

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.ПМКм-53.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-21-1

Сидоров Юрій Олексійович

2022

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки

Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Сидоров Юрій Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.91

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Моделювання процесу забезпечення точності виготовлення замкової нарізі 3-30

(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування

(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Сидоров Юрій Олексійович

(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

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

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Сидорову Юрію Олексійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Моделювання процесу забезпечення точності виготовлення замкової нарізі 3-30

керівник роботи Онисько О.Р. проф. кафедри КМВ

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від "14" жовтня 2022 року № 494/7

2. Строки подання студентом роботи 28 грудня 2022р.

3. Вихідні дані до роботи: ГОСТ 28487-90 та API SPEC 7-2

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

1. Технологічна частина. 2. Дослідницька частина.

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

1. Формування конічної нарізі – 1 лист А1. 2. Пропозиції щодо вибору кута нахилу різальної крайки – 1 лист А1. 3. Забезпечення точності виготовлення нарізі – 1 лист А1. 4. Отримання перерізу з гіперболічним профілем – 1 лист А1. 5. Аналітичний розрахунок гіперболічного профілю – 1 лист А1. 6. Теоретичні дослідження контактних тисків у різбових з'єднаннях – 1 лист А1.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | <u>Онисько О.Р. проф. кафедри КМВ</u> | | |
| 2 | <u>Онисько О.Р. проф. кафедри КМВ</u> | | |
| 3 | <u>Онисько О.Р. проф. кафедри КМВ</u> | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітки |
|-------|-----------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | Технологічна частина | 01.11.2022 | |
| 2 | Розрахунок гіперболічного профілю | 15.08.2022 | |
| 3 | Дослідницька частина | 01.12.2022 | |
| 4 | Розрахунок відхилень | 28.12.2022 | |
| 5 | Захист магістерської роботи | 29.12.2022 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент _____ Сидоров Юрій Олексійович
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

“ ___ ” _____ 2022р.

Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: Моделювання процесу забезпечення точності виготовлення замкової нарізі 3-30. Робота складається з 66 аркушів. До неї входять 25 рисунків, 10 таблиць, 6 додатків. Для виконання роботи було використано 13 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення точності.

Предмет дослідження – Моделювання процесу забезпечення точності виготовлення замкової нарізі 3-30.

Мета роботи – Удосконалення моделювання процесу забезпечення точності виготовлення замкової нарізі 3-30.

Основним завданням роботи є Моделювання процесу забезпечення точності виготовлення замкової нарізі 3-30, вибір можливих підходів для обробки даної деталі, створення умов для обробки та розрахунки для контролю певної поверхні деталі, а також проведення аналізу деталі для обробки та визначення її слабких місць при навантаженнях.

Відповідно до поставленої задачі в дослідницькій частині розраховано гіперболічний профіль різальної крайки різця із ненульовим значенням переднього кута у вершинній точці, розраховано максимальне і мінімальне відхилення гіперболічного профілю різальної крайки різця від твірної конуса.

В додатках наведена загальна характеристика, ілюстрація процесів, а також використані для розрахунків формули.

Ключові слова: технологічний процес, замкові конічні з'єднання, нарізь, різець, кут нахилу, різальна крайка, профіль різьби, контактний тиск, технологічний зазор, вершинна точка, гіперболічний профіль.

Студент Сидоров Ю.О.

Summary

Master's qualification thesis on the topic: Modeling process of epy ensuring manufacturing accuracy of the tool-joint tapered thread NC10. The work consists of 66 sheets. It includes 25 figures, 10 tables, 6 appendices. 13 bibliographic titles were used to perform the work.

The object of research is the process of ensuring accuracy.

The subject of the study is the modeling process of epy ensuring manufacturing accuracy of the tool-joint tapered thread NC10.

The purpose of the work is to improve the modeling process of epy ensuring manufacturing accuracy of the tool-joint tapered thread NC10.

The main task of the work is the modeling process of epy ensuring manufacturing accuracy of the tool-joint tapered thread NC10, the selection of possible approaches for the processing of this part, the creation of processing conditions and calculations to control a certain surface of the part, as well as the analysis of the part for processing and the determination of its weak points under loads.

In accordance with the given task, in the research part, the hyperbolic profile of the cutting edge of the cutter with a non-zero value of the front angle at the apex point was calculated, the maximum and minimum deviation of the hyperbolic profile of the cutting edge of the cutter from the generating cone was calculated. The appendices contain a general description, an illustration of the processes, as well as the formulas used for calculations.

Key words: technological process, lock conical joints, thread, cutter, angle of inclination, cutting edge, thread profile, contact pressure, technological gap, apex point, hyperbolic profile.

Student Sydorov Y.

ДОДАТКИ

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 8 |
| 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА | 9 |
| 1.1 Опис, призначення, види та конструкція замкових конічних з'єднань..... | 9 |
| 1.2 Технологічний процес забезпечення експлуатаційних характеристик замкових конічних з'єднань..... | 14 |
| 1.3 Вимоги до механічних властивостей тіла бурильної труби в цілому і бурильного замка як її частини..... | 16 |
| 1.4 Сталі, які використовують для виготовлення сучасних бурильних труб і бурильних замків..... | 18 |
| 1.5 Поділ сталей для виготовлення бурильних труб і замків за їх механічною оброблюваністю..... | 20 |
| 1.6 Призначення, типорозміри, форми профілю та вимоги до точності і якості поверхні конічних замкових нарізей..... | 23 |
| 1.7 Типорозміри існуючих замкових нарізей за стандартами ГОСТ 28487-90 та API SPEC 7-2..... | 24 |
| 1.8 Форми профілю замкових конічних нарізей за ГОСТ 28487-90, ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2..... | 27 |
| 1.9 Вимоги стандартів, щодо точності виконання нарізі..... | 29 |
| 1.10 Аналіз формування замкової нарізі за допомогою різців..... | 31 |
| 1.11 Огляд та аналіз схем різання при формуванні нарізей різцями за способами подачі..... | 33 |
| 1.12 Рекомендації та пропозиції щодо вибору кута нахилу різальної крайки нарізевих різців..... | 35 |

| | | | | | | | |
|-----------------------------|------|--------------|--------|------|--------------------------------|------|---------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | | |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | | Сидоров Ю.О. | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | | Онисько О.Р. | | | | 9 | |
| Рецензент | | | | | ІФНТУНГ ПМКм- | | |
| Затверд. | | Панчук В.Г. | | | | | |
| Пояснювальна записка | | | | | | | |

| | |
|---|-----------|
| 1.13 Проблеми із забезпеченням точності виготовлення нарізі через ймовірні похибки установки нарізевого різця..... | 39 |
| 1.14 Забезпечення герметичності у бурильних замкових нарізях..... | 42 |
| 1.15 Призначення технологічного зазору..... | 44 |
| 1.16 Теоретичні дослідження контактних тисків у різбових з'єднаннях..... | 45 |
| 1.17 Рекомендації та пропозиції щодо вибору геометричних параметрів різців у залежності від оброблюваності матеріалу заготовки та кута нахилу нарізі..... | 50 |
| 2. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА..... | 51 |
| 2.1 Аналітичний розрахунок гіперболічного профілю різальної крайки різця із ненульовим значенням переднього кута у вершинній точці..... | 51 |
| 2.2 Максимальне і мінімальне відхилення гіперболічного профілю різальної крайки різця від твірної конуса..... | 56 |
| 2.3 Лінійна інтерполяція гіперболічного профілю різальної крайки нарізевого різця із ненульовим значенням переднього кута у вершинній точці..... | 58 |
| 2.4 Визначенні стріли опуклості гіперболічного профілю різальної крайки нарізевого різця з ненульовим значенням статичного переднього кута у вершинній точці..... | 60 |
| ВИСНОВКИ..... | 65 |
| ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА..... | 66 |

ВСТУП

Різьбові з'єднання широко розповсюджені в машинобудуванні. Більшість сучасних машин та деталей, а саме більш ніж 55%, мають різьбу. Різьби класифікують за: профілем гвинтової поверхні (трикутні, трапецієвидні, круглі тощо), за формою поверхні, на якій утворена різьба (циліндричні, конічні, зовнішні, внутрішні тощо), за напрямом гвинтового руху (праві та ліві), по числу заходів (однозахідні та багатозахідні).

За експлуатаційним призначенням поділяють різьби загального застосування і спеціальні, що використовуються для з'єднання деталей одного типу в конкретному механізмі. До першої групи відносять три види різьби, а саме:

А) Кріпильні різьби – метричні та дюймові різьби, що застосовуються для з'єднання деталей машин та забезпечують точність з'єднань і зберігають нероз'ємність стику в процесі експлуатації;

Б) Кінематичні різьби – трапецієвидні та прямокутні різьби, що застосовуються для ходових гвинтів столів вимірювальних приладів, головною вимогою до яких є забезпечення точного розташування та пересування при найменшому терті;

В) Трубні та арматурні різьби – різьби, що застосовуються для трубопроводів і арматури різноманітного призначення, головною вимогою до яких є забезпечення герметичності та надійності з'єднань.

Загальні вимоги до всіх видів різьб – забезпечення згвинчуваності незалежно виготовлених деталей без підгонки, а також надійне виконання необхідних експлуатаційних вимог. Зокрема, різьби труб нафтового сортаменту призначені для з'єднання труб в нафтових свердловинах. Відмітною особливістю з'єднань нафтовидобувних труб та муфт є використання конічної різьби. Головною перевагою такого виду різьби є її герметичність. Сфера застосування таких різьб та високі експлуатаційні вимоги до них ставлять перед інженерами серйозне завдання – забезпечити максимальну точність виготовлення та змоделювати усі необхідні процеси для досягнення якості таких з'єднань.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис, призначення, види та конструкція замкових конічних з'єднань

Відомо, що деталі нафтогазових виробів зазнають значних навантажень, так буровий інструмент, що обертається, вводиться в породу під дією осьового навантаження, а також ударів, що завдаються за допомогою спеціальних механізмів з певною частотою. Основною проблемою у застосуванні обертально-ударного способу буріння є недостатня працездатність бурильних труб і, перш за все, сполучних вузлів, що призводить не тільки до необхідності збільшення виробництва та витрати сталі, а й викликає великі втрати часу на заміну тих труб, що вийшли з ладу. У зв'язку з цим необхідно розробити таку конструкцію сполучного вузла та його різьбове з'єднання, яке дозволило б збільшити працездатність колони труб та підвищити продуктивність роботи під час буріння свердловин.

Таким чином, проблема підвищення надійності різьбових з'єднань бурильних колон є однією з найактуальніших у світі. Цим питанням займаються провідні організації та компанії.

Далі розглянемо бурильну колону, що є сполучною ланкою між долотом, що знаходиться в вибої свердловини та буровим обладнанням, розташованим на поверхні. Вона призначена для підведення енергії (механічної, гідравлічної, електричної) що діє на долото, для забезпечення подачі бурового розчину до забою, створення осьового навантаження на долото, передавання реактивного моменту долота та забійного двигуна. Різьбові з'єднання є «вузлами», що зв'язують між собою елементи бурильної колони, які зазнають значних експлуатаційних навантажень. Так, при проєктуванні різьбових з'єднань бурильних колон до них висувається ряд вимог, зумовлених необхідністю забезпечення міцності, довговічності, герметичності, швидкості згвинчування тощо. Зазначені вимоги призводять до переважного застосування конічних різьб для з'єднання бурильних труб.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Як правило, всі ці різьби в усьому світі виконуються за стандартами Американського Інституту Нафти (API). Аналогічні за призначенням нарізі, виконані за вітчизняним ГОСТом, мають деякі параметри різьблення, відмінні від різьблення API. Головною перевагою конічного різьби є її герметичність. В Україні існує стандарт на зовнішню та внутрішню конічну замкові різьби, які застосовуються в з'єднаннях елементів бурильної колони: замків (для бурильних труб), провідних бурильних труб, перехідників різного призначення, обважнених бурильних труб (ОБТ), занурювальних вибійних двигунах, шарошечних та лопатевих доліт, алмазних доліт та коронок.

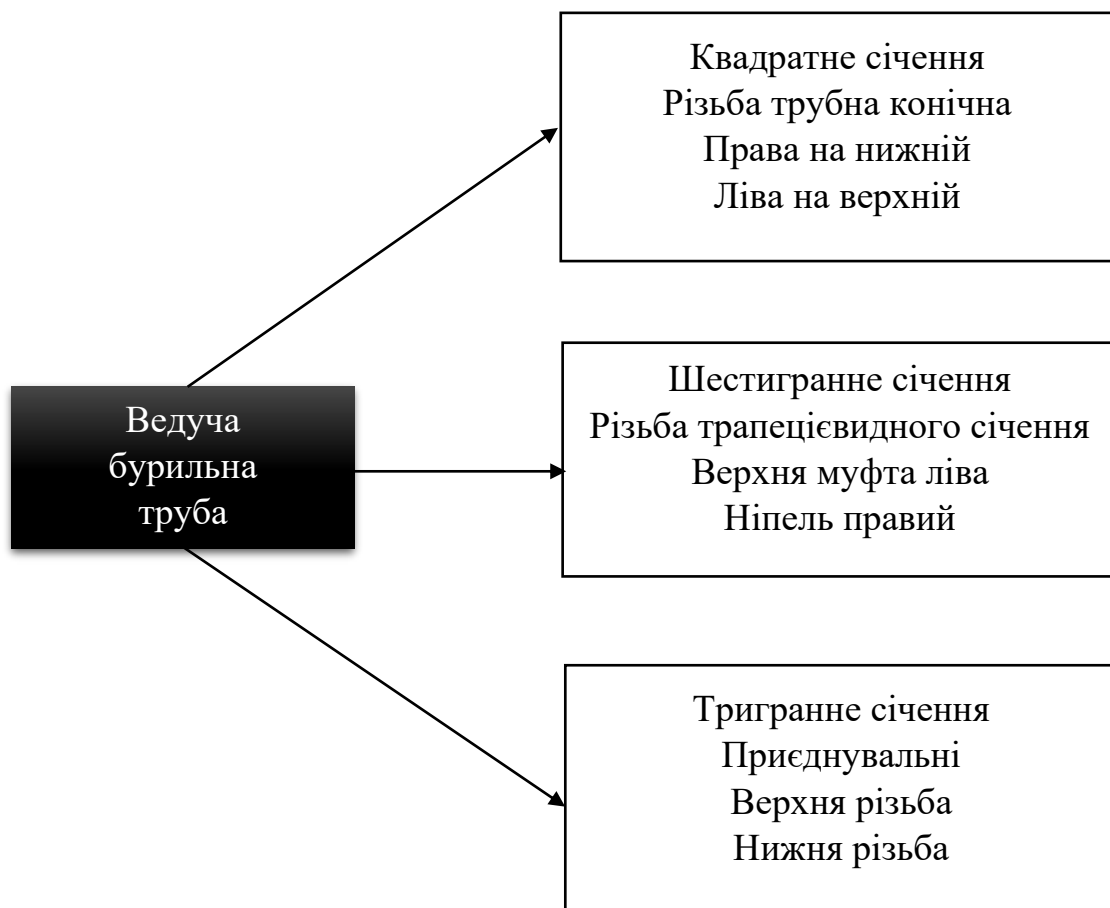


Рисунок 1 – Класифікація різьб ведучих бурильних труб

Провідна бурильна труба – призначена для передачі обертання від ротора до бурильних труб. Це товстостінна труба, що має в перерізі квадратну, шестигранну або хрестоподібну форму з концентрично розташованим круглим або квадратним отвором для проходу бурового розчину. Найбільш поширені провідні труби з квадратним перетином.

Звичайні бурильні труби (БТ) – із сталевих або алюмінієвих сплавів цільнопротягнуті круглого поперечного перерізу, що з'єднуються між собою за допомогою бурильних замків або напівзамків зі спеціальним великим конічним різьбленням. Кінці бурильних труб потовщують задля збільшення їх міцності. Утовщені бурильні труби становлять основну частину колони, вид представлений на рис. 2.



Рисунок 2 – Ніпельна частина обтяженої бурильної труби

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

Обтяжені бурильні труби (ОБТ) – труби сталевого або квадратного поперечного перерізу; вони також з'єднуються за допомогою різьби і служать для збільшення жорсткості нижньої стиснутої частини колони, підтримки колони бурильних труб у розтягнутому стані та створення навантаження на породоруйнівний інструмент [4, 12 та 13]. Різьбові з'єднання обтяжених труб показано на рис. 3.

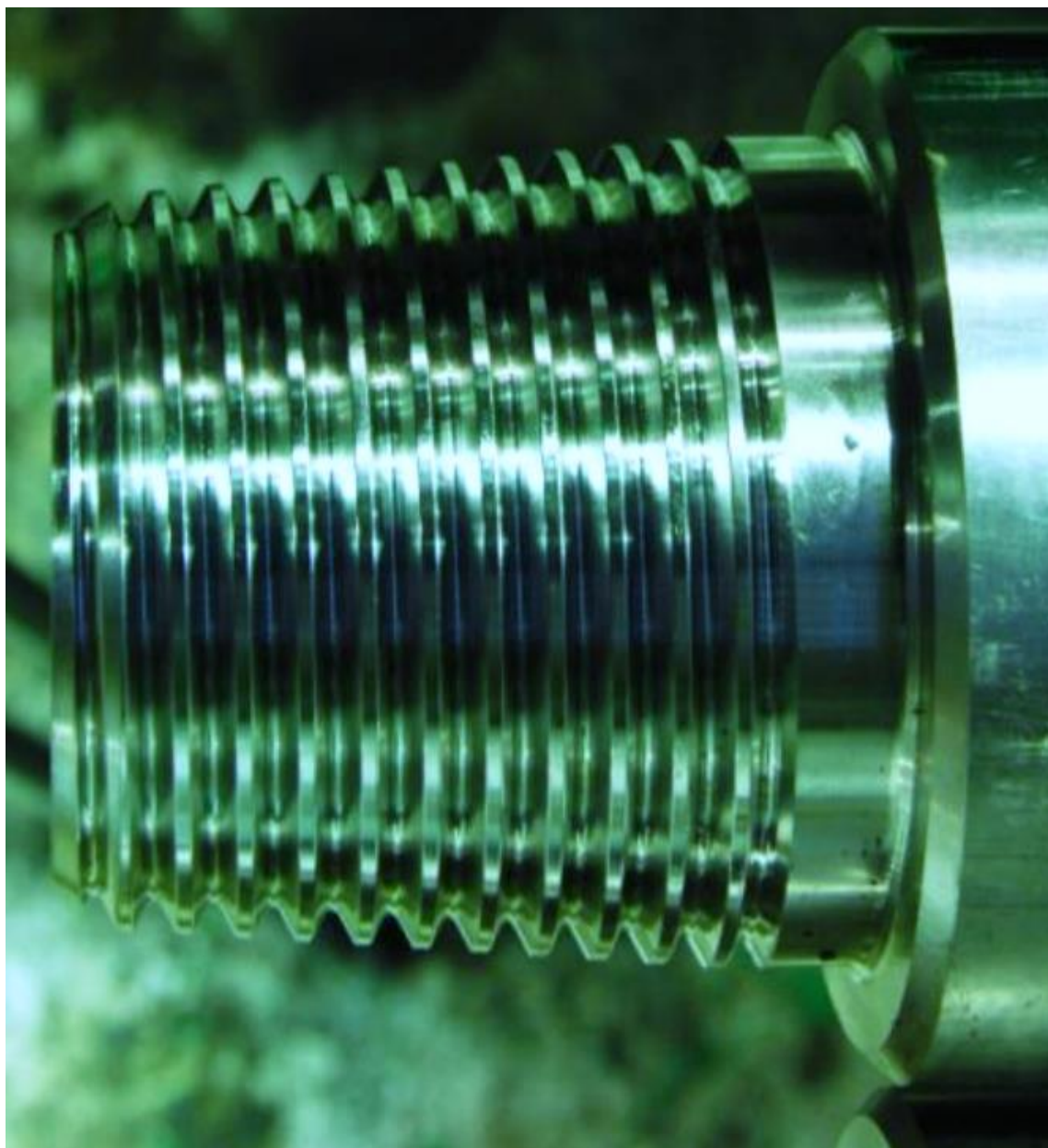


Рисунок 3 – Різьбове з'єднання обтяжених труб

Різьбові з'єднання використовуються в таких деталях, як замки бурильних труб, що призначені для з'єднання в колону бурильних труб. В залежності від конструкції існують різні типи замків.

Замки складаються із замкового ніпеля з зовнішньою різьбою та замкової муфти з внутрішньою великою різьбою. Для з'єднання з бурильними трубами в замкових деталях нарізана дрібна трубна різьба. Для цільнозамкових зварних труб замок замість трубної різьби має хвостовик.

Перехідники для бурильних свердловин є різновидом сполучних елементів бурильної колони. Застосовують п'ять основних типів перехідників. Їх поділяють на дві групи: штангові – для з'єднання бурильної труби ведучої з вертлюгом та бурильними трубами; проміжні – для з'єднання інших елементів колони.

За конструкцією, матеріалами та розмірами перехідники для колон бурильного інструменту мають багато спільного з бурильними замками, а замкові різьби в них є однаковими.

Також різьбові з'єднання застосовують у вибійному двигуні, буровому долоті, долоті та алмазних голівках бурильних.

Таким чином, в наявності є широкий асортимент виробів, де використовуються різьбові з'єднання, для виготовлення основних їх розмірів розроблено технологічні процеси зміцнення високонавантажених різьбових поверхонь сполучних перехідників бурильних та інших виробів. Проведено науково-дослідні роботи з зміцненню замкових різьблення ОБТ. Виготовлено багато дослідно-промислових партій та постійно проводяться випробування гвинтових забійних двигунів. Підвищення якості труб ОБТ у їхній замковій частині також забезпечує великий економічний ефект, адже обрив труби (у більшості випадків пов'язаний з полумкою в замковій частині труби), призводить до можливої втрати колони бурильних труб і цінної телеметричної апаратури.

Для фахівців у галузі будівництва свердловин не є секретом, що до розпаду Радянського Союзу у світі паралельно існували дві школи буріння свердловин – американська та радянська. Однією з основних відмінностей шкіл було застосування

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 13 |

турбобурів при бурінні свердловин в союзі та буріння роторним способом у США. Звідси й різні вимоги до труб та обладнання свердловин. В силу технологічних особливостей роторного способу буріння на Заході найбільшим попитом користуються високоміцні бурильні труби з межею плинності 931МПа і більше, тоді як на пострадянському просторі ринок бурильних труб донедавна складався в основному з труб груп міцності Д та Е.

З приходом на вітчизняний ринок бурових послуг іноземних підрядників з передовими технологіями горизонтального буріння та закінчення свердловин структура попиту на бурильні труби змінилася, тому сьогодні сегмент високоміцних труб займає вже близько 70% цього ринку. Крім того, до бурильних труб, враховуючи їх високу вартість, висуваються додаткові вимоги щодо нанесення внутрішніх гладкісних покриттів, армування бурильних замків протизносною наплавкою, подовження бурильних замків.

1.2 Технологічний процес забезпечення експлуатаційних характеристик замкових конічних з'єднань

Серед основних методів отримання нарізей у промисловості існують ті, що пов'язані з утворенням стружки, або технологічні процеси різання, а також ті, що зумовлені процесом деформування, зокрема пластичного. Також разом з цими методами при створенні нарізей відбуваються процеси, котрі покликані забезпечити необхідні механічні показники, та запобігти утворенню корозійних процесів, а також усунути можливе задирання. У зв'язку із цим дослідники та науковці пропонують безліч методів обробки, серед яких є такі, котрі істотно збільшують якість виготовлених поверхностей різьб, їх точність, підвищують продуктивність та ефективність операцій різання.

Замкові конічні з'єднання, як елементи з'єднань труб при бурінні у свердловинах мають свої унікальні відмінності, котрі зумовлюють вибір особливих методів забезпечення наступних експлуатаційних вимог:

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 14 |

1. Швидке згвинчування-розгвинчування під час операцій спуску і підйому бурильних колон;
2. Підвищений опір під час навантажень через вагу бурильної колони (розтяг), при керуванні похилим та горизонтальним бурінням (зусилля згину) та через наявність підчас процесу буріння обертового моменту (кручення);
3. Щільність та герметичність з'єднання, особливо в умовах турбінного буріння свердловин, адже тиск промиваючої рідини може сягати 20 МПа;
4. Довговічність та стійкість до зносу через часте розгвинчування та згвинчування.

Добре відомим є факт, що з'єднання з конічною різьбою, у конструкційному порівнянні з циліндричними з'єднаннями, є більш придатними та доцільними при використанні в умовах необхідності проведення постійних швидких операцій згвинчування і розгвинчування, адже завдяки своїм унікальним особливостям у будові, вони наділені певними перевагами, котрі забезпечують необхідну герметичність. Ситуація ускладнюється лише тим, що виготовлення різьб конічної форми передбачає значно складніший техпроцес, ніж виготовлення різьб циліндричної форми. Це зумовлено тим, що діаметр різьби не є постійним, тобто він змінюється з підйомом гвинтової лінії. Також, окрім цього, замкові різьби конічної форми необхідно виробляти з урахуванням конусності, якою зумовлена асиметричність профілю різьби. Отже, очевидною лишається проблема різних значень та величин кроку між боковими сторонами цього профілю, котрі є коротшими та довшими.

Серед проблем технологічного плану існують також ті, що пов'язані з важкістю при обробці елементів бурильних замків, що виготовляються з використанням матеріалів, котрі значно перевищують міцність матеріалів, з яких складаються бурильні труби. До того ж, вимоги котрі стосуються міцності бурильних труб, постійно збільшуються.

Найголовнішими складовими, що впливають на технологічний процес при виготовленні бурильних колон та їх замків для забезпечення необхідних

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

експлуатаційних вимог, є хімічна, термічна обробка, а також операції точіння, зокрема, власне, точіння нарізі. У техпроцесі ця операція є завершальною, саме вона дозволяє досягнути точності при нарізанні.

Велика кількість провідних дослідників займається дослідженням проблем забезпечення високих характеристик для експлуатації конічних різьб, проте їх науковим працям все ще не вистачає достатнього аналізу впливу техпроцесу на результат обробки. У випадку проведення таких досліджень, це допомогло б вдосконалити процеси обробки та довести до втілення необхідні вимоги. Відповідно, для проведення такого аналізу необхідно для початку розглянути складові усіх техпроцесів при виготовленні, зробити оцінку переваг та недоліків, які можуть стати на заваді та класифікувати усі необхідні особливості. Це дозволить забезпечити експлуатаційні характеристики замкових різьб та дочасно виявити усі можливі проблеми.

1.3 Вимоги до механічних властивостей тіла бурильної труби в цілому і бурильного замка як її частини

Замки в буриньних трубах приварюються до їх поверхності (тіла), або ж іноді кріплять за допомогою гвинтів. Ти мене менш, у будь-якому з цих випадків, стандарти ГОСТ Р 50278–92 та ГОСТ Р 51245–99 передбачають, що ці бурильні труби мають бути виконані з груп матеріалів, що є різними за міцністю згідно з необхідністю застосування їх в різних умовах буріння, наприклад турбінному, або роторному. Таблиця 1.1 містить дані, котрі відображають значення механічних властивостей труб для буріння згідно з групою міцності виду сталі.

З присутньої у таблиці інформації видно, що групи міцності D, E, X, G, та S за стандартами API 5DP 2010, є співзначні з групами міцності Д, Е, Л, М та Р у вітчизняних стандартах ГОСТ Р 50278–92, ГОСТ Р 51245–99, ГОСТ Р 54383 - 2011.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 16 |

Таблиця 1.1

Механічні властивості тіла бурильної труби після термообробки згідно з ГОСТ Р 50278–92, ГОСТ Р 51245–99, ГОСТ Р 54383 -2011

| Назва показника, розмірність | позначення | Норма механічних властивостей за групами міцності сталі | | | | | | |
|---|------------|--|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | Д | Е | Л | М | Р | Т* | У* |
| Межа міцності, МПа | σ_b | 655 | 689 | 724 | 792 | 999 | 1104 | 1241 |
| Межа плинності, МПа: min | σ_T | 379 | 517 | 655 | 724 | 930 | 1035 | 1170 |
| | | max | - | 724 | 862 | 930 | 1138 | 1241 |
| Відносне видовження, % min | δ_5 | 16 | 14 | 14 | 12 | 12 | 11,5 | 10,5 |
| Відносне звуження після розриву, % min | ψ | 50 | 50 | 50 | 45 | 45 | 40 | 40 |
| Ударна в'язкість, дж/см ² min | KSV | 690 | 690 | 690 | 690 | 690 | - | - |

*Групи міцності Т і У введені у стандарт як перспективні.

Враховуючи те, що роторний спосіб буріння поширений більше за турбінний, труби високої міцності як цілий сегмент, займають великий відсоток та користуються найбільшим попитом, а саме більш ніж 75% усього ринку. Через це, згідно стандартів ГОСТ Р 50278–92 та ГОСТ Р 51245–99, перспективні групи сталей позначені зірочкою.

Усі механічні властивості бурильних труб представлені у таблиці 1.2, вони є узгоджені з даними, що надав Американський Нафтовий Інститут (API — American Petroleum Institute).

З таблиці можна побачити, що за міцністю групи D, E, X, G та S, що специфіковані стандартом API 5DP 2010, є відповідними до груп міцності Д, Е, Л, М та Р у вітчизняних стандартах ГОСТ Р 50278–92, ГОСТ Р 51245–99, ГОСТ Р 54383 -2011. Такі відповідності дозволяють побачити, що хоч дві школи буріння і розвивалися майже незалежно одна від одної, та все ж однаково відповідають більшості вимог.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

Таблиця 1.2

Механічні властивості груп сталей за Specification for Drill Pipe .
ANSI/API SPECIFICATION 5DP 2009

| Назва показника, розмірність | ПОЗНАЧЕННЯ | Норма механічних властивостей за групами міцності сталі | | | | |
|---------------------------------|------------|--|-----|-----|-----|------|
| | | D | E | X | G | S |
| Межа міцності, МПа | σ_B | 655 | 689 | 724 | 793 | 1000 |
| Межа плинності, МПа: min | σ_T | 379 | 517 | 655 | 724 | 931 |
| | max | - | 724 | 862 | 931 | 1138 |

1.4 Сталі, які використовують для виготовлення сучасних бурильних труб і бурильних замків

Деталі поділяються за призначенням. Призначення регламентоване стандартами згідно з вимогами до хімічного складу в різних країнах, або групах країн, таких як Єспросоюз і СНД. В кожній з цих груп вимоги і маркування можуть істотно відрізнятись, також це залежить від виробника. Виходячи з цього, для зручності подальшого аналізу марок сталі, відповідно до їх оброблюваності, необхідно звертати увагу саме на їх призначення, механічні характеристики та їхній хімічний склад. Таблиця 1.3 демонструє як приклад сталі, що використовуються при виготовленні бурильних труб, серед яких є обважені, та бурильних замків вітчизняного українського, а також німецького та японського зразків.

Згідно даних Американського інституту чавуну і сталі (AISI) низьколегована сталь 4145H містить 0,43% вуглецю і наступний легуючий склад елементів:

Кремній – до 0,35%;

Хром – до 1,1%;

Марганець – до 1%;

Молібден – до 0,35%.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

Таблиця 1.3

Приклади застосування марок сталі для виготовлення виробів із конічними замковими різьбами

| Призначення виробу | Марка сталі | Межа міцності | Твердість | Виробник замкової нарізі |
|--|---------------------|---------------|-------------|---|
| Труба ведуча бурильна | 45ХГМА | 966 | 285-341 НВ | Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання, Україна |
| Замок до <u>загвинчення</u> на бурильну трубу | 40ХН | 645 – 882 | | |
| Замок для приварювання | | 981 | 255-321 НВ | |
| Труби обважені бурильні | 40ХН2МА | 637 | 255 НВ | |
| | 38ХН3МФА | 735 | 285-341 НВ | |
| | AISI 4145H | 970 -1150 | 290– 340 НВ | ІТАГ Німеччина |
| Замок для приварювання | 40ХН | 981 | 255-321 НВ | ДЗБО Україна |
| Замки для роботи у вологому СО ₂ середовищі | JFE-UHP™ - 15CR-125 | 931 | 35HRC | JFE Steel Corporation <u>Японія</u> |

Сталь JFE-UHP™-15CR-125 наділена високою стійкістю до корозії під дією великих температур. Після відпуску отримується мартенситна структура, що забезпечує велику міцність під дією високої температури та опір корозійним утворенням, адже містить значну кількість легуючих елементів, а саме:

Хрому – 14-16%;

Нікелю – 6-7%;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

Молибдену – 1,8-2,5%;

Міді – до 1,5%.

Дана марка сталі максимально наближена до вітчизняної Х18Н10, цю марку сталі ще відносять до так званих жароміцних.

1.5 Поділ сталей для виготовлення бурильних труб і замків за їх механічною оброблюваністю

Сталі, які придатні для механічної обробки поділяються на I, II, III та VIII групи.

До групи I важких для обробки матеріалів може бути віднесена певна частина тих марок сталі, котрі слугують для виготовлення замків бурильних труб, а також ведучих та обважених труб через характеристики їх міцності.

Марка сталі 40ХН2МА – це одна з найякісніших груп сталей, до якої входить хромонікельмолибденова сталь, що застосовується при виготовленні замків обважених труб для буріння. В умовах різних режимів термообробки і отримуються її механічні якості, що показано у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Механічні характеристики сталі 40ХН2МА при різних режимах термообробки.

| Температура відпускання ^{°С} | Межа плинності $\sigma_{0,2}$ МПа | Межа міцності σ_B МПа | Ударна в'язкість КСУ (J/sm ²) | Твердість HRCa |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--|-------------------|
| 200 | 1600 | 1750 | 59 | 53 |
| 300 | 1470 | 1600 | 49 | 49 |
| 400 | 1240 | 1370 | 59 | 44 |
| 500 | 1080 | 1170 | 88 | 38 |
| 600 | 860 | 960 | 147 | 28 |

За призначенням ця марка, згідно з класифікаціями, відноситься до так званих «покращувальних». Це означає, що після гартування і високого відпуску її механічні характеристики зростають в значній мірі. При гартуванні та середньому відпуску біля 400 °С така хромнікельмолібденова сталь може бути віднесена до групи оброблюваності I, в той час як при гартуванні і низькому відпуску, близько 200 °С, вона переходить в VIII групу та може бути віднесена до групи сталей з високою міцністю.

У каталозі компанії Walter Tools сталі із загальним вмістом легуючих елементів нижче ніж 5% вважаються низьколегованими, в той час як вміст легуючих елементів понад 5% перетворює сталь на високолеговану. До груп P7–P10 належать за оброблюваністю низьколеговані сталі, до груп P11–P13 – високолеговані. Уся інформація щодо них подана у таблиці 1.5.

Згідно з інформацією, поданою в таблицях 1.3 та 1.5, сталь класу AISI 4145 відноситься до низьколегованих сталей покращеної якості, разом із цим за оброблюваністю вона належить до груп P8 – P9. Сталь із низьким вмістом легуючих елементів 40XH2MA (вміст легуючих елементів становить менш ніж 5%), згідно з інформацією, поданою в таблиці 1.5, відноситься до груп P9–P10. Сталь з високим вмістом легуючих елементів 38XH3MФА (вміст легуючих елементів становить понад 5%) відноситься до групи P12.

JFE-UHP™-15CR-125, що є нержавіючою сталлю, підпадає під визначення M2–M3 груп згідно з інформацією таблиці 1.5.

Групи сталей P9, P10 дещо поступаються групі P7 у можливій швидкості різання відповідно у 3,75, і 7,5 разів, група P12 у 2 рази, а групи M2, M3 у 5 та 3,75 разів. Тож, доволі важкої обробки вимагають всі групи сталі, що подані у таблиці 1.5, за виключенням P7 і частини P12.

Таким чином, до важкооброблюваних матеріалів належать усі перспективні матеріали, разом зі сталями, з яких зараз виготовляються замки бурильних труб, особливо обважених. Також ці групи можуть належати до важкообробних за інших режимів термообробки. Через переважання саме роторного методу буріння

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

свердловин, а також агресивних умов і екстремальних середовищ експлуатації, в перспективі замки бурильних труб вимагають виготовлення зі сталей, що важко оброблюються.

Таблиця 1.5

Рекомендовані швидкості різання для нарізеточіння за групами сталей згідно з Walter Tools

| Поділ за легованістю | Твердість За Брінелем, HB | Межа міцності $\sigma_{в}$, МПа | Група обробності | Швидкість різання, v мм/хв. | |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | | | | пластинка VHM з покриттям | HSS –E(-PM) без покриття |
| Низьколегована відпалена | 170 | 591 | P7 | | 15 |
| Низьколегована покращена | 300 | 1013 | P8 | 50 | 7,5 |
| | 380 | 1282 | P9 | 35 | 4 |
| | 430 | 1477 | P10 | 20 | 2 |
| Високолегована відпалена | 200 | 675 | P11 | | 15 |
| Високолегована покращена | 300 | 1013 | P12 | 50 | 7,5 |
| | 400 | 1361 | P13 | 30 | 3 |
| Нержавіюча сталь | 200 | 675 | M1 | | 5 |
| | 300 | 1013 | M2 | | 3 |
| | 230 | 778 | M3 | | 4 |

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

MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ

Арк.

22

1.6 Призначення, типорозміри, форми профілю та вимоги до точності і якості поверхні конічних замкових нарізей

Конічні з'єднання замкового типу складаються з двох основних частин, а саме з ніпеля (рисунок 4 а) і муфти (рисунок 4 б). З погляду формоутворення обидва ці елементи виступають тілами, що обертаються. У відповідності до стандартів, на рисунку 4 прописані розміри, тобто ряд діаметральних величин, що стосуються як всіх поверхонь муфти з ніпелем, так і поверхонь самого замкового з'єднання.

Застосування та призначення конічних замкових з'єднань буває різне. Вони поділяються за сферою використання, наприклад, на ті що використовуються при бурінні і розробці нафтових і газових родовищ (свердловин) і для свердловин, що призначені для геологічної розвідки.

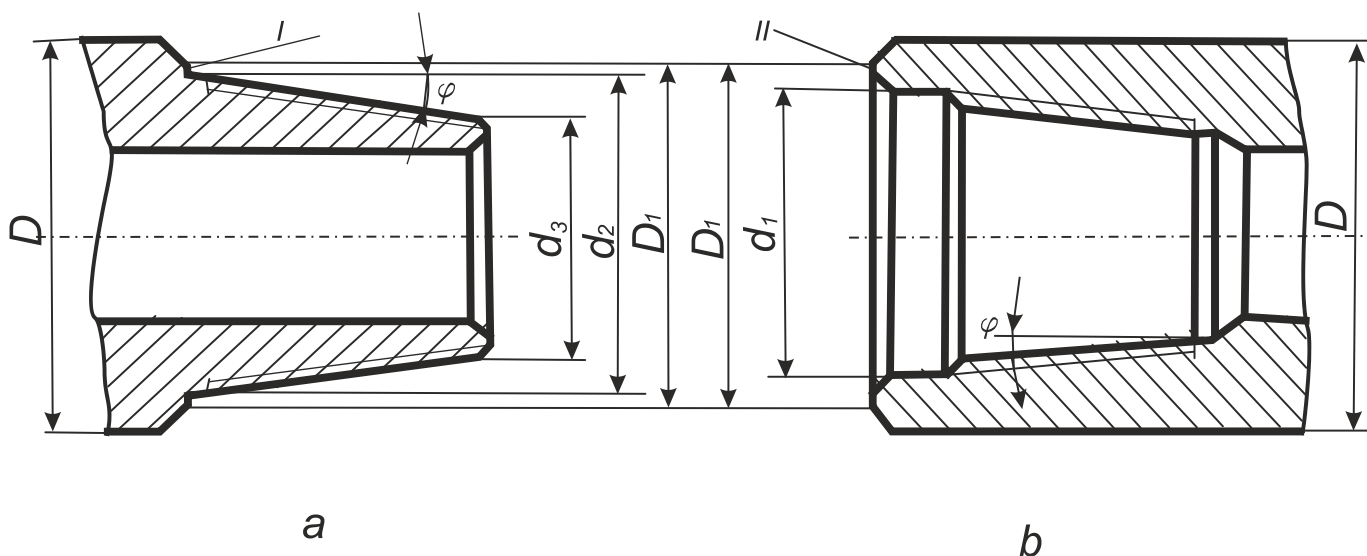


Рисунок 4 – Схема замкових частин ніпеля а і муфти б

Символами позначено:

I – упорний уступ, *II* – упорний торець, φ – кут конусності, *D* – зовнішній діаметр замка, D_1 – діаметр замка на торцевому перерізі, *d* – внутрішній діаметр замка, d_1 – діаметр циліндричної виточки, d_2 – діаметр більшої основи конуса, d_3 – діаметр меншої основи конуса.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

1.7 Типорозміри існуючих замкових нарізей за стандартами ГОСТ 28487-90 та API SPEC 7-2

За типами та розмірами конічні замкові різьби, відповідно до стандартів, поділяють на п'ять форм різьби та 27 типорозмірів. Згідно стандарту API SPEC 7-2 типорозміри застосовуються з відповідно аналогічною профільною формою. Таблиця 1.6 демонструє перелічені типорозміри згідно зі стандартом. В таблиці наведено також один з параметрів, зображених на рисунку 4, а саме – діаметр більшої основи конуса d_2 , адже від відповідає найбільшому максимально допустимому розміру різьби та відноситься до назви типорозміру в стандарті конічних замкових різьб.

Таблиця 1.6

Типорозміри конічних замкових нарізей за ГОСТ 28487-90 [30] та
API SPEC 7-2 [171]

| Позначення замкової нарізі | Зарубіжний аналог | Форма профілю | Форма профілю | Діаметр більшої основи конуса d_2 , мм |
|----------------------------|-------------------|---------------|---------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3-65 | NC23 | IV | V-0,038 R | 65,1 |
| 3-66 | 2 3/8 Reg | I | V-0,040 | 66,68 |
| 3-73 | NC26 | IV | V-0,038 R | 73,05 |
| 3-76 | 2 7/8 Reg | I | V-0,040 | 76,20 |
| 3-86 | NC31 | IV | V-0,038 R | 86,13 |
| 3-88 | 3 1/2 Reg | I | V-0,040 | 88,89 |

| | | | | |
|-------|-----------|-----|-----------|--------|
| 3-94 | NC35 | IV | V-0,038 R | 94,97 |
| 3-101 | 3 1/2 FH | I | V-0,040 | 101,44 |
| 3-102 | NC38 | IV | V-0,038 R | 102,00 |
| 3-108 | NC40 | IV | V-0,038 R | 108,71 |
| 3-117 | 4 1/2 Reg | I | V-0,040 | 117,46 |
| 3-118 | NC44 | IV | V-0,038 R | 117,47 |
| 3-121 | 4 1/2 FH | I | V-0,040 | 121,71 |
| 3-122 | NC46 | IV | V-0,038 R | 122,78 |
| 3-133 | NC50 | IV | V-0,038 R | 133,34 |
| 3-140 | 5 1/2 Reg | II | V-0,050 | 140,20 |
| 3-147 | 5 1/2 FH | III | V-0,050 | 147,95 |
| 3-149 | NC56 | V | V-0,038 R | 149,24 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3-152 | 6 5/8 Reg | III | V-0,050 | 152,19 |
| 3-161 | – | III | V-0,050 | 161,92 |
| 3-163 | NC61 | V | V-0,038 R | 163,52 |
| 3-171 | 6 5/8 FH | III | V-0,050 | 171,54 |
| 3-177 | 7 5/8 Reg | II | V-0,050 | 177,80 |
| 3-185 | NC70 | V | V-0,038 R | 185,74 |
| 3-189 | – | III | V-0,050 | 189,43 |

| | | | | |
|-------|-----------|----|-----------|--------|
| 3-201 | 8 5/8 Reg | II | V-0,050 | 201,98 |
| 3-203 | NC77 | V | V-0,038 R | 203,22 |

Також, відповідно до ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2, існують додатково ще чотири типи замкових різьб конічної форми, форма профілю яких виконується специфічно (форма VI). Ці замкові конічні нарізи є найменшими за розмірами з усіх, всі вони представлені в таблиці 1.7. Враховуючи їх особливості, вони використовуються у геологічному розвідуванні та при бурінні артезіанських свердловин, а також інших видів свердловин не дуже глибоких горизонтів.

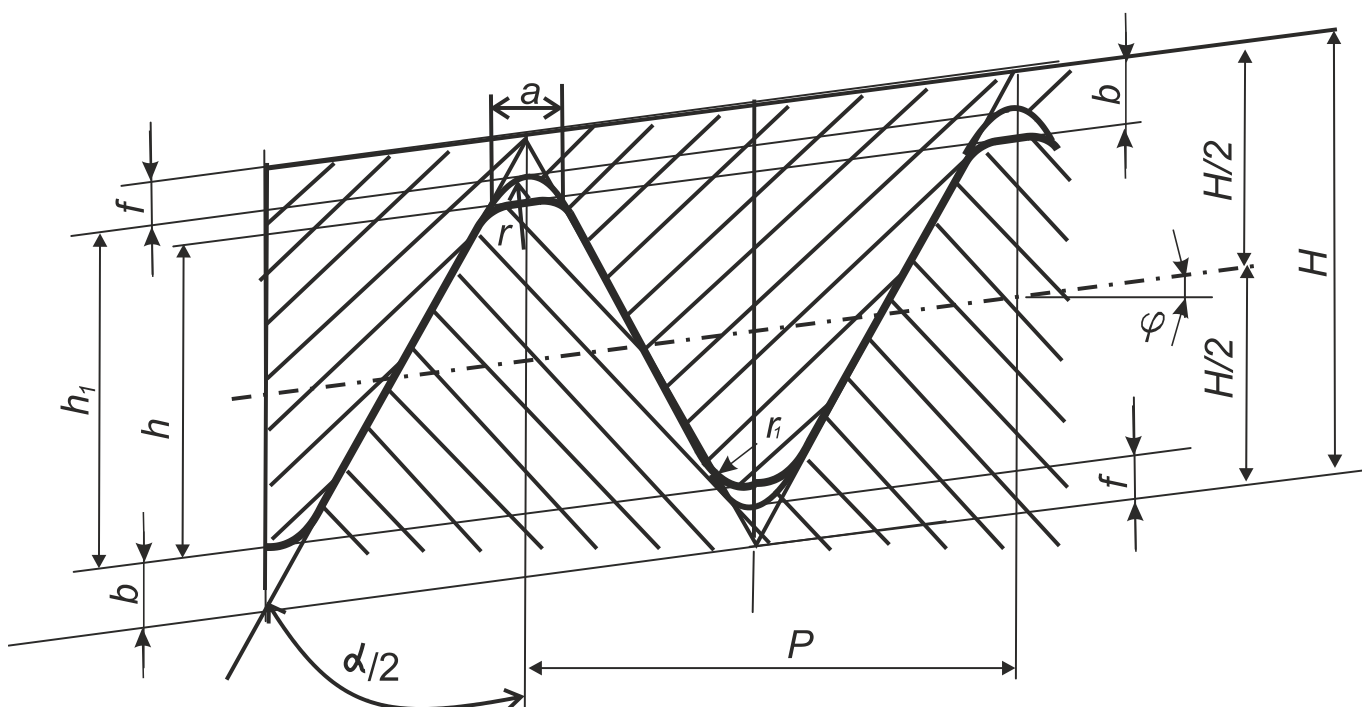
Таблиця 1.7

Типорозміри конічних замкових нарізей ГОСТ Р 50864–96 [34] та API SPEC 7-2 [171] з формою профіля VI.

| Позначення замкової нарізі за [30] | Зарубіжний аналог за [171] | Форма профілю за [30] | Форма профілю за [171] | Діаметр більшої основи конуса d_2 , мм |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|--|
| 3-30 | NC10 | VI | V-0,05 | 30,23 |
| 3-35 | NC12 | VI | V-0,05 | 35,36 |
| 3-38 | NC13 | VI | V-0,05 | 38,56 |
| 3-44 | NC16 | VI | V-0,05 | 44,09 |

1.8 Форми профілю замкових кінчних нарізей за ГОСТ 28487-90, ГОСТ Р 50864-96 та API SPEC 7-2

Профілі зовнішніх та внутрішніх нарізей, тобто ніпелю та муфти, згідно зі стандартами повинні відповідати кресленню на рисунку 5. На кресленні зображені наступні параметри: P – крок нарізі, φ – кут нахилу нарізі, H – висота вихідного трикутника нарізі, h – робоча висота профіля, h_1 – висота профіля, b – зріз вершини, f – зріз впадини, r – радіус заокруглення впадини, r_1 – радіус заокруглення вершин, a – ширина площадки.



**Рисунок 5 – Профіль кінчної замкової різьби за ГОСТ 28487-90
та API SPEC 7-2**

Усі розмірні величини рисунка 5 мають відповідати даним у таблиці 1.8, відповідно до наявних стандартів. В таблиці 1.8 також проілюстрована залежність величин параметрів та значень від форми профілю різьби. Градація відбувається від I до V класу форми.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. 27 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 1.8

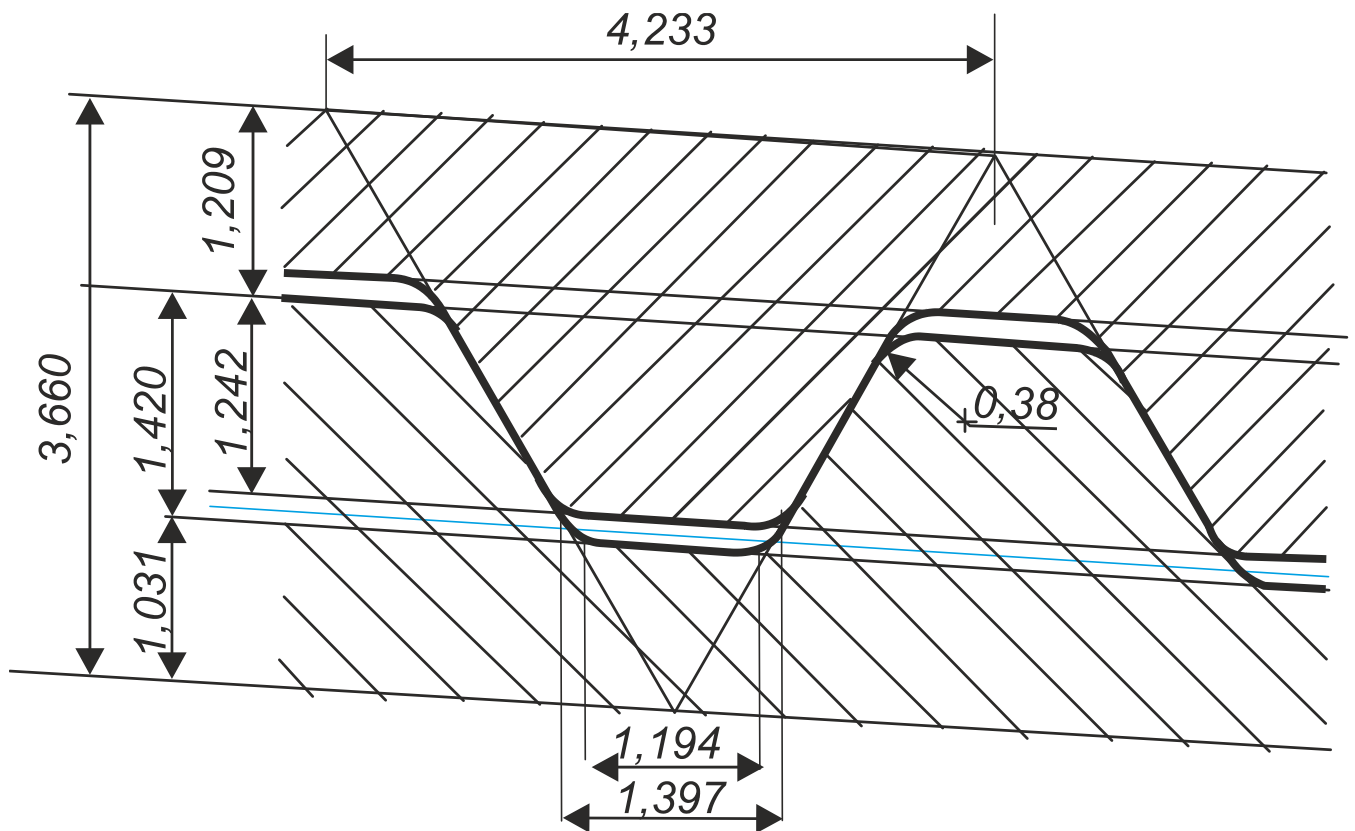
Параметри конічних замкових нарізей ГОСТ 28487-90, ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2 з формою профіля: від I до V.

| Параметри нарізі | Форма профілю | | | | |
|-------------------------------|---------------|-------|------------|-------|-----------|
| | I | II | III | IV | V |
| Кількість кроків на дюйм | 5 | 4 | | | |
| $K(\operatorname{tg}\varphi)$ | 1:4 | | 1:6 | | 1:4 |
| φ | 7° 7' 30" | | 4° 45' 48' | | 7° 7' 30" |
| $H, \text{мм}$ | 4,376 | 5,471 | 5,487 | | 5,471 |
| $h_1, \text{мм}$ | 2,993 | 3,742 | 3,755 | 3,095 | 3,083 |
| $h, \text{мм}$ | 2,626 | 3,283 | 3,293 | 2,633 | 2,625 |
| $b, \text{мм}$ | 0,875 | 1,094 | 1,097 | 1,427 | 1,423 |
| $f, \text{мм}$ | 0,508 | 0,635 | | 0,965 | |
| $a, \text{мм}^*$ | 1,016 | 1,270 | | 1,651 | |
| $r, \text{мм}$ | 0,508 | 0,635 | | 0,965 | |
| $r_1, \text{мм}$ | 0,38 | | | | |

* - довідковий розмір

Профілі конічної нарізі з замком зображено на рисунку 6. Форма VI відповідає вимогам ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |



*Рисунок 6 – Профіль конічної замкової різьби VI форми згідно
ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2*

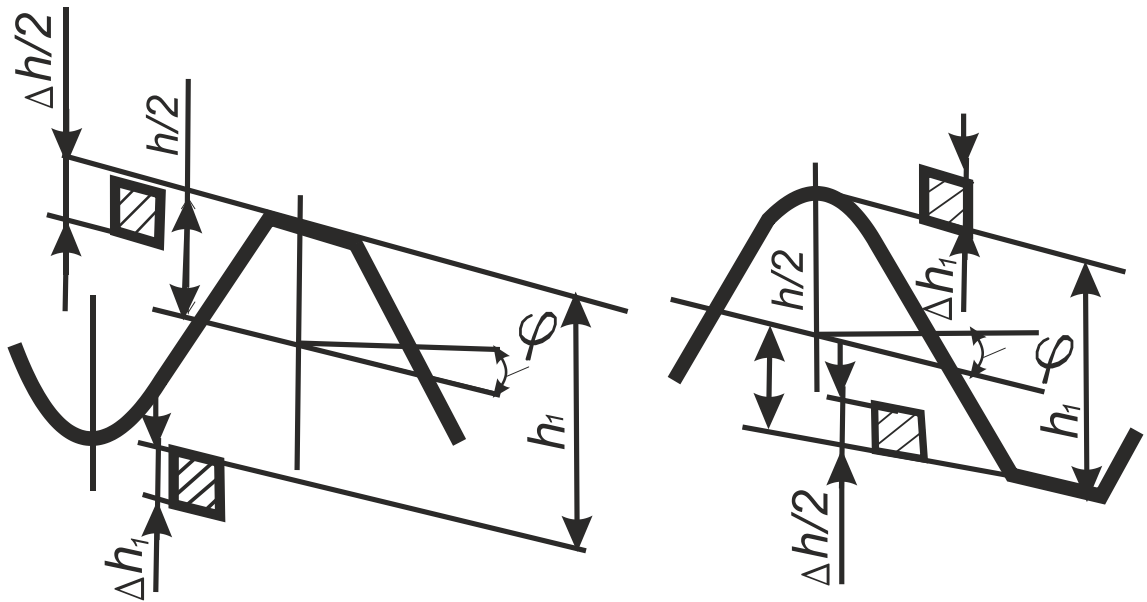
У стандартах передбачається, що величини розмірів h , h_1 , b та f подано через необхідність проектування ріжучого інструменту. Так само це передбачено стандартом відносно до розміру r .

1.9 Вимоги стандартів, щодо точності виконання нарізі

Що стосується форм I та V, граничні відхилення висоти профілю різьби h_1 та робочої висоти h згідно стандартів повинні відповідати тим, що зображені на рисунку 7 та в таблиці 1.9.

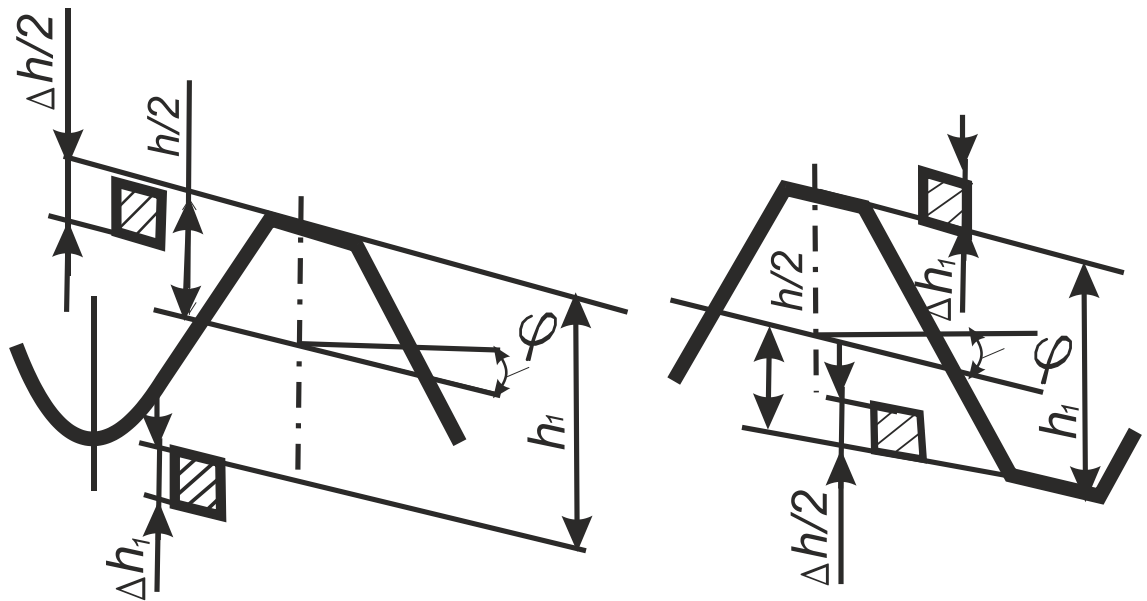
Граничні відхилення профілю різьби h_1 та робочої висоти h це вихідними відхиленнями при проектуванні інструменту для нарізеутворення і для виробів є факультативними.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 29 |



вісь різьбового з'єднання

Рисунок 7 – Граничні відхилення висоти профіля нарізі h_1 і робочої висоти h за стандартами ГОСТ 28487-90, ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2 для форм профілю I, II, III, IV та V



вісь різьбового з'єднання

Рисунок 8 – Граничні відхилення висоти профіля нарізі h_1 і робочої висоти h за стандартами ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2 для форми профілю VI

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

МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ

Арк.

30

Таблиця 1.9

Граничні відхили висоти профіля нарізі h_l і робочої висоти h за стандартами
ГОСТ 28487-90, ГОСТ Р 50864–96 та API SPEC 7-2

| Крок нарізі P | Граничні відхили висоти профілю зовнішньої і внутрішньої різьби, мм. | |
|--------------------|---|--------------|
| | $\Delta h/2$ | Δh_l |
| 4,233 | - 0,060 | + 0,040 |
| 5,08 | - 0,120 | + 0,080 |
| 6,35 | - 0,180 | + 0,120 |

Граничні відхилення від звичайних нормальних значень і параметрів різьб не повинні перевищувати:

– кроку нарізі P з повним профілем :

на довжині 25,4 мм між будь-якими двома витками $\pm 0,04$ мм

на всій довжині $\pm 0,11$ мм

– кута нахилу бічної сторони профілю 30° $\pm 30'$

– радіуса спряження вершин профіля r_l $+0,20$ мм

– конусності на довжині конуса з повним профілем нарізі до 100 мм:

зовнішнього і середнього діаметра ніпеля $+0,25$ мм

внутрішнього і середнього діаметра муфти $- 0,25$ мм

1.10 Аналіз формування замкової нарізі за допомогою різців

Точіння нарізі можливе із застосуванням як різців з повним профілем (повнопрофільні), так і з неповним профілем (неповнопрофільні).

Однопрофільні різці з поворотними пластинами та трьома робочими поверхнями користуються найбільшою популярністю серед більшості сучасних виробників. Такі фірми як ZCC-CT, SANDVIC Coromant, SECO, Kennametal,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Mitsubishi, Iscar та Walter у своїх каталогах вказують профільний кут ріжучої частини значенням у 60° разом із загальними розмірами пластини. Значення величини передньої різальної частини γ у найвищій точці не регламентується.

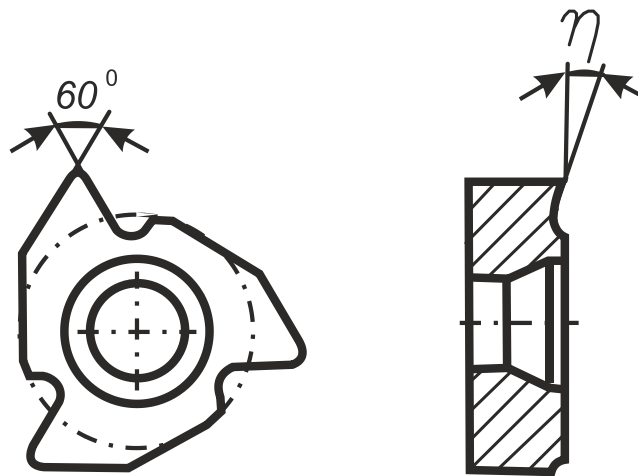


Рисунок 9 – Загальні розміри нарізевої правої пластини фірми ZCC-CT для виготовлення нарізі за стандартом API 7

Через встановлення пластини в робочій частині різця з кутом η , передній кут у найвищій точці А дорівнює нулю, як показано на рисунку 10.

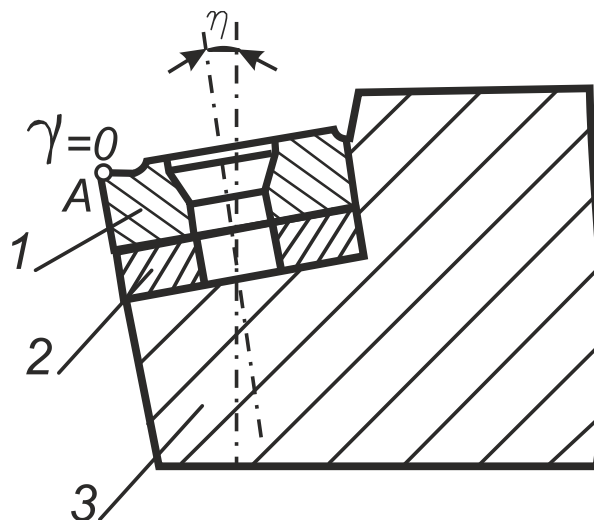


Рисунок 10 – Схема установки пластини на робочій частині різця при якій передній кут у вершинній точці А стає рівний нулю. Цифрами позначено: 1 – різальна пластина, 2 – підкладна пластина, 3 – тіло різця.

З огляду на аргументацію щодо вибору повнопрофільного різця, сенс його використання полягає у тому, що ріжучі пластини одночасно формують як впадину, так і гребінь, як зображено на рисунку 11. При цьому, згідно стандартів, забезпечується виконання усіх радіусних поверхонь, що задані r_1 , як показано на рисунку 11.

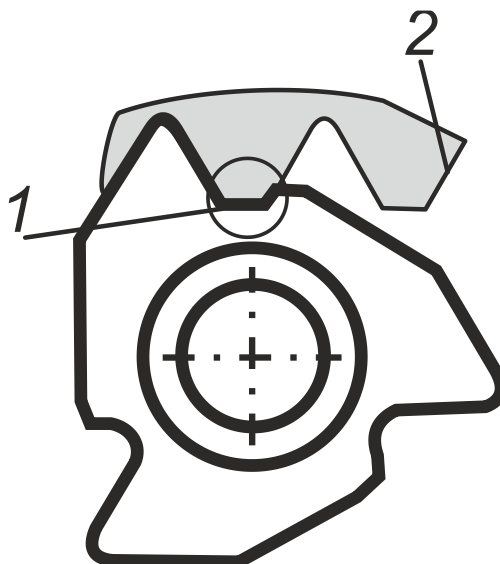


Рисунок 11 – Схема формування різьби повнопрофільним різцем. Цифрами позначено: 1 – частина леза, яка формує гребінь різьби, 2 – різьба.

1.11 Огляд та аналіз схем різання при формуванні нарізей різцями за способами подачі

Існує деяка кількість схем для зрізання припуску, всі вони знаходять своє застосування під час обробки нарізі різцями. Ці схеми продемонстровані на рисунку 12. Вони стосуються обробки різьб, які мають симетричний профіль, в нашому випадку – трикутній. Дані нарізі також відповідають стандартам замкових різьб.

При різанні з багатьма проходами спосіб врізання значною мірою безпосередньо впливає на якість утвореної поверхні різьби, також це впливає на стійкість робочої частини різця під час виконання операції різання і навіть на форму стружки, що отримується в процесі.

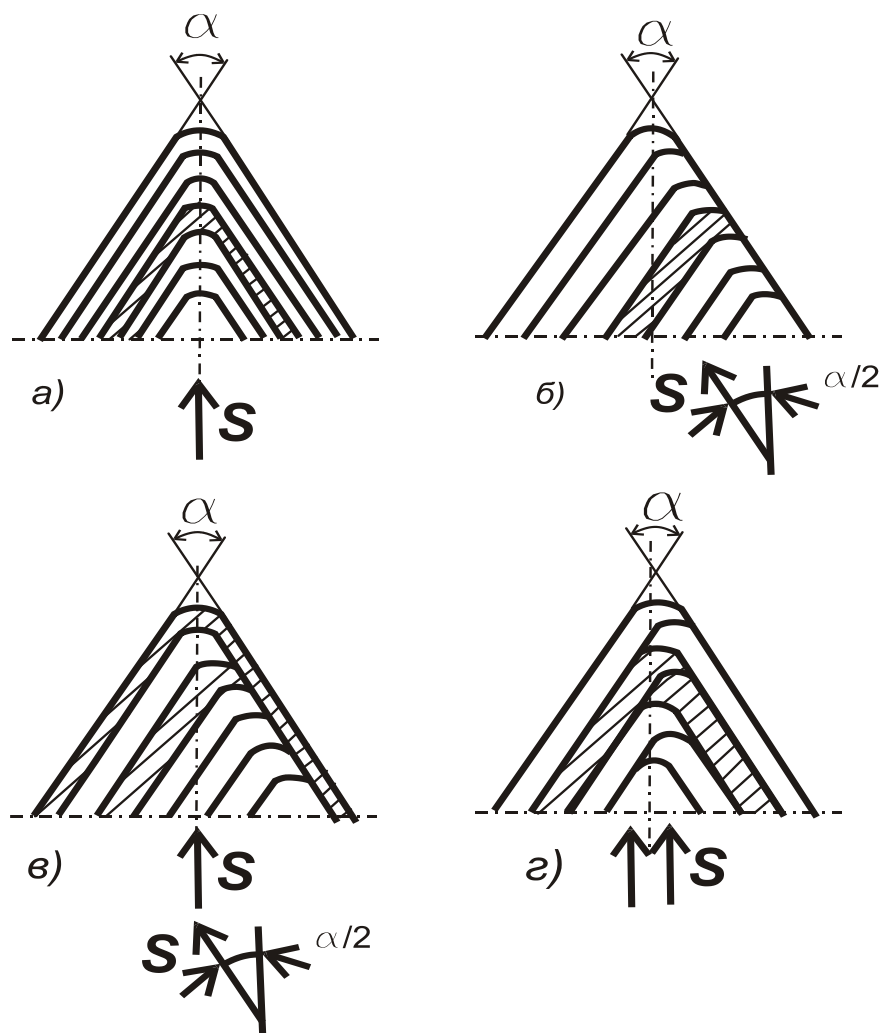


Рисунок 12 – Схеми зрізання припуску різьбоутворення трикутної різьби при обробці різьби різцями (S — напрям подачі врізання).

При нарізанні різьб із симетричними профілями залежно від напрямку додаткової поперечної подачі схеми процесу різання можуть зводитися до декількох основних типосхем, таких як наприклад: схема радіального врізання (рисунок 12 а), схема врізання вздовж бокової сторони профілю нарізи (рисунок 12 б), схема врізання вздовж бокових сторін профілю нарізи з подальшим змінням напрямку різання на радіальний (рисунок 12 в) а також схема врізання з послідовним чергуванням бічних сторін профілю нарізи (рисунок 12 г). Найбільш поширеною серед цих схем є саме радіальна. Для її втілення обидві різальні кромки різця, тобто ліва і права виступають головними, кожна з них послідовно зрізає матеріал

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

заготовки, а кінцевий контур різьби утворюється лише при останньому проході. Форма стружки є коробчастою, тому для її зрізання необхідні значні зусилля в процесі різання. Схема різання з повздовжнім врізанням по боковій стороні профілю різьби за своєю сутністю передбачає всього одну різальну крайку та окіл вершини різця, тому що друга різальна крайка зрізає вкрай незначний припуск на поверхні заготовки. Як наслідок вільнішого різання з почерговою зміною бокових сторін профілю різьби найвища крайка постійно стає головною, а кожна з бічних кромек стає головною почергово. На відміну від попередньої схеми різання, ця схема забезпечує рівномірний розподіл спрацювання різальних крайок внаслідок почергового навантаження на них. Та все ж, ця схема вимагає відповідних налаштувань керуючої програми на станку з ЧПК. По своїй суті схема різання з врізанням вздовж бокової сторони профіля крайки зі змінним напрямом врізання при останньому проході є в дечому комбінуванням попередніх схем, тож вона, звісно, має як свої переваги, так і недоліки.

1.12 Рекомендації та пропозиції щодо вибору кута нахилу різальної крайки нарізевих різців

Виставлення осі нарізевого різця відносно осі поверхні, що нарізається, може бути перпендикулярним (Рисунок 13 а), або виконаним під кутом λ , що дорівнює куту підйому різьби ψ , як зображено на рисунку 13 б.

Кут підйому нарізі є величиною непостійною, тому що він змінюється від найвищого значення $\psi_{\text{вн}}$ у впадині поверхні різьби до найменшого свого значення $\psi_{\text{з}}$ на виступі різьби, як зображено на рисунку 13 б. В тих точках, що розміщені на середньому діаметрі різьби кут підйому буде мати своє власне значення $\psi_{\text{середн}}$ і через це значення кута λ повинне відповідати значенню величини кута $\psi_{\text{середн}}$, як показано на рисунку 13 б. У випадку, якщо значення величини кута λ дорівнює нулю, то справжні значення інших геометричних параметрів величин нарізевого різця набувають залежності від значень інших геометричних кутів його підйому.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 35 |

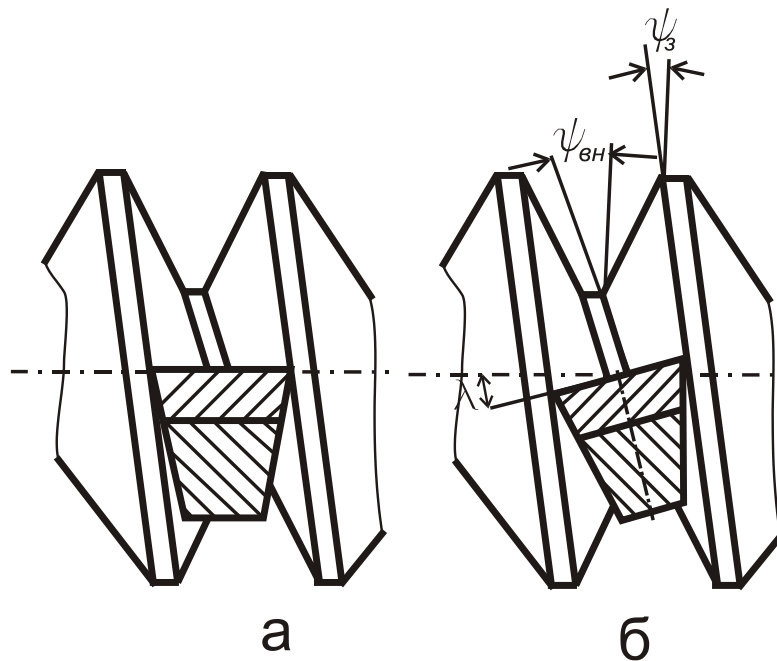


Рисунок 13 – Встановлення осі нарізевого різця відносно осі нарізевої поверхні

В точках a і b , котрі є внутрішніми, та які залежать від значень інших геометричних параметрів різця, що утворює нарізь, передні кути γ_a і γ_b рівні значенню величини $\psi_{вн}$, котра подається в модулі, це зображено на рисунку 14 а. Разом з цим точки c і d , які належать зовнішній поверхні нарізі, величина передніх кутів по абсолютній величині має відповідати значенню $\psi_з$, це в свою чергу також зображено на рисунку 14 а. Точка c на лівій ріжучій кромці за своїм абсолютним значенням має позитивну величину переднього кута, а на правій точці d навпаки має негативне значення величини. При зменшенні кута γ призводить до збільшення зусилля різання і помітного погіршення процесу утворення стружки. В той же час зі збільшенням цього параметру сила різання навпаки зменшується, проте слід також зауважити, що не треба нехтувати зменшенням тіла різального клину в околі кромки, що проводить різання, бо наслідком цього може бути істотне зменшення інтенсивності охолодження і відведення температури безпосередньо в зоні різання.

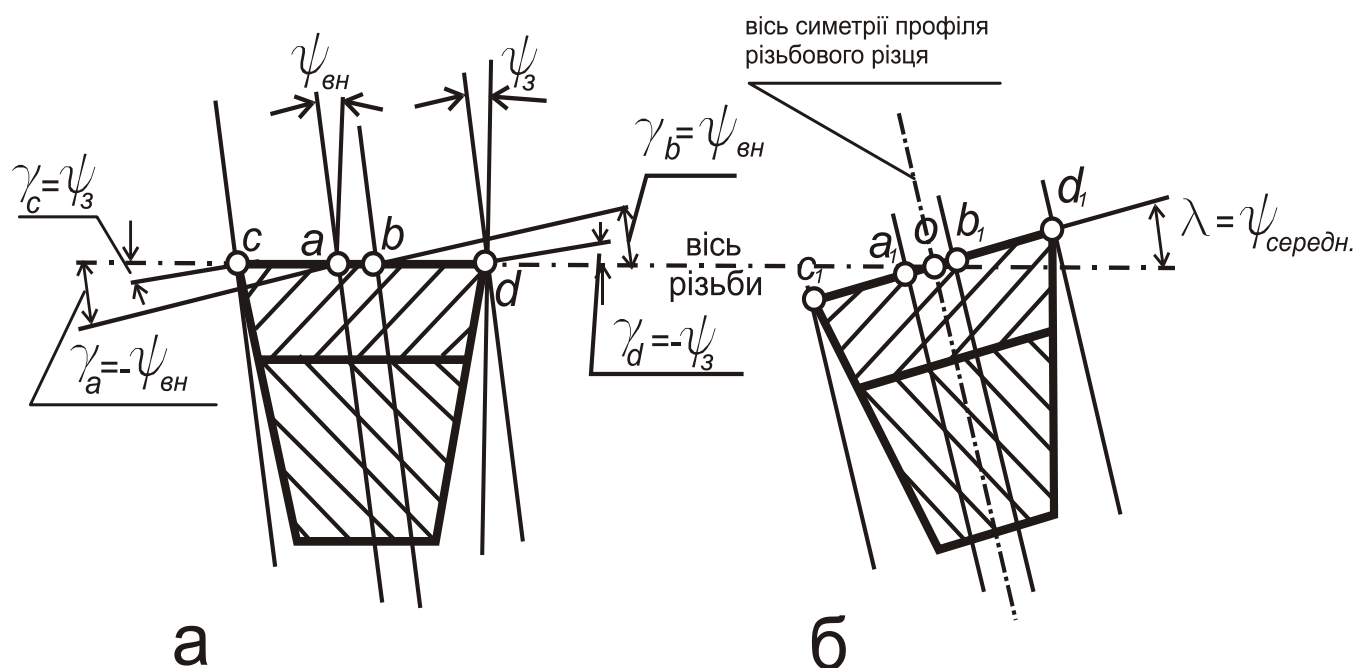


Рисунок 14 – Кути γ і λ різця в процесі нарізання різьби у залежності від його встановлення: а — вісь симетрії профілю різьбового різця перпендикулярна до осі різьбової поверхні, б — вісь симетрії профілю різьбового різця нахилена до осі різьбової поверхні під кутом λ , що дорівнює куту підйому різьби по середньому діаметрі $\psi_{серед}$

Усі сучасні технології точіння нарізей, здебільшого, мають в складі інструменти, робоча частина яких є різальною пластиною з твердих сплавів. Ця пластина кріпиться механічно до тіла інструменту. Більшість виробників, що займаються виготовленням різців для нарізи, застосовують при кріпленні твердосплавної частини так звану підкладну пластину, що передбачає особливості у її зборі. Цей процес зображено на рисунку 14.

На підкладну частину відведено ряд завдань, які вона виконує в ролі складового елемента різця. В першу чергу саме вона забезпечує необхідний кут нахилу різальної пластини λ . Саме правильний підбір підкладної пластини дозволяє без зайвих втручань виставити необхідний кут різальній пластині. В комплекті до різців Sandvik Coromant постачаються і підкладні пластини. Як зображено на

рисунку 15, нахил різальної кромки при їх використанні забезпечується в діапазоні між -2° і до 4° .



Рисунок 15 – Встановлення робочої різальної пластини на підкладну пластину

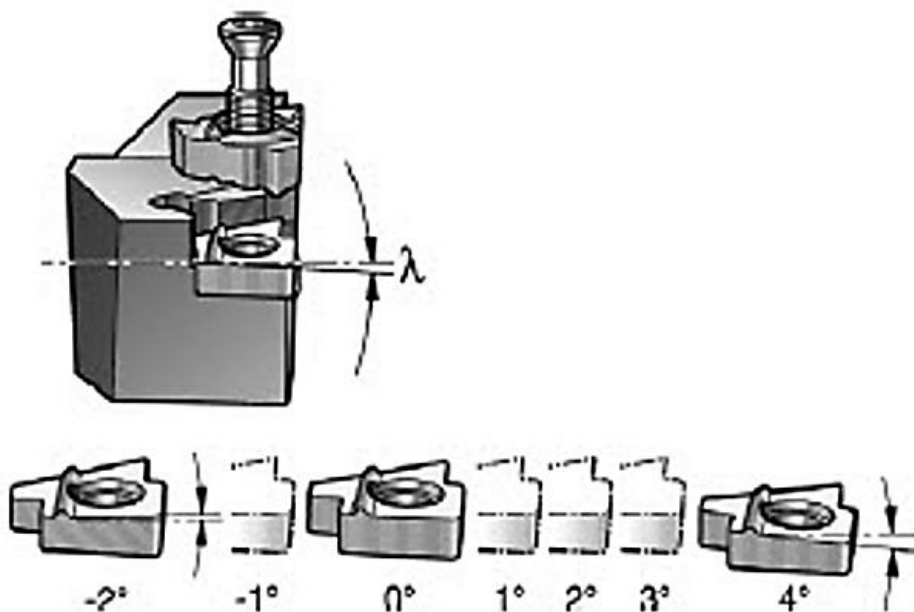


Рисунок 16 – Підбір підкладної пластини з потрібним значенням кута λ

Для порівняння, у компанії ZCC-СТ виготовляються підкладні пластини, що забезпечують величину кута λ з діапазоном від -1° до 3° . Вибір пластин проводиться з урахуванням таких елементів, як діаметр різьби, її крок. У подальшому всі

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

величини узгоджуються дискретно з найближчими значеннями чисел ряду, що представлений у вигляді таблиць, або ж діаграм. Подібні методики так само пропонують компанії «Різьбові технології», SECO, а також інші провідні компанії що займаються виготовленням нарізевих різців та підкладних пластин, що йдуть разом з ними.

Тож для того щоб виготовити конічну замкову різьбу на бурильному замку та для того щоб вони забезпечували достатній опір при розтягуючих навантаженнях, що прямопропорційно залежить від ваги самої колони для буріння, необхідно застосовувати токарні нарізеві різці із значенням кута нахилу різальної крайки, який не дорівнює нулю. Також це дозволить забезпечити високий опір на згин (під час буріння під кутом, похилому або горизонтальному) та опір на кручення (через постійну присутність під час буріння обертового моменту). Все це можуть запропонувати сучасні виробники інструментів разом з інструментами з ненульовим значенням статичних передніх кутів у верхній точці різця, що так само має неабияке значення.

1.13 Проблеми із забезпеченням точності виготовлення нарізі через ймовірні похибки установки нарізевого різця

Необхідно розглянути який вплив має зміщення вершини нарізевого різця вздовж осей X , Y , Z на елементи різьби, наприклад на профіль. На схематичному рисунку 17 показано осі X , Y , Z . Коли вершина різця зміщується вздовж осі X , то це впливає на зменшення середнього діаметру різьби d_{cp} , тому що через збільшення ширини канавки і зменшення ширини гребеня зовнішньої різьби зменшує ширину внутрішньої. Всі інші елементи різьби, такі як крок P , висота вихідного трикутника різьби H , а також половинний кут профілю, що зображений на рисунку 17 і позначається к $\alpha/2$, залишаються без яких-небудь змін. Похибка середнього діаметру, або функція від половини профільного кута різьби $\alpha/2$, величина зміщення

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

по осі $X - \Delta x$, а також величина припуску a за формулою може бути визначена наступним чином:

$$\Delta d_{cp} = -\left(\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)\Delta x - a\right), \text{ мм}$$

Виходячи з рівняння, похибка середнього діаметру Δd_{cp} буде мінімізована у тому випадку, якщо значення Δx наблизатиметься до:

$$\Delta x \rightarrow \frac{a}{\operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Функційна залежність точності елементів різьби від вершини різця вздовж осі Z також розглядається вченими та дослідниками. На рисунку 17 продемонстрована схема для теоретичного обрахування величини зміни куту профілю гвинтової різьби $\alpha/2$ в процесі операції точіння нарізі. Точка A , що виконується перед точкою M , адже як видно під час процесу різання $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$, зміщена відносно іншої точки. З цього впливає і зміщення точок профілю, а це в свою чергу провокує викривлення та зміну значень кутів. Зміщення точок котрі знаходяться на внутрішньому діаметрі d_1 , обраховується за наступною формулою:

$$a = (P/2\pi) \cdot \varepsilon_2,$$

$$\text{де } \sin \varepsilon_2 = \frac{2h}{d_1};$$

Зміщення точок, які знаходяться на зовнішньому діаметрі d обраховується за такою формулою:

$$b = (P/2\pi) \cdot \varepsilon_1,$$

$$\text{де } \sin \varepsilon_1 = \frac{2h}{d}.$$

Зміщення вершинної точки різця Δy по осі Y безпосередньо має вплив на зміну величини середнього діаметру:

$$\Delta d = 2\Delta y;$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

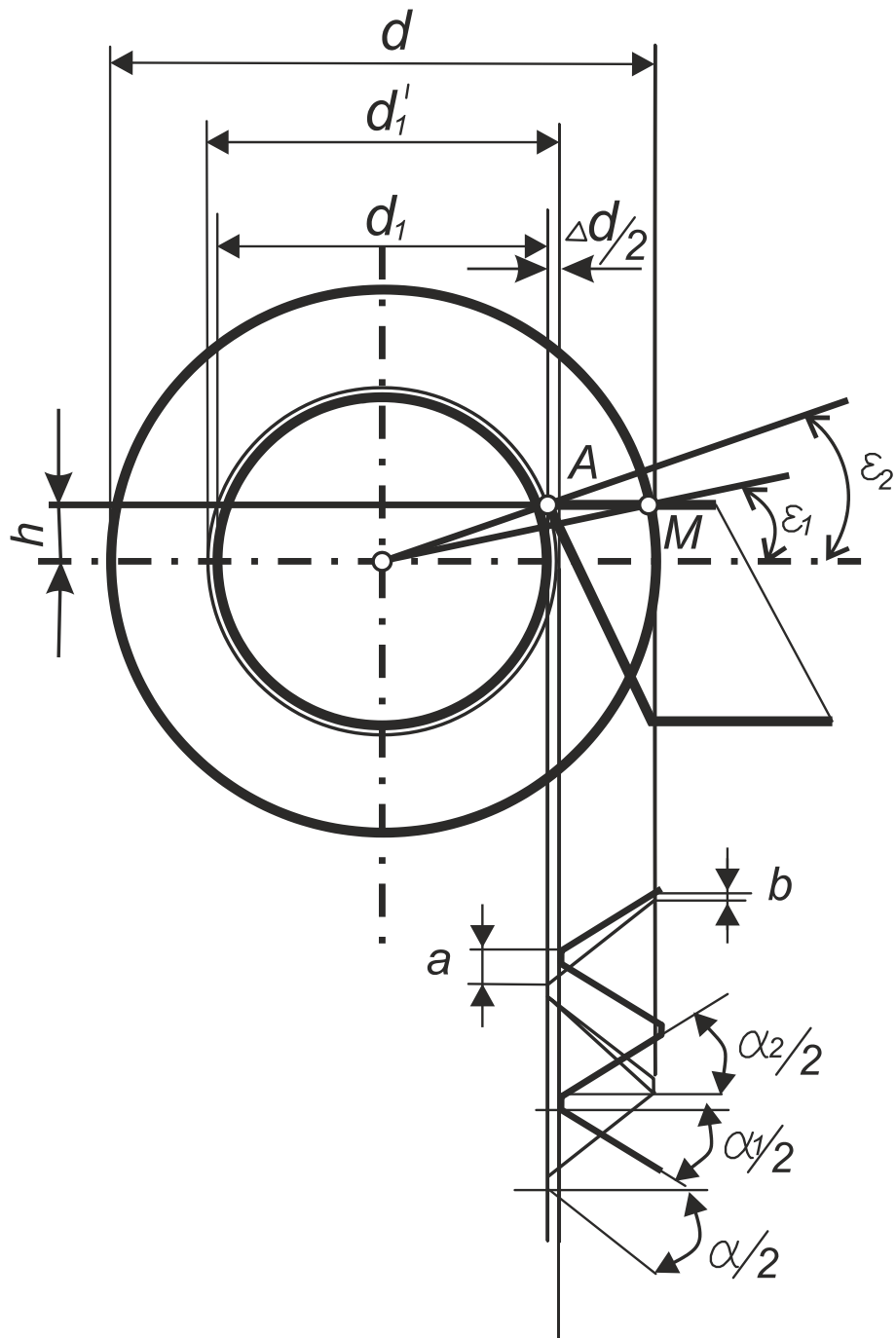


Рисунок 17 – Зміна профілю нарізі у залежності від величини вертикального зміщення вершини різця h

Виходячи з того, що $a > b$ приріст правої частини кута профілю різьби $\Delta_n \frac{\alpha}{2}$ набуває позитивного значення, а приріст лівої $\Delta_n \frac{\alpha}{2}$ — таке ж за величиною, але зі знаком мінус. Значення похибки визначається на наступною формулою:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

$$\Delta_n \alpha/2 = -\Delta_n \alpha/2 = \frac{2P}{\pi} h \frac{\cos^2(\alpha/2)}{d_1 \cdot d},$$

де параметри гвинтової нарізи: P – крок, d – зовнішній діаметр, d_1 – внутрішній діаметр;

h – висота тангенціального зміщення, тобто зміщення вздовж осі Z .

Як результат, половинні значення кутів профілю гвинтової нарізи, яку ми отримуємо, розраховуються за такими формулами:

$$\alpha_1/2 = \alpha/2 - \Delta_n \alpha/2;$$

$$\alpha_2/2 = \alpha/2 + \Delta_n \alpha/2.$$

Існує також безліч прикладів розрахунків, у котрих величина похибки половини кута метричної різьби гвинтової форми $M10 \times 3$ при тангенціальному зсуві $h=0,200$ мм набуває значення у $19'$. В свою чергу значення величини діаметрального зміщення $\Delta d/2$, на мою думку є незрівнянно малою, незначною, тож при розрахунках ним можна знехтувати.

1.14 Забезпечення герметичності у бурильних замкових нарізях

Профілі замкових різьб на муфтах і ніпелях мають свої унікальні особливості. Між виступами і впадинами так званої нарізевої пари знаходиться спіральний канал із порівняно невеликою величиною перерізу, а саме біля – 0,5 і до 1,5 мм².

При дуже щільному контакті торців ніпеля з муфтою для нового з'єднання цей канал є перекритим, проте як наслідок експлуатаційного використання торці вже не прилягають одне до одного так само щільно як на початку. В результаті, це призводить до порушення герметичності кінцевого з'єднання. Через цей зазор, який утворюється внаслідок постійного активного використання різьб в екстремальних умовах та під великими навантаженнями, рідина всередині труби може

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

сполучуватися із простором поза трубою і як наслідок розчин для промивання витікає назовні. Витікання бурового розчину спричинене тим, що зазор, який формується через знос з'єднання, пов'язує внутрішній простір бурової колони із зовнішнім.

Як показують різноманітні дослідження бурильних колон, доволі відчутна частина (а це до 33%) промивної рідини може губитися внаслідок витоку через різьбові з'єднання з труби на своєму шляху до місця буріння, так і не доходячи до інструменту, що руйнує породу. Нещільності в з'єднаннях призводять до того, що через інтенсивне використання з'єднань ці зазори можуть збільшуватися, адже через них постійно проходить абразивна рідина, котра сама по собі зношує поверхні та заважає трубним з'єднанням залишатися цілими і достатньо герметичними. До того ж, слід також враховувати той чинник, що зношування різьб відбувається також внаслідок згвинчування та розгвинчування замків в процесі їх підйому та спуску в бурильну шахту, що так само має помітний деструктивний вплив на поверхність та щільність нарізей.

Спеціально виконані дослідження деяких зразків замкових з'єднань дали змогу визначити, що нарізь 3-147 при застосуванні мастила з графітом УСсА може витримати тиск до 4 або 6 МПа під час опресування з використанням води на час до 5 хв, після чого з'єднання розгерметизовується.

У тих самих умовах згвинчене з'єднання при використанні мастила Р-416 з використанням металічного наповнювача витримує тиск до 18, або навіть 36 МПа на час до 10-30 хвилин, після чого з'єднання розгерметизовується.

За результатами експерименту видно, що найголовнішу роль у забезпеченні герметичності конічних різьбових з'єднань відіграють саме упорні торці замкових деталей.

Попри це, герметичність нарізевих замкових з'єднань також залежить від багатьох чинників. Основним поміж усіх цих чинників є степінь попередньої напруженості торців у згвинчуваному з'єднанні, а також наявність та, що найголовніше, якість мастила. Стан упорних поверхонь замка, величина

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

спрацювання нарізей, перепади тиску і температур, степінь діючих розтягуючих зусиль, та зусиль на згин – все це також відіграє свою значну роль.

Я вважаю, що головною умовою забезпечення герметичності у з'єднаннях є підвищення контактного напруження на упорних торцях замкового з'єднання над тиском при прокачці бурового розчину на 4-4,5 МПа.

Втім, поза увагою все ще залишається багато питань, зокрема досі не досліджений в достатній мірі процес проникнення бурильного розчину через технологічний зазор, який спеціально для цього передбачений в конструкції різьби. З цього приводу існують деякі теоретичні праці, але бракує даних стосовно будь-яких експериментальних досліджень.

1.15 Призначення технологічного зазору

Вплив технологічного зазору на довговічність конічних нарізевих замкових з'єднань є доволі значним, адже знос нарізі значно підвищує ризик аварій та поломок бурильних колон. Фактично, всі ці чинники є основною причиною, через яку в процесі промивання свердловини втрачається гідравлічна енергія бурового розчину, а також його робочий тиск при помпуванні та густина розчину для буріння. Також це впливає на вибір розмірів труб та на знос самої нарізі.

У даних державного стандарту ГОСТ 28487–90 вказано, що розмір r , що вказаний на рисунку 18, призначений для проєктування ріжучого інструменту. Усі відхилення розмірів $h/2$, $h_1/2$, також є вихідними при проєктуванні інструменту. Для самого виробу ці дані є факультативними.

Це дозволяє вважати, що гвинтові зазори між двома нарізями (ніпель та муфта), не мають жодного конструктивного призначення. Тим не менш, саме через них існує проблема забезпечення необхідної герметичності у конічних замкових з'єднаннях. Виходячи з цього, для усінення цього зазору не існує жодних перешкод, зокрема конструктивних. Єдина проблема, яка лишається актуальною, пов'язана

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

саме з технологією, за якою ця нарізь створюється, а також у виборі металоріжучого інструменту, яким оброблюються поверхні майбутніх конічних замкових нарізей.

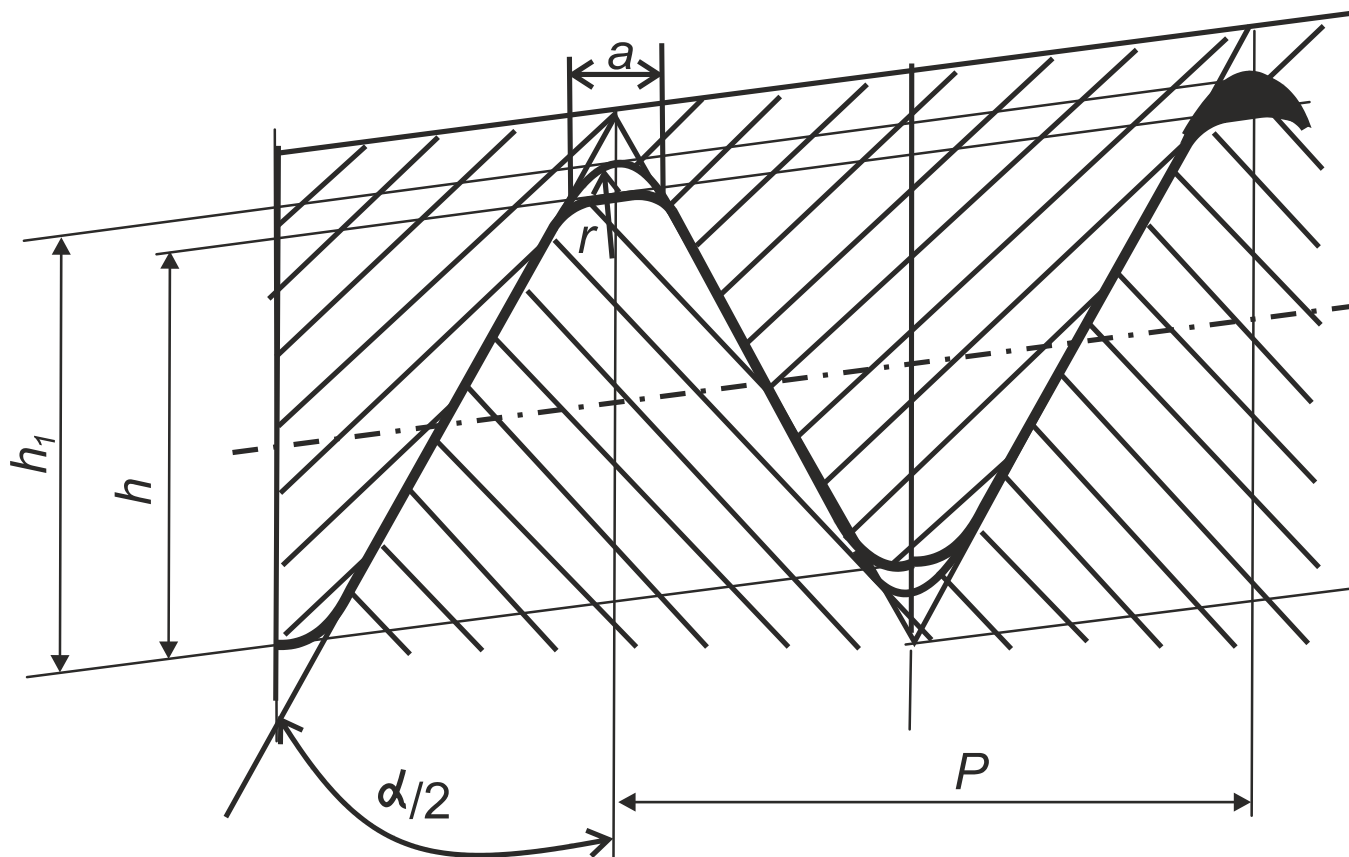


Рисунок 18 – Схема замкового конічного з'єднання за стандартом ГОСТ 28487–90. «Різьба конічна замкова для елементів бурильних колон». На схемі: P – крок нарізі, h – робоча висота профілю нарізі, h_1 – висота профілю нарізі, $\alpha/2$ – половинний кут профілю нарізі, a – ширина площадки гребеня нарізі. Один із зазорів зачорнено.

1.16 Теоретичні дослідження контактних тисків у різбових з'єднаннях

На теоретичному рівні контактні тиски між поверхнями нарізі муфти і ніпеля у бурильних колонах під час їх роботи є достатньо глибоко дослідженим питанням.

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

МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ

Арк.

45

Величина тиску в контактах визначається для обох зовсім різних періодів у процесі їх з'єднання і фіксації. Спочатку необхідно дослідити процес коли ніпель встановлюється в муфту (період перший), а потім досліджується вже безпосередньо процес згвинчування ніпеля з муфтою і його фіксація в остаточному положенні (період другий). На рисунку 19 зображено схему як розміщуються деталі відносно одна одної під час встановлення. Далі ніпель загвинчується у муфту заходячи до упора і це проілюстровано на рисунку 20. Обидва рисунка послуговуються умовними позначеннями, що цілком відповідаються державному стандарту ГОСТ 28487–90.

На схемі присутні наступні умовні позначення:

d_1 – найбільший зовнішній діаметр нарізі ніпеля на великій основі конуса;

d_3 – найбільший зовнішній діаметр нарізі ніпеля на малій основі конуса.

Окрім того на рисунках 19, 20 застосовано такі позначення:

d_0 – найбільший зовнішній діаметр ніпеля у місці їх контакту з муфтою у момент перед загвинчуванням;

d – найбільший зовнішній діаметр нарізі ніпеля, що вступила у контакт із різьбою муфти у процесі згвинчування;

L – довжина конічної різьби ніпеля.

Далі, у формулі, згідно із наявними даними, функціонально показано залежність площі взаємного контакту поверхонь ніпеля та муфти під час їх безпосереднього згвинчування з певною кількістю обертів m , що збігається з переміщенням у точці F , як показано на рисунку 19, по найбільшій бічній стороні ніпеля за напрямком починаючи від точки H , іншими словами – на певний крок x від місця де починається муфта, а точніше її гребень.

$$F_k = \frac{\pi m}{4 \cos \alpha} \left[(d_1 - 2h + KP_1 \cdot m)^2 - (d_1 - KL)^2 \right] (\text{mm}^2),$$

де:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

Fk – площа взаємного контакту нарізей ніпеля і муфти у процесі їх згвинчування на величину x , що відповідає певній кількості обертів ніпеля m ;
 h – робоча висота профілю нарізі;
 L – довжина конічної нарізі;
 d_1 – найбільший зовнішній діаметр нарізі ніпеля на великій основі конуса;
 P_1 – крок між більшими боками нарізі;
 $K = 2tg\varphi$ – конічність нарізі.

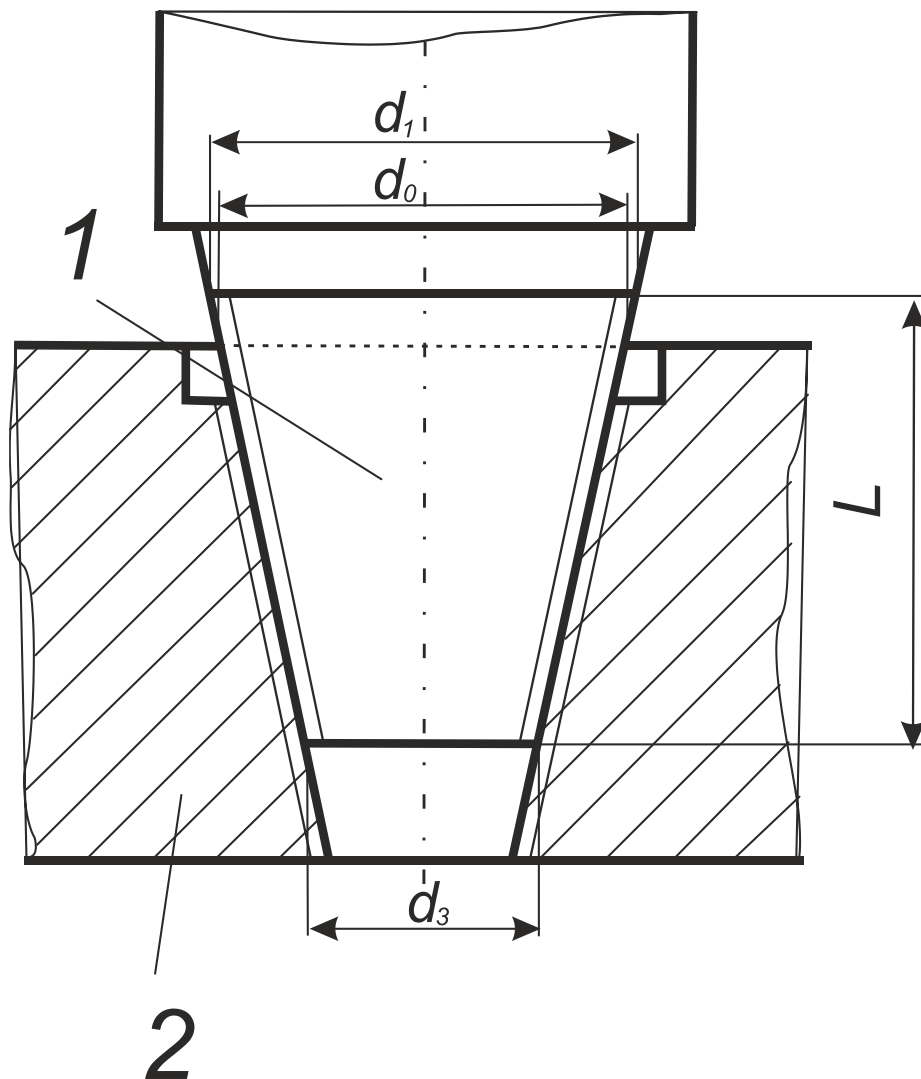


Рисунок 19 – Схема розміщення деталей нарізевого з'єднання у момент встановлення ніпеля у муфту. Цифрами позначено: 1 – ніпель, 2 – муфта.

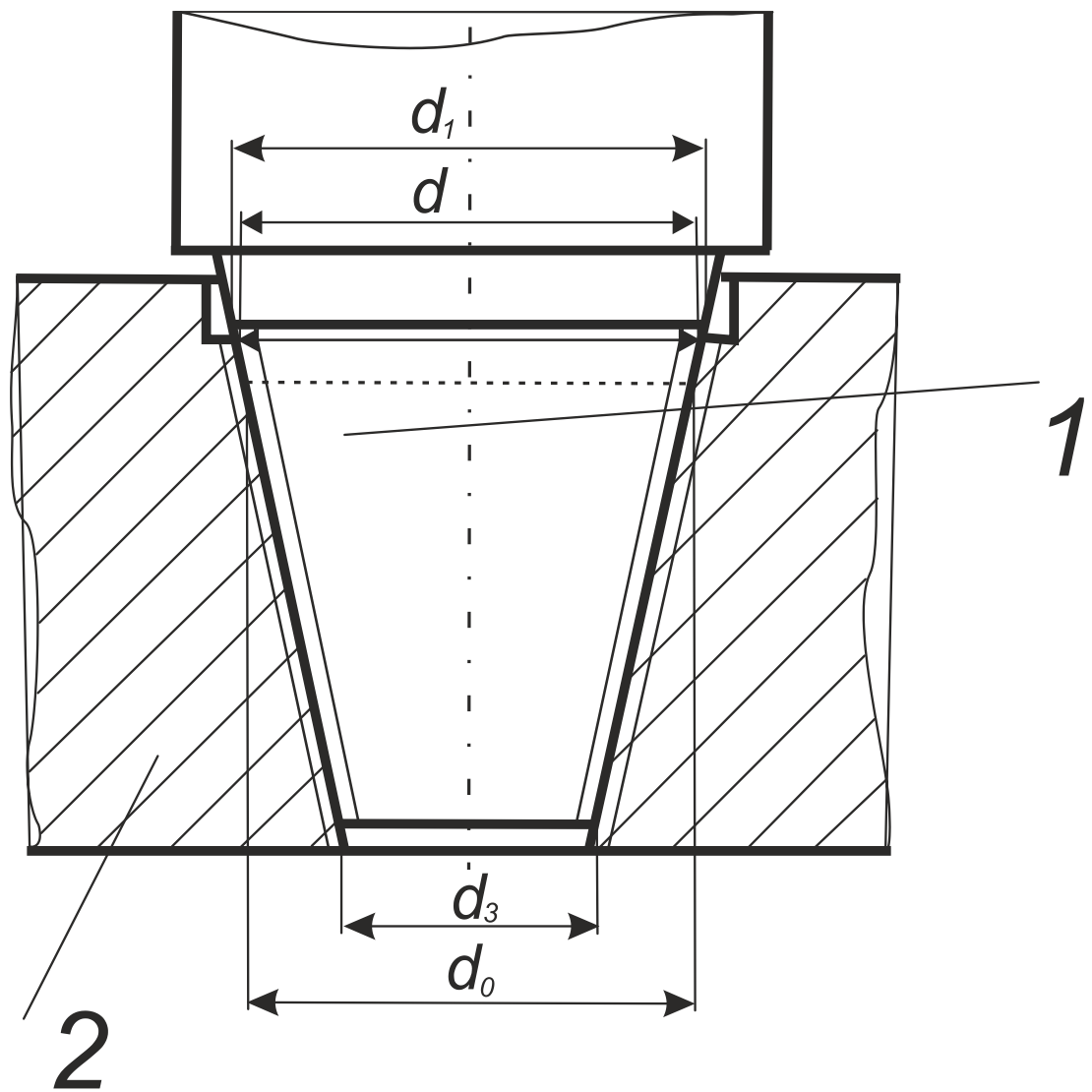


Рисунок 20 – Схема розміщення деталей нарізеного з'єднання у період загвинчування ніпеля у муфту. Цифрами позначено: 1 – ніпель, 2 – муфта.

У наступній формулі, згідно з наявними даними, продемонстровано взаємну функцію залежності площі контакту гребенів, що належать муфті та гребенів, що належать ніпелю, від значення характеристики a , а саме – ширини майданчика гребеня, конусного кута f , та, власне, довжини лінії гвинта, що знаходиться на зовнішній поверхні нарізей – L_b :

$$F_b = \frac{aL_b}{\cos \phi} \text{ (mm}^2\text{)},$$

де:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

a – ширини площадки гребеня;

f – кут нахилу нарізі;

L_b – довжина гвинтової лінії на зовнішній поверхні нарізі, яку, за даними деяких наукових праць, можна розрахувати за наступною формулою:

$$L_b = \frac{\pi}{2PK} \left[(d_1 - 2h)^2 - (d_1 - KL)^2 \right] \text{ (mm)}.$$

У формулі продемонстровано розрахунки, що стосуються площі повного контакту між гребнями, іншими словами, йдеться про максимально можливу найбільше площу їх контакту. Теоретично, у випадку, якщо контакт лише точковий, то в областях точок B а також C , площа буде наближеною до нуля.

Наступна формула, згідно з необхідність розрахунків та логічною послідовністю, показує опис площі, у якій безпосередньо відбувається контакт бокових поверхонь різьб у той момент, коли вони встановлюються, тобто ніпель заходить в муфту:

$$F_c = \frac{\pi(P - 2a)}{4P \cos \alpha} \left[\left(d_1 - 2h + K \left(1 - \frac{K}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) (P - 2a) \right)^2 - (d_1 - KL)^2 \right] \text{ (mm}^2\text{)}.$$

Одразу після моменту, як відбулося встановлення ніпеля і площині муфти, розпочинається процес згвинчування. Процес згвинчування закінчується лише тоді, коли діаметр ніпеля, а саме середній діаметр, зійдеться та співпаде з середнім діаметром у муфті. Так само завершенню процесу згвинчування передують переміщення гребеня ніпеля на крок $h - X_0$. Це положення на Листі вказане забарвленням сірого кольору, також на схемі показані діючі навантаження всередині матеріалу ніпеля і муфти.

Таким чином, з усього перерахованого добре видно, що бракує проведення доцільних досліджень, котрі полягають у прояві впливу, котрий функціонально впливав би на отриманий результат через зміну профілю різальної кромки та геометричних, а також інших параметрів токарних різців на величину тисків на поверхню і матеріал під час їх взаємного контакту, розміщення, згвинчування,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

розгвинчування, а також, що найголовніше, під час безпосереднього процесу робочої експлуатації в умовах буріння та в умовах екстремальних навантажень, що передбачені сферою їх виключного використання. Також бракує дослідів, спрямованих на висвітлення проблеми впливу самого процесу експлуатаційних навантажень ніпеля та муфти в залежності від конкретних ситуацій.

1.17 Рекомендації та пропозиції щодо вибору геометричних параметрів різців у залежності від оброблюваності матеріалу заготовки та кута нахилу нарізі

На сьогоднішній день підприємства, спеціалізацією яких є виготовлення та обслуговування бурильних труб, а також замків та бурового інструменту, для утворення нарізей застосовують токарні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Превалюючою операцією, або частиною операції в технології виготовлення замкових нарізей конічної форми є саме точіння нарізі. Інструментом, як правило, виступає повнопрофільний токарний різець, профіль різальної кромки якого є закінченим та утворює остаточний профіль нарізі. Серед більшості світових гігантів у постачанні металообробних інструментів, таких як Iscar, Kennametal, Mitsubishi, SANDVIC Coromant, SECO, ZCC-CT, Vargus, Walter та інші, для виготовлення замкової нарізі пропонується використовувати твердосплавні різальні пластини для нарізевих токарних різців, однаково як для внутрішньої нарізі в муфті, так і для зовнішньої нарізі ніпелей із нульовою величиною переднього статичного кута у вершині.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 50 |

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Аналітичний розрахунок гіперболічного профілю різальної крайки різця із ненульовим значенням переднього кута у вершинній точці

З геометричної точки зору різьба є поверхнею, що створена в процес руху прямолінійної крайки різця, що проводить операцію різання і є твірною, та рухається по гвинтовій напрямній. З теоретичної ж точки зору твірна, що утворює поверхню нарізі, повинна перебувати у одній з віссю деталі площині і проходити через неї. Але слід також пам'ятати, що виставлення передньої частини різця у його площині із певним кутом відносно площини цієї осі призводить до деяких змін у конфігурації профілю нарізі, яка буде отримана після обробки. При зміні положення твірної поверхні, тобто якщо різець виконується із величиною переднього кута, що не дорівнює нулю, це і буде головною причиною того, що твірна AB , що перетинає вісь гвинта, зможе забезпечити виконання так званого косоного гелікоїда відкритого типу, як зображено на рисунку 21. Цей гелікоїд, через такі особливості обробки, утворюється дещо іншим замість того, котрий поданий у стандартах щодо гелікоїдів закритого типу. Конус для напрямлення T визначає собою кут нахилу β для твірної лінії відносно осі гвинтової поверхні, що носить назву i . Отож, основними параметрами гвинта, котрий утворює нарізь, є дві характеристики, а саме:

- величина кута профілю β ;
- значення переміщення конуса T за віссю i у період повного його оберта, або іншими словами – крок гвинта P .

В процесі точіння нарізі задля того, щоб відтворити її крок, необхідно забезпечити подачу на оберт, а для відтворення профілю різьби необхідно забезпечити поперечну подачу окремо перед кожним проходженням. В результаті, поперечний рух при подачі, але без подачі на оберт, повинен забезпечувати

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

утворення профілю зрізаного кута, у якого менший радіус насправді є внутрішнім радіусом гвинта конволютного типу із назвою r_2 , в той час як більший радіус є зовнішнім радіусом r_3 (рисунок 21).

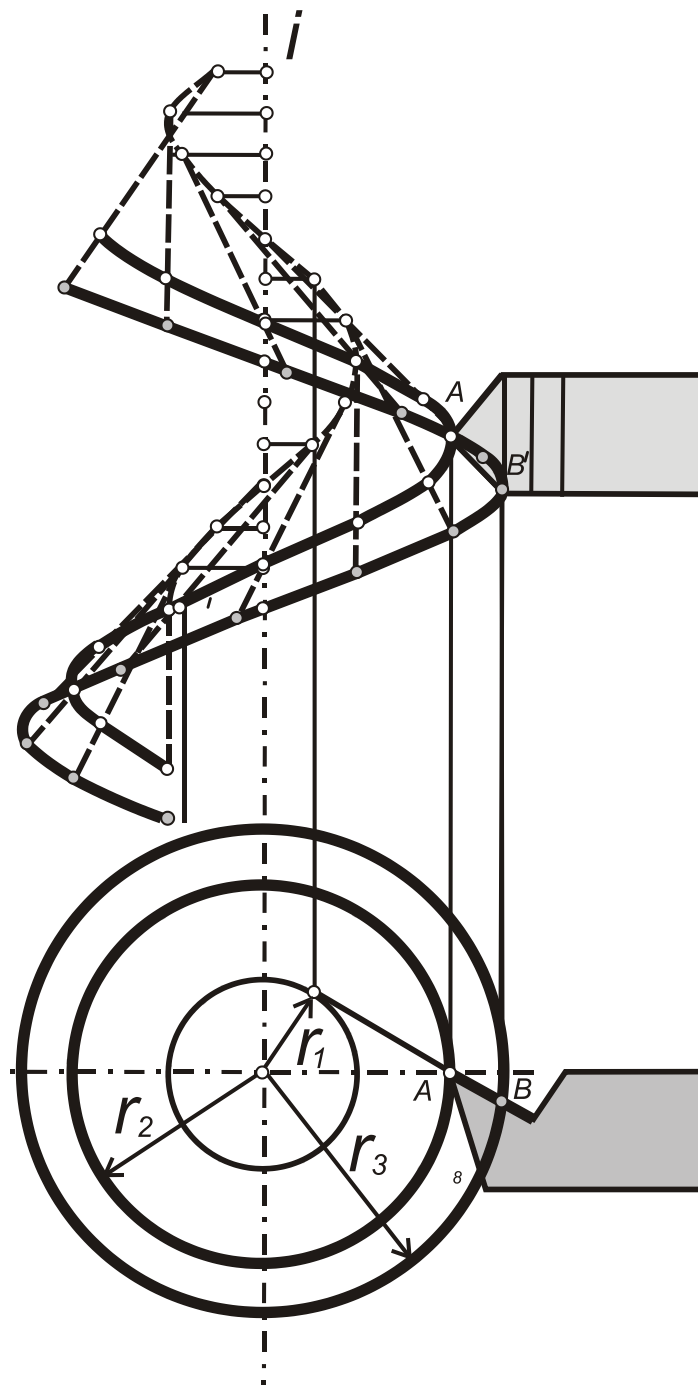


Рисунок 21 – Схема отримання гвинтової поверхні при застосуванні різця із ненульовим значенням переднього кута. На схемі позначено: r_1 – радіус вихідного циліндра, r_2 – внутрішній радіус нарізи, r_3 – зовнішній радіус нарізи

У випадку, коли ріжуча крайка не є розміщеною у спільній із слідом $f\beta$ площині, котра також проходить через гвинтову вісь, то трикутний профільний різець, котрий теоретично повинен збігатися із профілем різьби, під час поперечної подачі у процесі різання, буде відтворювати нарізний профіль у вигляді гіперболи, замість трикутної.

Виходячи з цього, при розгляданні цієї ділянки нарізі саме як поверхні конуса, котрий є зрізаним, і має великий радіус R , а малий радіус, відповідно, з назвою r , та ще й кут при вершині β , то з цього слідуватиме, що як результат перетину передньої площини із цим конусом, яка задається слідом $f\alpha$, то в результаті ми отримуємо гіперболу.

Заштрихованою областю позначено переріз гіперболічного типу поверхні конуса з віссю OX та твірною Op із площиною спереду, це показано на Листі.

Гіпербола O_1etq зближується із прямою Op асимптотичним чином. Якщо вибрати довільну точку t , котра знаходиться на перетині осьової площини конуса із осьовою площиною, то їй буде відповідати точка n , що знаходитиметься на перетині конуса і передньої площини. Обидві ці прямі мають спільну координату, що має назву x_n і знаходиться на осі OX . Вершина гіперболи O_1 від вершини конуса віддалена на відстань рівну величині a і проходить вздовж вісь OX , у той час як точка Q віддалена на відстань рівну величині b і проходить вздовж вісь OY .

Задля того, аби розрахувати та визначити величини відхилень гіперболи від асимптоти, що залежить від відстаней вершини конуса O по його ж осі, необхідно застосувати формулу:

$$|mn| = \frac{ab}{x_n + \sqrt{x_n^2 - a^2}}$$

Залежність величини a від значень величин кутів β та γ , а також радіуса r можемо отримати наступним чином. Щоб це зробити, необхідно спочатку визначити значення величини k , що позначена на площині проєкцій W на Листі. Розраховуємо прямокутний трикутник $O''O_1''Q''$:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$|mn| = \frac{ab}{x_n + \sqrt{x_n^2 - a^2}}$$

Ми також можемо отримати залежність значення величини a від значень кутів β та γ і від значення радіуса r . Для цього необхідно спочатку визначити величину k , яку ми позначаємо на площині проєкцій дабл'ю, та отримуємо з трикутника $O''O_1''Q''$, котрий є прямокутним:

$$k = |O''Q''| \tan \beta$$

Та опісля застосування площини проєкцій H отримаємо наступний вираз, котрий запишемо у вигляді:

$$k = a \cdot \tan \beta$$

Через те, що величина значення k за своїм значенням дорівнює величині довжини відрізка $O_1'O'$, що знаходиться на проєкціальной площині V , котра зображена на Листі, то з трикутника прямокутного типу $O_1'O'e$ отримаємо наступне рівняння:

$$|O_1'O'| = k = |O_1'e| \sin \gamma = r \sin \gamma;$$

Таким чином:

$$k = r \sin \gamma$$

Відповідно:

$$a = \frac{r \cdot \sin \gamma}{\tan \beta};$$

З цих самих побудов матимемо:

$$b = a \cdot \tan \beta;$$

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

В якості результату таких обчислень ми отримаємо залежність дотубку ab від величин кутів β та γ з радіусом r :

$$ab = \frac{(r \cdot \sin \gamma)^2}{\operatorname{tg} \beta}$$

Через те що точка n в нашому випадку взята як довільна точка конуса, а точка m в свою чергу – це точка на гіперболі, що їй відповідає, то якщо ми скористуємося таким поняттям, як довільна i -та точка, і разом із цим приймемо координати цієї точки як x_i по осі OX і r_i по осі OY , то формула асимптоти дещо зміниться і набуде наступного вигляду:

$$x_i = \frac{r_i}{\operatorname{tg} \beta}$$

Після виконання деякої заміни позначень, а саме: $|mn|$ замінимо на Δ_i , а також x_n замінимо на x_i і після того, як підставимо ці значення у першу нашу формулу з третього та четвертого виразів, то цілком закономірно отримаємо таку наступну формулу:

$$\Delta_i = \frac{(r \cdot \sin \gamma)^2 / \operatorname{tg} \beta}{\frac{r_i}{\operatorname{tg} \beta} + \sqrt{\left(\frac{r_i}{\operatorname{tg} \beta}\right)^2 - \left(\frac{r \cdot \sin \gamma}{\operatorname{tg} \beta}\right)^2}} = \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{r_i + \sqrt{r_i^2 - (r \cdot \sin \gamma)^2}}$$

Рівняння, котре ми отримали в результаті, прямо свідчить і вказує на залежність функціонального типу між величинами зміщень у Δ_i профілю гіперболи різальної кромки різця, котрий утворює нарізь, взяту у будь-якій довільній точці, так званій i -тій точці, від значення величини статичного кута γ , котрий є переднім, у точці самої вершини, тобто точці e . Так само до цього додається залежність від значення конусного радіуса у будь-якій довільній точці r_i , а також малого радіуса, що носить назву r і конуса, котрий внаслідок особливостей проектування і виготовлення є зрізаним.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

2.2 Максимальне і мінімальне відхилення гіперболічного профілю різальної крайки різця від твірної конуса

Відстань між точками e та s , котрі знаходяться на площині усіх проекцій H – це є найбільше з можливих відхилення гіперболи від твірної, котра утворює конус. У цей же час, точка s належить до поверхні, що є конусовою, а також водночас пролягає у площині найменшого з усіх торця з радіусом, котрий підписаний як r . Тому, якщо ми підставимо в першу формулу вирази номер два, три і чотири і проведемо деякі зміни, а саме:

- $|mn|$ замінимо на Δ_i ;
- x_n на x_i , то

отримаємо наступну формулу:

$$\begin{aligned} \Delta_{max} &= \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{\operatorname{tg} \beta \left(\frac{r}{\operatorname{tg} \beta} + \sqrt{\left(\frac{r}{\operatorname{tg} \beta} \right)^2 (1 - \sin^2 \gamma)} \right)} = \\ &= \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{\operatorname{tg} \beta \left(\frac{r}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{r}{\operatorname{tg} \beta} \sqrt{1 - \sin^2 \gamma} \right)} = \\ &= \frac{r \cdot \sin^2 \gamma}{(1 + \cos \gamma)} \end{aligned}$$

В результаті, вираз набуває вигляду:

$$\Delta_{max} = \frac{r \cdot \sin^2 \gamma}{(1 + \cos \gamma)}$$

Виходячи з цього, найбільше можливе відхилення гіперболоїдного профілю кромки різця від лінії, котра утворює конус, з функціональної точки зору, є залежним від величини значення у передньому статичному куті γ , що перебуває у найвищій

точці e і ϵ прямопропорційно залежним від величини значення серединного, або внутрішнього радіуса різьби.

У свою чергу, найменшим з відхилень, що стосуються твірного конуса, є відстань, котра знаходиться між двома точками, а саме – q та p , котрі знаходяться на площині проєкцій H . Далі, точка p є приналежною до поверхні конуса, а разом з тим вона одночасно ще й належить площині основи, яка має радіус R і ϵ відносно інших найбільшою. Тож, у нашій п'ятій замінюємо вираз r_i на вираз R і внаслідок цього отримуємо:

$$\Delta_{min} = \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{R + \sqrt{R^2 - (r \cdot \sin \gamma)^2}}$$

Саме внаслідок цього мінімальне відхилення профілю різцевої крайки, котра є гіперболічною, від лінії, котра утворює конус, на функціональному рівні є залежним від величини значення переднього статичного кута γ і у найвищій його точці e прямопропорційно залежить від значення величини внутрішнього радіуса різьби, котрий має назву r і зовнішнього радіуса, а саме – R . Та ж ділянка, яка належить гіперболі і яка пролягає від точки q з координатою x_{max} і до точки e , котра має координату x_{min} , котра безпосередньо відповідає мінімальному та максимально можливому радіусам конуса, котрий зрізається, теоретично є точною різальною кромкою різця для нарізи із значенням переднього нерухомого кута яке не дорівнює нулю. Точність виконання різьби найбільше залежить саме від точності самого інструменту, але при цьому ж виготовлення високопродуктивних різців з найвищими характеристиками точності і з високоточним профілем ріжучої кромки стає залежною від власне технологічної доцільності, через це пошук найбільш оптимальнішого поєднання високопродуктивності точіння і водночас високої точності виготовлення профілю різців для нарізання різьоб є дуже актуальною темою на даний час.

Тож варто здійснити лінійну інтерполяцію гіперболи по цих двох точках — тобто з'єднати її крайні точки q та e прямолінійним відрізком і після цього порівняти

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

інтерпольовану і не інтерпольовану форму різальної крайки, щодо їх геометричної невідповідності. На основі отриманих результатів слід зробити висновки щодо технологічної доцільності застосування теоретично точної крайки з гіперболічним профілем, або крайки із лінійно-інтерпольованим профілем

2.3 Лінійна інтерполяція гіперболічного профілю різальної крайки нарізевого різця із ненульовим значенням переднього кута у вершинній точці

Точність нарізі регламентується точністю виконання її кроку – P , половинного кута профілю – $\alpha/2$ та величини середнього діаметру. Перших два залежать від профілю різальної крайки різця, оскільки нинішня технологія виготовлення замкових нарізей опирається на застосування повнопрофільних нарізових різців.

Замкові нарізі відносять за поділом по профілю до трикутних нарізей, більшість з яких виконують із заокругленою впадиною. Саме такому профілю відповідає форма різальної крайки сучасних нарізових різців для точіння замкових нарізей.

Для виготовлення різця із гіперболічним профілем різальної крайки можна скористатися формулами 6, 7 для точок g, t та симетричних до них точок j, k , а також формулою 5 для точки e .

Профіль заданої нарізі при цьому визначено точками p, n, c, d, b .

Оскільки відомо, що гілки гіперболи, які асимптотично наближаються до своїх асимптот поступово стають максимально випрямленими, тому запропоновано застосувати методику прямолінійної інтерполяції гіперболічної різальної кромки за її двома крайніми точками. Таким чином замість твірної, яка є гіперболічною кривою etg запропоновано застосувати твірну яка є прямою $eg/$

Така заміна нестиме технологічну доцільність, якщо довести, що максимальна опуклість гіперболічного профілю є меншою за допустиме відхилення, або її розмір

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

може виявитися за межею технологічної можливості виготовлення різальної частини інструмента.

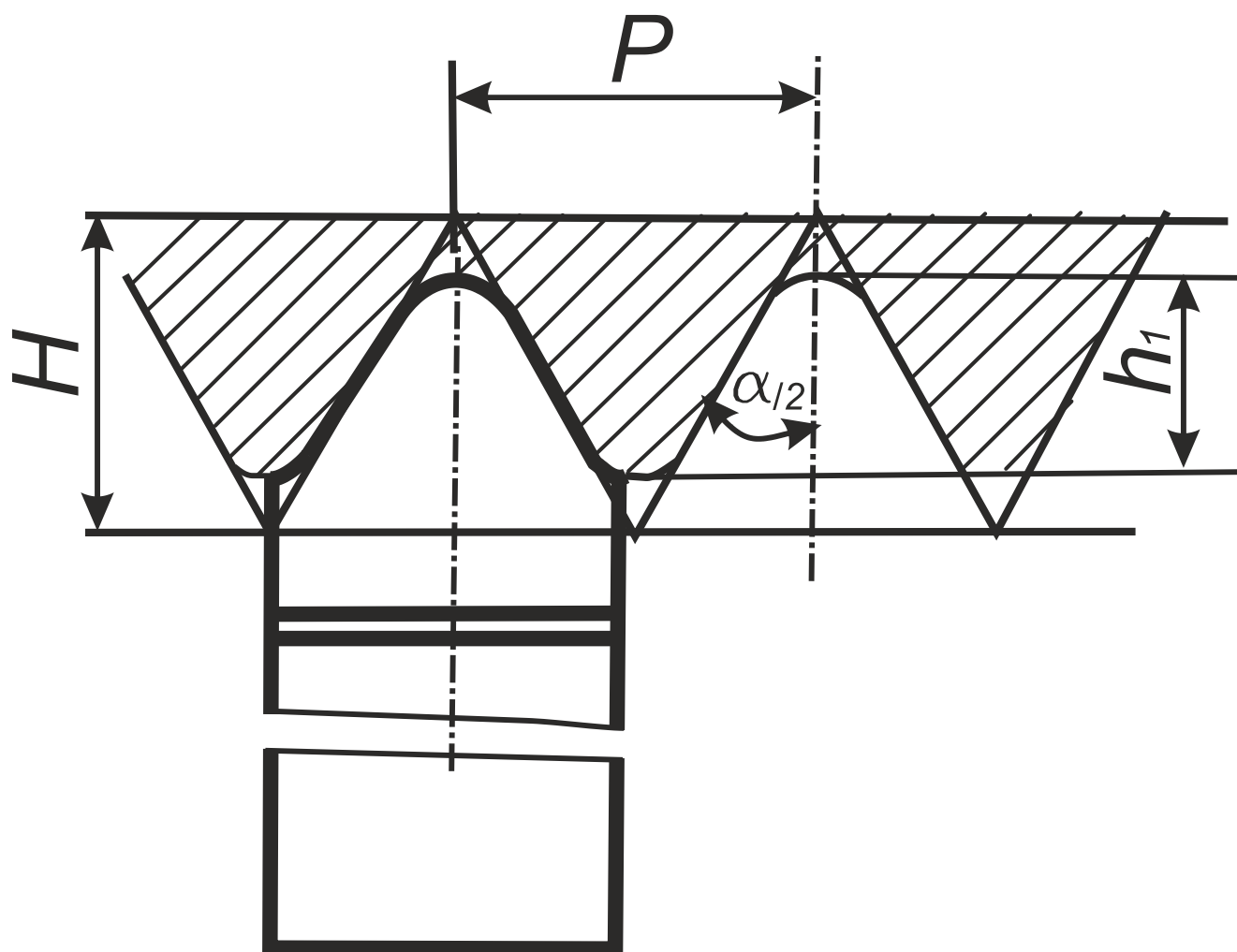
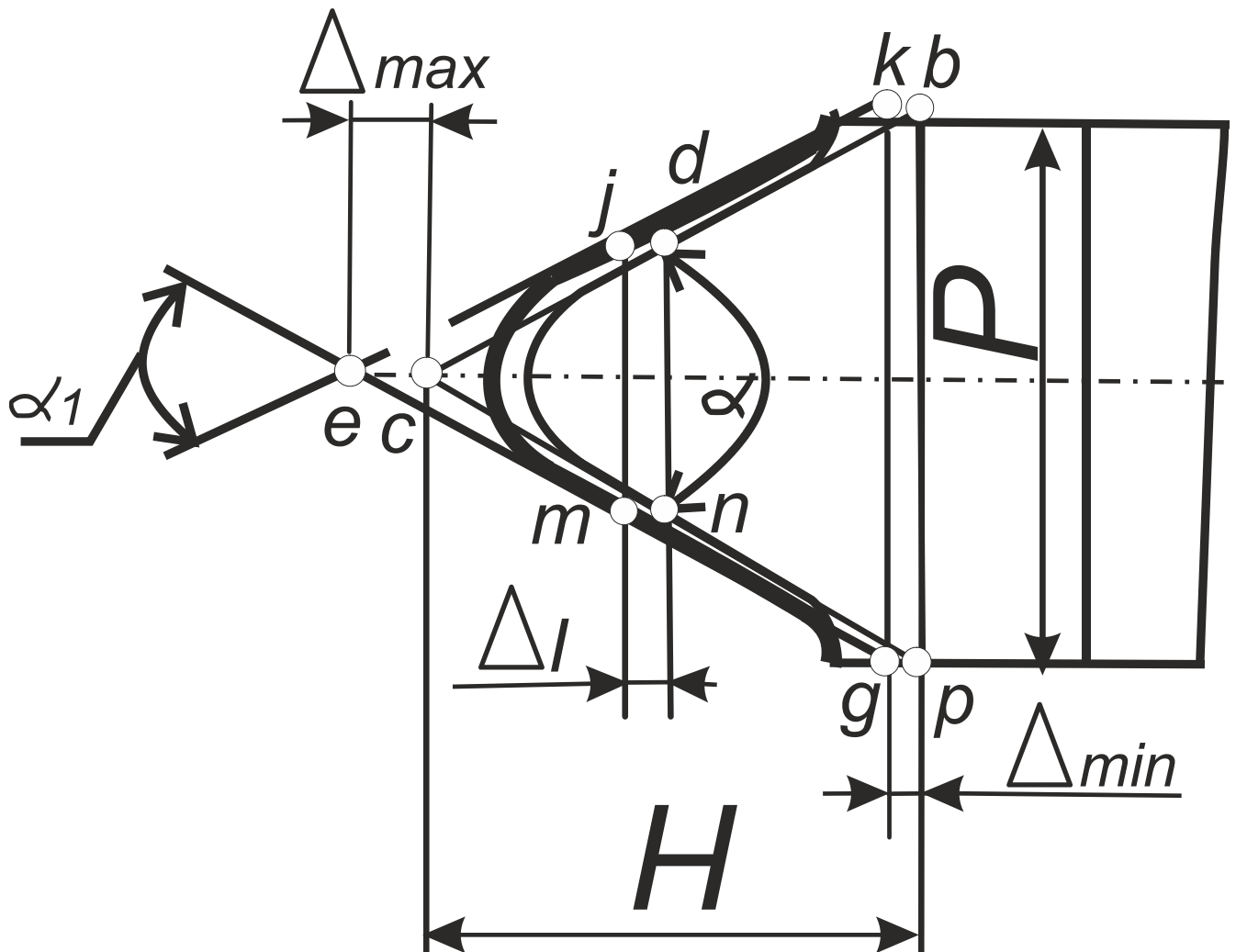


Рисунок 22 – Схема нарізеутворення трикутної різьби з допомогою різця. На схемі позначено: P – крок, H – висота вихідного профілю, h_1 – висота вихідного профілю, $\alpha/2$ – кут нахилу сторони профілю.

Усі подальші дії, котрі необхідно провести із різцем задля досягнення максимально якісного та прогнозовано точного результату, зображені на наступному малюнку. На ньому проілюстровано, як різальна крайка виглядає в площині передньої поверхні.



*Рисунок 23 – Вигляд гіперболічного профілю різальної крайки
нарізевого різця у площині передньої поверхні*

**2.4 Визначенні стріли опуклості гіперболічного профілю різальної
крайки нарізевого різця з ненульовим значенням статичного переднього
кута у вершинній точці.**

Прямолінійна різальна крайка ge включно із точкою A є результатом інтерполяції гіперболічного профілю, котрий представлено лінією gme . Згідно із постановкою завдання слід розробити алгоритм розрахунку різниці між цими лініями, тобто відстань s_i між точками A і m . Вісь y – це вісь нарізі. Мінімальний

радіус нарізі r відповідає відстані від осі y до вершини вихідного профілю нарізі – точки c . Звідси висота вихідного профілю нарізі H – це відрізок (cL). Крок нарізі представлено на схемі відрізком (pL), що дорівнює $P/2$.

Отже шукана величина s_i визначатиметься за такою формулою:

$$s_i = r_i - \Delta_i - x_i,$$

де:

x_i – абсциса i -точки профілю,

r_i – радіус i -точки профілю.

$$, r_i = r + y_i / \tan(\alpha/2)$$

де

y_i – ордината i -точки профілю.

Δ_i – величина відхилення гіперболічного профілю від асимптотичного, тобто від заданого профілю нарізі у i -точці. Цю величину можна розрахувати за формулою 6.

x_i – абсциса i -точки профілю.

$$(r - \Delta_{\max}) < x_i < (r + H - \Delta_{\min});$$

З трикутника ABe маємо наступне співвідношення:

$$x_i - r + \Delta_{\max} = \frac{y_i}{\tan(\alpha_1)};$$

Виходячи із цього, маємо рівняння:

$$x_i = \frac{y_i}{\tan(\alpha_1)} + r - \Delta_{\max};$$

де:

Δ_{\max} – максимальне значення відхилення гіперболічного профілю різальної кромки від заданого профілю різьби. Його визначають за формулою 7.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 61 |

$\alpha_1/2$ – половинний кут профілю, який визначають залгоритмом із:

$$\alpha_1/2 = \frac{P}{2(H + \Delta_{\max} - \Delta_{\min})},$$

Де величину Δ_{\min} визначають за формулою 7, у якій підставляють значення R за формулою:

$$R = H + r .$$

Визначення ординати i -точки ведуть за формулою:

$$y_i = (x_i - r + \Delta_{\max}) \tan(\alpha_1/2);$$

На основі формул (5, 8, 9, 10, 11) створено алгоритм прикладної програми розрахунку різниці абсцис i -точок на гіперболічному профілі і відповідного йому випрямленому профілю різальної крайки. Як приклад представлено дані таких різниць s_i для точок профілю з координатами y_i та x_i . Даний фрагмент прикладної програми відповідає діаметру труби – 114 мм і величині переднього статичного кута різця $\gamma = 8^\circ$. Отримана різниця s_i сягає свого максимального значення в околі величини – 0,00032 мм у точці з ординатою $y_i=0,8008$ мм, абсцисою $x_i = 55,63$ мм, при радіусі $r_i=56,15$ мм (на рис. його позначено R_i), і відхиленню гіперболічного профілю $\Delta_i=0,519$ мм (на рис. його позначено d_i) від заданого.

| s_i | d_i | x_i | R_i | y_i |
|---------|---------|--------|-------|---------|
| 0,00000 | 0,53290 | 54,230 | 54,76 | 0,00000 |
| 0,00009 | 0,53100 | 54,430 | 54,96 | 0,11440 |
| 0,00016 | 0,52900 | 54,630 | 55,15 | 0,22880 |
| 0,00022 | 0,52710 | 54,830 | 55,35 | 0,34320 |
| 0,00027 | 0,52520 | 55,030 | 55,55 | 0,45760 |
| 0,00030 | 0,52330 | 55,230 | 55,75 | 0,57200 |
| 0,00032 | 0,52150 | 55,430 | 55,95 | 0,68640 |
| 0,00032 | 0,51960 | 55,630 | 56,15 | 0,80080 |
| 0,00032 | 0,51780 | 55,830 | 56,34 | 0,91520 |
| 0,00030 | 0,51590 | 56,030 | 56,54 | 1,03000 |
| 0,00026 | 0,51410 | 56,230 | 56,74 | 1,14400 |
| 0,00022 | 0,51230 | 56,430 | 56,94 | 1,25800 |
| 0,00015 | 0,51050 | 56,630 | 57,14 | 1,37300 |
| 0,00008 | 0,50870 | 56,830 | 57,33 | 1,48700 |

Рисунок 24 – Дані прикладної програми отриманої для даних: діаметр труби – 30 мм, величина переднього кута 8°

Не менш важливим для такого аналізу є визначення стріли опуклості гіперболічного профілю.

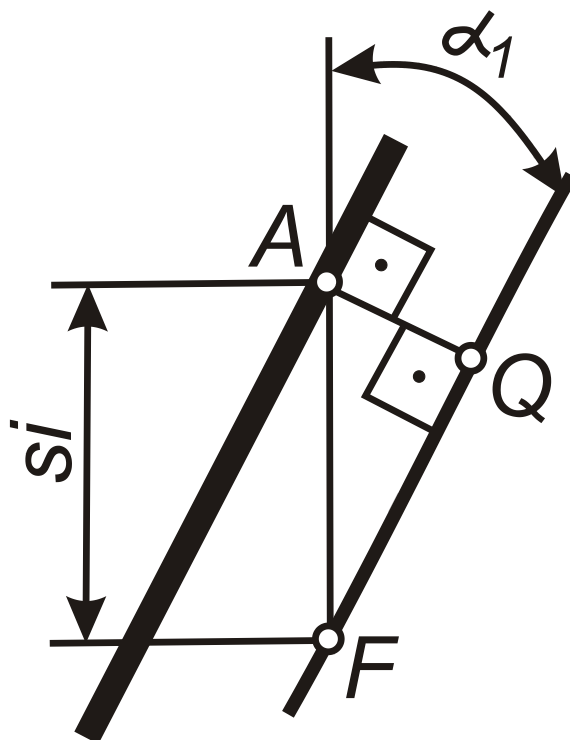


Рисунок 25 – Схема для визначення стріли опуклості гіперболічного профілю різальної крайки нарізевого різця

Лінія FQ відповідає ділянці гіперболи в районі найбільшого значення величини $s_i=0,00032$ мм (рис. 25). Саме в цьому околі гіпербола є найбільше віддалена від інтерпольованої прямої і відрізок AQ тому є найдовшим з усіх відрізків, що проходять під прямим кутом до прямолінійного профілю і сполучає його із гіперболічним профілем. Цей відрізок власне і є стрілою випуклості гіперболічного профілю різальної кромки.

Із міркувань самої побудови, можна із певною допущенністю вважати, що у районі точки Q обидва профілі: прямолінійний і гіперболічний є паралельними лініями. Виходячи з цього маємо наступну форму розрахунку величини відрізка AQ :

$$|AQ| = |AF| \cos(\alpha_1);$$

Оскільки величина кута α_1 є близькою до 30° , то можна визначити величину стріли випуклості, як половину отриманої у прикладній програмі величини s_i . Тобто найбільшим значенням стріла опуклості для даного діаметру нарізі (30 мм) і при $\gamma=8^\circ$ є 0,00016 мм.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 64 |

ВИСНОВКИ

Отримане рівняння 5 вказує на функціональну залежність величини зміщення Δ_i гіперболічного профілю різальної крайки нарізевого різця у довільній i -точці від значення переднього статичного кута γ у вершинній точці e і радіуса конуса у довільній точці r_i і малого радіуса r зрізаного конуса.

Стріла опуклості тенденційно зменшується із ростом діаметру труб і зі зменшенням значення статичного переднього кута і навпаки, а її максимальне значення не перевищує 0,00016 мм.

Аналіз технологічних можливостей профільного алмазного шліфування твердосплавних нарізевих пластин вказує на неспроможність виконувати гіперболічний криволінійний профіль різальної крайки різьбових різців;

Прямолінійний профіль різальної крайки, що отриманий внаслідок інтерполяції гіперболічного профілю максимально відхиляється від останнього на величину, яка дорівнює величині стріли опуклості гіперболи є технологічно прийнятний для виготовлення точних нарізевих різців.

Геометрична модель бічного профілю вказаної різальної крайки уможлиблює її використання для створення завершеного профілю одно чи багато ниткового повнопрофільного різця для виготовлення усіх типорозмірів замкових нарізей з диференційним підходом щодо величини передніх кутів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. ГОСТ Р 50864–96. Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. – Введ. 1997-01-01.
2. Сароян А.Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. - М. : Недра, 1979. – 231 с.
3. Халтурин О.А., Акилова А.В. Выбор параметров процесса обкатывания конической замковой резьбы // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. - 2013. - № 1. - С. 16–20.
4. Щербюк Н.Д., Якубовский Н.В. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей. - М. : Недра, 1974. - 250 с.
5. API SPEC 7-2. Specification for Threading and Gauging of Rotary Shouldered Thread Connections, Effective Date June 2011 , First Edition.
6. Щербюк, Н. Д. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей / Н. Д. Щербюк, Н. В. Якубовський. – М. : Недра, 1974. – 256 с.
7. Ковалев, М. К. Нарезание и контроль резьбы бурильных труб и замков / М. К. Ковалев. – 2-е изд. – М. : Недра, 1965. – 170 с.
8. Копей, Б. В. Атлас зламів елементів бурильної колони: монографія. Сер. : Нафтове обладнання, т. 4 / Б. В. Копей, А. В. Сизоненко. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. – 60 с.
9. Мандрик, О. М. Удосконалення методів підвищення експлуатаційних характеристик замкових різьбових з'єднань бурильних колон: Дис. ... канд. техн. наук; 05.05.12 – машини нафтової та газової промисловості / О. М. Мандрик; Івано-Франків. держ. техн. ун-т нафти і газу. – ІваноФранківськ, 1997. – 141 с.
10. Роп'як, Л. Я. Спосіб зміцнення бурильних труб із алюмінієвих сплавів : патент 103529 С2 Україна : МПК (2013.01) Е 21 В 17/00 / Л. Я. Роп'як, О. В. Рогаль; власник : Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. – № а 201114404; заявл. 05.12.2011; опубл. 25.10.2013, Бюл. № 20.
11. Онисько, О. Р. Різець для нарізання зовнішньої трикутної циліндричної різьби : патент на винахід 109077 С2 Україна : МПК (2006.01) В 23 В 27/06 / О. Р.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | МР.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 66 |

Онисько, Л. Я. Роп'як, В. Г. Панчук [заявники і патентовласники]. – № а 201403278; заявл. 31.03.2014; опубл. 10.07.2015. Бюл. № 13.

12. Чернов, Б. А. Способ упрочнения конической резьбы : а. с. 1750764 СССР : МКИ5 В 21 В 39/00, В 21 Н 3/04 / Б. А. Чернов, Б. Ю. Оглаб'як, И. С. Байб'юк, В. М. Гринив, Л. Я. Роп'як [Івано-Франківськ національний технічний університет нафти і газу]. – № 4884894/27; заявл. 26.11.1990; опубл. 30.07.1992. Бюл. № 28.

13. Чернов, Б. А. Способ упрочнения конических резьб : а. с. 1722671 СССР : МКИ5 В 21 Н 3/04. / Б. А. Чернов, Б. Ю. Оглаб'як, Л. Я. Роп'як, И. С. Байб'юк, В. М. Гринив, Я. Б. Чернов [Івано-Франківськ національний технічний університет нафти і газу]. – № 4757014/27; заявл. 30.08.1990; опубл. 30.03.1992. Бюл. № 12.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>MP.ПМКм-53.00.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 67 |

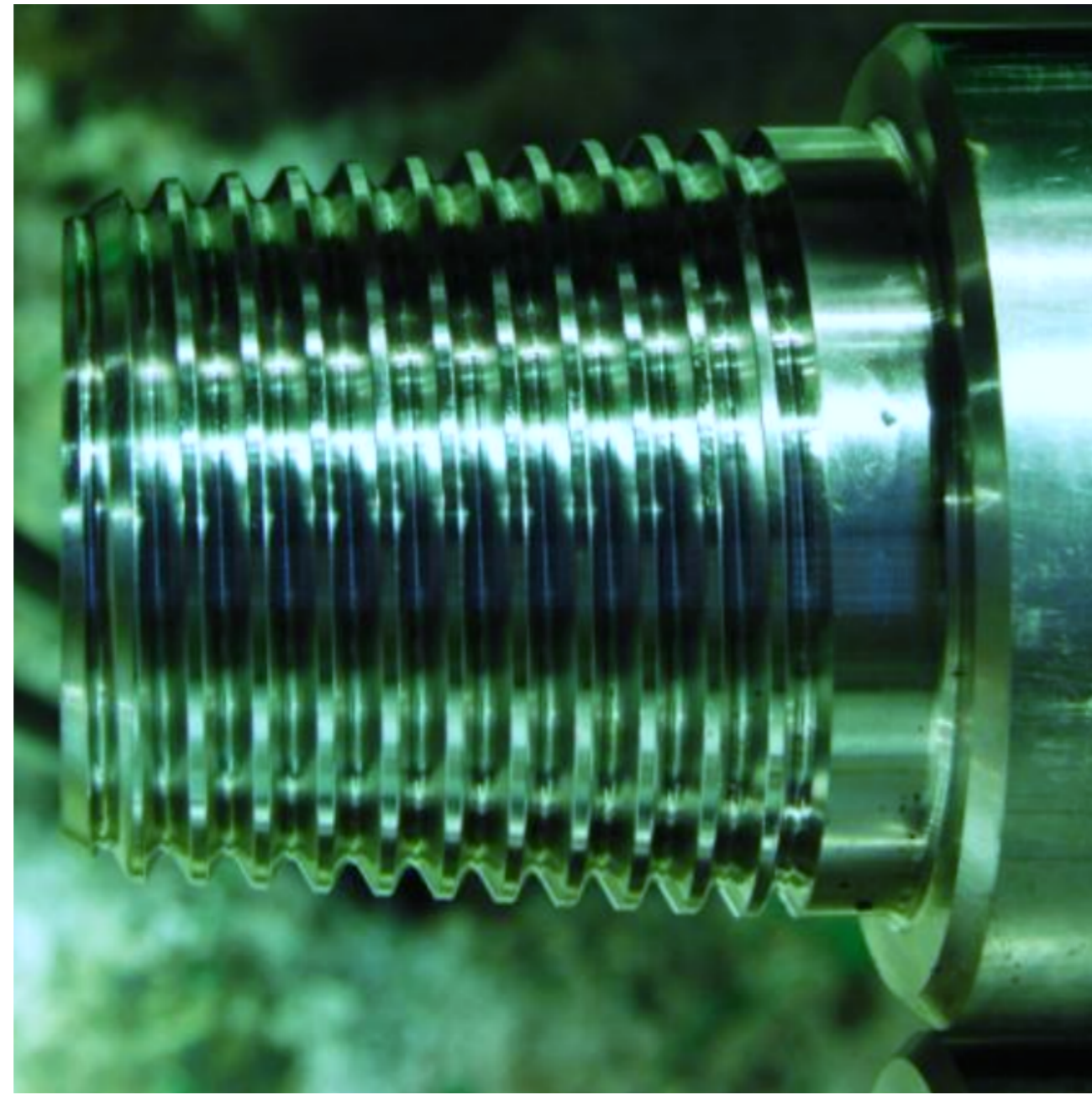


Рисунок 1 – Різьбове трубне з'єднання

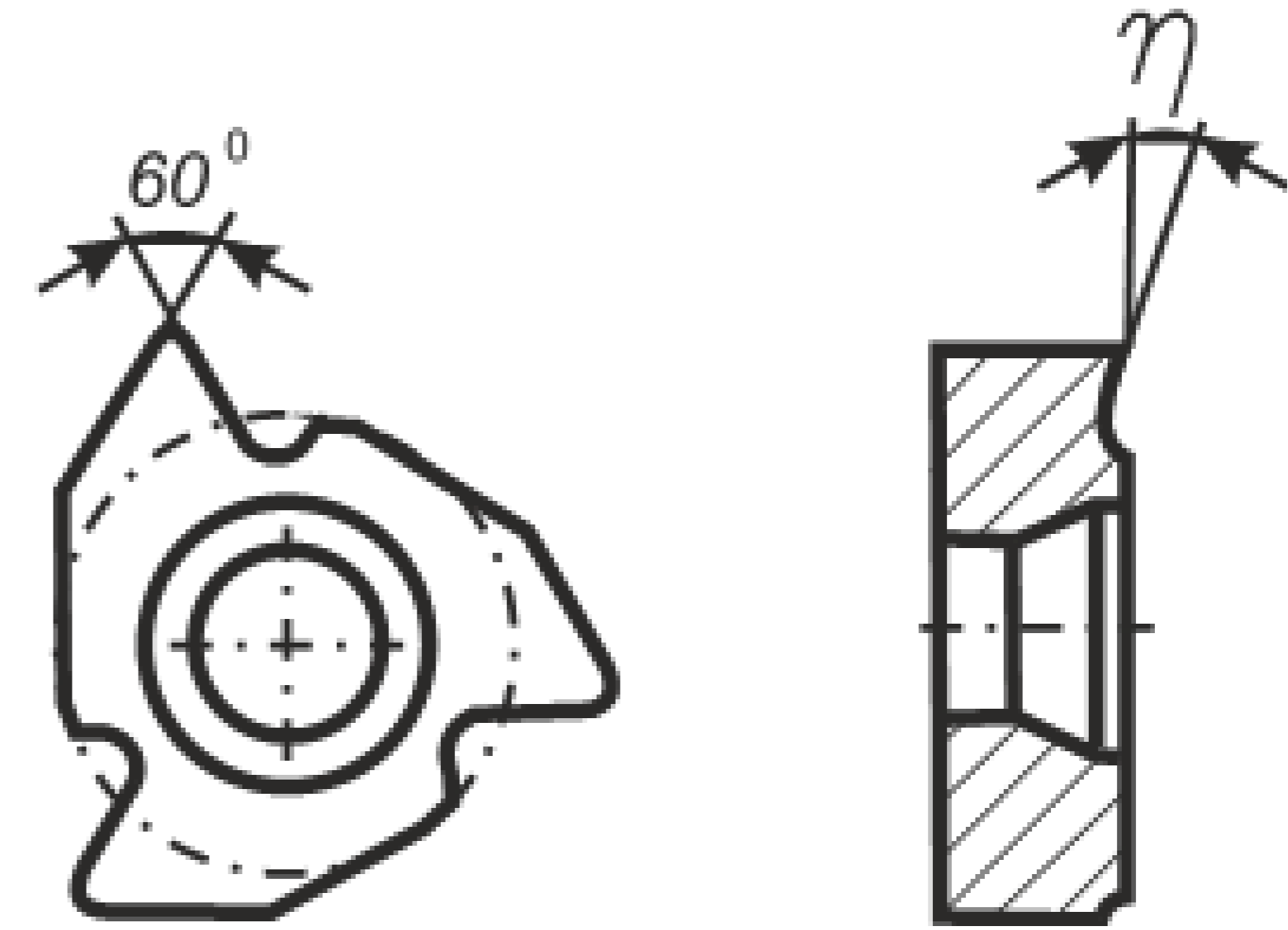


Рисунок 2 – Нарізева права пластина фірми ZCC-CT для виготовлення нарізи за стандартом API 7

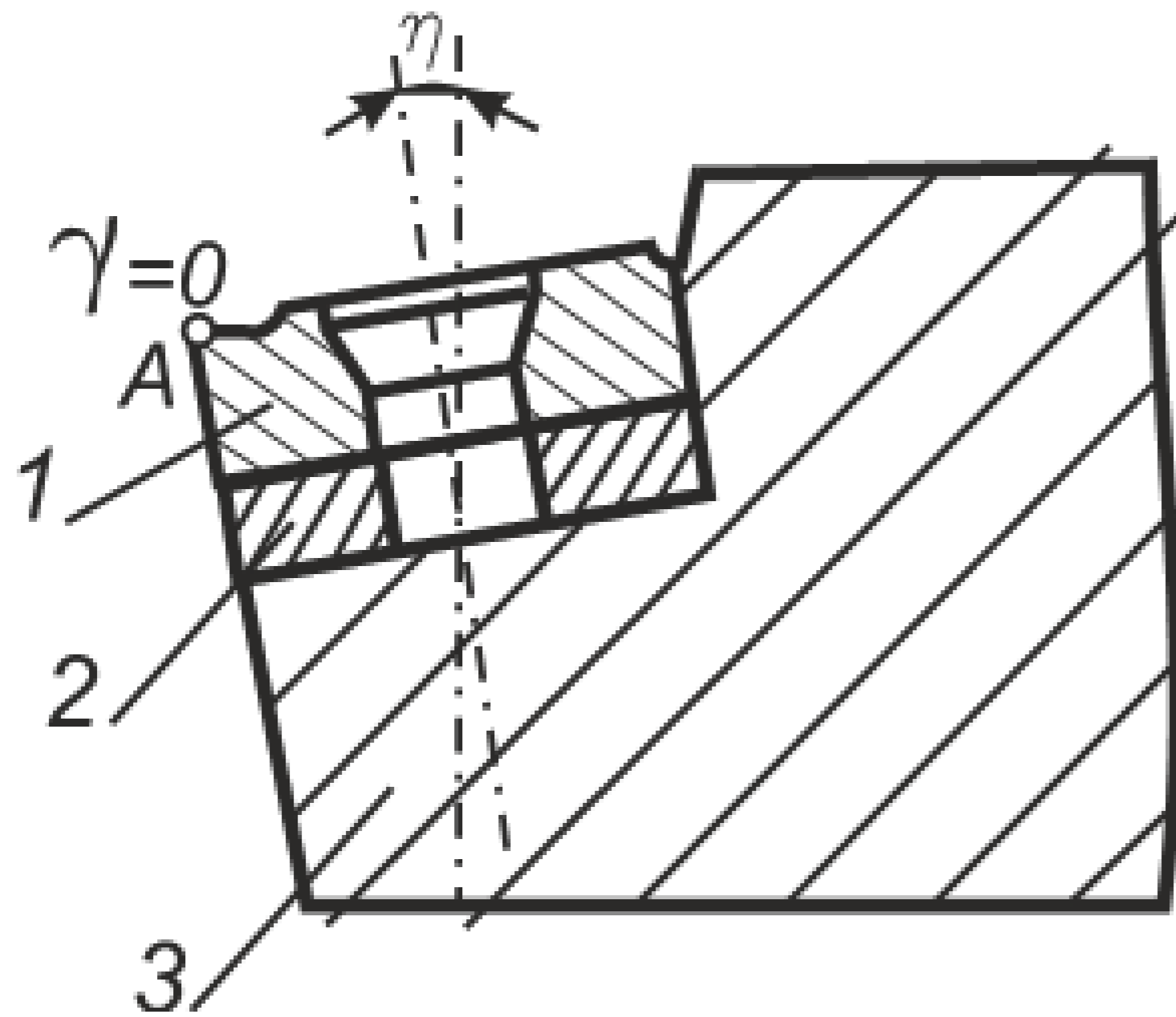


Рисунок 3 – Схема установки пластины на рабочей части резца при которой передний угол в вершинной точке А стає рівний нулю. Цифрами позначено:
 1 – різальна пластина,
 2 – підкладна пластина,
 3 – тіло різця.

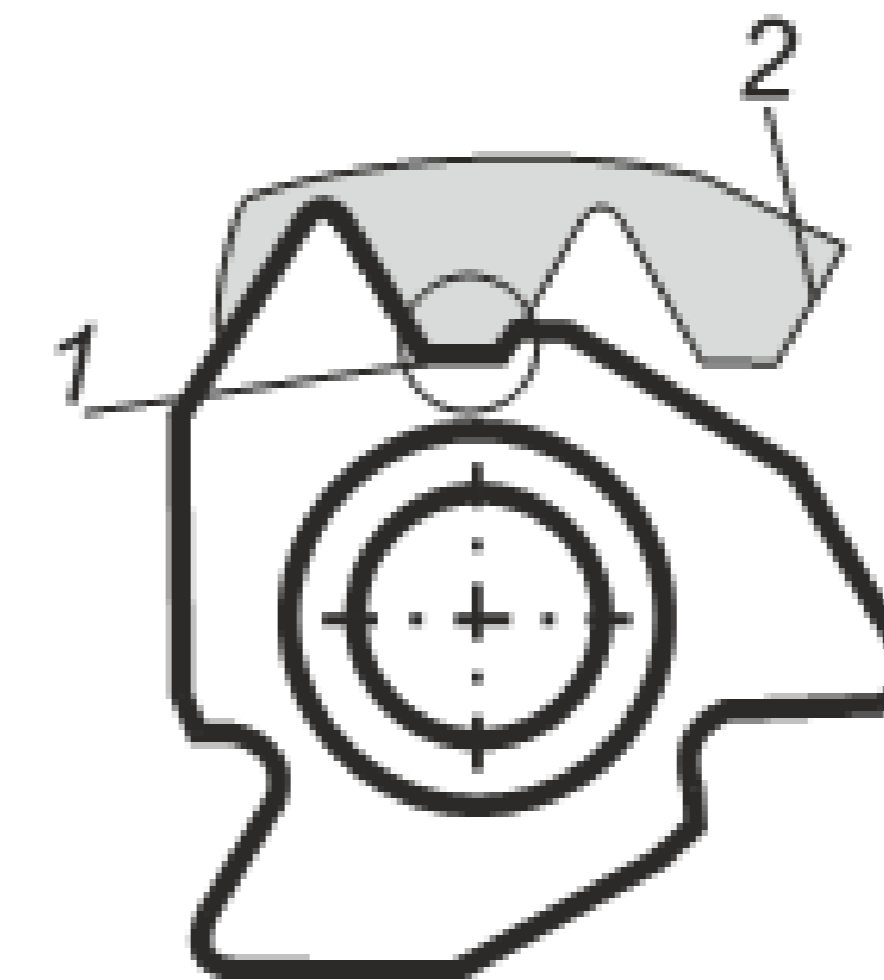


Рисунок 4 – Схема формування різьби повнопрофільним різцем. Цифрами позначено:
 1 – частина леза, яка формує гребінь різьби,
 2 – різьба.

| | | | | | | |
|----------|--------------|----------|-------|----------------------|------------------------------|----------|
| | | | | MP.ПМКМ-53.01.00.000 | | |
| Взм. | Лист | № докум. | Підп. | Дата | Формування кінчної нарізи | |
| Розраб. | Сидоров Ю.О. | | | | Лист | Листов 1 |
| Проб. | Онисько О.Р. | | | | ІФНТУНГ ПМКМ-21-1 | |
| Т.контр. | Онисько О.Р. | | | | Формат А1 | |
| Н.контр. | Онисько О.Р. | | | | Копіював | |
| Утв. | Онисько О.Р. | | | | | |

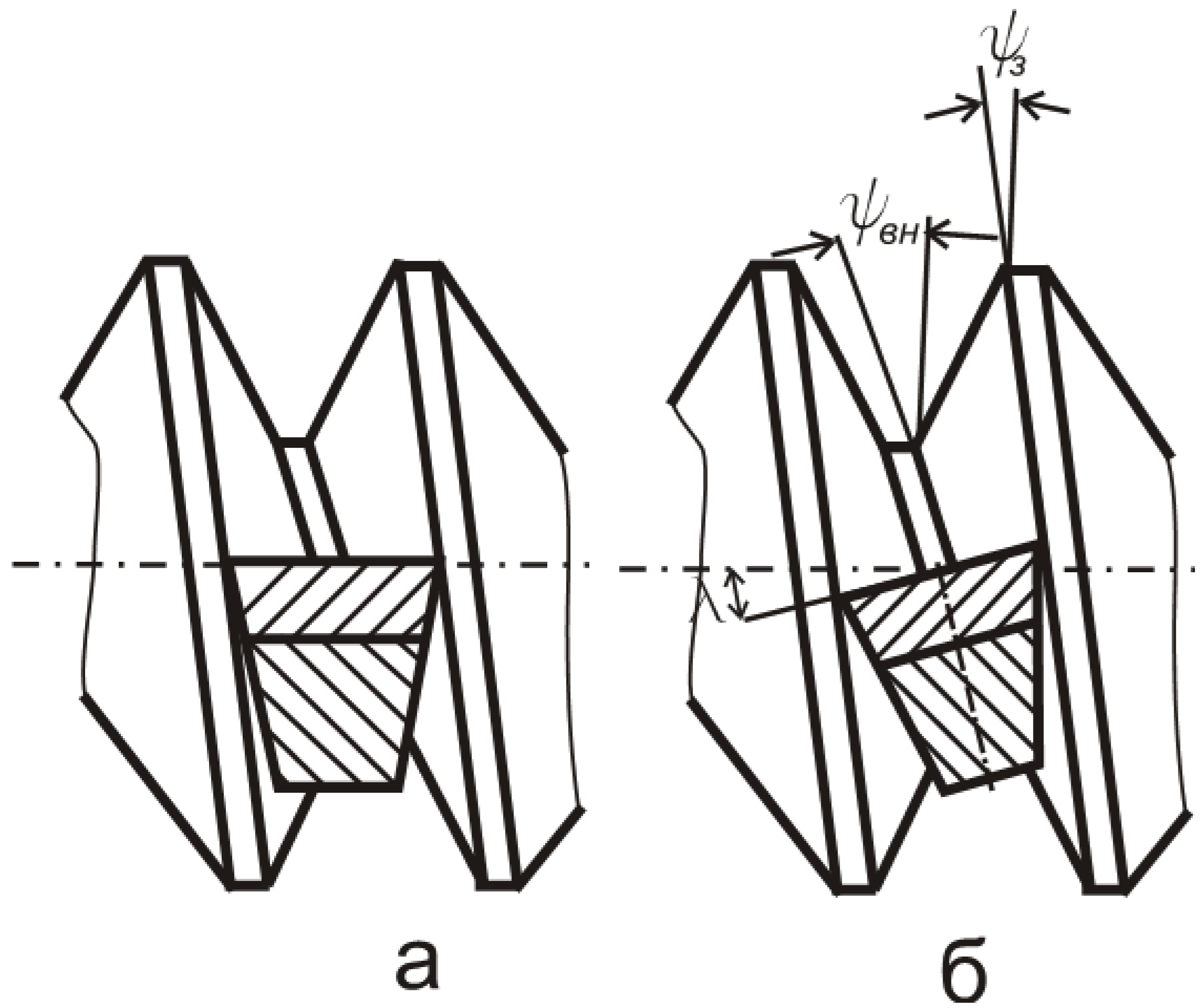


Рисунок 1 – Встановлення осі нарізального різця відносно осі нарізальної поверхні

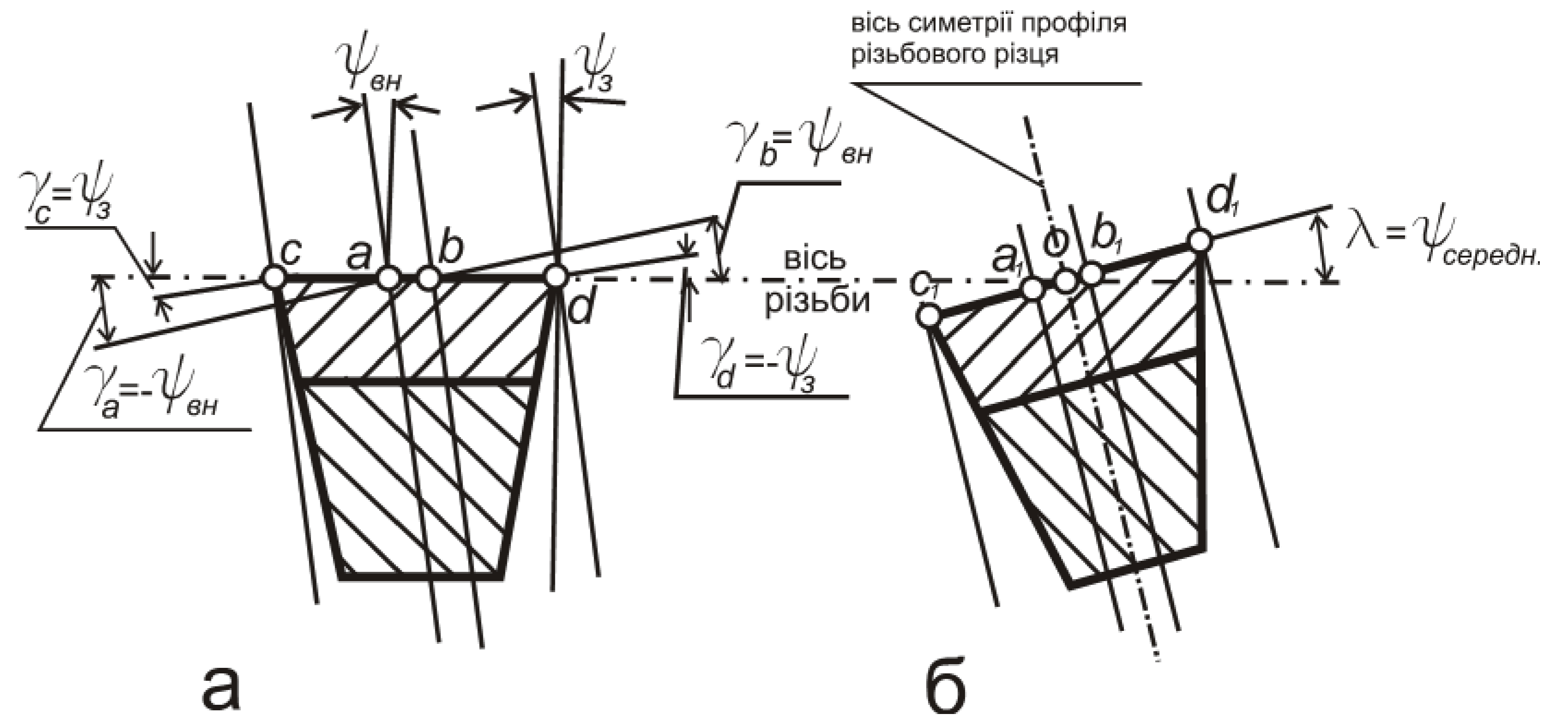


Рисунок 2 – Кути γ і λ різця в процесі нарізання різьби залежності від його встановлення:
 а – вісь симетрії профілю різьбового різця перпендикулярна до осі різьбової поверхні,
 б – вісь симетрії профілю різьбового різця нахилена до осі різьбової поверхні під кутом λ , що дорівнює куту підйому різьби по середньому діаметрі усеред



Рисунок 3 – Встановлення робочої різальної пластини на підкладну пластину

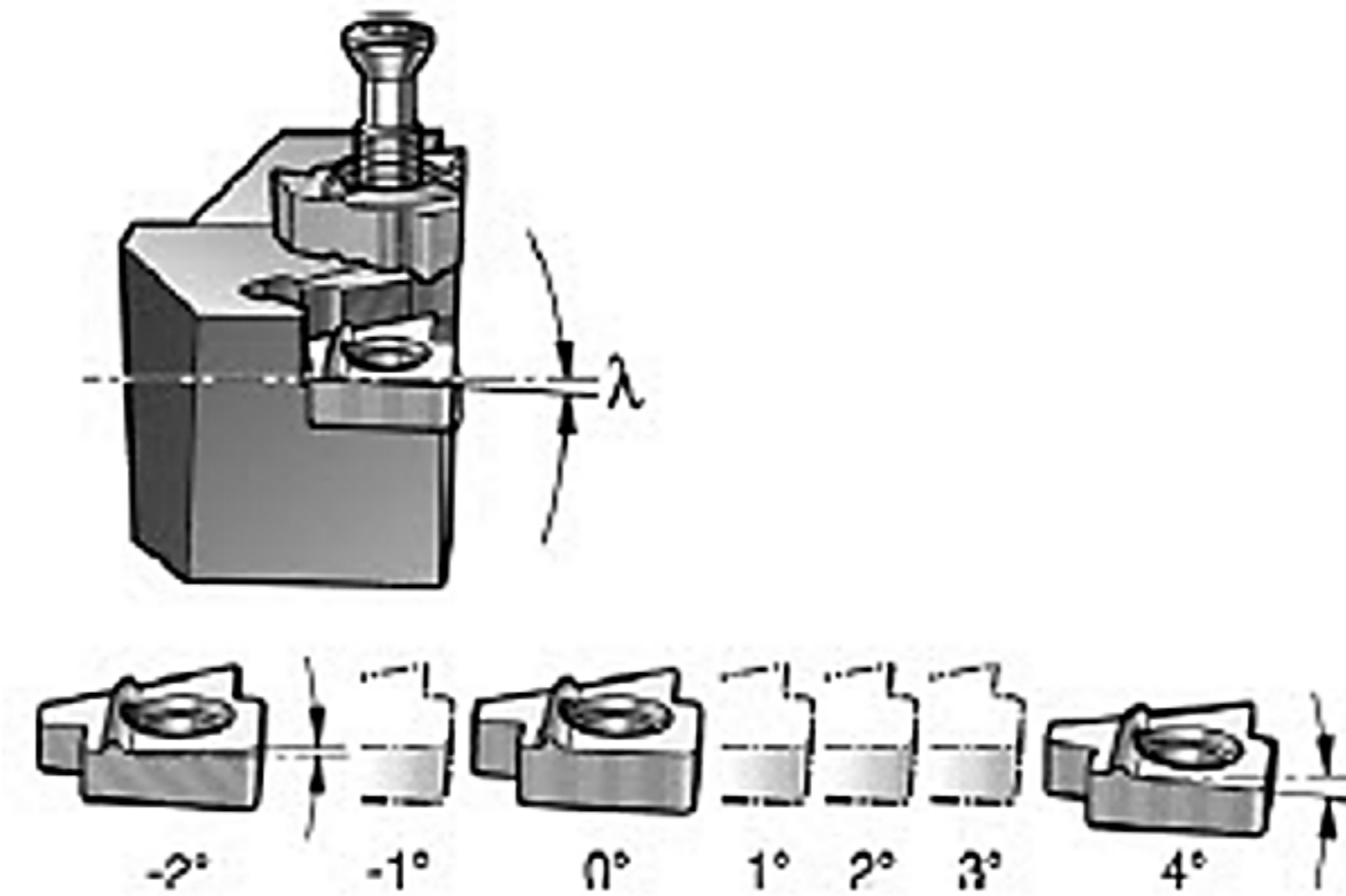
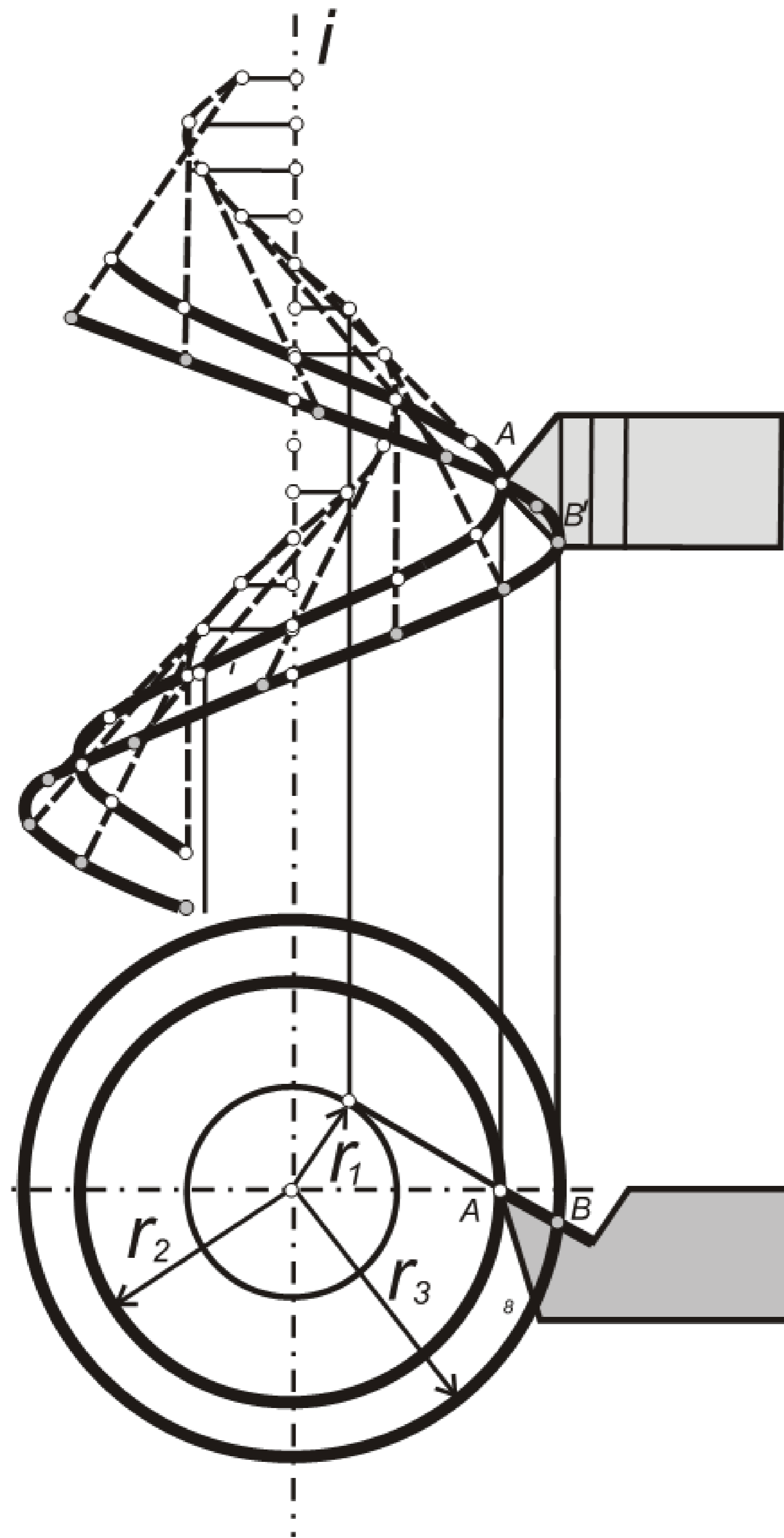


Рисунок 4 – Підбір підкладної пластини з потрібним значенням кута λ

| | | | | | | |
|-----------|--------------|-------|------|---|--------|---------|
| | | | | MP.ПМКМ-53.02.00.000 | | |
| Взм. Лист | № док.м. | Підп. | Дата | Пропозиції щодо вибору кута нахилу різальної крайки | | |
| Розроб. | Сидоров Ю.О. | | | Лист | Маса | Масштаб |
| Проб. | Ониська О.Р. | | | Лист | Листов | 1 |
| Т.контр. | Ониська О.Р. | | | ІФНТУНГ | | |
| Н.контр. | Ониська О.Р. | | | ПМКМ-21-1 | | |
| Утв. | Ониська О.Р. | | | Формат А1 | | |

Розрахунок гіперболічного профілю різальної крайки різця



$$\Delta_i = \frac{(r \cdot \sin \gamma)^2 / \operatorname{tg} \beta}{\frac{r_i}{\operatorname{tg} \beta} + \sqrt{\left(\frac{r_i}{\operatorname{tg} \beta}\right)^2 - \left(\frac{r \cdot \sin \gamma}{\operatorname{tg} \beta}\right)^2}} = \frac{r^2 \cdot \sin^2 \gamma}{r_i + \sqrt{r_i^2 - (r \cdot \sin \gamma)^2}}$$

Формула 1 – Залежність функціонального типу між величинами зміщень у профілю гіперболи різальної кромки різця, де:
r – малий радіус конуса
r_i – конусний радіус у довільній точці величина статичного кута

Рисунок 1 – Схема отримання гвинтової поверхні при застосуванні різця із ненульовим значенням переднього кута. На схемі позначено: *r*₁ – радіус вихідного циліндра, *r*₂ – внутрішній радіус нарізі, *r*₃ – зовнішній радіус нарізі

| | | | | | | |
|-----------|--------------|-------|------|---|---------|---|
| | | | | MP.ПМКМ-53.05.00.000 | | |
| Взм. Лист | № док.м. | Підп. | Дата | Аналітичний розрахунок гіперболічного профілю | | |
| Розраб. | Сидоров Ю.О. | | | Лист | Масштаб | 1 |
| Проб. | Онисько О.Р. | | | Листов | | |
| Т.контр. | Онисько О.Р. | | | ІФНТУНГ ПМКМ-21-1 | | |
| Н.контр. | Онисько О.Р. | | | Формат А1 | | |
| Утв. | Онисько О.Р. | | | Копіював | | |

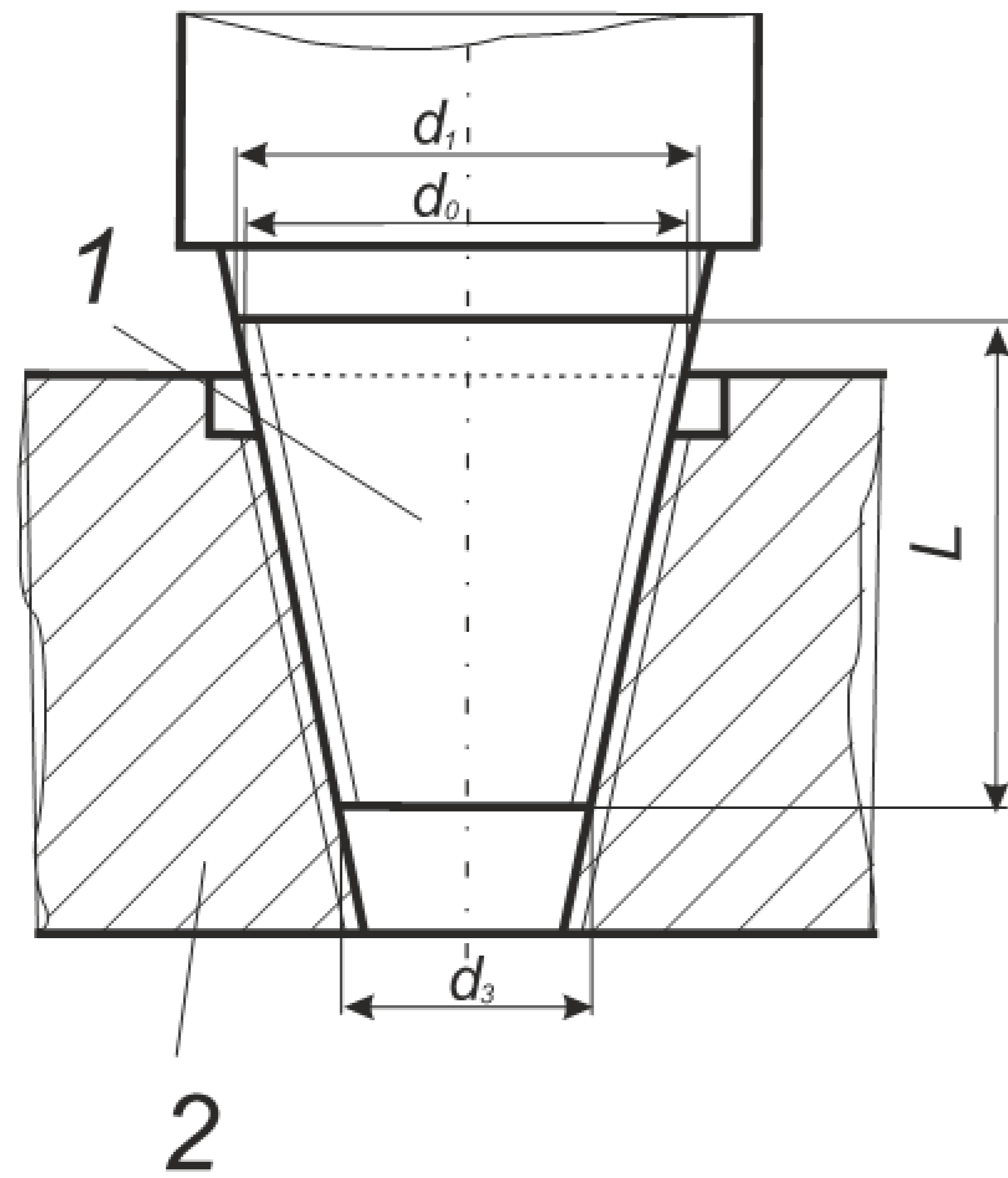


Рисунок 1 – Схема розміщення деталей нарізеного з'єднання у момент встановлення ніпеля у муфту.
Цифрами позначено: 1 – ніпель, 2 – муфта.

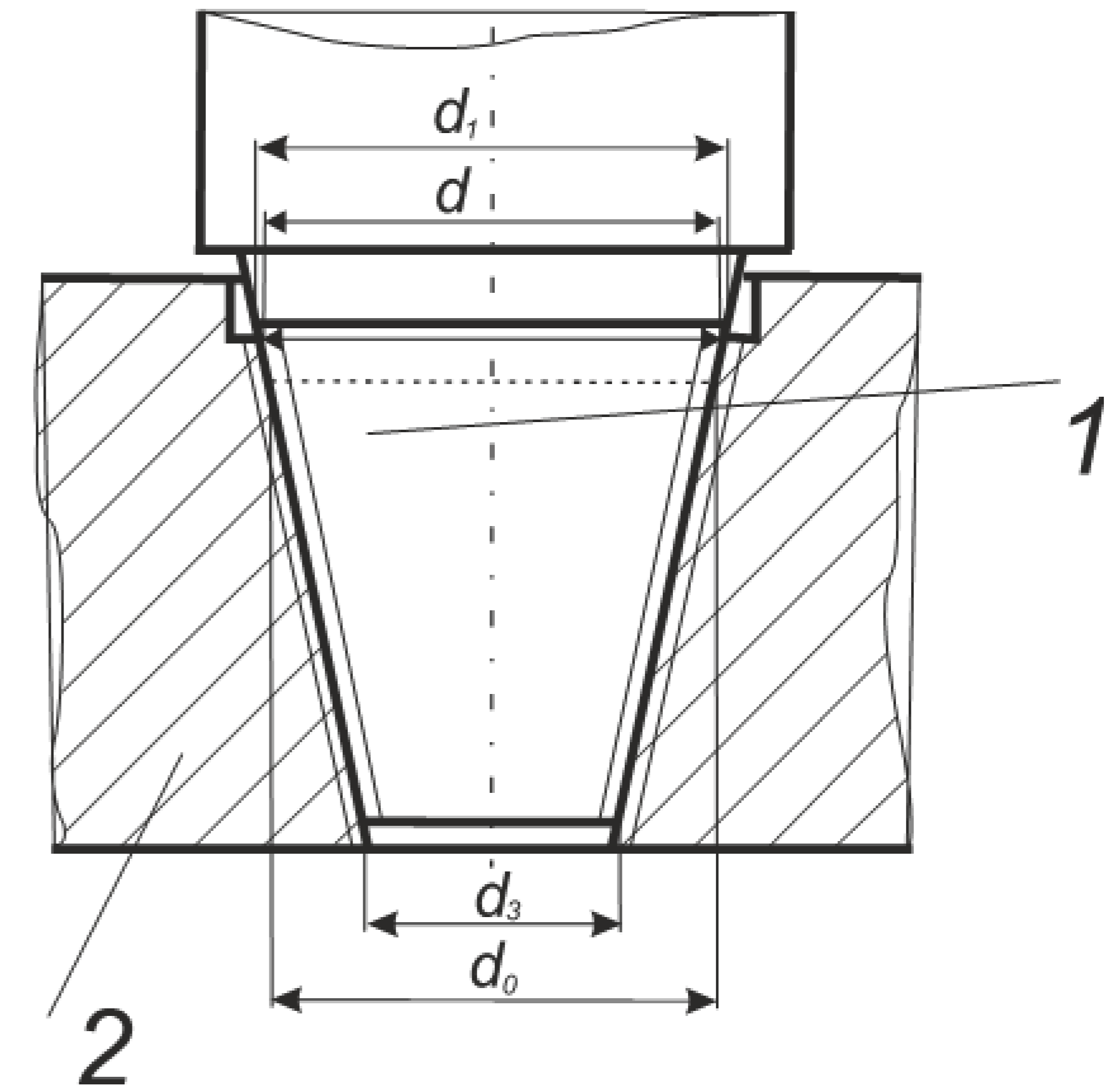


Рисунок 2 – Схема розміщення деталей нарізеного з'єднання у період закручування ніпеля у муфту.
Цифрами позначено: 1 – ніпель, 2 – муфта.

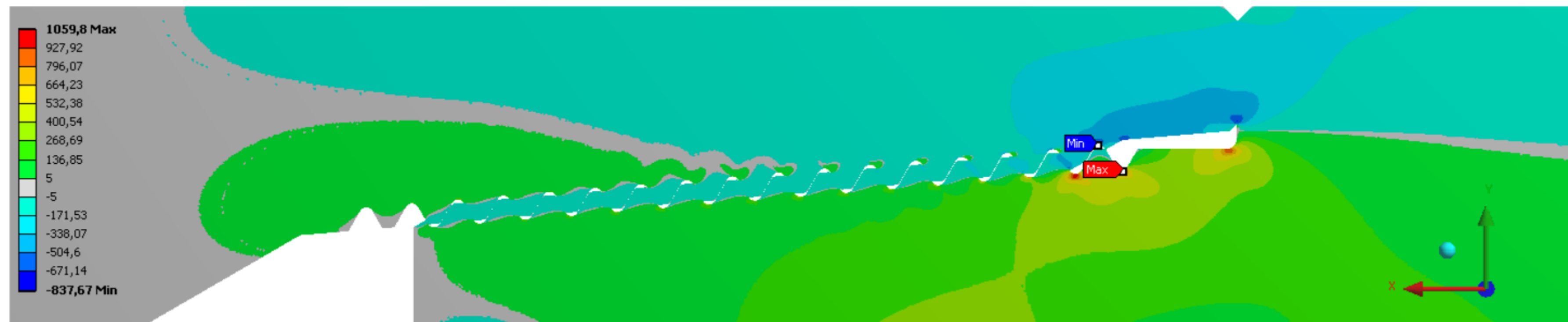


Рисунок 3 – Моделювання навантажень у середовищі ANSYS

$$F_k = \frac{\pi m}{4 \cos \alpha} \left[\left(d_1 - 2h + KP_1 \cdot m \right)^2 - \left(d_1 - KL \right)^2 \right]$$

Формула 1 – залежність площі взаємного контакту поверхонь ніпеля та муфти під час їх безпосереднього згвинчування з певною кількістю обертів m

| | | | | | | |
|-----------|--------------|-------|------|---|--------|---|
| | | | | MP.ПМКМ-53.06.00.000 | | |
| Взм. Лист | № док.м. | Підп. | Дата | Теоретичні дослідження контактних тисків у різьбових з'єднаннях | | |
| Розраб. | Сидоров Ю.О. | | | | | |
| Проб. | Онисько О.Р. | | | | | |
| Т.контр. | Онисько О.Р. | | | | | |
| Н.контр. | Онисько О.Р. | | | Лист | Листов | 1 |
| Утв. | Онисько О.Р. | | | ІФНТУНГ ПМКМ-21-1 Формат А1 | | |