0,001
15,070  1,490  1,490  1,490  -0,002  -0,001  1,490  -
0,001
15,080  1,490  1,500  1,490  -0,002  -0,001  1,490  -

```

Рис. 4.5 – Фрагмент програмного коду, що відповідає точці профіля D₁ стандартної нарізі та нарізевого профілю отриманого на основі алгоритму (3.5)

4.4. Результат сумісної дії осьових зміщень точок профілю нарізі внаслідок кінематичного характеру: випередження-запізнення (3.9-3.10) і конволютного характеру гвинтової поверхні (реалізації алгоритму (3.4) і (3.5)).

Вказані результати зведено у таблицю 4.2

Таблиця 2. Результати розрахунків прогнозованих повздожніх зміщень профілю NC12 за 2D геометричним моделюванням і алгоритмом (3.4)-(3.5).

| Точка профілю нарізі | Різниця ΔY за алгоритмом (3.4) (мм) | Осьове зміщення δ за алгоритмом (3.9-3.10) (мм) | Результуюче повздожнє зміщення (мм) |
|----------------------|---|--|-------------------------------------|
| F | -0,007 | 0,019 | 0,012 |
| D1 | -0,002 | 0,012 | 0,010 |

Три вимірне моделювання має свої переваги, оскільки не вимагає врахування аналізу кінематики процесу і розрахунку профілю конволютного гвинта, проте має недолік визначення зміщень із-за застосування візуального підходу для цього.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДХИЛІВ ПРОФІЛЮ НАРІЗИ НА ОСНОВІ 3D-ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОДНОПРОХІДНОЇ МОДЕЛІ ТОЧІННЯ ЗАМКОВОЇ РІЗЬБИ NC12 ЗА ДОПОМОГОЮ 4-НИТКОВОЇ ГРЕБІНКИ

5.1 Побудова тривимірної моделі виконання нарізи у середовищі SolidWorks

Побудована тривимірна модель містить 8 ниток, із яких 6- відповідають повному профілю. А ще дві виконані згідно із 2D-геометричною моделлю (3.10) та стандартними вимогами (рис.3.1)

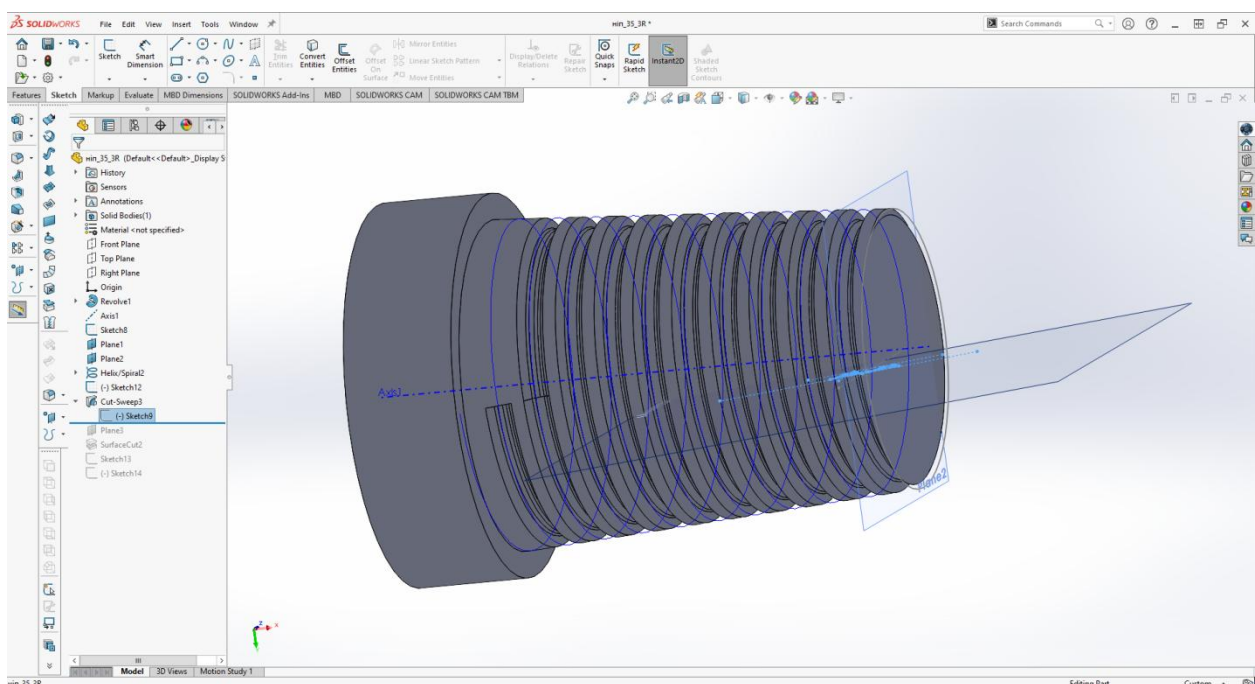


Рис. 5.1 – Тривимірна модель замкової нарізи NC12 і розміщення площини передньої поверхні під кутом нахилу λ

Модель, що отримано нахиленою під кутом λ 4-нитковою гребінкою (оранжевий колір) показано на рис.5.2

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

Зміщення новоствореного профілю від теоретичного профілю на першій нитці гребінки (четверта нитка профілю різьби) становить 0,00002 мм (точка D1) (рис.5.4)

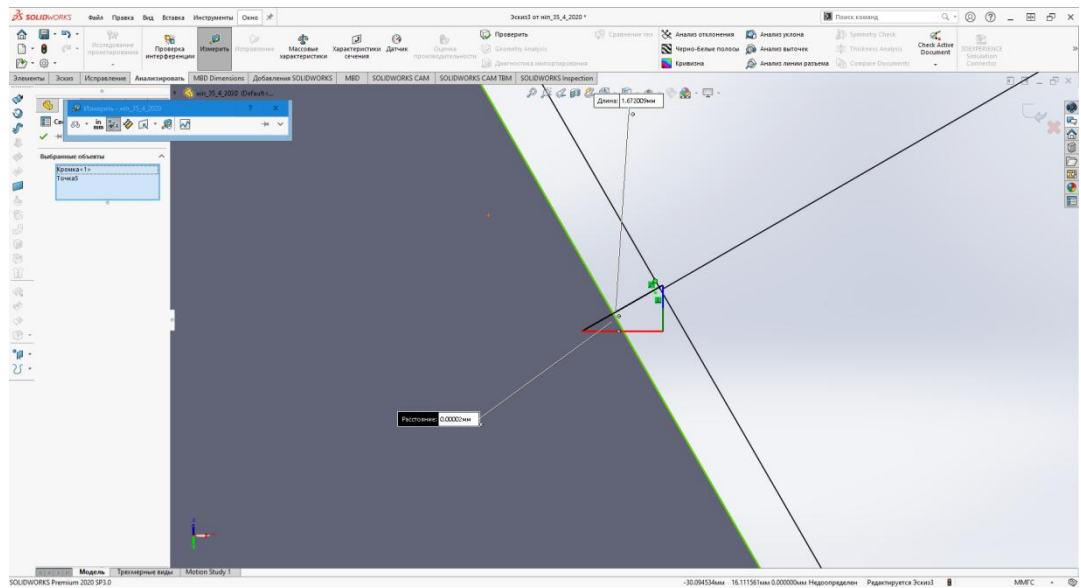


Рис. 5.4 – Профіль моделі першої нитки замкової нарізї NC12 і за стандартом та отриманої нахиленою під кутом λ 4 нитковою гребінкою

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

6. Загальні ВИСНОВКИ

1. Осьові відхили, що виконані за різними моделями обробки замкової нарізі NC12 на фінішному проході 4 -нитковою гребінкою перебувають у межах від 0,019 мм до 0,00002 мм, що порівняно зі стандартним допуском по всій довжині $\pm 0,11$ мм не перевищує 2% від допуску.
2. На основі отриманих моделей зрозумілим є загальна тенденція щодо зменшення відхилів від першої нитки нарізі до четвертої. Отже найменшу точність отримано в околі малої основи конуса різьби ніпеля.
3. Моделювання однопрохідного фінішного точіння 4-нитковою гребінкою кінчної нарізі NC12 у середовищі SolidWorks показує на порядок менші значення осьових відхилів ніж аналітичне моделювання цього процесу.
4. Проведені дослідження показують про цілковиту можливість застосування багато-ниткових гребінок для виготовлення замкових нарізей, починаючи із найменшого їх номенклатурного розміру.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 40 |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизоване проектування різальних інструментів: навч. посіб. / Копей В. Б., Онисько О. Р., Борушак Л. О., Роп'як Л. Я. Івано-Франківськ, 2012. 208 с.
2. Онисько О.Р. Точність виконання конічних різьб на трубах нафтогазового сортаменту токарними різцями з подвійним нахилом передньої поверхні. Прогресивні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць V Всеукр. наук.-техн. конф., 8–12 лют. 2016 р. Львів, 2016. С. 93–95.
3. Медвідь Ю. В., Онисько О. Р., Панчук В. Г. Теоретичний аналіз забезпечення точності профілю замкової нарізи виготовленої різцями із загальним положенням передньої поверхні та заданою точністю її встановлення. Прогресивні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць VII Міжнар. наук.-техн. конф., 5–9 лют. 2018 р. Львів, 2018. С. 96–100. (здобувачем зроблено постановку задачі і розраховано вплив геометричних параметрів різця на точність профілю нарізи).
4. Онисько О. Р. Алгоритм розрахунку функціональної залежності форми бічних профілів замкової конічної гвинтової нарізи для елементів бурильних колон від герметичних параметрів різця. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 2017. № 1(42). С. 46–53.
5. Панчук В. Г., Онисько О. Р., Теліхович Я. В. Профілювання бічного профілю різців для виготовлення високоточної конічної замкової гвинтової нарізи. Прогресивні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць VI Міжнар. наук.-техн. конф., 6–10 лют. 2017 р. Львів, 2017. С. 97–100.
6. Солодкий В. І., Довжик Є. В. Утворення гвинтових поверхонь конічним інструментом. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сер. машинобудування. 2009. № 57. С. 107–109.
7. Тарас І. П. Дослідження геометричних особливостей конічних нарізей. Техника и технология. Современные проблемы и перспективы развития: сб. статей науч.-практ. конф., 29–30 апр. 2016 г. Краков, 2016. С. 6–10.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

8. Панчук В.Г., Онисько О. Р., Сенічак В. В. Теоретичне дослідження впливу поперечної подачі на точність отриманого профілю конічних нарізей у процесі точення. Прогресивні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць ІХ Міжнар. наук.-техн. конф., 3–7 лют. 2020 р. Львів–Плай, 2020. С. 133–135.
9. Панчук В. Г., Онисько О. Р. Застосування основ нарисної геометрії, програмування та застосунків CAD у геометричному моделюванні різців для виготовлення високоякісної замкової нарізі. Графічна освіта у закладах вищої освіти: стан та перспективи: матеріали наук.-практ. семінару., 19–21 вер. 2018. Івано-Франківськ, 2018. С. 20–22.
10. Онисько О. Р., Врюкало В. В. Вплив тангенціального зміщення вершинної точки нарізевого різця на значення профільного кута γ замкової конічної нарізі з-30. Прогресивні технології у машинобудуванні: зб. наук. праць VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 4–8 лют. 2019 р. Івано-Франківськ–Яремче, 2019. С. 179–180.
11. Копей В. Б. Дослідження впливу геометричних параметрів муфтового різьбового з'єднання насосних штанг на напруження у впадинах різьби ніпеля. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 2010. № 2(24). С. 81–85.
12. Копей В. В., Михайлюк В. В., Копей В. Б. Моделювання різьб насосних штанг методом скінченних елементів. Науковий вісник Івано-Франківського Національного технічного університету. 2009. № 2. С. 61–68.
13. Васишин В. Я. Підвищення працездатності різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12. Івано-Франківськ, 2013. 181 с.
14. Артım В. І., Фафлей О. Я., Дейнега Р. О., Михайлюк В. В. Аналіз сучасних конструкцій замкових з'єднань обважнених бурильних труб. Нафтогазова енергетика. 2017. № 2(28). С. 22–30. Двоопорні муфти, високий момент, проблеми з натягом.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

15. Борушак Л. О., Онисько О. Р. Вплив величини технологічного зазору замкової нарізі на швидкість потоку бурового розчину у її гвинтовому з'єднанні 50 Зм. Арк. № докум. Підпис Дата Арк. МР.ПМКМ-20.00.00.000 ПЗ Прогресивні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць VII Міжнар. наук.-техн. конф., 5–9 лют. 2018 р. Львів, 2018. С. 24–27.
16. Bazaluk O, Slabyi O, Vekeryk V, Velychkovych A, Ropyak L. and Lozynskyi V 2021 A technology of hydrocarbon fluid production intensification by productive stratum drainage zone reaming *Energies* 14 (12) art. no 3514. DOI: 10.3390/en14123514
17. Moisyshyn V and Levchuk K 2016 The impact of vibration mechanism' installation place on the process of retrieving stuck drill pipe *Mining of Mineral Deposits* 10 (3) pp 65-76 DOI: 10.15407/mining10.03.065
18. Shatskyi I, Vytvytskyi I, Senyushkovych M and Velychkovych A 2019 Modelling and improvement of the design of hinged centralizer for casing *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 564 (1) art. no. 12073. DOI: 10.1088/1757-899X/564/1/012073
19. Pryhorovska T and Ropyak L 2019 Machining Error Influence on Stress State of Conical Thread Joint Details *Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL, 2019- September* art. no. 9019544 pp 493-497 DOI: 10.1109/CAOL46282.2019.9019544
20. API SREC 7-2. Specification for Threading and Gauging of Rotary Shouldered Thread Connection. [Effective Date June 2011] First Edition p 125.
21. Онисько О. Р. Аналітичний розрахунок точності профілю поверхні гвинтової нарізі залежно від величини тангенціального відхилення установки вершини різьового різця. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. ІваноФранківськ, 2016. № 1(58). С.28–34. (Google Scholar)
22. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №84791 Комп'ютерна програма «Побудова профілю замкової нарізі за значеннями геометричних

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

параметрів різця» /О.Р. Онисько, В.Б. Копей – №84791; заявл. 09.01.2019; дата реєстрації 23.01.2019.

23. vkopey / Thread-turning-simulator. URL: <https://github.com/vkopey/Threadturning-simulator/> (accessed 21.12.2023)

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

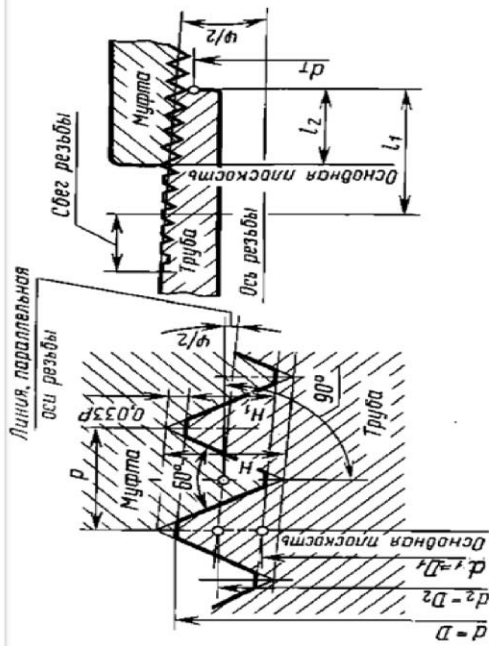


Рис. 1.3 - Схема формы профілю різьби NC12

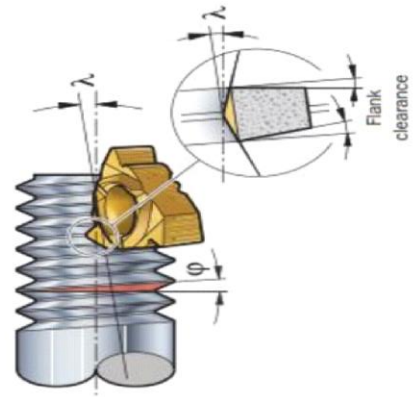


Рис. 1.5 - Схема установки платини під кутом кут різальної кромки λ

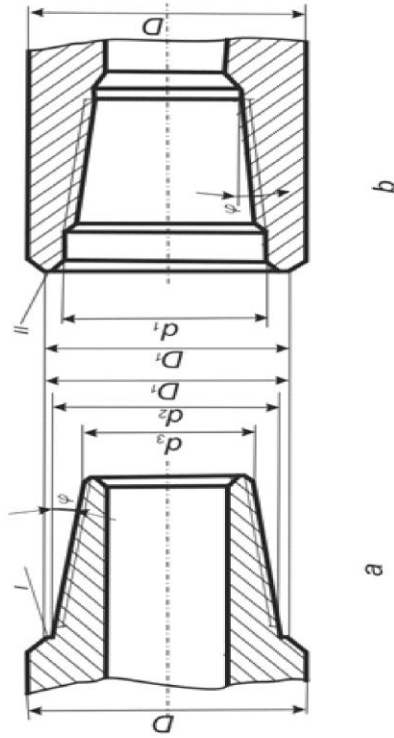


Рис. 1.2 - Схема форми профілю різьби NC12

Додатки

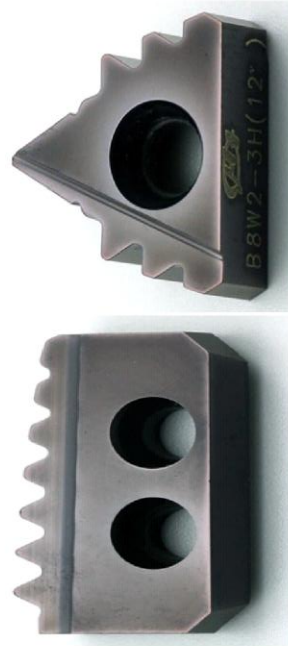


Рис. 1.6 - Приклад гребінки та багатолезового різця

| | | | | |
|---|-------------------|-----------|-------|---------|
| МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | Лит. | Масса | Масштаб |
| Загальні схеми та рисунки виготовлення кінцевих замкнугих зєднань | | | | 1:1 |
| Имя Лист | № докум. | Подп. | Дата | |
| Розроб. | Бережанський Д.М. | | | |
| Пров. | Онисько О.Р. | | | |
| Т. контр. | | | | |
| Н. контр. | | | | |
| Утв. | Панчук В.Г. | | | |
| Лист 1 | | Листов 6 | | |
| ЮНТУНГ | | ПМКМ22-1 | | |
| Копировал | | Формат А3 | | |

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
| | | | | |

МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

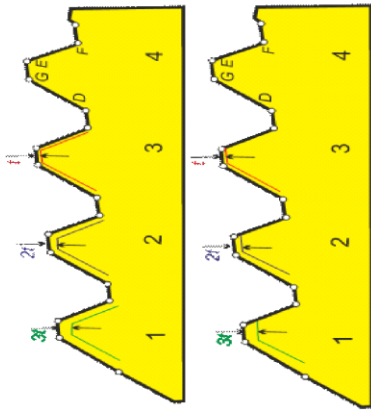


Рис. 3.13 - Схема чотиририбкової різьбової нарізної гребінки із радіальним способом врізання (верхній рисунок) та боковим способом врізання. Профілі різців зелені, синій та червоний показано без дотримання масштабу, Чорний профіль різців 1, 2, 3 показано умовно, для ілюстрації припусків на врізання

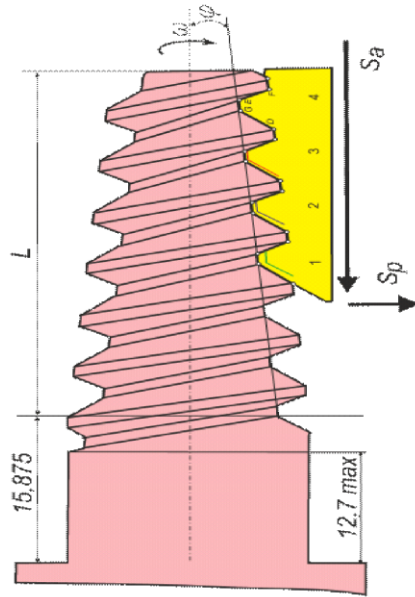


Рис. 3.9 - Схема формування першого витка замкової нарізні на ніпелі

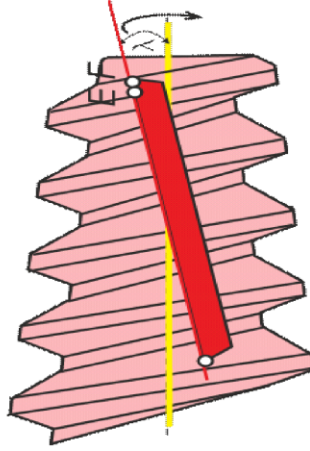


Рис. 3.10 - Схема формування першого витка замкової нарізні на ніпелі. Слід осью площини-жовтим, слід передньої площини - червоним. EF точки різальної крайки, що найбільш віддалені від осі ніпеля.

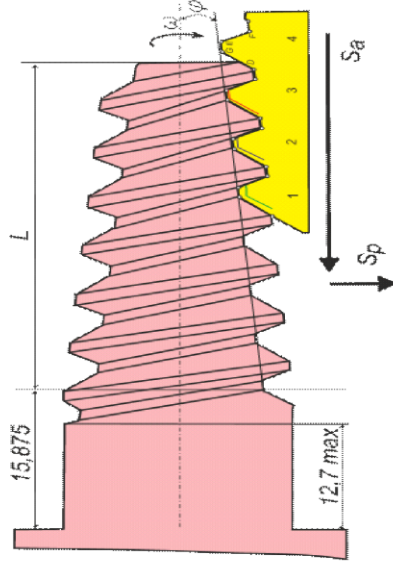


Рис. 3.8 - Схема початку фінішного проходу 4-рибкової гребінки під час виконання замкової нарізні. Sa - повздовжня подача гребінки, Sp - поперечна подача гребінки, omega - рух обертання заготовки навколо осі.

| | | | | |
|-------------------------|--------------|----------|-------|---------------------|
| MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | Лит. | Масса | Масштаб |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Розроб. | Бережанський | ДІМ | | |
| Пров. | Онисько О.Р. | | | |
| Т. контр. | | | | Лист 3 |
| Н. контр. | | | | Листов 6 |
| Утв. | Панчук В.Г. | | | ФОНТУНГ ПМКМ22-1 |

Копіював

Формат А3

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|----------|--------|------|

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

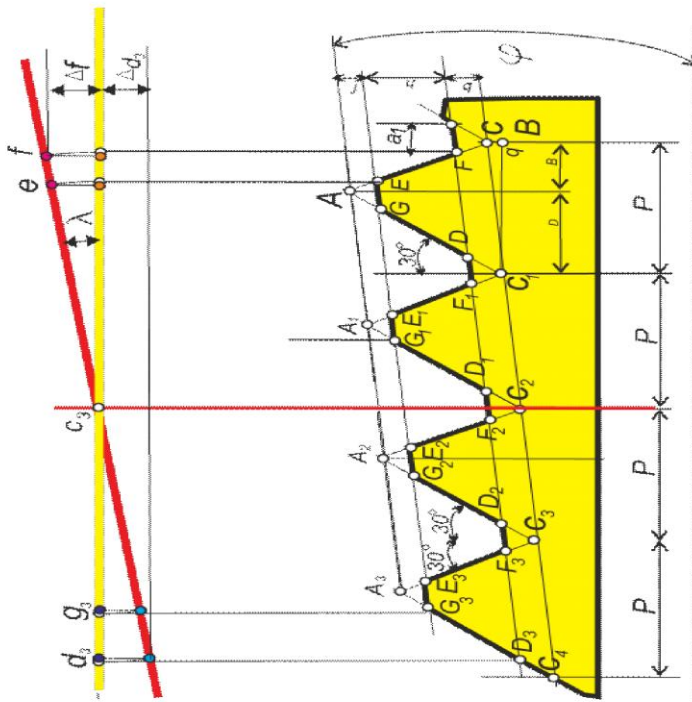


Рис. 3.13 - Схема влаштування кута нахилу різальної крайки 4-ніткової гребінки

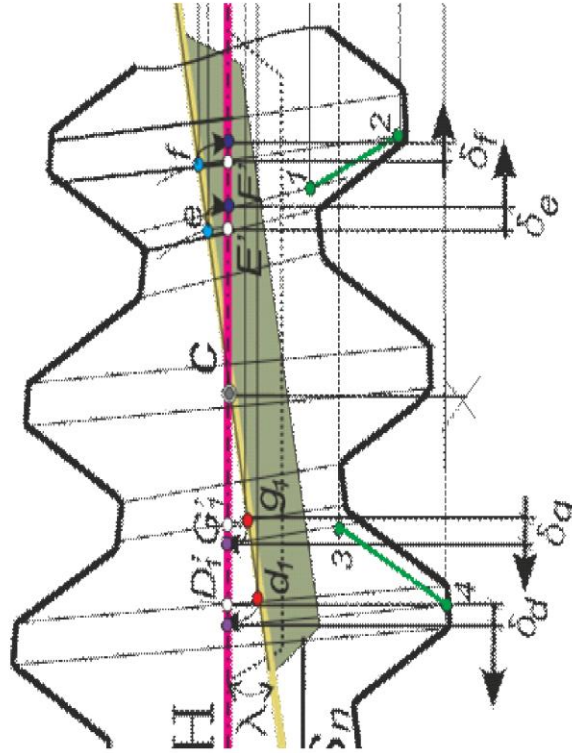


Рис. 3.15 - Схема визначення величин осевих зміщень, внаслідок випередження δ_f і запізнення δ_r

| | | | | | | | |
|-----------|--|-------------------|-------|------|----------|----------|---------|
| Имя | | № докум. | Подп. | Дата | Лит. | Масса | Масштаб |
| Розроб. | | Бережанський Д.М. | | | | | 1:1 |
| Пров. | | Онисько О.Р. | | | | | |
| Т. контр. | | | | | Лист 2 | Листов 6 | |
| Н. контр. | | | | | ЮНТУНГ | | |
| Утв. | | Панчук В.Г. | | | ПМКМ22-1 | | |
| Копіював | | | | | | | |
| Формат А3 | | | | | | | |

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

Схеми установлення чотириніткової гребінки різця із нахилом різальної крайки λ , формула для розрахунку кута нахилу різальної крайки

| | | | | | | |
|-----------|-------------------|-------|------|----------|----------|---------|
| Имя | № докум. | Подп. | Дата | Лит. | Масса | Масштаб |
| Розроб. | Бережанський Д.М. | | | | | 1:1 |
| Пров. | Онисько О.Р. | | | | | |
| Т. контр. | | | | Лист 2 | Листов 6 | |
| Н. контр. | | | | ЮНТУНГ | | |
| Утв. | Панчук В.Г. | | | ПМКМ22-1 | | |

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
| | | | | |

МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

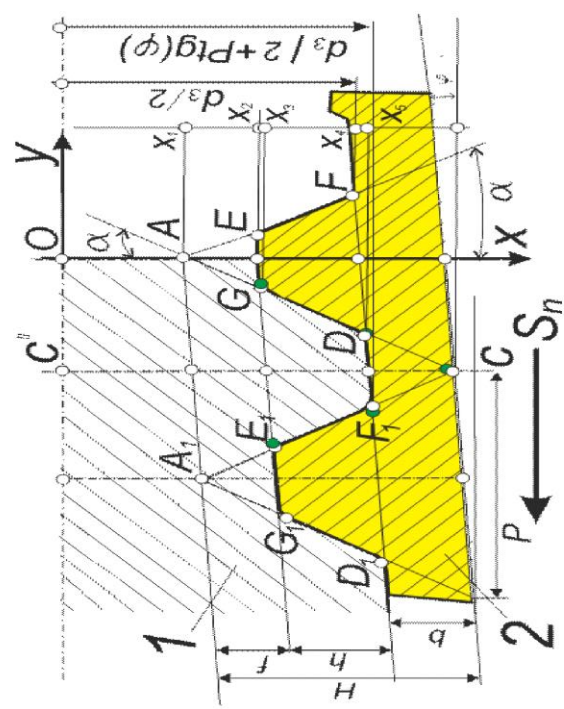


Рис. 3.12 - Схема для ілюстрації формул (3.4), (3.5).
2 - ділянка профілю гребінки- 1 - ділянка профілю нарізні ніпеля.

$$Y_S(x) = \operatorname{tg}(\alpha)x - |OA| \quad (3.4)$$

$$Y(x) = \left(\Delta \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \tau \right) - r \right) \operatorname{tg} \alpha - \frac{P\tau}{2\pi} \quad (3.5)$$

де $\tau = \arcsin \frac{\Delta}{x}$ де Δ - один із тангенсійних відхилів $\Delta e, \Delta f, \Delta d_s, \Delta g_1$;

r - радіус впадин нарізі, тобто

$$r = \frac{d_3}{2} - h,$$

таблиця координат X, Z
осьового профілю

Таблиця координат профілю АО осьового перерізу нарізі
Z - нарізь отримано вікоригованим різцем
Z1 - нарізь задано стандартом
Z2 - нарізь отримано невідкоригованим різцем, виставленим під кутон підняття нарізі
Z3 - нарізь отримано невідкоригованим різцем, виставленим під кутон підняття нарізі і переднім кутон
розрахований кут підняття нарізі = 3,090 град.
розрахований кут некоригованого профілю АО = град.
розрахований кут коригованого профілю АО = град.
кут профілю АО разальної кромки у площині передньої поверхні = 30,0000324249268 град.

| X | Z | Z1 | Z2 | Z2-Z1 | Z2-Z1 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12,490 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 12,500 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,000 | 0,006 |
| 12,510 | 0,011 | 0,012 | 0,011 | 0,000 | 0,011 |
| 12,520 | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,000 | 0,017 |
| 12,530 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,000 | 0,023 |
| 12,540 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,000 | 0,029 |
| 12,550 | 0,034 | 0,035 | 0,034 | 0,000 | 0,034 |

крок ітерації по X 0,01 очистити таблицю

Рис. 4.2 - Фрагмент програмного коду, що відповідає початковим даним розрахунку профіля стандартної нарізі та нарізвеного профілю отриманого на основі алгоритму (3.5)

| | | | |
|---|-------------------|----------|------|
| МР.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | | |
| Ізм./Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Розроб. | Бережанський Д.М. | | |
| Пров. | Онисько О.Р. | | |
| Т. контр. | | | |
| Н. контр. | | | |
| Утв. | Панчук В.Г. | | |
| Схема ілюстрації формул для розрахунку функціональної залежності профілю нарізі від величини тангенційного відхилення різця | | Масштаб | 1:1 |
| | | Листов 6 | |
| | | Лист 5 | |
| | | ФНТУНГ | |
| | | ПМКМ22-1 | |

MR.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

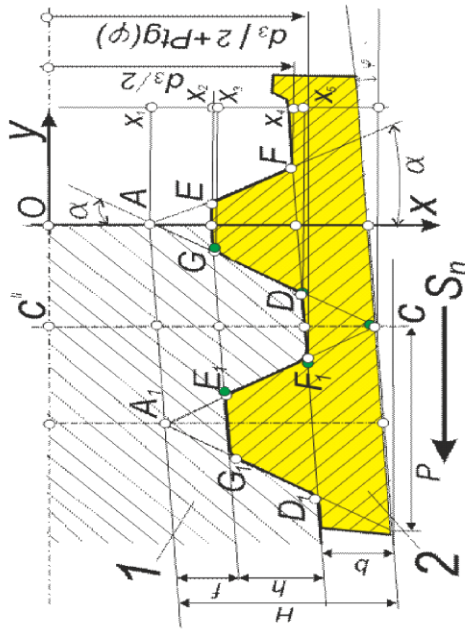


Рис. 3.12 – Схема для ілюстрації формул (3.4), (3.5).
2 - ділянка профілю гребінки- 1 - ділянка профілю нарізі ніпеля

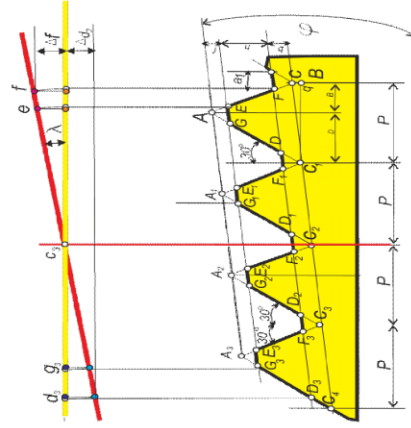


Рис. 3.13 - Схема влаштування кута нахилу різальної крайки 4-ніткової гребінки.

Кінематичні кути випередження та відставання можна визначити використавши схему 3.13:

$$\tau_F = \arcsin \frac{2\Delta f}{d_3} \quad (3.7)$$

$$\tau_{D3} = \arcsin \frac{2\Delta f}{d_3 + 4P \tan \varphi} \quad (3.8)$$

Рівняння (3.7), (3.8) слугуватимуть визначенню величин осьових змішень, точок профілю нарізі внаслідок випередження δ_f і запізнення δ_d (рис.)

$$\delta_f = P \frac{\tau_F}{2\pi} \quad (3.9)$$

$$\delta_d = P \frac{\tau_{D3}}{2\pi} \quad (3.10)$$

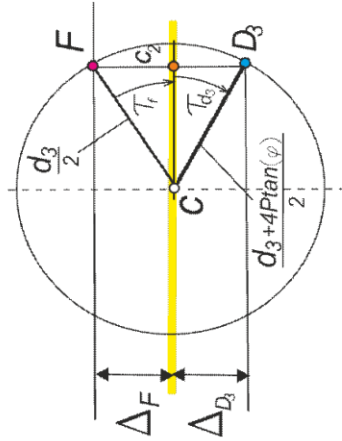


Рис. 3.14 – Схема влаштування кута кінематичних випередження і відставання

| | | | |
|-------------------------|--------------|--|----------|
| MR.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | Лит. | Масштаб |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. |
| Розроб. | Бережанський | ДіМ | ДіМ |
| Пров. | Онисько О.Р. | відхилив точок профілю нарізі, формули для розрахунку відхилів | Листов 6 |
| Т. контр. | | | Лист 4 |
| Н. контр. | | | ЮНТУНГ |
| Утв. | Панчук В.Г. | | ПМКМ22-1 |

Копіював Формат А3

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|----------|--------|------|

MR.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

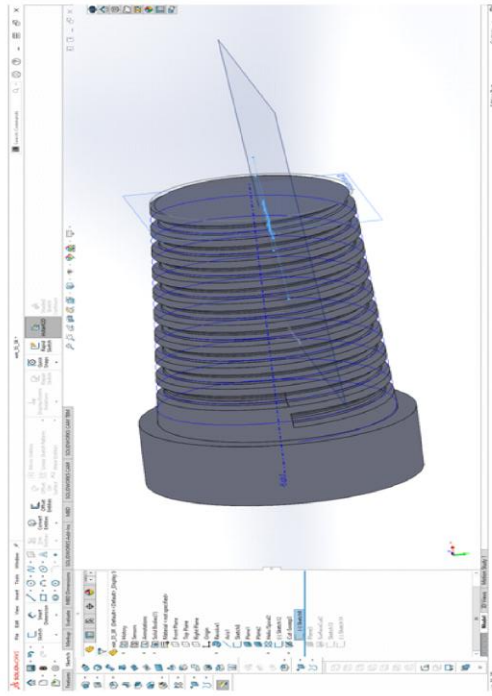


Рис. 5.1 – Тривимірна модель замкової нарізі NS12 і розміщення площини передньої поверхні під кутом нахилу λ

Таблиця 2. Результати розрахунків прогнозованих повдовжніх змінень профілю NS12 за 2D геометричним моделюванням і алгоритмом (3.4)-(3.5).

| Точка профілю нарізі | Різниця ΔY за алгоритмом (3.4)(мм) | Осьове зміщення δ за алгоритмом (3.9-3.10)(мм) | Результуюче повдовжнє зміщення (мм) |
|----------------------|--|---|-------------------------------------|
| F | -0,007 | 0,019 | 0,012 |
| D1 | -0,002 | 0,012 | 0,010 |

| | | | | | |
|-------------------------|-------------------|-------|------|----------|---------|
| MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | | | | |
| Имя Лист | № докум. | Подп. | Дата | Лит. | Масштаб |
| Розроб. | Бережанський Д.М. | | | | 1:1 |
| Пров. | Онисько О.Р. | | | | |
| Т. контр. | | | | Лист 6 | |
| И. контр. | | | | ЮНТУНГ | |
| Утв. | Панчук В.Г. | | | ПМКМ22-1 | |

Формат А3

Копіював

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-----|------|----------|--------|------|

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

Арк.

50

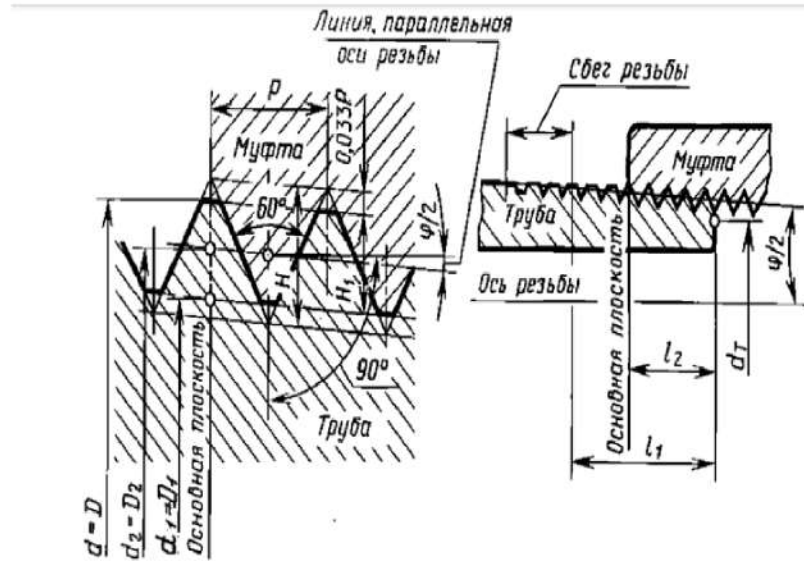


Рис. 1.3 - Схема форми профілю різьби NC12

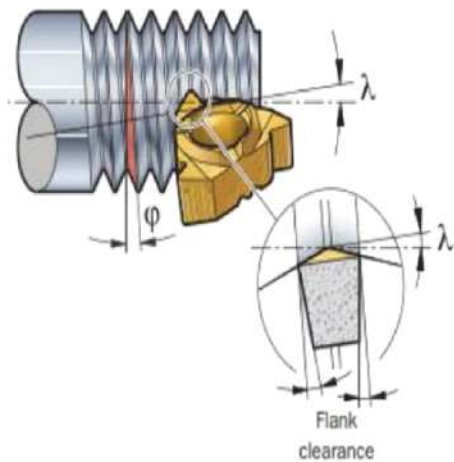


Рис. 1.5 - Схема установки платини під кутом кут різальної кромки λ

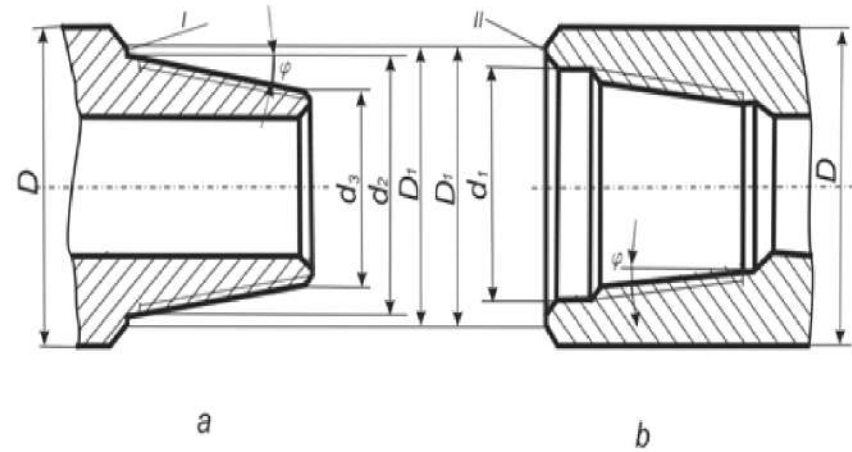


Рис. 1.2 - Схема форми профілю різьби NC12



Рис. 1.6 - Приклад гребінки та багатолезового різця

| | | | | | | | |
|-----------|--------------|----------|-------|------|--|----------|---------|
| | | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Загальні схеми та рисунки виготовлення конічних замкнених з'єднань | | |
| Розроб. | Бережанський | Д.М. | | | | | |
| Пров. | Онисько | О.Р. | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | | |
| Н. контр. | | | | | | | |
| Утв. | Панчук | В.Г. | | | Лит. | Масса | Масштаб |
| | | | | | | | 1:1 |
| | | | | | Лист 1 | Листов 6 | |
| | | | | | ІФНТУНГ ПМКМ22-1 | | |

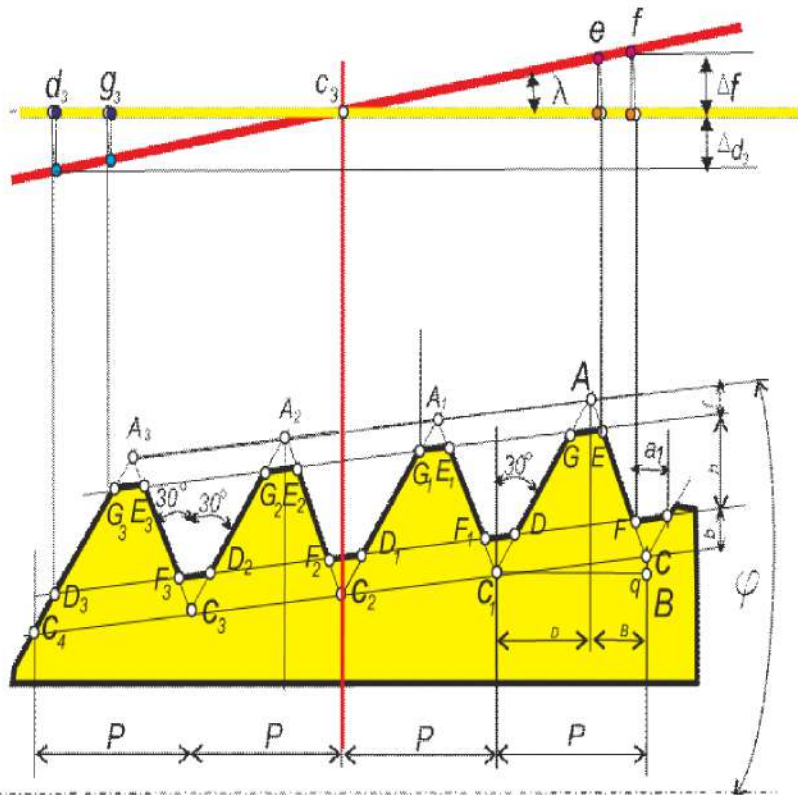


Рис. 3.13 - Схема влаштування кута нахилу різальної крайки 4-ниткової гребінки2

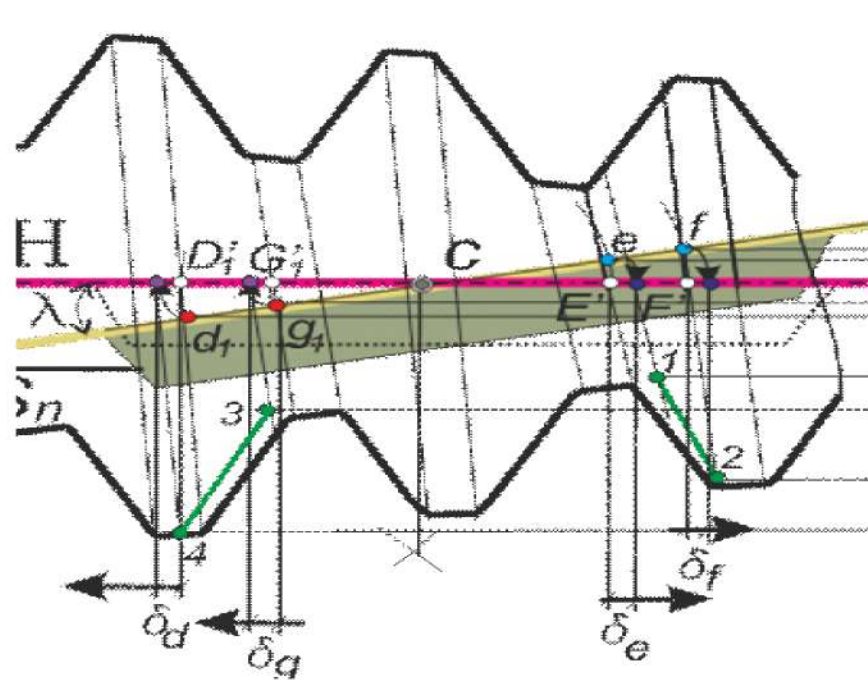


Рис. 3.15 - Схема визначенню величин осевих зміщень, внаслідок випередження δF і запізнення $\delta P3$

Справ. №

Подп. и дата

Ив. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Ив. № подл.

| | | | | |
|-----|------|-------------------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | Бережанський Д.М. | | |
| | | Онисько О.Р. | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | Панчук В.Г. | | |

Схеми установлення чотиринитково гребінки різця із нахилом різальної крайки λ , формула для розрахунку кута нахилу різальної крайки

| | | |
|--------|-------|----------|
| Лит. | Масса | Масштаб |
| | | 1:1 |
| Лист 2 | | Листов 6 |

ІФНТУНГ
ПМКМ22-1

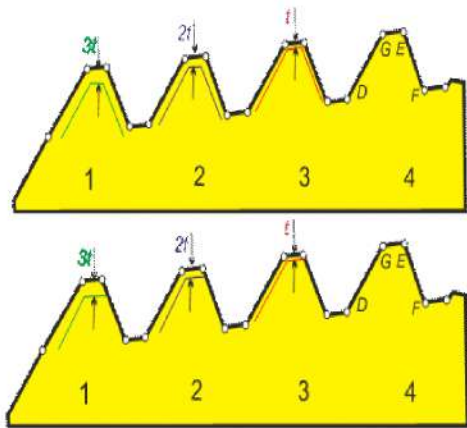


Рис. 3.13 - Схема чотириниткової різьбо-нарізної гребінки із радіальним способом врізання (верхній рисунок) та боковим способом врізання. Профілі різців зелений, синій та червоний показано без дотримання масштабу, Чорний профіль різців 1,2,3 показано умовно, для ілюстрації припусків на врізання

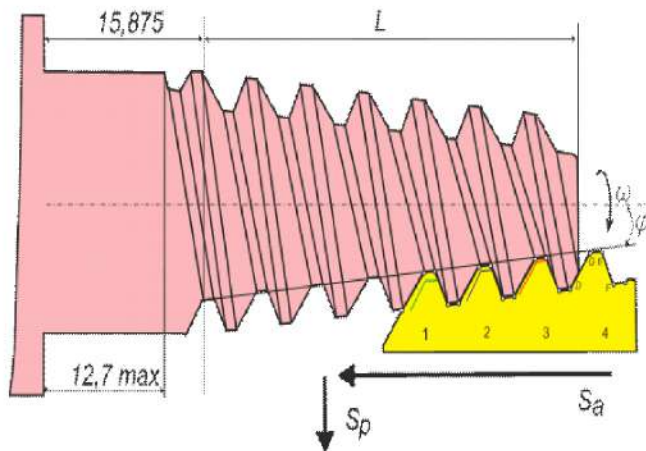


Рис. 3.8 - Схема початку фінішного проходу 4-ниткової гребінки під час виконання замкової нарізи. Sa - повздовжня подача гребінки, Sp - поперечна подача гребінки, ω - рух обертання заготовки навколо осі.

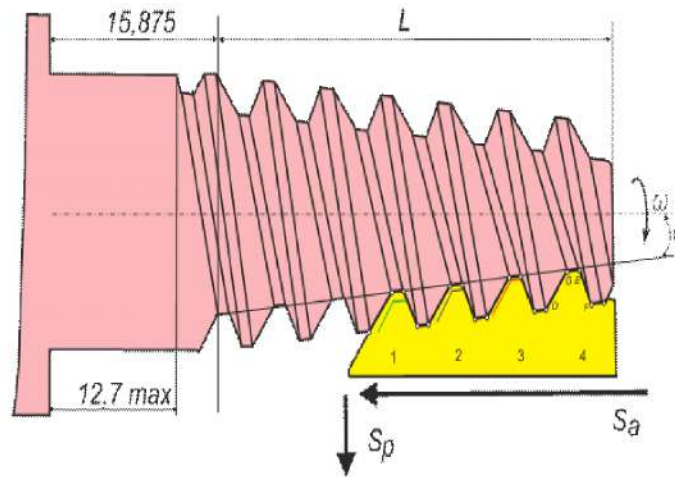


Рис. 3.9 - Схема формування першого витка замкової нарізи на ніпелі

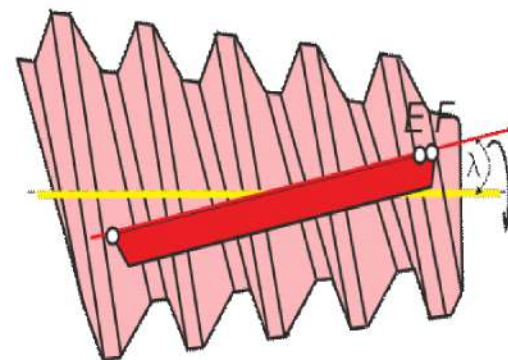


Рис. 3.10 - Схема формування першого витка замкової нарізи на ніпелі. Слід осьової площини - жовтим, слід передньої площини - червоним. EF точки різальної крайки, що найбільш віддалені від осі ніпеля.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-------------------|-------|--------------------------------|---|-----------------|----------|---------|
| | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Схеми Чотиринитковий нарізний профіль при різних способах подачі врізання нарізевими пластинами | Лит. | Масса | Масштаб |
| | | | | | | | | 1:1 |
| Розроб. | | Бережанський Д.М. | | | | | | |
| Пров. | | Онисько О.Р. | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | Лист 3 | Листов 6 | |
| Н. контр. | | | | | | ІФНТУНГ | | |
| Утв. | | Панчук В.Г. | | | | ПМКМ22-1 | | |

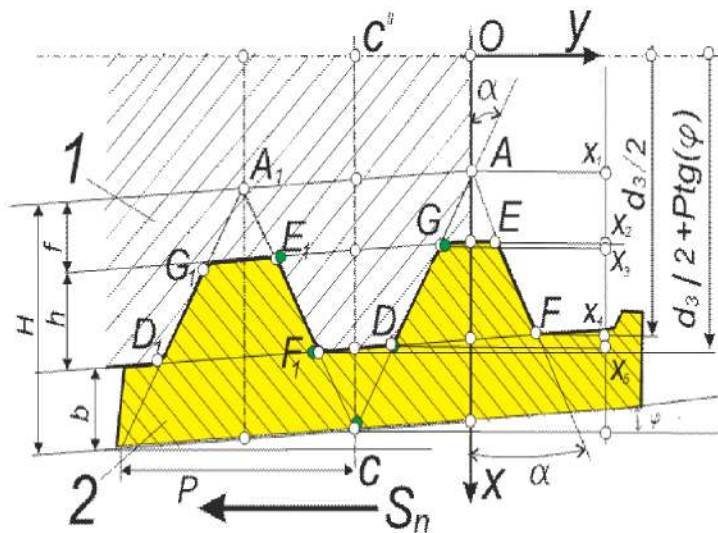


Рис. 3.12 – Схема для ілюстрації формул (3.4), (3.5).
2 - ділянка профілю гребінки- 1 – ділянка профілю нарізі ніпеля

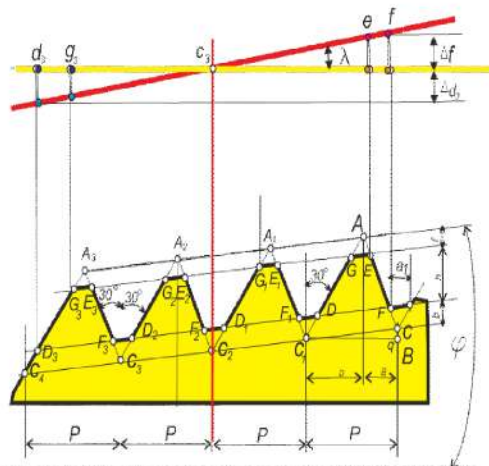


Рис. 3.13 - Схема влаштування кута нахилу різальної крайки 4-ниткової гребінки.

Кінематичні кути випередження та відставання можна визначити використавши схему 3.13:

$$\tau_F = \arcsin \frac{2\Delta f}{d_3} \quad (3.7)$$

$$\tau_{D3} = \arcsin \frac{2\Delta f}{d_3 + 4Ptg\varphi} \quad (3.8)$$

Рівняння (3.7), (3.8) слугуватимуть визначенню величин осевих змішень, точок профілю нарізі внаслідок випередження δ_f і запізнення δ_d (рис.)

$$\delta_f = P \frac{\tau_F}{2\pi} \quad (3.9)$$

$$\delta_d = P \frac{\tau_{D3}}{2\pi} \quad (3.10)$$

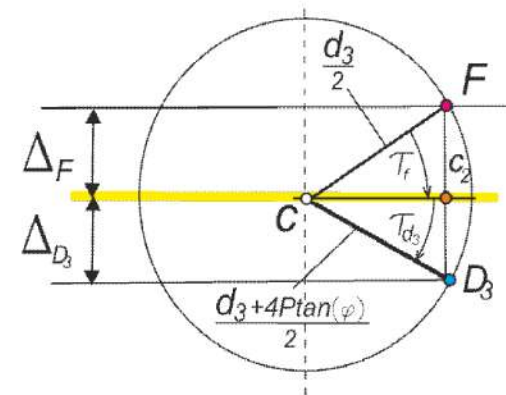


Рис. 3.14 – Схема влаштування кута кінематичних випередження і відставання

| | | | | | |
|-------------------------|--------------|----------|-------|------|---|
| MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Геометричні моделі, що пояснюють походження повздовжніх та кутових відхилів точок профілю нарізі, формули для розрахунку відхилів |
| Розроб. | Бережанський | Д.М. | | | Лит. |
| Пров. | Онисько | О.Р. | | | Масса |
| Т. контр. | | | | | Масштаб |
| Н. контр. | | | | | 1:1 |
| Утв. | Панчук | В.Г. | | | Лист 4 |
| | | | | | Листов 6 |
| | | | | | ІФНТУНГ |
| | | | | | ПМКМ22-1 |

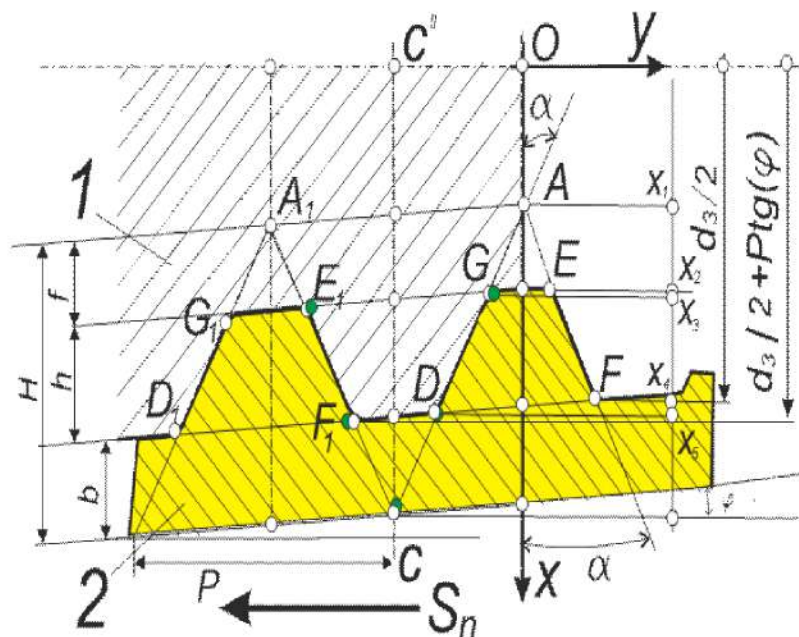


Рис. 3.12 - Схема для ілюстрації формул (3.4), (3.5).
2 - ділянка профілю гребінки- 1 - ділянка профілю нарізі ніпеля.

$$Ys(x) = tg(\alpha)x - |OA| \tag{3.4}$$

$$Y(x) = \left(\Delta \cdot tg\left(\frac{\pi}{2} - \tau\right) - r \right) tg \alpha - \frac{P\tau}{2\pi} \tag{3.5}$$

де $\tau = \arcsin \frac{\Delta}{x}$, де Δ - один із тангенційних відхилів $\Delta e, \Delta f, \Delta d, \Delta g$;

r - радіус впадин нарізі, тобто

$$r = \frac{d_3}{2} - h,$$

табуляція координат X,Z
осьового профілю

Таблиця координат профілю AD осьового перерізу нарізі

Z - нарізь отримано відкоригованим різцем
 Z1 - нарізь задано стандартом
 Z2 - нарізь отримано невідкоригованим різцем, виставленим під кутом підняття нарізі
 Z3 - нарізь отримано невідкоригованим різцем, виставленим під кутом підняття нарізі і переднім кутом
 передній кут = 2,5 град.
 розрахований кут підняття нарізі = 3,090 град.
 розрахований кут некоригованого профілю AD = град.
 розрахований кут коригованого профілю AD = град.
 кут профілю AD різальної кромки у площині передньої поверхні = 30,0000324249268 град.

| X | Z | Z1 | Z2 | Z-Z1 | Z2-Z1 | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12,490 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 12,500 | 0,006 | 0,006 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,000 |
| 12,510 | 0,011 | 0,012 | 0,011 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,000 |
| 12,520 | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,000 |
| 12,530 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,000 | 0,000 | 0,023 | 0,000 |
| 12,540 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,000 | 0,000 | 0,029 | 0,000 |
| 12,550 | 0,034 | 0,035 | 0,034 | 0,000 | 0,000 | 0,034 | 0,000 |

крок ітерації по X

Рис. 4.2 - Фрагмент програмного коду, що відповідає початковим даним розрахунку профілю стандартної нарізі та нарізівного профілю отриманого на основі алгоритму (3.5)

| | | | | | |
|-----------|-------------------|----------|-------|---|-------------------|
| | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | |
| | | | | Схема ілюстрації формул для розрахунку функціональної залежності профілю нарізі від величини тангенційного відхилення різця | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Масштаб |
| | | | Д.М. | | 1:1 |
| Розроб. | Бережанський О.Р. | | | | |
| Пров. | Онисько О.Р. | | | | |
| Т. контр. | | | | | Лист 5 / Листов 6 |
| Н. контр. | | | | | ІФНТУНГ |
| Утв. | Панчук В.Г. | | | | ПМКМ22-1 |

Справ. №

Подп. и дата

Инов. № дубл.

Взам. инов. №

Подп. и дата

Инов. № подл.

MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ

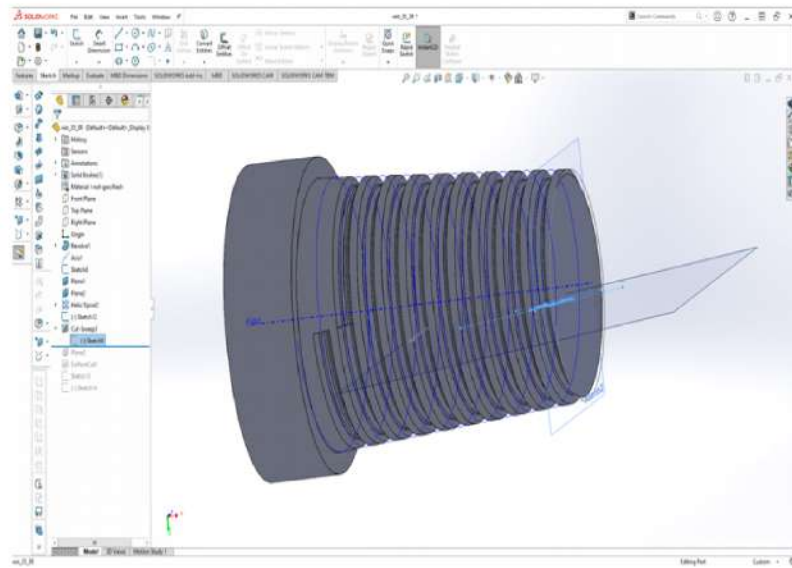


Рис. 5.1 – Тривимірна модель замкової нарізі NC12 і розміщення площини передньої поверхні під кутом нахилу λ

Таблиця 2. Результати розрахунків прогнозованих повздовжніх зміщень профілю NC12 за 2D геометричним моделюванням і алгоритмом (3.4)–(3.5).

| Точка профілю нарізі | Різниця ΔY за алгоритмом (3.4) (мм) | Осьове зміщення δ за алгоритмом (3.9-3.10) (мм) | Результуюче повздовжнє зміщення (мм) |
|----------------------|---|--|--------------------------------------|
| F | -0,007 | 0,019 | 0,012 |
| D1 | -0,002 | 0,012 | 0,010 |

Справ. №

Подп. и дата

Инов. № дубл.

Взам. инов. №

Подп. и дата

Инов. № подл.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-------------------|-------|--------------------------------|--|-----------------------------|----------|---------|
| | | | | MP.ПМКМ-04.00.00.000 ПЗ | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Результати дослідження точності замкової кінчної нарізі форми VI виготовленої точнінням за допомогою чотириниткового різця | Лит. | Масса | Масштаб |
| | | | | | | | | 1:1 |
| Розроб. | | Бережанський Д.М. | | | | | | |
| Пров. | | Онисько О.Р. | | | | | | |
| Т. контр. | | | | | | Лист 6 | Листов 6 | |
| Н. контр. | | | | | | ІФНТУНГ ПМКМ22-1 | | |
| Утв. | | Панчук В.Г. | | | | | | |