

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Вплив параметрів процесу накочування на якість утворення нарізного профілю»


Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ГМ-22м
спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Лагодич Н. Р.
(прізвище та ініціали)


Керівник: д. т. н., доцент кафедри ГМ

 Сивак Р. І.
(прізвище та ініціали)
«12» грудня 2023 р.

Опонент: к. е. н., доцент кафедри АТМ

 Огнєвий В. О.
(прізвище та ініціали)
«12» грудня 2023 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ГМ

д. т. н., проф. Поліщук Л. К. 
(прізвище та ініціали)
«12» грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань – 13 Механічна інженерія

Спеціальність – 133 – Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ

Леонід ПОЛІЩУК

«18» вересня 2023 р.



**ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Назару ЛАГОДИЧУ**

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Вплив параметрів процесу накочування на якість утворення нарізного профілю».**

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи: д. т. н., доц. Роман СИВАК, затверджені наказом №247 від «18» вересня 2023 р.

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи: 11.12. 2023р.

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: 1) опір деформації – $\sigma_0=80...90$ МПа; 2) діаметр заготовки під накочування – $d_0=18.6...19.2$ мм; 3) коефіцієнт тертя - $\mu=0,2...0,4$; 4) довжина заготовки під накочування – $85...95$ мм.

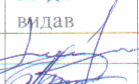

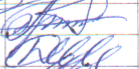



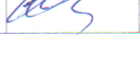

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1) вступ; 2) аналітичний огляд науково-технічної літератури на тему утворення різьбових поверхонь шляхом накочування; 3) технологія виготовлення деталі типу «болт» у виробничих умовах; 4) експериментальні дослідження; 5) вплив режимів та параметрів накочування на якість і властивості різьблення; 6) охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; 7) економічна частина.

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














1) різьбові з'єднання у машинобудуванні (пл. ф.А1); 2) виробничий процес накочування гвинтових профілів (пл. ф. А1); 3) способи накочування зовнішніх різьблень (пл. ф.А1); 4) моделювання процесу накочення різьблення болта (пл. ф.А1); 5) похибки різьблення болта (пл. ф.А1); 6) вплив параметрів процесу накочування різьблення болтів роликми на точність основних розмірів та форми різьбової частини болтів (пл. ф.А1); 7) вплив умов та режимів накочування на фізико-механічні властивості різьблення; вплив діаметра заготовки під накочування різьблення на отриманий профіль різьблення (пл. ф.А1); 8) вплив діаметра заготовки під накочування різьблення на отриманий профіль різьблення (продовження) (пл. ф.А1); 9) висновки (пл. ф.А1).

6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основний	д. т. н., доц. Роман СИВАК		
Економічний	к. т. н., доц. Ольга РАТУШНЯК		
Охорона праці	д. п. н., проф. Софія ДЕМБИЦЬКА		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	д. т. н., проф. Олег БЕРЕЗЮК		

7. Дата видачі завдання 15.09.2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ етапу	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи з/п	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1	Вступ	29.09.2023 р.	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури на тему утворення різбових поверхонь шляхом накочування	15.10.2023 р.	
3	Технологічний процес деталі у виробництві	2.11.2023 р.	
4	Методика визначення випадкових похибок накочування різблення	9.11.2023 р.	
5	Прогнозування точності різблення болтів, що формуються накочуванням двома роликками	15.11.2023 р.	
6	Аналіз впливу параметрів процесу накочування різблення болтів роликками на точність основних розмірів та форми різбової частини болтів	19.11.2023 р.	
7	Дослідження впливу умов та режимів накочування на фізико-механічні властивості різблення	22.11.2023 р.	
8	Аналіз впливу діаметра заготовки під накочування різблення на отримуваний профіль різблення	24.11.2023 р.	
9	Дослідження впливу поверхневих дефектів на якість різблення	26.11.2023 р.	
10	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	1.12.2023 р.	
11	Економічна частина	3.12.2023 р.	
12	Підготовка ілюстративної частини МКР	7.12.2023 р.	
13	Попередній захист на кафедрі	12.12.2023 р.	

Студент  Назар ЛАГОДИЧ
(ім'я та прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи  Роман СИВАК
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.777.4:621.77.01

Лагодич Н. Р. Вплив параметрів процесу накочування на якість утворення нарізного профілю. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 133 – галузеве машинобудування, освітня програма - галузеве машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2023. 100 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 42; табл. 3.

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено аналітичний огляд існуючих на даний час напрацювань на тему утворення різьбових поверхонь шляхом накочування. Розглянута технологія виготовлення деталі типу «болт» у виробничих умовах, приведені приклади застосування деталі в авіабудуванні, виконаний аналіз проблем, пов'язаних з даним процесом. Розглянута методика проведення експериментальних досліджень, яка включає визначення випадкових похибок накочування різьблення, прогнозування точності різьблення болтів, що формуються накочуванням двома роликками, аналіз впливу параметрів процесу накочування різьблення болтів роликками на точність основних розмірів та форми різьбової частини болтів. Виконана оцінка впливу режимів та параметрів накочування на якість і властивості різьблення, в яку входить дослідження впливу умов та режимів накочування на фізико-механічні властивості різьблення, аналіз впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на отримуваний профіль різьблення та дослідження впливу поверхневих дефектів на якість різьблення.

Графічна частина складається з 9 плакатів за результатами дослідження.

Ключові слова: пластична деформація, різьблення, прогнозування точності, метод кінцевих елементів, випадкові похибки, поверхневі дефекти.

ABSTRACT

Lagodych N. R. The influence of the parameters of the rolling process on the quality of the formation of a threaded profile. Master's qualification thesis on specialty 133 - industrial mechanical engineering, educational program - industrial mechanical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 100 p.

Ukraine language Bibliography: 28 titles; Fig.: 42; table 3.

In the master's qualification work, an analytical review of the currently existing developments on the topic of the formation of threaded surfaces by rolling is carried out. The technology of manufacturing a bolt-type part in production conditions is considered, examples of the use of the part in aircraft construction are given, and the problems associated with this process are analyzed. The method of conducting experimental research is considered, which includes the determination of random errors of thread rolling, prediction of the accuracy of the threading of bolts formed by rolling with two rollers, the analysis of the influence of the parameters of the process of rolling the thread of bolts with rollers on the accuracy of the main dimensions and the shape of the threaded part of the bolts. An assessment of the influence of rolling modes and parameters on the quality and properties of the thread was carried out, which includes the study of the influence of the conditions and modes of rolling on the physical and mechanical properties of the thread, the analysis of the influence of the diameter of the workpiece for thread rolling on the obtained profile of the thread, and the study of the influence of surface defects on the quality of the thread.

The graphic part consists of 9 posters based on the research results.

Key words: plastic deformation, threading, accuracy prediction, finite element method, random errors, surface defects.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ НА ТЕМУ УТВОРЕННЯ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛЯХОМ НАКОЧУВАННЯ	
1.1 Різьбові з'єднання в машинобудуванні.....	
1.2 Виробничий процес накочування гвинтових профілів.....	
1.3 Способи накочування зовнішніх різьблень.....	
1.4 Основні проблеми при накочуванні різьблення, що впливають на якість виробу.....	
2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ «БОЛТ» У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ	
2.1 Застосування деталі в авіабудуванні.....	
2.2 Технологічний процес деталі у виробництві.....	
2.3 Аналіз проблем з наступним визначенням завдань дисертаційної роботи.....	
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
3.1 Методика визначення випадкових похибок накочування різьблення.....	
3.2 Прогнозування точності різьблення болтів, що формуються накочуванням двома роликami.....	
3.3 Аналіз впливу параметрів процесу накочування різьблення болтів роликami на точність основних розмірів та форми різьбової частини болтів.....	
4 ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТА ПАРАМЕТРІВ НАКОЧУВАННЯ НА ЯКІСТЬ І ВЛАСТИВОСТІ РІЗЬБЛЕННЯ	
4.1 Дослідження впливу умов та режимів накочування на фізико-механічні властивості різьблення.....	
4.2 Аналіз впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на отримуваний профіль різьблення.....	

4.3 Дослідження впливу поверхневих дефектів на якість різьблення.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
Додаток А. Технічне завдання.....	
Додаток Б. Ілюстративна частина.....	
Додаток В. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень	

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальністю теми роботи є те, що сучасні промислові підприємства страждають через погіршення якості та працездатності машин та механізмів. Багато підприємств шукають ефективні та маловитратні методи, які допоможуть не лише збільшити технічний рівень виробництва, а й збільшити якість машин та механізмів. Вирішення цих проблем допоможе визначити рентабельність їх експлуатації, а також оптимізувати матеріальні та трудові ресурси для випуску нових виробів. У сучасних умовах один із показників надійності виробу визначається якістю різьбових з'єднань. Вони становлять близько 15-20% від загальної кількості різних сполучень у сучасних машинах та мають велике застосування у виробі машинобудівної галузі. У деяких галузях промисловості частка різьбових сполучень може сягати до 70% всіх сполучень.

Великі темпи розвитку машинобудування ґрунтуються на впровадженні сучасних та прогресивних методів обробки металів на виробництві. Це допомагає підвищити продуктивність праці в кілька разів і застосувати раціональніші методи з використання матеріалу для виробництва деталей. Один із шляхів розвитку прогресивної технології у машинобудуванні є заміна обробки різанням на обробку металів тиском у холодному стані. Оскільки при використанні методу нарізування потрібний профіль робиться шляхом зняття стружки різальним інструментом, а при накочуванні пластичною деформацією. Головними перевагами накочування порівняно з обробкою різанням є висока продуктивність, сталість отримання більш точних розмірів різьблення, більш висока міцність втомі на одержуваних деталях, а також метод накочування призводить до суттєвої економії металу.

У сучасній промисловості широке застосування знаходять стрижневі кріпильні вироби з накатаним різьбленням (болти, гвинти, шпильки тощо). Особливо важливу роль ці вироби грають в авіаційній будові. Тому що літак

як транспортний засіб повинен забезпечувати безпеку польоту, надійність, а також відповідати певним показникам льотно-технічних характеристик. Авіаційне кріплення є складовою конструкції літака. Якість та ефективність є основними властивостями літального апарату, де матеріал кріпильних деталей у конструкції літаків вибирається залежно від призначення та умов роботи вузлів. До складу кріпильних деталей можуть входити різні матеріали та сплави, вуглецеві та леговані сталі, а також нержавіючі та інструментальні матеріали, латунь, алюміній мідь, берилій, титан та нікель. Застосування процесу різання для утворення різьблення, на подібних деталях, є досить складною і трудомісткою роботою, також даний процес не забезпечить отримане різьблення необхідними фізико-механічними властивостями. У зв'язку з цим актуальним буде використання методу пластичної деформації (накочування). Даний метод буде одним з ефективних для обробки шліців та різьблення.

Руйнування різьбових з'єднань призводить до аварійних та позапланових зупинок машин, внаслідок чого збільшується час простого обладнання та фінансові витрати. Це відбувається через те, що багато підприємств стикаються з проблемами в процесі різьблення, які пов'язані з низькою якістю виробу, це виявляється в поганому оформленні виступів різьблення і в утворенні задирів і відшарування у западинах різьбової поверхні. Утворення задирів і відшарування можна зменшити, а то й зовсім усунути, якщо застосувати раціональні схеми та режими деформування. У зв'язку з цим актуальним завданням є пошук ефективних технологій та оптимальних режимів накочування різьблення. Внаслідок цього вирішення вищевикладеного питання є актуальним науково-технічним завданням.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є підвищення якості зовнішнього різьбового профілю за допомогою усунення несприятливих факторів технології виготовлення зовнішніх різьбових поверхонь, що впливають на утворення зовнішніх дефектів різьблення.

Завдання роботи:

- досліджувати кінематичний процес накочування і визначити раціональні способи і режими деформації, які послужать мінімальному прослизанню інструменту щодо заготовки;

- підготувати комп'ютерну модель процесу різьбонакочування, а також необхідно встановити напружено-деформований стан деформованої заготовки та режими деформування, які допоможуть знизити появу порожнин в осьовій частині накатаної ділянки, а також запобігти утворенню пухкості накатаної ділянки;

- необхідно розробити методику прогнозування точності різьблення, яка залежить від різних коливань діаметра вихідної заготовки, умов тертя та жорсткості системи «верстат-інструмент-заготовка», а також від механічних властивостей досліджуваної сталі;

- розробити раціональні режими накочування різьблення на болтах, та провести випробування отриманих розробок у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є технологія виготовлення зовнішньої різьбової поверхні накочуванням на заготовках із широко поширеної в авіабудуванні легованої конструкційної сталі 30ХГСА, що має безліч аналогів.

Предмет дослідження. Предметом дослідження стане утворення зовнішніх дефектів на поверхні різьблення у процесі виготовлення з використанням методу накочування у виробничих умовах.

Новизна одержаних результатів. Під час вирішення поставлених завдань були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. Теоретичні дослідження включали науковий аналіз та узагальнення сучасної теорії та практики технології машинобудування та обробки металів. Експериментальні дослідження полягали у проведенні дослідів відповідно до розробленого плану експериментальних досліджень та в обробці отриманих результатів статистичними методами, а також з використанням математичної статистики у сучасних програмних середовищах. Достовірність наукових положень та рекомендацій

підтверджена достатньою збіжністю результатів теоретичних та лабораторних досліджень, а також випробуванням їх у промислових умовах. Результати досліджень, представлені в цій роботі, можуть бути застосовані на підприємствах авіа та машинобудування.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ НА ТЕМУ УТВОРЕННЯ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛЯХОМ НАКОЧУВАННЯ

1.1 Різьбові з'єднання у машинобудуванні

Різьбові з'єднання є одним з найвідоміших елементів в деталях машин. Перевагою таких елементів є висока надійність та міцність. Дане кріплення відповідає за незмінність положення деталі, яка складає складальну одиницю будь-якого обладнання чи машини. Також різьбове з'єднання відрізняється зручністю збирання та розбирання, має великий ряд типорозмірів різних різьбових деталей, а також легко взаємозамінюється. Незважаючи на те, що різьбове з'єднання регламентовано різними нормативними документами та стандартами, її намагаються модифікувати та розробити нову та покращену модель кріплення.

Різьбові з'єднання – найбільш широко використовувані з'єднання. Залежно від поверхні, на якій розташоване різьблення, розрізняють такі види:

- циліндричні,
- конічні,
- зовнішні,
- внутрішні.

Профілі різьблення в перерізі площиною, що проходить через її вісь, бувають (рис.1.1):

- трикутні,
- опорні,
- трапецеподібні,
- прямокутні,
- круглі.

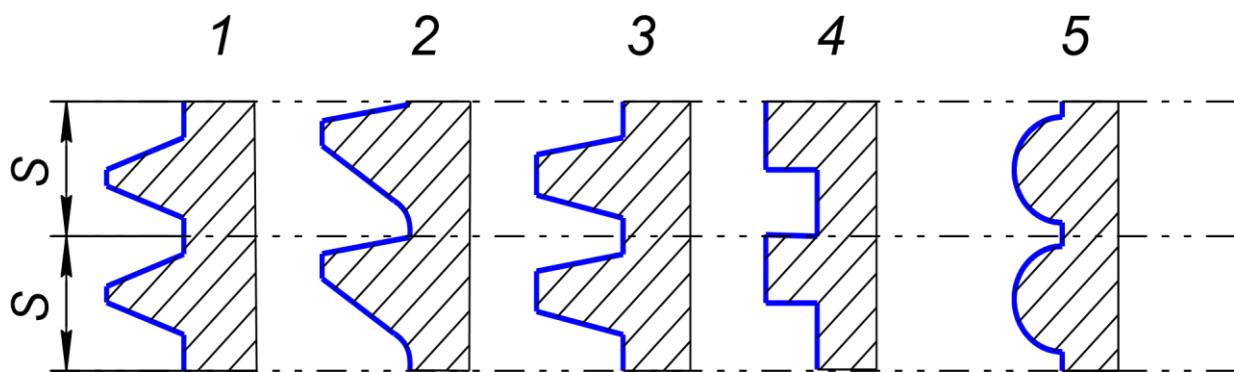


Рисунок 1.1 – Профілі різьблення у перерізі площиною

Також різьбові з'єднання розрізняються у напрямку гвинтової лінії на ліве та праве різьблення. За кількістю заходів вони поділяються на однозаходні та багатозаходні (двозаходні, тризаходні); за призначенням вони різняться на кріпильні та ходові.

Основні параметри різьбового з'єднання показані на рисунку 1.2, де d , d_1 , d_{cp} – відповідно зовнішній, внутрішній і середній діаметр; h – робоча висота профілю; S та α – відповідно крок та кут профілю.

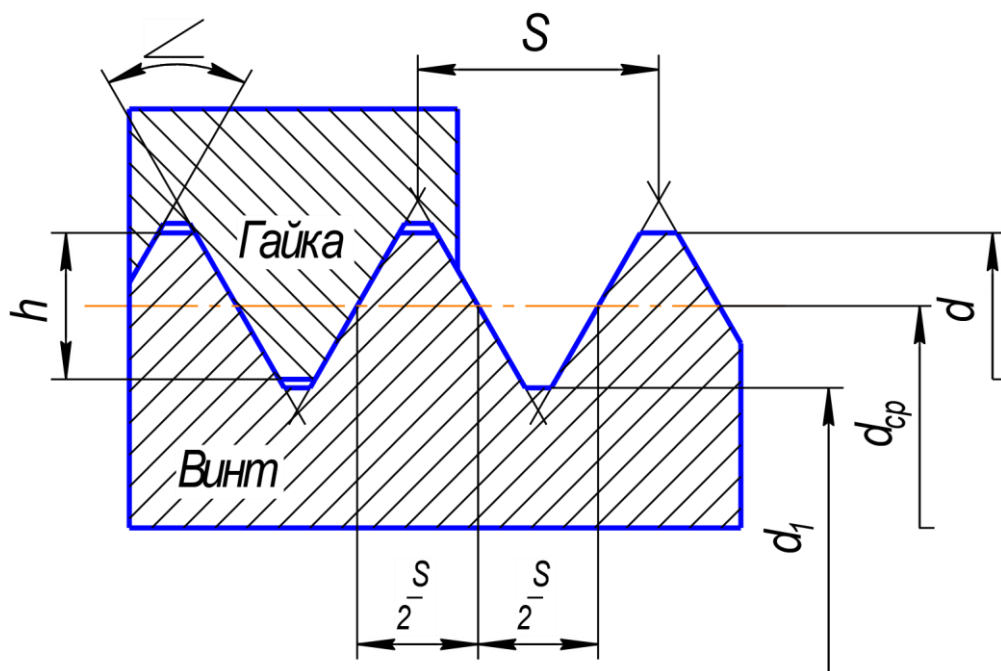


Рисунок 1.2 – Основні параметри різьбового з'єднання

Якщо розглядати різні профілі різьблення з точки зору їх міцності, то слід мати на увазі, що при тому самому внутрішньому діаметрі d_1 і кроці різьблення S найбільш міцною буде різьблення з трикутним профілем. Менш міцне опорне різьблення; ще менш міцне - трапецеєвидне; відносно найслабшим має бути прямокутне різьблення; у круглого – підвищена динамічна міцність завдяки наявності плавних заокруглень.

Існує кілька способів формоутворення різьблення:

- лиття під тиском, пресування, штампування (залежно від матеріалу: метал, пластмаса, скло);
- накочування, видавлювання (шляхом видавлювання гвинтових виступів);
- електроерозійний;
- обробка різанням.

Найчастіше, що використовуються методи різьблення - накочування і обробка різанням [6].

Накочування різьблення – обробка деталі без зняття стружки із зусиллям, що перевищує межу плинності, що робить процес незворотним. Різьблення накочуванням має ряд технічних переваг, таких як:

- точність профілю різьблення;
- міцність різьблення;
- висока якість бічної поверхні;
- висока швидкість та продуктивність.

Крім того різьблення накочуванням має і недоліки:

- високі вимоги до пластичності матеріалу;
- висока вартість інструментів і видаткових матеріалів(накатних роликів).

Тому накочування різьблення застосовується лише у випадках великих об'ємів серійного виробництва.

Обробка різанням - холодна обробка деталі профільним різцем, гребінкою або фрезою зі зняттям стружки з заготовки, що обробляється.

1.2 Виробничий процес накочування гвинтових профілів

Розглянемо процес накочування різьблення роликками. Цей процес заснований на принципах радіальної подачі. На рисунку 1.3 описаний сам процес накочування різьблення: рухомий ролик (2) подається у бік заготовки (3) та нерухомого ролика (1). Для утворення різьблення задіяні обидва роликки однаковою мірою. У зв'язку з цим роликки переміщуються по центру заготовки на необхідну відстань, що дорівнює висоті різьблення ніжки. Але повинні дотримуватися такої умови: діаметр заготовки повинен дорівнювати середньому діаметру різьблення. Саме різьблення виходить у тому випадку коли витки роликків зближуються і вдавлюються в заготовку утворюючи різьблення.

Роликки виробляють процес обертання лише в один бік з певною однакою швидкістю, і примушують заготовку здійснювати обертальні рухи без ковзання. Для того щоб правильно сформувати різьблення під час процесу накочування між заготовкою та роликками не повинно бути ковзання. Установка заготовки відбувається наступним методом: її встановлюють на опорну лінійку (4), при цьому вона впирається торцем в упор (5). На робочій частині лінійки є пластина із твердого сплаву. Це допомагає збільшити її зносостійкість. Під час процесу накочування можливе виштовхування заготовки з роликків вгору. Щоб уникнути цього необхідно центр заготовки помістити вище, ніж лінія центру ролика приблизно на 0,1 - 0,3 мм для гвинтів та на 0,2 - 0,9 мм для мітчиків. Перебувати між роликками заготовки під час процесу накочування допомагає лінійка. Коли формування різьблення закінчиться, то й радіальна подача зупиняється, але роликки продовжують калібрувати різьблення для того, щоб збільшити чистоту та ущільнення поверхні.

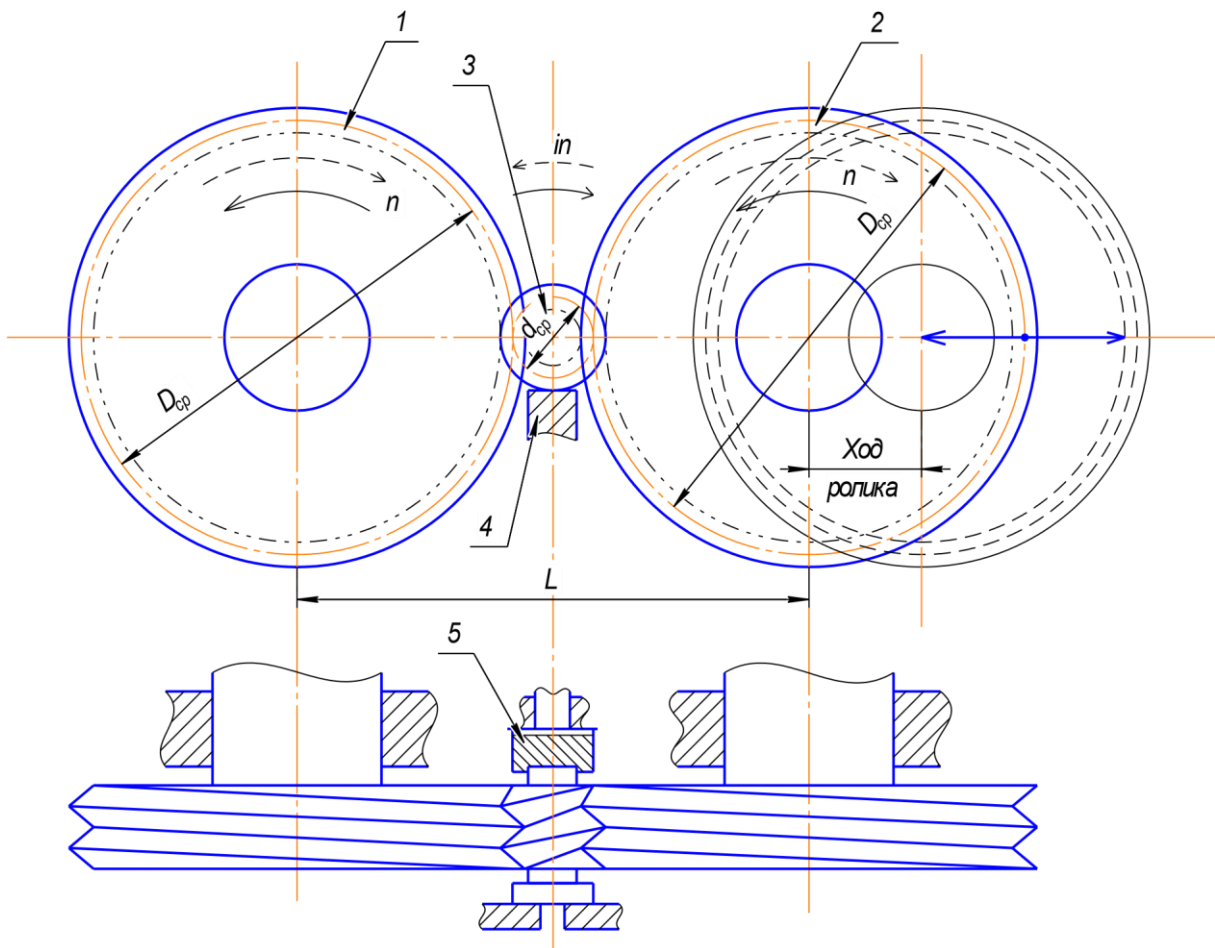


Рисунок 1.3 – Процес накочування різьблення роликами

Під час процесу накочування рухливий ролик і заготовку необхідно рясно охолоджувати за допомогою сульфозфрезолу або веретеною олією.

На час, що витрачається на накочування різьблення, довжина заготовки не впливає.

Для того щоб витки двох роликів потрапили в різьбу, що накочується, їх зміщують на 0,5 кроку [8].

Здійснити накочування різьблення роликами на прохід досягається використанням різних окружних швидкостей двох роликів. Це можна досягти кількома способами. Перший спосіб це коли ролики мають однаковий розмір і процес обертання має різну кількість обертів. Другий спосіб - це коли ролики з різними діаметрами створюють обертання з рівними числами оборотів ($n_1=n_2$) або швидкостями кола ($v_1=v_2$).

У кожному з перерахованих способів напрямок обертання роликів має бути однаковим. Розглянемо рисунок 1.4, у ньому зображено другий спосіб накочування різьблення. 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 заготовку у вільний 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 обрана пропорція між середнім діаметром великого ролика D_{cp1} та веденого (меншого) D_{cp2} та між середніми діаметрами провідного ролика D_{cp1} та різьблення заготовки d_{cp} .

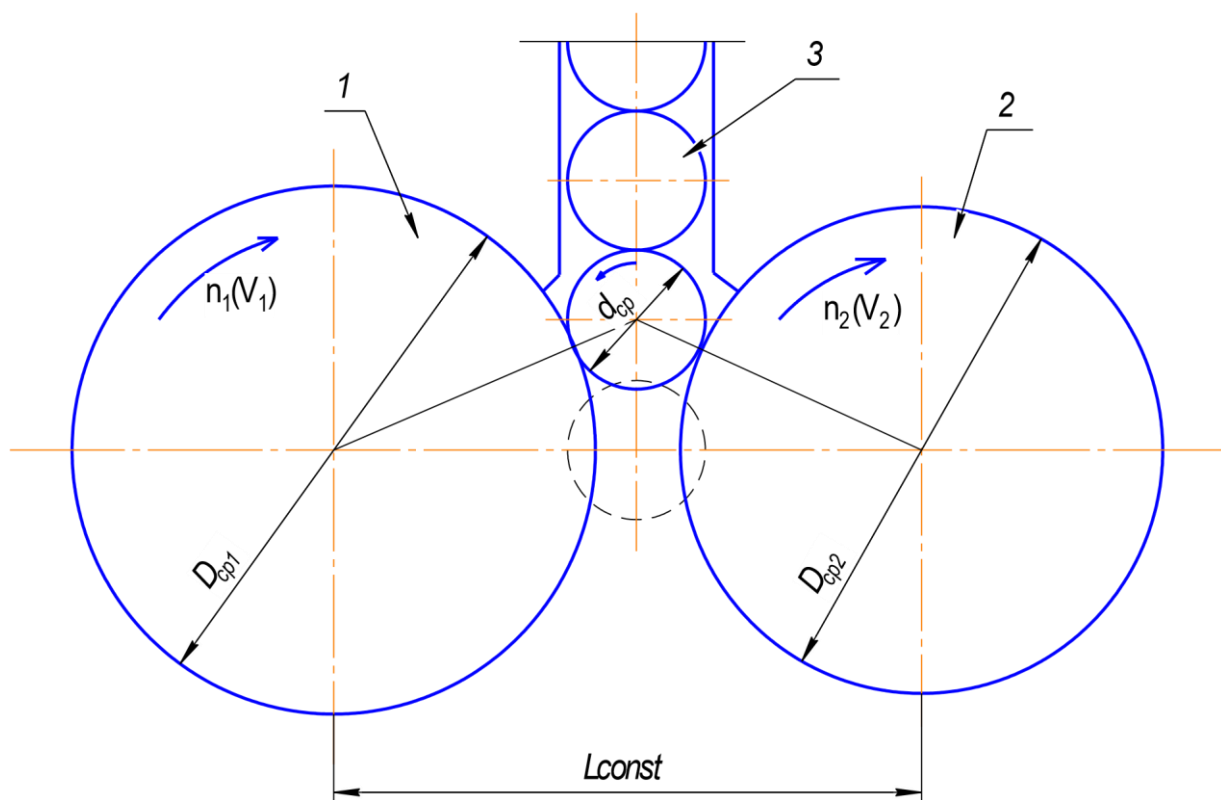


Рисунок 1.4 – Процес накочування різьблення роликами з різними діаметрами

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 (відомий) повинен робити менше заходів, ніж ведучий.

$$D_{cp1} = d_{срi}, \quad (1.1)$$

де i – кількість заходів вибирається від умови рівності кутів підйому різьблення ролика та заготовки. 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 накочування різьблення.

1.3 Способи накочування зовнішніх різьблень

У сучасній промисловості для того, щоб виготовити стрижневі вироби з різьбленням, можна використовувати різні способи накочування. Перший спосіб це накочування плоским інструментом (плашками), другий спосіб це накочування приводним циліндричним інструментом і останній спосіб це накочування безпривідним інструментом циліндричної форми з різьбонакатними головками, що на ньому обертаються.

Накочування плоскими плашками відрізняється від накочування приводним циліндричним інструментом наявністю лише тангенціальної подачі інструменту на заготовку. Накочування ж приводним циліндричним інструментом проводиться з різними напрямками подачі, а саме: тангенціальної, радіальної, поздовжньої (осьової) або комбінованої (радіально-осьової).

Метод накочування плоскими плашками можна розділити на кілька різновидів:

- накочування рухомою та нерухомою плашкою;
- накочування рухомою та двома нерухомими плашками;
- накочування нерухомою плашкою та рухомою з кількома забірними частинами;

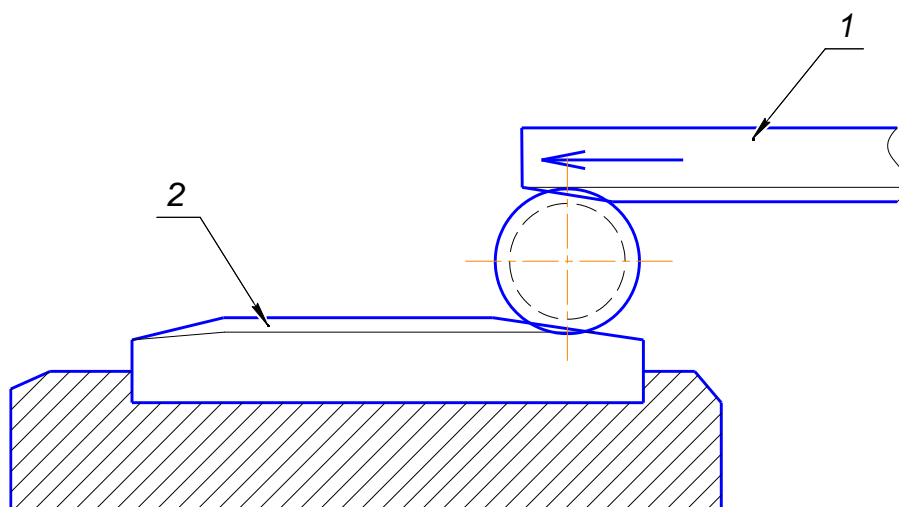
- накочування плашкою, яка має спеціальні вставки [10].

Існують кілька способів накочування зовнішнього різьблення за допомогою плоских плашок з тангенційною подачею. Розглянемо їх коротку схему та рекомендовану сферу застосування.

Перший невідомий і часто застосовуваний спосіб це накочування за допомогою двох плашок, одна з яких рухома, а друга нерухома (рисунок 1.5). Щоб застосувати цей метод необхідно помістити заготовку між рухомою та нерухомою плашкою. Бічні сторони плашок складаються із прямолінійних поверхонь. Дані поверхні зроблені під кутом підйому різьблення та відповідають поперечним перерізам профілю різьблення. Рухома плашка рухається прямолінійно, здійснюючи зворотно-поступальні рухи. Обертання заготовки навколо своєї осі відбувається за рахунок тангенціального зусилля.

Для того щоб, нанесений на плашку, негативний профіль різьблення передався на заготовку, що обробляється, необхідно застосувати радіальне зусилля, яке повинно бути спрямоване перпендикулярно осі заготовки.

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

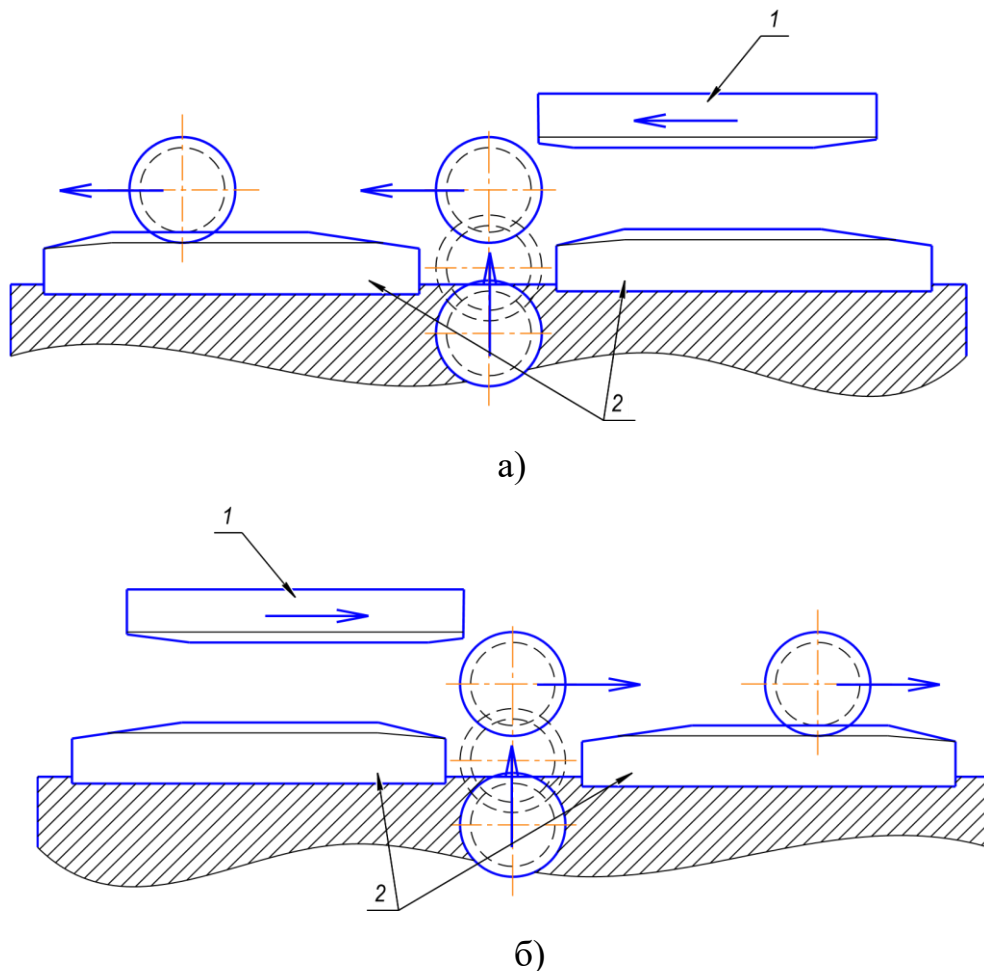


1 – рухома плашка, 2- нерухома плашка

Рисунок 1.5 – Накочування двома плашками

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

Другий відомий спосіб накочування – це накочування трьома плашками. Одна з плашок є нерухомою, а дві інші рухомі (рис. 1.6 а та 1.6 б). Цей метод допомагає збільшити продуктивність роботи в 2 рази. Для того щоб зробити накочування різьблення трьома плашками необхідно подати заготовку до двох нерухомих плашок. Процес накочування різьблення однією заготовки здійснюється під час прямого ходу рухомої плашки, а при зворотному рухові в іншій заготовці.

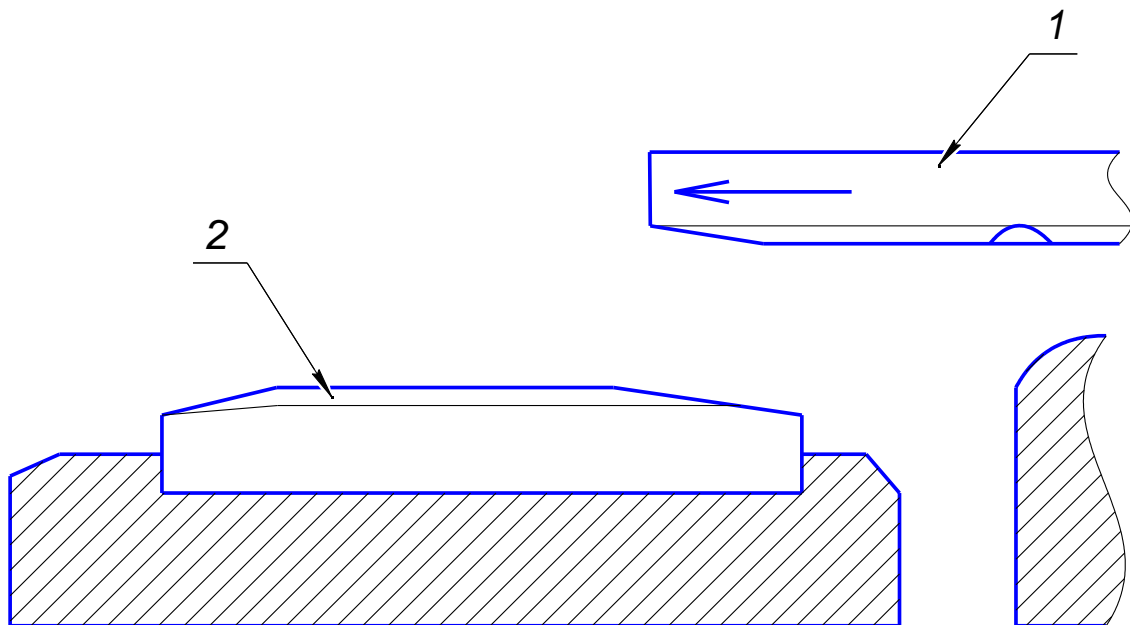


а – Прямий хід: 1 – рухома плашка, 2 – нерухомі плашки; б – Зворотний хід: 1 – рухома плашка, 2 – нерухомі плашки

Рисунок 1.6 Накочування трьома плашками

Даний метод, як і накочування двома плашками, застосовується для виготовлення таких деталей як: болт, гвинт, шпилька, шуруп та інші циліндричні вироби з різьбленням або рифленням трикутного або трапецеєвидного профілю.

Третій метод накочування - це накочування 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 накочування за прохід одразу двох заготовок (рисунок 1.7)



1 – рухома плашка з кількома забірними частинами, 2 – нерухома плашка

Рисунок 1.7 – Накочування спеціалізованими плашками

Даний метод накочування використовується для виготовлення тільки таких деталей як: болти, шурупи, гвинти, шпильки та інші циліндричні вироби.

Останнім методом накочування зовнішніх різьблень плоскими плашками з тангенціальною подачею буде метод накочування плашками зі

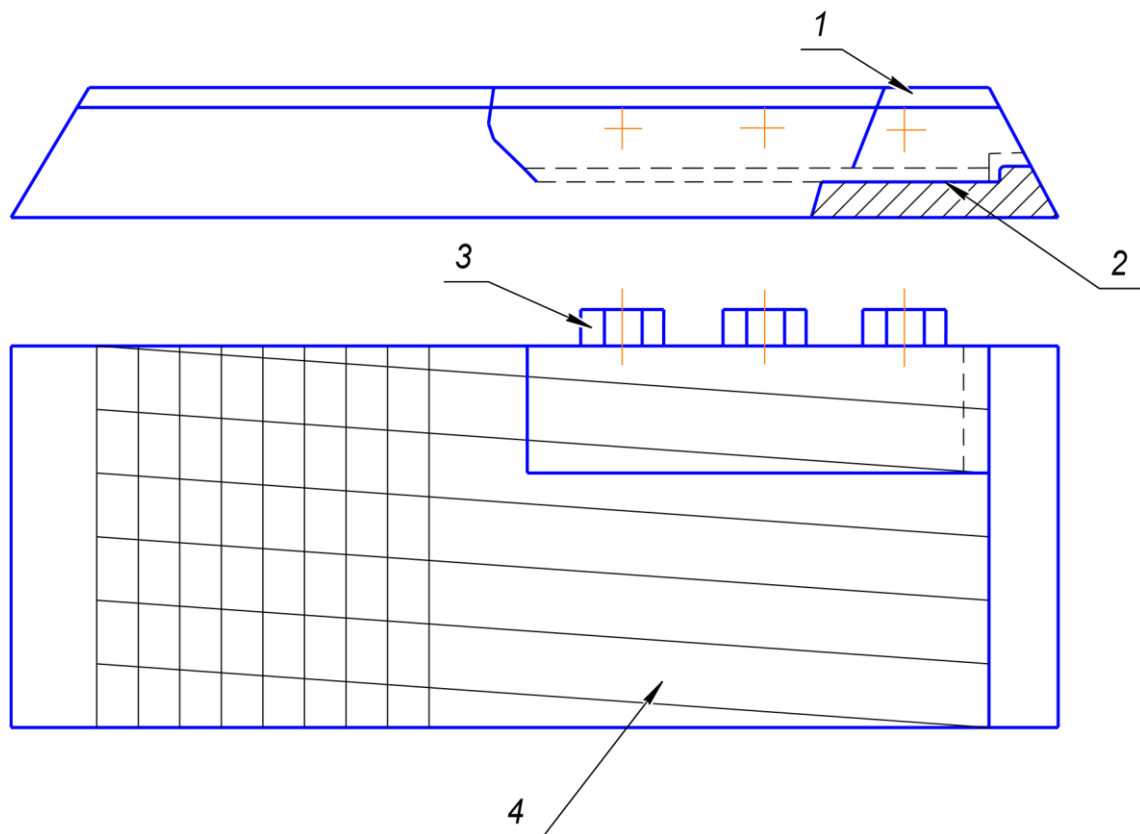
спеціалізованими вставками. У даному методі довжина вставок відповідає довжині різьби великого діаметру, що накочується (рисунок 1.8).

Даний метод дозволяє одночасно накочувати різьблення на декількох циліндричних заготовках, таких як болт. Циліндричні заготовки повинні мати різні діаметри, і відрізнятись приблизно на 0,25 – 0,6 мм.

Тепер розглянемо кілька способів накочування різьблення циліндричним інструментом. Даний процес накочування здійснюється за рахунок тангенціальної, радіальної, комбінованої або поздовжньої подачі інструменту на заготовку, що обробляється.

Тангенційна подача заготовок виконується різними інструментами:

- різбовими роликми, що обертаються, з різбовими сегментами;
- потильованими роликми;
- ролики, які мають різні окружні швидкості обертання.



1 – спеціальні вставки, 2 – паз, 3 – болт, 4 – плашка

Рисунок 1.8 Плашки із спеціальними вставками:

Існують два різновиди схем накочування: накочування приводним циліндричним інструментом та накочування не приводним циліндричним інструментом з тангенційною подачею. Почнемо свій огляд із накочування приводним циліндричним інструментом [13].

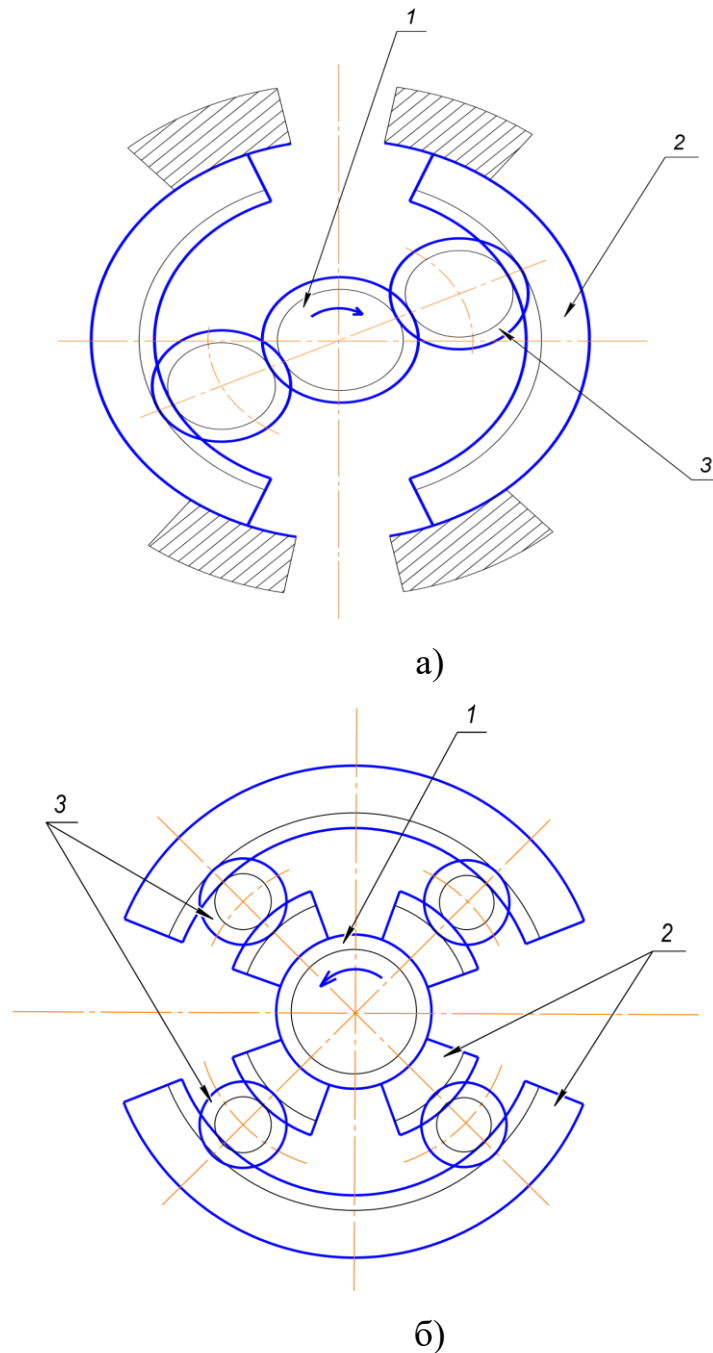
Першим способом накочування приводним циліндричним інструментом є спосіб накочування з подачею тангенціальної. Він поділяється на кілька видів:

1. Накочування за допомогою різбового ролика, що обертається, і різбових сегментів (рухомі або нерухомі ролики) - планетарний процес накочування (рисунок 1.9 а і 1.9 б). Цей процес різбонакочування проводиться на планетарних верстатах. Особливістю даного методу є те, що має бути відповідність між профілем різби, що накочується, і зовнішньої поверхні накочуваного ролика, а також між внутрішньою поверхнею сегмента. Під час процесу накочування заготовка повинна перебувати між робочою поверхнею ролика та сегментами. Потрібно взяти до уваги те, що при збільшенні сегмента зменшується шлях накочування і відповідно збільшується продуктивність процесу, який має пряму залежність від номінального діаметра різблення при накочуванні і стану пластичності оброблюваного матеріалу заготовки. Широке застосування на виробництві цей метод не знаходить внаслідок високої вартості обладнання та інструменту, що робить його економічно недоцільним.

Даний вид накочування застосовується у великосерійному та масовому виробництві для виготовлення таких деталей як: болт, шпильки, гвинти та і т. д. Дані деталі мають різблення другого та третього класу точності.

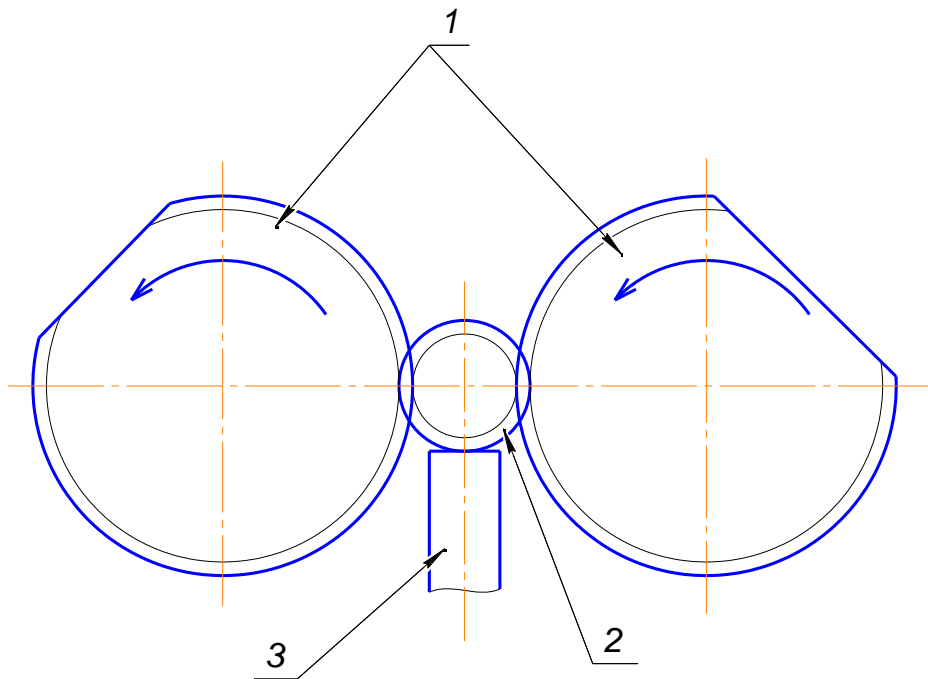
2. Накочування спеціалізованими (затильованими) роликами (рисунок 1.10). Затильовані ролики відрізняються наявністю на робочій поверхні одного або обох роликів наступних частин: виїмка, забірна частина, частина, що калібрує і скидає. Виїмка профільної поверхні не має і служить як для введення оброблюваної заготовки в зону накочування так і відведення заготовки по закінченні накочування процесу різби. Скидає і калібрує

частини мають повний профіль різьблення. Забірна частина, внаслідок потилиці по висоті, має неповний профіль. Так як у зближенні роликів при накочуванні різьблення немає необхідності, спрощується кінематична схема різьбонакатного верстата.



а – 1 – нерухомі сегменти; 2 - обертовий різьбовий ролик; 3 – деталі, що обробляються; б – 1 – різьбовий ролик, що обертається; 2 – рухомі сегменти; 3 – деталі, що обробляються

Рисунок 1.9 Планетарний процес накочування



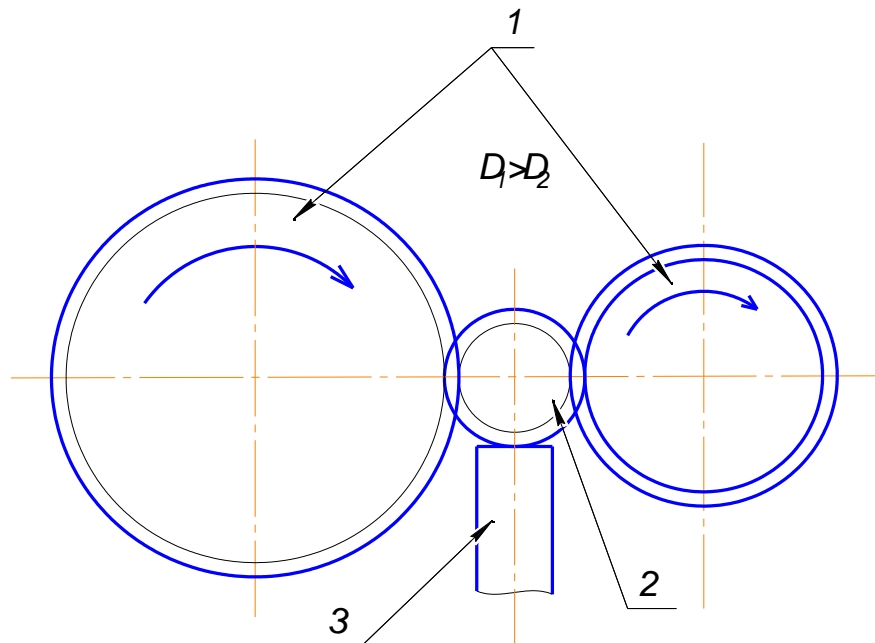
1 – затильовані різьбові ролики, що обертаються; 2 - оброблювана деталь; 3–
ніж

Рисунок 1.10 – Накочування затильованими роликами

Даний спосіб наочування використовується для виробництва таких деталей як: гвинти, порожнисті різьбові деталі, болти, мітчики, різьбові калібри та інші вироби з конічним та циліндричним різьбленням трикутного трапецеїдального та круглого профілю.

3. Накочування за допомогою роликів з різним діаметром кола, але мають однакову кількість обертів (рисунок 1.11).

Даний метод використовується для наочування 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 наочування роликами з різним діаметром використовують для наочування різних профілів: ромбічної, прямої та кутової форми.



1 - різьбові ролики різних діаметрів, що обертаються; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

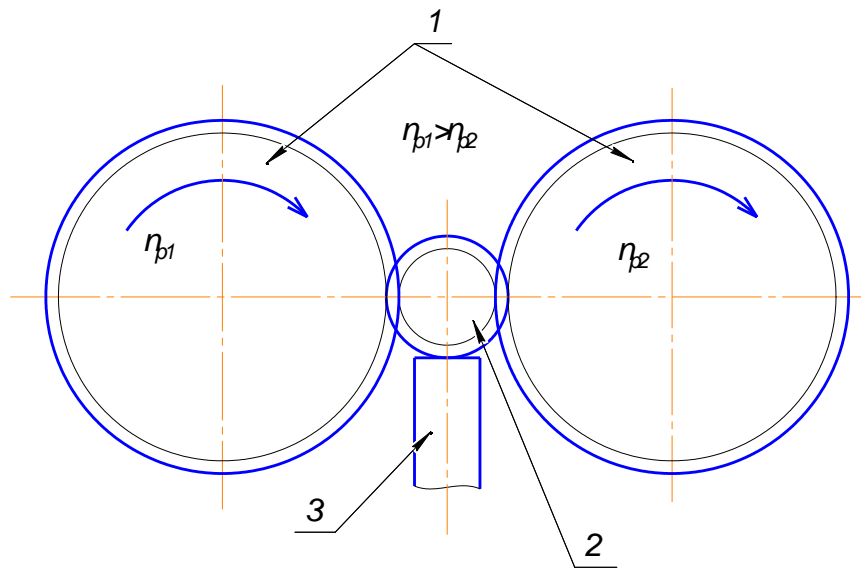
Рисунок 1.11 – Ролики з різним діаметром, але з однаковим числом оборотів

4. Накочування роликами з однаковим діаметром, але з різною кількістю обертів (рисунок 1.12). Даний метод, також як і метод наочування за допомогою роликів з різними діаметрами кола, використовується для наочування 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. Накочування роликами з різними діаметрами використовують для наочування різних різьбових профілів: ромбічної, прямої та кутової форми.

Другим способом наочування приводним циліндричним інструментом є спосіб наочування з подачею радіальної. Він також має кілька різновидів:

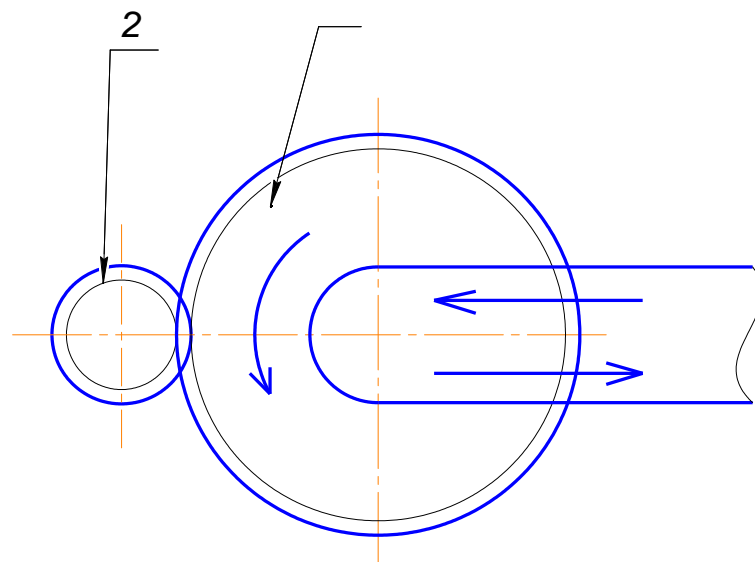
1. Накочування за допомогою одного ролика з гвинтовою нарізкою (рисунок 1.13). Даний метод використовують у наочуванні головки болта, для різьбонаочування ділянки за буртиком, а також для інших деталей з

відносно недовгим стрижнем, які в основному складаються з металів кольорових сплавів.



1 – різьбові ролики, що обертаються, однакового діаметра; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

Рисунок 1.12 – Ролики з однаковими діаметрами, але з різним числом обертів



1 – ролик, що обертається; 2 - оброблювана деталь

Рисунок 1.13 – Накочування з радіальною подачею одним роликком з гвинтовою нарізкою

2. Накочування двома багатозахідними роликами з гвинтовою нарізкою (рисунок 1.14).

Даний метод використовується для наочування різьблення на такі деталі: болти, гвинти, шпильки та інші деталі. Також даний спосіб використовують для створення мітчиків, мікрометричних та ходових гвинтів, а також для різьбових калібрів.

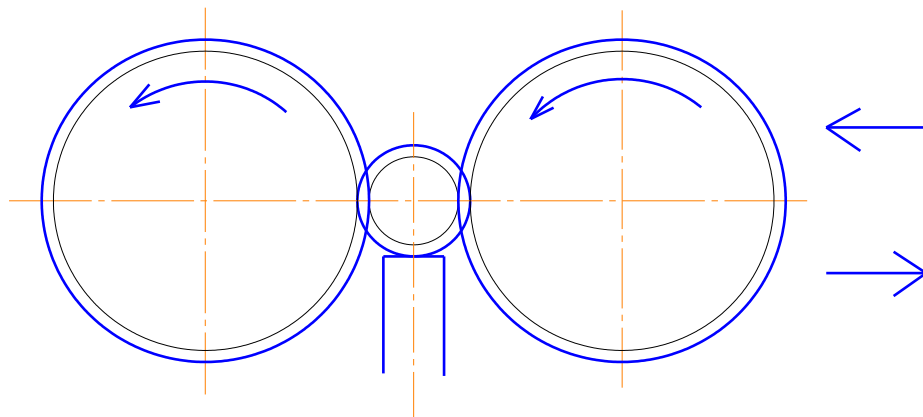


Рисунок 1.14 – Накочування з радіальною подачею багатозахідними роликами з гвинтовою нарізкою

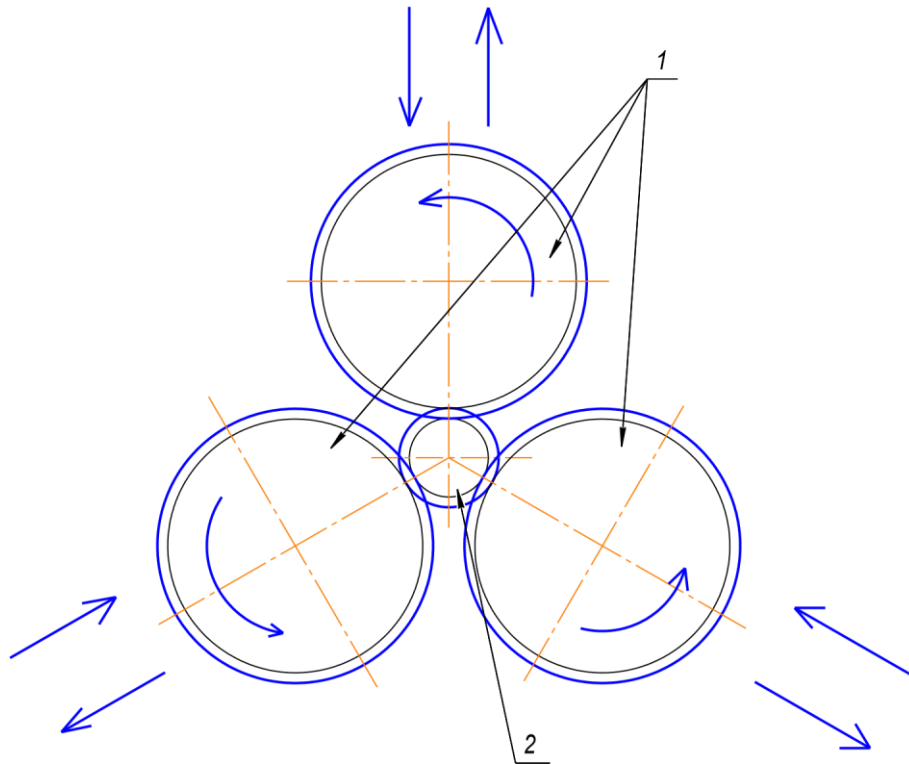
3. Накочування за допомогою трьох роликів з гвинтовою нарізкою (рисунок 1.15).

Спосіб наочування з трьома роликами використовують для того, щоб наочувати різьблення не тільки на спеціальних верстатах.

Третій спосіб наочування - це наочування за допомогою поздовжньої (осьової) подачі одним, двома або трьома роликами з кільцевою нарізкою. Цей спосіб має аналогічні схеми як в роботі з радіальною подачею (рисунок 1.13, 1.14, 1.15).

Під час обробки заготовки способом осьової подачі інструменту переміщення відбувається за допомогою обертання роликів за рахунок загвинчування або викручування самої заготовки. Процес наочування відбувається двома або трьома роликами з кільцевою нарізкою. Процес

накочування відбувається шляхом руху заготовки вздовж своєї осі, проте незмінним залишається відстань між осями роликів.

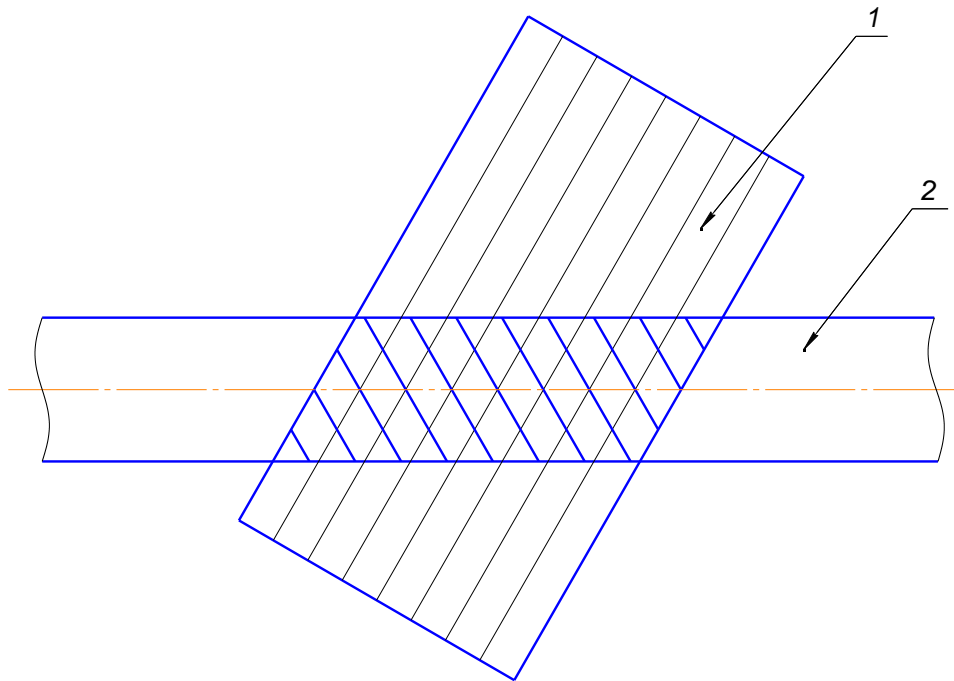


1 – ролики, що обертаються, з гвинтовою нарізкою; 2 - оброблювана деталь

Рисунок 1.15 – Накочування з радіальною подачею за допомогою трьох роликів з гвинтовою нарізкою

Перевагою даного способу накочування є те, що накочувати різьблення на заготовку можна будь-якої довжини, цей процес не залежить від ширини роликів.

Четвертий та останній спосіб різновиду накочування приводним циліндричним інструментом є радіально-осьовий спосіб. Цей спосіб 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 різьби $\alpha = \gamma$ (рисунок 1.16). Цей спосіб використовується тільки для виготовлення довгих видів різьблення.



1 – ролик із кільцевою нарізкою; 2 - оброблювана деталь

Рисунок 1.16 – Радіально-осьовий спосіб накочування

Другим різновидом схем накочування є накочування непривідним циліндричним інструментом з тангенціальною подачею за допомогою різьбонакатних головок, що обертаються (рисунок 1.17).

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

У сучасному світі стоїть питання про технологічне забезпечення та підвищення якості різьбових з'єднань. Багато лабораторних досліджень та праць було опубліковано на цю тему. Дані праці поділяються на такі класифікації:

- технологічні методи виготовлення та збирання різьбових з'єднань,

- підвищення якості різьбових з'єднань.

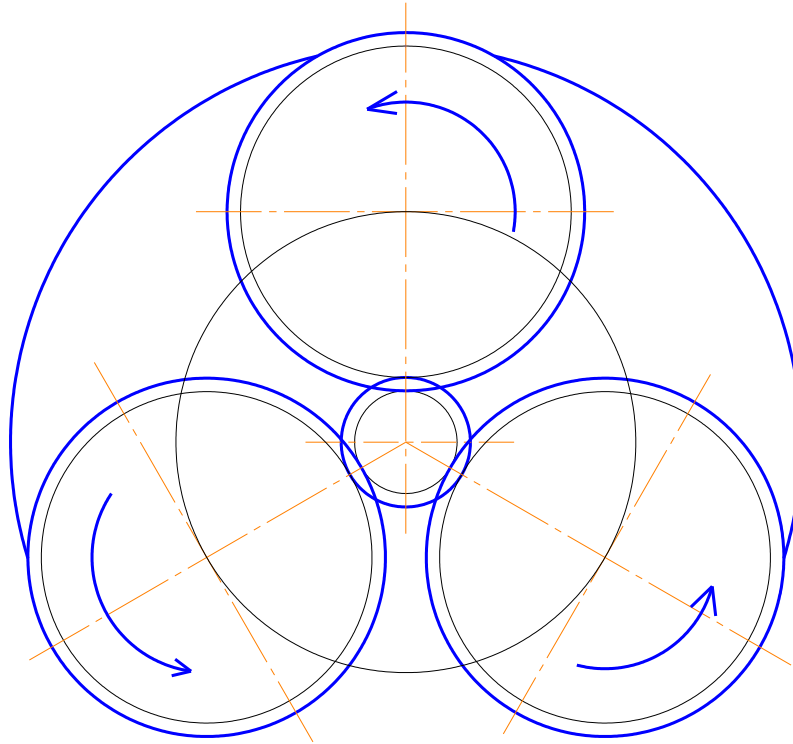


Рисунок 1.17 – Накочування різьбонакатними головками, що обертаються.

Розібравши основні способи наочування різьблення, ми з'ясували, що популярним і часто застосовуваним способом машинобудування є наочування циліндричними роликами з гвинтовою нарізкою. Розглянемо цей процес докладніше.

1.4 Основні проблеми при наочуванні різьблення, що впливають на якість виробу

Прогнозування і класифікація дефектів, що виникають при наочуванні різьблення — один з основних елементів сучасної технології виробництва кріпильних виробів, що дозволяють забезпечити необхідну якість.

Під час процесу наочування циліндрична заготовка, яка має рівний зовнішній діаметр із середнім діаметром різьблення, здійснює обертальні

рухи між робочими поверхнями інструменту, що мають заданий профіль. Різьбові гребені накатного інструменту плавно вводяться в поверхневий шар заготовки, утворюючи при цьому западини, а видавлений метал зміщується в радіальному напрямку, утворюючи на заготовці гребінні різьблення.

Для отримання різьбового профілю на кріпильних деталях застосовується різноманітний різьбоутворюючий інструмент: різьбонакатні плоскі плашки, ролик-ролик та ролик-сегмент. Конструкції різьбоутворюючого інструменту також різноманітні і залежать від типу, а також виробника інструменту.

У плоских плашках використовується, як правило, три робочі зони: забірна зона, що забезпечує захоплення заготовки та попереднє профільування; калібруюча зона, що забезпечує одержання остаточних геометричних розмірів різьблення; зона скидання, що дозволяє без залипання звільнити заготовку з різьбоутворювального інструменту.

У різьбонакатних роликах та роликах-сегментах може бути відсутній суворий поділ на робочі зони.

Накочування різьблення супроводжується формозміною поверхневого шару заготовки, в результаті чого на першому етапі виходить овальний переріз; на другому етапі формування різьблення, що відбувається в калібруючій частині інструменту, вона набуває форми кола.

При використанні як інструмент ролика-ролика або ролика сегмента овальність усувають на кінцевій ділянці різьбоутворюючої поверхні.

Дефекти, які є практично під час накочування різьблення, пов'язані з механічним впливом у цьому процесі. Під час процесу накочування можуть виникнути такі недоліки:

- 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 різьблення.

Однією з головних причин утворення дефектів під час механічного процесу накочування є умови формування профілів різьблення. Профіль різьблення створюється, за допомогою багаторазового та послідовного копіювання профілю інструменту (рухомий та нерухомий 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 різьби, що видавлюється, стикається з робочою поверхнею однієї, а через кожні пів обороту 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 різьби, що накочується. Вони або збігаються, або не збігаються.

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

Насправді порушення симетрії деформації металу, під час накочування різьблення, відбувається у таких ситуаціях:

- через неточне налагодження різьбоутворювального інструменту, тобто установки інструменту з неправильним зміщенням по кроку різьблення;

- через низьку якість виготовлення різьбоутворювального інструменту, як по кроку різьблення, так і за формою профілю і куту нахилу витків;

- в результаті накочування з повним заповненням профілю витків різьбоутворювального інструменту;

- при недостатній точності та жорсткості конструкції різьбонакатного верстата.

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

Практика показала, що різьбоутворюючий інструмент, 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 різьблення 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 накочування різьблення. Дані дефекти також з'являються, якщо усунути будь-які інші причини, які супроводжують асиметричне деформування металу у процесі формування профілю різьблення.

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

Перекочування та складки на бічних поверхнях профілю різьблення та по внутрішньому діаметру різьблення виникають у більшості випадків тому,

що налаштування різьбонакатного інструменту не забезпечує однакового врізання частин інструменту в поверхню заготовки.

Цей дефект виникає як при використанні плоских плашок, так і при формуванні різьблення з використанням роликів та роликів-сегментів.

Внаслідок цього попередньо накатаний однією частиною інструменту профіль різьблення піддається бічному зміщенню іншою частиною інструменту.

У процесі накочування різьблення подібний дефект може постійно повторюватися, так як перекатка, що виникає на бічних сторонах профілю різьби, поширюється спіралеподібно аж до радіусу основи.

Виникнення такого дефекту пов'язане з такими причинами:

- неточне налаштування різьбоутворювального інструменту;
- різні кути нахилу різьблення на різьбоутворювальному інструменті;
- великий люфт у супортах кріплення різьбоутворювального інструменту;
- 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 різьбових з'єднаннях, не можуть бути пронормовані тільки полем допусків.

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

Якість різьби, що накочується, і її точність залежить від окружної швидкості, від часу накочування, а також від радіальної швидкості подачі інструменту.

При збільшеній швидкості та величині подачі спостерігається луцення і навіть відшарування різьблення від тіла деталі при механічних випробуваннях.

Такі дефекти утворюються під час зовнішнього впливу та не пов'язані з механічним процесом пластичної деформації під час накочування різьблення, тому причини їх утворення можна виділити в окрему групу.

Ці пошкодження з'являються під час руйнування витків різьбового інструменту. Малі викришування суттєво збільшують шорсткість поверхні западин накочуваного різьблення, великі утворюють критичні поверхневі дефекти.

Також можливі дрібні механічні пошкодження. Вони з'являються за рахунок влучення різних твердих частинок в область контакту різьбоутворювального інструменту та заготовки. Такими частинками може бути якась дрібна стружка абразиви чи щось інше. Дані матеріали можуть знаходитися в мастильно-охолоджувальній рідині або безпосередньо на поверхні заготовки, що обробляється, або інструменту.

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

Слід звернути увагу і на поверхневі дефекти, присутні на заготовці, їх вигляд буде трохи змінений через деформацію металу під час накочування, але вони неминуче залишаються на різьбленні готового виробу.

При значних дефектах на поверхні заготовки, таких як штампувальні тріщини, волосинки, заходи сонця та ін., якісне виготовлення різьблення може бути неможливим.

З вищесказаного можна зробити висновок, що основними факторами, що впливають на якість виробу при накочуванні різьблення, є:

1. Якість використовуваного матеріалу;
2. Якість заготовки для накочування різьблення;
3. Якість виготовлення різьбоутворювального інструменту, що застосовується;

4. Якість налаштування різьбонакатного автомата та якість налагодження різьбоутворювального інструменту (кваліфікація працівників);

5. Вибір оптимальних режимів накочування різьблення, що залежать від параметрів матеріалу і якості виготовлення заготовки, що застосовується;

6. Технічний стан устаткування.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТИПУ БОЛТ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

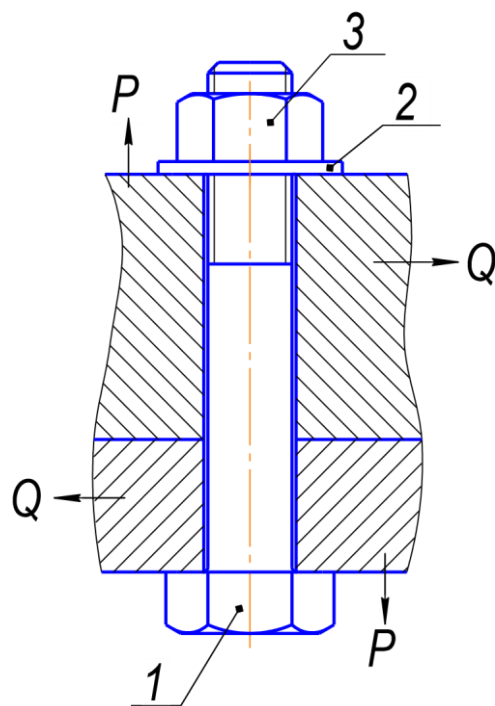
2.1 Застосування деталі в авіабудуванні

У цій роботі основну увагу приділено вдосконаленню процесу накочування високоміцних болтів, які грають важливу роль в авіаційній будові, як відповідальна високонавантажена деталь. Застосування високоміцні болти знаходять у металевих конструкціях для з'єднання та кріплення високонавантажених відповідальних різьбових з'єднань, що застосовуються в авіабудуванні та експлуатуються в макрокліматичних районах з помірним та холодним кліматом.

Роз'ємні з'єднання є поширеним типом різьбового з'єднання за допомогою болта та гайки. Як правило, деталі з'єднуються болтом в отворі деталей, що сполучаються з зазором, з подальшою затяжною гайкою, створюючи зусилля стиснення, перешкоджаючи розходженню стику під дією сил відносного поперечного зсуву (Q) і осьових сил (P), за рахунок цього між деталями виникають сили тертя (рисунок 2.1). Довжина болта визначає товщину пакета з'єднання.

Для дослідження візьмемо за приклад високоміцний болт M20-90кд (рис. 2.1) із шестигранною головкою та збільшеним розміром під ключ для металевих конструкцій. Який має основний варіант виконання і являє собою деталь, що складається з шестигранної головки з розміром «під ключ» 30 мм з допуском по h_{12} і стрижня з неповним метричним різьбленням довжиною 90 мм ($\pm 0,5$ мм) до голови. Під "головою" радіус R1,5. Стрижень має з боку кінця частину з правим різьбленням номінальним діаметром M20 довжиною 28мм, кроком 1,5 мм і полем допуску 6e під кадмієве покриття, а інша, гладка, частина виконана з діаметром, рівним номінальному діаметру різьблення з допуском 0,75 і довжиною 62 мм. Кадмування піддають найбільш відповідальні деталі літаків, кораблів та ін. Особливість кадмієвого

покриття полягає в тому, що воно є анодним і застосовується для захисту сталі від корозії в атмосфері та морській воді електрохімічно; у прісній воді – механічно. Висота шестигранної головки болта дорівнює 12 мм з допуском h14. Шорсткість основних розмірів: Rz 20. Марка сталі: 30ХГСА. Термічна обробка: $\sigma_B = 1079...1275$ МПа (110...130 кгс/мм²), при ізотермічній загартування: $\sigma_B = 1078...1422$ МПа (110...145 кгс/мм²). Сталь 30ХГСА є легованою конструкційною сталлю, створена для потреб авіації, проте завдяки своїм добротним якостям і характеристикам стала одним із матеріалів у машинобудуванні. До складу сталі 30ХГСА увійшли такі легуючі елементи як: хром, марганець та кремній. При скороченні латинських назв цих елементів ми й одержали назву 30ХГСА, ще однією назвою цієї сталі стало «хромансиль». Найближчими аналогами хромансилью можуть бути сталі марок: 25ХГСА, 35ХГСА, 35ХМ, 40ХН, 40ХФА.



1 – болт; 2 – шайба; 3 – гайка

Рисунок 2.1 – З'єднання болтове

Маркування сталі 30ХГСА розшифровує склад сталі, де число на першому місці показує відсоток вмісту вуглецю вираженого в сотих частках і

становить 3%, що відповідає нормі для класу середньолегованих сталей (низколегована - до 2,5%, середньолегована - від 2,5% до 10 %, високолегована – від 10%). «Х», «Г» і «С» позначають вміст легуючих елементів у сталі. До складу увійшли такі елементи як: хром, марганець та кремній. Відсутність після літерних позначень легуючих елементів чисел означає, що їх відсотковий вміст сталі становить приблизно 1%. Якщо наприкінці маркування стоїть символ «А», це означатиме приналежність до категорії високоякісних сталей. Хімічний склад сталі 30ХГСА містить: вуглець – від 0,28 до 0,34%, кремній – від 0,9 до 1,2%, марганець – від 0,8 до 1,1%, нікель – не більше 0,3% сірка - не більше 0,025%, фосфор - менше 0,025%, хром від 0,8 до 1,1%, мідь - менше 0,3%.

Теоретично різьблення та профілі можуть бути накатані на будь-якому пластично деформованому матеріалі. Однак стабільність процесу накочування, виконання вимог, що пред'являються до якості, точності і міцності виробів, що накочуються, забезпечення економічно доцільної стійкості інструменту, надійності і продуктивності обладнання визначають необхідні вимоги до властивостей матеріалу заготовки. Міцність та корозійна стійкість сталі 30ХГСА надає вміст хрому. Опір ударним навантаженням забезпечує марганець, а також посилює міцність сплаву та сприяє зносостійкості сталі 30ХГСА. Кремній у складі сталі необхідний для надання ударної в'язкості. Для поліпшення фізичних властивостей сталі 30ХГСА необхідно зробити загартування матеріалу за нормальної температури від 550 до 660 °С. Це дає можливість виготовлення не тільки високоміцних авіаційних, але і необхідних в машинобудуванні деталей. Такі як: вали, фланці, осі, різні зварні конструкції, різного роду кріплення, важелі та багато іншого. Сталь 30ХГСА має відносно невелику вартість, не дивлячись на використання недефіцитних елементів, що легують, при цьому володіючи високою міцністю (межа міцності після гартування досягає до 2800 МПа), зносостійкістю і чудовими показниками ударної в'язкості. Після загартування із сталі 30ХГСА при деформації з аустеніту виділяється вуглець, тим самим

полегшуючи рухомість дислокацій у кристалах мартенситу. Після проведення цих процедур сталь стає пластичніше та міцніше порівняно з початковими властивостями. Розрахункові руйнівні навантаження на розрив болтів із сталі 30ХГСА з різьбленням М20.

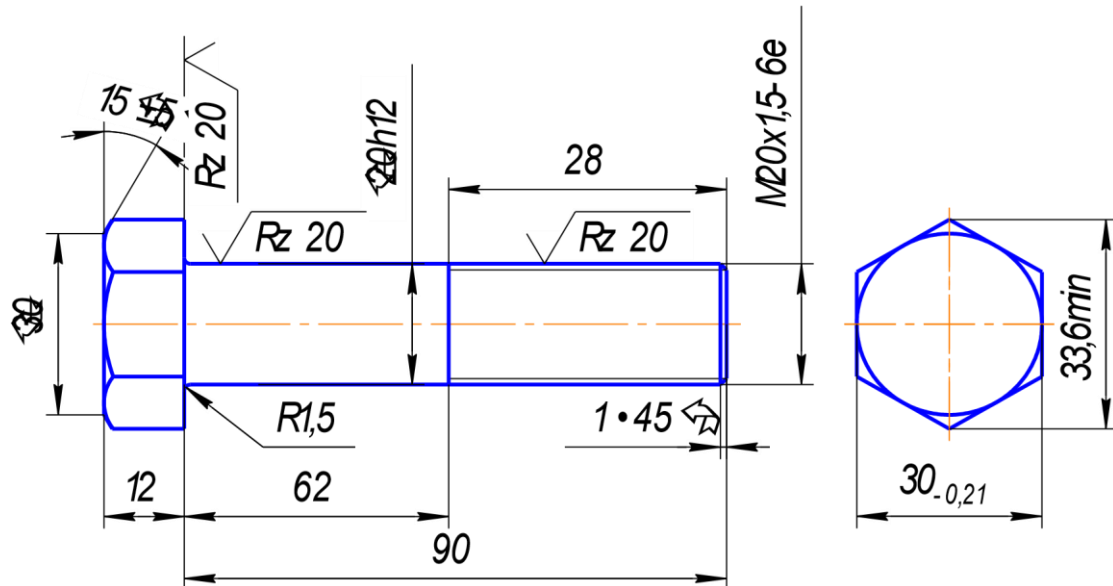


Рисунок 2.2 - Болт М20-90кд

На сьогоднішній день у сфері машинобудування часто застосовують різні різьбові з'єднання. В даний час часто застосовується метричне різьблення, яке має у застосуванні номінальні діаметри від 1 до 600 мм з кроком від 0,25 до 6 мм. Вихідним профілем метричного різьблення є рівносторонній трикутник (кут при вершині 60°), теоретична висота профілю якого становить $H=0,866025404P$. Вершина трикутника зрізана, западина профілю різьблення має плоску або заокруглену форму. Заокруглена форма краще. На рисунку 2.3 зображено зовнішній, внутрішній та середній діаметр різьблення.

2.2 Технологічний процес деталі у виробництві

В умовах виробництва в якості заготовки для болтів використовується гарячекатаний круглий прокат.

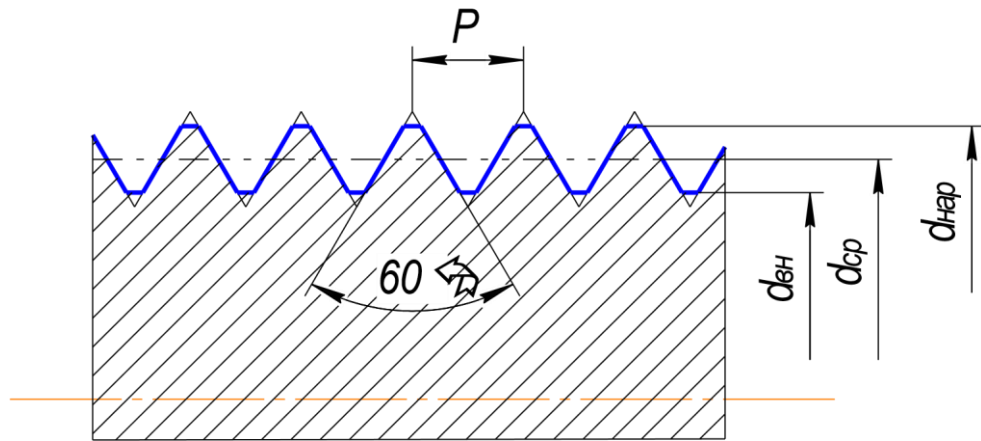


Рисунок 2.3 - Профіль метричного різьблення

Процес обробки заготовки складається з:

- операції холодного штампування на комплексі автоматичному для холодного штампування деталей типу болт;
- утворення різьблення двома приводними циліндричними роликами на верстаті А9518Б;
- термічної обробки у термопечі камерного типу;
- піскоструминної обробки в камері;
- нанесення антикорозійного металізаційного кадмієвого покриття.

Розглянемо кожен етап процесу обробки заготовки докладніше. Об'ємне холодне штампування застосовують для виготовлення різних деталей складної форми, але мають невеликі розміри, які складаються з металів і мають високу пластичність. Процес об'ємного 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 чистішою поверхнею. Процес холодного видавлювання відбувається в такий спосіб: метал перетворюється на пластичний стан під впливом високого тиску і перетікає в зазор між пуансоном і матрицею.

Різьблення утворюється в процесі накочування двома приводними циліндричними роликами на верстаті А9518Б (рисунок 2.4). Переваги цього способу полягає в універсальності процесу. Даний спосіб відкриває широкий діапазон діаметрів для накочування різьблення в межах від 2 мм - до 200 мм і

кроком різьблення від 0,35мм - до 16 мм, необмежена довжина ділянки заготовки під різьбонакочування (до 2000 мм і більше), відносно велика межа міцності матеріалу - до 1500 МПа, точність накочуваного різьблення відповідає полю допуску 4h і вище, достатня простота конструкції обладнання. Верстат А9518Б універсальний та призначений для холодного накочування різних видів різьблення, черв'яків, рифлень; косозубих коліс з дрібним модулем, а також для виправлення та калібрування тіл циліндричної та сферичної форми. Процес накочування полягає в обкочуванні профілю різьблення з поверхні циліндричних роликів по поверхні заготовки, що супроводжується примусовим обертанням роликів і радіальним переміщенням одного з них під дією певного зусилля, що подається гідроприводом подач. Заготовка знаходиться між роликami на ножі, при цьому обертаючись в результаті притискних зусиль і сил тертя, що подаються на неї, які зростають прямопропорційно впровадженню профілю роликів в тіло заготовки та утворенню на поверхні профілю різьби відбитого на роликах [27].



Рисунок 2.4 - Профіленакатний двороликовий напівавтомат А9518Б

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

2.3 Аналіз проблем із подальшим визначенням завдань дисертаційної роботи

Процес накочування є одним із вузьких місць у технології виготовлення болтів. Цей процес призводить до утворення таких дефектів як:

- відшарування у западинах формованого різьблення;
- утворення задир, виникає через прослизання інструмента під час обробки заготовки;
- виникнення порожнечі у центральних зонах. Це відбувається через невдалу схему напружено-деформованого стану, а також у зв'язку з появою напружень, що розтягують, в осьових зонах заготовки.

На підставі аналізу промислового досвіду встановлено, що при формуванні різьблення на високоміцних болтах М2090кд холодною накочуванням з використанням дворічкових верстатів з'являються зовнішні та внутрішні дефекти [22].

До зовнішніх дефектів відносяться:

- задири по виступах профілю, що накочується. Причиною появи задирів є налипання металу на поверхню формоутворюючого інструменту, це відбувається якщо робоча поверхня є недостатньо чистою, а також через відсутність якісного мастила. Також задири можуть з'явитися через неправильне встановлення та налаштування інструменту;
- відбитки заходів гвинтових калібрів валків (роликів) по боках профілю. Даний дефект утворюється через неправильне виготовлення заходів профілю валків, а також наявність люфтів кінематичного ланцюга приводу валків. Також дефект може виникнути через відсутність правильної установки валків;
- підрізування зуба та вдавлювання зрізаного металу у западину профілю. Причина появи цього недоліку криється в неточному кутовому та осьовому налаштуванні валків, а також при гострих вершин деформуючих гребенів забірною конуса валків;

- поява тріщин у западині профілю. Поява тріщин залежить від надмірної кількості металу в калібрах валків під час заниженої міжцентрової відстані останніх. Тріщини та розтин порожнини заготовки утворюються під час накочування профілю на задньому кінці заготовок з глибоким центруванням або заниженою міжцентровою відстанню валків;

- відшарування (лущення) металу за профілем. Відшарування металу на оброблюваній заготовці відбувається через те, що існують різні поверхневі дефекти заготовки (наприклад: тріщини, перенаклеп верхнього шару металу).

Внутрішні дефекти включають утворення порожнеч в осьовій частині накатаної заготовки, а також утворення тріщин.

Вчасно накочування виробу з гвинтовою поверхнею може статися осьова витяжка металу. Це відбувається через односторонню дію калібрів валків на кінцях заготовки, що накочується. Це призводить до того, що крайні 1,5-2 витки заготовки не мають повної висоти. Так як передній кінець заготовки має конусоподібну форму, то має завжди найбільшу ділянку з неповною висотою профілю. Це призводить до того, що при збільшенні висоти та кроку профілю з гвинтовою поверхнею збільшується і довжина ділянки заготовки має неповну висоту профілю.

Залежно від рухів заднього кінця заготовки між валками відбувається поступове збільшення розтяжки кроку профілю, разом із цим відбувається зменшення зовнішнього та внутрішнього діаметра. Дані зміни відбуваються через пружні деформації вузлів накатного механізму та зміни міжцентрової відстані між ними в міру просування заднього кінця заготовки між ними [20].

Проаналізувавши літературні джерела та практичний досвід можна зробити кілька висновків:

1. Характерною особливістю способів формування різьблення накочуванням в деяких випадках є поява таких поверхневих дефектів як: відшарування та нерівномірність покриття поверхні сформованого різьблення. Наявність заготовки з невідповідною чистотою поверхні може

призвести до утворення поверхневих дефектів. У зв'язку з цим одним із важливих та актуальних досліджень є пошук раціональної технології накопчення різьблення, яка допоможе запобігти утворенню поверхневих дефектів.

2. Під час процесу різьбонакопчування в зонах, які примикають до осі заготовки, іноді виникає напруга, що розтягує. Ця напруга призводить до утворення рихлостей і порожнин, це знижує якість виробів. Результати моделювання процесу накопчування різьблення з використанням сучасного методу дослідження (метод кінцевих елементів) дозволяють отримати достовірні дані про напружено-деформований стан в заготовці, що накопчується. Це дає можливість виявити оптимальні режими накопчування різьблення, які допоможуть виключити утворення рихлостей та порожнин в осьовій частині.

3. При накопчуванні різьблення в результаті коливань конструктивно-технологічних параметрів (розміри вихідних заготовок, механічні властивості сталей, умови тертя, температура тощо) змінюються зусилля в системі «верстат-інструмент-заготовка», що викликає коливання розмірів накопчуваних різьблень. При недостатній жорсткості системи «верстат-інструмент-заготовка» та широкому діапазоні коливань вищезазначених параметрів можливий вихід розмірів накопчуваного різьблення за поле регламентованих допусків, що призводить до утворення браку. Тому розробка надійної методики прогнозування точності різьблення дозволить визначити раціональні значення жорсткості системи «верстат-інструмент-заготовка», при яких забезпечується отримання виробів з якісним різьбленням.

4. Необхідно дотримуватись рекомендації щодо використання різьбонакатних роликів, що визначає терміни їх своєчасної заміни, згідно з якою ресурс роботи інструменту становить (10000 деталей).

Проведений аналіз досліджень дозволив здобути нові наукові знання про процес накопчування різьблення. Застосування набутого практичного

досвіду допоможе збільшити ефективність процесів виготовлення
стрижневих виробів з різьбленням.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Методика визначення випадкових похибок накочуваного різьблення

Точність різьблення залежить від коливань процесу накочування. Це можуть бути як розмір заготовки під накатку, властивості матеріалу та інші, що викликають коливання зусиль накочування. Важливим фактором є жорсткість силової системи «ВІЗ» (верстат-інструмент-заготовка). Для створення певного технологічного процесу накочування різьблення можна встановити вплив даних коливань на розмір одержуваній різьбленням. Різьбонакатний інструмент працює в умовах інтенсивного стирання робочої поверхні. Зношування залежить від зовнішніх впливів: температури інструменту, швидкості накочування, марки сталі виробу та інші. Вплив на знос має дотичну напругу, що діють на поверхню заготовки та інструменту.

Для цього необхідно розробити моделі та методи, застосування до розрахунків процесів накочування. Завдяки цим моделям і методам можна дозволити визначати деформований стан в заготовці, що накочується.

Точність різьблення визначається за такими параметрами:

- а) точність розмірів
- б) точність різьбової частини
- в) розташування поверхні

Розміри деталі: номінальний діаметр різьблення, крок різьблення, внутрішній, середній, зовнішній діаметри та інші визначаються відповідними допусками.

Відхиленнями є овальність у поперечному перерізі. У поздовжньому вважаються конусність і вигнутість.

Похибкою виготовлення таких деталей є вплив фізико-механічних та технологічних умов процесу накочування. Кожна умова викликає похибку виготовлення деталі.

До таких умов належать:

- 1) Похибка неточності вихідної заготовки та властивостей матеріалу заготовки.
- 2) Похибка різьбового інструменту.
- 3) Похибка температури заготовки.
- 4) Похибки налаштування верстата.

Для виготовлення кріпильних деталей з різьбленням на верстатах можна скористатися такими методами: статистичним та розрахунково-аналітичним.

Статистичний метод – це сумарна похибка. Визначається шляхом вимірювання та обробки заготовки.

Розрахунково-аналітичний метод показує чинник величину прибутку використання ресурсів.

Розрахунково-аналітичний метод у порівнянні зі статистичним має перевагу в тому, що при використанні цим методом, дається можливість аналізувати технологічний процес та метод впливу на нього, з метою досягти необхідної точності роботи.

Була досліджена формула для розрахунку похибки середнього діаметра різьблення, що накочується роликком:

$$\Delta d_2 = \Delta_j d_2 - \Delta_{\text{зат}} \quad (3.1)$$

де Δd_2 - похибка середнього діаметра готового різьблення,

$$\Delta_j d_2 = \frac{P}{j_{\text{сист}}} \quad (3.2)$$

де P – зусилля радіальне,

$j_{\text{сист}}$ - коефіцієнт жорсткості системи «ВІЗ»,

$\Delta_{\text{зат}}$ - попередня деформація, яка дозволяє зробити пружну систему «ВІЗ» жорсткішим.

У формулі ми бачимо, що деформація пружної системи визначає потрібну похибку Δd_2 . Дана формула виглядає у такому вигляді:

$$\Delta d_2 = \frac{\Delta P}{j_{\text{сист}}} \quad (3.3)$$

де ΔP – зміна зусилля накочування,

$j_{\text{сист}} -$ коефіцієнт жорсткості пружної системи

$\Delta d_2 -$ похибка.

У цій роботі були наведені проблеми підвищення точності різьби, що накочується.

Мною були виділені фактори, що впливають на точність різьблення:

1. діаметр стрижня заготовки;
2. пружні деформації системи;
3. знос інструменту.

У роботі розглянуті питання щодо поліпшення якості та точності різьблення. Я провів аналіз різних факторів, таких як:

1. Глибина вдавлювання інструменту;
2. Жорсткість обладнання на точність та якість різьблення. При

проектуванні накатного інструменту можна визначити зусилля вдавлювання інструменту в заготовку, не було запропоновано будь-яких методів для розрахунку і функціональних зусиль для параметрів процесу накочування [21].

У зв'язку з цим необхідно розробити методики, що дозволяє високою точністю розрахувати величину похибки діаметра різьблення, отриманими при накочуванні. Найнеобхіднішим є наявність диференційованих залежностей зусилля від мною запропонованих чинників.

Точність готових виробів залежить від конструкції інструменту, профіль повинен відповідати профілю різьби, що отримується. Тому необхідно розробити моделі та методи, застосування до розрахунків процесів накочування та дозволити з високою точністю визначити параметри різьбонакочування.

Точність накочуваного різьблення залежить від жорсткості системи. Жорсткість окремих деталей або групи деталей можуть деформуватися пружно на певну величину під дією діючих зовнішніх сил.

Під жорсткістю різьбонакатних верстатів мають на увазі жорсткість деталей верстата, що замикають це зусилля, яке діє з боку заготовки при накочуванні різьблення до площини руху інструменту.

Жорсткість різьбонакатного верстата в більшості випадків можна визначити за схемою роботи верстата. Де відстань між плашками входить у залежність від сили накручування, що діє до площини руху інструменту (рисунок 3.1).

Жорсткість верстата можна виразити коефіцієнтом жорсткості, значення визначається за формулою:

$$C = \frac{dN}{dd} \quad (3.4)$$

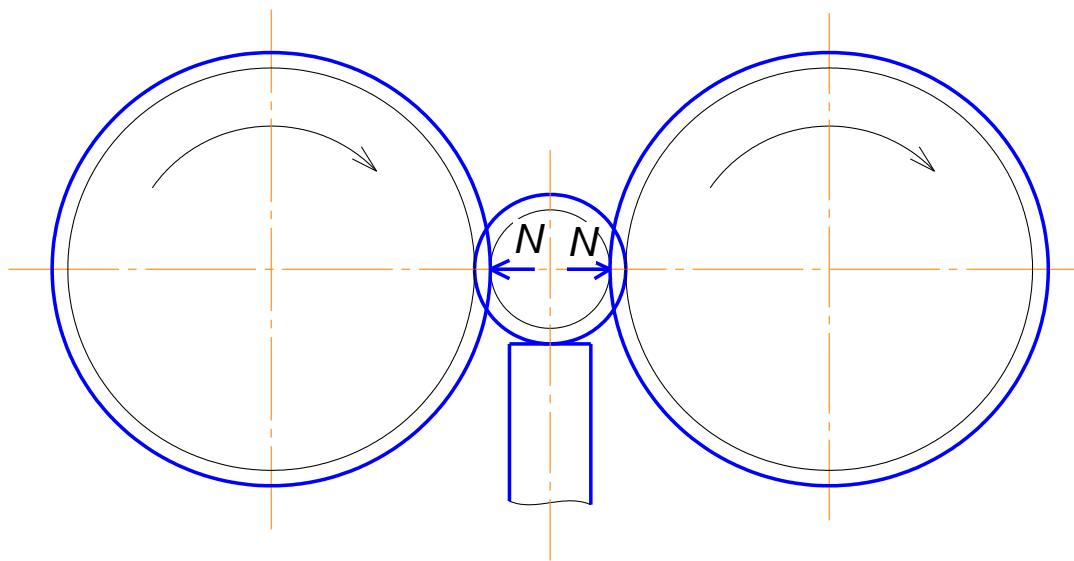


Рисунок 3.1 – Розрахунок жорсткості різьбонакатного верстата

Умова залежності між зусиллям та відстанню є лінійною і коефіцієнт жорсткості різьбонакатного верстата можна вважати як постійну величину. Зв'язок між жорсткістю верстата і жорсткістю його деталей, сприймають навантаження від накручування, визначається залежністю:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (3.5)$$

де C_i – коефіцієнт жорсткості деталі.

Часто силова система це як сукупність верстата з жорсткістю та інструментом. Загальна жорсткість силової системи визначається за такою формулою:

$$C = \frac{C_0 C_u}{C_0 + C_u} \quad (3.6)$$

Для визначення твердості машин використовують такі методи:

1. Метод виміру деформацій під час навантаження пружної системи «ВІЗ» спеціальними інструментами.
2. Метод крешерів.

Крешери – певні зразки у вигляді циліндрів.

Метод крешерів дозволяють визначити жорсткість системи машини з урахуванням процесу деформування.

Деякі рекомендовані допустимі коефіцієнти радіальної жорсткості різьбонакатних напівавтоматів з роликками для холоднонакочування різьблення та подано їх у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Значення коефіцієнтів радіальної жорсткості різьбонакатних верстатів, що є мінімально допустимими для різних номінальних діаметрів різьблення

Ø різьблення, мм	4	6	10	16	20	24
к твердості, кН/мм	80	125	200	315	415	500

Похибки пов'язані такими критеріями як:

1. знос інструменту;
2. температурою коливань;
3. втратою налаштувань;
4. ослабленням кріплень деталей у вузлах та ланках машини.

У таких випадках такі похибки можна усунути за допомогою налаштування машини, інструменту, устаткування [23].

Випадкові похибки це коливання зусиль деформування як коливань розмірів даної заготовки та деформації штампованого металу та інших факторів.

Визначення випадкових похибок при штампуванні заготовки на кривошипних пресах, точність виробу, що штампується перебуває за положенням інструменту.

Пружна ланка - це деталь і вузол ковальсько-пресової машини.

Пластична ланка – це заготовка, напівфабрикат, готова деталь.

Розв'язання рівнянь деформацій пружних та пластичних ланок технічної системи одержуваних залежностей початкових параметрів можна знайти за такими формулами:

$$\Delta h_{id_0} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial d_0} \Delta d_0}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (3.8)$$

$$\Delta h_{ih_0} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial h_0} \Delta h_0}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (3.9)$$

$$\Delta h_{i\sigma} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} \Delta \sigma}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (3.10)$$

$$\Delta h_{i\mu} = \frac{\frac{\partial \varphi}{\partial \mu} \Delta \mu}{C - \frac{\partial \varphi}{\partial h_i}} \quad (3.11)$$

Вищезазначена методика була використана для розрахунку похибок та параметрів налаштування при штампуванні болтів на прес-автоматі. Однак дана методика може бути використана і для виготовлення кріплення на висадочно-прокатних машинах і роторних лініях.

Підхід з додатковими уточненнями та змінами застосовував для розрахунку похибок різьблення, одержуваних накочуванням. У разі роль зусилля грає складова зусилля накочування.

Максимальна радіальна сила (МРС), відповідно деформує заготовку на кінцевому етапі процесу накочування, і відноситься до функції параметрів відстані між плашками.

МРС розраховується за формулою:

$$N = f(\sigma_0, T, \mu, d_0, L, d) \quad (3.12)$$

де σ_0 - межа плинності матеріалу оброблюваної заготовки;

μ -коефіцієнт позначає тертя;

d_0 -діаметр;

L - довжина ділянки заготовки для накочування;

d -відстань між плашками.

Розглядаючи деформації пружних та пластичних ланок технологічної системи для випадку накочування плоскими плашками, отримано за формулою:

$$\frac{N}{C_0} + \frac{N}{C_u} = d - D \quad (3.13)$$

де d - відстань між плашками при дії зусиль на етапі різьбонакочування;

D – частина ділянок робочих поверхонь плашок за відсутності зусиль, що деформують, і зазорів.

Після перетворень із деяким обліком отримано:

$$N = C (d - D) \quad (3.14)$$

За теорією ЗМД встановлюємо аналітичну залежність:

$$N = f(\sigma_0, T, \mu, d_0, L, d) \quad (3.15)$$

Якщо виключити N з рівнянь і перенести 2 члени в праву частину, то виходить така формула:

$$F = f(\sigma_0, T, \mu, d_0, L, d) - C(d - D) \quad (3.16)$$

За даними $C = \text{const}$ і $D = \text{const}$, проводить зміна рівняння шляхом розкладання членів у ряд за малими незалежними параметрами.

При технічному процесі діапазон змін будь-яких змінних невеликий і можна скористатися одним членом ряду. Послідовно прирівнюючи до нуля всі

параметри, крім отриманих залежностей, що визначають похибки діаметра різьблення при коливанні наступних параметрів, є випадковими:

- деформація матеріалу заготовки σ_0

$$\Delta d_{\sigma} = \frac{\frac{\partial f}{\partial \sigma_0} \Delta \sigma}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (3.17)$$

- температура нагріву заготовки

$$\Delta d_T = \frac{\frac{\partial f}{\partial T} \Delta T}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (3.18)$$

- коефіцієнт тертя

$$\Delta d_{\mu} = \frac{\frac{\partial f}{\partial \mu} \Delta \mu}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (3.19)$$

- діаметра даної заготовки

$$\Delta d_{d_0} = \frac{\frac{\partial f}{\partial d_0} \Delta d_0}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (3.20)$$

- довжини даної заготовки

$$\Delta d_L = \frac{\frac{\partial f}{\partial L} \Delta L}{C - \frac{\partial f}{\partial d}} \quad (3.21)$$

Розрахунок випадкових похибок діаметра різьби, що накочується, при коливанні пропоную здійснити в наступному порядку.

1. Використовувати точний та надійний метод обробки металів тиском, визначаємо радіальні зусилля накочування залежно від незначних параметрів. Рекомендується застосувати метод кінцевих елементів, який входить в основу програмного комплексу DEFORM та інших.

2. Знайдемо дійсний діапазон коливань технічних параметрів. Використовуючи один із комплексів, визначаємо радіальні зусилля залежно від кожного параметра в точках діапазону зміни.

3. Будуємо графік зміни зусилля N кожного параметра. Виходять криві рівняння як $N = f(\sigma_0)$, $N = f(\mu)$, $N = f(d_0)$, $N = f(L)$, $N=f(T)$, $N=f(d)$. Для необхідності визначення коефіцієнта рівняння рекомендую використовувати програмний комплекс «Excel».

4. Визначити окремі похідні рівняння, такі як:

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_0}, \frac{\partial f}{\partial T}, \frac{\partial f}{\partial \mu}, \frac{\partial f}{\partial d_0}, \frac{\partial f}{\partial L}, \frac{\partial f}{\partial d} \quad (3.22)$$

та обчислити значення в середній точці діапазону всіх параметрів.

5. Користуючись рівняннями (3.17-3.21) визначимо випадкові похибки діаметра призначеної різьби Δd_σ , Δd_T , Δd_μ , Δd_{d_0} , Δd_L при коливанні технологічних параметрів та обчислюючи загальну випадкову похибку, оцінюємо точність даної різьби. Таку похибку діаметра різьби, що накочується, викликаються коливаннями певними параметрами і є незначними величинами, вони підсумовуються по геометрично:

$$\Delta d = \sqrt{\sum \Delta d^2} \quad (3.23)$$

Якщо сумарна похибка із найменшими допусками на внутрішній діаметр, відповідають нормам технологічної документації, цей процес є стабільним.

3.2 Прогнозування точності різьблення болтів, що формуються накочуванням двома роликами

Прогнозування точності різьблення болтів методом накочування будемо використовувати для різьблення болта М20-90кд (рис. 3.2, 3.3) при її формуванні накочуванням двома приводними циліндричними роликами на верстаті А9518Б [22].

Для моделювання процесу накочування болтів М20-90кд та визначення радіального зусилля N накочування, задамо коливання технологічних параметрів (σ_0 , T , μ , d_0 , L , d) [22]:

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.

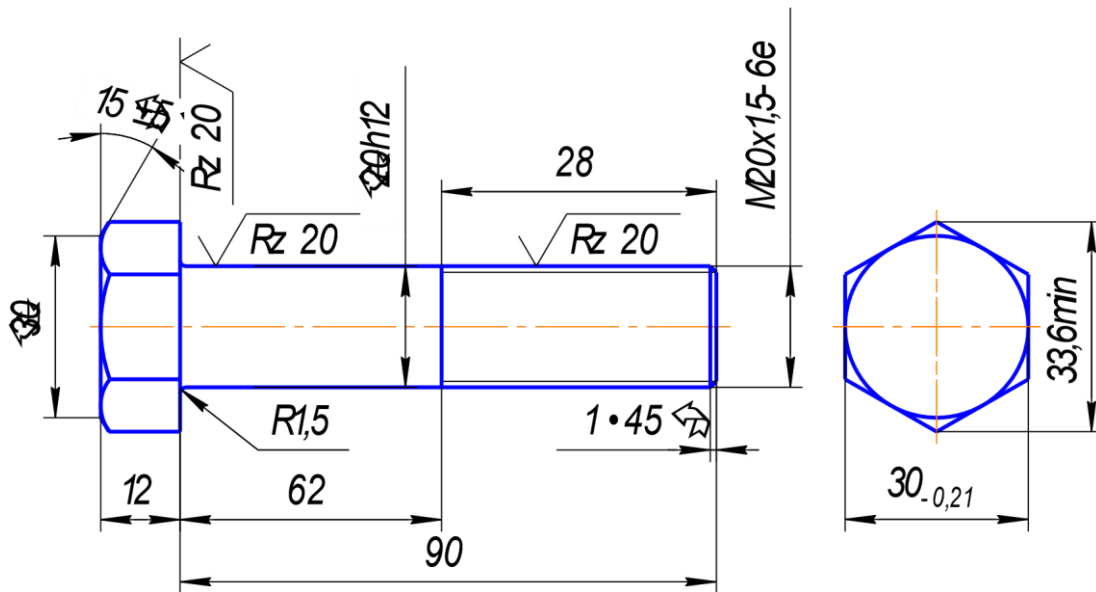


Рисунок 3.2 – Болт М20-90 кд

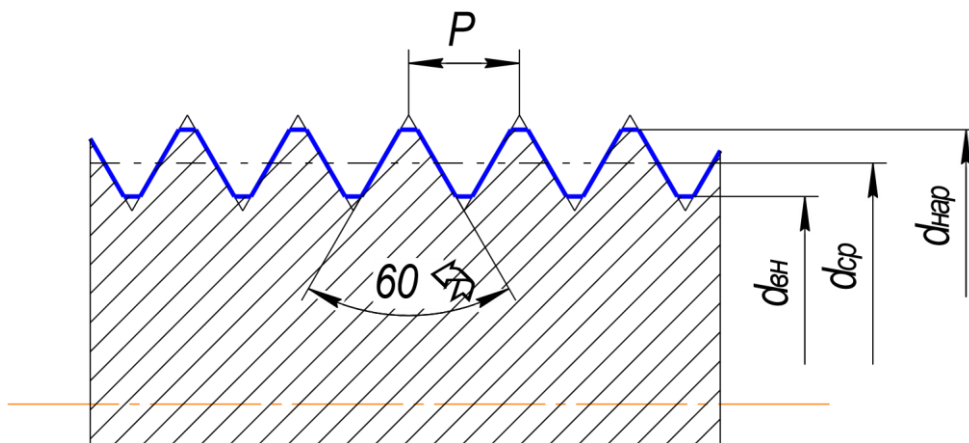


Рисунок 3.3 – Профіль метричного різьблення болта

Застосовуючи програмний комплекс «DEFORM-3D», основою якого є метод кінцевих елементів, виконаємо моделювання процесу накопчення різьблення болта М20-90кд [22]. Схематично процес накопчування представлений на рисунку 3.4.

Виходячи з виконаних розрахунків, ми визначили радіальні зусилля N накопчування і збудували криві залежності радіальних зусиль N накопчування від параметрів σ_0 , T , μ , d_0 , L , d (рис. 3.5-3.9).

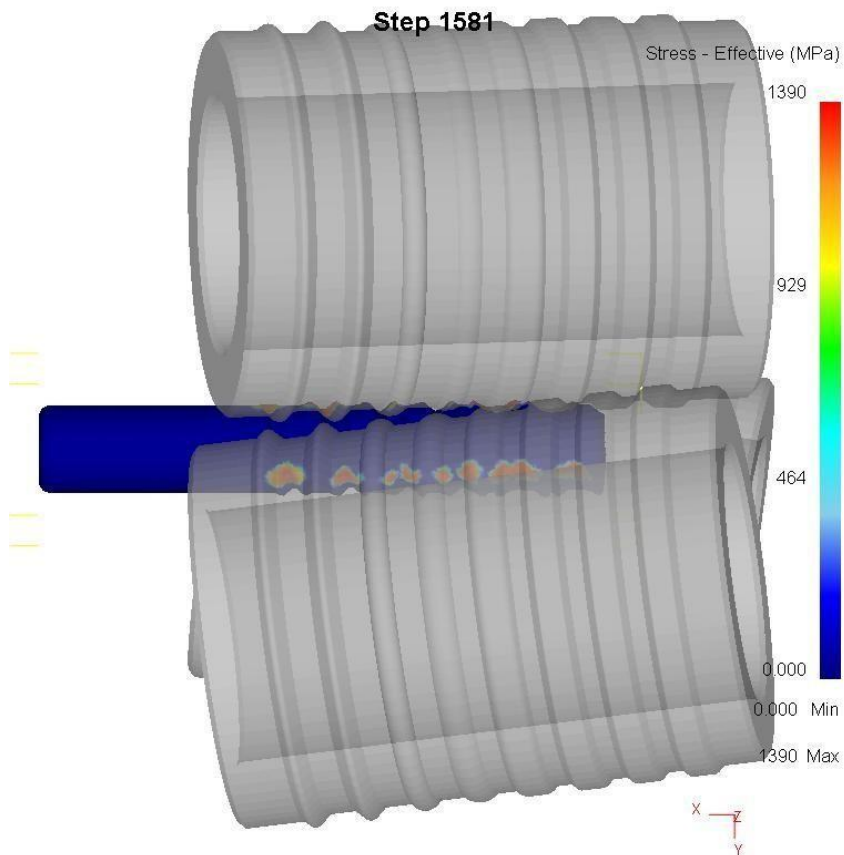


Рисунок 3.4 – Положення інструменту та заготовки (проміжний етап наочнення різьблення болта М20-90кд)

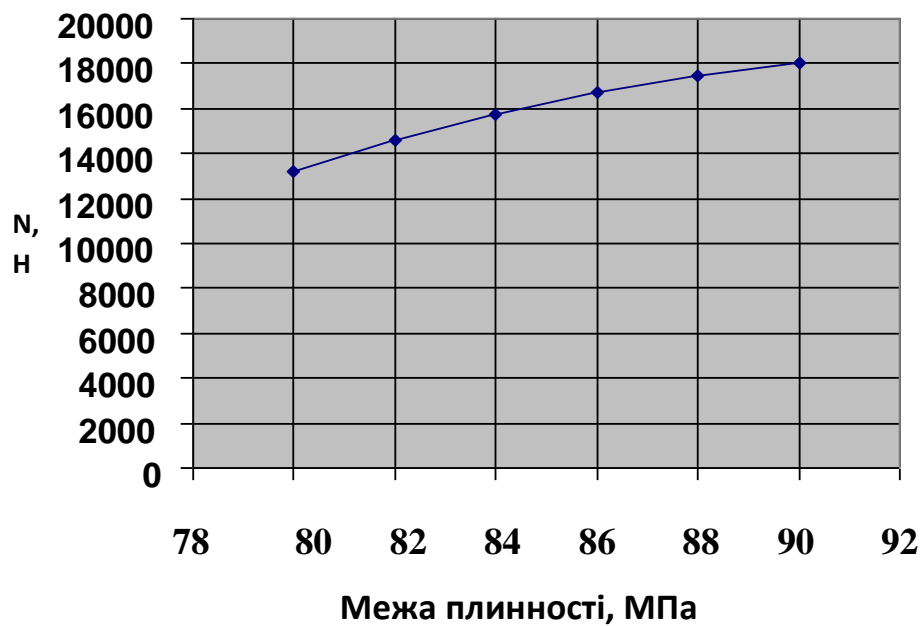


Рисунок 3.5 – Крива залежності радіальних зусиль N накочування від зміни межі текучості матеріалу σ_0 вихідної заготовки (при накатці одного витка)

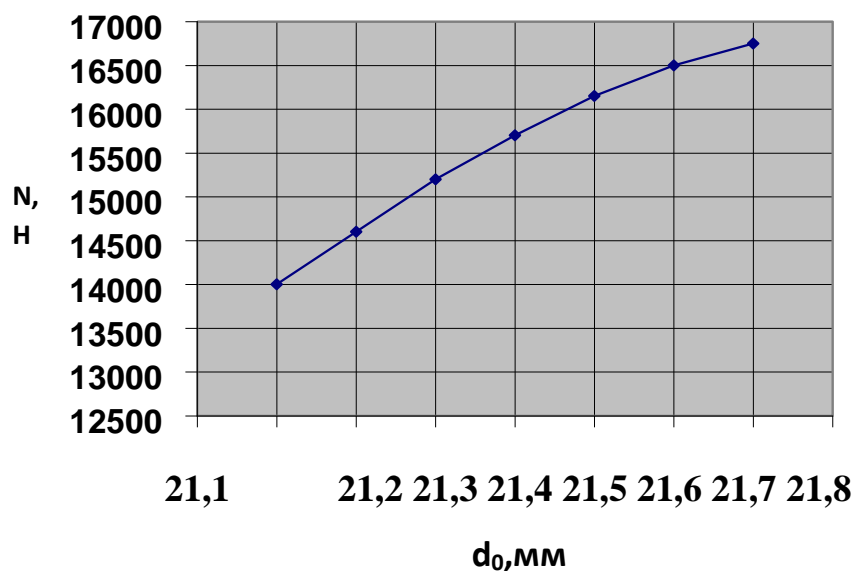


Рисунок 3.6 – Крива залежності радіальних зусиль N накочування від вихідного діаметра заготовки d_0 (накочування одного витка)

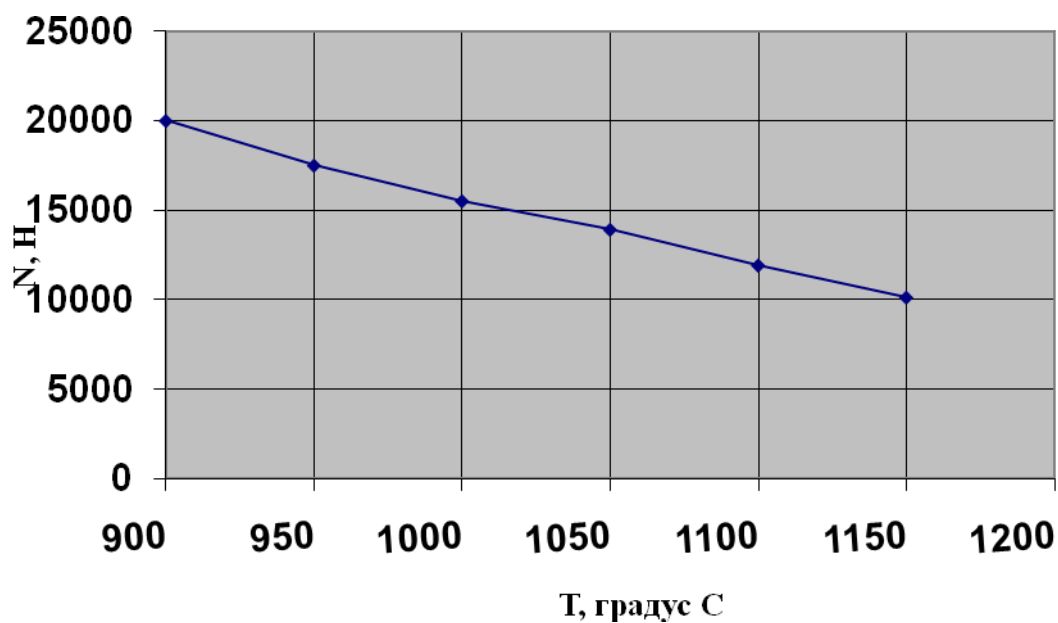


Рисунок 3.7. Крива залежності радіальних зусиль N накочування від зміни температури T вихідної заготовки (при накатці одного витка)

За допомогою програми «Еxсел», отримуємо криві (рис. 2.7 – 2.11) які апроксимувалися аналітичними залежностями. У результаті одержуємо:

для $N = f(\sigma_0)$

$N = 14,57 02 + 2917 0 - 126742$ (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,996$);

для $N = f(T)$

$$N = -0,0004T^3 + 0,8987T^2 - 990,95T + 389379 \quad (R^2 = 0,9937);$$

для $N = f(d_0)$

$$N = 13,79 d_0^2 - 84,71 d_0 + 11144 \quad (R^2 = 0,982);$$

для $N = f(\mu)$

$$N = 3303,9\mu + 15144 \quad (R^2 = 0,9568);$$

для $N = f(L)$

$$N = 162,1 L + 3212 \quad (R^2 = 0,967)$$

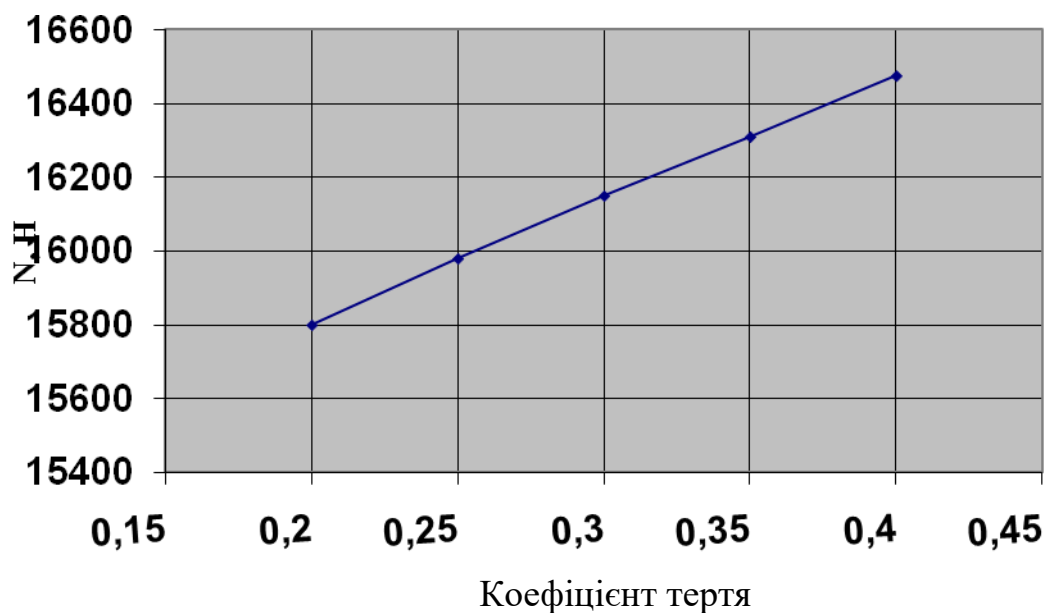


Рисунок 3.8 – Крива залежності радіальних зусиль N накочування від зміни коефіцієнта тертя μ вихідної заготовки (при накатці одного витка)

Визначили окремі похідні рівнянь (рис. 2.12 – 2.15)

$$= -29,12\sigma_0 + 2916,3;$$

$$= 0,0009T_2 + 1,7972T - 990,94;$$

$$= 27,38 d_0 - 84,71;$$

$$= 3302,9;$$

$$= 162,1.$$

І далі обчислили значення середньої точки діапазону зміни кожного параметра (σ_0 , T , μ , d_0 , L , d).

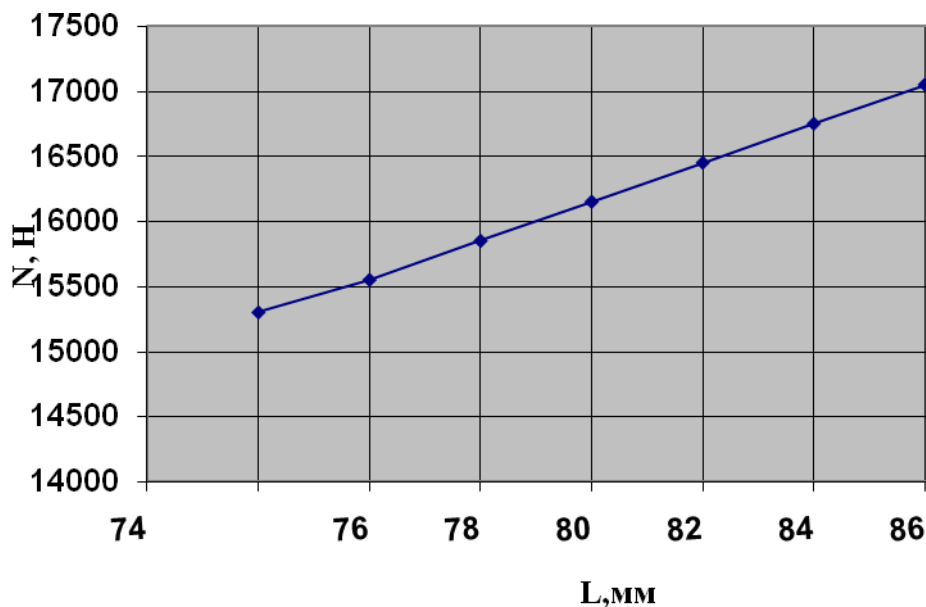


Рисунок 3.9. Крива залежності радіальних зусиль N накочування від L вихідної довжини заготовки (накочування одного витка)

За допомогою рівнянь (2.13-2.17), визначили випадкові похибки діаметра різьби, що накочується Δd_{σ} , Δd_T , Δd_{μ} , Δd_{d_0} , Δd_L , при коливанні технологічних параметрів (σ_0 , T , μ , d_0 , L , d).

На рисунках 3.10 – 3.13 представлені графіки залежності похибки різьблення болта М20-90кд зі сталі марки 30ХГСА від коефіцієнта жорсткості пружної системи «ВІЗ», вибрані в проміжку від 300 до 700 кН/мм.

Роблячи аналіз отриманих даних, робимо такі висновки:

1. Коливання внутрішнього діаметра різьблення болта М 20-90кд із сталі марки 30ХГСА найбільш чутливі до коливань базового опору деформації σ_0 . Незначний вплив на зміну внутрішнього діаметра різьби дають коливання коефіцієнта тертя μ і вихідного діаметра заготовки d_0 .

Виконавши розрахунки процесу накочування різьблення болта М20-90кд зі сталі марки 30ХГСА накочуванням двома приводними циліндричними роликами на верстаті А9518Б, бачимо, що при коефіцієнті жорсткості 500 кН/мм загальна похибка внутрішнього діаметра різьблення при накочуванні не перевищує регламентованого допуску: (-500мкм, +500мкм).

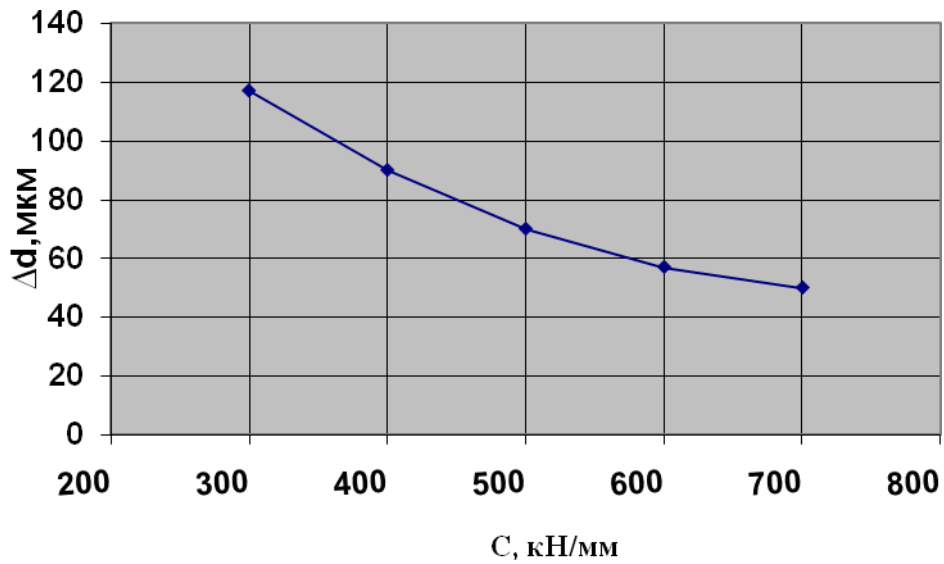


Рисунок 3.10 – Похибки Δd_σ , внутрішнього діаметра різьблення стану жорсткості системи різьбонакатного верстата при відхиленні базисного опору деформації σ_0 від 75 до 85 МПа

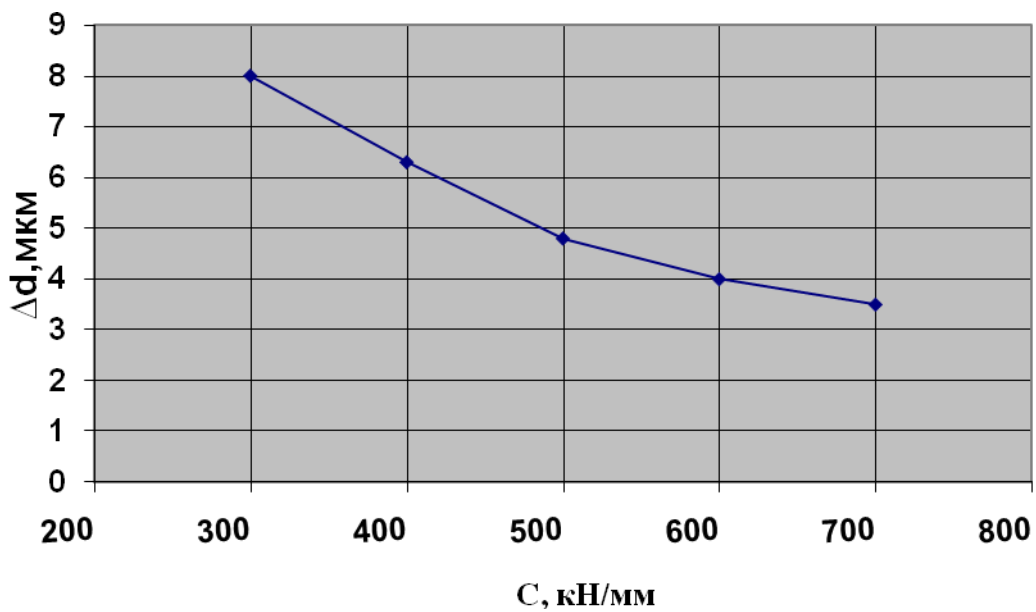


Рисунок 3.11 – Похибки Δd_{d_0} , внутрішнього діаметра різьблення від жорсткості різьбонакатного верстата з відхиленням діаметра d_0 заготовки межах 18,6-19,2 мм

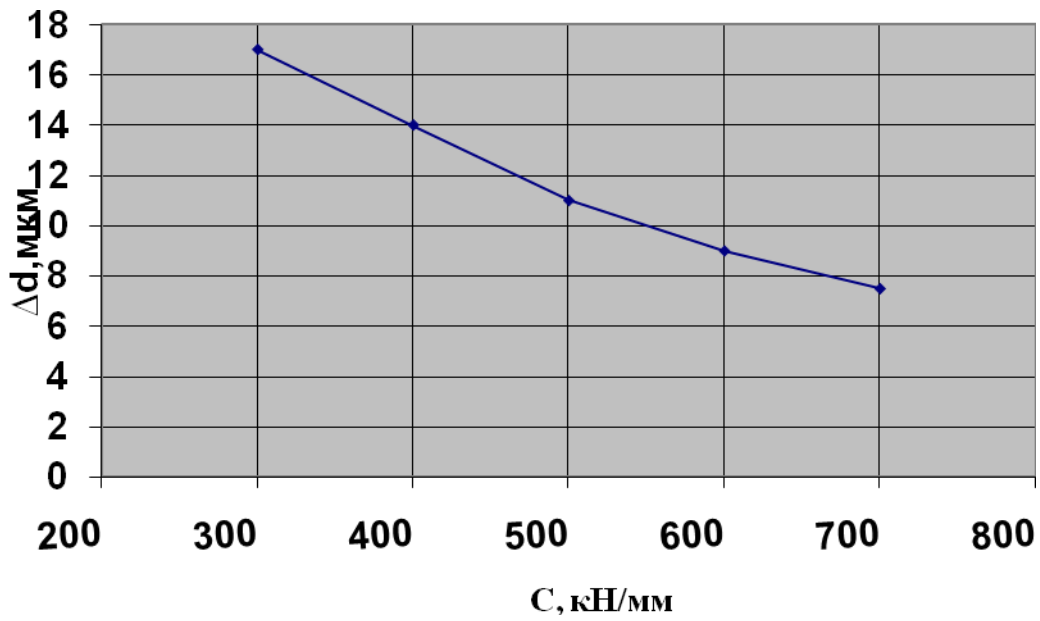


Рисунок 3.12 – Похибки Δd_μ , внутрішнього діаметра різьблення від жорсткості різьбонакатного верстата з відхиленням коефіцієнта тертя μ в межах 0,2-0,4

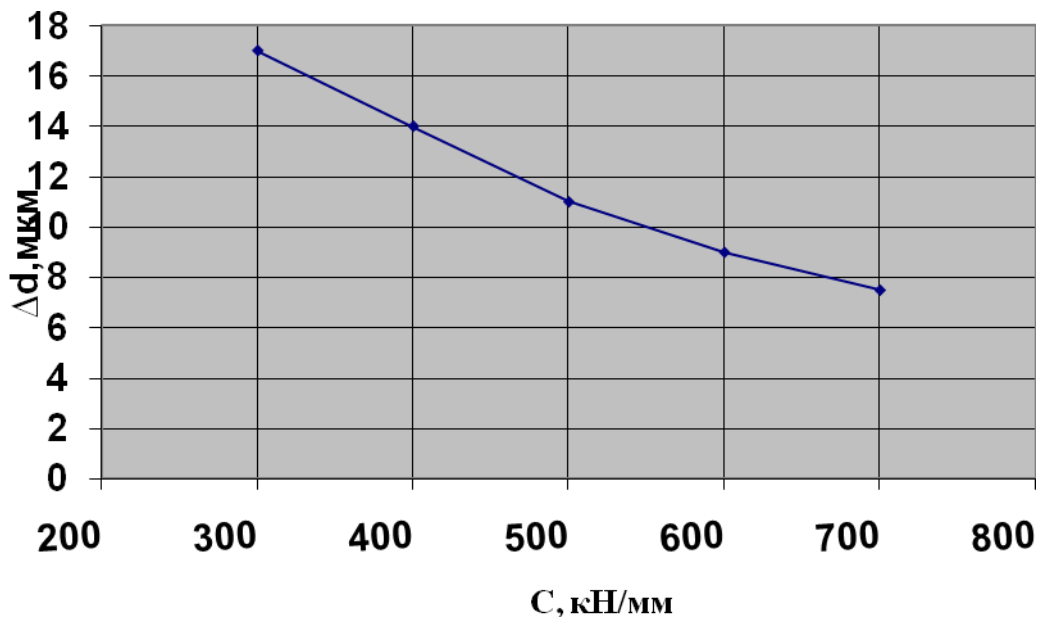
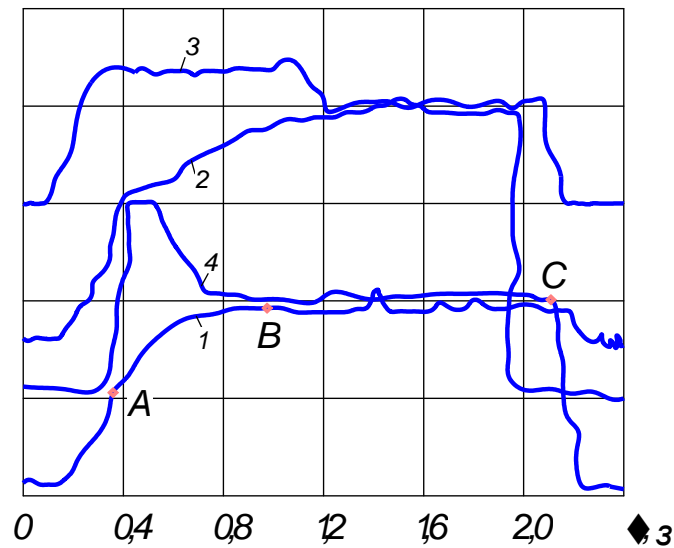


Рисунок 3.13 - Похибки Δd_L , внутрішнього діаметра різьблення від жорсткості різьбонакатного верстата з відхиленням довжини L вихідної заготовки в межах 85-95 мм

3.3 Аналіз впливу параметрів процесу накочування різьблення болтів роликками на точність основних розмірів та форми різьбової частини болтів

Процес накочування різьблення болтів роликками відбувається у дві стадії:

1. видавлювання (ділянка АВ рисунку 3.14);
2. калібрування (ділянка ВС рисунку 3.14).



1) радіальне переміщення рухомого різьбонакатного ролика; 2) зусилля накочування; 3) крутний момент на ролику; 4) температура у зоні контакту

Рисунок 3.14 - Процес накочування різьблення болтів роликками

Швидкість застосування інструмента при видавлюванні може бути визначена радіальною подачею - величиною радіального переміщення на один оберт заготовки різьбового кріпильного виробу:

$$S_r = d\delta/dn. \quad (3.24)$$

Експерименти говорять про те, що при невеликій радіальній подачі при накочуванні різьблення на болти або шпильки утворюються канавки на вершинах витків різьблення (рисунок 3.15 а), які поступово зникають або заковчуються, утворюючи радіальні складки.

У разі великої радіальної подачі при накочуванні деформація поширюється на всю товщину витка, роблячи рівномірним підйом металу кожної обтисненої ділянки (рисунок 3.15 б). Підйом металу в цьому випадку прямопропорційний радіальному навантаженню на заготовку і відповідно до глибини впровадження витків інструменту в заготовку. Процес видавлювання завершується після виконання наступних умов:

- задалегідь виставленого радіального впровадження (переміщення) витків інструменту в тіло заготовки болта або
- реалізації встановленого значення радіального навантаження на заготовку болта (сила накочування).

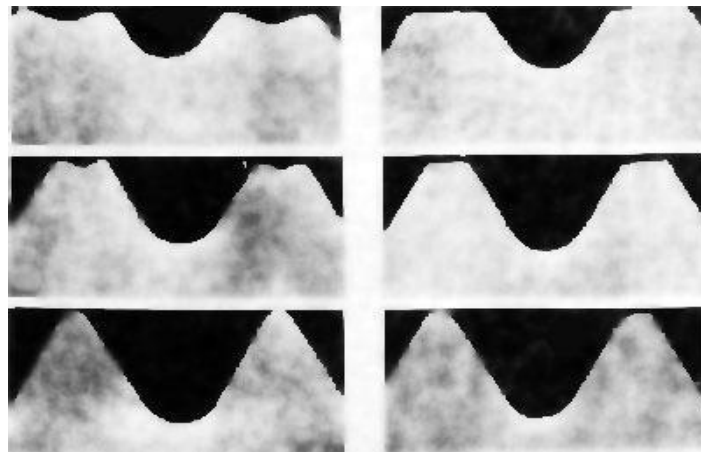


Рисунок 3.15 – Профілі різьблення у процесі накочування з малою $S_r = 0,01$ мм/об (а) та великий $S_r = 0,60$ мм/об (б) радіальною подачею.

При подальшому кочення або обертання заготовки болта йде калібрування отриманої різьби при малому радіальному введенні інструменту в тіло заготовки (рис. 1, крива 1, ділянка ВС).

Тривалість видавлювання при виготовленні різьблення болтів та шпильок визначається:

- конструктивними параметрами (наприклад, це висота профілю різьблення),
- фізичними параметрами (швидкість деформації, пружнопластичні характеристики матеріалу заготовки).

Тривалість калібрування, що безпосередньо визначає точність різьблення болтів і шпильок, може задаватися виробником болтів вільно.

Для виключення роздавлювання заготовки та накочування різьблення у заповненому контурі використовується упор, що сприймає зайве навантаження на деталь і обмежує максимальне переміщення рухомого різьбонакатного ролика.

Форма різьбової частини та точність розмірів болтів залежать від умов формування різьблення.

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

Окружна швидкість і радіальна швидкості подачі формують час процесу, що позначається на точності і якості різьби, що накочується. З виробничого досвіду накочування різьблення круглими роликами для сталей з тимчасовим опором розриву $C_B < 60$ кг/кв. мм становить 2025 м/хв, а для легованих сталей 10-12 м/хв.

При збільшеній швидкості та величині подачі спостерігається лушення і навіть відшарування різьблення від тіла деталі при механічних випробуваннях.

При формуванні різьблення болта без упору, відхилення основних діаметрів різьблення від номінальних крім впливу механічних характеристик та середнього значення діаметра заготовки існує залежність і від параметрів режиму накочування.

На рисунку 3.16 показаний приклад залежності відносного середнього діаметра різьблення болта або шпильки d_2/d_2^* (d_2 , d_2^* — номінальне та фактичне значення діаметра різьблення болта або шпильки) від тривалості процесу.

Заштриховані поля характеризують розкид розмірів. При накочуванні у заповненому контурі отримано значення відношення $d_2/d_2^* > 1$. Подібний характер мають залежності відношення d_2/d_2^* від окружної швидкості інструменту, швидкості радіальної подачі та сили накочування.

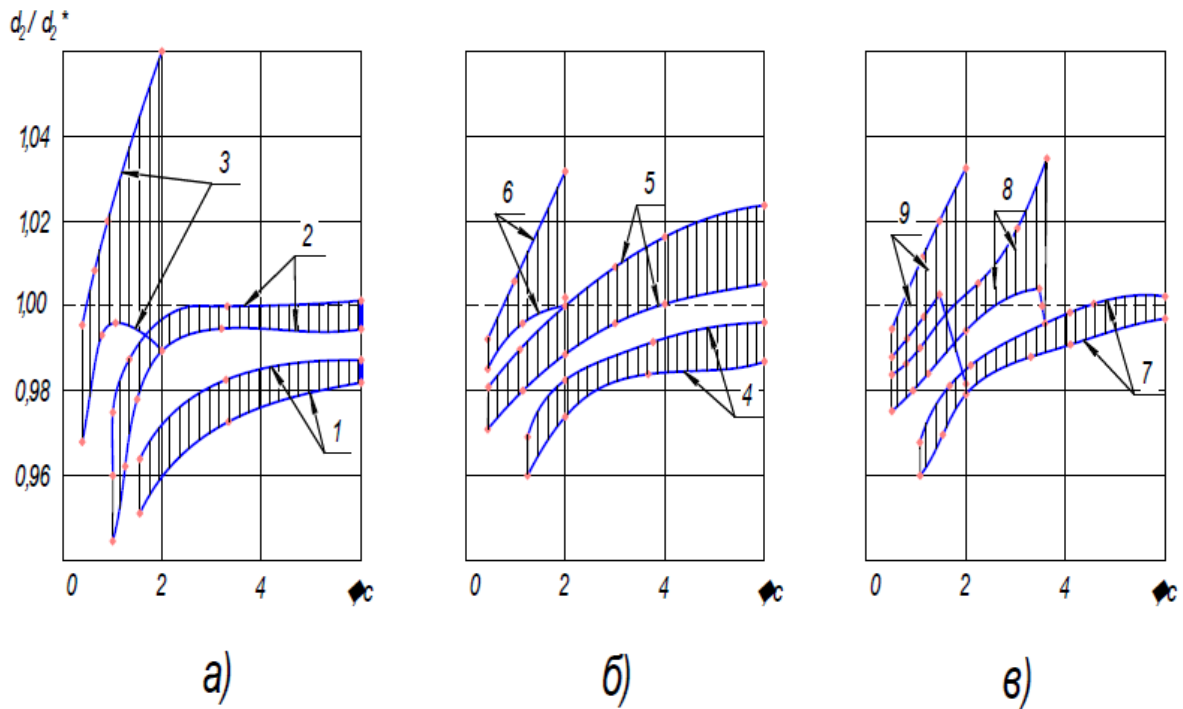


Рисунок 3.16 – Вплив тривалості накочування за різних режимів на середній діаметр різьби

Важливими значеннями відхилення форми різьбового профілю є овальність та конусоподібність різьблення. Овальність перерізу оцінюють відношенням $C = d_{2\max}/d_{2\min}$, а конусоподібність відношенням $K = (d_{2i} - d_{2j})/l_b$, де $d_{2\min}$ і $d_{2\max}$ – мінімальний та максимальний середні діаметри різьблення у поперечному перерізі, d_{2i} та d_{2j} – середні діаметри різьблення у перерізах і та j на відстані l_b між ними.

Таким чином, режими накочування і ступінь заповнення контуру значно впливають на утворення внутрішніх і поверхневих дефектів різьби, що накочується.

Аналіз результатів досліджень показав:

1. При накочуванні без упору овальність та конусоподібність різьблення збільшуються при наростанні радіальної подачі роликів і майже не залежать від радіальної подачі роликів при накочуванні на упорі верстата;

2. Процес накочування в незаповненому контурі по відхиленням овальності і конусоподібності різьбового профілю набагато нижче, ніж при накочуванні в заповненому.

Оскільки калібрування різьблення зменшує його овальність і конусоподібність (рисунок 3.17), при великій радіальній подачі накатування різьблення необхідно обов'язково передбачити її калібрування протягом $t_k=1/n_3$ (де n_3 -частота обертання заготовки болта).

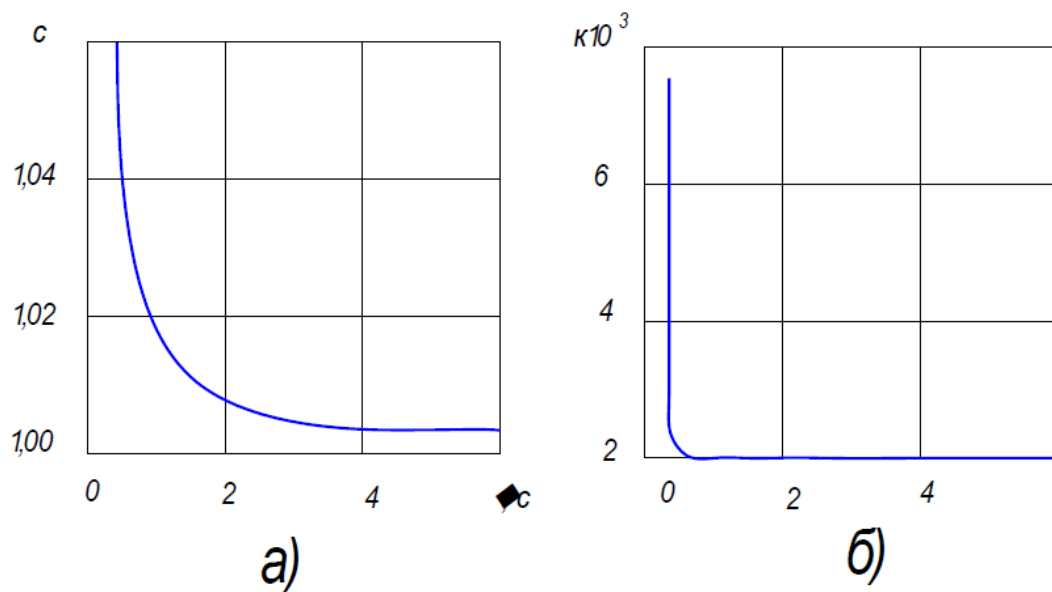


Рисунок 3.17 Залежності овальності (а) та конусоподібності (б) різьблення болта від тривалості накочування

Для отримання точного різьблення (при виробництві високоточних болтів та інших кріпильних виробів) її потрібно накочувати на верстаті з упором, виключаючи тим самим заповнення контуру інструменту, при цьому необхідно, щоб тривалість процесу накочування забезпечувала калібрування профілю різьблення протягом часу t_k .

4 ВПЛИВ РЕЖИМІВ ТА ПАРАМЕТРІВ НАКОЧУВАННЯ НА ЯКІСТЬ І ВЛАСТИВОСТІ РІЗЬБЛЕННЯ

4.1 Дослідження впливу умов та режимів накочування на фізико-механічні властивості різьблення

Експлуатаційні властивості деталей машин значно обумовлюються фізико-механічними параметрами робочого поверхневого шару деталей та геометричними характеристиками мікрорельєфу поверхні. При процесі накочування різьблення під впливом пластичної деформації відбувається зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару металу. Утворюється наклеп, що підвищує міцність і твердість, з'являються залишкові стискаючі напруги з потрібним розподілом по перерізу деталі, відбувається видозміна форми та орієнтації кристалів, з'являється волокниста структура, протікає процес утворення карбідів, що блокують дислокаційні зрушення та інші зміни. В результаті цих перетворень збільшується опір поверхневого шару пластичної деформації та руйнування.

На втомну міцність деталей надає ще більший вплив зміна фізико-механічних параметрів поверхневого шару металу заготовки в процесі різьблення. Циклічну міцність деталей більшою мірою підвищують наклеп поверхневого шару, що утворюється в процесі накочування та текстура металу. Залишкова напруга стиснення в поверхневому шарі металу цьому також сприяють.

Варто звернути увагу, що в процесі накочування різьблення відбувається безперервне відносне прослизання заготовки металу щодо робочої поверхні інструменту. З цієї причини різьблення, отримані методом пластичної деформації, мають вищий клас шорсткості поверхні профілю, ніж шорсткість профілю різьблення, отриманого методом шліфування. Найбільша концентрація напруги для високонавантажених різьбових деталей відбувається в місці западин профілю різьблення. Отже, для збільшення втомної міцності

необхідно прагнути максимально зменшити мінімальний параметр шорсткості поверхні для таких ділянок.

При дослідженні впливу умов і режимів накочування на мікротвердість поверхневих шарів різьблення болтів мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 методом вдавлювання чотиригранної алмазної піраміди з навантаженням 0,5 Н через вісь болта. Вдавлювання робили на відстані 0,02...0,03 мм від поверхні різьблення. Щоб виключити вплив процесу виготовлення шліфу на ступінь наклепування металу, зразок болта розрізали, з попереднім шліфуванням на малих подачах при рясному охолодженні поверхні шліфування, з наступним електролітичним поліруванням поверхні зразка.

Аналіз результатів показаний на рисунку 4.1, де видно, що найбільша мікротвердість спостерігається у зонах стиснутого деформування у западинах різьблення, а найменша – у зонах вільної течії металу, тобто поблизу осі стрижня та у витках різьблення) [1].

У разі накочування різьблення в умовах незаповненого контуру з невеликою радіальною подачею в поверхневих шарах на невеликій глибині локалізується наклеп (рисунок 4.1 а), що характеризується високою неоднорідністю в межах одного витка.

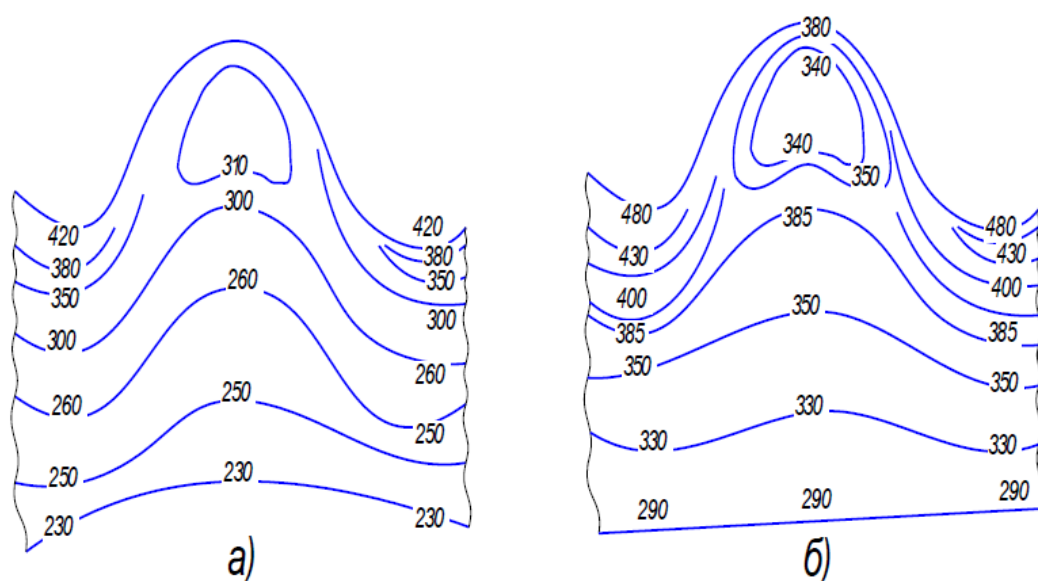


Рисунок 4.1 – Схема розподілу мікротвердості по поздовжньому перерізу різьблення

Зі збільшенням радіальної подачі:

- зростає глибина проникнення деформації в болт або шпильку;
- спостерігається підвищення твердості металу у витку та серцевині стрижня болта.

Додатково наклеп поверхневих шарів металу викликає збільшення частоти обертання роликів та тривалості накочування.

4.2 Аналіз впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на отриманий профіль різьблення

Одна з умов формування різьблення, від яких залежить точність основних розмірів, і форма різьбового профілю болтів є формування різьблення з урахуванням середніх значень діаметра заготовки та механічні характеристики, втім, як і параметри накочування режимів. Звідси можна дійти невтішного висновку, що коливання діаметра заготовки і тиску в гідросхемі (у профілі накатних верстатах з гідравлічною подачею інструментів) надають головний вплив на розкид розмірів різьблення болтів.

Розглянемо закономірності впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на профіль різьби, що отримується. Об'єктом даного аналізу буде формування профілю метричної різьби накочуванням двома роликками на упорі, що застосовується в умовах виробництва. Упор забезпечує високий рівень точності діаметрів різьблення, зменшуючи розкид діаметрів різьблення за рахунок обмеження радіального переміщення роликів і забезпечуючи тим самим максимальне значення сили накочування.

Для дослідження впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на одержуваний профіль візьмемо за приклад розглянутий високоміцний болт М20-90кд з шестигранною головкою і збільшеним розміром під ключ (рис. 4.2). Цей болт застосовується в основному для з'єднання та кріплення

високонавантажених різьбових з'єднань сталевих конструкцій в авіабудуванні. Заготовка має наступні параметри: стрижень довжиною 90мм ($\pm 0,5$ мм) до голови має з боку кінця частину з правим різьбленням M20 довжиною 28мм, кроком 1,5 мм і полем допуску бе під кадмієве покриття, а гладка частина виконана з діаметром, рівним номінальному діаметру різьблення з допуском - 0,75 і довжиною 62 мм. Граничні розміри гвинтової різьби класу допуску бе представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Граничні розміри гвинтового різьблення M20x1,5 класу допуску бе.

Зовнішній Ø		Середній Ø		Внутрішній Ø
He >	He <	He >	He <	
19,650	19,315	18,026	17,856	16,944

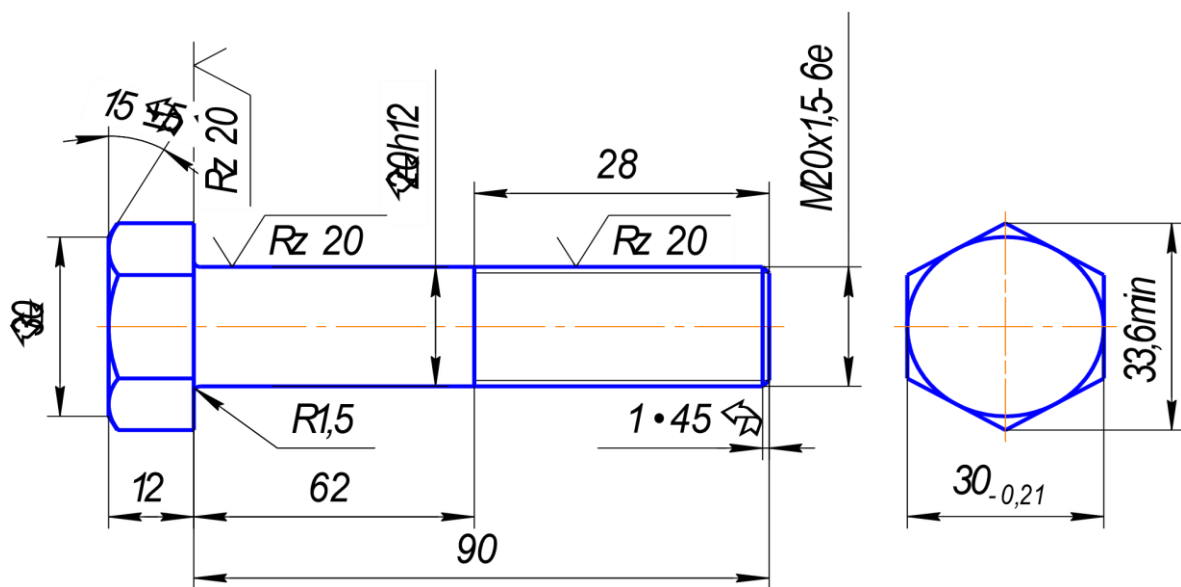


Рисунок 4.2 – Болт M20-90кд

За допомогою CAD систем також можна визначити діаметр заготовки при накручуванні зовнішнього та внутрішнього різьблення. Для цього

необхідно побудувати 3D моделі вершин і западин різьби, що накочується, і домогтися рівності їх обсягів (рисунок 4.3). Розрахувавши діаметр під накатку з умови рівності обсягів, отримуємо діаметр вихідної заготовки рівним 189 мм [13].



Рисунок 4.3 – Визначення діаметра заготовки під накочуванням різьблення M20x1,5 за допомогою 3D моделювання

Для виявлення закономірності впливу діаметра заготовки на профіль різьби, що отримується, нам необхідно знайти раціональний діаметр під накатку. Для цього проведемо кілька експериментів із використанням отриманого результату. Для експерименту у зразків змінимо діаметр ділянки під накатку $d_{\text{заг}}$ при незмінній довжині тіла болта заготовки $L_{\text{нач}} = 90\text{мм}$. Результати вимірів наведено у таблиці 4.2.

З отриманих даних, по даному розділу можна визначити, що найкращий результат отриманий при значеннях діаметра під накатку $d_{\text{заг}} = 18,95\text{ мм}$, при цьому внутрішні та зовнішні діаметри нарізаної різьби знаходяться в межах допуску. Завдяки наявності упору заготовка болта сприймає лише необхідну частину зусилля накочування, тому що переміщення ролика обмежене, отже, внутрішній та середній діаметри різьблення болта виявляються практично незалежними від діаметра заготовки болта під накочування. А ось зовнішній діаметр різьблення болта та ступінь заповнення контуру різьблення багато в чому залежать від відхилень значення діаметра заготовки болта під накочування.

Таблиця 4.2 - Вимірювання експериментальних результатів вибору діаметра
під накатку $T_d = 236$ мкм

Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}}=19,1$ мм, $L_{\text{поч}}=90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,95	16,95	16,95	16,95	16,95
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,9	19,85	19,95	19,85	19,9
L (довжина), мм	90,1	90,1	90	90,1	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}}=19$ мм, $L_{\text{поч}}=90$ мм:					
N зразка	1	2	3	4	5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,95	16,94	16,95	16,95	16,95
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,7	19,6	19,75	19,7	19,65
L (довжина), мм	90	90,1	90	90	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}} = 18,95$ мм, $L_{\text{нач}} = 90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,95	16,94	16,94	16,94	16,94
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,45	19,47	19,55	19,5	19,55
L (довжина), мм	90	90	90	90	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}} = 18,9$ мм, $L_{\text{нач}} = 90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,4	19,47	19,55	19,42	19,45
L (довжина), мм	90	90	90	90	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}} = 18,85$ мм, $L_{\text{нач}} = 90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,2	19,2	19,2	19,1	19,3
L (довжина), мм	90	90	90	90	90

4.4 Дослідження впливу поверхневих дефектів на якість різьблення

На основі аналізу процесу накочування, зробленого в даному звіті, встановлено, що в процесі накочування різьблення роликками в деяких випадках спостерігається присутність різних поверхневих дефектів, що мають характер відшарування та нерівномірності на поверхні нарізаної різьби. Важливим фактором якісного утворення різьбового профілю, безперечно, є наявність заготовки з відповідною чистотою поверхні.

Для виявлення причин утворення відшарування було проведено серію експериментів. А саме, моделювання впливу поверхневих дефектів на заготовки під накочування на якість різьби, що отримується шляхом нанесення рисок і створення поверхневих тріщин на заготовці. В експерименті використовувалися заготовки зі створеними штучними ризиками різною глибиною врізання, які наносилися на поверхневий шар ділянки заготовки під накатку з використанням різця на токарному верстаті. Накочування заготовки з ризикою здійснювали на двох роликковому різьбонакатному верстаті.

Аналіз результатів експериментів проводився візуальним методом (рисунок 4.4) і показав, що наявність нанесеного ризику на поверхню заготовки сприяє утворенню поверхневих дефектів на накатаному різьбленні у вигляді відшарування прямо пропорційно врізаній ризику в поверхню заготовки.



Рисунок 4.4 – Відшарування на ділянці різьблення при накатуванні в місці нанесення ризику на заготовку

Зрештою, експериментальним методом встановлено наступне: наявність поверхневих дефектів на заготовці, що характеризуються різними рисками та тріщинами, впливає на утворення відшарування та нерівномірного заповнення контуру на поверхні накочуваного різьблення.

ВИСНОВКИ

Результати проведених у дисертаційній роботі досліджень дозволяють зробити такі основні висновки:

1. Розроблено методику прогнозування точності накочуваного різьблення. В основу методики покладено метод визначення випадкових похибок, що виникають внаслідок коливань радіальної складової зусилля накочування, що виникають черезколивання межі плинності σ_0 матеріалу заготовки, діаметра d_0 та довжини L вихідної заготовки, коефіцієнта тертя μ .
2. Використовуючи програмний комплекс DEFORM-3D, в основу якого покладено метод кінцевих елементів, виконано моделювання процесу накочення різьблення болта М20-90кд та визначено напружено-деформований стан та енергосилові параметри. Використовуючи результати комп'ютерного моделювання, визначалися випадкові похибки діаметра різьби, що накочується, Δd_σ , Δd_μ , Δd_{d_0} , Δd_L , що виникають при коливанні технологічних параметрів (σ_0 , μ , d_0 , L), і обчислювалася загальна випадкова похибка . На підставі виконаних розрахунків встановлено:
 - коливання внутрішнього діаметра різьблення болта М20-90кд найбільш чутливі до коливань базового опору деформації σ_0 . Коливання коефіцієнта тертя μ та діаметра d_0 вихідної заготовки впливають на коливання внутрішнього діаметра різьблення незначно;
 - розрахунки, виконані для процесу накочування різьблення болта М20-90кд із сталі марки 30ХГСА накочуванням двома приводними циліндричними роликками на верстаті А9518Б, показали, що при коефіцієнті жорсткості $C = \text{кН/мм}$ сумарна похибка внутрішнього діаметра накочуваного різьблення не виходить за межі регламентованого допуску: $[-500 \text{ мкм}, +500 \text{ мкм}]$.
3. Аналіз результатів комплексних досліджень впливу параметрів процесу накочування різьблення болтів роликками показав:

- овальність і конусоподібність різьблення при накочуванні без упору збільшуються при наростанні радіальної подачі роликів і практично не залежать від неї при накочуванні на упорі;

- при накочуванні в заповненому контурі овальність і конусоподібність різьблення значно вище, ніж при накочуванні в незаповненому контурі;

- для отримання точного різьблення (при виробництві високоточних болтів та інших кріпильних виробів) її слід накочувати на упорі верстата, що виключає заповнення контуру інструментів, причому тривалість накочування має забезпечувати калібрування різьблення протягом τ_k .

- найбільшу мікротвердість мають зони стисненого деформування у западинах різьблення, найменшу - зони вільної течії металу (наприклад, у витках різьблення та поблизу осі стрижня). А також виявлено, що зі збільшенням радіальної подачі зростає глибина проникнення деформації в болт та підвищується твердість металу у витку та серцевині стрижня різьблення болта. А збільшення частоти обертання роликів і тривалості накочування за рахунок калібрування різьблення болтів викликає додатково наклеп поверхневих шарів металу, що підвищує твердість і міцність. Запропоновано практичні рекомендації щодо технології виготовлення болта М20-90кд.

4. Досліджено закономірності впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на отриманий профіль різьблення накочуванням двома роликами на упорі. Встановлено, що внаслідок обмеження найбільшого переміщення ролика упором, внутрішній та середній діаметри різьблення болта виявляються практично незалежними від діаметра заготовки болта під накочування. А ось зовнішній діаметр різьблення болта і, як наслідок, ступінь заповнення контуру залежать від відхилення значень діаметра заготовки болта під накочування. Розрахований діаметр під накатку вихідної заготовки з умови рівності обсягів, що дорівнює

18,9 мм. Експериментальним шляхом виявлено раціональний діаметр під накатку $d_{\text{заг}} = 18,95$ мм, що забезпечує найбільшу відповідність між допуском внутрішніх та зовнішніх діаметрів накочуваного різьблення.

5. Проведені експерименти показали, що важливим фактором якісного утворення різьбового профілю безперечно є наявність заготовки з відповідною чистотою поверхні, що виключає утворення поверхневих дефектів у вигляді відшарування та нерівномірності на поверхні сформованого різьблення.
6. Кориговано технологічний процес накочування різьблення на болтах М20-90кд. Процес обробки заготовки складається з операції холодного штампування на комплексному обладнанні. Комплекс автоматичний не дозволяє отримати необхідну чистоту поверхні та точність розмірів заготовки, внаслідок природного зносу обладнання та оснащення. Тому було запропоновано додати до існуючого технологічного процесу після операції холодного штампування операцію шліфування зовнішнього діаметра заготовки до $d_{\text{заг}} = 18,95$ мм. Дане рішення ґрунтувалося на конкретних умовах виробництва (відсутність можливості модернізації обладнання та наявність безцентрового круглошліфувального універсального верстата 3М182 для шліфування) з проведенням промислового випробування та подальшим затвердженням виконаних розробок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Телятник, І. А. Дослідження поверхневої пластичної деформації при гідроімпульсному впливі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2023. № 1 (120). С. 110-119. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-13.
2. Веселовська Н. Р., Паладійчук Ю. Б., Телятник І. А. Дослідження мікротвердості поверхні циліндричної деталі при деформаційному протягуванні. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2022. № 3 (118). С. 31–42.
3. Ternovyi, Y., Lichkonenko, N. (2020). Про можливість отримання сферичних мікрогранул без сателітів для поверхнево-пластичної деформації відповідальних виробів. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 1(88).С. 95-95.
4. Дудніков, А. А., Іванкова, О. В., Бурлака, О. А., Канівець, О. В., Дудник, В. В. (2021). Роль поверхневого деформування деталей у підвищенні їх ресурсу. Наукові нотатки, (71).С. 191-195.
5. Морозович, В. В., Ляшенко, Ю. О. (2021). Вплив попередньої холодної деформації поверхні сталі на подальший процес твердої карбонізації. Актуальні проблеми природничих і гуманітарних наук у дослідженнях молодих учених «Родзинка–2021»: ХХІІІ Всеукраїнська наукова конференція молодих учених/редкол.: О.В. Черевко. С. 573-574.
6. Гунько, І. В., Паладій, М. С. (2022). Оцінка пластичності поверхневого шару металу при обкочуванні деталей циліндричної форми кулькою. Вісник машинобудування та транспорту, 15(1).С. 58-66.
7. Олійник, С. Ю., Колотілін, П. І. (2019). Дослідження способу розкочування великогабаритних вкладишів підшипників ковзання. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії, (1). С. 103-108.
8. Дудніков, А. А., Дудник, В. В., Біловод, О. І., Іванкова, О. В., Лапенко, Т. Г. (2019). Зміцнення матеріалу деталей пластичним деформуванням. Наукові нотатки, (66).С. 94-97.

9. Khusanov, Y. Y., Yakupov, A. M. (2022). Methods for removing defects on the surface of parts in the process of stamping. *Scientific progress*, 3(2).P. 683-691.
10. Dudnikov, A., Kelemesh, A., Gorbenko, O., Dudnikov, I. (2019). Improving the technology of part machining by surface plastic deformation. *Восточно-Европейский журнал передових технологий*, 6(1-102).P. 26-32.
11. Lebedev, V. A., Kirichek, A. V., Chunakhova, L. V. (2020). Effectiveness of application of additional strengthening processing of surface plastic deformation on increase in fatigue life of parts. In *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) Volume II 5* (pp. 17-25). Springer International Publishing.
12. Qosimova, Z. M., RubidinovSh, G. (2021). Influence of The Design of The Rolling Roller on The Quality of The Surface Layer During Plastic Deformation on the Workpiece. *International Journal of Human Computing Studies*, 3(2).P. 257-263.
13. Будяк, Р. В., Посвятенко, Е. К., Посвятенко, Н. І. (2020). Модифікування поверхневого шару деталей машин холодним пластичним деформуванням. Міжнар. наук.-техн. семінар «Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості та транспорті», 18-22 февр. 2019 р.-Кошице, 2019.-С. 167.-Словацька республіка.
14. Sheremet, O., Ivchenkov, M., Ivchenkova, O., Sheremet, K. (2019). Definition of energy efficient law of mechanical impact in vibratory stress relief of metal parts. *Восточно-Европейский журнал передових технологий*, (2 (1)). P. 47-54.
15. Buljan, S., Šunjić, D. (2022, May). Impact of Strain Rate on Plastic Properties of Metals. In *International Conference “New Technologies, Development and Applications”* (pp. 122-127). Cham: Springer International Publishing.
16. Matviychuk, V., Gaidamak, O. (2021). Increasing of the durability of details working under repeatable-loads. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020.№ 1 (96). С. 5-14.

17. Посвятенко, Н. І., Посвятенко, Е. К., Рибак, І. П., Ковалевський, С. Г. (2023). поліпшення експлуатаційних властивостей деталей засобів транспорту нанесенням регулярних рельєфів. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 2(101). С. 67-73.

18. Kusyі, Y. (2020). Дослідження впливу викінчувальних операцій на формування параметрів якості поверхні втулок бурових pomp. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, (2 (4)). С. 14-22.

19. Balakin, V. F., Beigelzimer, Y. E., Galchenko, G. Y., Bogdan, D. A. (2020). дослідження корозійної стійкості гарячекатаних труб, підданих поверхневому пластичному деформуванню з використанням інгібіторів корозії. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). С. 80-86.

20. Веретельник, О., Ткачук, М. М., Кравченко, С., Саверська, М., Куценко, С., Грабовський, А., Ткачук, М. А. (2021). розрахунково-експериментальні дослідження напружено-деформованого стану дискретно-континуально зміцнених деталей машин. Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР, (2). С. 5-21.

21. Шепеленко, І. В., Немировський, Я. Б., Посвятенко, Е. К. (2022). Технологія зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів із забезпеченням їх антифрикційних властивостей. Технологія і техніка друкарства, (1 (75)). С. 29-36.

22. Hrudkina, N., Levchenko, V., Aliiev, I., Sivak, R., Sukhovirskaya, L. Estimating the initial stage in the process of radial-reverse extrusion using a triangular kinematic module / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2022, 2(7-116), pp. 51–59.

23. Aliiev, I. S., Sivak, R. I., Markov, O. E., Levchenko, V. N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull / International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2023, 129(3-4), pp. 1345–1353.

24. Hrudkina, N. S., Markov, O. E., Shapoval, A. A., Abhari, P., Malii, K. V. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion / FME Transactions, 2022, 50(1), pp. 90–98.

25. Aliieva, L. I., Markov, O. E., Aliiev, I. S., Levchenko, V. N., Malii, K. V. Analysis of Power Parameters of Combined Three-Direction Deformation of Parts with Flange / FME Transactions, 2021, 49(2), pp. 344–355.

26. Hrudkina, N., Aliiev, I., Markov, O., Sukhovirska, L., Tahan, L. Designing a kinematic module with rounding to model the processes of combined radial-longitudinal extrusion involving a tool whose configuration is complex / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, 2(1-110), pp. 81–89.

27. Markov, O. E., Aliiev, I. S., Aliieva, L. I., Hrudkina, N. S. Computerized and physical modeling of upsetting operation by combined dies / Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2020, 55(3), pp. 640–648.

28. Aliieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zhibankov, I., Markov, O. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 2(1-104), pp. 15–22.

ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ

д. т. н., професор Леонід ПОЛЩУК,

(підпис)

« ____ » _____ 2023

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на оцінку впливу параметрів процесу накочування на якість утворення
нарізного профілю

Розробив студент

Спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

Назар ЛАГОДИЧ

« ____ » _____ 2023

Керівник: д. т. н., доцент

Роман СИВАК

1 Найменування і область застосування

Найменування – високоміцний болт, застосування високоміцні болти знаходять у металевих конструкціях для з'єднання та кріплення високонавантажених відповідальних різьбових з'єднань, що застосовуються в авіабудуванні та експлуатуються в макрокліматичних районах з помірним та холодним кліматом.

2 Підстава для виконання роботи

Підставою для розробки даного дипломного проекту є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу та наказ ректора по ВНТУ про закріплення тем.

3 Мета і призначення дослідження

Мета: підвищення якості зовнішнього різьбового профілю за допомогою усунення несприятливих факторів технології виготовлення зовнішніх різьбових поверхонь, що впливають на утворення зовнішніх дефектів різьблення.

Призначення розробки – вдосконалення процесу накочування високоміцних болтів, які грають важливу роль в авіаційній галузі, як відповідальна високонавантажена деталь

4 Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

- 4.1 Aliiev, I. S., Sivak, R. I., Markov, O. E., Levchenko, V. N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull / *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023, 129(3-4), pp. 1345–1353.
- 4.2 Hrudkina, N. S., Markov, O. E., Shapoval, A. A., Abhari, P., Malii, K. V. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion / *FME Transactions*, 2022, 50(1), pp. 90–98.

- 4.3 Aliieva, L. I., Markov, O. E., Aliiev, I. S., Levchenko, V. N., Malii, K. V. Analysis of Power Parameters of Combined Three-Direction Deformation of Parts with Flange / *FME Transactions*, 2021, 49(2), pp. 344–355.
- 4.4 Hrudkina, N., Aliiev, I., Markov, O., Sukhovirska, L., Tahan, L. Designing a kinematic module with rounding to model the processes of combined radial-longitudinal extrusion involving a tool whose configuration is complex / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 2(1-110), pp. 81–89.
- 4.5 Markov, O. E., Aliiev, I. S., Aliieva, L. I., Hrudkina, N. S. Computerized and physical modeling of upsetting operation by combined dies / *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2020, 55(3), pp. 640–648.

5 Вихідні дані для розробки:

1	Опір деформації, МПа	80...90
2	Діаметр заготовки під накочування, мм	18.6...19.2
3	Довжина заготовки під накочування, мм	85...95
5	Коефіцієнт тертя	0,2...0,4

5.1 Технічні вимоги

- верстат А9518Б – зусилля накочування до 60 кН
- термопіч камерного типу – до 1360⁰С
- піскоструминна камера об'ємом – до 220 л

5.2 Вимоги до надійності:

довговічність – не менше 10 тис. год; безвідмовність – напрацювання на відмову – 1 тис. год; збереженість – повинна забезпечуватися працездатність деталі в режимі очікування, роботи, консервації; ремонтпридатність – деталь повинна відповідати вимогам експлуатації.

5.3 Вимоги до технологічності розробки, виробництва і експлуатації – повинна гарантувати надійну і безпечну роботу обладнання, витримувати інтенсивні динамічні навантаження.

5.4 Вимоги до рівня уніфікації і стандартизації, вимоги до використання стандартних, уніфікованих і запозичених складальних одиниць і деталей при розробці, показники рівня уніфікації – по можливості під час оцінки впливу параметрів процесу накочування на якість утворення нарізного профілю використовувати уніфіковані деталі, стандартні вироби та загальнодоступні матеріали і речовини.

5.5 Вимоги безпеки життєдіяльності – забезпечується безпека під час монтажу і ремонті. Допустимі рівні вібраційних і шумових навантажень, допустимі випаровування робочої рідини у відповідності з санітарними нормами. Повинні бути розроблені заходи, що забезпечують технічну безпеку під час монтажу, експлуатації і ремонті пристрою.

5.6 Конструкція повинна відповідати естетичним і ергономічним вимогам, повинна бути зручною в обслуговуванні та управлінні.

5.7 Матеріали, що використовуються для деталей слід вибирати відповідно до рекомендацій.

5.8 Умови експлуатації, вимоги до технічного обслуговування і ремонту:

–умови експлуатації, при яких повинно забезпечуватися використання продукції з заданими технічними показниками – продукція призначена для використання у середньоширотних кліматичних умовах;

–час підготовки продукції до використання після транспортування і зберігання – 10 год;

–вид обслуговування - періодичний;

–періодичність і орієнтовна трудомісткість технічного обслуговування і ремонту – 2 дні (один раз в три місяці);

5.9 Вимоги по транспортуванню і збереженню

–можливість транспортування на будь-якому виді транспортних засобів

–захист від ударів під час завантаження і розвантаження

–зберігання на складі готової продукції

–зберігання у законсервованому вигляді

– складування на стелажах.

6 Економічні показники:

- орієнтований термін окупності витрат на розробку – 1,3 роки,
- освоєння виробництва продукції – 1 місяць,
- економічна перевага розробленої продукції у порівнянні з кращими зразками – прогнозований прибуток 1 048 363,79 грн. за три роки.

7 Виконавці НДР: студент спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» Назар ЛАГОДИЧ

8 Етапи НДР і терміни їх виконання:

- теоретичне дослідження проблематики теми МКР;
- патентно-інформаційний огляд по темі МКР
- оцінка впливу параметрів процесу накопчування на якість утворення нарізного профілю;
- проектні та перевірочні розрахунки елементів обладнання;
- техніко-економічне обґрунтування МКР;
- охорона праці;
- висновки.
- оформлення текстових документацій та ілюстративних матеріалів для захисту МКР.

9 Порядок контролю і прийомки

- попередній захист проекту
- захист проекту перед МКР

ДОДАТОК Б. Ілюстративна частина

Різьбові з'єднання у машинобудуванні

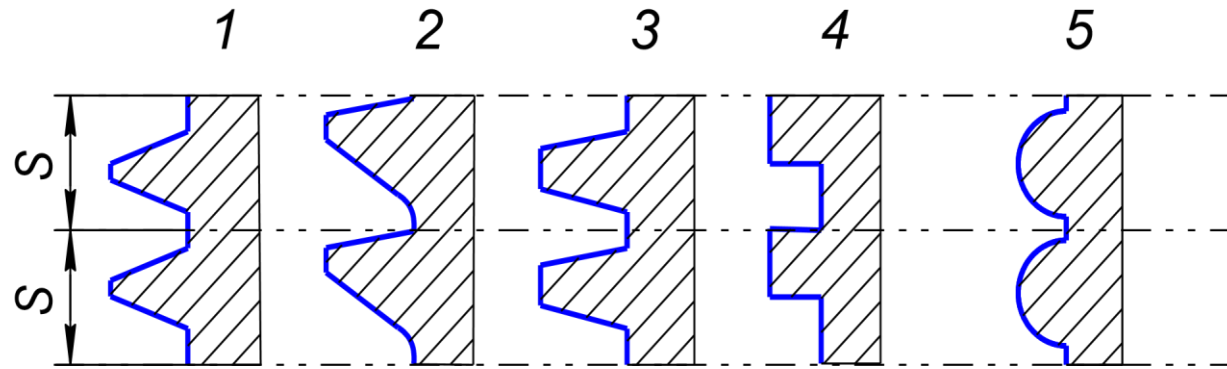


Рисунок 1. Профілі різьблення у перерізі площиною

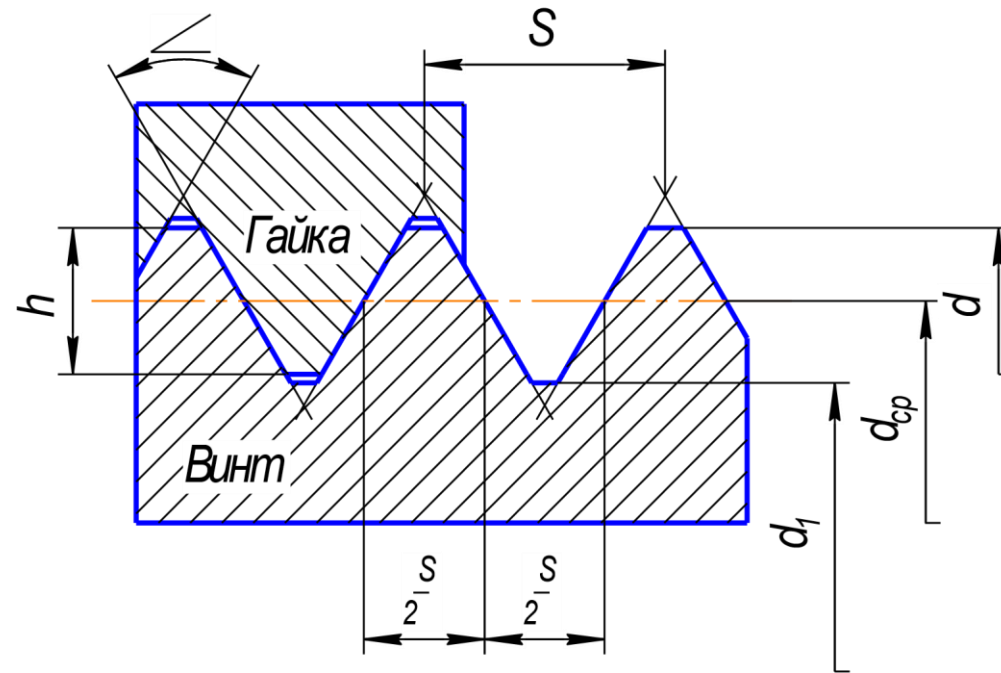


Рисунок 2. Основні параметри різьбового з'єднання

Виробничий процес наочування гвинтових профілів

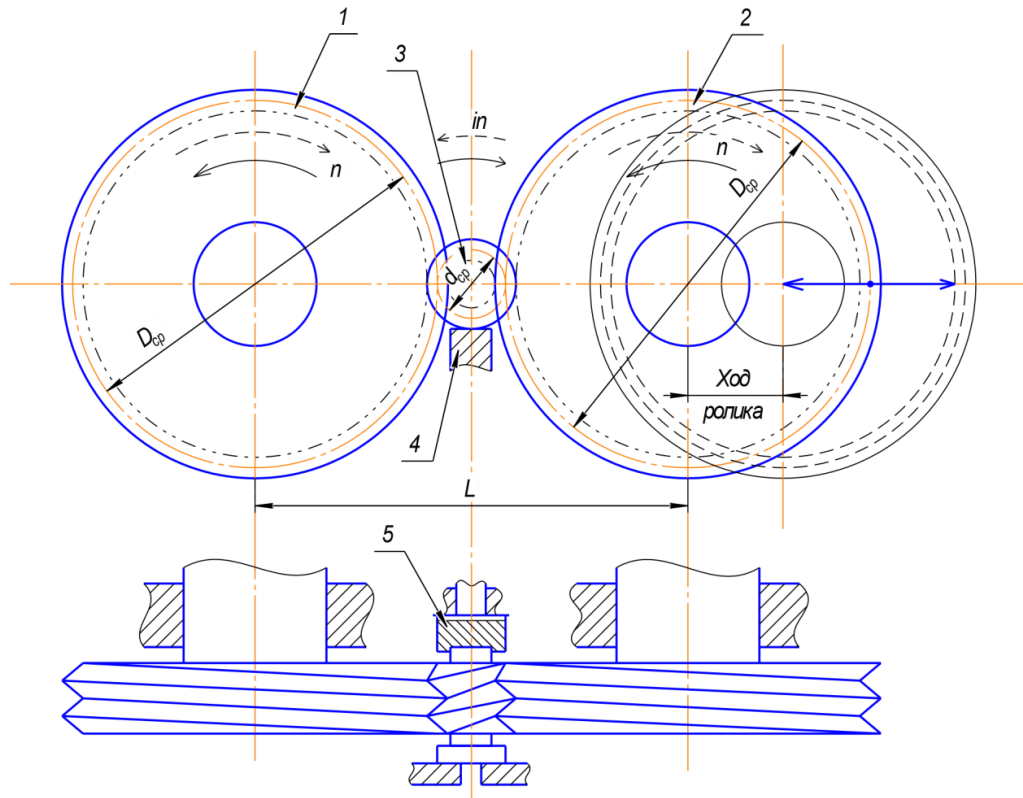


Рисунок 3. Процес наочування різьблення роликами

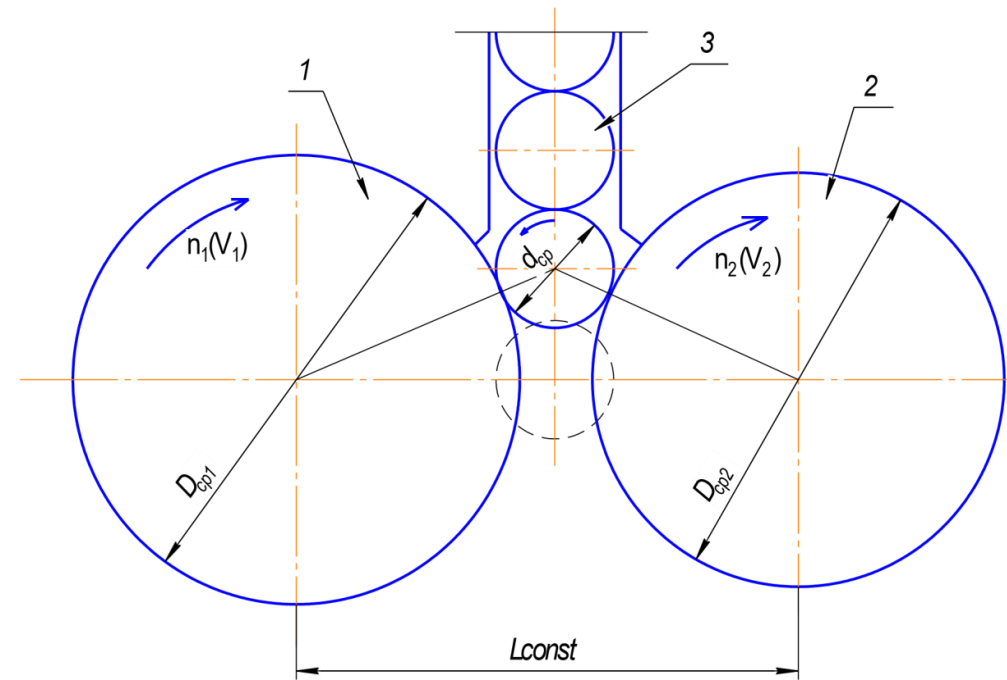


Рисунок 4. Процес наочування різьблення роликами з різними діаметрами

Способи наочування зовнішніх різьблень

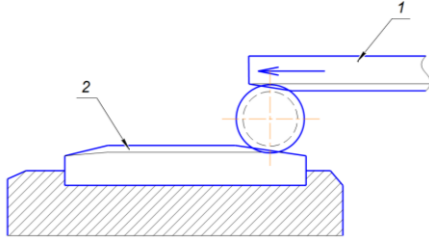


Рисунок 5. Накочування двома плашками: 1 – рухома плашка, 2- нерухлива плашка

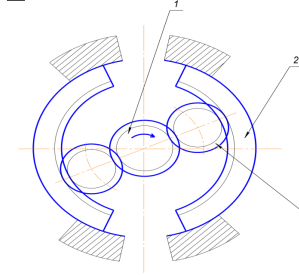


Рисунок 6. Планетарний процес наочування: 1 – нерухомі сегменти; 2 - обертвий різьбовий ролик; 3 – деталі, що обробляються

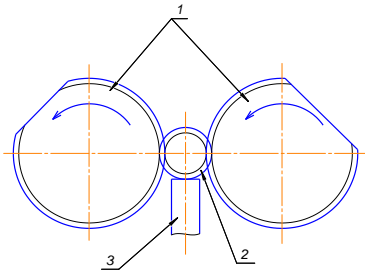


Рисунок 7. Накочування затильованими роликами: 1 – затильовані різьбові ролики, що обертаються; 2 - оброблювана деталь; 3– ніж

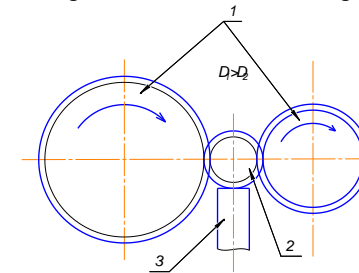


Рисунок 8. Ролики з різним діаметром, але з однаковим числом оборотів: 1 - різьбові ролики різних діаметрів, що обертаються; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

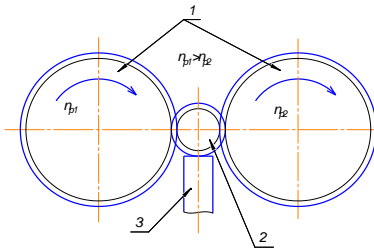


Рисунок 9. Ролики з однаковими діаметрами, але з різним числом обертів: 1 – різьбові ролики, що обертаються, однакового діаметра; 2 - оброблювана деталь; 3 – ніж

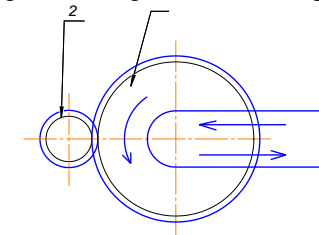


Рисунок 10. Накочування з радіальною подачею одним роликом з гвинтовою нарізкою: 1 – ролик, що обертається; 2 - оброблювана деталь

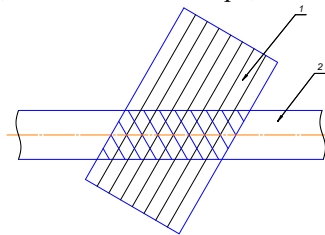


Рисунок 11. Радіально-осьовий спосіб наочування: 1 – ролик із кільцевою нарізкою; 2 - оброблювана деталь

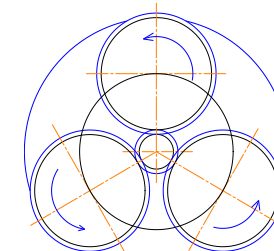


Рисунок 12. Накочування різьбонакатними головками, що обертаються

Моделювання процесу наочення різблення болта

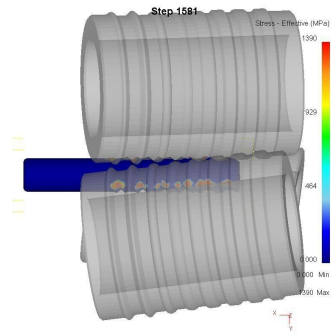


Рисунок 13. Положення інструменту та заготовки (проміжний етап наочення різблення болта M20-90 кд)

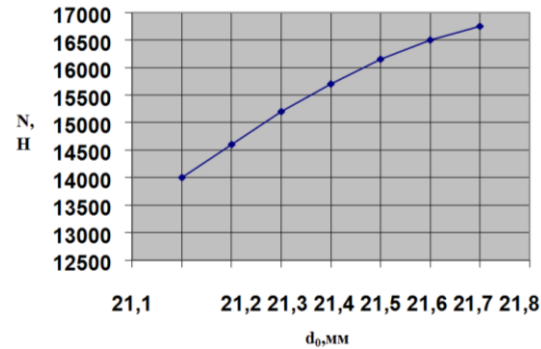


Рисунок 15. Крива залежності радіальних зусиль N наочування від вихідного діаметра заготовки d_0 (наочування одного витка)

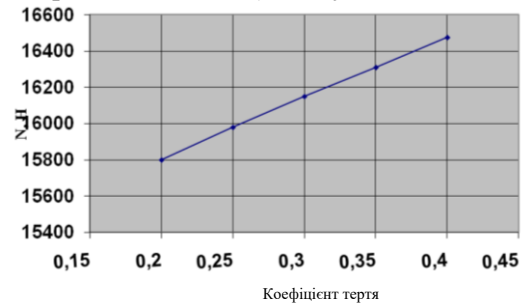


Рисунок 17. Крива залежності радіальних зусиль N наочування від зміни коефіцієнта тертя μ вихідної заготовки (при наочуванні одного витка)

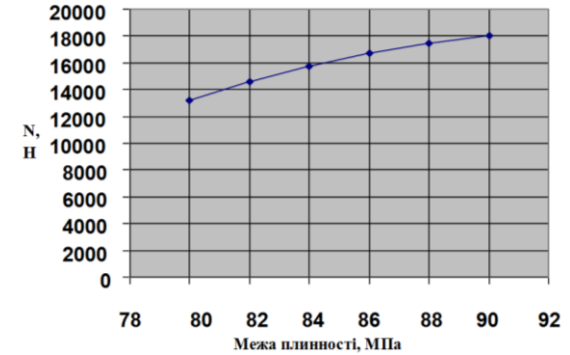


Рисунок 14. Крива залежності радіальних зусиль N наочування від зміни межі плинності матеріалу σ_0 вихідної заготовки (при наочуванні одного витка)

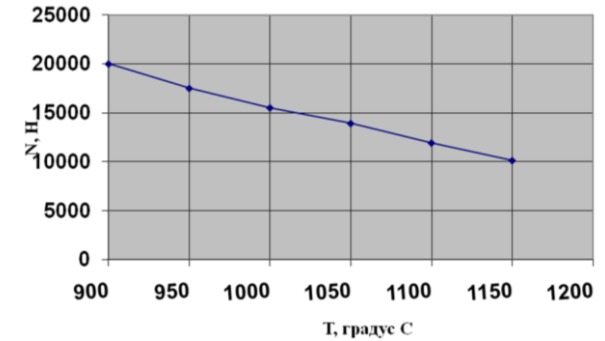


Рисунок 16. Крива залежності радіальних зусиль N наочування від зміни температури T вихідної заготовки (при наочуванні одного витка)

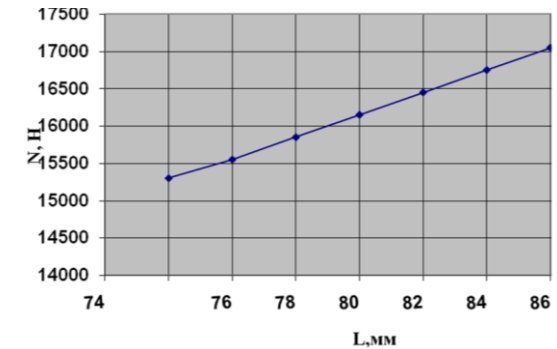


Рисунок 18. Крива залежності радіальних зусиль N наочування від L вихідної довжини заготовки (наочування одного витка)

Похибки різьблення болта

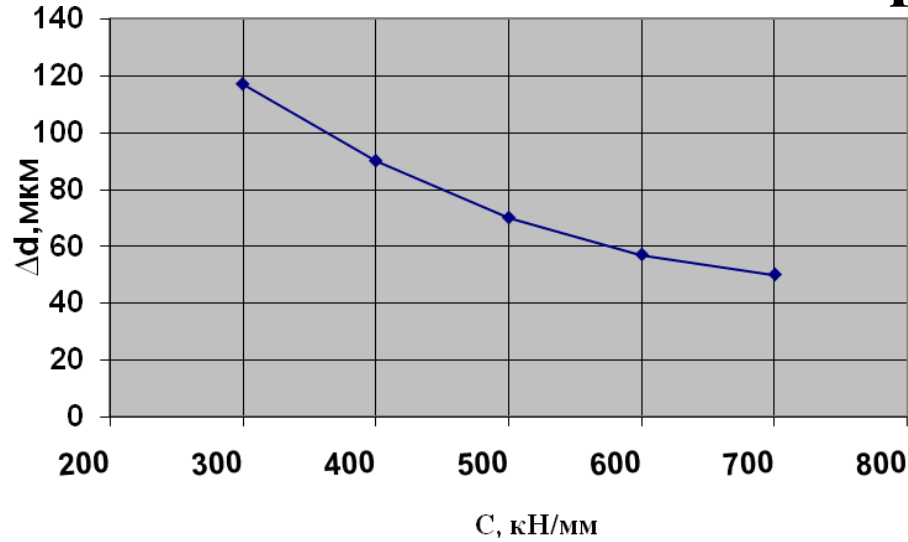


Рисунок 19. Похибки Δd_{σ} , внутрішнього діаметра різьблення стану жорсткості системи різьбонакатного верстата при відхиленні базисного опору деформації σ_0 від 75 до 85 МПа

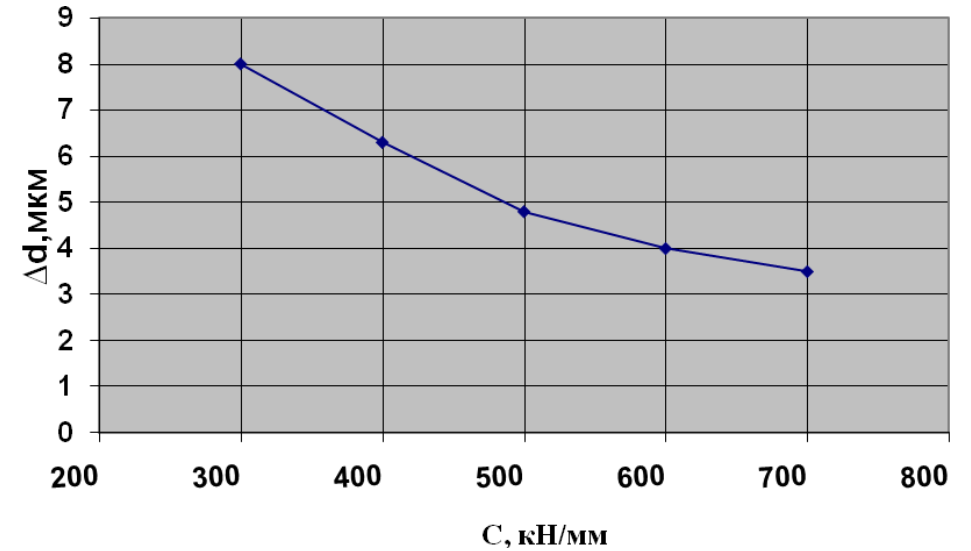


Рисунок 20. Похибки Δd_{d_0} , внутрішнього діаметра різьблення від жорсткості різьбонакатного верстата з відхиленням діаметра d_0 заготовки межах 18,6-19,2 мм

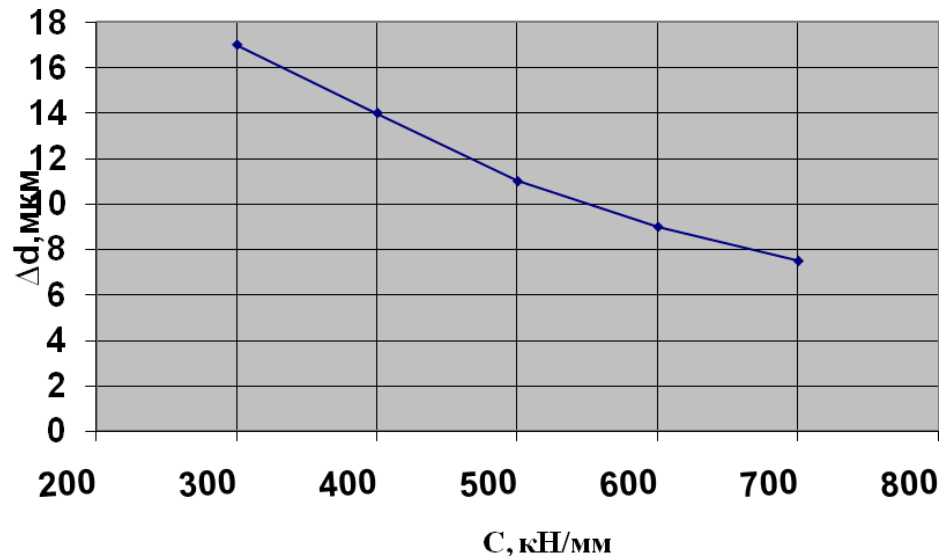


Рисунок 21. Похибки Δd_{μ} , внутрішнього діаметра різьблення від жорсткості різьбонакатного верстата з відхиленням коефіцієнта тертя μ в межах 0,2-0,4

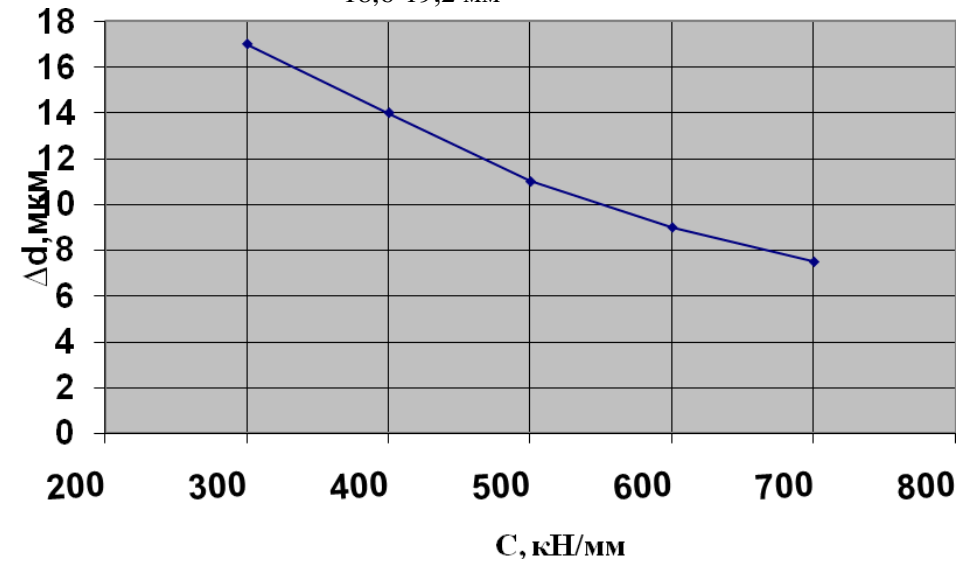


Рисунок 22. Похибки Δd_L , внутрішнього діаметра різьблення від жорсткості різьбонакатного верстата з відхиленням довжини L вихідної заготовки в межах 85-95 мм

Вплив параметрів процесу накочування різьблення болтів роликками на точність основних розмірів та форми різьбової частини болтів

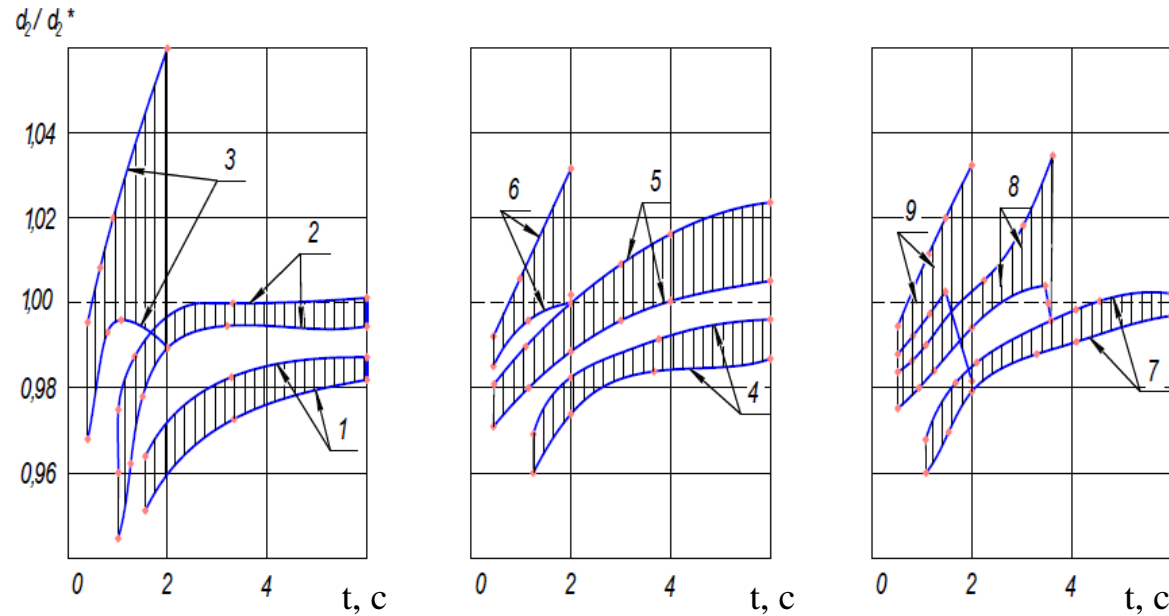


Рисунок 23. Вплив тривалості накочування за різних режимів на середній діаметр різьби

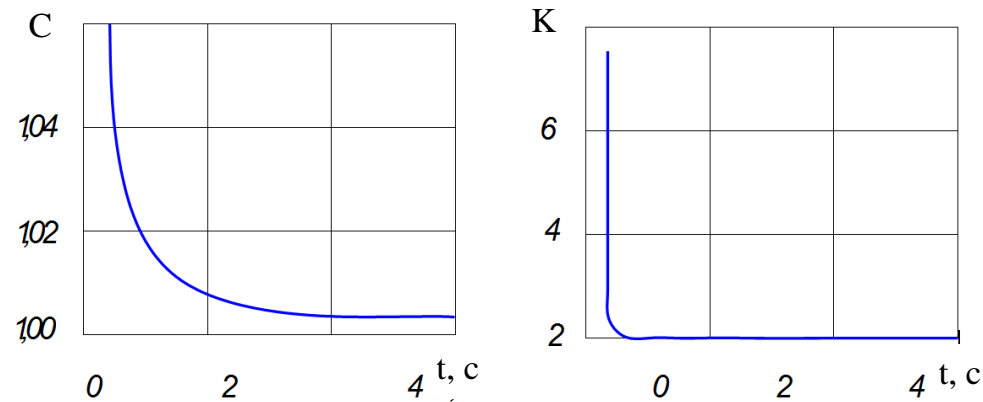


Рисунок 24. Залежності овальності (а) та конусоподібності (б) різьблення болта від тривалості накочування

Вплив умов та режимів накочування на фізико-механічні властивості різьблення

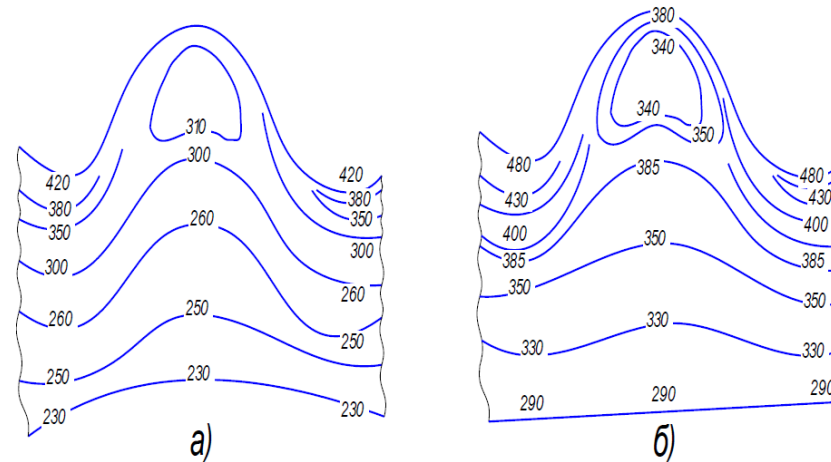


Рисунок 25. Схема розподілу мікротвердості по поздовжньому перерізу різьблення

Вплив діаметра заготовки під накочування різьблення на отриманий профіль різьблення

Таблиця 1. Граничні розміри гвинтового різьблення M20x1,5 класу допуску 6e

Зовнішній Ø		Середній Ø		Внутрішній Ø
He >	He <	He >	He <	
19,650	19,315	18,026	17,856	16,944

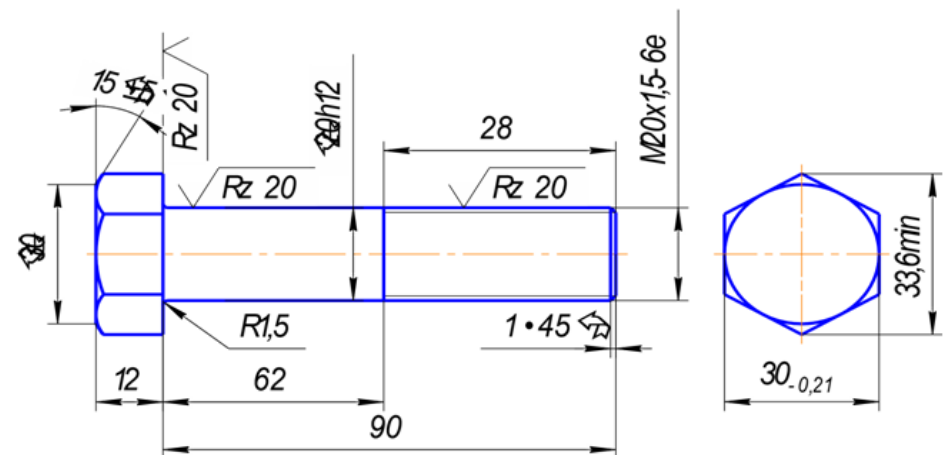


Рисунок 26. Болт M20-90 кд

Таблиця 2. Вимірювання експериментальних результатів вибору діаметра під накатку $T_d = 236$ мкм

Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}}=19,1$ мм, $L_{\text{поч}}=90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,95	16,95	16,95	16,95	16,95
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,9	19,85	19,95	19,85	19,9
L (довжина), мм	90,1	90,1	90	90,1	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}}=19$ мм, $L_{\text{поч}}=90$ мм:					
№ зразка	1	2	3	4	5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,95	16,94	16,95	16,95	16,95
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,7	19,6	19,75	19,7	19,65
L (довжина), мм	90	90,1	90	90	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}} = 18,95$ мм, $L_{\text{поч}} = 90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,95	16,94	16,94	16,94	16,94
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,45	19,47	19,55	19,5	19,55
L (довжина), мм	90	90	90	90	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}} = 18,9$ мм, $L_{\text{поч}} = 90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,4	19,47	19,55	19,42	19,45
L (довжина), мм	90	90	90	90	90
Діаметр заготовки під накатку $d_{\text{заг}} = 18,85$ мм, $L_{\text{поч}} = 90$ мм:					
Номер зразка	№1	№2	№3	№4	№5
$D_{\text{внутрішній}}$, мм	16,94	16,94	16,94	16,94	16,94
$D_{\text{зовнішній}}$, мм	19,2	19,2	19,2	19,1	19,3
L (довжина), мм	90	90	90	90	90



Рисунок 27. Визначення діаметра заготовки під накочуванням різьблення M20x1,5 за допомогою 3D моделювання

ВИСНОВКИ

Результати проведених у дисертаційній роботі досліджень дозволяють зробити такі основні висновки:

1. Розроблено методику прогнозування точності накочуваного різьблення. В основу методики покладено метод визначення випадкових похибок, що виникають внаслідок коливань радіальної складової зусилля накочування, що виникають через коливання межі плинності σ_0 матеріалу заготовки, діаметра d_0 та довжини L вихідної заготовки, коефіцієнта тертя μ .
2. Використовуючи програмний комплекс DEFORM-3D, в основу якого покладено метод кінцевих елементів, виконано моделювання процесу накочення різьблення болта М20-90 кд та визначено напружено-деформований стан та енергосилові параметри. Використовуючи результати комп'ютерного моделювання, визначалися випадкові похибки діаметра різьби, що накочується, Δd_σ , Δd_μ , Δd_{d_0} , Δd_L , що виникають при коливанні технологічних параметрів (σ_0 , μ , d_0 , L), і обчислювалася загальна випадкова похибка. На підставі виконаних розрахунків встановлено:
 - коливання внутрішнього діаметра різьблення болта М20-90 кд найбільш чутливі до коливань базового опору деформації σ_0 . Коливання коефіцієнта тертя μ та діаметра d_0 вихідної заготовки впливають на коливання внутрішнього діаметра різьблення незначно;
 - розрахунки, виконані для процесу накочування різьблення болта М20-90 кд із сталі марки 30ХГСА накочуванням двома приводними циліндричними роликками на верстаті А9518Б, показали, що при коефіцієнті жорсткості $C = \text{кН/мм}$ сумарна похибка внутрішнього діаметра накочуваного різьблення не виходить за межі регламентованого допуску: $[-500 \text{ мкм}, +500 \text{ мкм}]$.
3. Аналіз результатів комплексних досліджень впливу параметрів процесу накочування різьблення болтів роликками показав:
 - а. овальність і конусоподібність різьблення при накочуванні без упору збільшуються при наростанні радіальної подачі роликків і практично не залежать від неї при накочуванні на упорі;
 - б. при накочуванні в заповненому контурі овальність і конусоподібність різьблення значно вище, ніж при накочуванні в незаповненому контурі;
 - в. для отримання точного різьблення (при виробництві високоточних болтів та інших кріпильних виробів) її слід накочувати на упорі верстата, що виключає заповнення контуру інструментів, причому тривалість накочування має забезпечувати калібрування різьблення протягом τ_k .
 - г. найбільшу мікротвердість мають зони стисненого деформування у западинах різьблення, найменшу - зони вільної течії металу (наприклад, у витках різьблення та поблизу осі стрижня). А також виявлено, що зі збільшенням радіальної подачі зростає глибина проникнення деформації в болт та підвищується твердість металу у витку та серцевині стрижня різьблення болта. А збільшення частоти обертання роликків і тривалості накочування за рахунок калібрування різьблення болтів викликає додатково наклеп поверхневих шарів металу, що підвищує твердість і міцність. Запропоновано практичні рекомендації щодо технології виготовлення болта М20-90 кд.
4. Досліджено закономірності впливу діаметра заготовки під накочування різьблення на отриманий профіль різьблення накочуванням двома роликками на упорі. Встановлено, що внаслідок обмеження найбільшого переміщення ролика упором, внутрішній та середній діаметри різьблення болта виявляються практично незалежними від діаметра заготовки болта під накочування. А ось зовнішній діаметр різьблення болта d , як наслідок, ступінь заповнення контуру залежать від відхилення значень діаметра заготовки болта під накочування. Розрахований діаметр під накатку вихідної заготовки з умови рівності обсягів, що дорівнює 18,9 мм. Експериментальним шляхом виявлено раціональний діаметр під накатку $d_{\text{зар}} = 18,95 \text{ мм}$, що забезпечує найбільшу відповідність між допуском внутрішніх та зовнішніх діаметрів накочуваного різьблення.
5. Проведені експерименти показали, що важливим фактором якісного утворення різьбового профілю безперечно є наявність заготовки з відповідною чистотою поверхні, що виключає утворення поверхневих дефектів у вигляді відшарування та нерівномірності на поверхні сформованого різьблення.
6. Кориговано технологічний процес накочування різьблення на болтах М20-90 кд, тому що в ході практики, що процес обробки заготовки складається з операції холодного штампування на комплексному обладнанні Л346.31.100 (Комплекс автоматичний не дозволяє отримати необхідну чистоту поверхні та точність розмірів заготовки, внаслідок природного зносу обладнання та оснащення. Тому було запропоновано додати до існуючого технологічного процесу після операції холодного штампування операцію шліфування зовнішнього діаметра заготовки до $d_{\text{зар}} = 18,95 \text{ мм}$ (виявлених у п. 3.5). Дане рішення ґрунтувалося на конкретних умовах виробництва (відсутність можливості модернізації обладнання та наявність безцентрового круглошліфувального універсального верстата 3М182 для шліфування).

Додаток В
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Вплив параметрів процесу накочування на якість утворення нарізного профілю»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра «Галузевого машинобудування», ФМТ

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 99,2% Схожість 0,8%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ✓ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна
за перевірку

(підпис)

Шенфельд В. Й.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

(підпис)

Лагодич Н. Р.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сивак Р. І.

(прізвище, ініціали)