

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА  
МР.ПМКм-343.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-22-1

Будзан Богдан

Миколайович

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інженерної механіки та робототехніки  
Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Будзан Богдан Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.1.9  
(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів  
на точність профілю конічної нарізи  
(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування  
(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

Б. М. Будзан

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ

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

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри КМВ

професор Панчук В. Г.

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

Рецензент

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

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

м. Івано-Франківськ — 2024 рік

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

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри КМВ**

Панчук В. Г.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023

року

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

**Будзан Богдан Миколайович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів на точність профілю конічної нарізи

керівник роботи Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "19" грудня 2023 року № 724/7

2. Строки подання студентом роботи 15 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Методичні вказівки, Література з питань проектування нарізей, Патенти, ДСТУ;

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

Вступ. РОЗДІЛ 1 – Технологічні процеси накатування нарізевих поверхонь, РОЗДІЛ 2 – Накатування конічної нарізи РОЗДІЛ 3 – Скінчено-елементне моделювання накатування конічної нарізи, Висновки, Список використаної літератури, Додатки.

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

1. Схеми накатування нарізей – 1 лист А1. Схеми конструкції ролика – 1 лист А1.

2. Зношені нарізи – 1 лист А1. 3. Деталі бурового замка – 1 лист А1. 4. Технологія

виготовлення нарізей – 1 лист А1. 5. 3д-моделі та схеми моделювання нарізей – 1 лист А1. 6. Схема виконання досліджень – 1 лист А1. 7. Результати досліджень – 1 лист А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	<u>Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ</u>	19.12.23	19.12.23
2	<u>Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ</u>		
3	<u>Роп'як Любомир Ярославович, д-р техн. наук, проф. кафедри КМВ</u>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Літературний та патентний пошук	22.12.2023	
2	Загальна характеристика	03.01.2024	
3	Проектна частина	12.01.2024	
4	Дослідницька частина	19.01.2024	
	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	23.01.2024	
5	Захист магістерської роботи	29.01.2024	
6			

Студент \_\_\_\_\_ Будзан Б. М.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Роп'як Л.Я.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали)

“ 19 ” грудня 2023 р.

## Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів на точність профілю конічної нарізі».

Дана робота складається із 80 аркушів. До неї входять 25 рисунків, 1 додаток. Було використано 44 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження – технологія накатування конічних нарізей.

Предмет дослідження – кінематика процесу накатуванні конічних нарізей, конструктивні параметри різьбонакатного інструменту, напружено-деформований стан інструменту та заготовки.

Мета роботи – підвищення якості та продуктивності виготовлення конічних нарізей за рахунок розширення області застосування накатування, управління кінематикою процесу та конструктивними параметрами різьбонакатного інструменту.

Основним завданням роботи є проаналізувати методи накатування нарізей, зокрема конічних; визначити дефекти, які виникають під час оброблення; проаналізувати технологію накатування конічних нарізей; виконати СКЕ моделювання конічних нарізей та встановити вплив геометричних параметрів інструменту на точність профілю конічної нарізі.

Відповідно до завдання у роботі проведено аналіз схем накатування нарізей та виокремлено чинники, що впливають на якість накатуванні нарізі. Розглянуто матеріали виробів, інструменти для накатування конічної нарізі та технологічний процес виготовлення виробів із нарізками. Проведено скінчено-елементне моделювання процесу накатування конічної нарізі. Досліджено вплив параметрів накатних роликів на точність профілю конічної нарізі.

Ключові слова: конічна нарізь, профіль нарізі, накатний ролик, точність обробки, експлуатаційні показники.

Студент Будзан Б. М.



## Summary

Master's thesis on the topic: "Investigation of the influence of the geometrical parameters of the rolling rollers on the accuracy of the profile of the conical thread."

This work consists of 80 sheets. It includes 25 drawings, 1 appendix. 44 bibliographic titles were used.

The object of research is the technology of rolling conical threads.

The subject of the research is the kinematics of the process of rolling conical threads, structural parameters of the thread rolling tool, the stress-strain state of the tool and the workpiece.

The purpose of the work is to improve the quality and productivity of the production of conical threads due to the expansion of the area of application of knurling, control of the kinematics of the process and design parameters of the thread knurling tool.

The main task of the work is to analyze the methods of rolling narzes, in particular conical ones; identify defects that occur during processing; to analyze the technology of rolling conical threads; to carry out SKE modeling of conical threads and establish the influence of the geometrical parameters of the tool on the accuracy of the profile of the conical thread.

In accordance with the task, the work analyzed the schemes of knurling and identified the factors affecting the quality of knurling. The materials of products, tools for rolling a conical thread and the technological process of manufacturing products with threads are considered. Finite-element modeling of the process of rolling a conical thread was carried out. The effect of the parameters of the rolling rollers on the accuracy of the profile of the conical thread was studied.

Key words: conical thread, thread profile, rolling roller, processing accuracy, performance indicators.

Student Budzan B. M

## ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 – ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ НАКАТУВАННЯ НАРІЗЕВИХ ПОВЕРХОНЬ	13
1.1 Схеми накатування нарізей	13
1.2 Основні проблеми при накатуванні нарізі, що впливають на якість виробу	29
РОЗДІЛ 2 – НАКАТУВАННЯ КОНІЧНОЇ НАРІЗИ	35
2.1 Інструменти для накатування конічної нарізі	35
2.2 Опис технологічного процесу виготовлення конічної нарізі	42
2.3 Матеріали та методи технології накатування деталей та випробовувань	42
2.4 Результати досліджень	48
2.5 Перевірка роботоздатності інструмента для фрикційного зміцнення конічних нарізей	54
РОЗДІЛ 3 – СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАКАТУВАННЯ КОНІЧНОЇ НАРІЗИ	59
3.1 Проблеми СКЕ моделювання накатування нарізі	59
3.2 Методика проведення СЕ досліджень у програмі DEFORM-3D (тріальна версія)	63
3.3 Результати моделювання впливу параметрів накатних роликів на точність профілю конічної нарізі	63
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	72
Додатки.....	.....

					<i>МР.ПМКм-343.00.00.000 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Будзан Б.М.</i>			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		<i>Роп'як Л.Я.</i>				4	
Затверд.		<i>Панчук В.Г.</i>			<i>Пояснювальна записка</i>		
					<i>ІФНТУНГ ПМІ-22-1К</i>		

## ВСТУП

У сучасній промисловості досить часто використовуються з'єднання з конічними нарізками. Найбільш важливими областями їх застосування є: нафтова промисловість, газова промисловість, будівництво тощо. В умовах розвитку сучасної техніки підвищуються вимоги до конічних нарізаних з'єднань. У зв'язку з цим є необхідність підвищення ефективності методів формоутворення конічних нарізаних.

Відомо, що одним з найбільш ефективних способів формоутворення та зміцнення нарізаних є обробка пластичним деформуванням – накатування. Накатування дозволяє отримати нарізаних з більшою втомною і статичною міцністю, ніж нарізування. Накатана нарізаних має меншу шорсткість поверхні і не схильна до задирих у процесі згвинчування-розгвинчування.

Однак для обробки конічної нарізаних процес накатування на даний момент застосовується вкрай рідко. Розширення сфери застосування накатування для отримання конічної нарізаних стримується недостатньою вивченістю процесу.

Накатуванню зовнішніх циліндричних нарізаних присвячені роботи А. Кепхарта, А.В. Кірічека, В.В. Лапіна, Е.П. Лугового, Ю.А. Миропільського, М.І. Писаревського, Т.А. Султанова, В.Г. Якухіна, А.І. Якушева та інших дослідників. Вивченню процесів накатування конічних нарізаних не приділялося достатньо уваги. У своїх працях М.І. Писаревський дає рекомендації щодо розрахунку геометричних розмірів роликів для накатування конічної нарізаних. Проте, дані роботи засновані на практичному досвіді та мають фрагментарний характер. Систематичні науково обгрунтовані рекомендації щодо накатування конічних нарізаних у існуючій на сьогоднішній день літературі відсутні.

Накатування конічних нарізаних має суттєві відмінності в порівнянні з накатуванням циліндричних. При накатуванні конічних нарізаних з осьовою подачею майже всі витки ролика є одночасно і забірними і калібруючими і вступають в

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

роботу практично одночасно. У зв'язку з цим сили деформування при накатуванні конічних нарізей вище, ніж при накатуванні циліндричних.

Найбільші складності при накатуванні конічних нарізей виникають через те, що осьове переміщення інструменту або заготовки викликає зміну радіального обтискання. При цьому навіть невеликі осьові рухи можуть призвести до поломки інструменту. Однією з особливостей накатуванні конічних нарізей є різниця сил, що діють на бічні сторони витка ролика в процесі накатування.

Через різницю діаметрів протилежних кінців ролика дотичні швидкості різних витків при накатуванні конічних нарізей мають різну величину, що викликає більше прослизання ролика щодо заготовки порівняно з накатуванням циліндричних нарізей і може значно знизити стійкість різьбонакатного інструменту.

У зв'язку з вище сказаним можна дійти висновку, що для підвищення ефективності накатуванні конічних нарізей потрібні поглиблені дослідження цього процесу.

**Мета роботи:** підвищення якості та продуктивності виготовлення конічних нарізей за рахунок розширення області застосування накатування, управління кінематикою процесу та конструктивними параметрами різьбонакатного інструменту.

Задачі дослідження:

- проаналізувати основні методи накатування нарізей, зокрема конічних;
- визначити основні дефекти, які виникають під час цього;
- проаналізувати технологію накатування конічних нарізей;
- виконати СКЕ моделювання конічних нарізей та встановити вплив геометричних параметрів інструменту на точність профілю конічної нарізі.

Об'єктом досліджень є процес накатуванні конічних нарізей.

Предметом досліджень є кінематика процесу накатуванні конічних нарізей, конструктивні параметри різьбонакатного інструменту, напружено-деформований стан інструменту та заготовки.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Методи досліджень. Теоретичні дослідження базуються на наукових засадах технології машинобудування, теорії пластичності, чисельних методів розв'язання систем диференціальних рівнянь (метод кінцевих елементів). Експериментальні дослідження базуються на теорії планування експерименту, статистичної обробки експериментальних даних та регресійного аналізу.

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

# РОЗДІЛ 1 – ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ НАКАТУВАННЯ НАРІЗЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

## 1.1 Схеми накатування нарізей

Нарізеві деталі — це особливий вид деталей, у яких для з'єднання з об'єктом або один з одним використовується нарізь. Метод накатування для оримання нарізей полягає у тому, що у заготовці з металу з допомогою устаткування тиском метал видавлюється і накочується на вершину нарізі.

Накатка нарізі – обробка деталі без зняття стружки із зусиллям, що перевищує границю текучості, що робить процес незворотнім. Накатування нарізі має ряд технічних переваг, таких як: очність профілю нарізі, міцність нарізі, висока якість бічної поверхні, висока швидкість та продуктивність. Проте, накатування нарізі має і недоліки: високі вимоги до пластичності матеріалу, висока вартість інструментів та витратних матеріалів (накатних роликів).

Розглянемо **процес накатування нарізі роликami**. Цей процес заснований на засадах радіальної подачі. На рисунку 1.1 описаний сам процес накатування нарізі: рухомий ролик (2) подається у бік заготовки (3) та нерухомого ролика (1). Для утворення нарізі задіяні обидва ролики однаковою мірою. У зв'язку з цим ролики переміщуються до центру заготовки на необхідну відстань, яка дорівнює висоті ніжки нарізі. Але повинні дотримуватися наступної умови: діаметр заготовки повинен дорівнювати середньому діаметру нарізі.

Саме нарізь виходить у тому випадку коли витки роликів зближуються і вдавлюються в заготовку утворюючи нарізь.

Ролики здійснюють процес обертання тільки в один бік з певною однаковою швидкістю, і змушують заготовку робити обертальні рухи без ковзання. Для того, щоб правильно сформувати нарізь під час процесу накатування між заготівлею та роликами не повинно бути ковзання. Встановлення заготівлі відбувається наступним методом: її встановлюють на опорну лінійку (4), при цьому вона упирається торцем в упор (5). На робочій частині лінійки є пластина з твердого

					MP.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



спосіб це коли ролики мають однаковий розмір та процес обертання має різну кількість оборотів. Другий спосіб це коли ролики з різними діаметрами створюють обертання з рівними числами оборотів ( $n_1=n_2$ ) чи швидкостями кола ( $v_1=v_2$ ). У кожному з перерахованих способів напрямок обертання роликів має бути однаково. Розглянемо рисунок 1.2, на ньому зображено другий спосіб накатування нарізі. Він відбувається шляхом подачі заготовок (3) у вільний простір між роликами. Подача здійснюється або автоматично або вручну. Потім ролик з великим діаметром (1) та з більшою окружною швидкістю зтягує заготівлю у вільне простір між роликами (1 та 2). Після того, як заготовка закріпилася між роликами відбувається процес обертання та одночасне переміщення заготовки зі швидкістю яка дорівнює різниці половини окружних швидкостей роликів Також необхідно звернути увагу на те, щоб було правильно обрано пропорцію між середнім діаметром великого ролика  $D_{cp1}$  та веденого (меншого)  $D_{cp2}$  та між середніми діаметрами провідного ролика  $D_{cp1}$  та нарізі заготовки  $d_{cp}$ .

Згідно з даними, отриманими дослідним шляхом, заготовка подається самостійно вниз, якщо дотримується умова:  $D_{cp1}/D_{cp2} = 1,10: 1,25$ . Це означає, що малий ролик (ведений) повинен здійснювати менше число заходів, ніж ведучий.

$$D_{cp1} = d_{cpi}, \quad (1.1)$$

де  $i$  – кількість заходів вибирається від умови рівності кутів підйому нарізі ролика та заготівлі. Під час вибору кількості заходів необхідно взяти до уваги умову захоплення заготовки роликами. Ця умова залежить від коефіцієнта тертя та кількості оборотів заготовки, які необхідні для повного накатування нарізі.

					<i>MP.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

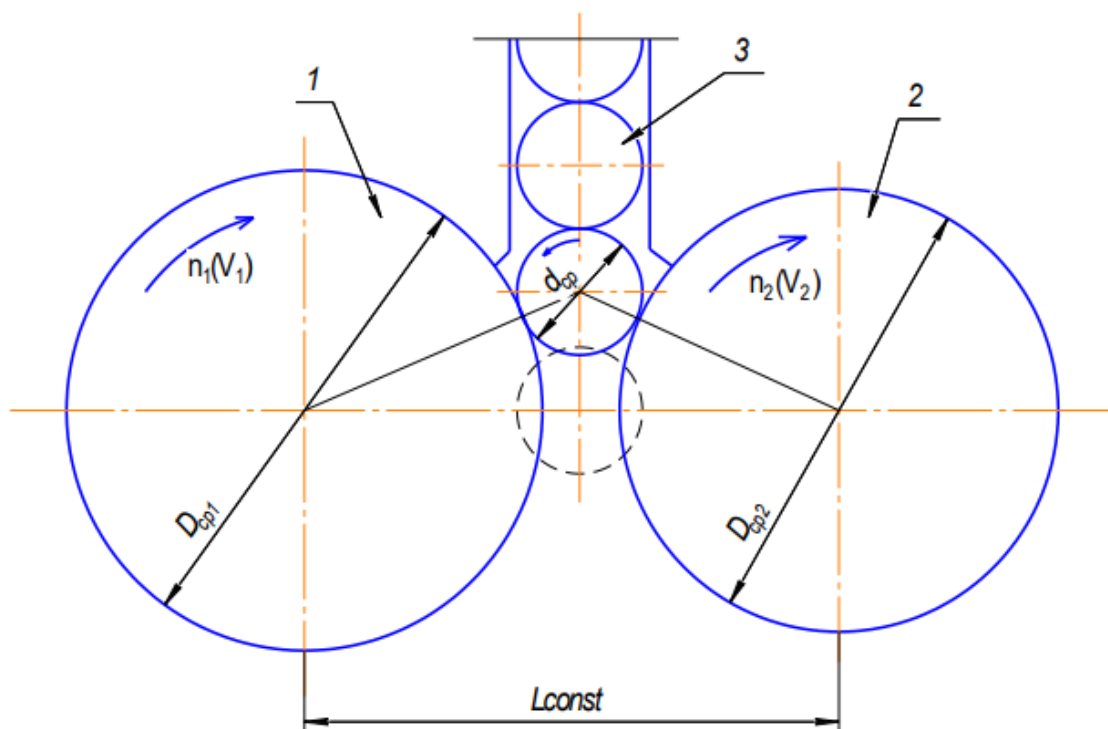


Рисунок 1.2 – Процес накатування нарізі роликками з різними діаметрами

Розглянемо **процес накатування плашками**. Накатування плоскими плашками відрізняється від накатування приводним циліндричним інструментом наявністю тільки тангенціальної подачі інструменту на загоовку. Накатування ж приводним циліндричним інструментом проводиться з різними напрямками подачі, а саме: тангенціальної, радіальної, поздовжньої (осьової) або комбінованої (радіально-осьової).

Метод накатування плоскими плашками можна розділити на кілька різновидів:

- накатування рухомою та нерухомою плашкою;
- накатування рухомий та двома нерухомими плашками;
- накатування нерухомою плашкою та рухомою з кількома забірними частинами;
- Накатування плашкою, яка має спеціальні вставки [10].

Існують кілька способів накатування зовнішньої нарізі з допомогою плоских плашок із тангенціальною подачею. Розглянемо їх коротку схему та рекомендовану сферу застосування.

Перший відомий і часто застосовуваний спосіб це накатування за допомогою двох плашок, одна з яких рухома, а друга нерухома (рисунок 1.3). Щоб застосувати

цей метод необхідно помістити заготовку між рухомою та нерухомою плашкою. Бічні сторони плашок складаються з прямолінійних поверхонь. Дані поверхні зроблені під кутом підйому нарізі та відповідають поперечним перерізам профілю нарізі. Рухома плашка рухається прямолінійно, здійснюючи зворотно-поступальні рухи. Обертання. Заготовка навколо осі – за рахунок тангенціального зусилля. Для того щоб, нанесений на плашку, негативний профіль нарізі передався на оброблювану заготовку необхідно застосувати радіальне зусилля, яке має бути спрямоване перпендикулярно до осі заготовки.

Достатня довжина калібруючих частин плашки, а також можливість застосування з максимальною точністю повзуна з напрямними дозволяє отримувати нарізі 1-го класу точності. Це є основною перевагою застосування цього способу.

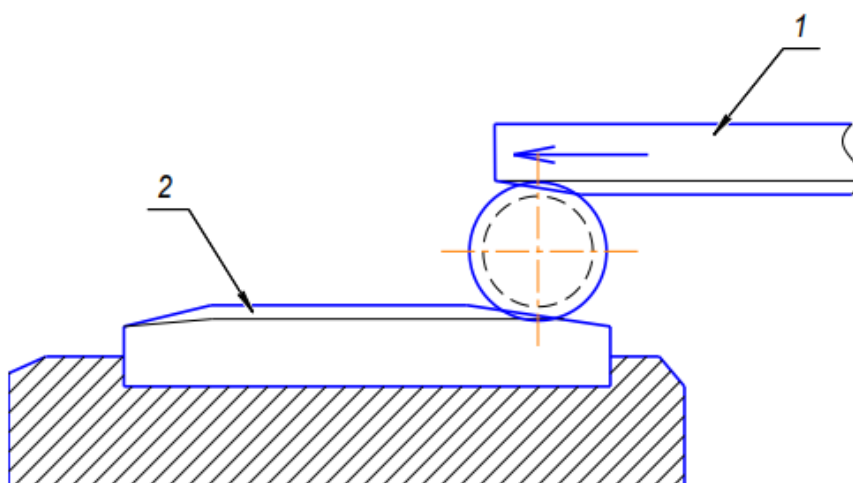


Рисунок 1.3 – Накатування двома плашками: 1 – рухома плашка, 2 – нерухома плашка

Даний метод застосовують для того, щоб виготовити такі деталі як: болт, гвинт, шпилька, шуруп та інші циліндричні вироби з нварізю або рифлення трикутного або трапецеїдального профілю [3].

Другий відомий спосіб накатування – це накатування трьома плашками. Одна з плашок є нерухомою, а дві інші рухомі. Цей метод допомагає збільшити продуктивність роботи у 2 рази. Для того щоб зробити накатування нарізі трьома плашками необхідно подати заготовку до двох нерухомих плашок. Процес

накатування нарізі на одній заготовці здійснюється під час прямого ходу рухомої плашки, а при зворотному русі на іншій заготовці.

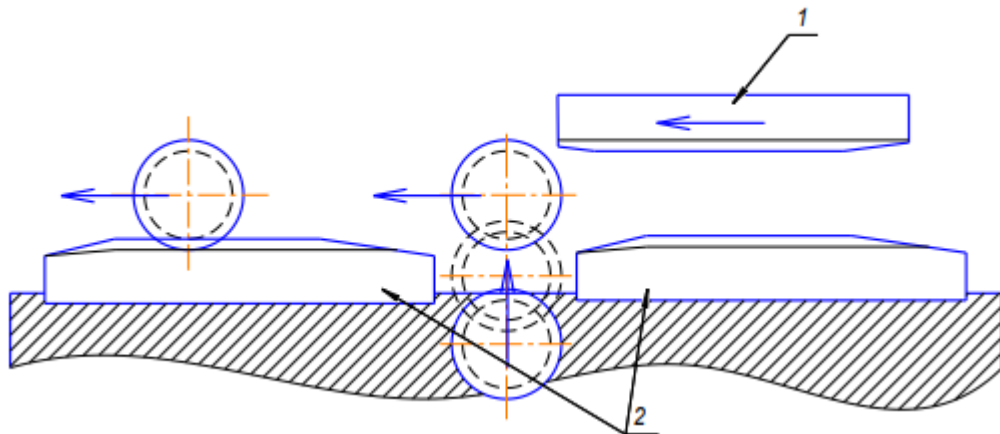


Рисунок 1.4– Накатування трьома плашками. Прямий хід: 1 –рухома плашка, 2 – нерухомі плашки

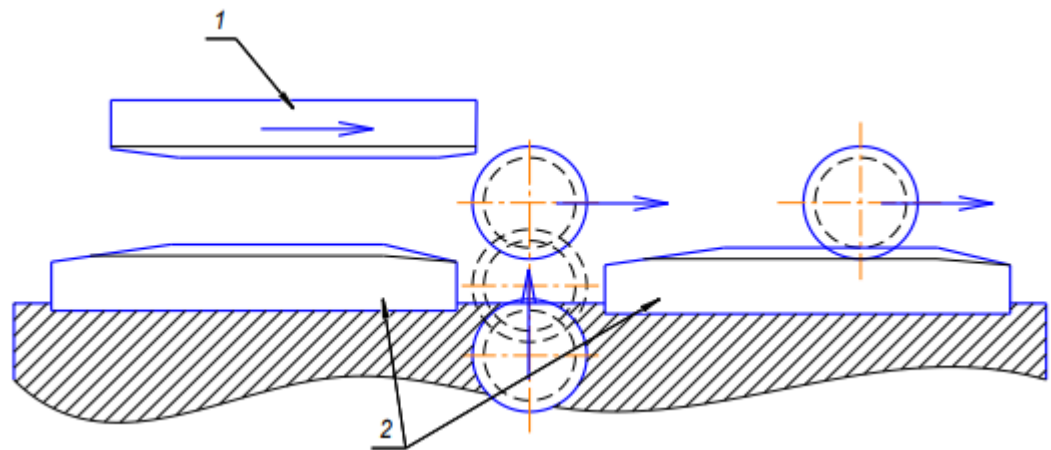


Рисунок 1.5 – Накатування трьома плашками. Зворотний хід: 1 –рухома плашка, 2 – нерухомі плашки

Цей метод, як і і накатування двома плашками, застосовується для виготовлення таких деталей як: болт, гвинт, шпилька, шуруп та інші циліндричні вироби з нарізями або рифленнями трикутного або трапецеїдального профілю.

Третій метод накатування – це накатування спеціалізованими плашками, одна з яких буде нерухома, а друга плашка буде рухома з кількома забірними частинами. Механізм спеціалізованої рухомої плашки складається з двох профільованих забірних частин і дозволяє проводити процес накатування за прохід відразу двох заготовок (рисунок 1.6).

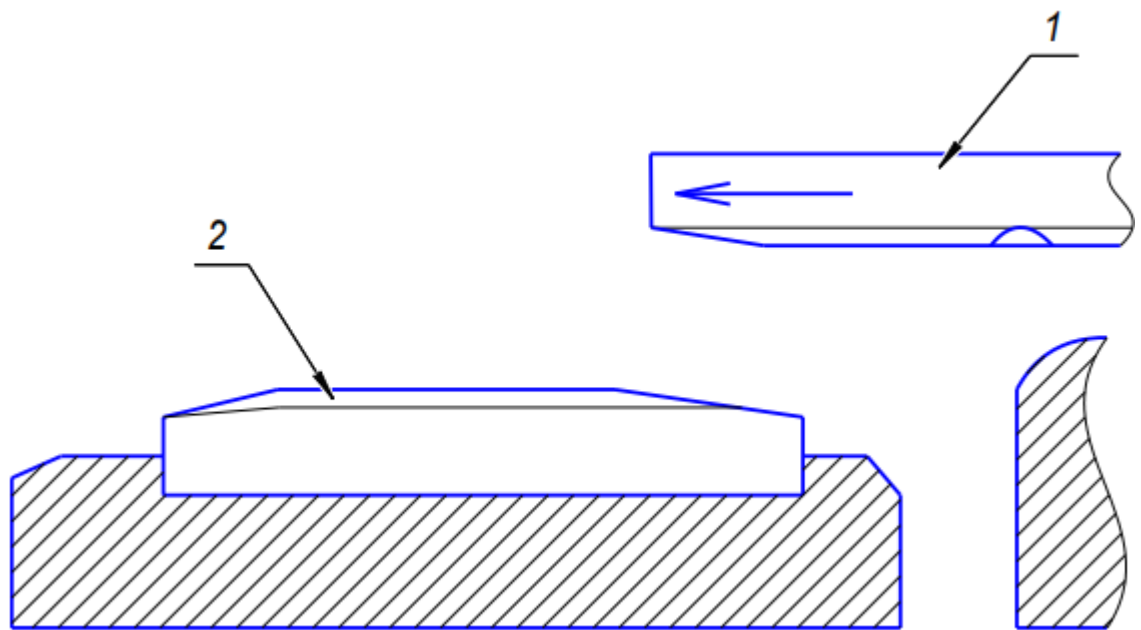


Рисунок 1.6– Накатування спеціалізованими плашками: 1 – рухома плашка з кількома забірними частинами, 2 – нерухома плашка

Даний метод накатування використовується для виготовлення тільки таких деталей як: болти, шурупи, гвинти, шпильки та інші циліндричні вироби. Останнім методом накатування зовнішніх нарізей плоскими плашками з тангенціальною подачею буде метод накатування плашками з спеціалізованими вставками. У цьому методі довжина вставок відповідає довжині нарізі великого діаметра, що накатується (рисунок 1.7). Даний метод дозволяє одночасно накатування нарізі на кількох циліндричних заготовках, таких як болт. Циліндричні заготовки повинні мати різні діаметри, і відрізнятись приблизно на 0,25 – 0,6 мм.

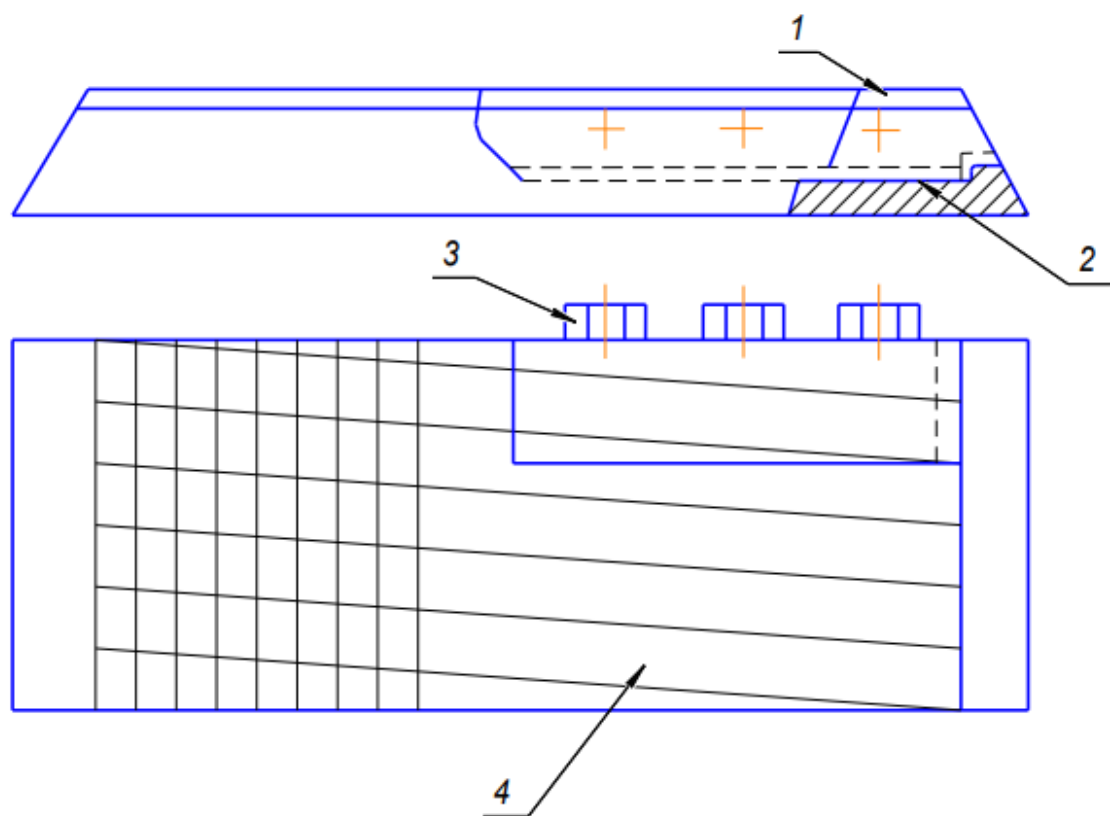


Рисунок 1.7– Плашки із спеціальними вставками: 1 – спеціальні вставки, 2 – паз, 3 – болт, 4 – плашка

Тепер розглянемо кілька способів **накатування циліндричним інструментом**. Цей процес здійснюється за рахунок тангенціальної, радіальної, комбінованої або поздовжньої подачі інструменту на оброблювану нами заготовку. Тангенційна подача заготовок виконується різними інструментами: нарізевими роликками, що обертаються, з нарізевими сегментами; потильованими роликками; роликками, які мають різні колові швидкості обертання.

Існують два різновиди схем накатування: накатування приводним циліндричним інструментом та непривідним циліндричним інструментом із тангенціальною подачею. Першим способом накатування приводним циліндричним інструментом є спосіб накатування з тангенційною подачею. Він поділяється на кілька видів.

**Накатування за допомогою нарізевого ролика, що обертається, і нарізевих сегментів (рухливі або нерухомі ролики) – планетарний процес накатування**

(рисунок 1.8). Цей процес накатування проводиться на планетарних верстатах. Особливістю даного методу є те, що має бути відповідність між профілем нарізи і зовнішньої поверхні накатного ролика, а також між внутрішньою поверхнею сегмента. Під час процесу накатки заготовка повинна знаходитися між робочою поверхнею ролика та сегментів. Потрібно взяти до уваги те, що зі збільшенням сегмента зменшується шлях накатування і відповідно збільшується продуктивність процесу, який має пряму залежність від номінального діаметра різьблення при наочуванні та від стану пластичності оброблюваного матеріалу заготовлі. Широке застосування на виробництві цей метод не знаходить внаслідок високої вартості обладнання та інструменту, що робить його економічно недоцільним. Даний вид накатування застосовується у великосерійному та масовому виробництві для виготовлення таких деталей як: болт, шпильки, гвинти і т.д. Дані деталі мають нарізь другого та третього класу точності.

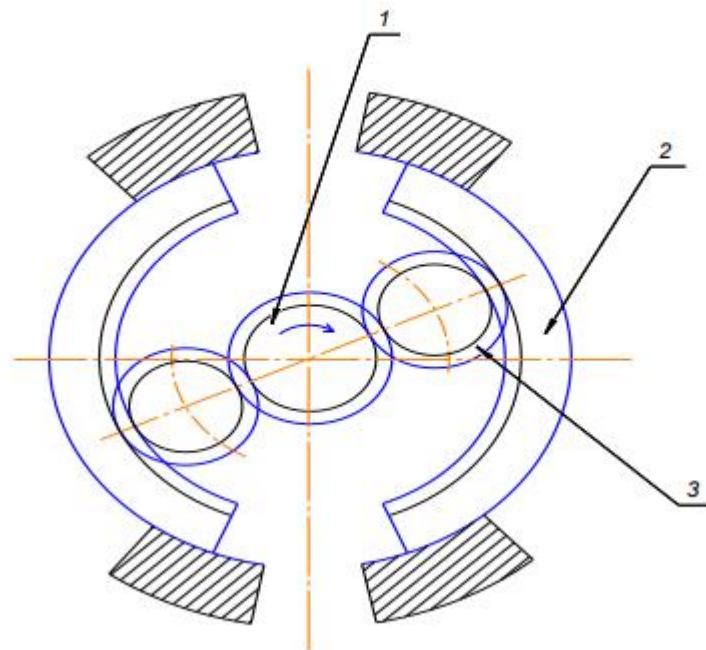


Рисунок 1.8 а – Планетарний процес накатування: 1 – нерухомі сегменти; 2 - обертовий нарізевий ролик; 3 – деталі, що обробляються

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

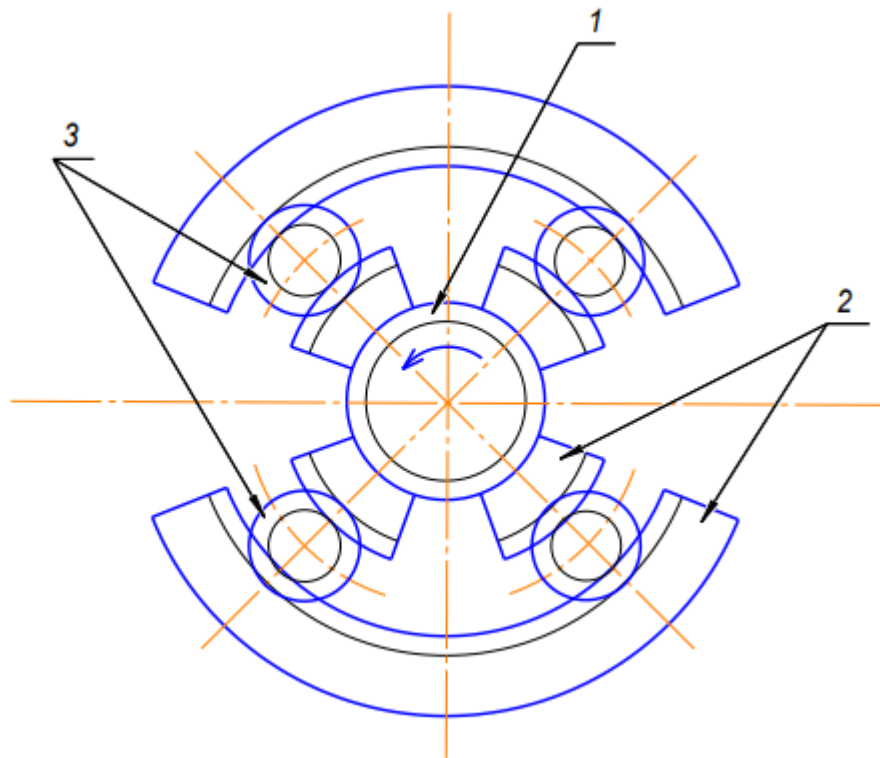


Рисунок 1.8 б – Планетарний процес накатування: 1 – обертовий нарізевий ролик; 2 – рухливі сегменти; 3 – деталі, що обробляються

**Накатування спеціалізованими (затилкованими) роликами** (рисунок 1.9). Затилковані ролики відрізняються наявністю на робочій поверхні одного або обох роликів наступних частин: виїмка, забірна частина, що калібрує і скидає. Виїмка профілюючої поверхні не має і служить як для введення оброблюваної заготовки в зону накатування і відведення заготовки після закінчення процесу накатування нарізі. Скидаюча і калібруюча частини мають повний профіль нарізі. Забірна частина, внаслідок потилиці по висоті, має неповний профіль. Так як у зближенні роликів при накатуванні нарізі немає необхідності, значно спрощується кінематична схема різьбонакатного верстата.

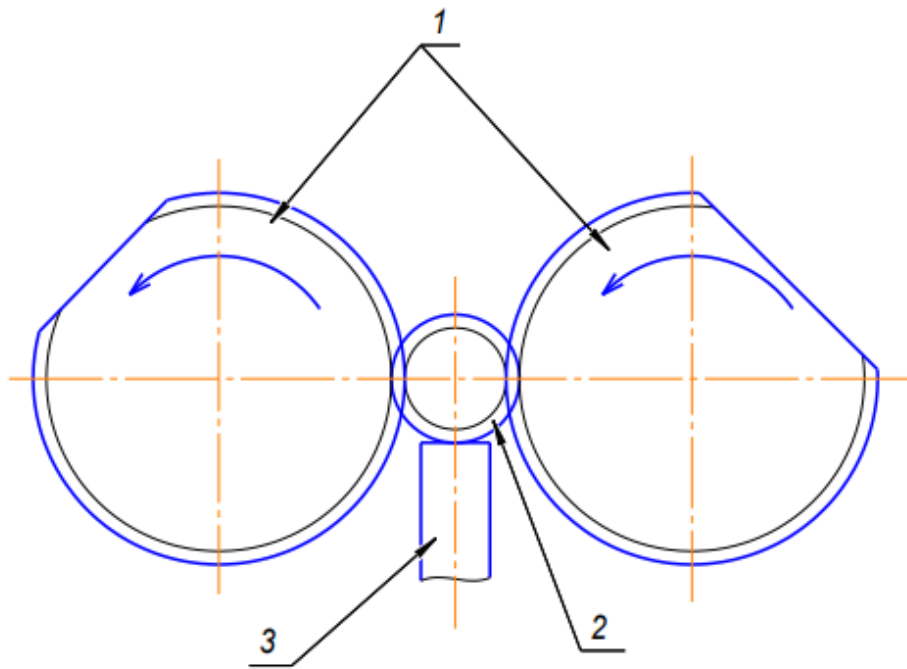
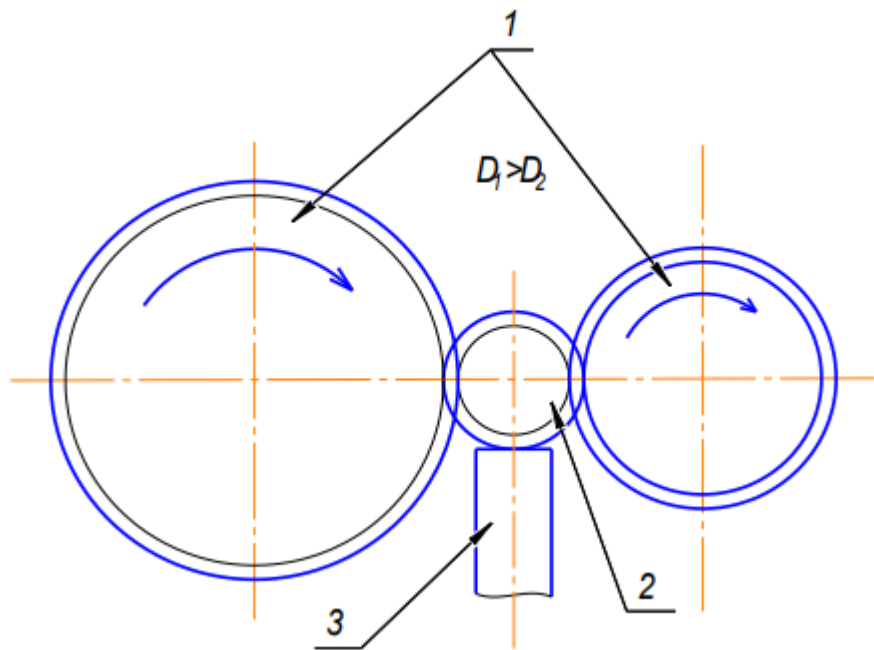


Рисунок 1.9 – Накатування затилованими роликми: 1 – затильовані нарізеві ролики, що обертаються; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

Даний спосіб накатування використовується для виробництва таких деталей як: гвинти, пустотілі нарізеві деталі, болти, мітчики, нарізеві калібри та інші вироби з конічною та циліндричною наріззю трикутного трапецеїдального та круглого профілю.

**Накатування за допомогою роликів з різним діаметром кола**, що мають однакову кількість оборотів (рисунок 1.10). Даний метод використовується для накатування дрібних шліців, рифлень, зубів, різних різальних інструментів (розгортки, кінцеві фрези та ін.), а також використовують для калібрування тіл, що обертаються, для полірування, правки валиків та інших схожих деталей, а також для того, щоб створити кільцеві виступи та канавки. Також накатування роликми з різним діаметром використовують для накатування різних профілів: ромбічної, прямої та кутової форми.



Рисунок

1.10 – Ролики з різним діаметром, але з однаковим числом оборотів: 1 - нарізеві ролики різних діаметрів, що обертаються; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

**Накатування роликами з однаковим діаметром, але з різною кількістю оборотів** (рисунок 1.11). Цей метод, як і метод накатування за допомогою роликів з різними діаметрами кола, використовується для накатування дрібних шліців, рифлень, зубів, різних різальних інструментів (розгортки, кінцеві фрези та ін.), а також використовують для калібрування тіл, що обертаються, для полірування, правки валиків та інших схожих деталей, а також для того, щоб створити кільцеві виступи та канавки. Накатування роликами з різними діаметрами використовують для накатування різних нарізевих профілів: ромбічної, прямої та кутової форми.

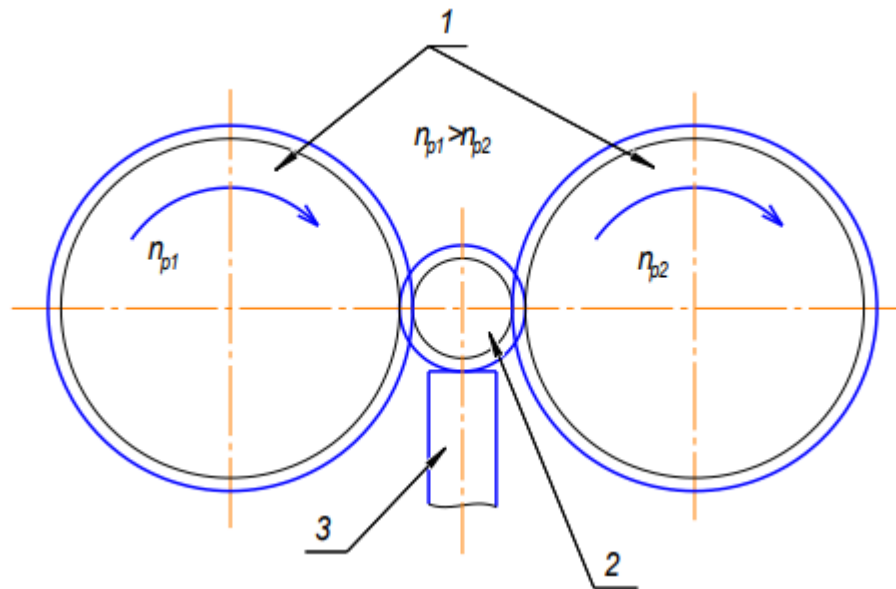


Рисунок 1.11 – Ролики з однаковими діаметрами, але з різним числом оборотів: 1 – нарізеві ролики, що обертаються, однакового діаметра; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

Другим способом накатування приводним циліндричним інструментом є спосіб накатування з радіальною подачею. він також має кілька різновидів.

**Накатування за допомогою одного ролика з гвинтовою нарізкою** (рисунок 1.12). Даний метод використовують у накатуванні головки болта, різьбонакатування ділянки за буртиком, а також для інших деталей з відносно не довгим стрижнем, які в основному складаються з металів кольорових металів.

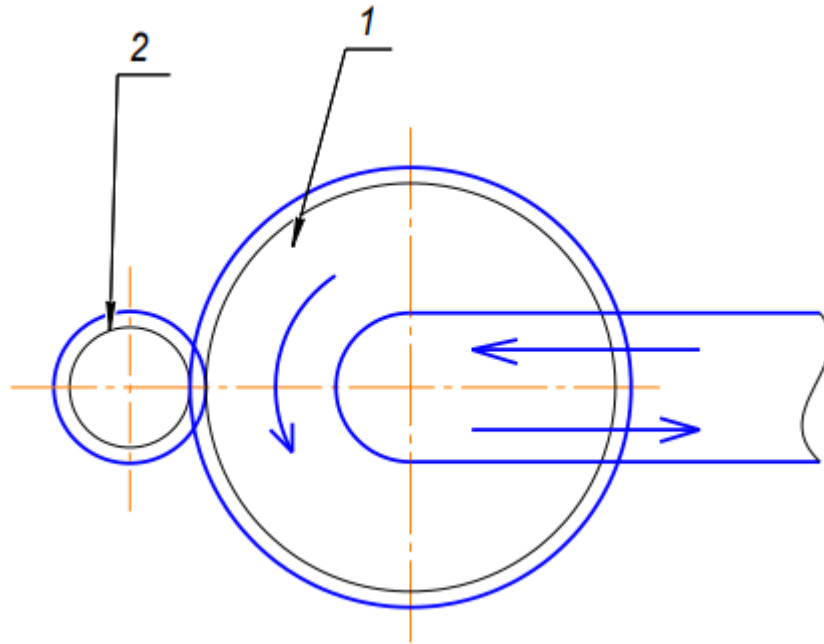


Рисунок 1.12 – Накатування з радіальною подачею одним роликком з гвинтовою нарізкою: 1 - ролик, що обертається; 2 - оброблювана деталь 2. накатування двома багатозахідними роликками з гвинтовою нарізкою

Даний метод використовується для накатування нарізи на наступні деталі: болти, гвинти, шпильки та інші деталі. Також цей спосіб використовують для створення мітчиків, мікрометричних та ходових гвинтів, а також для нарізевих калібрів.

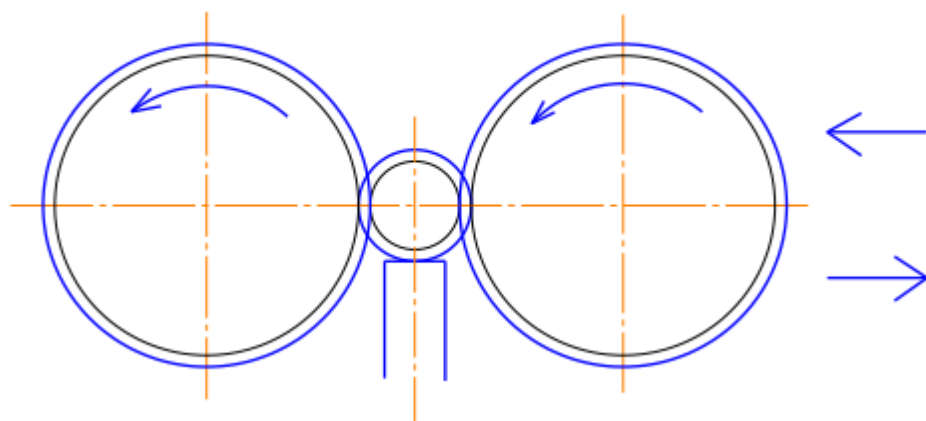


Рисунок 1.13 – Накатування з радіальною багатозахідною подачею роликками з гвинтовою нарізкою

**Накатування за допомогою трьох роликів з гвинтовою нарізкою** – це накатування за допомогою поздовжньої (осьової) подачі одним, двома або трьома

роликами з кільцевою нарізкою. Даний спосіб має аналогічні схеми як при роботі з радіальною подачею.

Під час обробки заготовки способом осьової подачі інструменту переміщення відбувається за допомогою обертання роликів за рахунок загвинчування або загвинчування самої заготовки. Процес накатування відбувається двома або трьома роликами з кільцевою нарізкою. Процес накатування відбувається шляхом руху заготовки вздовж власної осі, проте незмінною залишається відстань між осями роликів.

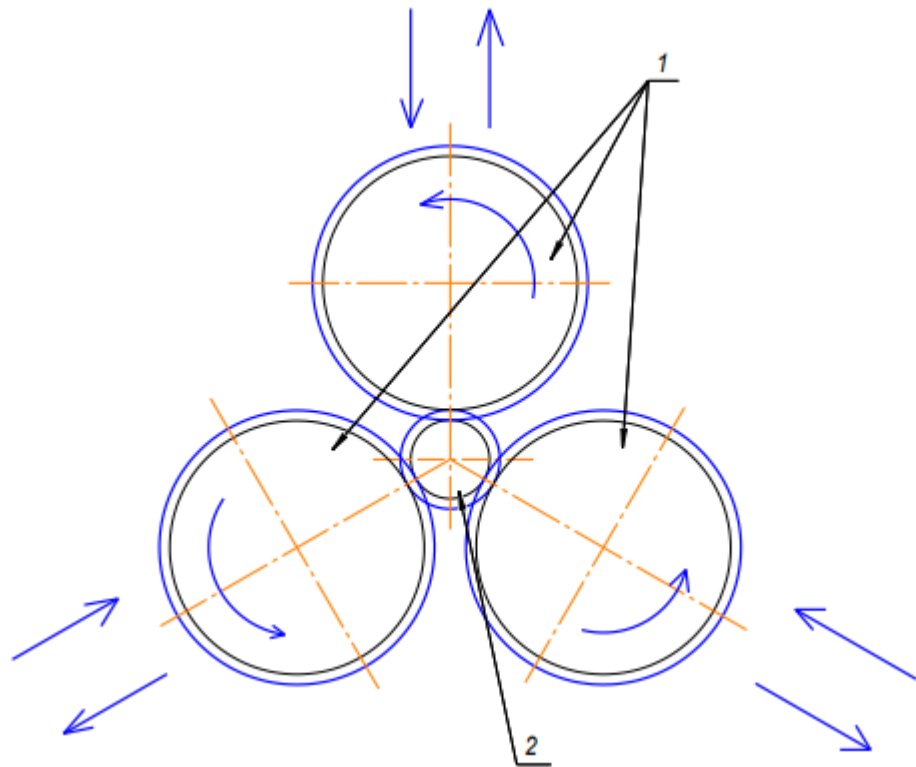


Рисунок 1.14 - Накатування з радіальною подачею за допомогою трьох роликів з гвинтовою нарізкою: 1 – ролики, що обертаються, з гвинтовою нарізкою; 2 - оброблювана деталь

Перевагою даного способу накатування є те, що накатувати нарізь на заготку можна будь-якої довжини, даний процес не залежить від ширини роликів.

Четвертий та останній спосіб різновиду накатування приводним циліндричним інструментом є **радіально-осьовий спосіб**. Даний метод характеризується нульовим кутом підйому нарізки ролика. Застосовується конструкція роликів з кільцевою нарізкою. Дана конструкція виглядає наступним

чином: осі роликів мають нахил у бік осі деталі, що накочується під кутом підйому нарізі  $\alpha = \gamma$  (рисунок 1.15). Цей спосіб використовується тільки для виготовлення довгих видів нарізей.

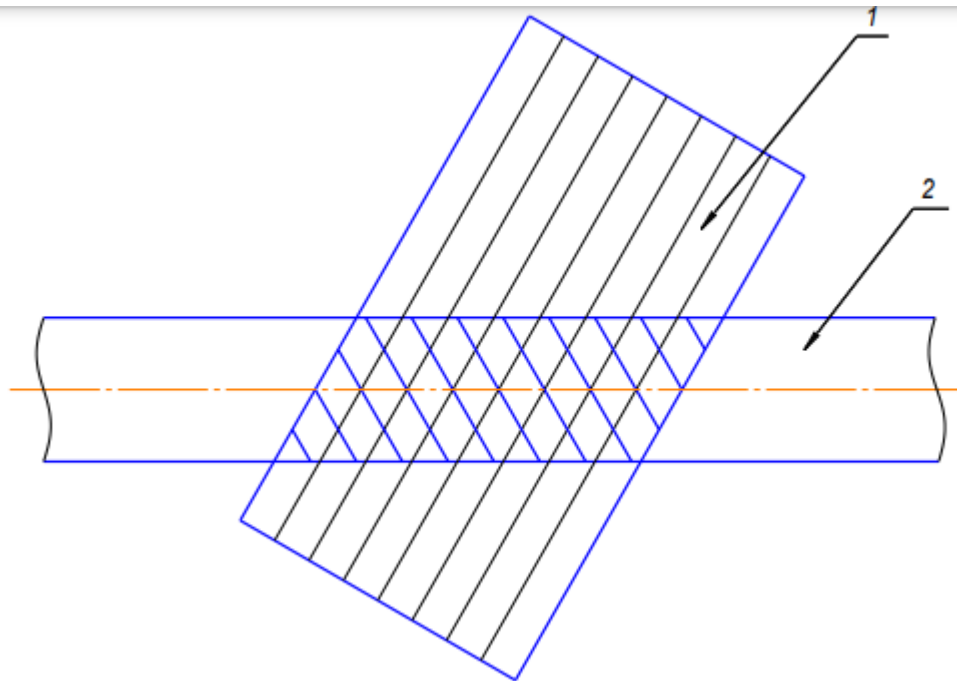


Рисунок 1.15 – Радіально-осьовий спосіб накатування: 1 – ролик з кільцевою нарізкою; 2 - оброблювана деталь

Другим різновидом схем накатування є **накатування непривідним циліндричним інструментом з тангенціальною подачею** за допомоги різьбонакатних головок, що обертаються (рисунок 1.16).

Даний метод використовується для створення протяжних циліндричних різьблення трапецеїдальних і трикутних форм профілів на нерухомо встановленої деталі. Також цей метод застосовується для створення таких деталей, які за своєю конфігурацією не мають можливість оброблятися на різьбонакатних верстатах (наприклад, трійники). При використанні даного методу точність нарізі в масовому виробництві буде відповідати другому класу.

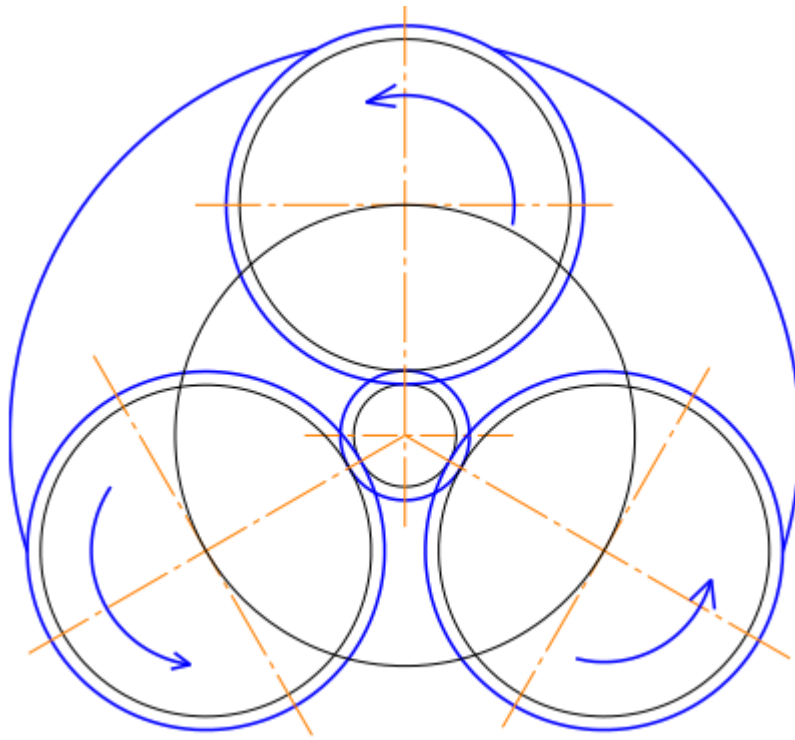


Рисунок 1.17 – Накатування різьбонакатними головками, що обертаються

## 1.2 Основні проблеми при накатуванні нарізі, що впливають на якість виробу

Дефекти, які є на практиці під час накатування нарізі різьби, пов'язані з механічним впливом у цьому процесі. Під час процесу можуть з'явитися такі дефекти: фарбування металу; лущення металу; відшаровування металу; виривання поверхневого шару металу; розтріскування металу; утворення поверхневих дефектів (захід сонця, складки, нашарування, задирки тощо), які можуть впливати на статистичну та циклічну міцність з'єднання.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 1.18– Поверхневі дефекти нарізі

Одна з головних причин утворення дефектів під час механічного процесу накатки, є умови формування профілів нарізі. Профіль створюється, за допомогою багаторазового та послідовного копіювання профілю інструменту (рухомої та нерухомої плашок, роликів, ролика та сегмента).

Видавлювання профілю здійснюється у зв'язку з перерозподілом елементарних обсягів металу досліджуваної заготовки, які витісняються робочими витками різьбоутворювального інструменту. При цьому поверхня нарізі, що видавлюється, стикається з робочою поверхнею однією, а через кожні півоберта іншою частиною інструменту.

Можна припустити, що в процесі видавлювання профілю можлива поява симетричної та асиметричної деформації. Поява даних деформацій залежить від шляхів проходження робочих витків інструменту по поверхні нарізі, що накочується. Вони або збігаються, або не збігаються.

Під час симетричної деформації можливе утворення дефектів у вершині повного профілю нарізі. Так само дефекти можуть з'являтися в різних місцях профілю різьблення. Це залежить від того, на яку величину вершина профілю інструмента зміщуватиметься в кожному циклі деформації тіла заготовки.

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На практиці порушення симетрії деформації металу, під час накатування різьблення, відбувається у таких ситуаціях:

- через неточне налагодження різьбоутворювального інструменту, тобто встановлення інструменту з неправильним зміщенням за кроком нарізі;
- через низьку якість виготовлення різьбоутворювального інструменту, як по кроці нарізі, так і за формою профілю та кутом нахилу витків;
- в результаті накочування з повним заповненням профілю витків різьбоутворювального інструменту;
- при недостатній точності та жорсткості конструкції різьбонакатного верстата.

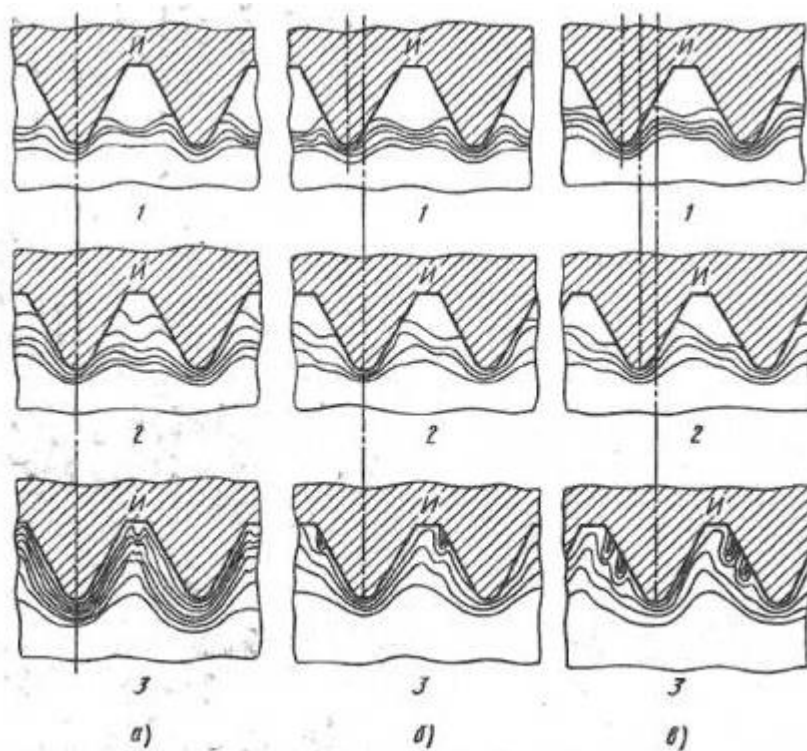


Рисунок 1.19– Схема утворення поверхневих дефектів

Неточне налагодження верстата, особливо встановлення різьбоутворювального інструменту з торцевого биття та кроку різьблення порушує симетричність деформації металу, оскільки шляхи проходження витків інструменту не збігаються. Дані дії призводять до створення великих дефектів, таких як: заходи, складки, нашарування і т.д. Практика показала, що різьбоутворюючий інструмент,

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

який має похибку кута підйому робочих витків або по кроці, незалежно від ступеня заповнення контуру інструменту, формує поверхневі дефекти у вигляді різних складок.

Це пояснюється тим, що під час кожного циклу створення профілю нарізі вершина витка одного різьбоутворювального інструменту з пари зміщується щодо іншого.

Переривання волокон та поява поверхневих дефектів (наприклад, нашарувань) в основі витків відбувається через течію поверхневих шарів металу в заповненому контурі осьового напрямку під час накатування нарізі. Дані дефекти також виникають ються, якщо усунути будь-які інші причини, які супроводжують асиметричне деформування металу у процесі формування профілю різьблення.

З усього вищесказаного можна дійти невтішного висновку, що у утворення поверхневих дефектів впливає розбіжність шляхів робочих витків інструменту по поверхні заготовки, що порушує симетрію деформації металу накочуванням у заповненому контурі робочих витків інструменту, що призводить до осьового зміщення шарів металу поверхні [16].

Перекочування та складки на бічних поверхнях профілю нарізіта по внутрішньому діаметру різьблення виникають у більшості випадків тому, що налаштування різьбонакатного інструменту не забезпечує однакового врзання частин інструменту на поверхні заготовки. Цей дефект виникає як при використанні плоских плашок, так і при формуванні нарізі з використанням роликів та роликів-сегментів. Внаслідок цього попередньо накатаний однією частиною інструменту профіль нарізі піддається бічному зміщенню іншою частиною інструменту.

У процесі накатування нарізі подібний дефект може постійно повторюватися, тому що виникає на бічних сторонах профілю різьби перекочування поширюється спіралеподібно аж до радіусу основи.

Виникнення такого дефекту пов'язане з такими причинами:

- неточне налаштування різьбоутворювального інструменту;
- різні кути нахилу нарізі на різьбоутворювальному інструменті;

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- великий люфт у супортах кріплення різьбоутворювального інструмент;
- невідповідність діаметрів різьбоутворюючих роликів, що працюють у парі.

Перекочування, інакше кажучи, утворення складок на бокових сторонах і на основі профілю різьблення, знижує її втомну міцність. Внаслідок цього подібні дефекти, що виникають на нарізевих з'єднаннях, не можуть бути пронормовані лише полем допусків.

Однією з найважливіших умов забезпечення якості при накочуванні нарізі є правильний вибір режимів накатування: зусилля, швидкості та величини подачі. Ці параметри більшою мірою залежать від розмірів нарізі, що накочується, і механічних властивостей матеріалу, що накочується.

Якість нарізі, що накатується, і її точність залежить від колової швидкості, від часу накатування, а також від радіальної швидкості подачі інструменту. При збільшеній швидкості та величині подачі спостерігається лущення, і навіть відшарування нарізі від тіла деталі при механічних випробуваннях.

Такі дефекти утворюються під час зовнішнього впливу та не пов'язані з механічним процесом пластичної деформації під час накатування нарізі, тому причини їх утворення можна виділити в окрему групу. Дані ушкодження з'являються під час руйнування витків різьбовим інструментом. Малі вифарбовування суттєво збільшують шорсткість поверхні западин накатаної нарізі, великі утворюють критичні поверхневі дефекти.

Також можливі дрібні механічні пошкодження. Вони з'являються за рахунок попадання різних твердих частинок в область контакту різьбоутворювального інструменту та заготовки. Такими частками може служити якась дрібна стружка абразиви або щось інше. Дані матеріали можуть перебувати в мастильно-охолоджувальній рідині або безпосередньо на поверхні оброблюваної заготовки або інструменту.

Подряпини, вибоїни та інші дефекти, як правило, утворюються в результаті зіткнення деталей при падінні з великою швидкістю в технологічну тару.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Слід звернути увагу і на поверхневі дефекти, присутні на заготовці, їх вигляд буде трохи змінено через деформації металу під час процесу накатування але вони неминуче залишаються на нарізготового виробу.

При значних дефектах на поверхні заготовки таких як штампувальні тріщини, волосовини, заходи та ін., якісне виготовлення нарізі може бути неможливим. З вищесказаного можна дійти невтішного висновку, що основними чинниками, що впливають на якість виробу при накатуванні нарізі, є:

1. Якість використовуваного матеріалу;
2. Якість заготівлі для накочування різьблення;
3. Якість виготовлення різьбоутворюючого інструменту;
4. Якість налаштування різьбонакатного автомата та якість налагодження різьбоутворювального інструменту (кваліфікація працівників);
5. Вибір оптимальних режимів накатування нарізі залежить від параметрів застосовуваного матеріалу та якості виготовлення заготовки
6. Технічний стан устаткування.

Питання забезпечення точності формоутворення нарізей під час точіння розглянуто у працях [60-67].

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 – НАКАТУВАННЯ КОНІЧНОЇ НАРІЗИ

Для зміцнення та/або накатування конічної нарізи застосовують конічні накатні ролики або здійснюють поворот роликів на необхідний кут конуса. Цикл – один прямий хід головки. Час накатування нарізи – від 1,5 до 3 сек. Повертання накатної головки дає змогу накатувати як зовнішні циліндричні, так і конічні нарізи в широкому діапазоні діаметрів – від 2 до 56 мм з кроками до 3,5 мм і довжиною до 42 мм [52].

Відомий інший метод підвищення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів. Суть цього методу полягає у цілеспрямованій трансформації поверхневих шарів оброблюваної поверхні за рахунок температурно-силової дії в процесі тертя інструменту по зміцнюваній поверхні [54]. У результаті дії високої температури при місцевому нагріванні та деформації, а також виникнення у зоні обробки ювенільної поверхні відбувається інтенсифікація багатьох фізико-хімічних процесів, які впливають на формування показників якості оброблюваного металу. Не зважаючи на надзвичайно малу тривалість цих процесів, вільна енергія ґратки металу настільки збільшується, а енергія активації настільки знижується, що відбувається взаємодія компонентів мастильно-охолоджуючих або інших середовищ з металом деталі та інструменту. Даний метод реалізується інструментом для зміцнення профілю замкових нарізей, який виконаний у вигляді диску із двома конічними боковими поверхнями, які утворюють кут профілю інструменту, рівний куту профілю конічної замкової нарізи, та з трьома деформуючими елементами з радіусом заокруглення поперечного перерізу, рівним радіусу заокруглення западини конічної замкової нарізи, один із яких – периферійний, розміщений на лінії перетину конічних бокових поверхонь – радіусі диска і має форму тора, а два інші – бокові, розміщені на конічних бокових поверхнях диску, мають криволінійну форму [54].

Проте недоліками конструкції такого інструмента є складність його виготовлення, а саме формування криволінійних бокових деформуючих елементів у вигляді спіралей Архімеда на конічних бокових поверхнях. Крім того, даний інструмент не можна

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

використати для зміцнення конічних замкових різьб із профілем, несиметричним відносно площини, перпендикулярної до осі конуса різьби, оскільки через різну довжину сусідніх сторін профілю конічної різьби під час роботи дискового інструмента виникає осьова складова сил, направлена у бік меншої сторони профілю конічної різьби. Це спричиняє виникнення постійної осьової деформації інструмента та призводить до його одностороннього асиметричного зносу і зниження періоду стійкості, а також не забезпечує високу якість зміцнення всього профілю конічної замкової нарізі.

Таким чином, постає потреба у розробленні конструкції інструменту для фрикційного зміцнення конічної замкової нарізі із забезпеченням високої якості поверхні зміцнюваної нарізі для деталей, які використовуються в конструкціях нафтопромислового та бурового обладнання.

## 2.1 Інструменти для накатування конічної нарізі

На сьогодні для накатування та/або фрикційного зміцнення використовують різноманітні нарізенакатні головки із роликками, що вільно або примусово обертаються. Найбільшого поширення набули циліндричні ролики із багатозахідною нарізкою або кільцевими витками на зовнішній поверхні. Для накатування нарізі з радіальною подачею, що здійснюється рухомих роликком. Ролики мають однаковий діаметр і обертаються в один бік. Конструктивні особливості роликів залежать від матеріалу, на якому накатується нарізь, розмірів деталі, моделі верстата [37, 41].

Рекомендованим методом зміцнення нарізевого з'єднання є обкатування роликками, оскільки він забезпечує підвищення мікротвердості нарізевої поверхні труби; підвищення герметичності з'єднання; усунення явищ схоплювання і задирок; не вимагає значних витрат, а також дає можливість вбудувати технологію та обладнання в діючі технологічні процеси; передбачає високий термін служби профільних обкатних інструментів; низькі, в порівнянні з іншими технологіями, експлуатаційні витрати і доступність витратних матеріалів; можливість

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

використання технології як для зміцнення внутрішньої, так і зовнішньої нарізей без обмеження розмірів [41, 43].

Для пластичного деформування нарізевих поверхонь (зміцнення та/або накатування) використовують такі інструменти:

- зміцнювальні плашки THREAD ROLLING DIE Construction [44–46];
- різного роду зміцнювальні пристрої та апарати, конструкція яких передбачає дві зовнішні нарізеві поверхні, поміж якими пропускається зміцнювана деталь [47–48];
- планетарні механізми із числом зміцнювальних роликів від 2 до 5 штук для зміцнення внутрішньої нарізи [49];
- інструмент для зміцнення складних поверхонь деталей, який виконаний у вигляді диску, на периферії якого розміщені деформуючі елементи – тіла кочення, наприклад кульки, закріплені у криволінійних канавках, виконаних на відповідних поверхнях диску. До недоліків такого інструменту можна віднести те, що зміцнення матеріалу деталей здійснюється тільки за рахунок поверхневого пластичного деформування без проходження фазових перетворень, що не забезпечує одержання високих фізико-механічних властивостей поверхневих шарів. Крім того, відомий інструмент має низьку надійність під час експлуатації, що пов'язане із складністю утримування деформуючих елементів (кульок) у криволінійних канавках диску [50];
- головка для накатування конічної нарізи розроблена ВНИИМЕТМАШ [51] для накатування нарізи на бурильних трубах (ГОСТ 631-75), попередньо проточених на конус, яка використовується на трубонарізних верстатах і передбачає наявність п'яти накатних роликів, встановлені на голчастих підшипниках на ексцентрикових осях, які повертаються в дисках. Головка на розмір накатуваної нарізи регулюється гвинтами;
- пристрій для накатування конічної нарізи, конструкція якого передбачає наявність роликів із західними та калібрувальними ділянками, які встановлені на ексцентрикових осях, закріплених в циліндричному корпусі під кутом до

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

осі пристрою, і містить додаткові ексцентрикові осі та встановлені на них калібруючі ролики; при цьому додаткові осі встановлені в корпусі паралельно до його осі, а калібруючі ролики виконані довжиною, рівною довжині нарізі, що накатується [51].

- інструмент для зміцнюючого накатування зовнішніх нарізей EF90, який складається з хвостовика, набору пружин, індикатора, накатної головки, ролика і його тримача. Ролик може переміщатися в осьовому напрямку на відстань +0,25 мм для компенсації помилки позиціонування. Для кожного типу нарізі потрібен окремий ролик [54].
- нарізенакатна головка, конструкція якої передбачає розміщення у корпусі нарізенакатних роликів із західними та калібрувальними ділянками, при чому нарізеві витки калібрувальної ділянки виконані із профілем, нахиленим відносно профілю витків нарізі на калібрувальній ділянці на кут, що рівний половині кута конусності нарізі [51].
- інструмент для фрикційного зміцнення поверхневого шару циліндричних деталей з корпусом у вигляді диска з матеріалу із низьким коефіцієнтом теплопровідності та робочою поверхнею на його периферії. При цьому інструмент забезпечений пальцями, виконаними з матеріалу з коефіцієнтом теплопровідності вищим, ніж у матеріалу диска, і розташованими в радіальних отворах, виконаних на робочій поверхні диска, при цьому діаметр пальців вибирають залежно від товщини інструменту [55].

Для зміцнення та/або накатування конічної нарізі застосовують конічні накатні ролики або здійснюють поворот роликів на необхідний кут конуса. Цикл – один прямий хід головки. Час накатування нарізі – від 1,5 до 3 сек. Повертання накатної головки дає змогу накатувати як зовнішні циліндричні, так і конічні нарізі в широкому діапазоні діаметрів – від 2 до 56 мм з кроками до 3,5 мм і довжиною до 42 мм [56].

Відомий інший метод підвищення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів. Суть цього методу полягає у цілеспрямованій трансформації поверхневих

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

шарів оброблюваної поверхні за рахунок температурно-силової дії в процесі тертя інструменту по зміцнюваній поверхні [54]. У результаті дії високої температури при місцевому нагріванні та деформації, а також виникнення у зоні обробки ювенільної поверхні відбувається інтенсифікація багатьох фізико-хімічних процесів, які впливають на формування показників якості оброблюваного металу. Не зважаючи на надзвичайно малу тривалість цих процесів, вільна енергія ґратки металу настільки збільшується, а енергія активації настільки знижується, що відбувається взаємодія компонентів мастильно-охолоджуючих або інших середовищ з металом деталі та інструменту. Даний метод реалізується інструментом для зміцнення профілю замкових нарізей, який виконаний у вигляді диску із двома конічними боковими поверхнями, які утворюють кут профілю інструменту, рівний куту профілю конічної замкової нарізі, та з трьома деформуючими елементами з радіусом заокруглення поперечного перерізу, рівним радіусу заокруглення западини конічної замкової нарізі, один із яких – периферійний, розміщений на лінії перетину конічних бокових поверхонь – радіусі диска і має форму тора, а два інші – бокові, розміщені на конічних бокових поверхнях диску, мають криволінійну форму [54].

Проте недоліками конструкції такого інструмента є складність його виготовлення, а саме формування криволінійних бокових деформуючих елементів у вигляді спіралей Архімеда на конічних бокових поверхнях. Крім того, даний інструмент не можна використати для зміцнення конічних замкових різьб із профілем, несиметричним відносно площини, перпендикулярної до осі конуса різьби, оскільки через різну довжину сусідніх сторін профілю конічної різьби під час роботи дискового інструмента виникає осьова складова сил, направлена у бік меншої сторони профілю конічної різьби. Це спричиняє виникнення постійної осьової деформації інструмента та призводить до його одностороннього асиметричного зносу і зниження періоду стійкості, а також не забезпечує високу якість зміцнення всього профілю конічної замкової нарізі.

Таким чином, постає потреба у розробленні конструкції інструменту для фрикційного зміцнення конічної замкової нарізі із забезпеченням високої якості

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

поверхні зміцнюваної нарізі для деталей, які використовуються в конструкціях нафтопромислового та бурового обладнання.

Об'єкт дослідження: деталі геологорозвідувального замка 3-50 ГОСТ 7918-75 (рис. 2.1), які зміцнювалися за допомогою розробленого інструменту.

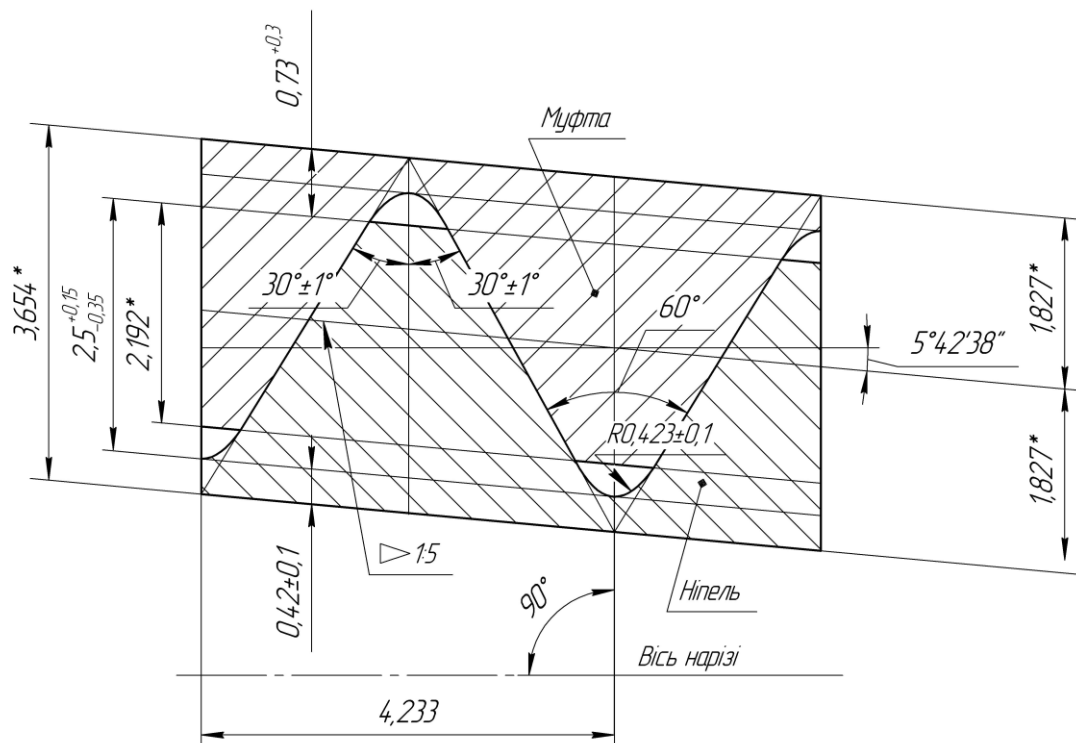


Рисунок 2.1 – Профіль нарізі трубного з'єднання ГОСТ 6211–81

## 2.2 Опис технологічного процесу виготовлення конічної нарізі

В умовах виробництва заготовки для конічних деталей типу «болт» заготовляються із гарячекатаного круглого прокату.

Далі процес обробки заготівлі складається з:

- операції холодного штампування на комплексному обладнанні ЛЗ46.31.100 (Комплекс автоматичний для холодного штампування деталей) типу болт);
- утворення нарізі двома приводними циліндричними роликами на верстаті А9518Б;
- термічну обробку в термопечі ПКМ4.8.4/М камерного типу;
- піскоструминної обробки в камері КСВ-110ІСФР;
- нанесення антикорозійного металізаційного кадмієвого покриття.

Розглянемо кожен етап процесу обробки заготовки докладніше.

					МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Об'ємне холодне штампування застосовують для виготовлення різних деталей складної форми, але мають невеликі розміри, які складаються з металів і маю високу пластичність. Процес об'ємний штампування є нічим іншим, як пластична деформація деталі, який схожий з процесом гарячого штампування. Варто зауважити, що відсутність нагріву дозволить отримати деталі з більш точними розмірами та з чистішою поверхнею. Процес холодного видавлювання відбувається наступним чином: метал переходить у пластичний стан під дією високого тиску і перетікає в зазор між пуансоном і матрицею.

Накатування нарізі утворюється в процесі накатування двома приводними циліндричними роликми на верстаті А9518Б (рисунок 2.2). Переваги даного способу полягає в універсальності процесу. Цей спосіб відкриває широкий діапазон діаметрів для накатування в межах від 2 мм – до 200 мм та кроком від 0,35мм – до 16 мм, необмежена довжина ділянки заготовки під різьбонакатування (до 2000 мм і більше), відносно велика межа міцності матеріалу – до 1500 МПа, точність накатаної нарізі відповідає полю допуску 4h і вище, достатня простота конструкції обладнання.

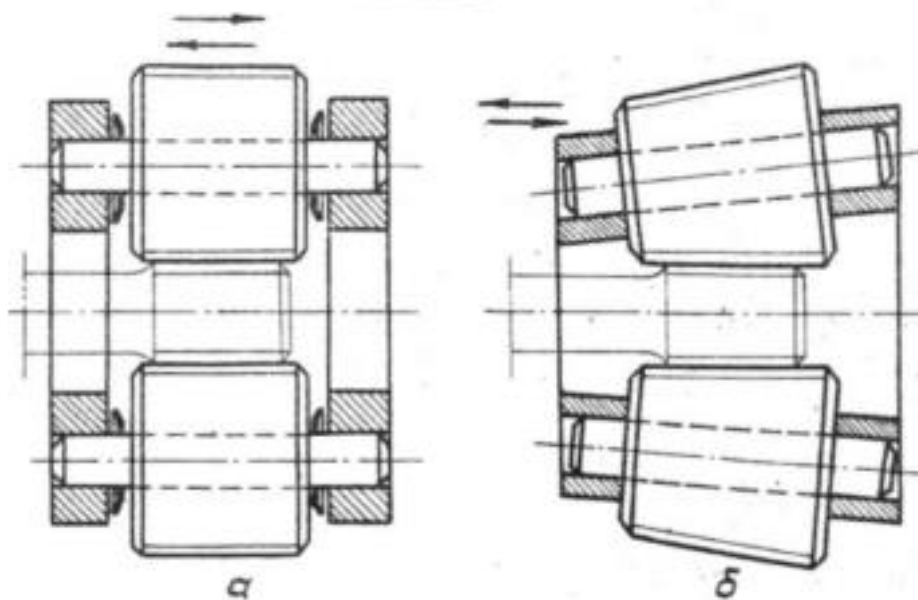


Рисунок 2.2– Схема накатування циліндричної та конічної нарізей роликми

Верстат А9518Б універсальний призначений для холодного накручування різних видів різьблення, черв'яків, рифлень; косозубих коліс з дрібним модулем, а також для правки та калібрування тіл циліндричної та сферичної форми. Процес накручування полягає в обкатуванні профілю нарізі поверхнею циліндричних роликів по поверхні заготовки, що супроводжується примусовим обертанням роликів та радіальним переміщенням одного з них під дією певного зусилля, що подається гідроприводом подач. Заготовка знаходиться між роликами на ножі, при цьому обертаючись у результаті поданих на неї притискних зусиль і сил тертя, які зростають прямопропорційно до впровадження профілю роликів у тіло заготівлі та утворенню на поверхні профілю різьби відбитого на роликах [27].

Далі заготовка проходить термічну обробку в термопечі ПКМ4.8.4/М камерного типу і подальшу піскоструминну обробку камері КСО-110ІСФР для чищення зняття окалини, отримання необхідної шорсткості, а також для підготовки поверхні для нанесення антикорозійного металізаційного покриття кадмієм.



**Рисунок 2.3 - Профіленакатний двороликовий напівавтомат А9518Б**

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

## 2.3 Матеріали та методи технології накатування деталей та випробовувань

Для розроблення конструкції та визначення геометричних параметрів зміцнюючого інструменту застосовано метод геометричного моделювання із урахуванням профілю конічної нарізі трубного з'єднання.

Процес зміцнення здійснювали на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Для зміцнення деталей бурового замка (рис. 2.4) використовувався пристрій – високошвидкісна шліфувальна головка т.зв. фортуна, що кріпиться на супорті токарно-гвинторізного верстата.

Режими зміцнення: зміцнюючий інструмент встановлювали на шпинделі фортуни і, обертаючись із швидкістю 60-70 м/с, інструмент притискався з постійним зусиллям від 600 Н до 1000 Н до оброблюваної деталі, що обертається з коловою швидкістю від 0,02 м/с до 0,08 м/с. Поздовжня подача інструмента відносно деталі відповідає кроку нарізі 4,235 мм на один оберт. Під час зміцнення в зоні їх контактування відбувається локальний імпульсний нагрів поверхні оброблюваної деталі до температури 1100-1300 К. У зону обробки подають мастильно-охолоджуючу рідину (наприклад, мастило мінеральне И12А) для швидкого охолодження зміцнювальної поверхні.

Для виготовлення інструменту для фрикційного зміцнення використовували твердий сплав ВК 6 ГОСТ 3882-74. Матеріал зміцнюваних деталей - сталь 40Х ГОСТ 4543-71.

Під час розроблення методики випробувань деталей на втомну міцність із сталим циклічним симетричним навантаженням був прийнятий спосіб навантаження зразка за схемою чистого згину з обертанням. Елементи нафтопромислового обладнання випробовували на втомну міцність на універсальній навантажувальній машині ИМА-50, яка забезпечувала пружний згин [56]. Машина ИМА-50 дозволяє рівномірно навантажувати робочу частину дослідного зразка постійним згинаючим моментом, який створює у зразку симетричні циклічні напруження згину [56], що дає змогу дослідити явища

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

втомі по всій довжині дослідного зразка, а не лише в одному перерізі. Зразки навантажували за допомогою важільної системи із вантажами.

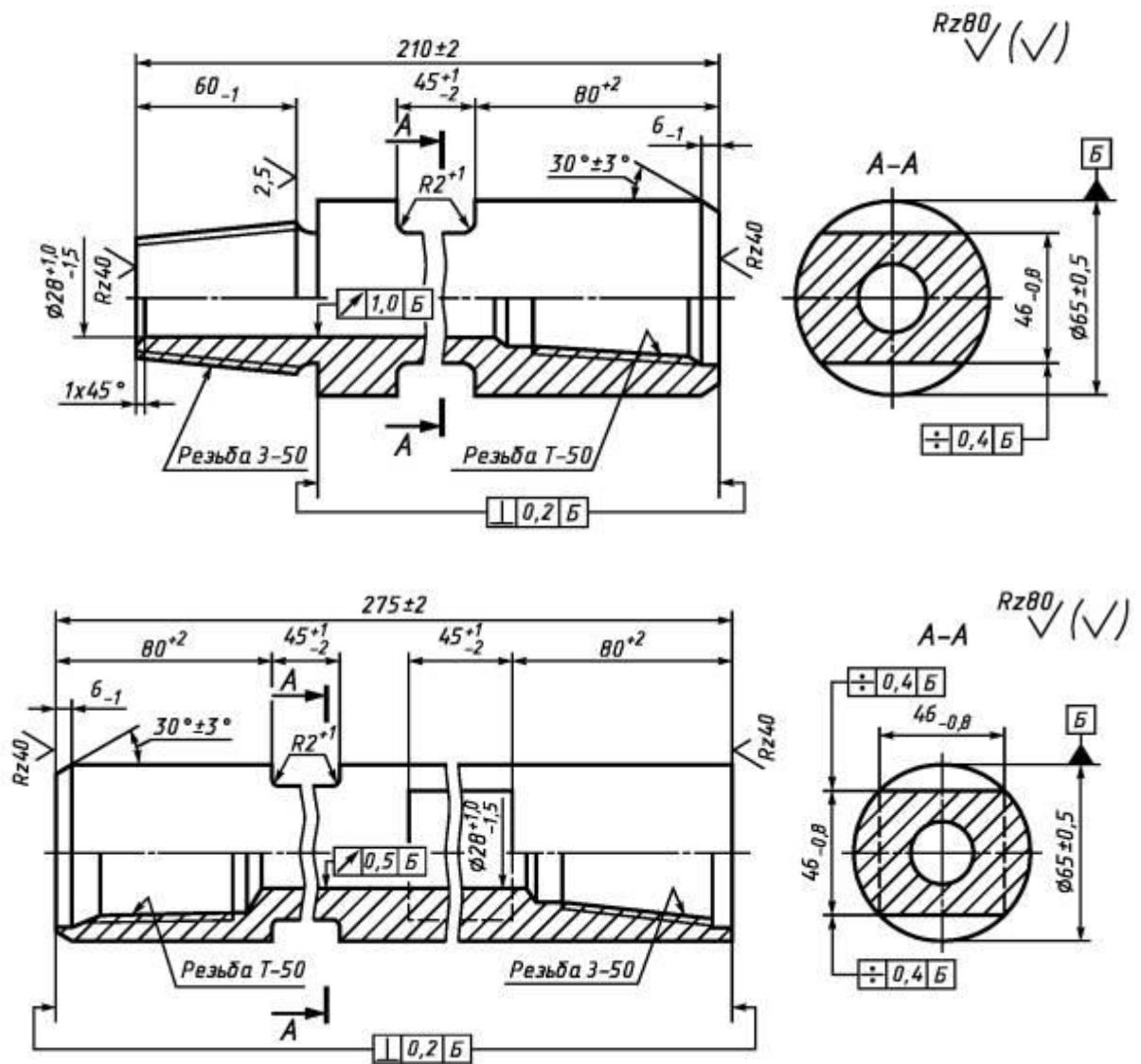
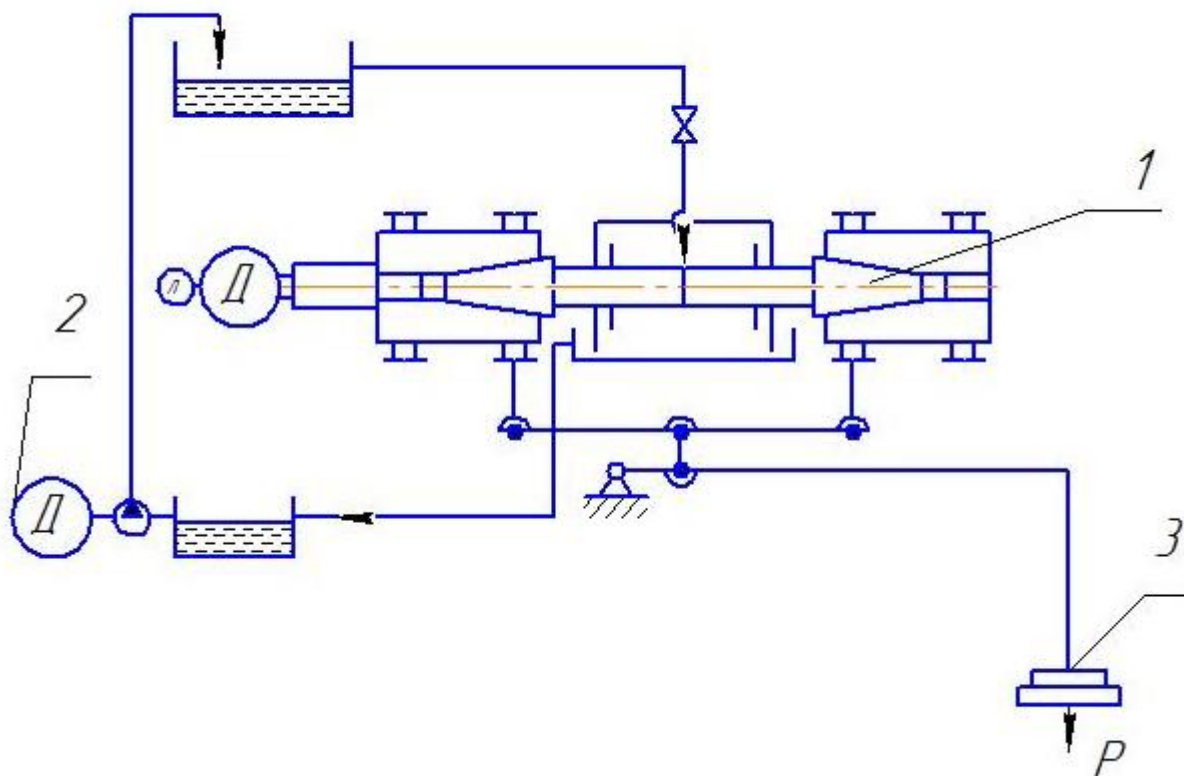


Рисунок 2.5 – Кресленики деталей геологорозвідувального замка 3-50 ГОСТ 7918-75

Під час обертання досліджуваного зразка, закріпленого в шпindelних бабках, реалізується схема навантаження «чистий згин з обертанням», відповідно до якої дія концентрація максимальних навантажень припадає на поверхневу частину зразка. Від двигуна за допомогою муфти обертання передається зразком. Після пуску двигуна до зразка прикладають силу і вмикають лічильник циклів. При руйнуванні зразка машина автоматично відключається. Концентрація максимальних навантажень припадає на поверхневу частину зразка. Метод дослідження відповідає

ГОСТ 2860-45 «Метали. Метод визначення границі витривалості (втоми)». Зразки, що досліджувалися, – деталі геологорозвідувального замка 3-50 ГОСТ 7918-75 (рисунок 2.2). Схема установки показана на рисунку 3. Досліджувалося дві пари зразків – без зміцнення розробленим інструментом та зміцнені.



1 - буровий замок, 2 – двигун, 3 – прикладена навантажуюча сила

Рисунок 2.6 – Принципова схема універсальної навантажувальної машини ИМА-50

Конструктивно універсальна машина складається із наступних деталей. На зварній рамі встановлено електродвигун і барабани привода та холостого ходу. Двигун із привідним барабаном з'єднані еластичною муфтою. Барабани, опираючись на стійки за допомогою цапф, обертаються у вертикальній площині. Барабан складається із шпинделя, встановленого у корпусі на двох радіальних шарикопідшипниках. Дослідний зразок встановлюється в шпинделях за конічною посадкою і підтіскається сухарями та накидними гайками.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Навантаження на зразок передається через навантажувальні цапфи барабанів і важільну систему, яка в 16 разів посилює навантаження зразків. При цьому навантаження не залежить від зміни жорсткості зразку внаслідок розвитку втомних тріщин.

Для запобігання биттю шпинделя і вібрацій машини необхідне центрування дослідного зразка, що згвинчений за допомогою оптимального крутного моменту. Після складання зразки встановлюють в центрах токарного верстату і проточують до номінального розміру. Частота обертання шпинделя становила 1440 об/хв.

## 2.4 Результати досліджень

Розробка конструкції інструменту для накатування конічних нарізей

Запропонована конструкція інструменту для фрикційного зміцнення конічних замкових нарізей виконується у вигляді диска із двома конічними боковими поверхнями. Ці поверхні утворюють кут профілю інструмента, рівний куту профілю конічної замкової нарізі. Три деформуючі елементи мають радіус  $r$  заокруглення поперечного перерізу рівний радіусу заокруглення западини конічної замкової нарізі, один із яких – периферійний, розміщений на лінії перетину конічних бокових поверхонь – на віддалі радіусу  $R$  диска і має форму тора, а два інші – бокові, розміщені на конічних бокових поверхнях диска і мають криволінійну форму. Бокові деформуючі елементи виконані у вигляді кільцевих еліпсоподібних поверхонь, спряжених із периферійним тороподібним деформуючим елементом. Початок радіуса  $r$  заокруглення поперечного перерізу бокових деформуючих елементів знаходиться на лінії еліпса з великою віссю  $a$  і малою віссю  $b$  розташованого на відповідній боковій конічній поверхні диска (рис. 2.7).

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

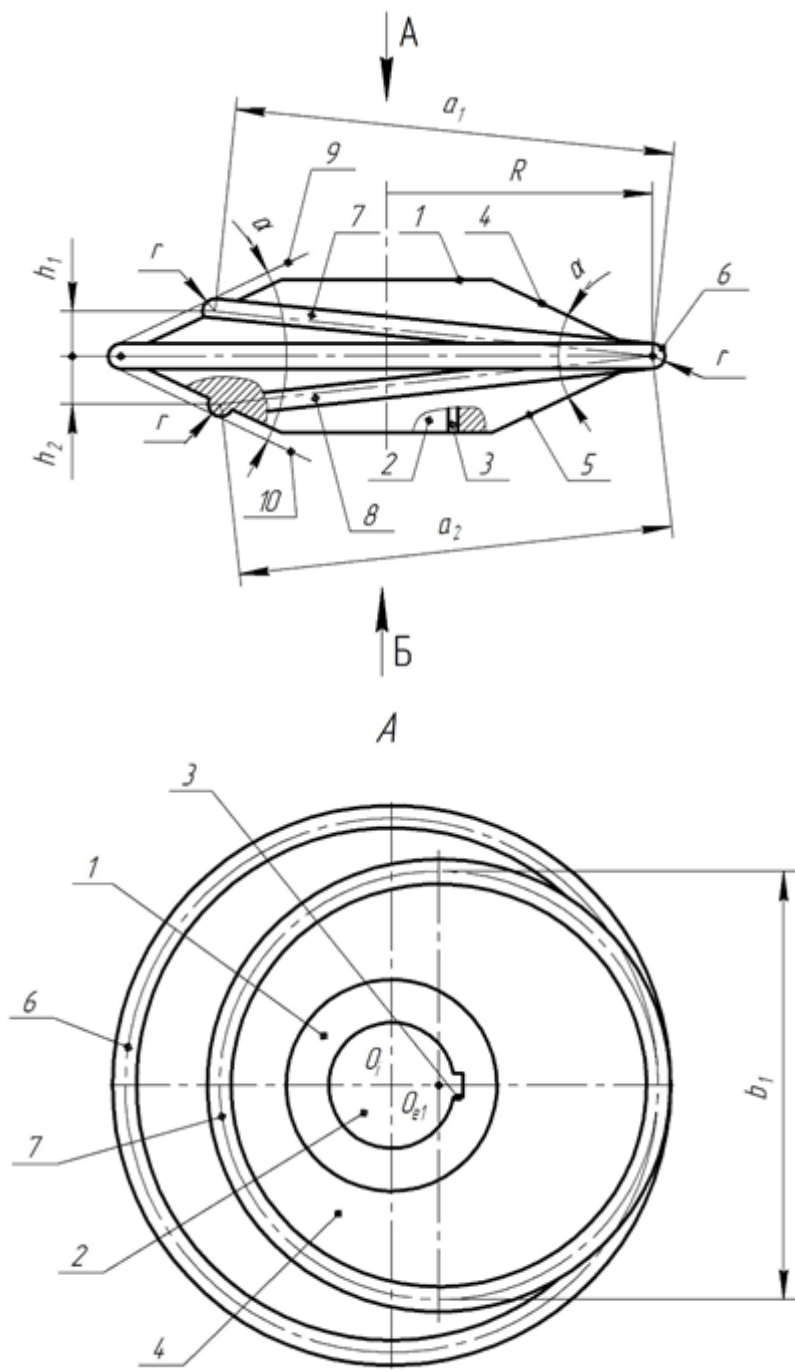


Рисунок 2.7 – Інструмент для фрикційного зміцнення конічних замкових нарізей

1 – диск, 2 – посадкова поверхня, 3 – повідкова поверхня, 4 і 5 – бокові поверхні диска, 6 – периферійний деформуючий елемент, 7 і 8 – бокові деформуючі елементи, 9 і 10 – дотичні площини

## Визначення геометричних розмірів інструмента для накатування зміцнення конічних нарізей

Для конструювання інструмента необхідним є визначення параметрів великої і малої осей еліпса, розташованого на відповідній боковій конічній поверхні диска. Для визначення параметрів еліпсоподібних деформуючих елементів розглянемо рис.6, на якому зображені горизонтальна і фронтальна проєкції теоретичної конічної поверхні інструмента з еліпсоподібним деформуючим елементом.

З проєкцій видно, що натуральна величина великої осі відповідає її фронтальній проєкції  $A_2B_2$ , малої осі – горизонтальній  $C_1D_1$ .

Як видно з рисунка 2,

$$\beta = \alpha/2, h = |B_2K_2|, R = |AG|, \quad (1)$$

де  $R$  – радіус основи конуса,  $h$  – висота найвищої точки еліпса відносно основи,  $\beta$  – кут нахилу твірної конуса до його основи. Велика вісь еліпса -

$$a = |A_2B_2|, \quad (2)$$

а мала вісь еліпса -

$$b = |C_1D_1|. \quad (3)$$

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

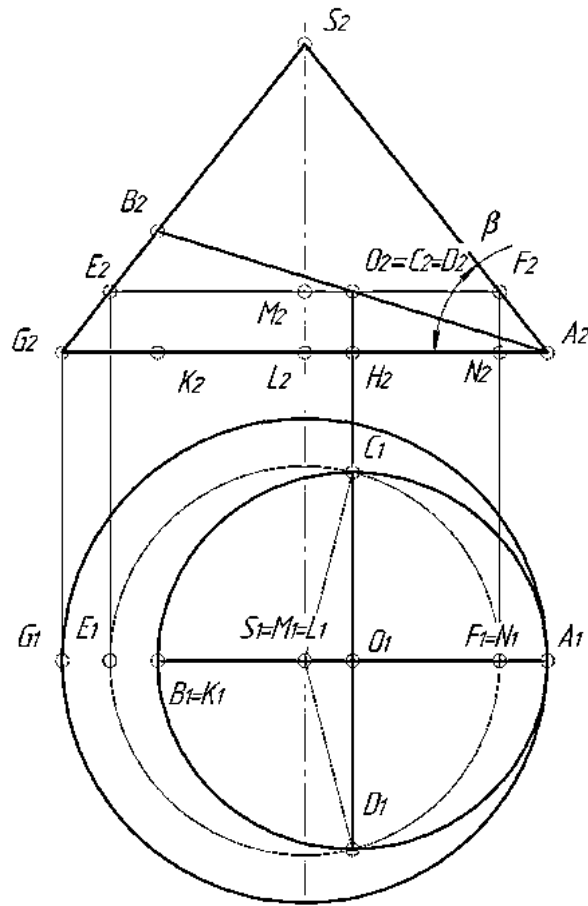


Рисунок 2.8 – Горизонтальна і фронтальна проекції теоретичної конічної поверхні інструмента з еліпсоподібним деформуючим елементом

Велику вісь еліпса знайдемо з фронтальної проекції. З трикутника  $G_2B_2K_2$  одержимо залежності

$$|G_2K_2| = |B_2K_2| \cot \beta = h \cot \beta, \quad (4)$$

$$|K_2A_2| = |G_2A_2| - |G_2K_2| = 2R - h \cot \beta. \quad (5)$$

Остаточний результат для великої осі еліпса одержимо з трикутника  $A_2B_2K_2$ :

$$|B_2A_2| = \sqrt{|B_2K_2|^2 + |K_2A_2|^2}. \quad (6)$$

Підставивши (1), (2), (3) в (6) і провівши перетворення, одержимо у позначеннях рисунка 2:

$$a = \sqrt{h^2 (\csc \alpha/2)^2 + 4R(R - h \cot \alpha/2)}. \quad (7)$$

Знаючи, що мала вісь еліпса ділить велику вісь навпіл, знайдемо радіус кола, на якому вола лежить з фронтальної проекції.

$$|M_2 F_2| = |L_2 A_2| - |N_2 A_2|. \quad (8)$$

З трикутника  $A_2 F_2 N_2$  визначимо

$$|N_2 A_2| = |F_2 N_2| \cot \beta. \quad (9)$$

З подібності трикутників  $K_2 B_2 A_2$  та  $H_2 O_2 A_2$ , підставивши (1), одержимо радіус кола малої осі еліпса

$$|M_2 F_2| = R - \frac{h}{2} \cot \beta. \quad (10)$$

На горизонтальній проекції визначимо величину півхорди  $O_1 C_1$  цього кола, що відповідає малій півосі еліпса з трикутника  $S_1 C_1 O_1$ .

$$|O_1 C_1| = \sqrt{|S_1 C_1|^2 - |S_1 O_1|^2}. \quad (11)$$

Пам'ятаючи, що

$$|S_1 C_1| = |M_2 F_2|, |S_1 O_1| = |M_2 O_2|, \quad (12)$$

провівши перетворення та підставивши (1), одержимо

$$|O_1 C_1| = \sqrt{R^2 - Rh \cot \beta}. \quad (13)$$

В позначеннях рис.2 мала вісь еліпса

$$b = 2 \sqrt{R^2 - Rh \cot \alpha/2} \quad (14)$$

Таким чином, проведені дослідження дають змогу визначити основні конструктивні показники інструменту для фрикційного зміцнення конічних нарізей:

- мала вісь еліпса:  $a = \sqrt{h^2 (\csc \alpha/2)^2 + 4R(R - h \cot \alpha/2)}$ .

- велика вісь еліпса:  $b = 2 \sqrt{R^2 - Rh \cot \alpha/2}$

де  $R$  – радіус периферійного тороподібного деформуючого елемента диска, мм;  
 $\alpha$  – кут профілю конічної замкової нарізи, град; і  $h$  – відстань від бісектриси кута профілю інструмента, рівного куту профілю конічної замкової нарізи, до точки перетину відповідної великої осі еліпса із конічною боковою поверхнею диска ( $i=1$  для  $h_1$ , розташованої від меншої сторони профілю конічної замкової нарізи;  $i=2$  для,  $h_2$  розташованої від більшої сторони профілю конічної замкової нарізи, мм, причому величину  $h$  визначають із співвідношення:

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$h = \frac{P}{2} \left( 1 \pm \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) - r \cdot \cos \frac{\alpha}{2},$$

де  $P$  – крок конічної замкової нарізі, мм;  $\varphi$  - кут ухилу конічної замкової нарізі, град;  $r$  – радіус заокруглення западини конічної замкової нарізі, мм, при цьому знак "мінус" приймають для розрахунку  $h_1$ , розташованої від меншої сторони профілю конічної замкової нарізі, а знак "плюс" – для  $h_2$ , розташованої від більшої сторони профілю конічної замкової нарізі відповідно.

### **Робота інструменту для фрикційного зміцнення конічних нарізей**

#### **Зміцнення зовнішньої конічної нарізі**

Конічну замкову нарізь пропонуваним інструментом зміцнюють наступним чином (рис. 2.9 і 2.10). Під час зміцнення деталі 11 (ніпеля або муфти бурового замка або бурильної труби) із зовнішньою конічною замковою нарізю (бісектриса кута профілю нарізі перпендикулярна до осі конуса), яка має западину 12, меншу 13 і більшу 14 сторони профілю, інструмент взаємодіє деформуючими елементами 6, 7 і 8 із западиною 12 та боковими сторонами профілю його конічної замкової нарізі 13, 14 відповідно.

Деталь 11 (елемент бурильної колони) встановлюють і нерухомо закріплюють у патроні токарно-гвинторізного верстата (на рис.4 не показаний) для надання їй повільного руху обертання з частотою з  $n$ . На супорті або в різцетримачі токарно-гвинторізного верстата монтують спеціальний пристрій – фортуни (на рис.5 не показана), оснащений електродвигуном, що надає інструменту головний рух – обертання із частотою  $n_i$ . Інструмент встановлюють нерухомо на кінці вихідного валу фортуни по посадковій поверхні 2. Крутний момент від валу фортуни передається інструменту через його повідкову (шпонкову) поверхню 3. Фортуни із закріпленим на вихідному кінці валу інструментом встановлюють таким чином, щоб площина обертання інструмента, яка проходить по найбільшому радіусу  $R$  і через вісь периферійного тороподібного деформуючого елемента 6 інструмента, співпадає з напрямком конічної замкової нарізі деталі 11. Іншими словами – щоб вісь обертання вихідного валу фортуни знаходилась у вертикальній площині, паралельній до осі

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

обертання ОЗ-ОЗ1 деталі 11, а інструмент для фрикційного зміцнення був встановлений під кутом, рівним куту підймання нарізі, за рахунок похилого встановлення осі обертання вихідного валу фортуни у вертикальній площині відносно горизонтальної площини, яка паралельна осі деталі 11. Частоту обертання вихідного валу фортуни  $n_i$  вибирають такою, щоб забезпечити лінійну швидкість обертання інструмента порядку 40...60 м/с. Інструменту надають також рух поздовжньої подачі  $S_o$  і за допомогою, наприклад, копіра (на рис.3 не показано) поперечну подачу  $S_n$ . Крім цього, прикладають нормальну силу  $F$  для забезпечення притискання інструмента до оброблюваних поверхонь конічної зміцнюваної замкової нарізі деталі 11. Внаслідок такого просторового розміщення та дії сили  $F$  між інструментом та зміцнюваними поверхнями 12, 13 і 14 конічної замкової нарізі деталі 11 у загальному випадку утворюється три ділянки контактування: між западиною нарізі 12 та периферійним тороподібним деформуючим елементом 6; дві – між боковими сторонами профілю нарізі 13 і 14 та боковими деформуючими елементами 7 і 8 відповідно. Система трьох деформуючих елементів 6, 7 і 8 інструмента утворює криволінійні і точкові зони контактування з конічною нарізною поверхнею деталі 11, що у поєднанні із дією сили  $F$  та швидкості обертання  $n$  забезпечує виникнення високих контактних напружень і температур у зоні зміцнення. Бокові деформуючі елементи 7 і 8 розміщені на відповідних конічних поверхнях 4 і 5 диска 1 інструмента, тому вибираючи відповідні кутові параметри і геометричні розміри цих елементів, а також таке їх взаємне розміщення, що дотичні до них площини 9 і 10 і утворюють кут  $\alpha$ , рівний куту профілю конічної замкової нарізі, при заданих рухах відбувається динамічне контактування цих деформуючих елементів 6, 7 і 8 із западиною 12 та з боковими сторонами профілю 13, 14 конічної замкової нарізі деталі 11. За рахунок такої взаємодії забезпечується одночасне якісне зміцнення всієї робочої поверхні конічної замкової нарізі деталі 11.

*Зміцнення внутрішньої конічної нарізі*

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміцнення внутрішньої конічної замкової нарізі (рис. 2.7) деталі 15 здійснюється як і у випадку зміцнення зовнішньої конічної замкової нарізі. Під час зміцнення деталі 15 (елемента бурильної колони) із внутрішньою конічною замковою наріззю, яка має западину 16, меншу 17 і більшу 18 сторони профілю, інструмент взаємодіє деформуючими елементами 6, 7 і 8 із вказаними западиною 16 та боковими сторонами профілю внутрішньої конічної замкової нарізі 17, 18 відповідно (рис. 2.7). Зміцнені деталі представлено на рисунку 2.8.

## **2.5 Перевірка роботоздатності інструмента для фрикційного зміцнення конічних нарізей**

З метою порівняння втомної міцності деталей, зміцнених за допомогою розробленого інструменту, та деталей без зміцнення було здійснено випробування на втомну міцність.

Розробленим інструментом було зміцнено деталі геологорозвідувального замка 3-50, виготовлених із сталі 40Х (рис. 2.8).

Завдяки високій швидкості обертання інструмента та відповідним контактним напруженням у місцях дотику інструмента із западиною та із боковими сторонами профілю конічної замкової нарізі деталі створюються сприятливі умови для формування на сталі білих шарів із покращеними фізико-механічними властивостями та сприятливим розподілом залишкових внутрішніх напружень стискання. Такі поверхневі структури мають високу зносостійкість та корозійну стійкість і забезпечують підвищення умовної границі корозійної втоми, що важливо для забезпечення довговічності нарізевих замкових з'єднань бурильних труб, на які діють циклічні навантаження в процесі буріння свердловин. Крім того, обробка заявленим інструментом за описаною технологією зменшує шорсткість зміцненого шару конічної замкової нарізі до величини  $Ra=0,4...0,5$  мкм, що важливо у аспекті забезпечення надійної герметизації конічних нарізевих замкових з'єднань бурильних труб при їх збиранні у колону та підвищення експлуатаційних властивостей.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

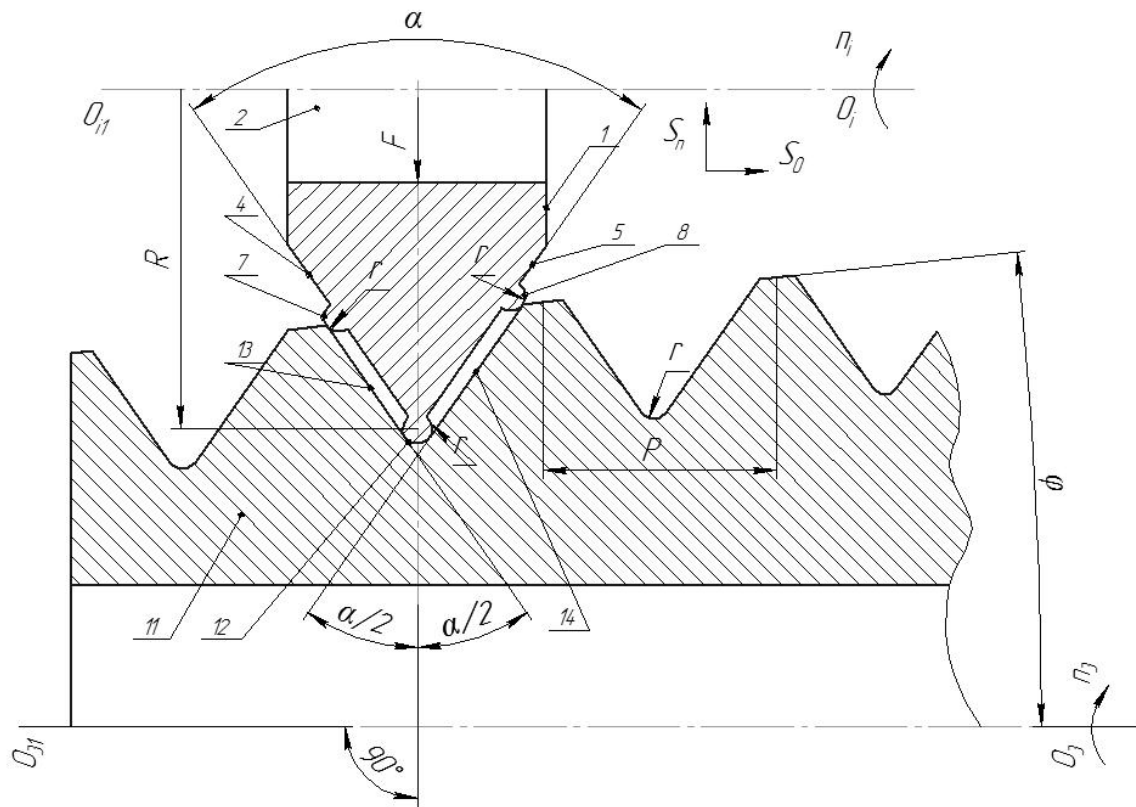


Рисунок 2.8 – Схема зміцнення зовнішньої конічної замкової нарізі



деталей спостерігається ефект гальмування розвитку втомної тріщини в результаті зміцнення зони матеріалу, прилеглої до вершини тріщини.

Результати випробувань на втомну міцність обох пар деталей відображено на рисунку 2.11.

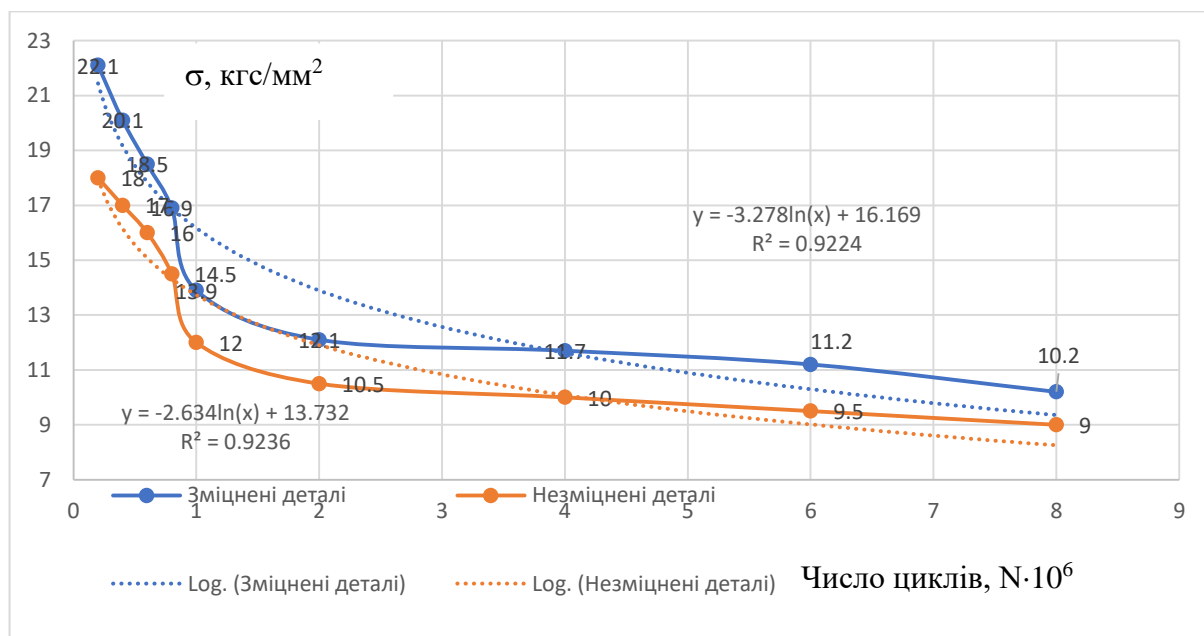


Рисунок 2.11 – Результати випробування на втомну міцність деталей геологорозвідувальних замків 3-50

За результатами випробування встановлено, що втомна міцність зміцнених деталей, виготовлених із сталі 40ХН, була у 1,15-1,2 рази вищою за втомну міцність незміцнених деталей із того самого матеріалу.

За одержаними даними побудовано регресійні залежності:

- для зміцнених деталей:  $\sigma$ , кгс/мм<sup>2</sup> =  $-3,278 \ln(N \cdot 10^6) + 16,169$ ,  $R^2 = 0,9224$
- для незміцнених деталей:  $\sigma$ , кгс/мм<sup>2</sup> =  $-2,634 \ln(N \cdot 10^6) + 13,732$ ,  $R^2 = 0,9236$

Відтак було проведено металографічне дослідження зміцнених деталей. Встановлено, що у поверхневих шарах утворюється зміцнений шар товщиною 50-65 мкм з мікротвердістю на 35% більшою за мікротвердість основного металу у 2,17 ГПа і розміром зерен у 50-70 нм [24, 25].

Факторами зменшення втомної міцності, на нашу думку, є концентратори напружень, які викликані нарізанням нарізі. Так, для нарізаної нарізі западини нарізі є концентраторами напружень, тоді як для зміцненої нарізі не має місця зняття матеріалу. Різниця у технології виготовлення викликає різницю у макроструктурі матеріалу. Як зазначають Копей В.Б та ін, внаслідок зміцнення металу вплив шорсткості поверхні зменшується. Шари накатаної нарізі викривлені як на поверхні, так і біля впадин витка та мають волокнисту структуру [59].

Окрім зазначених факторів циклічна міцність нарізей зменшується внаслідок асиметрії навантаження та фреттінг процесів, які виникають під дією циклічного тертя у з'єднанні [58]. Поряд із тим, під час складання нарізевих конічних з'єднань потребується момент затягування, який також підвищує напруження у з'єднанні і створює асиметричних навантажень. За певної величини моменту згвинчування нарізеве з'єднання має найбільший опір втомі.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

## РОЗДІЛ 3 – СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАКАТУВАННЯ КОНІЧНОЇ НАРІЗИ

### 3.1 Проблеми СКЕ моделювання накатування нарізі

Під час розгляду сучасних методів математичного моделювання напружено-деформованого стану під час проведення зміцнювальних процесів обробки встановлено, що складна геометрія моделюваного конічного замкового різьблення бурильних труб виключає можливість використання аналітичних методів для вирішення подібного завдання. В данному у випадку стосовно теорії механіки деформованого твердого тіла розглядається тривимірне нестационарне контактне завдання пружнопластичного деформування. Вирішення цієї задачі можливе на основі застосування комп'ютерного кінцево-елементного моделювання як сучасного інструментарію для інженерного та наукового аналізу чисельного математичного моделювання.

Проте проведені наукові дослідження та виробничий досвід в області накатування нарізей поверхневим деформуванням є недостатніми і не повною мірою забезпечують довговічність труб.

З розглянутих методів накатування нарізей найбільш раціональним обраний метод обкатування роликком.

Вивчення залишкових напруг у западині нарізей теоретично і експериментально утруднено, оскільки профіль нарізевої конічної поверхні дуже складний. У зв'язку з цим дослідження такої нарізіможливе переважно методами математичного моделювання характеру.

Аналіз технічних вимог щодо точності та допусків показав, що основним показником та критерієм вибору допустимої максимальної величини сили притиску ролика з метою формування раціональної величини залишкових стискаючих напруг, що забезпечують підвищення опору втоми, є допуск на глибину западини.

Перевищення цього значення не забезпечує необхідну якість з'єднання нарізейтруб.

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Аналіз наукових праць та досвіду підприємств показав, що не повністю вивчені та не представлені в комплексі наукові та методологічні засади технологічного процесу накатування нарізей обкатуванням роликом, спрямовані на підвищення надійності бурильних труб, відсутні математичні моделі процесу деформування западини, ні чисельних розв'язків цього завдання, що визначає взаємозв'язок режимів накатування нарізей з основними параметрами якості поверхневого зміцненого шару, а саме: величина та характер розподілу залишкових напруг, шорсткості, мікротвердості, наклепу та мікроструктури; відсутня промислова установка для обкатування різьблення бурильних труб. Висунуто гіпотезу про формування стискаючих напруг раціональної величини, що забезпечують підвищення опору втоми нарізевої поверхні, обкатою роликом, при взаємодії його з дном западини, розташованої нижче середнього діаметра різьблення.

Таким чином, проведений аналіз науково-технічної літератури та досвіду підприємств показав, що розробка методологічних засад і практичних рекомендацій технологічного процесу зміцнювальної обробки западин нарізевих з'єднань є дуже актуальним науковим та виробничим завданням.

Для теоретичних досліджень процесу накатування нарізей застосовано метод комп'ютерного кінцево-елементного моделювання як сучасний інструментарій для інженерного та наукового аналізу чисельного математичного моделювання.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

### 3.2 Методика проведення СЕ досліджень у програмі DEFORM-3D

#### (тріальна версія)

Робота з використанням програмного комплексу DEFORM-3D здійснюється в наступній послідовності:

1. Залежно від конкретних умов (форма вихідної заготовки та форма відштампованого виробу, форма інструменту, умови деформування і т.п.) вибирається тип кінцево-елементного аналізу, тобто визначається, яке завдання вирішується (плоска, осесиметрична або об'ємна).
2. Створюються геометричні моделі вихідної заготовки та інструменту (рухомого та нерухомого).
3. На заготовку наноситься сітка кінцевих елементів.
4. Задаються реологічні властивості заготовки, для чого використовується або наявна у ПК «DEFORM-3D» база даних, або термомеханічні властивості матеріалу заготівлі задаються таблицями.
5. Встановлюється температура, за якої починається процес деформування.
6. Встановлюються умови на поверхні контакту заготовки та інструменту (коефіцієнт тертя).
7. Залежно від типу обладнання, що застосовується, встановлюється закон руху інструменту.
8. Із заданою точністю виконуються розрахунки. При цьому визначаються переміщення, деформації, швидкості деформації, напруження, компоненти тензорів деформації та напружень, інтенсивність деформацій, інтенсивність напружень, сила нормального тиску, сила тертя на поверхні контакту металу з інструментом, розподіл температури за обсягом деформованого середовища.
9. Результати розрахунків подаються або у вигляді полів розподілу відповідних параметрів за обсягом деформованого тіла, або вигляді чисельних значень у вузлах деформованої сітки.

Найважливішим етапом моделювання процесів деформування, від якого залежать точність та трудомісткість розрахунків, є нанесення сітки кінцевих елементів. У

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

програмному комплексу "Deform" в залежності від типу розв'язуваної задачі (плоска, осесиметрична або об'ємна) сітка елементів наноситься з використанням трикутників, чотирикутників, тетраедрів, тригранних призм (п'ятигранників), шестигранників.

Програмний комплекс "DEFORM-3D" дозволяє в залежності від заданих умов автоматично розбивати об'єм, що деформується, на необхідну кількість елементів і змінювати сітку в процесі моделювання. При цьому можна задавати різні типи елементів для деформованого тіла однієї і тієї ж форми (трикутники та чотирикутники, тетраедри та шестигранники).

Програмний комплекс «DEFORM-3D» дозволяє за необхідності змінювати щільність сітки елементів в окремих зонах деформованого тіла.

### **3.3 Результати моделювання впливу параметрів накатних роликів на точність профілю конічної нарізі**

Основні межі параметрів:

1. Опір деформації (базисний)  $\sigma_0 = 80 \div 90$  МПа;
2. Діаметр заготовки під накатку (початковий)  $d_0 = 18,6 \div 19,2$  мм;
3. Коефіцієнт тертя  $\mu = 0,2 \div 0,4$ ;
4. Довжина заготовки під накатку (початковий)  $L = 85 \div 95$  мм.

Застосовуючи програмний комплекс DEFORM-3D, основою якого є метод кінцевих елементів, виконаємо моделювання процесу накатки нарізі діаметром 20-24 мм.

Схематичний процес накатки представлено рисунку 3.1.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

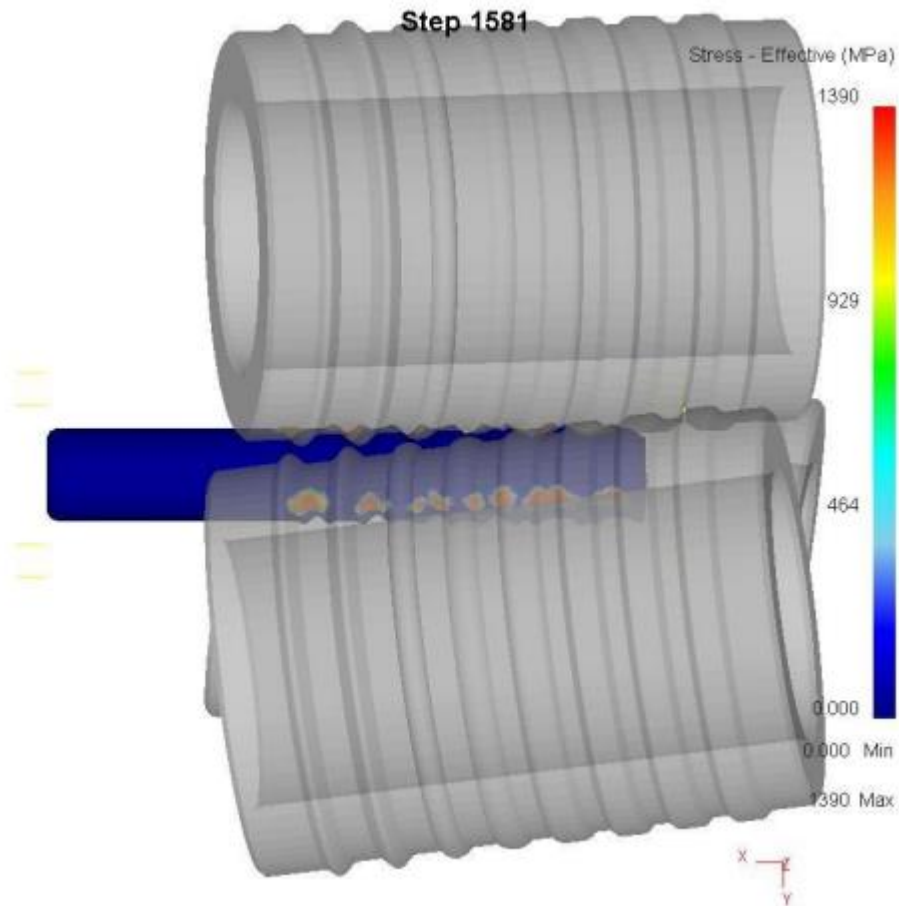


Рисунок 3.1– Процес моделювання накатування в програмі «DEFORM-3D»

Виходячи з виконаних розрахунків, ми визначили радіальні зусилля  $N$  накатки і побудували криві залежності радіальних зусиль  $N$  накатки від параметрів  $\sigma_0$ ,  $T$ ,  $\mu$ ,  $d_0$ ,  $L$ ,  $d$  (рис. 3.2-3.5).

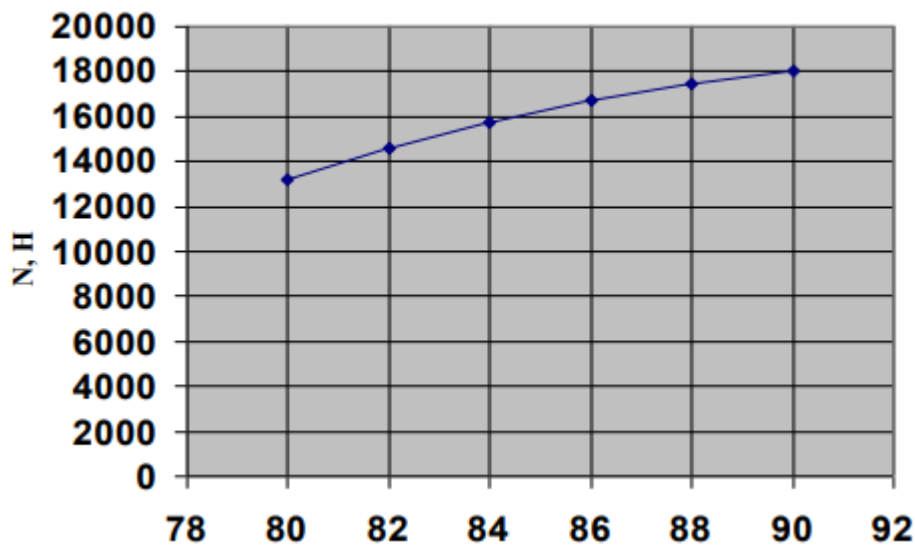


Рисунок 3.2 –Крива залежності радіальних зусиль  $N$  накатки від зміни межі текучості матеріалу  $\sigma_0$  вихідної заготовки (при накатці одного витка)

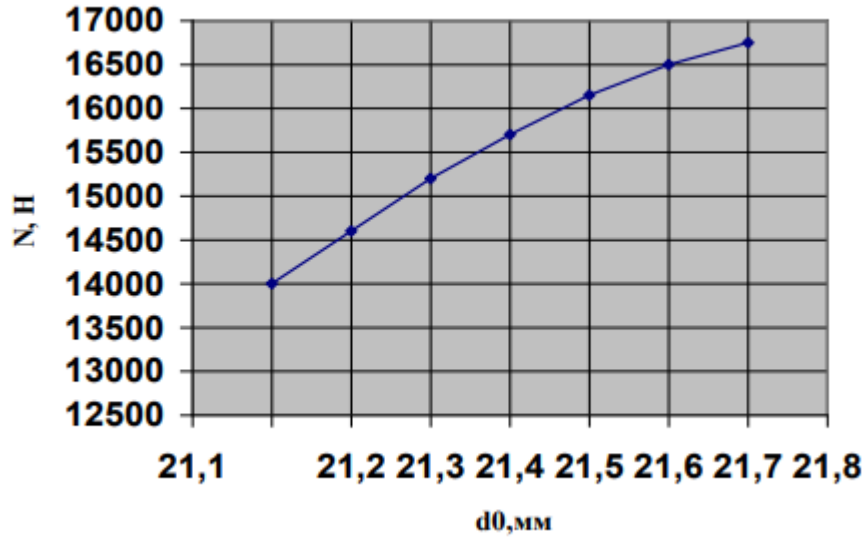


Рисунок 3.3– Крива залежності радіальних зусиль  $N$  накатки від вихідного діаметру заготовки  $d_0$  (накатка одного витка)

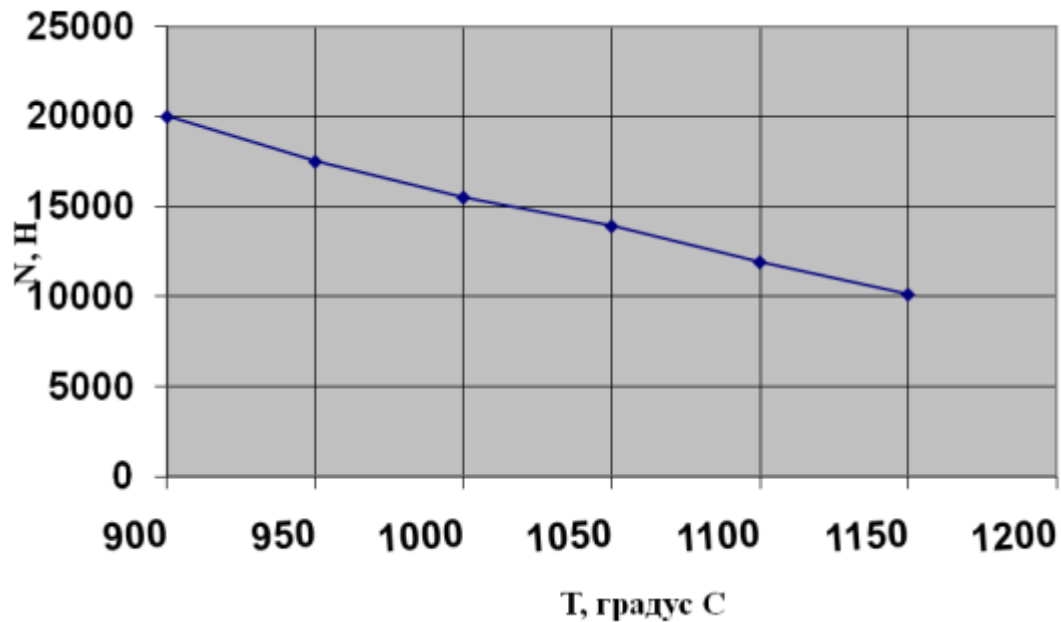


Рисунок 3.4 – Крива залежності радіальних зусиль  $N$  накатки від зміни температури  $T$  вихідної заготовки (при накочуванні одного витка)

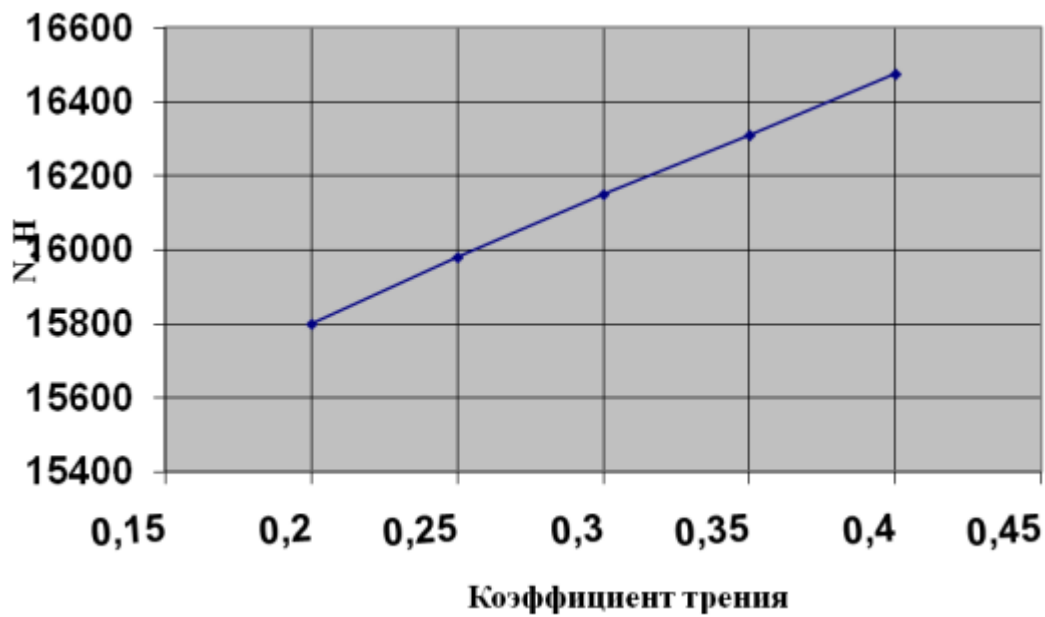


Рисунок 3.5 – Крива залежності радіальних зусиль N накатки від зміни коефіцієнта тертя  $\mu$  вихідної заготовки (при накручуванні одного витка)

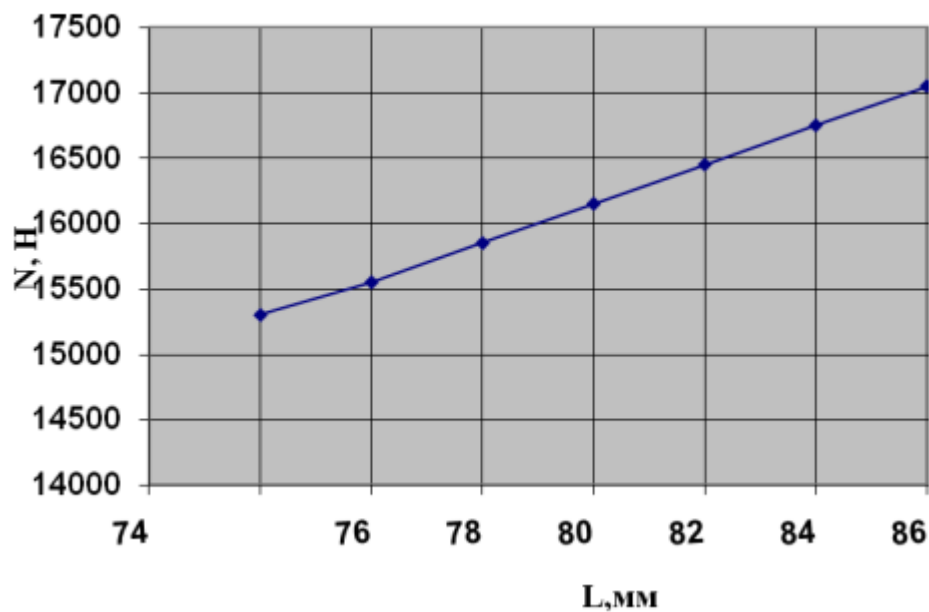


Рисунок 3.6.– Крива залежності радіальних зусиль N накатки від L вихідної довжини заготовки (накатка одного витка)

За допомогою програми «Excel», отримуємо криві, які проксимувалися аналітичними залежностями. В результаті отримуємо:

для  $N = f(\sigma_0)$        $N = 14,57\sigma_0^2 + 2917\sigma_0 - 126742$  (коефіцієнт кореляції  $R^2 = 0,996$ );  
 для  $N = f(T)$                $N = -0,0004T^3 + 0,8987T^2 - 990,95T + 389379$  ( $R^2 = 0,9937$ );  
 для  $N = f(d_0)$              $N = 13,79 d_0^2 - 84,71 d_0 + 11144$  ( $R^2 = 0,982$ );  
 для  $N = f(\mu)$                $N = 3303,9\mu + 15144$  ( $R^2 = 0,9568$ );  
 для  $N = f(L)$                $N = 162,1 L + 3212$  ( $R^2 = 0,967$ )

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

## ВИСНОВКИ

Дефекти, які є на практиці під час накатування нарізі різьби, пов'язані з механічним впливом у цьому процесі. Під час процесу можуть з'явитися такі дефекти: фарбування металу; лущення металу; відшаровування металу; виривання поверхневого шару металу; розтріскування металу; утворення поверхневих дефектів (захід сонця, складки, нашарування, задирки тощо), які можуть впливати на статистичну та циклічну міцність з'єднання. Одна з головних причин утворення дефектів під час механічного процесу накатки, є умови формування профілів нарізі. Профіль створюється, за допомогою багаторазового та послідовного копіювання профілю інструменту (рухомої та нерухомої плашок, роликів, ролика та сегмента).

Основними чинниками, що впливають на якість виробу при накатуванні нарізі, є:

1. Якість використовуваного матеріалу;
2. Якість заготовки для накочування різьблення;
3. Якість виготовлення різьбоутворюючого інструменту;
4. Якість налаштування різьбонакатного автомата та якість налагодження різьбоутворювального інструменту (кваліфікація працівників);
5. Вибір оптимальних режимів накатування нарізі залежить від параметрів застосовуваного матеріалу та якості виготовлення заготовки
6. Технічний стан устаткування.

Аналіз результатів комплексних досліджень впливу параметрів процесу накочування різьби роликками показав:

- овальність та конусоподібність нарізі при накочуванні без упору збільшуються при наростанні радіальної подачі роликів і практично не залежить від неї при накочуванні на упорі;
- найбільшу мікротвердість мають зони обмеженого деформування у западинах нарізі, найменшу — зони вільної течії металу (наприклад, у витках нарізі та поблизу осі стрижня).

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

- виявлено, що із збільшенням радіальної подачі зростає глибина проникнення деформації в заготовку і підвищується твердість металу у витку і серцевини нарізі.
- збільшення частоти обертання роликів та тривалості накочування за рахунок калібрування нарізі викликає додатковий наклеп поверхневих шарів металу, підвищує твердість та міцність

Досліджено закономірності впливу діаметра заготовки під час накатування нарізі на отриманий профіль нарізі накочуванням двома роликами на упорі. Встановлено, що внаслідок обмеження найбільшого переміщення ролика упором, внутрішній та середній діаметри нарізі виявляються практично незалежними від діаметра заготовки для накатування. А ось зовнішній діаметр нарізі і, як наслідок, ступінь заповнення контуру залежить від відхилення значень діаметра заготовки болта під накатування.

Проведені експерименти показали, що важливим фактором утворення якісного профілю є наявність заготовки з відповідною чистотою поверхні, що виключає утворення поверхневих дефектів у вигляді відшарування та нерівномірностей на поверхні сформованої нарізі.

					<i>МР.ПМКМ-34.3.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

## СПИСОК ВИКОРИСТНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев А.М. Графоаналитический метод определения радиальных усилий накатки резьбы [Текст] // А.М. Андреев, А.З. Журавлев, Э.П. Луговой // Кузнечно-штамповочное производство. – 1979. - №11. - 7-9 с.
2. Андреюк Л.В. Об учете упрочнения стали при дробной деформации [Текст] / Л.В. Андреюк, Г.Г. Тюленев / Сталь, 1969, № 5. - 245-249 с.
3. Ардеев Ж.А. Исследование процесса накатывания резьбы роликами [Текст]// Ж.А. Ардеев // Вестник машиностроения. 1980. -№11. - С. 65-67.
4. Биргер И.А. Резьбовые соединения [Текст] / И.А. Биргер, Г.Б. Иосилевич / М.: Машиностроение, 1973.-256 с.
5. Грубое А.А. Силы при накатывании резьб [Текст] // А А. Грубое, П.Н. Комаров // Станки и инструмент. 1981. - №1. - С.19-21.
6. Грудов А.А. Силы при накатывании резьб [Текст] // А.А. Грудов, П.Н. Комаров // Станки и инструмент. – 1981. - №1. - 19-21 с.
7. Губин А.П. Накатывание резьбы роликами [Текст] / А.П. Губин / М.: Машгиз. - 1947.
8. Дейнеко В.Г. Новые способы непрерывного накатывания резьбы и других профилей [Текст] / В.Г Дейнеко / М.: Машгиз, 1961. - 159 с.
9. Железков О.С. Оценка эффективности процессов пластического формоизменения по критерию минимальной неравномерности деформации [Текст] // О.С. Железков, Е.Ю. Чуйко, Ф.Ф. Гатин, С.О. Железков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2009. № 5. С. 31-34.
10. Железков О.С. Совершенствование конструкции инструмента для накатки резьбы на путевых шурупах [Текст] // О.С. Железков, С.О. Железков // Сталь, № 3, 2009. С. 88.
11. Загурский В.И. Автоматизированное производство резьбовых крепежных изделий [Текст] / В.И. Загурский / М.: Машгиз, 1962. - 121 с.

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

12. Загурский В.И. Прогрессивные способы обработки резьбы [Текст] / В.И. Загурский / М.: Машгиз, 1960. - 125 с.
13. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич / М.: Мир, 1975. - 541 с..
14. Качанов Л.М. Основы теории пластичности [Текст] / Л.М. Качанов / М.: Наука. 1969. – 420 с.
15. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением [Текст] / В.Л. Колмогоров / М.: Металлургия, 1986. - 688 с.
16. Миропольский Ю.А. Исследование прессов-автоматов для объемной штамповки [Текст] / Ю.А. Миропольский / М.: Машиностроение, 1968. - 155 с.
17. Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей [Текст] / Ю.А. Миропольский, Э.П. Луговой / М.: Машиностроение. - 1976. - 175 с.
18. Миропольский Ю.А., Насонов А.Н. Технология и оборудование для накатывания резьб и профилей [Текст] // Ю.А. Миропольский, А.Н. Насонов А.Н. // Кузнечно-прессовое машиностроение. - Серия С.-Ш., М., НИИМАШ. - 1971. - 175 с.
19. Мокринский В.И. Повышение прочности, точности и стойкости крепежных изделий [Текст] // В.И. Мокринский, О.С. Железков // Черная металлургия: Бюл. Ин-та Черметинформация. 1987. - № Ц. - С. 19-32.
20. Никифоров А.Д. Точность и технология изготовления метрических резьб [Текст] / А.Д. Никифоров / М.: Высшая школа, 1963. - 180 с.
21. Остапенко А.Л. Сопротивление деформации стали при прокатке и методики его расчета [Текст] / А.Л. Остапенко, Л.А. Забира / Бюлл. ин-та «Черметинформация», 2009, 70 №3. - 54-79 с.
22. Отраслевой стандарт ОСТ1-31103-80 Болты с шестигранной головкой [Текст] / Распоряжение министерства от 30 октября 1980 года №087-16. – 38 с.
23. Писаревский М.И. Накатывание точных резьб и шлицев [Текст] / М.И. Писаревский / М.-Л.: Машгиз, 1963. - 180 с. 88

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- 24..Писаревский М.И. Накатывание точных резб, шлицев и зубьев [Текст] / М.И Писаревский / Л.: Машиностроение. - 1973. - 200 с.
- 25..Писаревский М.И. Новый инструмент для накатывания резб и шлицев [Текст] / М.И. Писаревский / М.- Л.: Машиностроение, 1966. - 152 с.
- 26..Писаревский М.И., Новое в технологии накатывания резб, шлицев и зубьев [Текст] / М.И. Писаревский, В.И. Самсонов / ЛДНТП, 1978. - 20 с.
- 27.Сегерлинд Л.Д. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л.Д. Сегерлинд / М.: Мир, 1979. - 240 с.
- 28.Смирнов-Аляев Г.А. Теория пластических деформаций металлов [Текст] / Г.А. Смирнов-Аляев, В.М. Розенберг / М.: Машгиз, 1956. - 368 с.
- 29.Таурит Г.Э. Прогрессивные процессы резбоформирования [Текст] / Г.Э. Таурит, Е.С. Пуховский, С.С. Добрянский / Киев: Техшка, 1975.- 240 с.
- 30.Тетерин П.К. Теория поперечно-винтовой прокатки [Текст] / П.К. Тетерин / М.: Металлургия, 1971. - 367 с.
- 31.Усов В.П. Кинематика пластического течения металла при деформировании резбового профиля [Текст] // В.П. Усов // Кузнечноштамповочное производство. – 1977. - №9. - 16 с.
- 32.Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резбообразующий инструмент [Текст] / Ю.Л. Фрумин / Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение. - 1977. - 183с.
- 33.Хостиков М.З. Исследование силовых зависимостей процесса накатывания резб тангенциальными головками [Текст] // М.З. Хостиков // Прогрессивный режущий инструмент. Высокопроизводительное резание. М. - 1978. - С. 48-70.
- 34.Самарін О.Є. Дослідження міцності різбової пари з накатною різбою. *Науковий вісник Херсонської державної машинобудівної академії* 2013. №1 (8). С.190-194. URL: [http://kma.ks.ua/ua/images/science/publications/2013/1\\_8/28.pdf](http://kma.ks.ua/ua/images/science/publications/2013/1_8/28.pdf)
- 35.Рапацький Ю.Л., Липка В.М. Математична модель процесу накатування зовнішніх різей роликками. *Вісник СевНТУ*: зб. наук. пр.. Серія:

					МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Машиноприладобудування та транспорт. 2010. Вип. 111/2010. С.138-143.  
URL: <http://lib.sevsu.ru:8080/jspui/bitstream/123456789/2716/1/111-27.pdf>

- 36.Повишение несущей способности крупных резьбовых соединений поверхностно-пластической деформацией / И.В.Кудрявцев, Н.Д.Щербюк, Ю.И.Газанчан. *Вестник машиностроения*. 1982. № 6. С. 44-56.
- 37.Грудов А. А., Комаров П. Н., Хостиков М. З. Тангенциальные резьбонакатные головки типа ТНГС. *Станки и инструмент*, 1976.
- 38.ГОСТ 6211–81 ???
- 39.Хостиков М.З., Агеев В.Н. Расширение технологических возможностей и эффективности многоцелевых станков путем применения в наладках тангенциальных резьбонакатных головок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016. № 8. С. 195–199.
- 40.Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения впадины резьбы бурильных труб обкатыванием роликом. *Экспозиция Нефть Газ*. 2013. № 5 (30). С. 68–70.
- 41.Песин М.В. Повышение эффективности эксплуатации бурильных труб на основе разработки научных основ технологического процесса упрочнения резьбы. *Академический журнал Западной Сибири*. 2013. №4 (47). С. 26-27.
- 42.Пат. № 4,576,033. США, МПК В21Н 3/06. Thread Rolling Die Construction / Richard H. Corrette. № 558,947; заявл. 7.12 1983 ; опубл. 18.03.1986.
- 43.Пат. №US 9,643,236 В2 США, МПК (2006.01) В21Н 3/04, В21Н 3/06. Thread rolling die and method of making same / Prakash K. Mirchandani, V. Brian Shook, Grayson L. Bowman, Matthew D. Benninghoff Brown. – № 12/616,300; заявл. 11.11.2009 ; опубл. 9.05.2017.
- 44.Пат. № US 8,506,227 В2 США, МПК F16В 23/00. Thread forming screw thread and corresponding thread roll die / Balasingam Karupaya. № 12А665,281; заявл. 20.06.2007 ; опубл. 13.08.2013.

					<i>МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

45. Пат. № 3,691,806 США, МПК В21Н 3/02, В23G 7/02, В2 LB 1/16. Thread rolling machine for manufacturing a particular type of rolled thread / Yasuo Hanzawa. № 82,938; заявл. 22.10.1970 ; опубл. 19.09.1972.
46. Пат. № 4,633,696 США, МПК В21Н3/06. Thread rolling method / Kimimasa Murayama; Shoji Ikawa; Shinobu Kaneko. № 762,396; заявл. 05.08 1985; опубл. 19.09.1972.
47. Пат. № 4,870,848 США, МПК В21Н 3/04. Tapered rolled thread bar joint / Anton M. Kies, Harry C. van den Nieuwelaar, Geoff M. Bowmer. № 251,315; заявл. 30.09 1988; опубл. 03.10.1989.
48. Пат. № CN100595000С, МПК В21 Н 3/08, В 23 G 7/00. Screw rolling machine for inner thread / 储宏道 储士强. – № CN200710041828А; заявл.
49. А. с. СССР № 1058699, В 21 Н 5/00. Инструмент для упрочнения впадин зубчатых колес / О.В. Берестнев, В.Л. Басинюк, Н.Н. Ишин, П.А. Чепя (СССР). № 3490951 / 25-27 ; заявл. 09.07.82 ; опубл. 07.12.83, Бюл. № 45.
50. Кирпичников Ф. П., Быкасов В. И. Головки для накатывания конической резьбы. *Станки и инструмент*. 1978. № 3.
51. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов. К. : Наукова думка, 1995. 253 с.
52. Упрочнение резьб инструментом фирмы ECOROLL AG <https://stanko-arena.ru/article/uprochnenie-rezb-instrumentom-firmy-ecoroll-ag.html>
53. А. с. СССР, № 1516206, В 21 Н 3/04. Инструмент для упрочнения профилей / В.Я. Белоусов, И.Ю. Гладий, З.Д. Василечко, И.М. Стоцкий, Л.Я. Ропяк, Я.В. Билусяк, М.Н. Микитюк (СССР). № 4379539 / 31-27 ; заявл. 13.11.87; опубл. 23.10.89, Бюл. № 39.
54. А. с. СССР, № 118355, В 24 В 39/00. Инструмент для фрикционного поверхностного упрочнения / В.И. Кырылив, Т.Н. Каличак (СССР). – 4732876/27; заявл. 29.08.90 (46) 15.02.92. Бюл, N 6 (71).
55. Северинчик Н. А., Копей Б. В. Долговечность и надежность геологоразведочных бурильных труб. М.: «Недра», 1979. 176 с.

					МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

56. Вплив технології виготовлення на міцність різьби насосної штанги / Б. В. Копей, В. В. Михайлюк, О. Р. Мартинець, Ю. Я. Бублінський. *Нафтогазова енергетика*. 2014. № 2. С. 14-20. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nge\\_2014\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nge_2014_2_3).
57. Вплив нанокристалічного зміцненого поверхневого шару на зносостійкість сірого чавуну при терті з граничним мащенням / І. В. Гурей, В. І. Гурей, П. Р. Дмитерко. *Сучасні технології в машинобудуванні*. 2014. Вип. 9. С. 23-32. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm\\_2014\\_9\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stvm_2014_9_6).
58. Швец В. В., Макара Е. Ф., Яковлева Э. В. Фазовый состав белых слоев на сталях 40X и 50XФА полученных фрикционным упрочнением. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 1985. №3. С. 75-78.
59. Беляев М.С., Хвацкий К.К., Горбовец М.А. Сравнительный анализ российского и зарубежных стандартов испытаний на усталость металлов. *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №9. С. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 20.09.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-11-11.
60. Kusi, Ya.M., Onysko, O.R., Kuk, A.M., Kostiuk, O.S., Solohub, B.V. Development of the structure and methodological support of the system for analysis of the details shaping using the technological inheritability of their quality parameters (2023) *Journal of Physics: Conference Series*, 2540 (1), art. no. 012026. DOI: 10.1088/1742-6596/2540/1/012026
61. Kopei, V.B., Onysko, O.R., Panchuk, V.G., Odosii, Z.M., Kusi, Y.M. Increasing the fatigue strength of threaded joints of oil and gas equipment by plastic deformation of the thread under high load before make-up (2023) *Journal of Physics: Conference Series*, 2540 (1), art. no. 012033. DOI: 10.1088/1742-6596/2540/1/012033
62. Onysko, O., Kopei, V., Barz, C., Erdei, Z., Rodic, V. Influence of end cutting edge angle of a multi-point lathe cutter on the thread profile accuracy. Theoretical investigation (2023) *Journal of Physics: Conference Series*, 2540 (1), art. no. 012034. DOI: 10.1088/1742-6596/2540/1/012034

					МР.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

63. Onysko, O., Kopei, V., Kusyj, Y., Kornuta, O., Schuliar, I. Turning of NC10 Threads for Drill Pipes: Theoretical Study of the Designed Profile (2023) Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 356-366. DOI: 10.1007/978-3-031-32767-4\_34
64. Onysko, O., Kopei, V., Kusyi, Y., Pituley, L., Taras, I. Tool Wear in the Process of Drill-String Connector Thread Lathe Machining (2023) Lecture Notes in Networks and Systems, 687 LNNS, pp. 98-111. DOI: 10.1007/978-3-031-31066-9\_11
65. Kusyi, Y., Onysko, O., Kuk, A., Kostiuk, O., Solohub, B. Improvement of the Technique of Optimal Technological Routes Planning for Machining of the Machine Parts Surfaces (2023) Lecture Notes in Networks and Systems, 687 LNNS, pp. 221-232. DOI: 10.1007/978-3-031-31066-9\_23
- 66.. Onysko, O., Panchuk, V., Kopei, V., Pituley, L., Lukan, T. Influence of Back Rake Angle of a Threading Cutter on the Drill-String Tool-Joint Pitch Diameter (2023) Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 200-210. DOI: 10.1007/978-3-031-16651-8\_19
- 67.. Kopei, V., Onysko, O., Barz, C., Dašić, P., Panchuk, V. Designing a Multi-Agent PLM System for Threaded Connections Using the Principle of Isomorphism of Regularities of Complex Systems(2023) Machines, 11 (2), art. no. 263. DOI: 10.3390/machines11020263

;

					<i>MP.ПМКМ-343.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



МР.ПМКМ-343.00.00.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Способи накатування нарізей</i>	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Будзан Б.						
Пров.		Роп'як ЛЯ.			<i>Магістерська робота на тему: "Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів"</i>	Лист	Листов	1
Т.контр.		Роп'як ЛЯ.						
Н.контр.		Роп'як ЛЯ.			<i>Копировал</i>	<i>ІФНТНУГ ПМКМ-22-1 Формат А1</i>		
Утв.		Панчук В.Г.						

**ДЕФЕКТИ, ПІД ЧАС НАКАТУВАННЯ:**

- фарбування металу;
- лущення металу;
- відшаровування металу;
- виривання поверхневого шару металу;
- розтріскування металу; утворення поверхневих дефектів (заходи, складки, нашарування, задирки тощо), які можуть впливати на статистичну та циклічну міцність з'єднання.

**ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ**

1. Якість використовуваного матеріалу;
2. Якість заготовки для накочування різьблення;
3. Якість виготовлення різьбоутворюючого інструменту;
4. Якість налаштування різьбонакатного автомата та якість налагодження різьбоутворювального інструменту (кваліфікація працівників);
5. Вибір оптимальних режимів накатування нарізі залежить від параметрів застосовуваного матеріалу та якості виготовлення заготовки
6. Технічний стан устаткування.

**ПОВЕРХНЕВІ ДЕФЕКТИ НАКАТАНОЇ НАРІЗИ**



				МР.ПМКН-343.00.00.000			
Лист	Лист	М.П. Вироб.	Лист	Лист	Лист	Маса	Масштаб
Розроб	Будова	Б					-
Лист	Розроб	Л/Я					
Лист	Розроб	Л/Я					
Лист	Розроб	Л/Я					
Лист	Розроб	Л/Я					
Лист	Розроб	Л/Я					
				МР.ПМКН-343.00.00.000			
				Чинники якості та дефекти нарізі під час накатування			
				Мастерська робота на тему: "Засилання впливу зовнішніх параметрів на якість накату"			
				ІФНІТНУФ			
				П'ЯКН-22-1			
				Фабрика А1			

MP.ПМКМ-343.00.00.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Чинники якості та дефекти нарізі під час накатування</i>	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.	Будзан Б.							-
Пров.	Роп'як ЛЯ							
Т.контр.	Роп'як ЛЯ							
Н.контр.	Роп'як ЛЯ							
Утв.	Панчук В.Г.							

*Магістерська робота на тему:  
"Дослідження впливу геометричних  
параметрів накатних роликів"*

*Копирвал*

*ІФНТНУГ  
ПМКМ-22-1*

*Формат А1*



МР.ПМКМ-343.00.00.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Технологія накатування конічних нарізей	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Будзан Б.						
Пров.		Роп'як ЛЯ						
Т.контр.		Роп'як ЛЯ						
						Лист	Листов	1
Н.контр.		Роп'як ЛЯ			Магістерська робота на тему: "Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів"	ІФНТНУГ		
Утв.		Панчук В.Г.				ПМКМ-22-1		

Копіював

Формат А1



МР.ПМКМ-343.00.00.000

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Будзан Б.</i>		
<i>Пров.</i>		<i>Роп'як ЛЯ.</i>		
<i>Т.контр.</i>		<i>Роп'як ЛЯ.</i>		
<i>Н.контр.</i>		<i>Роп'як ЛЯ.</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Панчук В.Г.</i>		

*Схеми конструкції ролика*

*Магістерська робота на тему:  
"Дослідження впливу геометричних  
параметрів накатних роликів"*

*Копировав*

<i>Лист</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
		-
<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	<i>1</i>

*ІФНТНУГ  
ПМКМ-22-1*

*Формат А1*



МР.ПМКМ-343.00.00.000

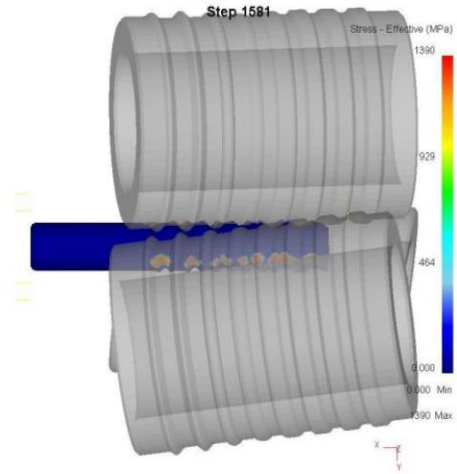
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Замкові нарізи та схема машини для випробування	Лист	Маса	Масштаб
Разроб.		Будзан Б.						
Проб.		Роп'як ЛЯ						
Т.контр.		Роп'як ЛЯ				Лист	Листов	1
Н.контр.		Роп'як ЛЯ			Магістерська робота на тему: "Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів"	ІФНТНУГ ПМКМ-22-1		
Утв.		Панчук В.Г.			Копіювал	Формат А1		



МР.ПМКМ-343.00.00.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Результати дослідження на втомену міцність	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Будзан Б.						
Пров.		Роп'як ЛЯ.			Магістерська робота на тему: "Дослідження впливу геометричних параметрів накатних роликів"	Лист	Листов	1
Т.контр.		Роп'як ЛЯ.						
Н.контр.		Роп'як ЛЯ.			Копіровал	ІФНТНУГ ПМКМ-22-1 Формат А1		
Утв.		Панчук В.Г.						

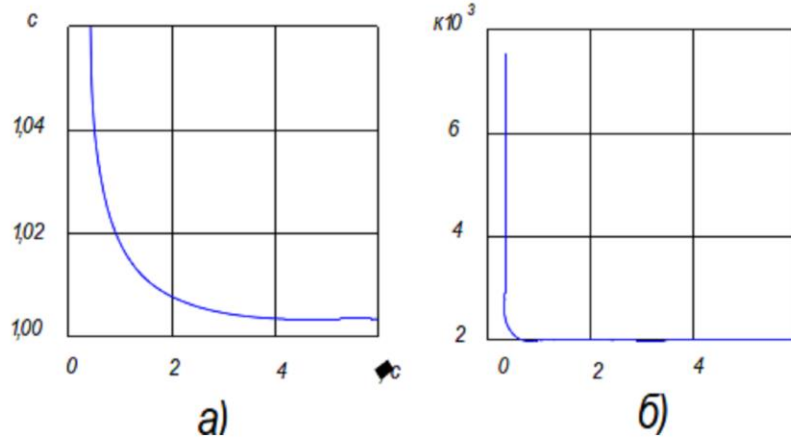
### Процес моделювання накатування в програмі «DEFORM-3D»



#### Аналіз результатів комплексних досліджень впливу параметрів процесу накочування нарізей роликми показав:

- овальність та конусоподібність нарізі при накочуванні без упору збільшуються при наростанні радіальної подачі роликів і практично не залежить від неї при накочуванні на упорі;
- найбільшу мікротвердість мають зони обмеженого деформування у западинах нарізі, найменшу — зони вільної течії металу (наприклад, у витках нарізі та поблизу осі стрижня).
- виявлено, що із збільшенням радіальної подачі зростає глибина проникнення деформації в заготовку і підвищується твердість металу у витку і серцевини нарізі.
- збільшення частоти обертання роликів та тривалості накочування за рахунок калібрування нарізі викликає додатковий наклеп поверхневих шарів металу, підвищує твердість та міцність

*Залежності овальності (а) і конусоподібності (б) накатаної нарізі від тривалості обробки*



				МР.ПМКН-343.00.00.000			
Лист	Лист	МР.Форм.	Лист	Лист	Результати СЕ		
Розроб	Будован	Б			Лист	Кресло	Кресло
Лист	Розроб	ЛР			МОДЕЛЮВАННЯ НАКОЧУВАННЯ		
Лист	Розроб	ЛР			Лист	Лист	Лист
				Мастерська робота на тему			
				"Забезпечення якості заготовки при накочуванні нарізей роликми"			
				ІФНІТНУ			
				П'ЯН-22-1			
				Фабрика А1			

МР.ПМКм-343.00.00.000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Будзан Б.					-
Пров.		Роп'як ЛЯ.					
Т.контр.		Роп'як ЛЯ.			Лист	Листов	1
Н.контр.		Роп'як ЛЯ.			ІФНТНУГ		
Утв.		Панчук В.Г.			ПМКм-22-1		

*Результати СЕ  
моделювання накатування*

*Магістерська робота на тему:  
"Дослідження впливу геометричних  
параметрів накатних роликів"*

*Копіював*

*Формат А1*