

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут
Кафедра інженерної механіки та технології машинобудування

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри ІМ та ТМ

д-р техн. наук, професор М.Р.

Ткач

«12» 12 2024 р.

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Підвищення довговічності вал-шестерні технологічними
методами ($m = 1,5$ мм; $z = 25$)»

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

Студент групи 6261м

Керівник

Рецензент

Григор'єв О.В.
(прізвище та ініціали)

Боду С.Ж.
(прізвище та ініціали)

Ніколаєв О.Л.
(прізвище та ініціали)

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування

імені адмірала Макарова

Інститут _____ Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра _____ Інженерної механіки та технології машинобудування
Освітній рівень _____ Магістр
Спеціальність _____ 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма _____ «Технології машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІМ та ТМ
д.т.н., професор М.Р.ТКАЧ

“__ 12” ____ 10 ____ 2024 р.

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

Григор'єва Олексія Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи „ Підвищення довговічності вал-шестерні технологічними методами ($m=1,5$ мм; $z=25$)”

керівник роботи ст.викладач Боду С.Ж.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “__ 1 __” 10 ____ 2024р. № 1032уч ____

2. Строк подання студентом роботи 2.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі; нормативна література; держстандарт; довідники

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Загальний розділ: Призначення та аналіз технологічності деталі.

2) Науковий розділ – Аналіз та дослідження з наукової теми роботи.

3) Технологічний розділ: Аналіз заводського техпроцесу. Вибір заготовки. Розробка маршрутної та операційної технології. Розрахунок припусків та режимів різання на одну з поверхонь деталі. Технічне нормування. Вибір обладнання, ріжучого та вимірювального інструменту.

4) Конструкторський розділ: Розрахунок і проектування спеціальних конструкцій пристроїв для верстатів та спеціального металорізального інструменту. 5)

Проектування ділянки цеху – згідно методичних вказівок кафедри.

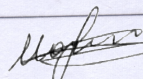
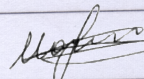
6) Організаційно-економічна частина – згідно методичних вказівок кафедри.

7,8) Охорона праці та навколишнього середовища – Розробка заходів з охорони праці та навколишнього середовища на ділянці.

9) Цивільний захист – згідно методичних вказівок кафедри.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки, спеціального пристрою до металорізального верстату, спеціального металорізального або вимірювального інструменту, налагодження до однієї з технологічних операцій, планування ділянки цеху, плакати до наукової частини

6. Консультанти розділів проекту

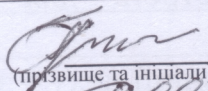
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
7,8			
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Моргун С.О.		

7. Дата видачі завдання 10.10.24

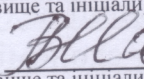
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Оформлення та затвердження технологічного процесу. Оформлення креслення деталі (роздруківка у форматі А3)	25.10.2024	
2	Оформлення загального та технологічного розділів (1, 3)	6.11.2024	
3	Оформлення конструкторського розділу (4)	11.11.2024	
4	Оформлення наукового розділу (2)	22.11.2024	
5	Оформлення розділу з охорони праці та навколишнього середовища (7,8)	25.11.2024	
6	Оформлення розділу з цивільного захисту (9)	29.11.2024	
7	Оформлення креслень	до 2.12.2024	
8	Нормоконтроль (креслення у форматі А3)	2-9.12.2024	
9	Затвердження МР на кафедральному перегляді (ПЗ, креслення у форматі А1)	6-14.12.2024	
10	Оформлення та передача електронного варіанту роботи (текстові та графічні матеріали у форматі PDF)	11-16.12.2024	
11	Затвердження МР зав.кафедрою (подання, анотація)	11-16.12.2024	
12	Рецензування	16-21.12.2024	

Студент
(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник роботи
(підпис)


(прізвище та ініціали)

« 11 »

10

2024р.

АНОТАЦІЯ

В магістерській роботі на тему «Підвищення довговічності вал-шестерні технологічними методами ($m = 1,5 \text{ мм}$; $z = 25$)» надано опис призначення деталі та характеристика матеріалу, з якого вона виготовлена, зроблено аналіз її технологічності, вибір та обґрунтування типу виробництва, розроблено технологічний процес виготовлення, а також розглянуті методи формування зубців та їх вплив на несучу здатність коліс, методи остаточної обробки зубців, основні методи та механізм механічного зміцнення зубчастих коліс, вплив точності виготовлення та складання зубчастих передач на несучу здатність та довговічність.

В магістерській роботі наведені розрахунки спеціальних пристосувань та ріжучого і вимірювального інструментів, розроблені заходи з охорони праці та навколишнього середовища на ділянці.

Ключові слова: вал-шестерня, заготовка, припуски, несуча здатність, довговічність зубчастих коліс, пристосування для зубофрезерування, фреза черв'ячна модульна.

ABSTRACT

In the master's thesis on the topic «Increasing the durability of the gear shaft by technological methods ($m = 1.5 \text{ mm}$; $z = 25$)» a description of the purpose of the part and the characteristics of the material from which it is made is provided, an analysis of its manufacturability is made, the choice and justification of the type of production is made, a technological manufacturing process is developed, as well as the methods of forming teeth and their influence on the bearing capacity of wheels, methods of final processing of teeth, the main methods and mechanism of mechanical strengthening of gears, the influence of the accuracy of manufacturing and assembly of gears on the bearing capacity and durability are considered.

In the master's work, the calculations of special devices and cutting and measuring tools are given, measures for occupational and environmental protection at the site are developed.

Key words: gear shaft, workpiece, allowances, bearing capacity, durability of gear wheels, device for tooth milling, modular worm cutter.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Загальна частина	7
1.1. Галузь застосування та призначення деталі	8
1.2. Характеристики матеріалу для виготовлення вал-шестерні	8
1.3. Визначення типу виробництва	9
2. Наукова частина	12
2.1. Методи формування зубців та їх вплив на несучу здатність коліс	14
2.2. Методи остаточної обробки зубців	17
2.3. Основні методи та механізм механічного зміцнення зубчастих коліс	29
2.4. Вплив точності виготовлення та складання зубчастих передач на несучу здатність та довговічність	32
3. Технологічна частина	50
3.1. Аналіз технологічності конструкції деталі	51
3.2. Економічне обґрунтування методів одержання заготовок	53
3.3. Розрахунок припусків на механічну обробку	59
3.4. Розрахунок вартості основних матеріалів	64
3.5. Проектування маршрутного технологічного процесу	66
3.6. Вибір ріжучого інструменту	69
3.7. Вибір вимірювального інструменту	72
3.8. Вибір обладнання	73
3.9. Розрахунок режимів різання і технічне нормування	75
4. Конструкторська частина	79
4.1. Проектування пристрою на зубофрезерувальну операцію	80
4.2. Розрахунок та конструювання черв'ячної модульної фрези для нарізання зубців з евольвентним профілем	82
5. Охорона праці	87

Вступ	88
5.1. Аналіз виробничих небезпек і шкідливостей	88
5.2. Методологічні умови на ділянці	91
6.Охорона навколишнього середовища	95
6.1.Вступ	96
6.2 Заходи щодо охорони навколишнього середовища	96
Список використаної літератури	101

						Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Вступ

Передове місце в економіці розвиненої держави належить галузям машинобудування, які забезпечують матеріальну оснащеність технологічного процесу всіх галузей народного господарства.

В теперішній час машинобудування має потужну виробничу базу. На сучасному етапі велика увага повинна приділятися розробці, освоєнню та впровадженню нових високоефективних технологічних процесів, нових матеріалів, в тому числі і неметалічних, зниженню металоємності виробів, економії робочого часу.

При розгляданні проблеми підвищення ефективності виробництва машин особливу увагу необхідно приділити аналізу та розкриттю методів підвищення продуктивності праці, вчасності за допомогою застосування технічних засобів типу верстатів з ЧПУ та роботів, що дозволяють створити гнучкі виробництва та безлюдні технологічні процеси. Особливо потрібно відмітити безвідходну технологію, зниження металоємності, проблеми охорони навколишнього середовища та охорони праці на виробництві.

Фахівець в галузі машинобудування повинен володіти комплексом знань, методів аналізу та розрахунків, необхідних для вирішення технологічних проблем, що виникають на всіх етапах створення машин, засобів автоматизації та систем управління, для забезпечення високих показників якості (точності, надійності, продуктивності) при низькій собівартості виробництва.

Для підвищення конкурентоспроможності продукції, що випускається, слід розвивати автоматизацію ливарного, штампувального виробництва, термічної та хімічної обробки. Значне місце повинні зайняти найновіші системи управління на електронній основі та, перш за все, системи програмного управління. В перспективі створення та впровадження в машинобудуванні автоматизованих технологічних комплексів з

						Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

автоматизованими системами управління технологічними процесами на основі використання засобів розрахункової техніки. Широке використання ЕОМ для вирішення задач управління машинами та системами машин з реалізацією не тільки безпосередніх функцій управління, але й організаційно-економічних функцій контролю та управління виробництвом дозволить вирішувати поставлені задачі на більш високому рівні.

						Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. Загальна частина

1.1. Область застосування та призначення деталі

Деталь вал-шестерня входить до складу редуктора та призначена для передачі крутного моменту від свого хвостовика до інших коліс та шестерен редуктора. Оскільки редуктор є малогабаритним, то є доцільним виробляти вал-шестерню, а не окремо вал та шестерню.

1.2. Характеристика матеріалу для виготовлення вал-шестерні

Вибір сталі для виготовлення деталей машин і метод її зміцнення визначається рівнем необхідної конструкційної міцності, технологічністю механічної, термічної і хіміко-термічної обробки, обсягом виробництва, дефіцитністю, вартістю матеріалу і собівартістю обробки, що зміцнює.

При виборі сталі та обробки, що зміцнює, виходять з наступних вимог:

- експлуатаційні вимоги (сталь повинна задовольняти умовам роботи в машині, тобто забезпечувати задану конструкційну міцність);
- технологічні вимоги (сталь повинна задовольняти вимогам мінімальної трудомісткості виготовлення деталі, зокрема, сталь повинна мати гарну оброблюваність різанням і тиском, і тому особливого значення набуває вибір правильного режиму попередньої термічної обробки заготовки, що призначається з урахуванням наступних процесів зміцнення);
- економічні вимоги (матеріал повинний бути по можливості дешевше, з урахуванням усіх витрат, що включають не тільки вартість сталі, але і виготовлення деталі і, нарешті, її експлуатаційну стійкість у машині, у якій вона повинна працювати).

					6261м.06.МР.06.01.ПЗ	Арк.
						8
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вал-шестерня виготовляється з низьколегованої якісної конструкційної сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Сталь 40Х застосовується для шестерен, черв'ячних валів, шліцевих валів, проміжних осей, шпинделів та валів, працюючих у підшипниках кочення та інших деталей з підвищеною точністю, працюючих при середніх швидкостях та середніх питомих тисках. Сталь 40Х не коштує дорого і не є дефіцитною. Кількість шкідливих домішок (S і Р) незначна. Оброблюваність різанням нормальна. Сталь 40Х задовільно обробляється тиском.

Хімічний склад сталі

Таблиця 1.1

Марка сталі	Склад елементів, % (інше залізо)							
	Вуглець	Марганець	Кремній	Фосфор	Сірка	Хром	Нікель	Мідь
40Х	0.36-0.44	0.5-0.8	0.17-0.37	0.035	0.040	0.8-1.0	<0.25	<0.20

Механічні властивості сталі

Таблиця 1.2

Марка сталі	Твердість <i>HV</i>	Межа текучості σ_T , МПа	Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Відносне подовження δ_S , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість α_H , Дж/м ²
40Х	228	650	800	14.5	66.5	0.015

1.3. Визначення типу виробництва

Тип виробництва - це його класифікаційна характеристика, зумовлена ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції.

Одиничне виробництво характеризується широкою номенклатурою

					6261м.06.МР.06.01.ПЗ	Арк.
						9
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виготовлених виробів і малим обсягом їхнього випуску. Одиначне виробництво універсальне, тобто охоплює різноманітні типи виробів, тому воно повинно бути гнучким, із застосуванням універсального обладнання, а також стандартного різального і вимірювального інструмента. Обладнання розташовується по технологічному принципу, тобто по групах однорідних верстатів. Технологічний процес даного типу виробництва ущільнений, тобто на одному верстаті виконуються кілька операцій, чи повна обробка всієї деталі. Кваліфікація робітників висока. Собівартість виробів, що випускаються, також висока. Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, виготовлених періодично повторюваними партіями, і порівняно великим обсягом випуску, ніж в одиначному виробництві. Використовуються універсальні, спеціалізовані та агрегатні верстати, оснащення універсальне і спеціальне. Технологічний процес виготовлення виробу переважно диференційований, тобто розчленований на окремі самостійні операції, виконувани на окремих верстатах. Обладнання розташоване по ходу технологічного процесу обробки однорідних деталей (предметний і технологічний принципи). Кваліфікація робітників середня. Масове виробництво характеризується вузькою номенклатурою і великим обсягом випуску виробів, які виготовляються безупинно на протязі тривалого періоду часу. При масовому виробництві технологічні процеси розробляються докладно і добре оснащуються, що дозволяє забезпечити високу точність і взаємозамінність виробів, малу трудомісткість і низьку собівартість. При масовому виробництві можливо більш широко застосовувати механізацію та автоматизацію виробничих процесів, використовувати диференціювання на елементарні операції, застосовувати швидкодіючі спеціальні пристосування, різальний і вимірювальний інструмент. Обладнання розташоване по предметному принципу, тобто по ходу процесу обробки окремих деталей. Кваліфікація робітників порівняно невисока на потокових лініях і висока на автоматичних лініях і ГАВ.

Основною характеристикою типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о}$. Він показує середню кількість операцій., виконуваних на одному робочому місці:

					6261м.06.МР.06.01.ПЗ	Арк.
						10
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{з.о.} = Q/P,$$

де Q - кількість операцій;

P - кількість робочих місць.

Типи виробництва характеризуються наступними значеннями коефіцієнтів закріплення операцій (табл.1.3):

Залежність типу виробництва від коефіцієнту закріплення операцій

Таблиця 1.3

Тип виробництва	$K_{з.о.}$
Масове	1
Серійне: крупносерійне середньoserійне дрібносерійне	більше 1 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 40
Одиничне	більше 40

Тип виробництва попередньо може бути визначений також відповідно до річної кількості деталей одного типорозміру.

Маса деталі складає 2,33 кг, обсяг випуску 5000 шт. у рік. Це відповідає середньoserійному типу виробництва (річна кількість деталей масою до 20 кг для середньoserійного виробництва 5000-50000 шт.) [2, с.12].

Залежність типу виробництва від обсягу випуску (шт.) і маси деталі

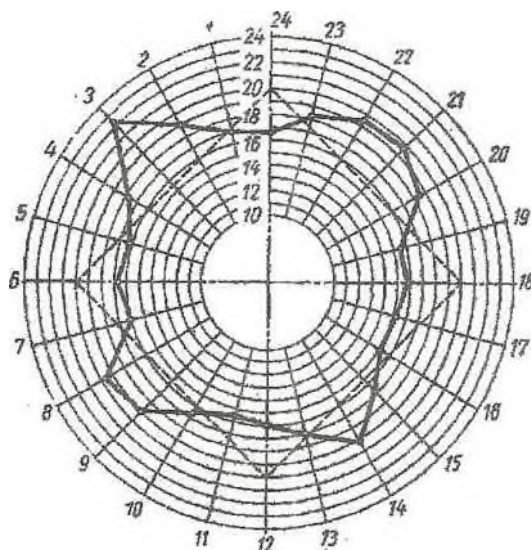
Таблиця 1.4

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одинич.	дрібносер.	середньoser.	крупносер.	масове
< 1,0	< 10	10-2000	1500-100 000	75 000-200 000	200 000
1,0-2,5	< 10	10-1000	1000-50 000	50 000-100 000	100 000
2,5-5,0	< 10	10-500	500-35 000	35 000-75 000	75 000
5,0-10	< 10	10-300	300-25 000	25 000-50 000	50 000
> 10	< 10	10-200	200-10 000	10 000-25 000	25 000

2. Вплив технології виготовлення на несучу здатність та довговічність зубчастих передач та методи їх механічного зміцнення

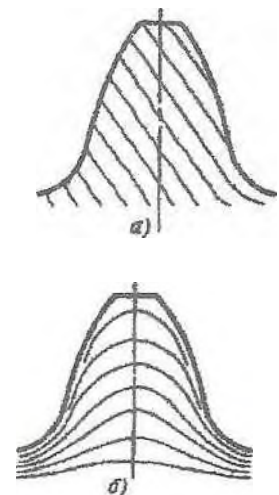
Несуча здатність та довговічність зубчастих коліс при прийнятому технологічному процесі їх виготовлення в зв'язку з виявленням так званої “технологічної спадковості” визначаються, хоча і різною мірою, всім комплексом операцій, які виконуються при виготовленні, починаючи від формування заготовки колеса і завершуючи операціями доводки. Як свідчать результати досліджень причин утворення дефектів та руйнувань коліс в процесі експлуатації, з комплексу технологічних операцій, які виконуються при виготовленні, основний вплив на несучу здатність та довговічність чинить спосіб формування заготовки, термічна або хіміко-термічна обробка, методи формування зубців та операції остаточної обробки.

Методи одержання заготовок та їх вплив на несучу здатність зубчастих коліс



Характер змінювання ударної міцності зубців при згині по відношенню до конфігурації початкової відливки (за даними Каупера): по колу вказані номери зубців; на вертикальній вісі - значення ударної вязкості зубців; пунктирною лінією показана орієнтація волокон в початковій відливці

Рис.2.1



Найбільш неблагоприємне (а) і найкраще (б) розташування волокон матеріала відносно контура зуба

Рис.2.2

Відповідальні сталі зубчасті колеса невеликих та середніх розмірів, як правило, виготовляють зі штампованих заготовок і лише іноді, при невеликих обсягах виробництва, припускають їх виготовлення з заготовок, які отримані вільною ковкою. При цьому особливу увагу звертають на потрібну уковку матеріалу та на правильне розташування волокон. Недостатньо уковані, нещільні заготовки більше коробляться при термічній обробці.

Навіть у штампованих коліс згинаюча міцність зубців залежить від форми вихідної виливки, з якої виготовлена штампована заготовка (рис.2.1). При цьому чим гірше укований матеріал при штамповці, тим більшу різницю по згинаючій міцності мають окремі зубці колеса.

Зубці, які розташовані навпроти кутів вихідної виливки, мають мінімальну згинаючу міцність; максимальну згинаючу міцність мають зубці, які розташовані приблизно навпроти середин боків виливки.

На прикладі шарикопідшипникової сталі марки ШХ15СГ встановлено, що збільшення щільності матеріалу шляхом гарячої обробки тиском з більшою ступеню обтискання підвищує границю утомленості при згині та контактну витривалість загартованої сталі, причому особливо значно при низької якості вихідного злитку.

На підставі результатів експериментів з підшипниками качання можна стверджувати, що мінімальною контактною міцністю володіють зубці, у яких кут між напрямом волокон та контактною ділянкою в зоні максимального навантаження в нормальному перерізі зубу $40-45^\circ$, тобто напрям волокон співпадає з напрямом максимальних дотичних напруг (рис.2.2).

Максимальною контактною витривалістю володіють зубці, у яких розташування волокон наближується до еквідастантного по відношенню до поперечного контуру.

2.1.Методи формування зубців та їх вплив на несучу здатність коліс

При виготовленні колес використовують три способи формування зубців: виливку (застосування обмежено малими окружними швидкостями колес), на-

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						14
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нарізання та накатування.

Нарізання зубців є основним способом їх формування. Зубці нарізають переважно за методом обкату та рідкіше — за методом копіювання.

При нарізанні зубців за методом копіювання з періодичним розподілом у кроці та профілі виникають додаткові помилки від похибок в механізмі розподілу та фіксації колеса, що нарізається, профілювання фасонного інструменту та його установки відносно колеса, що нарізається.

Зняття стружки супроводжується пластичною деформацією поверхневого шару матеріалу, його нагрівом та утворенням певного рельєфу на оброблюваній поверхні.

Границя витривалості матеріалу при згині підвищується зі збільшенням ступені наклепу і до певної величини товщини наклепуваного шару.

Виникаючи при надмірному нагріві поверхневого шару матеріалу залишкові напруги є розтягуючими в поверхневому шарі та стискаючими в серцевині деталі, що призводить до зниження її границі витривалості при згині. Старіння поверхневого наклепуваного шару матеріалу призводить, як правило, до підвищення границі витривалості, а розміцнення при більш високих нагрівах - до її зниження.

Чим більше глибина слідів інструменту та гострота їх на оброблюємії поверхні, тим більше знижується границя витривалості деталі.

Мікрогеометрію поверхні, ступінь та глибину наклепуваного шару, а також величину та знак залишкових напруг можливо регулювати змінюванням режимів різання.

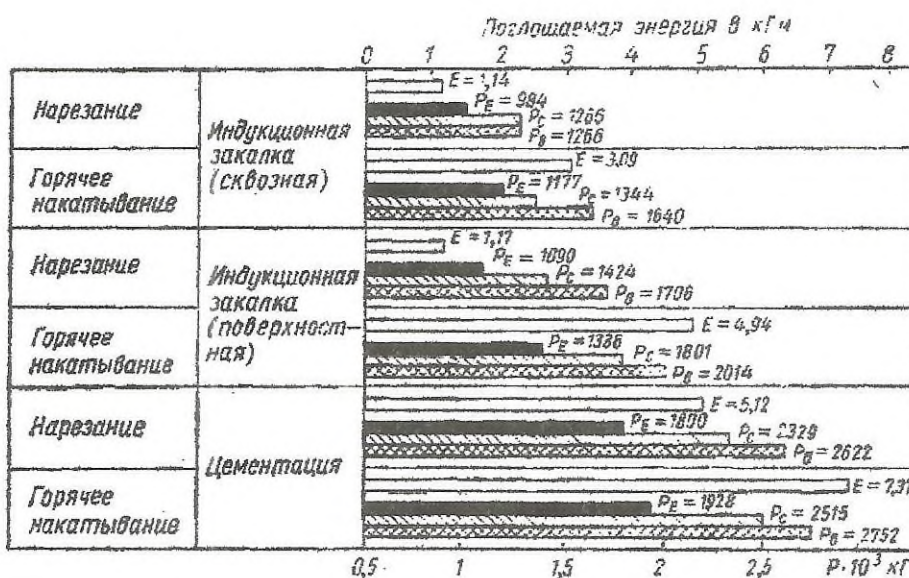
Основними чинниками, які впливають на структуру поверхневих шарів матеріалу, є тепловий ефект від різання та тиск ріжучого інструменту.

Накатування зубців. В залежності від розмірів заготовки та зубців використовують або холодне накатування, або гаряче (при температурі нагріву заготовки 1050-1150°C). Існуючі моделі зубонакатних верстатів забезпечують можливість використання цього методу для накатування зубців колес з модулем до 10 мм та діаметром до 600 мм.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						15
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На відміну від нарізання накатування зубців не перерізує волокна матеріалу, а забезпечує їх орієнтацію по поперечному контуру зубців (рис.2.2, б) та ущільнює поверхневі шари матеріалу на глибину 0,5-0,6 мм.

Прутковий метод накатування зубців в 15-20 разів продуктивніше за зубофрезерування і забезпечує 10-20%-ву економію матеріалу. Точність зубців досягає при цьому 8-ої ступені за ГОСТом 1643-56, а чистота їх поверхонь одержується в границях 7-9 класів.



Згинаюча міцність циліндричних зубчастих коліс при гарячому накатуванні та нарізанні зубців

P_E — навантаження, яке відповідає досягненню межі пружності; P_C — навантаження, яке викликає утворення тріщин; P_B — навантаження, яке викликає поломку зуба; E — поглинена енергія

Рис.2.3

Контактна міцність зубців, які накатані на 15-20% вище, ніж фрезерованих. Значно підвищується зносостійкість зубців та їх згинаюча міцність (рис.2.3).

Штучне накатування зубців можна використовувати лише замість чорного зубофрезерування, так як отримана при цьому точність невисока.

2.2. Методи остаточної обробки зубців

Остаточну обробку зубців виконують з метою забезпечення заданої точності та мікрогеометрії робочих поверхонь зубців, притуплення їх кромки та оздоблення; видалення дефектних поверхневих шарів матеріалу, які утворились при виконанні попередніх операцій нарізання зубців та їх термічної і хіміко-термічної обробки; введення відповідних корекцій до геометрії зубців.

Для остаточної обробки зубців відповідальних коліс у наді час застосовують; шліфування, притирку, хонінгування, приробітку, шевінгування, обкатку та шевінг-обкатування, гідроабразивну обробку та електролітичне полірування.

2.2.1.Шліфування зубців та його вплив на несучу здатність та довговічність коліс

Зубці найбільш відповідальних загартованих та цементованих з послідовним загартуванням коліс зазвичай шліфують для усунення неточностей, обумовлених змінюванням їх форми та розмірів при хіміко-термічній обробці.

Шліфування малопродуктивне, дороге та видаляє шар матеріалу з найбільшою контактною міцністю. Тому при порівняно невеликих окружних швидкостях коліс та деякому припустимому шумі передач зубці можна не шліфувати.

Забезпечуючи високі ступені чистоти та точності обробки, шліфувальні операції потребують особливо ретельного відпрацювання їх режимів. Відхилення в режимі різання, в тому числі випадкові, можуть призвести до різкого зниження міцності та зносостійкості термічно оброблених зубчастих коліс.

При підвищених режимах шліфування в поверхневому шарі шліфуємої сталі виникають глибокі місцеві змінювання мікроструктури - шліфувальні опіки.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						17
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На характер та величину структурних змінювань, які відбуваються в металі при шліфуванні впливають режими різання, зернистість, зв'язка та стан шліфувального круга, зовнішнє охолодження, властивості шліфуючої сталі (хімічний склад, вихідна структура та ін.), вихідна мікрогеометрія та форма оброблюваної поверхні.

Фазові та структурні змінювання, які відбуваються в поверхневих шарах матеріалу при шліфуванні, супроводжуються об'ємними змінюваннями та в зв'язку з цим обумовлюють виникнення в поверхневих шарах різних за величиною та знаком залишкових напруг.

Шліфування обумовлює виникнення розтягуючих залишкових напруг, а іноді й тріщин, в поверхневому шарі сталевих деталей, якщо в ньому утворюється більш 50% аустеніту та якщо деталь отримує сильний відпуск на велику глибину.

При шліфуванні виникають стискаючі залишкові напруги в поверхневому шарі, якщо утворюється глибокий вторинно загартований шар, який містить не більш 50% залишкового аустеніту та слабівідпущений на малу глибину, та якщо високовідпущена сталь зі структурою трооститу вторинно загартовується в поверхневому шарі на мартенсит, який має більший питомий об'єм, ніж метал серцевини.

Найбільш інтенсивні структурні змінювання при шліфуванні виникають в поверхневих шарах матеріалу товщиною від декількох сотих до декількох десятих часток міліметра.

При шліфуванні загартованих деталей з грубою вихідною мікрогеометрією в місцях розташування впадин та виступів нерівностей поверхні утворюється неоднорідна структура, В місцях розташування виступів вихідних нерівностей поверхні, можливе вторинне загартовування металу, а в місцях розташування впадин - переважно відпуск.

Дослідженням впливу режимів та методів шліфування зубців циліндричних прямозубих коліс, виготовлених зі сталі марок І2Х2Н4А, ЭИ712 та ЭИ415 ($m = 2,5$ та 5 мм, $\alpha_0 = 20^\circ$; хіміко-термічна обробка зубців: газова

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						18
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цементация на глубину 1,1-1,2 мм, загартовання, обробка холодом та відпуск; твердість поверхневого шару матеріалу зубців $HRC = 60-61$; шліфування здійснювалось кругом ЕБ60СМ2К при $v_{окр} = 25$ м/с) на глибину структурних змінювань в матеріалі встановлено, що:

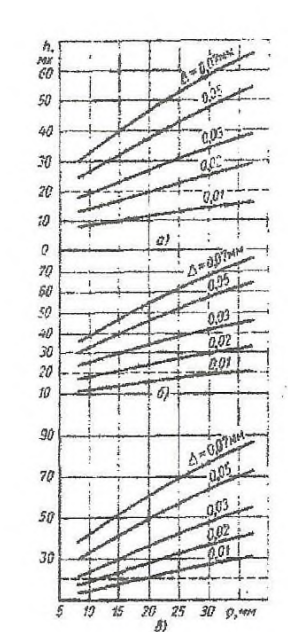
1. Шліфування з малими глибиною (0,01-0,02 мм) та поперековою і повздовжньою подачами призводить в окремих випадках до вторинного загартовання шару матеріалу у зубів на глибину 2-5 мкм, під яким частіше за все розташовується неглибокий шар мартенситу відпуску. При підвищених режимах шліфування на зубцях виникають глибокі місцеві припіки з вторично загартованим зовнішнім шаром, який лежить на шарі сильно відпущеного металу.

2. Глибина структурних змінювань в матеріалі та інтенсивність її росту при підвищенні глибини шліфування значно знижується від вершини зуба, де евольвента має найбільший радіус кривизни, до його основи. Проте при відсутності контролю за глибиною шліфування в основах зубців та величиною радіусу закруглення робочої кромки шліфувального круга глибина припиків в цій зоні може досягати 0,05-0,06 мк.

3. З підвищенням осьової подачі та числа гойдань на верстаті типу Маг та куту повороту на верстаті типу 5831 глибина структурних змінювань в матеріалі зубців зростає.

4. При шліфуванні зубчастих коліс на верстатах типу Маг та 5831 повздовжня подача впливає на глибину структурних змінювань в матеріалі менше, ніж осьова подача та глибина шліфування.

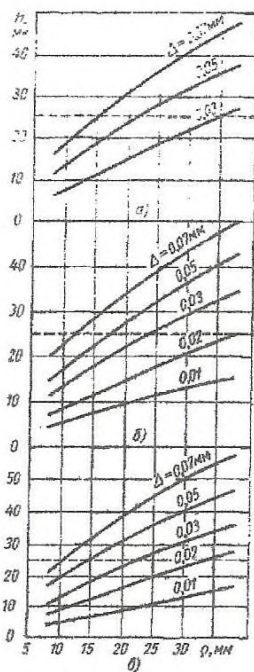
					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						19
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Влияние радиуса кривизны профиля зуба на глубину структурных изменений при шлифовании стали марки 12X2N4A по различным режимам на станке типа Магг:

а — $s = 1,08$ мм/кач, $n = 93$ кач/мин; б — $s = 1,08$ мм/кач, $n = 190$ кач/мин; в — $s = 1,33$ мм/кач, $n = 93$ кач/мин.

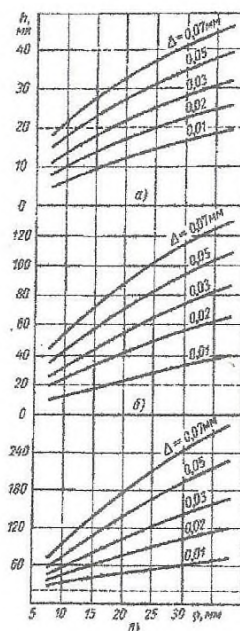
Рис 2.4



Влияние радиуса кривизны профиля зуба на глубину структурных изменений при шлифовании по различным режимам сталей ЭИ712 и ЭИ415 на станке типа Магг:

а — $s = 1,08$ мм/кач, $n = 93$ кач/мин; б — $s = 1,33$ мм/кач, $n = 190$ кач/мин; в — $s = 1,33$ мм/кач, $n = 93$ кач/мин.

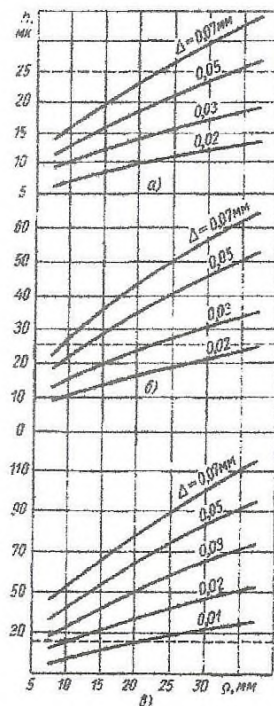
Рис 2.5



Влияние радиуса кривизны профиля зуба на глубину структурных изменений при шлифовании стали 12X2N4A по различным режимам на станке типа 5831 и др.:

а — $\varphi = 15^\circ$; б — $\varphi = 30^\circ$; в — $\varphi = 60^\circ$.

Рис 2.6



Влияние радиуса кривизны профиля зуба на глубину структурных изменений при шлифовании сталей ЭИ712 и ЭИ415 по различным режимам на станке типа 5831 и др.:

а — $\varphi = 15^\circ$; б — $\varphi = 30^\circ$; в — $\varphi = 60^\circ$.

Рис 2.7

5. Застосування сталі марок ЭИ712 та ЭИ415 замість сталі марки 12X2N4A дозволяє знижувати глибину структурних змінювань при шліфуванні зубців,

Режими шліфування зубців рекомендовано вибирати за графіками, приведеними на (рис.2.4-2.7). Глибина структурних змінювань в матеріалі у вершини зубу при чистовому шліфуванні не повинна перевищувати припустиму, відмічену на графіках пунктирними лініями.

Підвищення числа гойдань на верстаті типу Магг слабо впливає на глибину структурних змінювань, але знижує точність виготовлення зубчастих колес, особливо масивних. З підвищенням глибини шліфування, осьової подачі та куту повороту продуктивність підвищується, але водночас з цим підвищується глибина структурних змінювань і знижується чистота обробки

поверхні зубців. З підвищенням осьової подачі на верстаті типу Маг та куту повороту на верстаті типу 5831, особливо при невеликих глибинах шліфування, можуть не перекриватися суміжні різи.

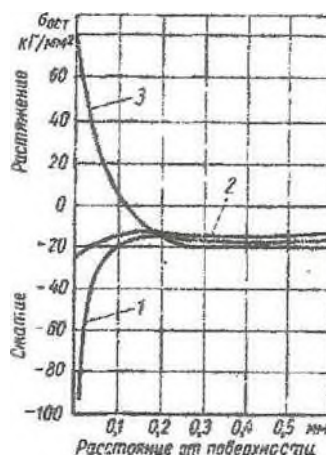
Порівняльну оцінку глибини та інтенсивності структурних змінювань в матеріалі при шліфуванні зубчастих коліс можна здійснювати за допомогою коефіцієнту

$$K = \frac{M}{S_0}, \quad (2.1)$$

де M - об'ємна кількість металу, який знімається кругом за одиницю часу;

S_0 - площа контакту шліфувального круга з оброблюваною поверхнею.

При ретельному шліфуванні в поверхневому шарі матеріалу не виникають розтягуючі залишкові напруження, а залишкові стискаючі напруження в ньому за рахунок видалення якогось об'єму матеріалу при цьому стають менше (рис.2.8).



Остаточні напруження в цементованих та закалених пластинках зі сталі 12Х2Н4А:
1 - нешліфованих; 2 - шліфованих;
добре 3 - шліфованих за підвищеними режимами

Рис.2. 8

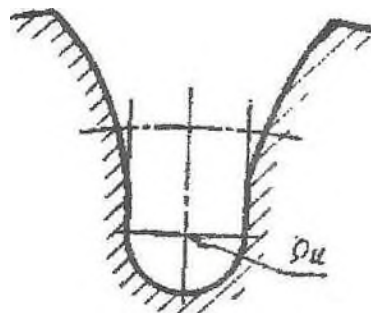
Виникаючі при шліфуванні структурні перетворення та залишкові напруження в поверхневих шарах матеріалу зубців можуть призводити до поломок та контактних руйнувань зубців.

Згинаюча міцність термічно оброблених зубців зі шліфованою викружкою нижче, ніж з нешліфованою.

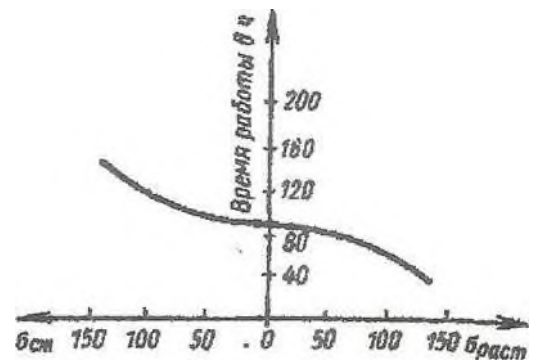
					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						21
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іноді понижена згинаюча міцність шліфованих коліс пояснюється високою концентрацією напруг в викружці зубу з-за малих радіусів кривизни, наявності уступів, нерівномірної глибини цементованого шару зубців по викружці, яка отримується в результаті неоднакової глибини різання при шліфуванні, або наявності притуплених контурних кромek в зоні розташування викружки.

В зв'язку з цим для високонапружених зубчастих коліс спостерігається поступовий відхід від шліфуванні після хіміко-термічної обробки тих поверхонь, від якості обробки яких залежить міцність колеса, але їх точність не впливає на якість зачеплення зубців. До таких поверхонь, насамперед, належать основи впадин між зуб'ями. У високонапружених зубчастих коліс основам впадин додають спеціальну, повністю закруглену форму (рис.2.9), для того, щоб їх можна було остаточно обробляти окремо до хіміко-термічної обробки деталі. Зазвичай це роблять все ж таки за допомогою шліфуванні,



Пропонована форма основ впадин між зубцями для високонапружених зубчастих коліс



Залежність контактної витривалості внутрішнього кільця підшипника качіння від величини тангенціальних остаточних напруг у поверхневому шарі

так як при шліфуванні деталей до хіміко-термічної обробки виключається

Рис.2.9

Рис.2.10

можливість появи найбільш небезпечних шліфувальних дефектів. Потім видаляють повздовжні шліфувальні риси з таким розрахунком, щоб оброблені риси після цього орієнтувались перпендикулярно до вісі зубу.

Застосування спеціальної форми основ впадин між зубцями виключає можливість їх послідуного ушкодження при шліфуванні бічних поверхонь

зубців, в той час як при звичайно застосованій формі основ впадин шліфуванні бічних поверхонь зубців призводить до утворення уступів. Ці уступи можуть бути зменшені шляхом зниження припуску на шліфуванні та повністю виключені призначенням мінливого, поступово зростаючого до вершини зубу припуску; останнє може бути досягнуто застосуванням спеціального зуборізного інструменту (з декілька заниженим проти кінцево необхідного профільним кутом) при нарізанні зубців.

Вплив залишкових напруг на контактну витривалість внутрішнього кільця підшипника качання показано на (рис.2.10).

При шліфуванні азотованих зубчастих колес структурних змінювань в азотованому шарі внаслідок його високої теплостійкості не виникає.

2.2.2. Притирка зубців

Як правило, притирку (лапінгування) зубців застосовують при неможливості їх шліфування (у малих вінців блочних колес, у фланцевих колес та ін.). Проте у ряді випадків її застосовують і після шліфування для підвищення точності та чистоти поверхонь зубців та для видалення утвореного при шліфуванні дефектного шару матеріалу.

Значні похибки зубців виправити притиркою неможливо, а при похибках більше 0,03 мм шліфування економніше за притирку.

Підвищення тривалості притирки більше за оптимальну призводить до перекручення профілю зубців.

Спеціального припуску на притирку зазвичай не залишають і лише при дуже малих допусках на товщину зубців його передбачають розміром не більше 0.03 мм.

Зі збільшенням розміру абразивних зерен чистота оброблених притиркою поверхонь погіршується.

Відомі змінні зубчасті колеса шпинделю верстата слід виготовляти та установлювати по можливості точніше, а числа їх зубців не повинні бути кратними числу зубців парного колеса.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Число обертань притираемого колеса не повинно бути кратним числу його осьових двійних ходів та числам обертань двигуна і зубчастих колес коробки швидкостей.

В основах зубців притираємих коліс утворюються деякі уступи, а при виникненні уступів в основі зубців притира внаслідок їх зносу, головки зубців притираємих коліс декілька закатуються. Останнього можна запобігти під внутрішньою викружкою основ зубців притиру, яка починається від останньої точки її контакту з голівками зубців притираемого колеса.

Застосування пригарів з гвинтовими канавками на їх зубчастому вінці забезпечує 6-7-у ступінь точності притираємих коліс, вирівнювання зносу їх зубців за профілем, підвищення у 2-4 рази стійкості пригарів та на 25-40% продуктивність притирки.

2.2.3. Хонінгування зубців

Хонінгування значно продуктивніше за притирку та виключає можливість в'їдання абразивних зерен в матеріал обробляемого виробу.

Якість хонінгування зубців в порівнянні з притиркою менше залежить від однорідності матеріалу зубчастих коліс.

В наш час застосовують однопрофільне та двох профільне хонінгування. В першому випадку спочатку обробляють один бік зубців, а потім інший при постійній міжвісевій відстані та з бічними зазорами в зачепленні хонінгуемого колеса з хоном, при тангенціальному підтисканні зубців колеса до зубців хону за рахунок гальмування обробляемого колеса. При двопрофільному хонінгуванні обидва боки зубів обробляють одночасно при беззазорному зачепленні колеса з хоном та при радіальному підтисканні одне до одного.

Бочкоподібність зубців коліс при хонінгуванні та досягаєма при цьому чистота їх поверхонь при наявності вісєвого осцилюючого руху хону вище, ніж без нього.

Хонінгуванням можна видаляти шари матеріалу на зубцях товщиною до 0.12 мм та виправляти значні похибки зубчастих колес.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

В наш час наявні верстати, які дозволяють хонінгувати прямозубі та косозубі циліндричні колеса, бочкоподібні зубці та зубці з поздовжнім нахилом утворюючих, а також створювати ці види коригування знов.

2.2.4. Приробітка зубців

Приробітка зубців забезпечує підвищення гладкості їх робочих бічних поверхонь та поліпшення плями контакту зубців парних коліс, які здійснюються при їх зачепленні шляхом обертання з допоміжними рухами або без них та з застосуванням абразиву (притирка у парі) або без нього.

Приробітку зубців можна здійснювати при безззорному зачепленні парних коліс (на спеціальних машинах або в корпусі передачі з регулюємими міжвісєвими відстанями) та при їх нормальній міжвісєвій відстані.

В першому випадку неприроботані ділянки бічних поверхонь зубців не попадають в зачеплення при роботі зубчастої передачі.

Недоліками такої приробітки є:

- деяке зміщення на ніжки зубців полюсної лінії у коліс з утворенням невеликого хребта вздовж “полюсної лінії приробітки” внаслідок наволакування металу (при нормальній міжвісєвій відстані цей хребет опиняється на ніжках зубців, поблизу полюсної лінії, тобто в зоні мінімальної контактної витривалості);
- неможливість компенсування перекосів зубців в зачепленні колес.

Приробітку зубців при нормальній міжвісєвій відстані парних колес можна здійснювати безпосередньо в зібраній передачі, що забезпечує найкращу пляму контакту. Проте після такої приробітки не виключається можливість зачеплення неприроботаних ділянок бічних поверхонь зубців з уступами на межі їх з прироботаними ділянками (особливо після притирки в парі). Тому даний спосіб приробітки можна застосовувати лише при необхідності видалення місцевих похибок профілю та напряду зубців колес при незагартованій шестерні.

Для поліпшення плями контакту зубців по висоті в швидкохідних зубчастих передачах з великим передаточним числом іноді застосовують

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						25
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подвійну доводку зубців, яка складається з попередньої притирки зубчастих коліс чавунним притиром та подальшої притирки коліс з шестернями в парі.

Приробітка зубчастої пари при високих окружних швидкостях коліс з застосуванням надмірно густої абразивної пасти може призвести до заїдання зубців, а при використанні недостатньо профільованого абразиву можливе утворення місцевих ушкоджень на зубцях.

Притирка в парі зубчастих коліс, які були в експлуатації, декілька знижує їх зносостійкість та контактну витривалість, так ж при цьому видаляється наклепаній в процесі експлуатації поверхневий шар матеріалу зубців.

Приробітку зубчастих передач без абразиву проводять при поступово зростаючому навантаженні. Максимальне навантаження при цьому повинно відповідати переважаючому в процесі експлуатації.

2.2.5. Шевінгування зубців

В наш час шевінгують зубці з твердістю поверхневого шару матеріалу $HRC \leq 30$ та намічається прагнення опанувати шевінгування зубців з твердістю матеріалу в поверхневому шарі $HRC 40-45$.

Шевінгування забезпечує:

- гладку, блискучу поверхню зубців;
- підвищення точності за окружним кроком до 6-7-ої ступенів точності та за напрямом зубців до ± 0.005 мм;
- майже повне усунення хвилястості на бічних поверхнях зубців;
- виключення необхідності шабровки зубчастих колес по еталонній шестерні та притирки їх в дарі;
- повздовжнє коригування зубців;
- зниження рівня шуму зубчастих передач в порівнянні з передачами, у яких фрезеровані колеса, на величину до 12-15 дБ.

Для підвищення ефективності шевінгування зубців пропонують:

- забезпечувати гарну попередню механічну обробку зубців під шевер та застосовувати для попередньої обробки зубофрезерувальні верстати з ж можливо більшим числом зубців ділильного колеса, що призводить до

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						26
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення кроку хвиль циклічних похибок зубців;

- створювати невеликий підріз ніжок зубців при їх обробці під шевер для забезпечення вільного виходу голівок зубців шеверу при обкатці з оброблюваним колесом;

- не припускати кратності зубців шеверу та оброблюваного колеса;

- для підвищення чистоти обробки зубців при шевінгуванні з кутовою та поперечною подачами зменшувати кут між напрямом подачі та віссю шевінгуемого зубчастого колеса та знижувати режими шевінгування;

- призначати оптимальні припуски на шевінгування, виходячи з точності заготовок під шевер та заданої точності виробу (практично припуск під шевер на товщину зубу по делительному колу приймають рівним $0,035m$, де m - модуль зубів, мм);

- цементацію та нормалізацію колес робити до шевінгування;

- та її відстанню від оброблюємої поверхні, величиною подачі деталі або форсунки, хімічною активністю робочої рідини та іншими параметрами. При виборі цих параметрів слід враховувати не тільки пред'являемі вимоги до якості поверхневого шару матеріалу деталі після гідро абразивної обробки, а ще й його вихідний стан перед обробкою.

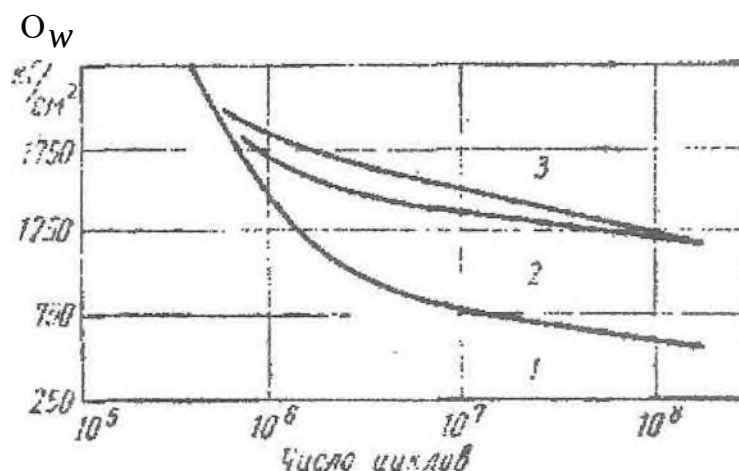
Чистота обробленої поверхні підвищується зі зменшенням розміру абразивних зерен.

Оброблені гідро абразивним способом поверхні мають матовий вид, а їх мікрогеометрія уявляє собою сукупність рівномірно розподілених мілких заглиблень.

Для відповідальних деталей рекомендовано подвійну гідро абразивну обробку: попередню та числову.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						27
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив гідро абразивної обробки на втомлену міцність сталейних образників показано на (рис.2.11).



Вплив способу кінцевої механічної обробки на втомлену міцність зразків при згині:
1 - поліровані із поглибленнями; 2-з поглибленнями, обробленими гідро абразивним методом; 3 - поліровані без поглиблень

Рис.2.11

В порівнянні з механічним поліруванням гідро абразивна обробка підвищує зносостійкість сталі марок 0ХНЗМ та 45 на 25-30%, а зносостійкість наклепаних дробом сталейних деталей може бути підвищена на 30-40%.

Гідро абразивна обробка в порівнянні з електролітичним поліруванням підвищує корозійну стійкість деталей в 2-4 рази, а в порівнянні з механічним поліруванням образників зі сталі марки 1Х13 після дробоструйної обробки в 1,4 рази.

2.2.6. Електролітичне полірування зубчастих коліс

Електролітичним поліруванням підвищують чистоту шліфованих поверхонь зубчастих коліс приблизно на 1 клас, забезпечують деяке фланкірування голівок зубців, частково або повністю видаляють ушкоджений при попередній обробці поверхневий шар матеріалу та полегшують виявлення дефектів поверхневого шару при травленні (наприклад, шліфувальних припиків).

При необхідності електролітичного полірування зубців зазвичай цієї обробці піддають увесь зубчастий вінець колеса.

Параметри фланкірування зубців при електролітичному поліруванні з застосуванням кругового циліндричного катоду визначаються величиною відношення радіального зазору між катодом та вершинами зубців до висоти зуба та тривалістю процесу. Перехід від фланкірованої ділянки профілю зубу до евольвентного при електролітичному поліруванні більш плавний, ніж при шліфуванні, що забезпечує найбільшу плавність в зачепленні зубців.

Встановлено, що утомлююча міцність цементованих та загартованих образників в результаті електрополірування підвищується на величину до 35%, а утомлююча міцність наклепаних дробом образників при цьому не змінюється.

2.3. Основні методи та механізм механічного зміцнення зубчастих коліс

Застосовують декілька методів механічного зміцнення зубчастих коліс: обкатку роликami та валками-шестернями, дробоструйну обробку, чеканку, зміцнення зубців різанням та пластичну обкатку їх викружек потилицями зубців ріжучого інструменту.

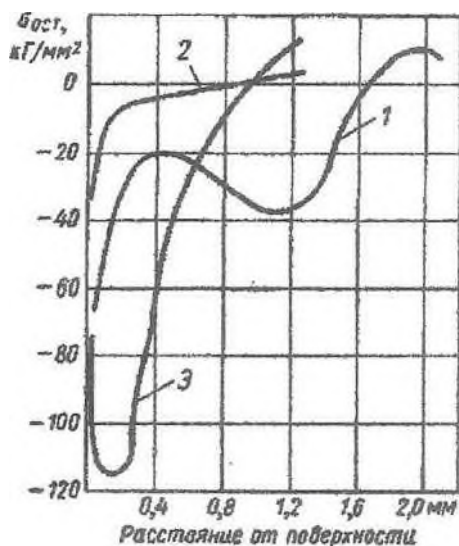
Таблиця 2.1

Вплив різної обробки на твердість цементованого шару

Марка сталі	Твердість <i>HV</i> в залежності від обробки							
	закалювання	закалювання+ +холод+	закалювання+ +наклеп	закалювання+ +холод+ +наклеп	закалювання+ +прижигання+	закалювання+ +холод+ +прижигання	закалювання+ +прижигання+ +наклеп	закалювання+ +холод+ +прижигання+ +наклеп
18ХНВА, 12Х2Н4А	650	690	740	760	550	540	700	690

Підвищення несучої здатності та довговічності деталей при механічному зміцненні обумовлюється:

- підвищенням твердості (табл.2.1) та втомленої міцності самого зміцненого шару;
- утворенням в поверхневому шарі стискаючих залишкових напруг та поліпшенням епюри розподілення залишкових напруг по перетині (рис.2.12);
- зменшенням кількості залишкового аустеніту в поверхневому шарі (наприклад, в цементованих та загартованих виробках);
- усуненням ушкоджень від попередньої обробки — шліфувальних ушкоджень та ін. (див.табл.2.1).



Криві розподілу остаточної напруженості в цементованих і закалених циліндричних зразках діаметром 35 мм із сталі марки 18ХНВА:

- 1 і 2- після обробки холодом;
3 - після обдування дробом

Рис.2.12

Отримані в результаті механічного зміцнення товщина та якість поверхневого шару матеріалу залежать від вихідних якостей та стану матеріалу в деталях (складу матеріалу, залишкових напруг від попередньої обробки, внутрішніх дефектів в матеріалі), форми та розмірів деталі, методу та режимів зміцнення.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						30
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність механічного зміцнення зростає зі зменшенням швидкості пластичного деформування поверхневого шару матеріалу, розмірів перерізу деталі, з підвищенням вуглецю, який міститься в сталі та концентрації напруг.

Підвищення втомленої міцності поверхневого шару матеріалу в результаті його механічного зміцнення може викликати переміщення найбільш напруженої зони в під шарову галузь, що призводить до послаблення впливу ушкоджень поверхневого шару від попередньої обробки та до зниження відносної напруженості серцевини.

Механічні якості зміцненого шару з підвищенням його абсолютної товщини погіршуються.

При різкій концентрації напруг та більшому їх градієнті у поверхні отримане підвищення міцності не залежить від товщини зміцненого шару, так як найбільш напружена зона матеріалу при цьому розташовується на поверхні.

Стискаючи залишкові напруги на поверхні підвищують максимально припустиму амплітуду змінних напруг циклу та при цьому тим більше, чим вище твердість та крихкість матеріалу в поверхневому шарі.

Під дією зовнішнього навантаження залишкові напруги, можуть зменшитись, якщо сумарні напруги в матеріалі вище за границю його пружності, величина якої при циклічному навантаженні зазвичай нижче, ніж при статичному. При виникненні пластичної деформації в матеріалі на величину 0,5-1% залишкові напруги в ньому майже повністю зникають.

Механічне зміцнення поверхневого шару матеріалу не впливає на його абразивну зносостійкість, якщо при цьому не змінюється структура матеріалу, так як при абразивному зносі матеріал наклепується інтенсивніше, ніж при механічному зміцненні.

Противозадирна стійкість матеріалу в результаті його механічного зміцнення в деяких випадках підвищується.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						31
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Вплив точності виготовлення та складання зубчастих передач на несучу здатність та довговічність

Похибки в виготовленні та зборці деталей зубчастих передач обумовлюють виникнення помилок положення, переміщення, мертвого ходу, швидкості та прискорення в реальній передачі, які призводять до порушення узгодженості обертань ведучого та відомого коліс, виникнення додаткових динамічних навантажень, вібрацій та шуму в передачі, до концентрації навантаження в зачепленнях, підвищеного нагріву, зносу та заїдання, а в окремих випадках - до передчасних поломок коліс та контактних руйнувань їх зубців.

Похибки зачеплення можуть викликати ударні взаємодії зубців в зачепленні та резонансні коливання в інших, іноді віддалених від зачеплень, деталях та вузлах агрегату.

В процесі експлуатації відбувається знос деталей, виникають силові та температурні деформації, які вагомо впливають на точність зубчастих передач.

Вплив точності виготовлення та складання на згинаючу міцність зубчастих коліс

Вплив похибок основного кроку на згинаючу міцність коліс проявляється головним чином через виникаючі у зв'язку з цим додаткові динамічні навантаження в зачепленні та однопарний контакт зубців.

Величина виникаючих в зачепленні динамічних навантажень та характер їх змінювання залежать від характеру і розмірів похибок, частоти їх змінювання, режимів роботи та інерційно- жорсткісних параметрів агрегату.

В передачах з прямозубими колесами порушення плавності їх роботи обумовлюється переважно різницею основних кроків зубців, для якої можливі два принципово різні випадки:

- основний крок зубців ведучого колеса під навантаженням більше за основний крок зубців ведомого колеса, внаслідок чого в зачепленні має

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						32
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місце серединний удар зубців;

- основний крок зубців ведучого колеса під навантаженням менше за основний крок зубців ведомого колеса, внаслідок чого в зачепленні має місце кромочний удар зубців.

Положення точок переспряження на профілях зубців коліс, які зачіпляються визначається різницею основних кроків зубців та передаваним через зачеплення навантаженням. В першому з відзначених вище випадків зі зростанням різниці кроків зростає тривалість кромочного контакту головки виходячого з зачеплення зубу ведучого колеса з ніжкою зуба ведомого, в результаті чого наступна пара зубців вступає в зачеплення пізніше і точка їх переспряження зміщується ближче до полюсу зуба ведомого колеса і до вершини зуба ведучого. В другому випадку зі зростанням різниці, навпаки, точка переспряження зубців зміщується ближче до вершини зуба ведомого колеса і до полюсу ведучого.

Тривалість кромочних контактів в обох випадках зростає з підвищенням передаваного навантаження; точки переспряжень зубців в зв'язку з їх деформаціями зміщуються у обох колес, які зачіплюються ближче до полюсу, а при дуже великих навантаженнях — навіть за полюс, в результаті чого фактичний коефіцієнт перекриття стає більше 2,

В передачах 7-ої і більш високих ступенів точності, які складаються з прямозубих коліс, деформація зубців під навантаженням зазвичай перевищує різницю основних кроків зубців шестерні та колеса.

Експериментальні дані свідчать, що:

1. Зі зростанням різниці Δ_0 основних кроків зубців парних колес з-за похибок їх виготовлення та деформації зубців динамічне навантаження змінюється за залежностями:

- при серединному ударі:

$$p_d = n \cdot (\Delta_0 + s_0) \quad (2.2)$$

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						33
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де s_0 - початкова деформація пари зубців; $n \approx 4,1$ та 17 , а $m \approx 0,54$ та $0,51$ при окружних швидкостях $v = 2,8$ та $12,8$ м/с відповідно.

- при кромочному ударі:

$$\text{де } \delta_c \quad p_d = n \cdot (\Delta_o + \delta_c)^m \quad (2.3)$$

- середня деформація розглядаємої пари зубців після виходу з зачеплення попередньої пари; $n \approx 20$ та $m \approx 0,42$ при $v 12,8$ м/с.

2. З підвищенням приведеної ефективної маси зубчастих колес динамічне навантаження зростає в середньому за залежністю;

$$p_o = b m^{0,5}, \quad (2.4)$$

де b - коефіцієнт пропорційності.

3. Частота коливань в основному визначається масою зубчастих коліс та жорсткістю двохпарного зачеплення і тому для багатьох випадків її можна визначити за формулою:

$$f = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (2.5)$$

де c_T - жорсткість двохпарного зачеплення;

$$m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad - \quad \text{маси зубчастих колес};$$

α - поправочний коефіцієнт, який враховує жорсткості валів, з'єднуючих зубчасті колеса з приєднаними масами ($\alpha \approx 1,15$).

4. При основному кроці зубців ведучого зубчастого колеса під навантаженням більшим, ніж у відомого, динамічне навантаження в зачепленні знижується пропорційно зменшенню жорсткості зубців при їх кромочному контакті. При оберненому співвідношенні основних кроків зубчастих колес динамічне навантаження знижується від зменшення жорсткості зубців в значно меншій мірі, ніж у попередньому випадку.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						34
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

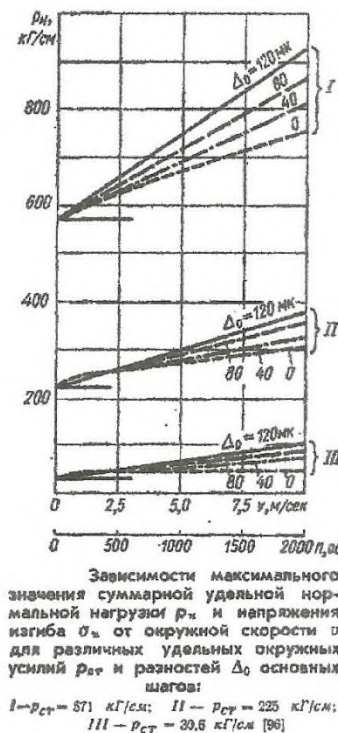


Рис. 2.13

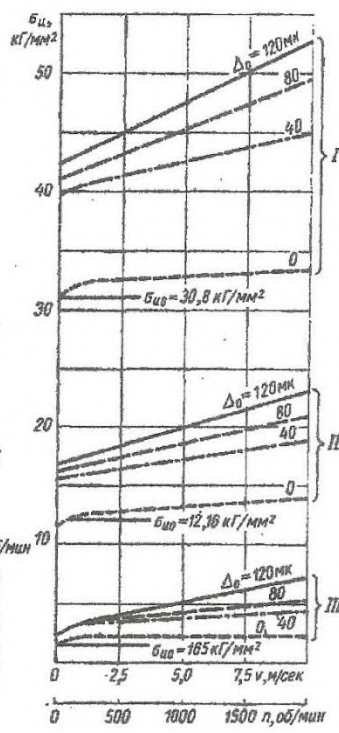


Рис. 2.14

Експериментально встановлено, що:

- зі зростанням окружної швидкості v коліс та питомого статистичного окружного зусилля p_n максимальні значення сумарного питомого нормального навантаження p_n в зацепленні та напруги згину σ_u в зубцях зростають тим інтенсивніше, чим більше різниця Δ_0 основних кроків коліс, які зачіпляються (рис.2.13 та 2.14);

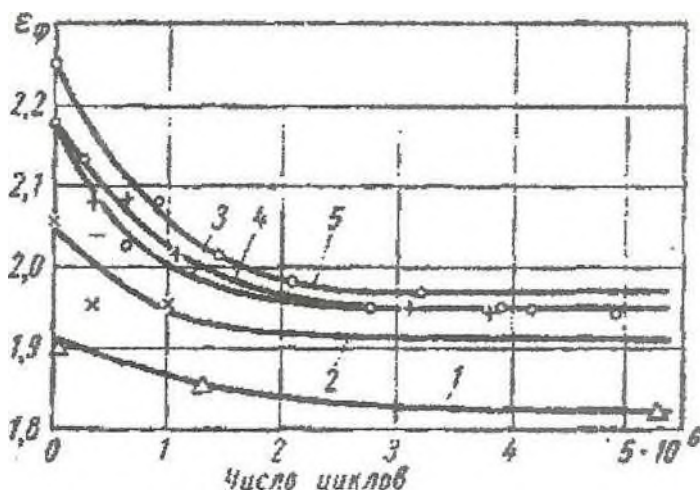
- в зупиненій передачі при заданому p_{ct} величина p_n не залежить від величини різниці Δ_0 , а величина σ_u зростає зі збільшенням Δ_0 ; останнє обумовлено підвищенням згинаючого моменту з-за зміщення точки прикладення максимального навантаження ближче до вершини зубу;

- зі збільшенням A_0 та v циклічна довговічність зубців за згинаючою міцністю суттєво знижується, особливо у коліс, які виготовлені з м'якої сталі та чавуну;

Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- величина діючої похибки в основному кроці коліс, які зачіпляються при роботі передачі, безперервно, але незначно зменшується з поступовим уповільненням цього зменшення з підвищенням напруцювання передачі; при малому початковому значенні Δ_0 вона може з часом підвищитись.

Інтенсивність зниження фактичного коефіцієнту перекриття в зачепленні в процесі експлуатації передачі зростає з підвищенням початкового значення Δ_0 (рис.2.15).



Залежність фактичного коефіцієнту перекриття ϵ_{ϕ} від числа циклів навантаження зуба шестерні при $p_c = 500$ кГ/см,

Криві 1, 2, 4, 5 побудовані відповідно для помилок основного кроку 5, 60, 120 і 160 мк та $n_{ш} = 1450$ об/хв; крива 3 для 120 мк і 2900 об/хв.

Рис.2.15

При резонансі або близькості до резонансу коливань зубчастих колес та зв'язаних з ними деталей динамічні навантаження в передачах можуть призводити до виходів їх зі строю при малих похибках.

При кожному сполученні факторів, які впливають на рівень динамічних навантажень в зубчастій передачі, існує гранична величина похибки, при якій мінімальне значення діючої в зачепленні сили у певні моменти часу дорівнює нулю. Якщо величина похибки перевищує цю границю, то зачеплення працює з періодичними розмиканнями та співударянням зубців.

Однією з причин виникнення динамічних навантажень в передачах з прямозубими колесами є періодичне змінювання жорсткості зачеплення.

При розрахунку прямозубих колес на згинаючу міцність рекомендовано враховувати динамічне навантаження, яке викликається різницею основних кроків, а для швидкохідних колес - ще й динамічне навантаження, яке викликано накопиченими похибками в основному кроці.

Концентрація навантаження по довжині контактних ліній зубців в зачепленні та її вплив на згинаючу міцність колес. Похибки у напрямі зубців, взаємний нахил та перехресування осей коліс, підшипників і гнізд під них в корпусі передачі, різноззорність у підшипниках, які розміщуються по різні боки від зубчастого колеса, та інші фактори, які обумовлюють взаємний перекис зубців у працюючій передачі, призводять до нерівномірного розподілення навантаження по довжині їх контактних ліній та навіть неповному контакту зубців,

Концентрація навантаження тим більше, чим більше кут взаємного перекосу зубців в зачепленні, чим менше жорсткість тіла коліс та чим більше ширина їх зубчастих вінців.

Коефіцієнт концентрації навантаження $K'_{\text{кц}}$ при відсутності припрацювання зубців зазвичай визначають за наближеною залежністю:

$$K'_{\text{кц}} = 1 + \frac{\Omega' b \gamma}{\delta} + \Omega'' \left(\frac{b}{d_{\text{дш}}} \right)^2 \quad (2.6)$$

де b - робоча ширина зубчастих вінців колес, см;

$d_{\text{дш}}$ - діаметр діляльного кола шестерні, см;

γ = $\gamma_v \pm \gamma_m$ - кут взаємного перекосу зубців під навантаженням, рад;

- кут перекосу зубців колес від взаємного нахилу валів за рахунок деформацій в передачі під навантаженням, рад;

γ_v - кут перекосу зубців колес від взаємного нахилу валів за рахунок деформацій в передачі під навантаженням, рад;

γ_m - кут технологічного перекосу, рад;

Ω' та Ω'' - коефіцієнти, зазвичай приймаються рівними 0,3 та 0,1 відповідно в припущенні пом'якшуючого впливу крайового ефекту.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						37
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За даними Кудрявцева, надана залежність дає гарні результати при значеннях:

$$\psi_d = \frac{b}{d_{dш}} \leq 1.$$

При застосованих величинах $\psi_m = \frac{b}{m}$ вплив крайового ефекту незначний і тому для підвищення надійності Кудрявцев пропонує приймати $\Omega' = 0,45$ та $\Omega'' = 0,2$.

Коефіцієнт концентрації навантаження у припрацьованих коліс тим ближче до одиниці, чим рівномірний режим навантаження, а саме:

$$K_{кц} = (1 - x) K'_{кц} + x \quad (2.7)$$

тут x — відношення середнього зваженого моменту до максимального:

$$x = \frac{\sum M_i \cdot t_i \cdot n_i}{M_{max} \sum t_i \cdot n_i}, \quad (2.8)$$

де M_i , t_i , n_i - відповідно момент, що крутить, час роботи у годинах або у відносних одиницях та число обертань у хвилину при режимі

M_{max} - максимальний передаваний момент.

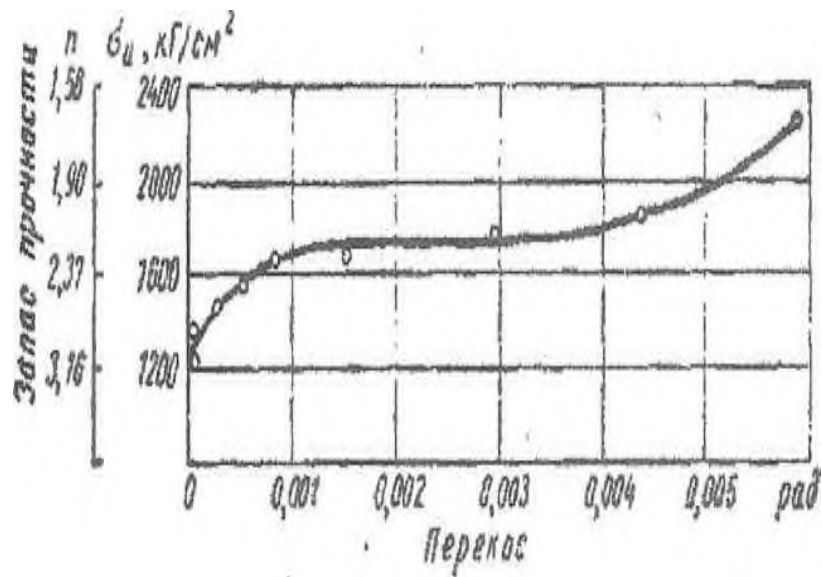
При постійному навантаженні $x = 1$ та $K_{кц} = 1$.

При взаємному перекосі зубців, які зачіпляються перехід від двохпарного зачеплення до однопарного відбувається більш різко, в той час ж при відсутності перекосу - відносно повільно.

Тривалість однопарного зачеплення при перекосі зубців зростає.

Згинаючи напруги в зуб'ях підвищуються зі зростанням перекосу в зачепленні (рис.2.54). При перекосі, який дорівнює 0,0055 рад, напруги згину підвищились на 75% в порівнянні з напругами, які виникають у тих самих зуб'ях при відсутності перекосу в зачепленні.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						38
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Експериментальна крива залежності напруги згину зуба від перекося в зацепленні (для зубчастих колес з

$$\psi_m = \frac{b}{m} = 3,8 \text{ та } 5,4$$

Рис.2.16

Вплив точності виготовлення та зборки елементів шпоночних з'єднань на згинаючу міцність зубчастих коліс

Згинаюча міцність зубчастих колес з дуже малою радіальною товщиною тіла (наприклад, колес малогабаритних, високо швидкостних олійних насосів) значною мірою залежить від точності виготовлення та зборки елементів шпоночного з'єднання. Наявність такої залежності було встановлено, в частковому випадку, для з'єднань сегментними шпонками з лискою на валу по місцю розташування шпоночного пазу (рис.2.17). Вал цементован та загартован по циліндричній поверхні, а знята після цього лиска видаляє поверхнево зміцнений шар коло шпоночного пазу і тим самим запобігає можливості утворення сколів кромки пазу, які іноді мають місце у валів, які не мають таких лисок. Проте наявність лиски призводить до виникнення додаткового згинаючого моменту на шпонці, величина якого тим більше, чим більшу глибину має лиска.

У зв'язку з цим відбувається більш інтенсивне розхитування шпонки у валу при роботі. Умови роботи такого шпоночного з'єднання погіршуються ще більше завдяки тому, що з закладного боку на кромках шпонок при

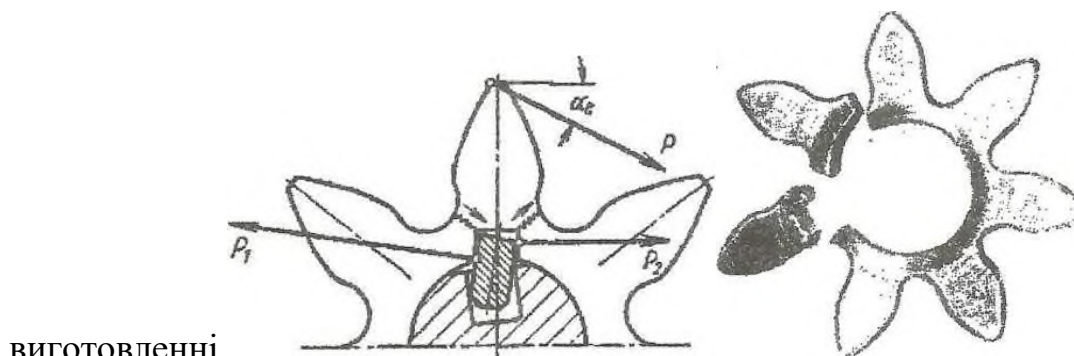


Рис.2.17

Характер руйнування зубчастого колеса одного з масляних насосів із-за неправильного розподілу зазорів в шпоночному з'єднанні

Рис.2.18

знімають іноді надмірно великі фаски.

Расклинивание шпонки в шпонковом пазу зубчастого колеса через неправильний розподіл бокових зазорів в шпонковим з'єднанні. Стрілкою справа показано напрямок розвитку первинної тріщини при руйнуванні колеса, а стрілкою зліва - напрямок долома зуба.

Все це призводить до того, що фактична глибина врізання шпонки у вал стає приблизно рівною глибині врізання її в зубчасте колесо, в результаті чого основна перевага сегментної шпонки - стійкий напрям у валу - не тільки втрачається, а вона стає в цьому відношенні навіть гіршою за призматичні шпонки. Маючи змінну довжину напряду по висоті, сегментна шпонка в таких умовах найбільш інтенсивно піддається зминанню в зоні найбільшої глибини врізання у вал; теж саме можливо сказати й про зминання поверхні шпонкового пазу у валу. За цієї причини бічний зазор між шпонкою і шпонковим пазом валу зростає при роботі з'єднання швидше, ніж бічний зазор між шпонкою і шпонковим пазом зубчастого колеса. Одночасно зі збільшенням бічного зазору між шпонкою і шпонковим пазом валу зростає

перекіс шпонки. При деякому надпрацюванні з'єднання шпонка починає заклинюватись у шпонковому пазі

зубчастого колеса; на бічних поверхнях шпонкового пазу, окрім зусилля P_1 виникає додаткове зусилля P_2 і таким чином з'являється розпирний ефект (рис.2.17), який різко зростає, якщо після тривалого напрацювати зубчасте колесо при незмінному положенні шпонки буде змонтовано на валу у повернутому на 180° , по відношенню до початкового, положенні. Останнє може мати місце при ремонті виробів.

При таких обставинах відбуваються руйнування зубчастих колес в експлуатації, аналогічні показаному на (рис.2.18).

Для підвищення несучої здатності й надійності зубчастих колес розглядаємого виду необхідно:

- по можливості уникати зняття лисок на валах, в місцях розташування шпонкових пазів;
- здійснювати притуплення кромek шпонок фасками або закругленнями мінімальних розмірів, які визначають з умов виключення можливості упору кромek в закруглення кутів шпонкового пазу валу;
- не допускати перевертання зубчастих коліс відносно валу при ремонті виробів; таке перевертання зубчастих коліс знижує їх згинаючу міцність не тільки за рахунок можливого погіршення умов роботи шпонкового з'єднання, але й за рахунок посилення нерівномірності розподілення навантаження по довжині контактних ліній зубців в зачепленні коліс;
- при наявності поперечної качки шпонки в пазу вала шпонку обов'язково замінити ремонтною, а при неможливості цього замінити вал і шпонку.

В складових блоках зубчастих колес для з'єднання окремих колес одне з одним в ряді випадків використовують циліндричні шпонки-штифти. При відносній простоті здійснення такі шпонкові з'єднання мають вагомий недолік - дають підвищену радіальну розпирну силу. Цю обставину особливо слід враховувати при наявності у блоці зубчастих вінців, які мають малу радіальну

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						41
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товщину. Установлення циліндричних шпонок з підвищеними натягами в таких випадках призводить до виникнення радіального биття зубчастих вінців, величина якого зростає з підвищенням натягів у шпонкових спраженнях. При цьому в поверхневих шарах матеріалу, в основах впадин між зуб'ями, розташованими поблизу шпонок, можуть виникнути остаточні розтягуючі напруги.

Підвищений діаметральний натяг у шпонковому спраженні може бути обумовлено не тільки неблагоприємним сполученням розмірів шпонки і отвору, але й незадовільним співвідношенням між глибиною отвору під шпонку, довжиною шпонки та глибшою її посадки. При заниженій глибині отвору під шпонку, завищеній довжині шпонки або підвищеній глибині посадки її кінець може увійти у спраження з конічною ділянкою отвору, яка отримується в результаті обробки його вступною частиною розверстки.

Застосування для осьової фіксації циліндричних шпонок пластичного деформування матеріалу навколо отворів у ряді випадків призводить до додаткового зниження згинаючої міцності коліс.

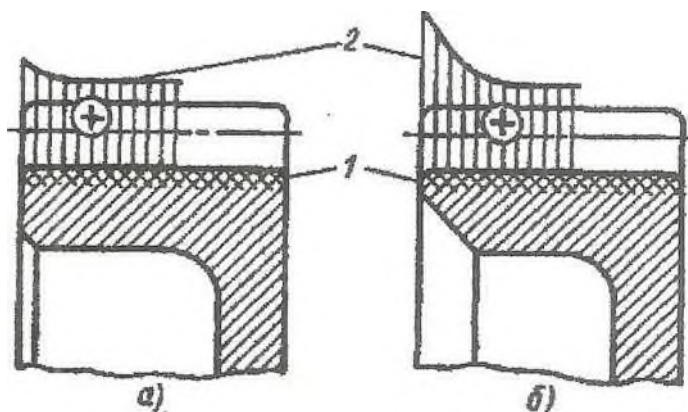
Тому для швидкохідних та високонапружених передач в шпонкових з'єднаннях зубчастих вінців з малою радіальною товщиною за допомогою циліндричних штифтів слід застосовувати мінімальні діаметральні натяги, не допускати заниження глибини отворів під штифти, завищення довжини штифтів та підвищення глибини їх посадки, а виконання цих умов додатково контролювати за радіальним биттям зубчастих вінців в зібраному блоці. Пластичне деформування матеріалу для здійснення вісєвої фіксації штифтів можливо допускати тільки на зубчастих колесах, які не мають у безпосередній близькості від штифтів поверхнево зміцнених шарів матеріалу.

Невиконання цих вимог призводить іноді до поломок зубчастих коліс в експлуатації. При надмірно великих натягах у шпонкових з'єднаннях зубчастих вінців, які підлягають хіміко-термічній обробці, можливі навіть випадки утворення тріщин у впадинах проміж зуб'ями безпосередньо при зборці. Для попередження можливості надходження зубчастих передач з

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						42
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такими тріщинами до експлуатації остаточно зібрані блоки коліс слід підлягати контролю фізичними методами (наприклад, магнітним або люмінесцентним).

Зниження згинаючої міцності зубчастих коліс внаслідок відхилень в конфігурації ободу по радіальному перерізі. Відхилення в конфігурації ободу зубчастих коліс в радіальному перерізі припускають головним чином за рахунок таких елементів, як, наприклад, фаски та радіуси, на точність дотримання яких іноді звертають недостатню увагу.



Нормальне (в) і неприпустиме велике (б) притуплення кромки ободу по внутрішньому контуру для зубчастих коліс з малою радіальною товщиною **обода**:
1 — поверхнево-зміцнений шар; 2 — епюра остаточних розтягувальних напруг під зміцненим шаром

Рис.2.19

Для зубчастих коліс з малою радіальною товщиною ободу такого роду відхилення можуть стати однією з основних причин їх руйнувань в експлуатації. Встановлено, що великий вплив на згинаючу міцність коліс з малою радіальною товщиною ободу здійснює розмір фасок притуплення кромки по його внутрішньому контуру (рис.2.19), при цьому особливе велике значення ця обставина має для коліс, які пройшли термічну або хіміко-термічну обробку, та при нерівномірному розподіленні навантаження по довжині контактних ліній зубців. При розташуванні максимуму питомого навантаження зуба з боку розглядаємої фаски згинаюча міцність ободу тим нижче, чим більший розмір має фаска в радіальному напрямі.

При виході на торці зубчастого вінця поверхнево-зміцненого шару матеріалу зубців, що дуже часто має місце, підвищення розмірів фасок по внутрішньому контуру ободу призводить до зростання залишкових розтягуючих напруг під зміцненим шаром на краю ободу та до зниження стискаючих напруг у самому зміцненому шарі.

У зв'язку з цим для зубчастих коліс з малою радіальною товщиною ободу розміри фасок притуплення його кромки по внутрішньому контурі повинні бути відносно невеликими.

Припускаємо відхилення на діаметри поверхонь вершин зубців слід призначати достатньо жорсткими для високо напружених зубчастих коліс (так як зі зменшенням цих діаметрів знижується фактичний коефіцієнт перекриття в зачепленні), для зубчастих коліс шестеренчастих насосів і для коліс, у яких поверхня вершин зубців є вимірювальною базою.

Вплив точності виготовлення та зборки на контактну міцність зубчастих коліс

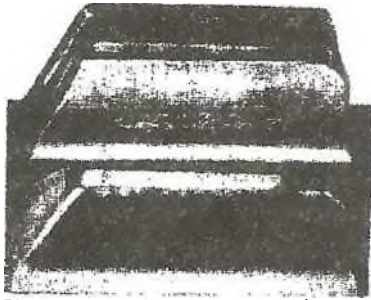
По питанню впливу динамічних навантажень на контактну міцність зубчастих коліс єдиного погляду немає.

Експериментальні дані Німана і Ріхтера показують, що при окружних швидкостях $v = 11 \div 13$ м/с перехід від коліс з фрезерованими зубцями до коліс зі шліфованими зубцями, похибки кроку яких відносяться один до одного як 2:1, а похибки форми бічних поверхонь, як 10:1, призводить до підвищення навантажуючої здібності зубчастих коліс за контактною міцністю у 3-10 разів. Однак, ці дані отримані на основі дуже «жорсткого» критерію контактної витривалості (а саме, за цей критерій приймають деяку ступінь ушкодження робочих поверхонь зубців, яка коливається в межах від 0,6 до 50% загальної площі робочих поверхонь зубців), а тому вони є завищеними.

Змінювання контактної тиску в залежності від питомого окружного зусилля $\rho_{ст}$ та окружної швидкості коліс при різних різницях Δ_0 основних кроків аналогічне змінюванню згинаючої напруги σ_u в залежності від цих самих параметрів.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						44
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В процесі експлуатації зубчастих передач іноді мають місце випадки контактних руйнувань, які розміщуються у основі зуба, уздовж межі плями контакту (рис.2.20). Такі контактні руйнування виникають внаслідок похибок у профілях зубців або надмірного радіального зближення зубчастих коліс при складанні.



Контактне руйнування матеріала цементованих і закалених зубців при наявності різко вираженого кромочного контакту



Контактні руйнування матеріала цементованих і закалених зубців при наявності невеликого(а) і значного (б) взаємного перекося у зачепленні

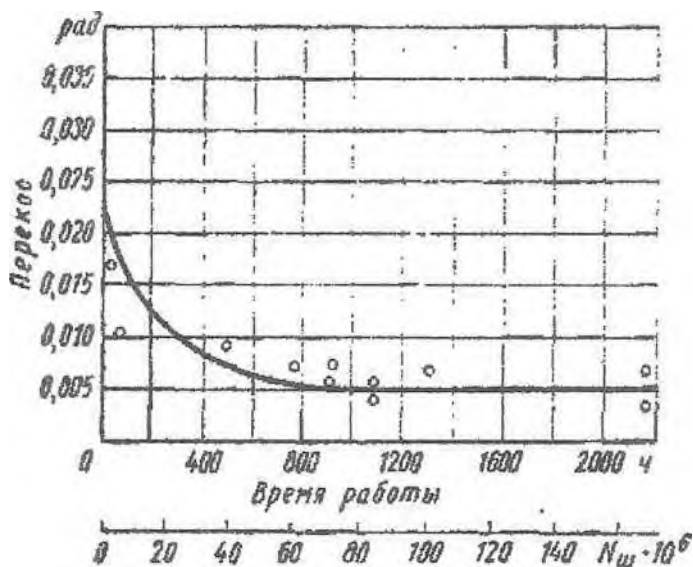
Рис.2.20

Рис.2.21

При розрахунку зубчастих коліс з твердістю матеріалу $HB \leq 350$ на контактну міцність рекомендовано враховувати лише половину динамічного навантаження, яке викликається похибками в основному (для прямозубих коліс) або в окружному (для косозубих та шеврових коліс) кроці. Для загартованих коліс і коліс з поверхнево-зміцненими зубцями (цементованими і загартованими, азотованими і т.п.) динамічне навантаження враховують повністю.

Найбільше динамічне навантаження від накопичених похибок у кроці зубців діє впродовж тривалого часу, а тому його враховують цілком.

При роботі коліс зі значним взаємним перекосом зубців в зачепленні значно підвищуються тиски в зоні контакту зубців, ударні навантаження і виникають місцеві контактні руйнування матеріалу, які розміщуються, як



Число циклов навантажень
Графік залежності контактної довговічності
зубчастих передач від величини перекосу зубців
в зачепленні

Рис.2.22

правило, у одного

з країв зубців (рис.2.21).

При експериментальному дослідженні цементованих та загартованих колес коробок передач тракторів було встановлено (рис.2.22), що при перекосі зубців до 0,005 рад можливе припрацювання їх робочих поверхонь за рахунок зносу і пластичного деформування металу або має місце лише обмежене викрошування матеріалу в місці найбільшого контактного тиску на кінці зуба. При перекосі зубців понад 0.005 рад мало місце прогресуюче викрошування матеріалу з першого моменту роботи під навантаженням.

Нерівномірне розподілення контактних тисків по довжині прямого зубу може мати місце і при відсутності перекосів в зачепленні, але при наявності

різної ширини зубчастих вінців парних коліс або при осьовому взаємному зміщенні, тобто внаслідок кромочного ефекту.

Вплив точності виготовлення та складання на зносостійкість та протизадирну стійкість зубців

За даними роботи Генкина М.Д., Кузьмина Н.Ф., Мишарина Ю.А. "Питання заїдання зубчастих коліс", миттєва несуча здатність мастильної плівки між обертаючимися сталевими загартованими роликами може в умовах пульсаційного навантаження бути у 6 разів більше, ніж при постійному навантаженні. Це пояснювалось зростанням опору мастила видавленню з зазору при підвищенні швидкості взаємного зближення роликів.

З іншого боку, за даними роботи А.В. Орлова, при недостатній в'язкості мастила та підвищеній температурі поверхневого шару матеріалу зубців динамічне навантаження руйнує мастильну плівку і цим погіршує умови роботи зубців.

Досвід експлуатації металорізальних верстатів показує, що з підвищенням інтенсивності їх вібрацій знос в парах тертя зростає.

Взаємний перекус зубців в зачепленні погіршує умови їх змащування та викликає місцеве перенавантаження зубців, що призводить до зниження їх зносостійкості і протизадірної стійкості.

Вплив точності виготовлення та складання на рівень вібрацій і шуму зубчастих передач

Вібрації і шум зубчастих передач є головним чином наслідком неточностей, які були допущені при їх виготовленні та зборці, а саме неточностей:

- виготовлення зубчастих коліс (циклічні та накопичені похибки кроку зубців, похибки їх профілів, похибки напрямку зубців, радіальні биття зубчастих вінців, взаємний перекус осей базових поверхонь та зубців);

- розточування базових отворів (взаємні зміщення і перекоси) в корпусі зубчастої передачі;

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						47
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виготовлення підшипників качання (різностінність кілець, хвилястість поверхонь доріжок качання, ексцентричність сепаратору, різнорозмірність та овальність тіл качання, механічні ушкодження на поверхнях доріжок кочення кілець і тіл кочення);

- складання зубчастих передач (надмірне радіальне зближення циліндричних колес, значна різниця в кроці зубців колес, які знаходяться в зачепленні);

- виготовлення та зборки елементів зубчастих з'єднань та кулачкових муфт (похибки в кутовому розміщенні зубців і кулачків, перекіс і радіальне зміщення спряжених деталей).

Найбільш інтенсивні механічні коливання і шум виникають в передачах з прямозубими колесами від циклічних похибок зачеплення. Вимушені коливання при цьому різко виражені по частоті, що підвищує імовірність виникнення резонансних коливань.

Інтенсивність коливань і шуму при роботі передачі зростає з підвищенням невідповідності основних кроків і профілів зубців у коліс, які зачіпляються і різко зростає при наявності великих зазорів в опорах валів з зубчастими колесами.

Підвищення взаємного перекосу осей зубчастих коліс на 50% більше існуючих норм і невелике підвищення биття вінців коліс на рівень шуму впливає слабо.

З підвищенням міжосьових відстаней в передачі і бічних зазорів в зачепленнях зубчастих коліс при постійному напрямі передаваного моменту, що крутить і невеликих змінюваннях його по величині рівень шуму не змінюється. Зближення зубчастих коліс більше за припустиме може призвести до різкого підвищення інтенсивності вібрацій і шуму.

Зменшення довжини плями контакту зубців коліс, які зачіпляються погіршує плавність роботи передачі і в окремих випадках більш небезпечне, ніж обумовлене їм підвищення нерівномірності розподілення навантаження та напруг по довжині зубців.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						48
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розробки практичних мір по зниженню інтенсивності вібрацій і шуму машини необхідно за допомогою віброакустичного контролю встановити збуджуючи їх деталі або вузли і найбільш сильно впливаючи на рівень вібрацій і шуму похибки цих деталей і вузлів.

Для забезпечення більш високої плавності роботи і зниженню інтенсивності шуму швидкохідних зубчастих передач рекомендують:

- проектувати зубчасті передачі і машини з мінімальним резонуючим ефектом їх елементів;
- виготовляти зубчасті колеса з максимальною точністю за основним та окружним кроками;
- не припускати граненості робочих бічних поверхонь зубців по профілю (евольвенто грама профілю повинна бути декілька випуклою, без різких перегинів);
- уникати застосування в цих передачах прямозубих і вузьких косозубих колес, при роботі яких інтенсивно проявляються похибки основного кроку і профілю зубців;
- правильно вибирати параметри зачеплення;
- забезпечувати достатні бічні і радіальні зазори в зачепленні, які компенсують підвищення поперечних розмірів зубчастих коліс від підвищення температури і поліпшують умови роботи зачеплення;
- фланкірувати зубці та застосовувати зачеплення з найменшою різницею між доплюсною та заплюсною частинами лінії зачеплення;
- застосовувати поздовжньо-випуклі і бочкоподібні зубці, які дозволяють зменшити вплив перекосів зубчастих коліс на роботу передачі;
- своєчасно замінювати зношені і ушкоджені контактними руйнуваннями деталі.

					6261м.06.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						49
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.Технологічна частина

3.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність - це сукупність властивостей конструкції виробу, які виявляються в можливості оптимальних витрат праці, засобів, матеріалів і часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації і ремонті в порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення, при забезпеченні встановлених значень показників якості і прийнятих умов виготовлення, експлуатації і ремонту.

Основна задача відпрацьовування конструкції на технологічність полягає в підвищенні продуктивності праці при зниженні витрат праці, засобів, матеріалів і часу на проектування, підготовку виробництва, виготовлення, технічне обслуговування і ремонт, а також у забезпеченні заданих показників якості виробу.

Розрізняють два види технологічності: виробничу та експлуатаційну.

Виробнича технологічність виражається в скороченні витрат засобів і часу на конструкторську і технологічну підготовку виробництва і процеси виготовлення, а експлуатаційна технологічність - у скороченні витрат часу і засобів на технічне обслуговування і ремонт виробу.

Оцінка технологічності буває кількісною і якісною.

Якісна оцінка полягає в узагальненому якісному порівнянні створюваного виробу з існуючими аналогами. Вона служить основою для виконання кількісної оцінки технологічності конструкції.

Якісна оцінка виконується по марці матеріалу, геометричній формі, габаритним розмірам, якості поверхонь, можливим способам одержання заготовки і зводиться до визначення відповідності конструкції виробу наступним вимогам:

- 1) конструкція повинна бути стандартною і по можливості складатися зі стандартних і уніфікованих елементів;
- 2) для виготовлення виробу повинні використовуватися

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						51
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стандартні та уніфіковані заготовки;

3) точність розмірів і шорсткість поверхонь повинні бути оптимальними, обґрунтованими конструктивно та економічно;

4) при призначенні форми і розмірів, виборі матеріалів варто враховувати можливості технологічності виготовлення, умови збереження і транспортування;

5) заготовку необхідно одержувати раціональним способом з урахуванням обсягу випуску виробу і типу виробництва;

6) повинен забезпечуватися доступ до оброблюваних поверхонь;

7) конструкція повинна, по можливості, забезпечувати використання типових і групових технологічних процесів.

При оцінці кількості технологічності конструкції враховують три види показників:

1) базові, значення яких вказуються відповідною директивною документацією на виріб (ТЗ і ін.);

2) досягнуті в процесі відпрацювання проектової конструкції на технологічність;

3) рівні технологічності конструкції виробу, значення яких вказуються в директивній документації, що визначає виготовлення виробу (ТВ та ін.).

Зробимо якісну оцінку технологічності конструкції виготовлюємої деталі.

Як і с н а оцінка:

Вал-шестерня виготовляється з низьколегованої якісної конструкційної сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Даний матеріал не є дефіцитним і дорогим, його застосування обумовлене умовами експлуатації деталі і необхідним методом одержання заготовки.

Розглянута вал-шестерня є деталлю важко навантаженої коробки приводів, мінімальні габарити якої не дозволяють збільшувати розміри, установлювати роликові упорні підшипники. Така конструкція не дозволяє застосовувати косозубу зубчасту передачу внаслідок неможливості сприймати

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						52
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значні осьові зусилля. Також дана коробка приводів не припускає періодичну настройку та обслуговування. Ці роботи можливі лише при проведенні капітальних ремонтів. Тому деталі цієї коробки повинні бути зносостійкими, мати стабільну геометрію та забезпечувати ресурсне обслуговування роботи. Протягом міжремонтного терміну найбільш навантаженою деталлю є вал-шестерня, ресурс якої визначає ресурс усього пристрою. Технологічні заходи, які забезпечать тривалу роботу - це поверхневе зміцнення тертивих поверхонь, шліфування коліс для забезпечення якісного зачеплення, вибір зносостійкого матеріалу, який можливо поверхнево загартувати токами високої частоти. Цим вимогам задовольняє сталь 40Х.

Для важко навантажених валів-шестерен, до яких пред'являються підвищені вимоги з міцності, заготовку перед загартуванням СВЧ потрібно термообробляти поліпшенням. Така комплексна термообробка (поліпшення, загартування СВЧ) є традиційною для деталей, до яких пред'являються високі вимоги з поверхневої твердості та підвищеної зносостійкості (шестерні, вали, вісі). Заготовка вала-шестерні одержується методом штампування. Тому застосування сталі 40Х, яка добре оброблюється тиском, обґрунтовано.

Прийняті точність розмірів і шорсткість поверхонь обумовлені умовами експлуатації і технологічним процесом обробки деталі.

Усі відхилення і допуски на розміри елементів вала-шестерні встановлені відповідно до основних стандартів Єдиної системи допусків і посадок.

Конструкція деталі забезпечує доступ до всіх оброблюваних поверхонь.

У цілому за результатами як існуючої оцінки можна зробити висновок про технологічність конструкції деталі вал-шестерня.

3.2. Економічне обґрунтування методів одержання заготовок

Необхідність економії матеріальних ресурсів висуває високі вимоги до раціонального вибору заготовок і рівню їхньої технологічності, що в значній мірі визначає витрати та технологічну підготовку виробництва, собівартість, і довговічність виробів.

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Правильно вибрати заготовку - це значить визначити раціональний метод її одержання. припуски на механічну обробку кожної поверхні, указати розміри заготовки та установити допуски на неточність їхнього виготовлення, призначити ухили і технічні умови на одержання заготовки.

Сучасне машинобудування має у своєму розпорядженні велику кількість методів одержання заготовок деталей. Найбільш широко застосовують наступні: лиття, обробка металів тиском і зварювання, а також комбінацію цих методів. Кожний з них характеризується різними способами одержання заготовок.

Вибір способу одержання заготовки - дуже складна задача, тому що різні способи дозволяють забезпечити технічні та економічні вимоги, що пропонувані до них. Доцільність і економічна ефективність обраного способу залежать від ряду факторів, до найважливіших з яких відносяться: тип виробництва; матеріали і вимоги, що запропоновані до якості деталі; розміри, маса і конфігурація деталі; якість поверхні заготовок і забезпечення заданої точності; можливості наявного обладнання; технологічна оснащеність виробництва.

З декількох можливих способів одержання заготовок вибирають той, який забезпечує мінімальну технологічну собівартість:

$$C_{\Sigma} = C_3 + C_0, \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де C_3 — вартість заготовки, грн.;

C_0 — вартість обробки, грн.

Вал-шестерня виготовляється зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Тому, що вал сприймає основні навантаження при передачі крутячого моменту на основний механізм, він повинен мати високі механічні властивості. Таким чином, заготовку для вала доцільно одержувати будь-яким методом пластичного деформування.

Як заготовку для вала можна взяти круглий прокат чи штампування. Проведемо економічний аналіз з метою вибору оптимального методу

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

одержання заготовки для вала-шестерні.

1. Прокат.

Вал має найбільший діаметр 45 мм. Таким чином вибираємо прокат $D = 50$ мм [24, с.284]. Граничні відхилення по діаметру при звичайній

точності прокату $\left| \begin{smallmatrix} + & 0,4 \\ - & 1,0 \end{smallmatrix} \right|$ мм [36, с.169]. Оброблення прокату здійснюється

дисковими пилками з точністю ± 0.41 мм.

50 - В - ГОСТ 2590-88

Умовне позначення прийнятого прокату 40Х - а – ГОСТ 4543-71

Вартість заготовки з прокату

$$C_{\text{заг.пр.}} = Q_{\text{заг.}} \cdot s - (Q_{\text{д}} - q) S_{\text{відх.}} / 1000, \quad (3.2)$$

де Q - маса заготовки, кг;

s - оптова ціна 1кг матеріалу заготовки, грн.;

q - маса готової деталі, кг;

$S_{\text{відх.}}$ - ціна 1 тони відходів, грн.

$$V_{\text{заг.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} L$$

Припуск на чорнову обробку торців заготовки – 2,0 мм; на чистову – 1,0 мм.

Точність різання $\pm 0,41$ мм.

Для визначення L беремо відхилення в плюс. Тоді:

$$L = 384 + 2 \cdot 2,0 + 1,0 + 0,41 = 389,41 \text{ мм.}$$

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						55
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{заг.} = (3,14 * 0,05^2) / 4 * 0,38941 = 0,764 * 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$Q = V_{заг.} * \gamma = 0,764 * 10^{-3} * 7850 = 5,9974 \text{ кг},$$

$$S = 645 \text{ грн./кг}; q = 2,33 \text{ кг}; S_{відх.} = 51599,52 \text{ грн./т};$$

$$C_{заг.пр.} = 5,9974 * 645 - (5,9974 - 2,33) * \frac{51599,52}{1000} = 3679,1 \text{ грн.}$$

II. Гарячештампована заготовка на горизонтально-кувальній машині
в закритому штампі

Вартість штампування визначаємо за наступною формулою:

$$S_{загум} = \left(\frac{C_{баз}}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_B \cdot k_m \cdot k_n \right) \cdot k_{mp} - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (3.3)$$

де Q – маса заготовки, кг;

q – маса деталі, кг;

$S_{відх}$ – ціна 1 т відходів, грн.;

$C_{баз}$ – оптова вартість 1 т базових заготовок, грн.;

k_T – коефіцієнт, що враховує транспортні витрати, $k_T = 1,6$

k_t, k_c, k_B, k_m, k_n – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та обсягу виробництва.

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						56
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) Група сталі: М2 - вуглецева сталь, що містить в собі вуглецю 0,040% [2].

$$K_M = 1.00$$

б) Група складності:

$$C = \frac{V_{\text{дет}}}{V_{\text{фиг}}} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{фиг}}},$$

де $m_{\text{фиг}}$ - маса елементарної фігури, описаної навколо контуру деталі, кг.

$m_{\text{дет}}$ - маса деталі, кг;

$$m_{\text{фиг}} = \frac{\pi D^2 L * q}{4} = 0.384 \cdot 7850 = 4.79 \text{ кг.}$$

$$m_{\text{дет}} = 2.33 \text{ кг,} \quad \text{тоді } C = \frac{2.33}{4.79} = 0.49.$$

$m_{\text{фиг}} = V * q$. Дана фігура — циліндр із $L = 0.384$ м; $D = 0.045$ м.

Так як $0.32 < C < 0.63$, то це 2-а група складності (C2).

$$K_C = 0.79 .$$

в) Точність виготовлення — Т4 (нормальна).

$$K_T = 1.0.$$

г) Група серійності - 3.

д) Орієнтовно маса штампування – 3,1 кг.

$$K_B = 0.8.$$

$$C_{\text{баз}} = 913741.5 \text{ грн./т,} \quad S_{\text{відх}} = 51599.52 \text{ грн./т,}$$

$$C_{\text{заг.шт.}} = \frac{913741.5}{1000} \cdot 3.1 * 1 * 0.79 * 0.8 * 1 * 1.15 - (3.1 - 2.33) \cdot \frac{51599.52}{1000} = 2019 \text{ грн.}$$

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						57
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо вартість механічної обробки для порівнюваних заготовок. Уточнений метод працемісткий. На перших стадіях проектування технологічного процесу виготовлення заготовок для нього не вистачає вихідних даних. Тому на практиці найчастіше використовують наближені методи розрахунку технологічної собівартості.

Один з укрупнених методів розрахунку собівартості зводиться до визначення витрат на перетворення в стружку припуску на механічну обробку

$$C_o = \frac{Z_{стр}}{1000} (Q - q), \quad (3.4)$$

даної заготовки.

де $Z_{стр}$ - витрати на механічну обробку, які віднесені до 1 тони стружки, грн.;

Q – маса заготовки, кг;

q — маса деталі, кг.

Деталь вал-шестерня застосовується в редукторі, тобто відноситься до машинобудівної промисловості. Для машинобудування в середньому витрати на 1 тону стружки наступні:

поточні - $C = 1638000$ грн./т,

капітальні - $K = 3636500$ грн./т.

$$Z_{стр} = C + E_H K,$$

де $E_H = 0,15$ - нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних витрат,

$$Z_{стр} = 1638000 + 0.15 \cdot 3636500 = 2183475 \text{ грн./т.}$$

Прокат: $C_{опр} = 2183475 / 1000 \cdot (5.9974 - 2.33) = 8007.6762$ грн;

$$\text{Штапування: } C_{шт.} = \frac{2183475}{1000} (3.1 - 2.33) = 1681.2757 \text{ грн.}$$

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						58
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повна технологічна собівартість

Прокат: $C_{\Sigma} = C_{з.пр.} + C_{о.пр.} = 3679,1 + 8007,6762 = 11686,8$ грн.

Штампкування: $C_{\Sigma_{шт.}} = C_{з.шт.} + C_{о.шт.} = 2019 + 1681,2757 = 3700,3$ грн.

Таким чином, як заготовку для вал-шестерні доцільно вибрати гаряче штамповану заготовку на ГKM у закритому штампі.

3.3. Розрахунок припусків на механічну обробку

Припуск - шар матеріалу, що видаляється з поверхні заготовки з метою досягнення необхідних властивостей оброблюваної поверхні (розміри, форма, твердість, шорсткість і т.п.). Припуск може бути операційним, проміжним, загальним.

Операційний припуск - припуск, що видаляється при виконанні однієї технологічної операції.

Проміжний припуск - припуск, що видаляється при виконанні одного технологічного переходу.

Загальний припуск - сума операційних припусків, що видаляються при виконанні всіх технологічних операцій, які здійснюються над даною поверхнею.

У машинобудуванні застосовують дослідно-статистичні і розрахунково-аналітичні методи встановлення припусків на обробку. При дослідно-статистичному методі загальні і проміжні припуски беруть по таблицях, що узагальнює і систематизує виробничі дані передових машинобудівних заводів.

При розрахунково-аналітичному методі проміжний припуск Z_i на кожному технологічному переході повинен бути таким, щоб при його знятті усувалися похибки обробки і дефекти поверхневого шару, отримані на попередніх переходах (висота нерівностей R_{zi-1} - глибина дефектного шару поверхні h_{i-1} , сумарні відхилення розташування поверхні і відхилення форми

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						59
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta\Sigma_{i-1}$), а також похибки установки ε_i . оброблюваної заготовки, що виникають на виконуваному переході.

На поверхню $\phi 30h8$, $R_a = 1,25$ мкм заготовки зробимо розрахунок припусків аналітично. При обробці зовнішніх поверхонь обертання мінімальний і максимальний припуски визначаються за наступними формулами:

$$2Z_{i \min} = 2 (R_{Z \ i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta\Sigma_{i-1}^2 + \varepsilon_{iy}^2}) \quad (3.5)$$

$$2Z_{i \max} = 2Z_{i \min} + T_{d_{i-1}} - T_i .$$

Результати розрахунку приведені в табл.3.1.

Розрахунок припусків на обробку поверхні і граничних розмірів по переходах

Таблиця 3.1

Вид заготовки та технологічної операції	Точність заготовки та оброблюваної поверхні	Елементи припуску, мкм				Допуск, T , мм	Проміжні розміри, мм		Проміжні припуски, мм	
		R_z	h	$\Delta\Sigma$	ε_y		$D_{\max}$, мм	$D_{\min}$, мм	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Штамповка	II	160	200	712	—	0,8	33.535	32.735		
Токарна чорнова	h12	50	50	42.72	150	0,25	30.841	30.591	2.694	2.144
Токарна чистова	h9	25	25	1.7	9	0,062	30.141	30.079	0.7	0.512
Шліфувальна	h8	5	10	-	-	0.039	30.0	29.961	0.141	0.118

Послідовність розрахунку

- 1) Знаходимо допуски на розміри заготовки і для деталей після кожної операції [9, 12];
- 2) Знаходимо елементи припуску R_Z і h [6];

$$\Delta\Sigma = \sqrt{\Delta_{кр}^2 + \Delta_{см}^2 + \Delta_n^2},$$

- 3) Знаходимо елементи припуску $\Delta\Sigma$ і ϵ_y :

$$\Delta\Sigma = \sqrt{\Delta_{кр}^2 + \Delta_{см}^2 + \Delta_n^2}$$

$$\text{кривизна} - \Delta_{кр} = \Delta_{\kappa} \cdot L \text{ [6]},$$

де Δ_{κ} - питома кривизна поковки мкм/мм;

$$\Delta_{\kappa} = 3.0 \text{ мкм/мм [6]},$$

$$\text{тоді: } \Delta_{кр} = 3.0 \cdot 80 = 240 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{см} = 300 \text{ мкм [3]} \text{ — зсув по поверхні роз'єму штампа};$$

$$\Delta_n = 600 \text{ мкм [3]} \text{ — відхилення від площинності та прямолінійності.}$$

$$\Delta\Sigma = \sqrt{240^2 + 300^2 + 600^2} = 712 \text{ мкм.}$$

На наступні операції $\Delta\Sigma$ визначаємо з використанням коефіцієнта уточнення: - після чорнової обробки – $K_y = 0.06$ [36]:

$$i \text{ — } \Delta_{ост} = \Delta\Sigma_{i-1} \cdot K = 712 \cdot 0.06 = 42,72 \text{ мкм};$$

- після числової обробки - $K_y = 0.04$ [6]

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						61
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta \Sigma_i = 42.72 * 0.04 = 1.7 \text{ мкм.}$$

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{(\Delta \varepsilon_6)^2 + (\Delta \varepsilon_3)^2 + (\Delta \varepsilon_{np})^2} - \text{похибка установки,} \quad (3.7)$$

де $\Delta \varepsilon_6$ — похибка базування ($\Delta \varepsilon_6 = 0$, тому що обробка виконується в самоцентруючому патроні чи в центрах);

$\Delta \varepsilon_3$ — похибка закріплення;

$\Delta \varepsilon_{np}$ — погрішність положення заготовки (входить у поверхню закріплення).

$$\Delta \varepsilon_y = 150 \text{ мкм [36].}$$

4) Проміжні граничні розміри визначаються за формулами:

$$D_{\min i-1} = D_{\min i} + 2Z_{\min i};$$

$$D_{\max i-1} = D_{\max i} + 2Z_{\max i};$$

5) Проміжні граничні розміри визначаються за формулами:

$$D_{p.чист.} = D_{ном.} + 2Z_{i \text{ шліф.}} = 30,1 \text{ мм;}$$

$$D_{p.чорн.} = D_{p.чист.} + 2Z_{\min \text{ чист.}} = 30,6 \text{ мм;}$$

$$D_{p.заг.} = D_{p.чорн.} + 2Z_{\min \text{ чорн.}} = 32,7 \text{ мм.}$$

$$6) 2Z_{i \max} - 2Z_{i \min} = Td_{i-1} - Td_i$$

$$a) 2,694 - 2,144 = 0,8 - 0,25$$

$$0,55 = 0,55;$$

$$6) 0,7 - 0,512 = 0,25 - 0,062$$

$$0,188 = 0,188;$$

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

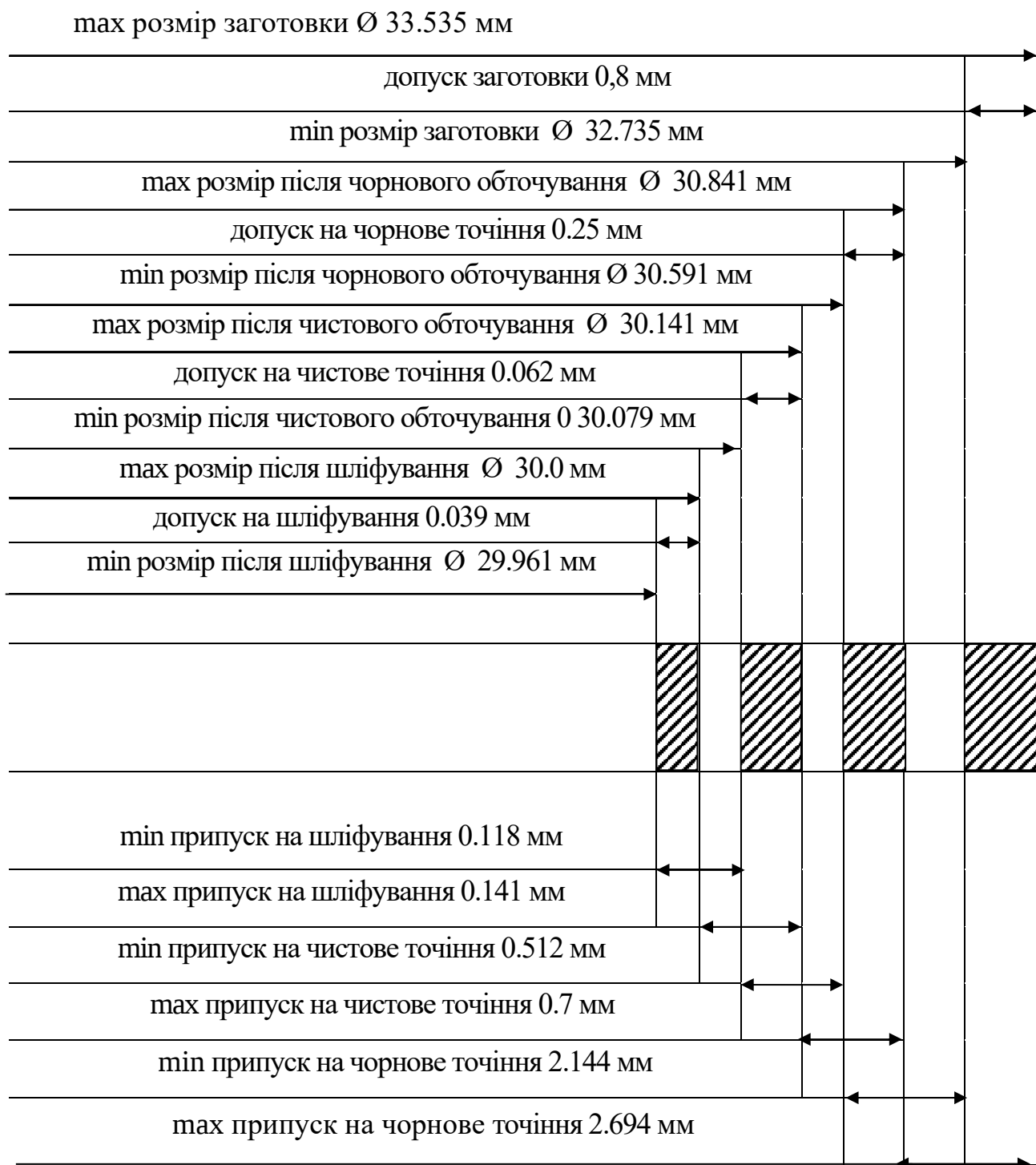


Рис. 3.1. Схема розташування припусків і допусків шийки $\varnothing$ 30h8.

$$в) 0,141 - 0,0118 = 0,062 - 0,039$$

$$0,023 = 0,023.$$

Загальні припуски:

$$2Z_{o\ max} = 2\sum_{i=1}^n Z_{i\ max} = 3.535\ мм;$$

$$2Z_{o\ min} = 2\sum_{i=1}^n Z_{i\ min} = 2.774\ мм;$$

$$2Z_{o\ max} - 2Z_{o\ min} = Td_3 - Td_{д}$$

$$3,535 - 2,774 = 0,8 - 0,039$$

$$0,761 = 0,761.$$

Після визначення всіх розмірів заготовки знаходимо її масу:

$$m_B = 3,1\ кг; \text{ норма витрати } 3,41\ кг.$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{BM} = 2,33/3,1 = 0,75.$$

3.4. Розрахунок вартості основних матеріалів

Витрати на основні матеріали визначаються, виходячи з величини заданого річного випуску продукції, прогресивних норм витрат матеріалів на одиницю продукції, норм відходів і цін на матеріали і відходи. Результати розрахунків вартості матеріалів на річну програму приведені в табл.3.2.

Витрати на основні матеріали деталі вал-шестерні за винятком реалізації відходів складають 58520,00 грн.

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						64
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок витрат на основні матеріали

Таблиця 3.2

Вал-шестерня	Найменування деталі
5000	Річний обсяг, шт.
	Марка матеріалу
	40X
	Норма матеріалу на деталь, кг
	3,41
	Витрати на програму, т
	17,05
	Вартість 1 т, грн.
	3500
	Сума за програму, грн.
	59675
	Маса відходів на деталь, кг
	0,77
	Маса відходів на річне завдання, т
	3,85
	Ціна реалізації 1 т відходів, грн.
	300
	Сума від реалізації з урахуванням річної програми, грн.
	1155
	Усього витрати на матеріали, грн.
	58520

3.5. Проектування маршрутного технологічного процесу

Розробка технологічних процесів (ТП) є основним розділом технологічної підготовки виробництва і виконується на основі "Технологічна підготовка виробництва" (ГОСТ 14.004-83).

Вихідною інформацією для проектування ТП служать:

- обсяг річного випуску виробів;
- робочі креслення деталей і вузлів;
- технічні вимоги, що регламентують точність геометричних розмірів і взаємне розташування оброблюваних і необроблюваних поверхонь;
- параметри шорсткості та інші вимоги забезпечення якості.

Основні принципи, яких треба дотримуватися при розробці ТП:

1. Кожна наступна операція, перехід чи прохід повинні зменшувати погрішності і підвищувати якість поверхні попередньої обробки.
2. Обробку деталі потрібно починати з тієї поверхні, що буде служити установочною базою для наступних операцій. На першій операції, ж установочну, варто вибрати необроблену поверхню деталі по можливості більш рівну і гладку.
3. Після обробки встановленої поверхні заготовка базується на неї та обробляються інші поверхні.
4. Спочатку обробляються менш точні поверхні, а потім більш точні.
5. Останньою обробляється та поверхня, до якої пред'являються найбільш високі вимоги по точності.
6. Ті операції, при виконанні яких може мати місце брак, варто планувати на початку технологічного процесу.
7. Обробку поверхні, що легко ушкоджується (наприклад, різьблення), і слюсарні операції необхідно виконувати наприкінці ТП.
8. Необхідно враховувати принцип концентрації і диференціації технологічних операцій.

Концентрація полягає в укрупненні операцій механічної обробки (складається

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						66
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з великої кількості переходів). Цей метод характерний для дрібносерійного та

одиничного виробництва. Для його впровадження характерне використання універсального обладнання і приладів.

Проведемо технічний аналіз базового технологічного процесу.

Базовий ТП представлений у маршрутно-операційному вигляді. Явно просліджується застосування принципу концентрації операцій. Операції розписані по переходах, але без указівки режимів різання, тобто упор робиться на високу кваліфікацію робітника-верстатника, який для досягнення необхідних параметрів точності розмірів і шорсткості поверхонь сам може вибрати необхідні режими різання. Карти ескізів відсутні по тій же причині. Застосовуване обладнання обране не зовсім раціонально.

Не зовсім раціональне застосування верстатів обумовлено тим, що на діючому підприємстві використовуються можливості існуючого парку металорізального обладнання.

На слюсарних операціях по базовому проекту використовується ручна праця з застосуванням напилка.

Як заготовку вала-шестерні використовують прокат. Застосування прокату знижує витрати на одержання заготовки, але підвищує витрати матеріалу та обсяг наступної механічної обробки.

На основі вище наведеного аналізу базового ТП, з урахуванням його недоліків і позитивних сторін розробляємо технологічний процес для проектованої ділянки. Для середньосерійного виробництва приймаємо наступний маршрут виконання операцій ТП:

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						67
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

005	Контрольна
010	Фрезерувально - центрувальна
015	Токарна автоматна
020	Токарна автоматна
025	Токарна автоматна
030	Токарна автоматна
035	Вертикально - фрезерувальна
040	Слюсарна
045	Зубофрезерувальна
050	Різьбофрезерувальна
055	Слюсарна
060	Контрольна
065	Термічна
070	Зубошліфувальна
075	Круглошліфувальна
080	Контрольна

Токарні операції 015 - 020 є чорновими. На них згащується основна частина припуску та обробляються поверхні, які використовуються потім як технологічні бази.

На токарних операціях 025 - 030 виконується остаточна обробка поверхонь під нарізування зубчастого вінця і різьби M24x3-8g та неробочих поверхонь вала-шестерні.

На зубофрезерувальній операції 045 нарізується зубчастий вінець $z = 25$, $m = 1,5$, а на зубошліфувальній операції 070 він обробляється остаточно з досягненням точності 7Х ГОСТ 1643-81.

На різьбофрезерувальній операції 050 нарізується різьба M24x3-8g.

На круглошліфувальній операції 075 остаточно обробляється з досягненням необхідної точності і шорсткості шийка 030 h8 ($Ra = 1,25$ мкм).

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

На слюсарних операціях 040, 055 виконується зачищення задирок і притуплення гострих країв після фрезерувальних операцій. Ручна праця з використанням напилка замінена на механізовану з використанням пневматичної шліфувальної машинки.

Контрольні операції використовуються для вхідного, проміжного та остаточного контролю.

3.6. Вибір ріжучого інструменту

При розробці ТП механічної обробки заготовки вибір ріжучого інструменту, його виду, конструкції і розмірів значною мірою визначається методами обробки, властивостями оброблюваного матеріалу, необхідною точністю обробки і якістю оброблюваної поверхні заготовки.

При виборі ріжучого інструменту необхідно прагнути застосовувати стандартний інструмент, але, коли доцільно, варто застосовувати спеціальний, комбінований, фасонний інструмент, що дозволяє суміщати обробку декількох поверхонь.

Правильний вибір ріжучого інструменту має велике значення для підвищення продуктивності та зниження собівартості.

Приведемо приклад вибору ріжучого інструменту для токарної автоматної операції 015 по обробці шийки $\varnothing 40$ мм.

Матеріал — сталь 40Х, $\sigma_B = 800$ МПа.

Режими різання наступні:

$$t = 1,1 \text{ мм}; S = 0,4 \text{ мм/об}; n = 1250 \text{ об/хв}; v = 158,96 \text{ м/хв}.$$

Виберемо матеріал ріжучої частини різця. Для обробки заготовок з низьколегованої сталі на чорнових операціях застосовується твердий сплав Т5К10, який містить 10% кобальту, 5% карбіду титану та 85% карбіду вольфраму [37].

Розміри поперекового перетину корпусу різця вибираємо в залежності від сили різання, матеріалу корпусу, вильоту різця.

Виліт різця $l = 60$ мм; матеріал корпусу — сталь 50 ($\sigma_B = 650$ МПа).

1. Сила різання P_Z [37]:

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						69
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_Z = 10 C_p t^x S^y v^n K_p, \quad K_p = K_{mp} K_{fp} K_{yp} K_{lp} K_{rp}$$

$$C_p = 300; \quad x = 1,0; \quad y = 0,75; \quad n = -0,15;$$

$$K = 0,89; \quad K_{yp} = K_{lp} = K_{rp} = 1,0;$$

$$K_{mp} = \left(\frac{T_B}{750} \right)^n = \left(\frac{800}{750} \right)^{0,75} = 1,05;$$

$$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 1,1^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 158,96^{-0,15} \cdot 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 724,7 \text{ Н.}$$

2. Для прямокутного різця з відношенням висоти h до ширини b державки, рівним 1.6, ширина перетину корпусу різця буде:

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 l P_Z}{2,56 T_{н.д.}}}$$

де $T_{н.д.}$ – допустиме напруження при вигині матеріалу державки (сталь 50 – $T_{н.д.} = 200 \text{ МПа}$).

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 724,7 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{2,56 \cdot 200 \cdot 10^6}} = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм.}$$

По нормативах приймаємо найближчий більший перетин корпусу b - 12 мм.

Для різця з відношенням h до b 1.6 вибираємо $h = 20 \text{ мм}$.

3. Переверяємо міцність і жорсткість корпусу різця:

$$P_{Zжест} = \frac{3fEJ}{l^3}$$

де $f = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - допустима стріла прогину різця при чорновому

точінні;

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа} - \text{модуль пружності матеріалу корпусу різця};$$

$$J = b h^3 / 12 = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 2^3 \cdot 10^{11} / 12 = 0,8 \cdot 10^{-8}$$

- момент інерції прямокутного перерізу різця;

$$P_{Zжест} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,8 \cdot 10^{-8}}{(60 \cdot 10^{-3})^3}$$

Різець має достатню міцність і жорсткість, так як:

$$P_{Z доп} > P_{Z жест} > P_Z \quad (5555 \text{ Н} > 724,7 \text{ Н} > 2222 \text{ Н})$$

За результатами вищенаведених розрахунків для токарної чорнової обробки шийки вала за ГОСТ 18879-73 вибираємо прохідний упорний різець із пластиною Т5К10, кутом у плані $\varphi = 90^\circ$ і перетином державки 20x12 ($h \times b$). Загальна

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						70
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довжина різця $L = 100$ мм, довжина твердосплавної пластини $l = 16$ мм, радіус при вершині $R = 1.0$ мм.

Аналогічні розрахованому різці застосовуються на всіх токарних автоматних операціях (015 - 030). Для виконання канавок використовується різець канавковий спеціальний Т15К6 ГОСТ 18884-75, а для виконання фасок - різець фасонний Т15К6 ГОСТ 18878-73.

На фрезерувально-центрувальній операції 010 фрезерування торців здійснюється набором фрез, що складається із двосторонньої ліво ріжучої і право ріжучої торцевих фрез Р18 ГОСТ 9304-69. Центрування отворів здійснюється набором центрувальних свердел типу А $\varnothing 4$ Р18 ГОСТ 14952-75.

Фрезерування уступів (операція 035) здійснюється торцевою фрезою з пластинами Т15К6 ГОСТ 9473-80.

Нарізання зубчастого вінця (операція 045) виконується черв'ячною модульною фрезою Р6М5 ($D = 70$) класу точності АА (див. розділ 4 "Конструкторська частина").

Нарізання різьби М24 х 3 - 8g (операція 050) проводиться фрезою гребенчатою насадною ($D = 80, z = 16$) Р18 ГОСТ 1336-77.

Абразивний інструмент вибирається в залежності від виду обробки, профілю поверхні, матеріалу деталі, вимог до точності і шорсткості.

Вибираємо абразивний інструмент для шліфування зубчастого вінця $z = 25, m = 1.5$ (операція 070).

Для зубошліфування вибираємо черв'як шліфувальний конічного профілю ЗП300х13х127. Виберемо матеріал черв'яка:

- для кругів ЗП частіше застосовується керамічна зв'язка;
- для абразивного інструмента на керамічній зв'язці застосовують білий електрокорунд 25А;
- для круглого, безцентрового, профільного шліфування заготовок з загартованих вуглецевих сталей і сплавів, чавуна та інших металів застосовують середні і середньом'які круги СМ2-С2;

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						71
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті вибираємо абразивний черв'ячний круг:

- ЗП 300 X 13 X 127 25А СМ1 К .

Вибираємо абразивний інструмент для шліфування робочої шийки вал-шестерні $\varnothing 30h8$ ($R_a = 1,25$ мкм) (операція 075).

Для круглого зовнішнього шліфування вибираємо шліфувальний круг прямого профілю ПП 500 x 60 x 150. Виберемо матеріал круга:

для кругів ПП частіше застосовується керамічна зв'язка;

- для абразивного інструмента на керамічній зв'язці застосовують хромистий електрокорунд 33А, 34А;

- для чистового шліфування деталей, заточення ріжучого інструменту, профільного шліфування із шорсткістю $R_a = 1.25-0.16$ мкм застосовують абразивний інструмент зернистості 25, 20, 16;

- для круглого, безцентрового, профільного шліфування заготовок з загартованих вуглецевих сталей і сплавів, чавуну та інших металів застосовують середні і середньом'які круги СМ2-С2;

- для круглого зовнішнього, безцентрового, плоского шліфування периферією круга застосовують круги з номерами структур 5, 6.

У результаті вибираємо абразивний круг: ПП 500 x 60 x 150 33А 20 СМ2 6К ГОСТ 2424-83.

На слюсарних операціях по зачищенню задирок і притупленню гострих кромek із застосуванням пневматичної машинки використовують шліфувальні головки:

- кульова з циліндричною рівно бічною поверхнею FW25x25

25А 40 СТ1 6К ГОСТ 2447-82;

- кульова F-2W32 - 25А 40 СТ1 6К ГОСТ 2447-82.

3.7. Вибір вимірювального інструменту

При проектуванні ТП механічної обробки заготовки для між операційного та остаточного контролю оброблюваних поверхонь необхідно використовувати стандартний вимірювальний інструмент, враховуючи тип виробництва, але, коли

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						72
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доцільно, варто застосовувати спеціальний контрольно-вимірювальний інструмент чи контрольно-вимірювальні пристрої.

Метод контролю повинен сприяти підвищенню продуктивності праці контролера і верстатника, створювати умови для поліпшення якості випускаємої продукції і зниження її собівартості. В одиничному і серійному виробництві часто застосовується універсальний вимірювальний інструмент (штангенциркуль, штангенглибиномір, мікрометр, кутомір, індикатор і та ін.)

У масовому і багатосерійному виробництві пропонується застосовувати граничні калібри (скоби, пробки, шаблони і та ін.) і методи активного контролю, які одержали широке поширення в багатьох галузях машинобудування.

У проектованому технологічному процесі для контролю деталі в процесі виготовлення в залежності від розмірів, які контролюють, застосовуються наступні штангенциркулі: ЩЦ-I 0-125-0.1 ГОСТ 166-89; ЩЦ-I 0-185-0.1 ГОСТ 166-89; ЩЦ-Ш 0-400-0.1 ГОСТ 166-89.

Для контролю точних поверхонь використовуються запропоновані калібри:

- шийка $\varnothing 30h8$ - скоба важільна СР-25 ГОСТ 11098-75;
- зубчастий вінець - штангенциркуль тангенціальний, зубомір тангенціальний;
- різьба M24 x 3 - 8g - кільце різьбове ГІР M24x3-8g ГОСТ 17763-72, кільце різьбове НЕ M24x3-8g ГОСТ 17763-72.

Шорсткість поверхонь деталі контролюється візуально з використанням зразків шорсткості ГОСТ 9378-75.

Фаски контролюються за допомогою фасонних шаблонів ГОСТ 4126-82.

Для грубих вимірів використовуються вимірювальні лінійки довжиною 500 і 150 мм ГОСТ 427-75.

3.8. Вибір обладнання

Вибір верстатного обладнання є однією з найважливіших задач при розробці технологічного процесу механічної обробки заготовки. Від його правильного вибору залежить продуктивність виготовлення деталі, механізація та автоматизація ручної

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						73
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

праці, економічне використання виробничих площ, електроенергії та у результаті собівартість виробу.

При виборі обладнання необхідно враховувати:

- характер виробництва;
- відповідність розмірів робочої зони верстата габаритним розмірам деталі;
- можливість на даному верстаті забезпечити потрібну точність обробки;
- потужність верстата (вона повинна відповідати чи небагато перевищувати потужність, яка необхідна для даного виду обробки);
- продуктивність верстата, що забезпечує програму випуску;
- зручність керування та обслуговування верстата;
- габаритні розміри і вартість верстата;
- можливість оснащення верстата високопродуктивними приладами і засобами механізації й автоматизації;
- кінематичні дані верстата (подачі, частота обертання і та ін.).

Розглянемо приклад вибору обладнання до технологічної операції.

На токарній автоматній операції 020 обробляється поверхня 030.

Режими різання наступні:

$t = 1,05 \text{ мм}; S = 0,4 \text{ мм/об}; n = 1250 \text{ об/хв}; v = 120,1 \text{ м/хв}$. Визначимо тангенціальну складову сили різання [37]:

$$P_Z = 10 C_p t^x S^y v^n K_p, \quad K_p = K_{mp} K_{fp} K_{rp} K_{lp} K_{rp}$$

$$C_p = 300; \quad x = 1,0; \quad y = 0,75; \quad n = -0,15;$$

$$K = 0,89; \quad K_{rp} = 1,1; \quad K_{lp} = K_{rp} = 1,0;$$

$$K_{mp} = \left(\frac{T_B}{750} \right)^n = \left(\frac{800}{750} \right)^{0,75} = 1,05;$$

$$P_Z = 10 * 300 * 1,05^{1,0} * 0,4^{0,75} * 120,1^{-0,15} * 1,05 * 0,89 * 1,1 * 1,0 * 1,0 = 793,32 \text{ Н}.$$

Потужність різання:

$$N_Z = \frac{v P_Z}{1020 * 60} = \frac{793,32 * 120,1}{1020 * 60} = 1,56 \text{ кВт}.$$

За потужністю різання вибираємо токарний багаторізовий копіювальний напів автомат 1Н713 з потужністю головного приводу 5 кВт.

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						74
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики верстата [7]:

Найбільші розміри оброблюваної заготовки:

над станиною, мм	400
над супортом, мм	250
довжина, мм	500

Найбільше переміщення супорта, мм:

поздовжнє	350
поперекове	200

Найбільше переміщення поперечного супорта, мм:

поперекове	200
поздовжнє установочне	395

Частота обертання шпинделя, об/хв:	63-1250
------------------------------------	---------

Робоча подача супорта, мм/хв:

копіювального	25-400
поперекового	25-400

Швидкість швидкого переміщення супорта, мм/хв.:

копіювального	3,5
поперекового	3,5

Потужність електродвигуна головного приводу, Вт	5,0
---	-----

Габаритні розміри:

довжина, мм	2450
ширина, мм	1250
висота, мм	1980
Маса, кг	4700

Даний напів автомат застосовується на усіх токарних операціях 015-030.

3.9. Розрахунок режимів різання і технічне нормування

При обробці на металорізальних верстатах режими різання визначаються виходячи з досягнень необхідної продуктивності праці при найменшій собівартості даної технологічної операції.

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						75
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи режиму різання знаходяться у взаємній функціональній залежності, встановленої емпіричними формулами, тому що глибина різання і подача S безпосередньо впливають на стійкість інструмента T , з яким у свою чергу зв'язана швидкість різання v .

Таким чином призначення режимів різання є складною комплексною задачею, яка розв'язується з урахуванням особливостей оброблюваної заготовки, характеристик інструмента та обладнання.

Послідовність призначення елементів режимів різання наступна: установлюється глибина різання, стійкість інструмента, потім подача та в останню чергу швидкість різання.

Виконаємо розрахунок режимів різання для вертикально-фрезерувальної операції розрахунково-аналітичним методом.

Операція 035. Вертикально-фрезерувальна

Фрезеруються два уступу на глибину $t = 13$ мм торцевою насадною фрезою. Матеріал ріжучої частини фрези Т15К6, діаметр 200 мм, ширина $B_\phi = 46$ мм, число зубців $z = 8$.

Ширина фрезерування $B = 7$ мм; глибина $t = 6,5$ мм.

Стійкість фрези $\phi 200$ мм - $T = 240$ хв. [37].

Знаходимо подачу на зуб:

$$S_z = 0,18 \text{ мм/зуб [37].}$$

Знаходимо швидкість різання [37]:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x B^u Z^p S_z^y} K_{MV} K_{nv} K_{uv},$$

$$C_v = 332; \quad q = 0,2; \quad x = 0,1; \quad y = 0,4; \quad u = 0,2; \quad p = 0; \quad m = 0,2,$$

$$\text{де} \quad K_{nv} = K_\Gamma \left(\frac{750}{T_B} \right)^{nv} = 1,0 (750/800)^{1,0} = 0,9375 -$$

коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки.

$K_{nv} = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі (поковка);

$K_{uv} = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує марку інструментального матеріалу (Т15К6).

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$V = \frac{332 \cdot 200^{0,2}}{240^{0,2} \cdot 6,5^{0,1} \cdot 0,18^{0,4} \cdot 70^{0,2} \cdot 80} \cdot 0,9375 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 265,96 \text{ м/хв.};$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 265,96}{3,14 \cdot 200} = 423,5 \text{ об./хв.}$$

За паспортом верстата (6P12) приймаємо $n = 315 \text{ об./хв.}$

Тоді

$$v = \frac{\pi n D_u}{1000} = 197,82 \text{ м/хв.};$$

$$S_O = S_Z \cdot Z = 0,18 \cdot 8 = 1,44 \text{ мм/об}; S_M = S_O \cdot n = 453,6 \text{ мм/хв.}$$

За паспортом верстата приймаємо $S_M = 400 \text{ мм/хв.}$ Тоді

$$S_Z = 0,159 \text{ мм/зуб.}$$

Після розрахунку режимів різання переходимо до технічного нормування операцій. За норму операцій прийнятий штучно-калькуляційний час на операцію.

$$T_{шт.к} = T_o + T_{доп.} + T_{обсл.} + T_{відп.} + T_{п.з.}/N$$

де $T_o + T_{доп.} = T_{опер}$ – оперативний час, хв.;

$L_{р.х.}$ - відстань, на яку переміщується інструмент, мм;

$T_o = L_{р.х.} / S_M$ - основний час - час витрачений на формоутворення, хв;

$$L_{р.х.} = l + l_1 + l_2$$

$$T_{доп.} = \sum T_{уст. та зн} + \sum T_{перех.} + \sum T_{перех. не вход. до комплексу} + \sum T_{вимір.}$$

де l - довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 та l_2 - довжина врізання і перебігу інструмента, мм;

$T_{доп.}$ - допоміжний час, хв.;

де $T_{обсл.}$ – час на обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{відп.}$ – час на відпочинок та особисті потреби, хв.;

$T_{обсл.}$ та $T_{відп.}$ задаються в % від оперативного часу;

					6261М.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						77
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$T_{n.з.}$ - підготовчо-заключний час на партію деталей, хв.;

N - розмір партії деталей, шт.

$T_{доп}$, $T_{обсл.}$, $T_{відп.}$, $T_{n.з.}$ визначаються за нормативами [5].

Виконаємо нормування вертикально-фрезерувальної операції, для якої були розраховані режими різання.

Операція 035. Вертикально-фрезерувальна

Основний час

$$T_o = L_{p.x.}/S_M, L_{p.x.} = l + l_1 + l_2,$$

де $l = 30$ мм; $l_1 = 60$ мм; $l_2 = 0$ мм. $L_{p.x.} = 90$ мм.

$$T_o = 90/400 = 0,225 \text{ хв.}$$

Так як фрезеруються два пази за два проходи, то

$$T_o = 0,225 * 4 = 0,9 \text{ хв.}$$

Допоміжний час $T_{доп} = 7,28$ хв.

($T_{уст. та зн.} = 5,2$ хв.; $T_{перех.} = 0,72$ хв.)

($T_{перех. не вход. до комплексу} = 0,56$ хв.; $T_{вимір.} = 0,8$ хв.)

Операційний час $T_{опер.} = 0,9 + 7,28 = 8,18$ хв.

Час відпочинку й обслуговування

$$T_{відп. та обсл.} = 3,5\% T_{опер.} = 0,29 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час $T_{n.з.} = 16$ хв.

Штучний час $T_{шт.} = 0,9 + 7,28 + 0,29 = 8,47$ хв.

Штучно-калькуляційний час

$$T_{шт.-к.} = T_{шт.} + T_{n.з.}/N = 8,47 + 16/100 = 8,63 \text{ хв.}$$

					6261м.06.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						78
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Конструкторська частина

4.1. Проектування пристрою на зубофрезерувальну операцію

На зубофрезерувальному верстаті моделі 53А50 нарізується зубчастий прямозубий вінець з $m = 1,5$; $z = 25$ — зубці з вихідним контуром за ГОСТ 13755-81 та $\xi = 0,25$.

Ступінь точності вінця - 7Х ГОСТ 1643-81.

Деталь при нарізанні кріпиться за $\varnothing 45$ цангою з 6 пелюстків.

Зовнішня муфта пристрою, яка зв'язана зі штуцером підводу повітря, не обертається разом зі столом. Верхній кінець вал-шестерні упертий через обертаючий центр у траверзу верстату, що сприяє утриманню деталі на вісі.

Прийняті розміри перевіримо за програмою максимум.

Діаметр поршню, який тисне на елемент діяння на цангу – $D = 125$ мм.

Зусилля, яке витрачається на стиск пружин - прийнято 50 кгс.

При тиску повітря $p = 4$ кгс / см^2 осьове зусилля поршню складе:

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \rho \eta = 0,785 * 156,25 * 4 * 0,8 = 392,5 \text{ кгс.}$$

Кут цанги α — прийнято 15° .

Осьове зусилля на цангу діє на закріплення деталі. Силова залежність має вигляд:

$$Q = (P_1 + P_2) \cdot [tg(\alpha + \varphi) + \varphi_1]$$

$$\text{де } P_1 = 0,375 \cdot \frac{E \cdot D^2 \cdot \rho \cdot f \cdot z}{l^3} \left(0,0174 \frac{\alpha_1}{2} + \sin \alpha \cdot \cos \alpha - 229,88 \frac{\sin^2 \alpha_1}{\alpha} \right),$$

де α - кут сегменту пелюстку цанги, $^\circ$;

D — зовнішній діаметр пелюстків цанги, мм;

S — товщина пелюстку цанги, мм;

$P_1 = 3 \cdot \frac{E \cdot J \cdot f \cdot z}{l^3}$ — сила, стискаюча пелюстки цанги до їх зіткнення з

поверхнею заготовки;

P_2 — сила затискання заготовки усіма пелюстками цанги:

					6261м.06.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						80
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_2 = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{\frac{M^2}{r^2} + g^2 \cdot k}$$

де $M = P_z \cdot r_1$ – момент різання від черв'ячної фрези;

r_1 – відстань від осі до крапки прикладення сили різання;

r – радіус заготовки на ділянці затискання;

P_z – сила різання, яка прагне обернути заготовку;

q – складова частина зусилля, прикладеного при різанні, яка зсуває заготовку вздовж осі;

$k = 1,5-2,0$ – коефіцієнт запасу.

Необхідно добитися такого положення, щоб $\frac{M_{тр}}{M_{різ}} \geq 3$.

Момент сил тертя виявляє себе на цангі (див. рис.4.1):

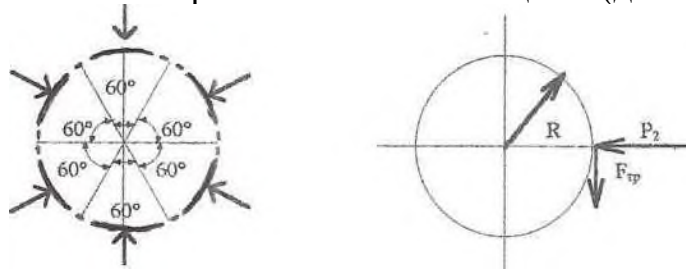


Рис.4.1

$$M_{тр} = P_z \cdot F_{тр}, \text{ де } F_{тр} = P_2 \cdot f.$$

А момент сил різання (на рис.4.2):

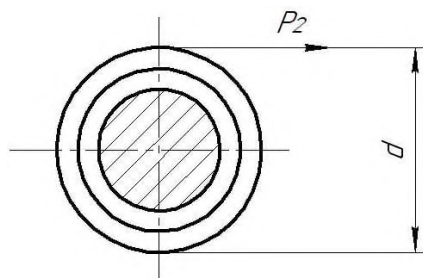


Рис 4.2

$$M_{різ} = P_z \cdot \frac{d \cdot \psi}{2}$$

4.2. Розрахунок та конструювання черв'ячної модульної фрези для нарізання зубців з евольвентним профілем

Черв'ячні модульні фрези призначені для нарізання прямозубих, косозубих та шевронних циліндричних зубчастих колес, а також для обробки черв'ячних колес.

Параметри нарізаних зубців:

1. Модуль $m = 1.5$ мм.
2. Зовнішній діаметр $D = 40$ мм.
3. Діаметр ділительного кола $D_d = 37,5$ мм.
4. Внутрішній діаметр $D_e = 36$ мм.
5. Кут зачеплення $\alpha = 20^\circ$.
6. Коефіцієнт зміщення $\xi = 0,25$.
7. Число зубців $z = 25$.
8. Товщина зубу по делительному колу $S = 2,32$ мм.
9. Клас точності - 7.

Тому що ступінь точності нарізуємих зубців 7, то клас точності фрези за ГОСТ 9324-80 - АА. Фреза чистова, тип I (цільна прецизійна), з евольвентним шліфувальним профілем.

Розрахунок зробимо на основі методичних указівок [21]:

1. Розрахунок лінійних розмірів профілю зубців черв'ячної фрези в нормальному перетині.

1.1. Крок зубців в нормальному перетині:

$$P_{\text{но}} = P_t = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 1,5 = 4,71 \text{ мм.}$$

1.2. Товщина зубу в нормальному перетині на ділительному колі:

$$S_{\text{но}} = \frac{\pi \cdot m}{2} = \frac{3,14 \cdot 1,5}{2} = 2,355 \text{ мм.}$$

					6261М.06.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						82
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Висота головки зубу фрези:

$$h_{ao} = (h_a^* + c^*) \cdot m = (1 + 0,25) \cdot 1,5 = 1,875 \text{ мм},$$

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

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

1.4. Висота ніжки зубу фрези:

$$h_{fo} = h_{ao} = 1,875 \text{ мм}.$$

1.5. Висота зубу фрези:

$$h_o = h_{ao} + h_{fo} = 3,75 \text{ мм}.$$

1.6. Радіус закруглення головки зубу:

$$\rho_{ao} = (0,35 \div 0,4) \cdot m = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6$$

1.7. Радіус закруглення ніжки зубу:

$$\rho_{fo} = (0,2 \div 0,3) \cdot m = 0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ мм}.$$

1.8. Товщина зубу на вершині фрези:

$$S_{no} + 2h_{fQ} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 4,71 - (2,355 + 2 \cdot 1,875 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ) = 0,986 \text{ мм}.$$

1.9. Ширина впадини між зубцями фрези:

$$S_{nb} = P_n - (S_{no} + 2h_{fo} \cdot \operatorname{tg} \alpha) = 4,71 - (2,355 + 2 \cdot 1,875 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ) = 0,986 \text{ мм}.$$

2. Визначення конструктивних розмірів фрези.

2.1. Число заходів $z_{зах} = 1$.

2.2. Кут підйому гвинтової лінії черв'ячної нарізки по ділильному циліндру $\gamma_{mo} = \frac{P_{no}}{d_{mo}}$. Приймаємо попередньо $\gamma = 1,3^\circ$.

2.3. Напрямок гвинтової лінії — правий.

2.4. Орієнтовно зовнішній діаметр черв'ячної модульної фрези:

$$d_{ao} = m \cdot \left[\frac{z_{зах}}{\sin \gamma_{mo}} + 2(h_a^* + c^*) \right] = 1,5 \left[\frac{1}{\sin 1,3^\circ} + 2(1 + 0,25) \right] \approx 70 \text{ мм}.$$

2.5. Орієнтовно число зубців в торцевому перетині:

$$z_u \approx b \cdot \frac{360^\circ}{\arccos \frac{d_{ao} - 2h_o}{d_{ao}}} \approx 17,33,$$

					6261М.06.МР.06.04.ПЗ	Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

де b — коефіцієнт, що враховує вид обробки; $b=1,3$.

Приймаємо $z_u = 12$.

2.6. Величина затилування:

$$K = \frac{\pi d_{ao}}{z_u} \operatorname{tg} \alpha_b,$$

де α_b - задній кут на вершині зубців; $\alpha_b = 9^\circ$;

$$K = \frac{3,14 \cdot 70}{12} \operatorname{tg} 9^\circ = 2,9 \text{ мм.}$$

Величина першого затилування $K_1 = (1,4 \div 1,8)K = 4,35 \text{ мм.}$

Округлимо K та K_1 по нормальному ряду:

$$K = 3 \text{ мм; } K_1 = 4,5 \text{ мм.}$$

2.7. Глибина стружкової канавки:

$$H = h_o + \frac{K + K_1}{2} + r_k = 3,75 + \frac{3 + 4,5}{2} + 2 = 9,5 \text{ мм,}$$

де r_k — радіус закруглення стружкової канавки, приймаємо $r_k = 2 \text{ мм.}$

2.8. Кут профілю впадини стружкової канавки $\varepsilon = 30^\circ$.

2.9. Число зубців фрези в торцевому перерізі остаточно встановлюється на основі графічної побудови профілю зубців фрези в торцевому перерізі за наступними даними:

$$d_{ao}, H, h_o, K, K_1, \varepsilon, r_k$$

Радіус допоміжного кола r_b визначається за формулою: $r_b = 0,5 d_{ao} \cdot \sin \alpha$.

$$r_b = 0,5 \cdot 70 \cdot \sin 9^\circ = 5,48 \text{ мм,}$$

де α_b — задній кут при вершині.

Мінімальний діаметр круга $D_{кр} = 80 \text{ мм.}$

При виборі остаточного числа зубців фрези z необхідно виконати наступні умови:

					6261М.06.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						84
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ширина зубу в основі повинна бути не менш $(0,5 \div 0,75) H$;
- шліфована частина зубу повинна приблизно дорівнювати $2/3$ від довжини зубу, тобто $UAB = 2/3 UAC$;
- при шліфуванні задньої поверхні шлифу вальний круг не повинен врізатися в наступний зуб;
- при шліфуванні бічних профільних поверхонь зубу фрези дисковий шліфувальний круг не повинен врізатися в наступний зуб.

2.10. Діаметр посадочного отвору:

$$\text{орієнтовно } d = (0,2 \div 0,45) \cdot d_{ao} = 0,31 \cdot 70 = 22 \text{ мм};$$

З урахуванням шпонкової канавки:

$$0,3d \leq \frac{d_{ao}}{2} - H - \left(\frac{d}{2} + t_2 \right),$$

де t_2 - глибина шпоночного пазу; $t_2 = 2,8$ мм.

$$0,3 \cdot 22 \leq \frac{70}{2} - 9,5 - \left(\frac{22}{2} + 2,8 \right);$$

$$6,6 \leq 11,7.$$

2.11. Довжина нарізаної частини фрези:

$$L_1 = 2\sqrt{(d_{ao} - h_o)h_o} + 2S_{xo} + (2 \div 3)P_{xo} = 2\sqrt{(70 - 3,75)3,75} + 2 \cdot 2,35 + 50 \text{ мм.}$$

$$3 \cdot 4,7 \approx$$

Крок та товщина зубу в осьовому перетині:

$$P_{xo} = P_{no} / \cos \lambda_{\tau o} = 4,71 / \cos 1,3^\circ = 4,7 \text{ мм};$$

$$S_{xo} = S_{no} / \cos \lambda_{mo} = 2,355 / \cos 1,3^\circ = 2,35 \text{ мм},$$

де λ_{mo} — кут нахилу стружкової канавки:

$$\lambda_{\tau o} = \gamma_{mo} = 1,3^\circ.$$

$$2.12. \text{Загальна довжина фрези } L = L_1 + 2l_1 = 50 + 10 = 60 \text{ мм},$$

де l_1 — ширина буртиків.

2.13. Діаметр буртиків:

$$d_1 = d_{ao} - 2H - (1 \div 3) = 70 - 2 \cdot 9,5 - 3 = 48 \text{ мм.}$$

2.14. Розрахунковий діаметр делительного кола:

$$d_{mo} = d_{ao} - 2h_{ao} - 2 \cdot \delta \cdot K = 70 - 2 \cdot 1,875 - 2 \cdot 0,38 \cdot 3 = 63,95 \text{ мм.}$$

					6261М.06.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						85
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.15.Розрахунковий кут підйому гвинтової лінії:

$$\sin \gamma_{mo} = \frac{m \cdot z_{\text{зах}}}{d_{mo}} = \frac{1,5 \cdot 1}{63,95} = 0,023; \gamma_{mo} = \arcsin \frac{m \cdot z_{\text{зах}}}{d_{mo}} = 1,31^{\circ}.$$

2.16. Кут нахилу стружкових канавок:

$$\lambda_{mo} = \gamma_{mo} = 1,31^{\circ}.$$

2.17. Крок гвинтових стружкових канавок:

$$P_K = \frac{\pi \cdot d_{mo}}{\tan \lambda_{mo}} = \frac{3,14 \cdot 63,95}{\tan 1,31} = 7723 \text{ мм.}$$

3. Геометрія зубців фрези.

3.1. Передній кут $\gamma = 0$.

3.2. Задній кут на вершині зубу фрези в перерізі,

перпендикулярному осі фрези:

$$\tan \alpha_b = \frac{K \cdot z}{\pi \cdot d_{ao}}; \alpha_b = \arctg \frac{3 \cdot 12}{3,14 \cdot 70} = 9,31^{\circ}.$$

3.3. Задній кут в напрямі витків черв'ячної фрези:

$$\tan \alpha_b' = \tan \alpha_b \cdot \cos \gamma_{mo},$$

- кут витків черв'ячної нарізки на зовнішньому циліндрі діаметру d_{ao} .

$$\tan \gamma_{mo}' = P_{xo} / \pi d_{ao} = d_{mo} \tan \gamma_{mo} / d_{ao};$$

$$\gamma_{mo}' = \arctg[63,95 \tan 1,31^{\circ} / 70] = 1,2^{\circ};$$

$$\alpha_b' = \arctg[\tan 9,31^{\circ} \cdot$$

$$\cos 1,2^{\circ}] = 9,31^{\circ}.$$

3.4. Профіль зубців фрези в вісєвому перетині (кути профілю правої α_{xRo} та лівої α_{xLo} бічних сторін зубу):

$$\alpha_{xRo} = 30,073^{\circ}.$$

а) визначаємо кут профілю архимедова черв'яка:

$$\cot \alpha_x = \cot \alpha \cdot \cos \gamma_{mo} = \cot 30^{\circ} \cdot \cos 1,31^{\circ} = 1,732; \alpha_x = 30^{\circ}.$$

б) визначаємо кути профілю бічних сторін зубців фрези:

- для правої сторони профілю:

$$\cot \alpha_{xRo} = \cot \alpha_x \cdot \frac{K \cdot z}{P_{ao}} = \cot 30^{\circ} \cdot \frac{3 \cdot 12}{7,723 \cdot 10^3} = 1,727.$$

					6261М.06.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						86
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Охорона праці – це система законодавчих актів і норм, направлених на забезпечення безпеки праці, і в відповідні їм соціально-економічних, організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів.

Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує задача охорони праці звести до мінімуму ймовірність ураження і захворювання робітників з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Турбота по охороні праці знаходиться в центрі уваги держави. Забезпечення безпечних і здорових умов праці є суспільною задачею.

В результаті комплексної механізації і автоматизації виробництва ліквідовано більшість важких і небезпечних професій, значно зменшилась професійна захворюваність. Науковими дослідженнями в області охорони праці в нашій країні займається ряд науково-дослідних організацій і лабораторій в тому числі інститутів по охороні праці., ряд галузевих інститутів, проектні організації, кафедри вузів.

В нашій країні зібрана система стандартів по безпеці праці, яка передбачає комплекс великої кількості взаємозв'язаних стандартів, направлених на забезпечення безпеки праці. Покращення умов праці призводить до таких соціальних результатів як покращення здоров'я робітників, підвищення ступня задоволення працею, укріплення трудової дисципліни, підвищення престижу ряду професій, розвитку свідомого відношення до праці і укріплення ряду інших показників.

5.1. Аналіз виробничих небезпек і шкідливостей

При аналізі умов праці на будь-якому машинобудівному виробництві необхідно розглядати виробничий процес і обладнання, навколишнє середовище і їх вплив на людину при виконанні робіт.

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						88
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виконанні технологічного процесу за допомогою тих чи інших умов праці, можливий контакт робітника з небезпечною зоною тобто виникає небезпека миттєвого ураження організму. Ці можливості обладнання чи технологічного процесу називають промисловими небезпеками. Навколишнє робоче середовище шкідливо впливає на організм робітника, підвищує його втомленість і знижує реакції на можливі небезпеки. При обслуговуванні машин можливі перенапруження як всього організму так і окремих його органів, що веде до виникнення виробничих шкідливостей.

Проектована дільниця механічної обробки різанням.

Організація безпеки виробничого процесу, обслуговування обладнання і приміщень покладена на промислового майстра, а також на суспільного інспектора по охороні праці. Знайдені недоліки відмічаються в спеціальному журналі, приймаються заходи по їх усуненню.

На дільниці розроблена інструкція по техніці безпеки для кожної категорії професій. Майстрами виконується повсякденний і кожного кварталу інструктаж по техніці безпеки.

Дільниця проектується з врахуванням норм промислової санітарії і протипожежної безпеки. Обладнання розставлено з врахуванням можливості вільного пересування по дільниці. Встановлені проходи для обслуговуючого персоналу і проїзд для транспорту. Рух транспорту на центральному проході двосторонній. Виступів і скатів на території дільниці немає, це сприяє підтриманню чистоти.

Обладнання на дільниці оснащене огорожувальними і захисними пристосуваннями, які відповідають умовам праці. Робочі місця обладнанні дерев'яними решітками і захисними стійками. Кожен робітник оснащений індивідуальними засобами захисту, спецодягом.

На дільниці раціонально вирішене питання освітленості робочих місць і всієї виробничої площі.

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						89
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення чистоти повітря в заданих метеорологічних умовах на ділянці передбачена природна вентиляція, відповідно СР 245 – 86, розрахунок якої приведений нижче.

Джерелами шуму на ділянці є верстати, рухомий транспорт, мостовий кран.

Нормами ДСТУ 2687–94 величина звукового тиску, який не повинен перевищувати 85дБ. Для скорочення інтенсивності шуму на ділянці застосовуються пружинні амортизатори, пружні підкладки, віддзеркалюючи екрани, передбачені звукопоглинанні конструкції. На випадок пожежі на ділянці є вогнегасники ОУ – 2, які встановлені на видимих і зручних місцях. На ділянці раціонально покращено обладнання, стіни відповідно з технікою безпеки. Верстати пофарбовані зелено – блакитною фарбою, а рухомі частини станків – світло-жовтою., панелі стін висотою до трьох метрів пофарбовані в салатовий колір. Виступаючі частини підйомно-транспортного обладнання (кабіни, гак і та ін.) пофарбовані в чорно-жовтий колір в вигляді смужок.

Електрокрани пофарбовані жовтою фарбою, тумбочки і шафи – світло-сірою.

Все обладнання на ділянці оснащено пристроями захисного заземлення чи автоматичного вимкнення для безпеки обслуговування. Всі струмопровідні частини ізолювані, огорожені кожухами чи розташовані на безпечній висоті для запобігання доторкання до них людини. Опір захисного заземлення 0,5 – 4 Ом. Опір ізоляції в мережах напруги 1000В повинно бути не нижче 500000Ом на фазу. Установки, що знаходяться в експлуатації, надаються перевіркам якості ізоляції два рази на рік. Відповідно правилам устрою електроустановок в мережах напругою 1000В, які не мають заземлення нейтралі чи фази, загальний опір заземляю чого пристрою в будь-який пори року не повинно перевищувати 40 Ом в установках з малими токами замкнення на землі (не менше 500А) не більше 10 Ом. Для безпеки людей від впливу електричного струму на ділянці передбачені дерев'яні решітки на підлозі біля верстатів. Підлога – цементна.

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						90
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Освітлення на даній ділянці штучне, люмінесцентними лампами білого світла (ЛБ). Система освітлення комбінована. Відповідно існуючим нормам природного освітлення за ДБН В.2.5-28-2006 величина освітленості повинна дорівнювати $E_{\min} = 300$ лк.

На кожному верстаті передбачені світильники місцевого освітлення, розташовані поблизу робочої поверхні. Це дозволяє:

1. Керувати світловим потоком і дякуючи цьому створювати кращі умови бачення;
2. Створювати високі рівні освітленості не тільки на горизонтальних, але й на вертикальних і похилих поверхнях;
3. Економити електроенергію, вимикати місцеве освітлення, коли верстат не працює.

На проєктованій ділянці виділення шкідливих речовин відсутнє.

5.2. Методологічні умови на ділянці

Методологічні умови або мікроклімат в виробничих умовах визначається наступними параметрами:

1. Температурою повітря, $t^{\circ}\text{C}$;
2. Відносною вологістю Y , %;
3. Швидкість руху повітря на робочому місці v , м/с;
4. Барометричним тиском P , мм рт.ст.

Людина постійно знаходиться в процесі теплової взаємодії з навколишнім середовищем. Для того щоб фізіологічні процеси в його організмі проходили нормально, тепло, що виділяється організмом, повинно відводитися в навколишнє середовище.

Відповідність між кількістю цього тепла і охолоджувальною спроможністю середовища характеризує її як комфортну. В умовах комфорту у людини не виникає турбуючи його теплових відчуттів – холоду чи перегріву. Порухення теплової рівноваги знижує працездатність людини, може призвести до нещасного випадку.

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						91
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метеорологічні умови на проєктованій ділянці повинні відповідати санітарним нормам проєктування промислових підприємств ДБН В.2.5-67:2013. Норми метеорологічних умов на робочих місцях проєктованої ділянці в холодний та перехідний період року визначаються параметрами:

1. Температурою повітря, $t = 17 - 19^{\circ}\text{C}$;
2. Відносною вологістю $Y = 60 - 30\%$;
3. Швидкість руху повітря на робочому місці v не більше $0,5\text{ м/с}$;
4. Барометричним тиском $P = 760\text{ мм рт.ст.}$

Метеорологічні умови в теплу пору року повинні відповідати наступним параметрам:

1. Температурою повітря, $t = 20 - 23^{\circ}\text{C}$;
2. Відносною вологістю $Y = 60 - 30\%$;
3. Швидкість руху повітря на робочому місці $v = 0,2 - 0,5\text{ м/с}$;
4. Барометричним тиском $P = 760\text{ мм рт.ст.}$

Для забезпечення нормальних умов на проєктованій ділянці передбачена природна вентиляція. При природній вентиляції (аерації) повітрообмін в будівлі проходить в силу питомої ваги повітря зовні і в середині будівлі.

На визначеній висоті будівлі, в так званій площині рівних тисків, розташованої приблизно на середині висоти будівлі цеху, різниця тисків зовнішнього і внутрішнього повітря дорівнює 0.

Нижче площини рівних тисків існує розрідження, обумовлене надходженням зовнішнього повітря.

$$H_1 = h_1 \cdot (Y_H - Y_B) = 5,46 \cdot (1,205 - 1,185) = 0,1092\text{ кгс/м}^2;$$

де, $Y_H = 1,205\text{ кгс/м}^2$ – питома вага зовнішнього повітря при $t = 20^{\circ}\text{C}$;

$Y_B = 1,185\text{ кгс/м}^2$ питома вага повітря в середині цеху при $t = 25^{\circ}\text{C}$;

h_1 – відстань від центру нижніх підйомів до площин рівних тисків.

Вище площини рівних тисків існує збитковий тиск, яке на рівні центру верхніх отворів (кгс/м^2):

$$H_2 = h_2 \cdot (Y_H - Y_B) = 10,81 \cdot (1,205 - 1,185) = 0,2162\text{ кгс/м}^2.$$

Це тиск, що направлений зовні будівлі, викликає витягування повітря.

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						92
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна величина гравітаційного тиску, під тиском якого виникає повітрообмін в приміщенні, дорівнює сумі тисків на рівні нижніх проїомів.

$$H_r = H_1 + H_2 = h \cdot (Y_H - Y_B) = 16,27 \cdot (1,205 - 1,185) = 0,3254 \text{ кгс/м}^2.$$

При розрахунку визначаємо площину .

Розрахунок проводиться для літнього часу як самого несприятливого для аерації.

Швидкість руху повітря в проїомі визначається за формулою:

$$V = \frac{2g \cdot H}{Y} \text{ м/с}$$

де, g – прискорення земного тяжіння;

Y – питома вага повітря;

H – різниця тисків зовнішнього і внутрішнього повітря.

$$V = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4324}{1,205} = 2,65 \text{ м/с.}$$

Визначимо потрібну площу проїомів за формулою:

$$F = \frac{L}{M \cdot V^2};$$

де, L – повітрообмін;

M – коефіцієнт витрат;

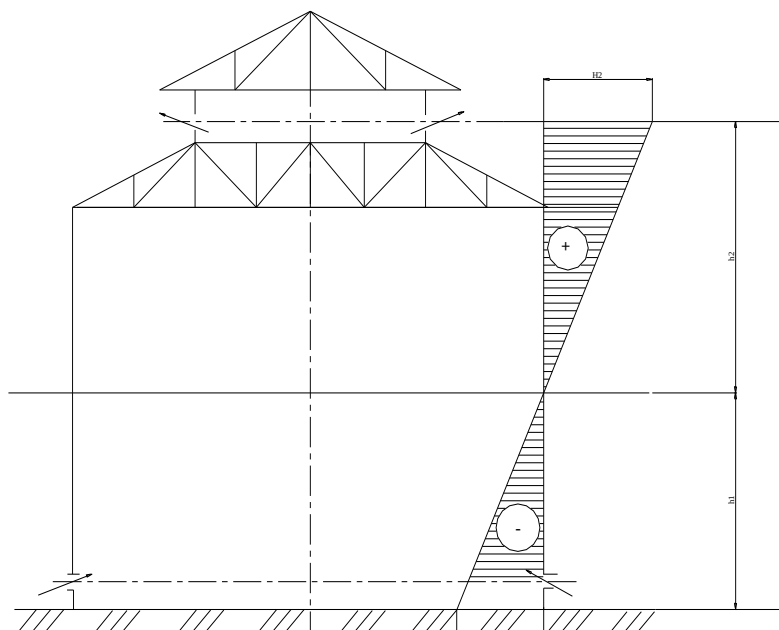


Рис. 5.1. Схема розподілу тисків при аерації

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						93
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На спроектованій механічній дільниці є вентиляція з попереднім підігрівом повітря. Для підтримання в зимній період нормальних температур на дільниці, що відповідають санітарним нормам, встановлені калорифери, в яких виконується підігрів повітря, яке подається вентиляторами.

Для службових і побутових приміщень передбачено парове опалення від центральної отоплювальної системи підприємства.

					6261м.06.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						94
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Охорона навколишнього середовища

6.1 Вступ

Однією з найважливіших задач, що стала перед людством у XX столітті, є охорона навколишнього середовища. За тривалий час свого існування людство впливав на природу, скидаючи і зливаючи в ріки і моря відходи, забруднюючи тим самим навколишній простір, тим самим порушуючи екологічний баланс місцевості. Навколишнє середовище може забруднюватися різними шляхами: хімічним (зливи, викиди), фізичними (джерела підвищеного випромінювання шуму, ультра і інфразвуку, інфрачервоного випромінювання); біологічним (органічні аерозолі). Обробка металів різанням має безліч відходів, який необхідно або знищувати або переробляти. Деякі категорії відходів необхідно цілком ізолювати від навколишнього середовища. Тому охорона навколишнього середовища виростає у велику проблему, представляючи собою комплекс заходів щодо захисту, раціональному використанню живої і неживої природи.

Для організації природоохоронної роботи на підприємстві створюється служба охорони навколишнього середовища, що перебуває в безпосереднім підпорядкуванні головного інженера.

Робочим органом цієї служби є бюро охорони навколишнього середовища, що здійснює методичне керівництво санітарно промисловою лабораторією й у взаємодії з іншими підрозділами підприємства вирішує всі природоохоронні питання. Санітарно промислова лабораторія здійснює лабораторний контроль за якістю стічних вод, атмосферного повітря і промислових відходів.

6.2 Заходи щодо охорони навколишнього середовища

Машинобудівне виробництво відрізняється різноманітністю створюваних забруднень, що обумовлюється великою різноманітністю застосовуваних матеріалів і сировини, технологічних процесів. При обробці корпусу нижньої коробки приводів можливі наступні види забруднень:

					6261м.06.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						96
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забруднення навколишнього простору стружкою;
- забруднення повітряного середовища (пил, аерозолі);
- забруднення водяного середовища;
- шумове забруднення.

Для запобігання забруднення навколишнього простору стружкою на території заводу необхідно передбачити спеціальні місця, куди звалюється вся стружка (причому для кожної групи металів окремо) і здійснювати своєчасний вивіз стружки.

6.2.1. Забруднення повітряного середовища

Металорізальне устаткування в процесі обробки викидає в повітря пил різного розміру і хімічного складу, аерозолі олій і емульсій, випар олій і СОР. Зміст шкідливих газів, пар, пилу в повітряному середовищі робочої зони не повинне перевищувати ПДК за ГОСТ 12.1.005-88.

Викиди в атмосферу від устаткування механічної обробки на 1 кВт потужності електродвигуна верстата:

- для верстатів з емульсійним охолодженням - туман-емульсія 0,063 грн.
- для шліфувальних верстатів викид пилу 50 гр/годину.

При шліфуванні виділяється велика кількість тонкодисперсної пилу, що укрив шкідливий для легень людини і навколишнього середовища. Пил, що утвориться, на 30 – 40 % складається з матеріалу абразивного інструменту та на 60-70 % з матеріалу виробу.

Для зменшення і виключення викиду в атмосферу застосовується місцевий відсос повітря з зони обробки, а потім його очищення перед викидом в атмосферу. Для очищення повітря в промисловості застосовується циклон циліндричний ЦН-15.

6.2.2. Забруднення водяного середовища

Підприємство для технологічних нестатків споживає чисту прісну воду і скидає в навколишні їхні водойми забруднені стічні води. В основному

					6261м.06.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						97
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднюють воду піском, окалиною, металевою стружкою, нафтопродуктами. Забруднення вод нафтопродуктами відбувається в результаті зливу відпрацьованих миючих розчинів, емульсій, електролітів. Широке застосування води для охолодження приводить до підвищення температури стічних вод. У результаті гідросфера піддається інтенсивному тепловому впливу.

Очищення стічних вод у промисловості здійснюються до концентрацій, що відповідають “Правилам охорони поверхні вод від забруднення стічними водами” і вимог СНІП 11-32-88. Очисні спорудження промислових стоків призначаються для прийому, очищення, знешкодження хімічно забруднених стоків.

Очистка стічних вод

На проєктованій ділянці широко використовується вода. Вона використовується для охолодження інструменту, промивки деталей, обробки приміщень. При цьому стічні води забруднюються мінеральними маслами, металевим та абразивним пилом та емульгаторами.

В процесі механічної обробки СОР забруднюється металевими частками з концентрацією до 20%.

Проєктом передбачено очищення стічних вод. Послідовно проводиться спочатку очищення від механічних домішок, потім від масловмістких. Відділення від механічних домішок проводиться в полі дії відцентрових сил. Для цього використовуються відкриті гідроциклони, їх застосовують для відділення із стічних вод крупних механічних домішок із швидкістю відділення більше 0,02 м/с.

Їх переваги перед іншими типами:

- велика продуктивність та мали втрати напору, які не перебільшують 0,5 Па.

Продуктивність гідроциклону.

$$Q_v = 0,785 \cdot g \cdot D^2,$$

де g – питома вага розходу води; $D = 2,0\text{м}$ - діаметр циліндричної частини.

$$g = 4,32 \cdot W = 4,32 \cdot 0,2$$

$$Q = 0,785 \cdot 0,086 \cdot 2^2 = 0,27 \text{ м}^3/\text{с}$$

					6261м.06.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						98
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висота циліндричної частини $H = D = 0,2$ м.

Діаметр вхідного отвору $d = 0,1 \cdot D = 0,2$ м.

Очищення стічних вод від масловмістких домішок проводиться флотацією, з подальшим фільтруванням.

Флотація (маслопродуктів) полягає в інтенсифікації спливання маслопродуктів, жирів, при обволіканні їх частинок бульбашками повітря, що подається в стічну воду.

Ефективність очистки досягається в результаті фільтрації. Це пояснюється тим, що концентрація маслопродуктів в стічній воді, після очистки флотацією, складає $0,05 \text{ кг/м}^3$ та значно перевищує допустимі концентрації в водоймах.

Кращим фільтраційним матеріалом є кварцовий пісок.

Регенерація і знешкодження відпрацьованих СОР.

Для регенерації та знешкодження відпрацьованих СОР в проекті ділянки передбачений спосіб хімічного розпаду емульсії.

Реагентом є концентрована серна кислота та кальцинована сода.

Технологія розпаду емульсії.

Технологія хімічного розпаду емульсії складається:

Відпрацьована емульсія збирається в підземну збірку, з якої насосом подається в нефтеловушки, потім подається в реактор підкислення, де обробляється що поступає через дозатор з витратного бака концентрованої сірчаною кислотою ($19,2 \text{ кг на } 1 \text{ м}^3$ емульсії).

З реактора подається на флотаційну машину, де відбувається розпад її шляхом спінювання.

Легкий продукт (залишки мила на поверхні активних речовин) опилоється скребками та поступає самостійно в маслоуловлювач, а звідти на регенерацію або спалювання.

Водна фаза з машини флотації обробляється 20% розчином кальцинованої соди ($2 \text{ кг на } 1 \text{ м}^3$ емульсії) в нейтралізаторі.

З нейтралізатора стічна вода поступає в горизонтальний відстійник, де проводиться контроль вмісту у воді нафтопродуктів. Контроль здійснюється при зборі в каналізацію. У воді повинно бути не більше 25 г/м^3 нафтопродуктів.

					6261м.06.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						99
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.3 Шумовий вплив на навколишнє середовище

Основними джерелами шуму при роботі металорізальних верстатів є елементи їхніх приводів (електродвигуни, зубчасті передачі), особливо при наявності зносу, а також сам процес різання і вібрації технологічної системи. Звичайно рівень шуму знаходиться в межах до ... 10 дБ. Спектр шуму середньо і низькочастотний. Найбільш високі рівні шуму зареєстровані при роботі на великих токарських і фрезерних верстатах. Для зменшення рівня гучності устаткування необхідно вчасно робити балансування обертових елементів машин, звукоізоляцію виробничих приміщень.

					6261м.06.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						100
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Магістерська робота на тему «Підвищення довговічності вал-шестерні технологічними методами ($m = 1,5 \text{ мм}$; $z = 25$)» розроблена відповідно до діючих стандартів ЄСТД. Для важко навантажених валів-шестерен, до яких пред'являються підвищенні вимоги з міцності, заготовку перед загартуванням СВЧ потрібно термообробляти поліпшенням. Така комплексна термообробка (поліпшення, загартування СВЧ) є традиційною для деталей, до яких пред'являються високі вимоги з поверхневої твердості та підвищеної зносостійкості (шестерні, вали, вісі). Заготовка вала-шестерні одержується методом штампування. Тому застосування сталі 40Х, яка добре оброблюється тиском, обгрунтовано. Усі відхилення і допуски на розміри елементів вала-шестерні встановлені відповідно до основних стандартів Єдиної системи допусків і посадок. Конструкція деталі забезпечує доступ до всіх оброблюваних поверхонь. У цілому за результатами якісної оцінки можна зробити висновок про технологічність конструкції деталі вал-шестерня.

В кваліфікаційній роботі надано опис призначення деталі та характеристика матеріалу, з якого вона виготовлена, зроблено аналіз її технологічності, вибір та обгрунтування типу виробництва, розроблено технологічний процес виготовлення, а також розглянуті питання використання методів формування зубців та їх вплив на несучу здатність коліс, методів остаточної обробки зубців, основні методи та механізм механічного зміцнення зубчастих коліс, вплив точності виготовлення та складання зубчастих передач на несучу здатність та довговічність.

В магістерській роботі наведені розрахунки спеціальних пристосувань та ріжучого і вимірювального інструментів: пристрою на зубофрезерувальну операцію, черв'ячної модульної фрези для нарізання зубців з евольвентним профілем. Наведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів на дільниці, методологічні умови на дільниці, заходи з охорони навколишнього середовища.

Література

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування Проектування та виробництво заготовок. - Підручник. – Львів, Світ, 1996. – 368 с.
2. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва. - Навчальний посібник. – Київ: ІСДО, 1993. – 544 с.
3. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування. - Навчальний посібник для студентів вищих технічних навчальних закладів. – Львів, Магнолія, 2007. – 567 с.
4. Горбатюк Є.О., Мазур М.П.,Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування. - Навчальний посібник. – Львів, «Новий Світ-2000», 2012. – 358 с.
5. Довідник технолога-машинобудівника. в 2-х т. /Під заг.ред.А.Г.Косилової та Р.К.Мещерякова. – 5 вид., переробл. і доп. – Київ, Техніка, 1990. -
6. Івченко Л.І. Державні стандарти в машинобудуванні і металообробці/Л.І.Івченко, В.В.Петракін. – Харків, Компанія «Сміт», 2006. – 320 с.
7. Колкер Я.Д., Руднєв О.Н. Базування та бази в машинобудуванні. - Начальний посібник. – Київ, Вища школа, 1991. – 100 с.
8. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування. – Підручник для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та системи». – Житомир, Держ.університет «Житомирська політехніка», 2009. –
9. Обробка металів різанням. Довідник технолога /Н.А.Панов, В.В.Анікін, Н.Г.Бойм та ін. Під заг.ред. А.Н.Панова. – Київ, Техніка, 1991. – 740 с.
10. Паливода Ю.Є., Дячун А.Е., Лешук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки. – Навчально-методичний посібник. – Тернопіль: Тернопільський нац.техн.університет ім. Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

						Арк.
						101
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Пістун І.П., Кіт Ю.В., Березовецький А.П. Практикум з охорони праці. – Навчальний посібник. - /За заг.редк.т.н., І.П.Пістуна. – Суми, Вид-во «Університетська книга», 2000. – 207 с.

12. Руденко П.О., Харламов Ю.А. Проектування і виробництво заготовок у машинобудуванні. – Навчальний посібник. Під ред. В.М.Плескача. – Київ, Вища школа, 1991. – 247 с.

13. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. – Навчальний посібник для машинобудівних спец.вузів. – Київ, Вища школа, 1993. – 414 с.

14. Соловійов С.М., Шумілов О.П., Івахненко М.М., Бобошко В.О., Козленко О.О. Практикум з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей машин». – Навчальний посібник . Під заг.ред. проф. С.М.Соловійова. – Миколаїв, НУК, 2016. – 172 с.

15. Технологія машинобудівних підприємств. - Підручник /В.Л.Дикань, Ю.Є.Калабухін, Н./Каличева та ін. За заг.ред. В.Л.Диканя. – Харків, УкрДЧЗТ, 2020. – 386 с.

16. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт. – Навчальний посібник/І.І.Юрчишин, Я.М.Литвиняк, І.Е.Грицай, М.Л.Кухляк, Я.М.Кусій, В.В.Ступницький, В.А.Яцюк, А.М.Кук, Е.М.Махоркін, В.П.Свізінський. За заг.ред.І.І.Юрчишина. – Львів, Вид-во національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 528 с.

17. Ткаченко І.Г., Капаціла Ю.Б., Паливода Ю.Є. Технологія машинобудування: Вступ до спеціальності. – Навчальний посібник. – Тернопіль, Тернопільський нац.тех.університет ім.Івана Пулюя, 2013. – 84 с.

18. Ткачук К.Н., Іванчук Д.Ф. та ін. Довідник з охорони праці на промисловому підприємстві. – ДО, Техніка, 1991.

19. Тубальцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок. – навчальний посібник. – Миколаїв, УДМТУ, 2001. – 84 с.

20. Хлопенко Б.К., Шумілов О.П., Івахненко М.М., Козленко О.О. Проектування технологічних процесів обробки типових деталей. – Навчальний посібник. – Миколаїв, УДМТУ, 2003. – 56 с.

					Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					102

21. Яковенко І.Е., Пермяков О.А., Фесенко А.В. Технологічні основи машинобудування. – Навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування». – Харків, НТУ «ХПУ», 2022. – 421 с.

						Арк.
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103