

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Металорізальні верстати та інструмент

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка конструкції фрезерного (багатоцільового)
верстата з ЧПК

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи Мз-211м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та інструменти

Гончаренко С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Солоха В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

- креслення конструкції стола верстата з вибраними напрямними

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 Аналіз конструкцій напрямних металорізальних верстатів	Солоха В.В., доцент		
2 Аналіз матеріалів напрямних ковзання	Солоха В.В., доцент		
3 Демпфуючі властивості матеріалів	Солоха В.В., доцент		
4 Вибір і розрахунки параметрів напрямних ковзання	Солоха В.В., доцент		
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Шмирко В.І., доцент		
Нормоконтроль	Мавтвеєнко Л.С., старший викладач		

7. Дата видачі завдання « 05 » вересня 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Порівняльний аналіз напрямних	15.10.22	
2.	Аналіз різних матеріалів напрямних ковзання	28.10.22	
3.	Вибір форми і розмірів напрямних, розрахунок напрямних	14.11.22	
4.	Розробка креслень конструкції стола верстата з вибраними напрямними	10.12.22	
5.	Оформлення пояснювальної записки		
6.	Оформлення презентації		

Студент(ка) _____
(підпис)

Гончаренко С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____
(підпис)

Солоха В.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 100 с., 30 рис., 14 таблиць, 2 додатки, 13 літературних джерел.

Об'єкт роботи: фрезерний верстат з ЧПК з напрямними ковзання.

Мета роботи: розробка конструкції багатоцільового верстата з напрямними ковзання, що забезпечують високі динамічні властивості та роботу зі значними навантаженнями.

Проаналізовані різні види напрямних, які застосовуються в верстатах з ЧПК та їх вплив на характеристики верстата.

Для напрямних ковзання проведений аналіз матеріалів напрямних ковзання з погляду забезпечення мінімізації коефіцієнту тертя та зношування напрямних; підвищення їх довговічності; збільшення демпфування.

Найкращі демпфуючі властивості мають полімерні матеріали. Вибрані матеріали які мають мінімальний коефіцієнт тертя та зношування.

Для вибраної конструкції напрямних проведені розрахунки розподілу тиску на гранях напрямних.

ВЕРСТАТ, КОНСТРУКЦІЯ, НАПРЯМНІ, НАПРЯМНІ КОВЗАННЯ, ОБЛАДНАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, НАДІЙНІСТЬ, ТОЧНІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ДОВГОВІЧНІСТЬ, ШВИДКІСТЬ.

ABSTRACT

EN: 100 p., 30 drawing, 14 tables, 2 appendices, 13 literary sources.

Object of work: CNC milling machine with sliding guides.

The purpose of the work: development of the design of a multi-purpose machine with sliding guides that provide high dynamic properties and work with significant loads.

Different types of guides used in CNC machines and their influence on machine characteristics are analyzed.

For sliding guides, an analysis of the sliding guide materials was carried out in order to ensure the minimization of the coefficient of friction and wear of the guides; increasing their durability; increasing damping.

Polymer materials have the best damping properties. Selected materials that have a minimum coefficient of friction and wear.

Distribution calculations were made for the selected design of the guides pressure on the edges of the guides.

MACHINE, DESIGN, DIRECT, DIRECT SLIDE, EQUIPMENT, LOAD, RELIABILITY, ACCURACY, DURABILITY, DURABILITY, SPEED.

Зміст

Завдання на дипломний проект	2
Реферат	4
Вступ	8
1 Аналіз конструкцій напрямних металорізальних верстатів	10
1.1 Напрямні кочення.....	10
1.2 Напрямні ковзання	16
2 Аналіз матеріалів напрямних ковзання.....	25
2.1 Технологічні вимоги до матеріалів напрямних ковзання.	25
2.2 Чавун незагартований	28
2.3 Загартовані чавунні та сталеві метали високої твердості	30
2.4 Кольорові метали	33
2.5 Пластмаси	36
2.6 Матеріал Turcite-B Slydway	41
2.7 Напрямні "Box Way"	49
3 Демпфуючі властивості матеріалів	56
4 Вибір і розрахунки параметрів напрямних ковзання	62
4.1 Попередній вибір форми і розмірів напрямних.....	62
4.2 Розрахунок розподілу тиску на гранях напрямних	63
4.3 Розрахунок напрямних ковзання за видом тертя.....	69
4.4 Порівняння впливу різних пар тертя на їх довговічність	71
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	73
5.1 Аналіз потенційних небезпек	73
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	76
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	78
5.4 Аналіз та заходи безпеки під час роботи на фрезерних верстатах з ЧПК	83
5.5 Заходи з пожежної безпеки.....	88
5.6 Забезпечення стійкої роботи комунально-енергетичних систем промислового об'єкта.....	91

Висновки.....	95
Перелік джерел посилання	97
Додаток А	99
Додаток Б.....	100

Вступ

Сучасна обробка матеріалів та виготовлення складних деталей передбачає використання високоточних верстатів. Високоточне обладнання має на увазі, що і деталі з яких воно виконане теж високотехнологічні та точні. І для кожного виду верстата свої вимоги до цих деталей.

Щоб досягти необхідної точності обробки цілої партії виробів, необхідно забезпечити чітке виконання всіх необхідних операцій та багаторазове безпомилкове їх повторення. Таке завдання успішно виконують верстати із числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Переміщення заготовки, обробного інструменту та пов'язаних з ними елементів конструкції верстата забезпечують напрямні.

Напрямні верстатів служать для здійснення руху подачі робочих органів, головного руху (карусельні та поздовжньо-стругальні верстати) та перестановки вузлів, наприклад, задніх стійок горизонтально-розточувальних верстатів, задніх бабок токарних верстатів, люнетів та інших. По траєкторії розрізняють напрямні прямолінійного і кругового руху, розташуванням у просторі – горизонтальні, похилі і вертикальні напрямні.

Напрямні верстатів з ЧПУ повинні мати такі властивості:

- забезпечувати переміщення вузлів з мінімальними відхиленнями від заданої траєкторії з точним виходом в задане положення;
- створювати найменший опір переміщенню вузлів; забезпечувати збереження працездатності та точності протягом тривалого терміну експлуатації;
- зменшувати і по можливості усувати нерівномірність переміщення та стрибки при повільних рухах та моменти торкання з місця та зупинок;
- забезпечувати демпфування коливань, що виникають при повільних переміщеннях, різанні та резонансних явищ у ланцюгах приводів подач.

Ці властивості визначаються геометричною точністю напрямних, жорсткістю та демпфуючими властивостями конструкції, матеріалами та

зносостійкістю пари тертя, умовами мастила та його видом, конструктивними особливостями напрямних та якістю їх виготовлення.

При конструюванні напрямних прагнуть досягти, щоб тиск від сил різання та маси вузлів розподілявся по довжині напрямних більш рівномірно, а перекидні моменти від сил різання і тяги, що діють рухливі вузли, були малими.

При переміщеннях рухомих вузлів у процесі обробки тиск має зберегтися на одних і тих же гранях напрямних, інакше можливе переорієнтування вузлів у просторі та виникнення похибок обробки.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ НАПРЯМНИХ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Напрямні верстатів є опорами прямолінійного і кругового руху в верстатах. Використовуються напрямні ковзання змішаного або граничного тертя та гідростатичні і напрямні кочення. Кожен з типів напрямних має свої недоліки і переваги.

1.1 Напрямні кочення

Напрямні кочення знаходять широке застосування в верстатах підвищеної точності. Вони дозволяють здійснювати швидкі переміщення з високою точністю. Втрати на тертя дуже малі та опір руху значно (до 20 разів) менше, ніж в напрямних ковзання. [1]

Напрямні кочення представляють собою роликові або кулькові вузли, встановлені на рейках. Системи стали поширеними в машинобудуванні, оскільки вони вимагають менше механічної обробки і шліфування. [2]. Взагалі то напрямні кочення і тіла кочення і рейки обов'язково гартуються, тільки сучасні – у виробника напрямних.

Діляться напрямні кочення по типу тіл кочення [1]:

- кулькові - найбільш широко використовують тому що вони забезпечують високу швидкохідність та достатню несучу здатність. (рис.1.1);

- роликові (рис. 1.2) та голчасті (рис. 1.2, 1.3) – роликові застосовують у вузлах, які піддаються дії значних навантажень, особливо перекидальних моментів;

- роликові на осях (рис. 1.4).

За формою напрямних поверхонь напрямні діляться:

- напрямні з плоскими гранями;

- напрямні циліндричні (так звані кулькові втулки).

За виглядом переміщення — на напрямні прямолінійного та кругового руху.

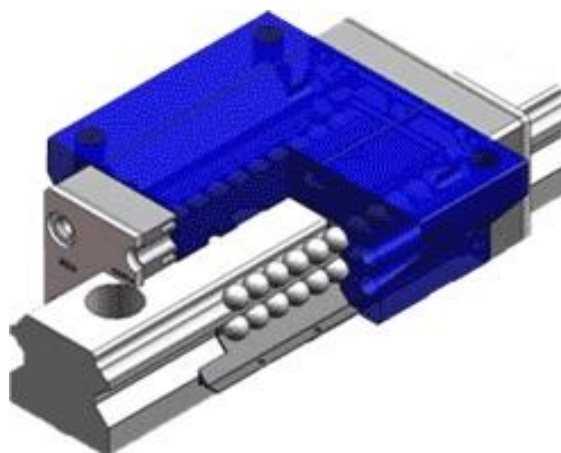
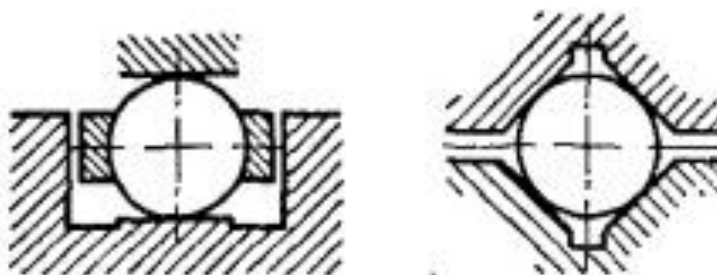


Рисунок 1.1 – Кулькові напрямні



Рисунок 1.2 – Роликові напрямні

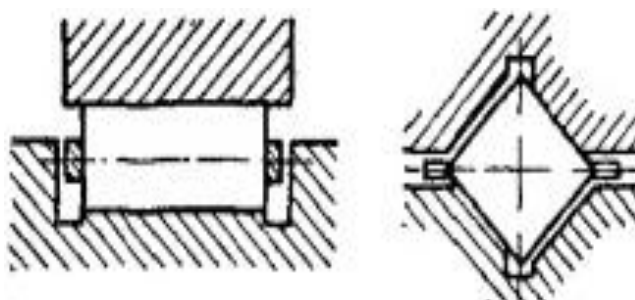


Рисунок 1.3 – Роликові та голчасті напрямні

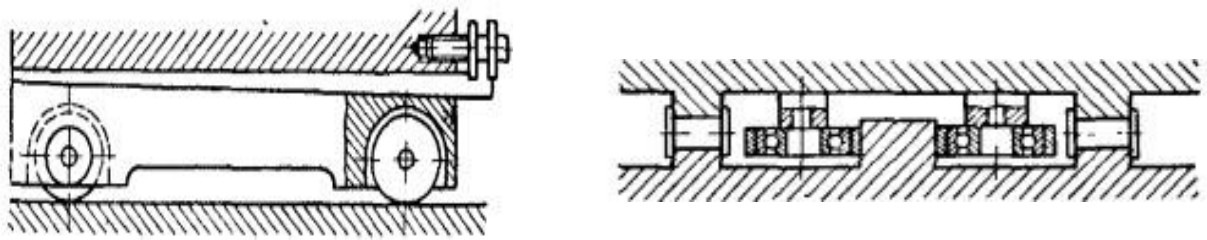


Рисунок 1.4 - Роликові напрямні на осях

Кулькові профільні напрямні типу Hiwin рис. 1.5 забезпечують прецизійне переміщення, прямолінійність, вантажопідйомність. Вони мають низький люфт. Вони зносостійкі. Їх використовують для комплектування робототехнічних ліній, у металорізальних верстатах та прецизійній металообробці.

Водночас встановлювати такі рейки досить складно; високі вимоги до прямолінійності та шорсткості. За вартістю, за складністю виробництва, вони набагато менш доступні, ніж наприклад напрямні вали.

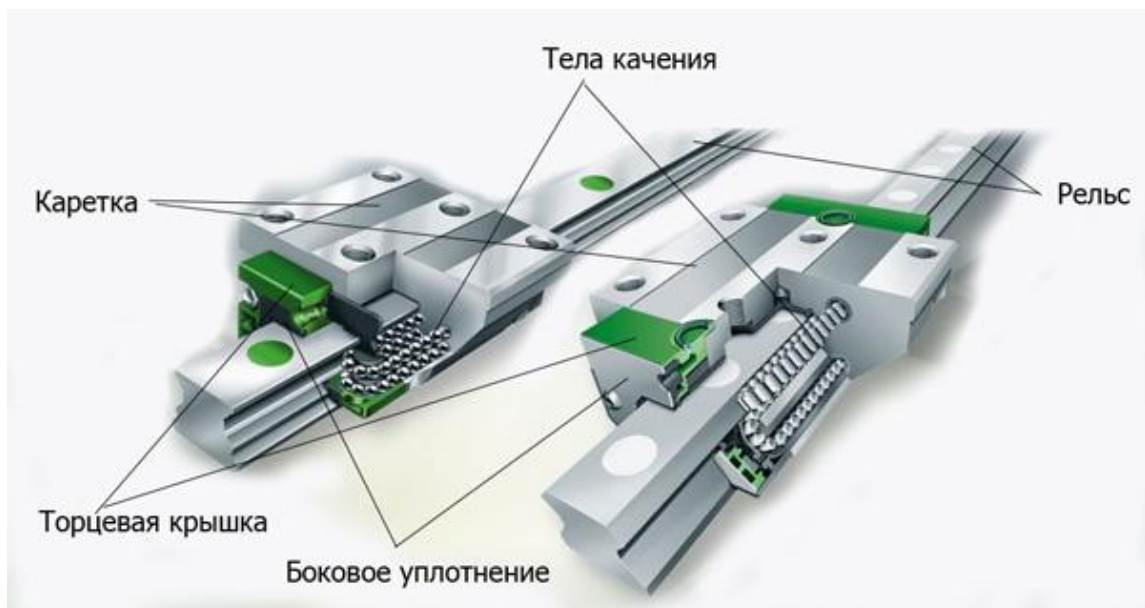


Рисунок 1.5 - Профільна рейкова напрямна типу Hiwin

Лінійна напрямна EXRAIL від NB Corporation рис. 1.6 має більше роликів на меншому просторі, ніж інші лінійні підшипники, що збільшує вантажопідйомність і рівномірно розподіляє навантаження. Напрямна має більш довгі ролики для більшої контактної поверхні та меншого контактного тиску.

Порівняно з доступними в даний час лінійними напрямними напрямна EXRAIL забезпечує більш плавний рух. У ній використовується кілька голчастих роликів малого діаметра, які зменшують динамічний опір тертя та діапазон коливань динамічного опору тертя.

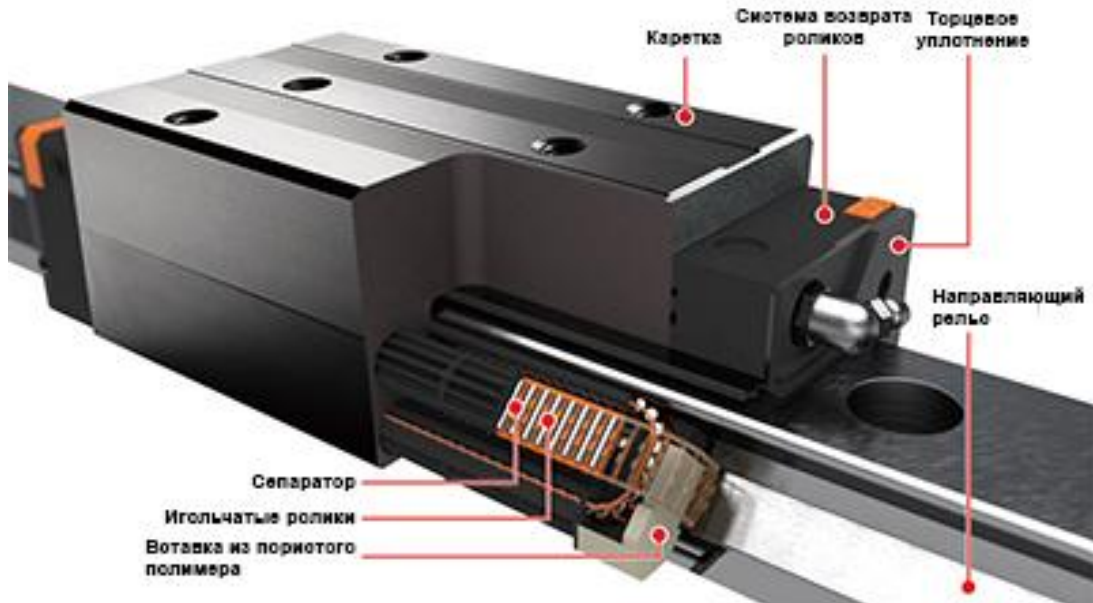


Рисунок 1.6 – Напрямна кочення з голчастими роликами EXRAIL

Напрямні кочення мають менший коефіцієнт тертя (коефіцієнт тертя становить 0,003...0,005), вони забезпечують високу плавність переміщень, допускають високі швидкості і прискорення переміщень. У відповідному виконанні вони забезпечують високу навантажувальну здатність, жорсткість та довговічність системи, точність переміщень. Однак перевага більш високих швидкостей відбувається за рахунок динамічної жорсткості, яка впливає на точність компонентів в динамічних умовах механічної обробки. Крім того, при коротких переміщеннях за осями, як в токарному верстаті з ЧПУ, відстань переміщення недостатньо для досягнення цих швидкостей, і, отже, такі швидкості стають недоречними.

Поверхня контакту в напрямних кочення обмежується точкою, в якій контактують кулька або лінією для роликових і доріжки кочення. Оскільки площа поверхні контакту є ключовим фактором в демпфуванні, жорсткості і стабільності, напрямні кочення мають значно менші демпфуючі властивості і більш сприйнятливі до бічних ударів, ніж напрямні ковзання.

Напрямні кочення з попереднім натягом забезпечують відсутність зазорів у сполученні, достатньо високу жорсткість та дещо більші, ніж в напрямних без натягу, демпфуючі властивості. На реальних величинах попереднього натягу втрати на тертя в напрямних досить малі і точність встановлювальних переміщень так само висока, як і в напрямних без натягу.[3]

Знос напрямних кочення відбувається внаслідок втоми елементів сполучення (напрямної та тіл кочення) та внаслідок тертя в елементах.

В процесі кочення лінійної опори під навантаженням, напрямна та тіла кочення (кульки чи ролики) перебувають під постійним циклічним напруженням. Внаслідок втоми матеріалу відбувається руйнування поверхонь – частки поверхонь відшаровуються.

Довговічність напрямної кочення (лінійної опори) визначається загальною відстанню переміщення від часу запуску до часу, коли на поверхні напрямної або елемента кочення з'являться перші пластівці відшарування. Довговічність опори може суттєво відрізнитися навіть тоді, коли вони виготовлені і експлуатуються в однакових умовах

Основні переваги та недоліки напрямних кочення наведені в таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки напрямних кочення

Переваги	Недоліки
- рівномірність руху при повільних переміщеннях (немає стрибків); - висока точність настановних переміщень; - неспливання столу при високих швидкостях; - малі (особливо під час рушання з місця) зусилля переміщень; - малі тепловиділення у приводі та малі габарити приводу для переміщення вузла по напрямних; - висока довговічність та точність; - проста система мастила.	- висока вартість (при застосуванні сталевих загартованих напрямних); - трудомісткість виготовлення; - знижене демпфування вздовж напрямних в умовах відсутності руху по напрямних та в умовах руху з малими швидкостями; - підвищена чутливість до забруднень; - утворювання внутрішніх тріщини у роликах та кульках напрямних, що в подальшому можуть призвести до поломки; - схильність до пошкодження при несправності верстата.

Схема напрямних кочення приведена в Додатку А.

1.2 Напрявні ковзання

Напрявні прямолінійного руху - це опори, зазвичай прямокутної, призматичної або циліндричної форми, які забезпечують прямолінійність переміщень деталей (столів, супортів, повзунів) у заданому напрямку та сприймають чинні на них сили. Частіше напрямні ковзання виготовляють як одне ціле з базовою деталлю рис. 1.7.

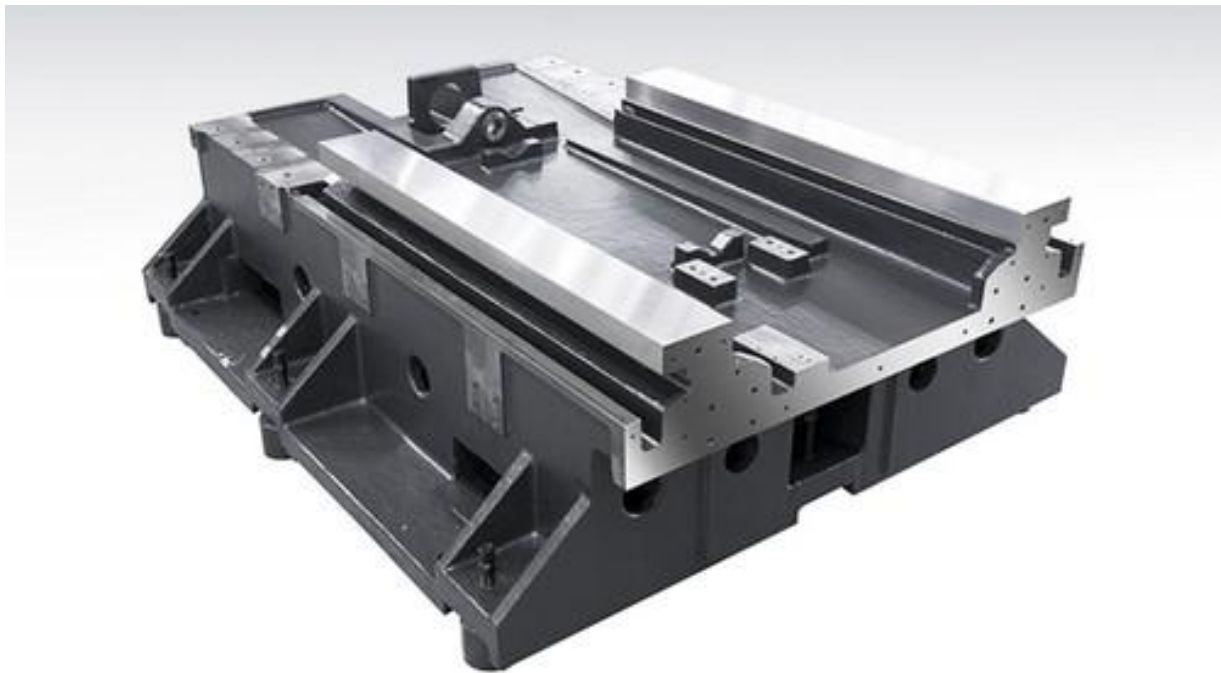


Рисунок 1.7 - Основа верстата з прямокутними напрямними

Напрявні ковзання широко застосовують у машинах. Найбільш поширені такі групи напрямних:

- напрямні металорізальних верстатів, котрим характерні велика довжина ходів, великі діапазони швидкостей (від малих швидкостей подачі до значних швидкостей головного руху) та високі вимоги до точності;
- напрямні ковальсько-пресових машин, для яких характерні великі осьові навантаження (у напрямку переміщень) та підвищені температури;
- напрямні повзунів (крейцкопфів) поршневих двигунів, для яких характерні навантаження в одній площині (площині кривошипно-шатунного механізму), значні швидкості та здебільшого підвищені температури.

У таблиці 1.2 представлені ряд вимог до напрямних ковзання [1].

Таблиця 1.2 – Загальні вимоги до напрямних ковзання

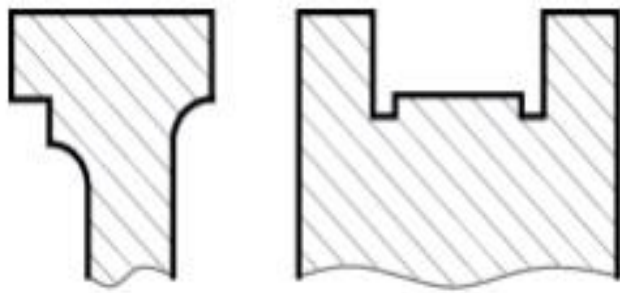
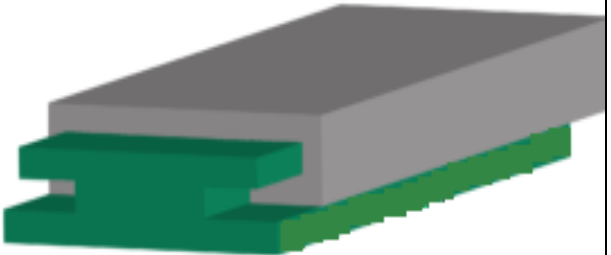
Точність відносного руху (по напрямних) вузлів, що несуть заготівлю та інструмент	визначається геометричною точністю напрямних, жорсткістю корпусних деталей і напрямних, жорсткістю і сталістю товщини шару мастила на напрямних, величиною температурних деформацій корпусних деталей;
Довговічність за точністю	визначається режимом тертя, зносостійкістю напрямних (пари тертя), вибором конструкції напрямних, що забезпечують малий вплив їхнього зносу на точність обробки, величиною деформацій корпусних деталей від залишкових напруг;
Рівномірність повільних рухів та точність настановних переміщень вузла	залежать від режиму тертя, двигуна та механізму приводу (жорсткості характеристики двигуна, жорсткості кінематичного ланцюга приводу); умов змащення напрямних та видів мастила; матеріалів пари тертя; конструкції напрямних та якості їх виготовлення;
Відсутність вібрацій у процесі різання	визначається динамічними властивостями технологічної системи, у тому числі жорсткістю та демпфуванням у напрямних;
Малі сили тертя у напрямних	від цього залежить потужність та габарити двигуна та елементів приведення подач, тепловиділення та температурні деформації (істотно для напрямних головного руху)
Ремонтопридатність	визначається трудомісткістю шабрування можливістю заміни накладних напрямних без їх обробки після збирання.

Напрямні верстатів з ЧПУ закріплюються настільки надійно, щоб були виключені навіть їхні мінімальні зрушення при роботі обладнання — під дією ваги, переміщення або вібрації робочих вузлів.

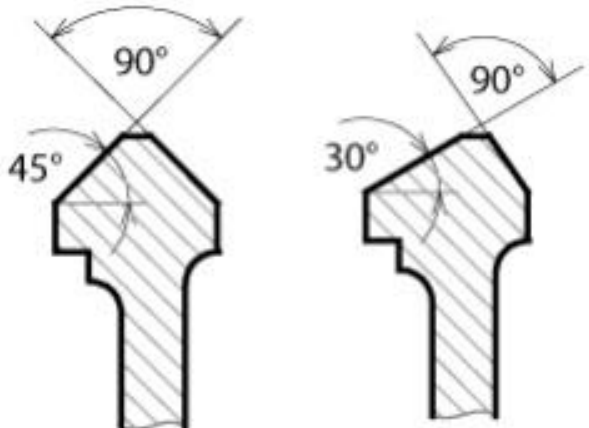
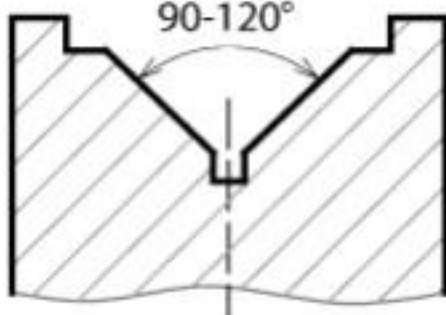
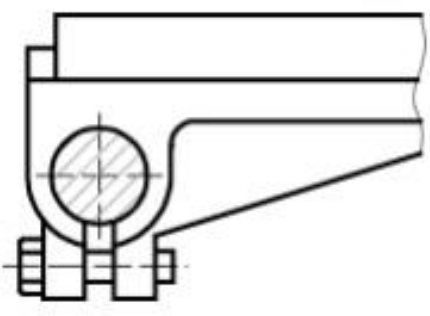
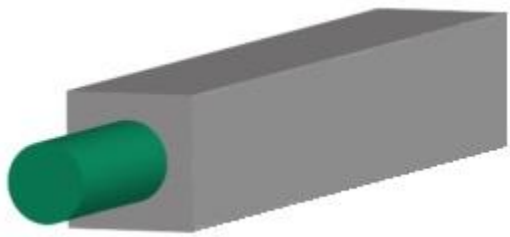
У процесі обробки заготовок по напрямних, під керуванням заданої програми, легко пересуваються і міцно закріплюються функціональні вузли верстата, забезпечуючи виконання необхідних робочих операцій.

Залежно від траєкторії пересування рухливого вузла є напрямні прямолінійного та кругового руху. Їх поділяють також на горизонтальні, вертикальні і похилі. За формою поперечного перерізу найбільш поширені прямокутні (плоскі), трикутні (призматичні), трапецієвидні (типу ластівчиного хвоста) і круглі направляючі (циліндричні) (табл. 1.3). [4]

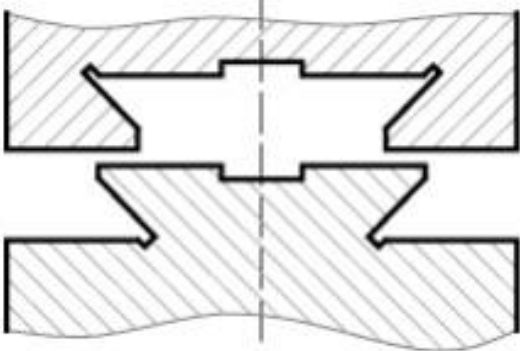
Таблиця 1.3 - Різновиди напрямних

Напрямні для прямолінійного руху	
Застосовуються для коротких напрямних верстатів нормальної точності. Відрізняються технологічністю, добре утримують мастильний матеріал. Недоліками даної конструкцій є те, що вони вимагають більш складних пристроїв для регулювання проміжку і погано видаляється стружка.	
	

Продовження таблиці 1.3

Призматичні напрямні	
Даний варіант конструкції застосовується для горизонтальних напрямних при малих швидкостях переміщення. Забезпечують точне переміщення, гарне видалення стружки, саморегулювання проміжку при зносі за рахунок опускання столу (каретки).	
V-подібні	
Застосовуються для горизонтальних напрямних при великих швидкостях і підвищених вимогах до точності переміщення. Забезпечують найкращі умови змащування і саморегулювання проміжку при зносі. Недоліки: не технологічність і необхідність у захисті від стружки, бруду і пилу.	
Круглі	
Застосовуються найчастіше для вертикальних напрямних при невеликих швидкостях переміщення. Відрізняються простотою виготовлення, хорошим видаленням стружки і бруду, мають високу зносостійкість.	
	

Кінець таблиці 1.3

Типу «Ластівчиний хвіст»	
Застосовуються для горизонтальних, похилих і вертикальних напрямних при невеликих швидкостях і довжині переміщення. Відрізняються технологічністю і простотою регулювання проміжку за допомогою клинів і планок. Умови змащування - середні. Значні механічні втрати на тертя. Але така конструкція напрямної не відноситься до технологічних.	
	

Часто використовують поєднання різних форм, коли одна з напрямних виконана прямокутною, а інша трикутною або у вигляді половини трапецієвидної форми. Кожну з форм можна застосовувати у вигляді охоплюючих та охоплюваних напрямних (рис 1.8). Охоплювані напрямні погано утримують мастильний матеріал, на відміну від охоплюючих, однак останні потребують надійного захисту від забруднень.

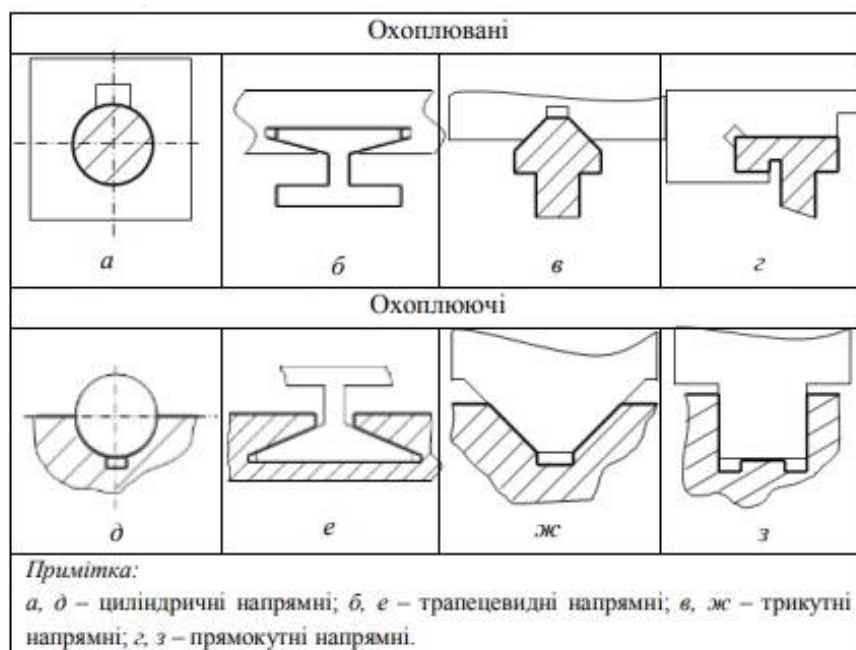


Рисунок 1.8 – Основні типи профілів напрямних ковзання

Прямокутні напрямні відрізняються технологічністю виготовлення і легкістю контролю геометричної точності, простотою і надійністю регулювання проміжків. Такі напрямні здатні сприймати великі навантаження рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Прямокутні напрямні

Трикутні напрямні мають властивість автоматичного вибору проміжків під дією власної ваги, але кутове розташування робочих граней ускладнює їх виготовлення і контроль.

Трапецієвидні напрямні відрізняються компактністю конструкції, але складні у виготовленні і контролі. Регулювання проміжку у них відносно просте, але не забезпечує високої точності сполучень.

Круглі напрямні застосовують рідко. У охоплюваному варіанті вони не забезпечують великої жорсткості через прогин качалок (штанг); закріплених на кінцях, тому застосовують їх в основному при малій довжині ходу. У охоплюючому варіанті у циліндричних напрямних складно виготовити напівкруглі пази рис. 1.10

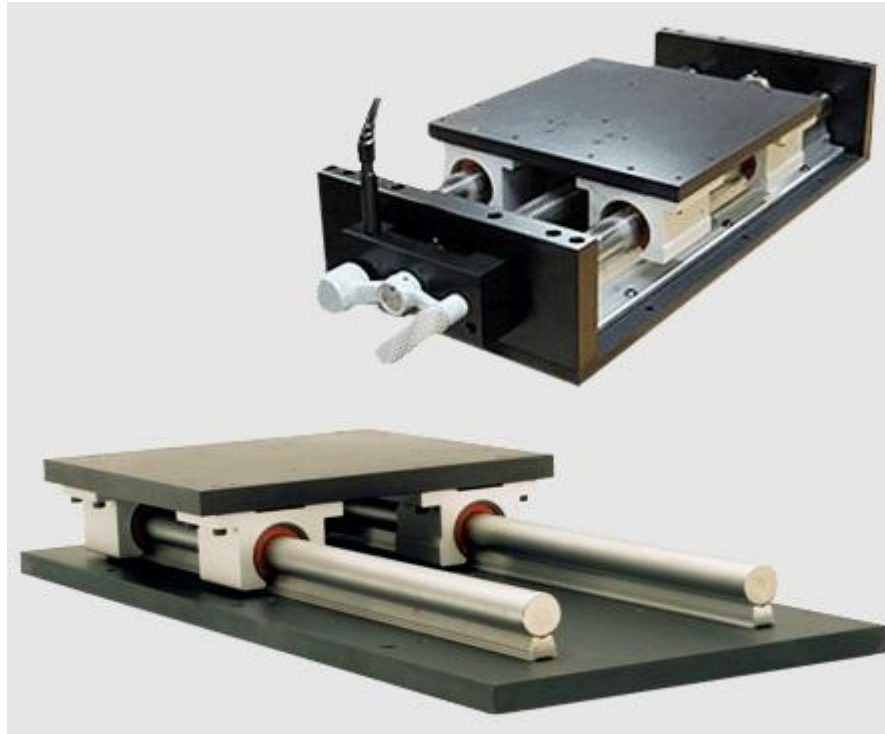


Рисунок 1.10 – Круглі напрямні

Безпосередній контакт сполучених поверхонь в напрямних ковзання визначає мінливість і великі сили опору. Залежно від навантаження, швидкості, виду мастила і його кількості напрямні можуть працювати в режимах тертя як без мастила, так і з ним. Значну різницю для цих напрямних складають сили тертя спокою (сили рушання) порівняно з силами тертя руху; останні, в свою чергу, сильно залежать від швидкості ковзання. Ця різниця призводить до стрибкоподібного руху вузлів при малих швидкостях, що вкрай небажано. Значне тертя викликає зношування і, отже, знижує довговічність напрямних.

Важливим завданням для напрямних ковзання верстата є їх захист від забруднень відходами обробки та попадання на них ЗОР.

Переваги та недоліки надаються в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Переваги та недоліки напрямних ковзання

Переваги	Недоліки
- простота і компактність конструкції; - забезпечують високу жорсткість і вантажопідйомність; - мають високі демпфуючі властивості; - надійна фіксація робочого органу верстата після його перестановки в задану позицію; - збільшення терміну служби верстатного оснащення за рахунок зниження вібрації, яка може зламати інструменти.	- сильне тертя, яке обмежує переміщення вузлів та механізмів, що веде до швидкого зносу напрямних.

Проаналізувавши переваги та недоліки двох видів напрямних далі в роботі для фрезерного (багатоцільового) верстата з ЧПК будуть розраховуватись напрямні ковзання. Напрямні ковзання мають великі переваги порівняно з напрямними кочення, наприклад висока контактна жорсткість та стабільність - у напрямних кочення вона зменшена, тому що площею контакту є точка. Демпфуючі властивості у напрямних ковзання високі в порівнянні з напрямними кочення, а це є важливим фактором при виборі напрямних та велика здатність навантаження, що є достатньою перевагою для фрезерних верстатів з ЧПК на яких, в даному випадку, оброблюються заготовки масою до 1200 кг, надійність та довговічність роботи.

Схема напрямних ковзання приведена в Додатку Б.

2 АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ

2.1 Технологічні вимоги до матеріалів напрямних ковзання.

Матеріал вибирають за сукупністю властивостей - відповідно до зазначених нижче вимог. При виборі пар тертя для напрямних верстатів даного типу необхідно враховувати призначення верстатів, умови роботи напрямних, точність, загальні основні характеристики верстатів (основні розміри, вага) і ступінь автоматизації.

Матеріал напрямних значною мірою визначає зносостійкість і плавність руху вузлів. Щоб уникнути вкрай небажаного явища – схоплювання тертя комплектують з різнорідних матеріалів, що мають різні склад, структуру і твердість. Напрявні, щодо яких переміщаються рухомі деталі, роблять більш жорсткими і зносостійкими. Цим забезпечується тривале збереження точності, бо при русі копіюється форма нерухомих напрямних.

Технологічні вимоги до матеріалів напрямних ковзання наведені в таблиці 2.1. [1]

Таблиця 2.1 - Технологічні вимоги до матеріалів напрямних ковзання

Зносостійкість	Знос напрямних визначає тривалість збереження необхідної точності обробки, а в багатьох випадках і працездатність пов'язаних з направляючими пар тертя. Важливі - зносостійкість пар тертя в умовах абразивного зношування і схоплювання, і здатність напрямних протистояти ударам.
Сприятливі характеристики тертя	Низький коефіцієнт тертя спокою f_t і низька його залежність від тривалості нерухомого контакту; низький коефіцієнт тертя руху f_v і низька його залежність від швидкості ковзання (в діапазоні малих подач)
Деформації	Мінімальні деформації в часі внаслідок залишкових напружень, в основному в станинах і корпусних деталях верстатів.

Продовження таблиці 2.1

Стійкість в робочих середовищах при робочій температурі.	При використанні неметалевих (пластмасових) накладних направляючих важливими вимогами є: а) стійкість і стабільність розмірів при роботі в маслі, воді і при підвищеній вологості повітря. Пластмаси, що застосовуються для напрямних головного руху, повинні бути маслостійкими при температурі до 120-150 ° С і для всіх інших напрямних - при температурі до 60 ° С. Необхідна стійкість до дії слабких кислот і лугів; б) відсутність холодної текучості при статичних навантаженнях з напругою стиснення до 5 МПа; в) мала відмінність коефіцієнтів лінійного розширення пластмаси і чавуну; г) теплостійкість.
Жорсткість	Вимога відноситься в основному до неметалевих матеріалів. Застосування пластмасових накладних напрямних може викликати деяке зниження сумарної жорсткості супортів (столів, бабок) що істотно в прецизійних верстатах. Ця вимога також важлива і для накладних напрямних з металу, так як вводиться додатковий стик.
Шорсткість поверхні	Мала шорсткість поверхні. Ця вимога суттєва для неметалічних напрямних, у яких не завжди можна отримати необхідну малу шорсткість робочих поверхонь.
Економічність	Визначається зіставленням витрат на виготовлення напрямних і економії, одержуваної при виконанні зазначених вище вимог. Підвищення довговічності напрямних, яка досягається застосуванням кращих матеріалів, термічної обробки та інших заходів, що зазвичай збільшують вартість напрямних, економічно виправдано.

2.2 Чавун незагартований

Аналіз робіт в яких вивчається знос чавуну з урахуванням умов переважно абразивного зношування напрямних показує, що зносостійкість чавунів зростає з підвищенням твердості при переході від феритної до перлітної і далі до мартенситної структури; відмінність в зносостійкості між феритними і перлітними чавунами значно менше, ніж між перлітними і мартенситними. Зменшення розміру графітових включень сприяє підвищенню зносостійкості чавуна.

Таблиця 2.2 – Легування чавуну та його зносостійкість

Легування чавуну	Зносостійкість
Легування чавуну нікелем і хромом (наприклад, 1,2-1,5% Ni та 0,4-0,5% Cr), присадка міді (близько 0,5%), легування молібденом в комбінації з міддю, хромом і нікелем застосовується в основному для станин і корпусних деталей прецизійних верстатів з загартованими напрямними.	Легування чавуну, особливо для верстатів нормальної точності при виконанні напрямних (незагартована) за одне ціле із станиною (або столом), хоча і призводить до деякого підвищення їх зносостійкості, все-таки недоцільно, так як доводиться легувати матеріал всієї станини у складній формі перетину.

Вибір марок чавуну для виливків напрямних і вимоги до міцності, твердості і мікроструктурі чавуну регламентуються ТУ 2-024-708-67 таблиця 2.3 .

Таблиця 2.3 – Твердість напрямних та їх застосування

Твердість напрямних	Застосування
допускається зниження до HB 170 кГ/мм ²	для важких виливків масою понад 7000 кг;
повинна бути не менше HB 170 кГ/мм ²	для столів, полозків, бабок з направляючими ковзання меншої довжини, ніж у сполучених деталей.

Напрямні руху подачі з парою тертя чавун-чавун токарних, револьверних, фрезерних, розточувальних та ряду інших верстатів при недосконалих захисних пристроях і граничному терті мають високу швидкість зношування; це не дозволяє забезпечити тривалу роботу верстата без ремонту.

Напрямні головного руху, при неможливості виключити роботу в режимі змішаного тертя, недостатньо надійні - у багатьох випадках утворюються задирки. Пара тертя чавун-чавун залишається ще найбільш поширеною, однак при інтенсивній роботі напрямних вона не відповідає сучасним вимогам.

Пару тертя чавун - чавун доцільно використовувати:

- а) для напрямних верстатів, призначених для легких робіт, і прецизійних верстатів, що мають хорошу ізоляцію напрямних від забруднення, примусове мащення і конструкцію, що забезпечує малу швидкість зношування напрямних;
- б) для не часто працюючих напрямних;
- в) для менш відповідальних напрямних, знос яких: не робить значного впливу на точність обробки.

2.3 Загартовані чавунні та сталеві метали високої твердості

У багатьох роботах по вивченню зносостійкості матеріалів в умовах абразивного зношування і захоплення, характерних для напрямних верстатів, показано, що термічна обробка сталей і чавунних деталей до високої твердості значно підвищує їх зносостійкість. [1]

Зносостійкість сталей при абразивному зношуванні зростає при збільшенні вмісту вуглецю; з підвищенням твердості при переході від перлітної до сорбітної, трооститної і мартенситної структури за рахунок термічної обробки; з підвищенням вмісту ряду легуючих елементів - хрому, нікелю, вольфраму та ін.

При терті загартованої сталі в парі з перлітним чавуном, шаржованим абразивом, її зносостійкість підвищується при збільшенні кількості, ступеня дисперсності і твердості карбідів; карбіди вольфраму і хрому твердіше карбідів заліза.

Високою зносостійкістю відрізняються хромовані і азотовані сталі. Інтенсивність зносу цементованого, ціанованого і азотованого шарів металу збільшується в міру зношування поверхневого шару. Підвищення зносостійкості чавуну, що отримується в результаті загартування на мартенсит, має місце в більшій мірі у легованих чавунів.

Зазначені залежності між зносостійкістю і властивостями чавуну і сталі при абразивному зношуванні багато в чому якісно збігаються з аналогічними залежностями, встановленими в роботах, де основним видом зношування було схоплювання.

В обох випадках зносостійкість доевтектоїдної сталі і сірого чавуну безпосередньо пов'язана з кількістю вуглецю, що знаходяться у вигляді цементиту, і твердістю, яка визначається станом цементиту в сплаві. Термічна обробка сталі і чавуну з отриманням підвищеної твердості збільшує зносостійкість в обох випадках. До аналогічних результатів призводить легування сталі і чавуну хромом, нікелем, вольфрамом і рядом інших елементів з наступною термічною обробкою і отриманням гартівних структур. Висока зносостійкість досягається при хромування і азотуванні. У парах сталь - сталь і чавун - чавун підвищення зносостійкості одного з елементів знижує знос кожного з них.

Загартовані напрямні виконують за одне ціле із станиною (чавун), а також у вигляді накладних напрямних. Станини (корпусні деталі) з напрямними, що піддаються загартуванню, виготовляють з сірого чавуну, сірого модифікованого чавуну і чавуну з присадками нікелю, хрому, молібдену та інших легуючих елементів. Для виготовлення накладних напрямних (планок) використовують такі матеріали і термічну обробку: сталі, що піддаються цементації і загартування; високовуглецеві хромисті загартовані сталі; конструкційні вуглецеві загартовані сталі; леговані сталі, що піддаються азотуванню; графітізовані загартовані сталі; сталі, що піддаються ціанування і загартуванню; леговані і модифіковані чавуни і т. д.

Вивчення досвіду експлуатації верстатів, а також результатів лабораторних та стендових випробувань зносу матеріалів показують, що істотне підвищення довговічності напрямних досягається термічною обробкою з отриманням високої

твердості; при цьому зносостійкість загартованих напрямних подач, що працюють із забрудненою мастилом (в умовах переважно абразивного зношування), може бути збільшена (за результатами експлуатаційних досліджень) приблизно до 2-2,5 разів, а опір схоплюванню (утворення задирок) - багаторазово.

Підвищення зносостійкості досягається у обох елементів пари тертя - загартованого і незагартованого, при цьому в більшості випадків в більшій мірі - у незагартованого елемента.

Великою перевагою пар тертя чавун - загартовані чавун або сталь в порівнянні з парами тертя чавун - чавун і кольоровий сплав (пластмаса) - чавун є те, що вони одночасно мають високу зносостійкість як в умовах абразивного зношування, так і схоплювання.

Зносостійкість загартованих напрямних з модифікованого чавуну істотно вище, ніж у сталевих загартованих напрямних з конструкційних вуглецевих сталей (типу сталі 45). Застосуванням загартованих легованих (Сг, Ni, W, Мо і іншими елементами) конструкційних сталей (ШХ15, 2Х і ін.) можливо забезпечити зносостійкість не нижче, а в ряді випадків вище, ніж у загартованого модифікованого чавуну. Застосування сталевих загартованих напрямних з конструкційних вуглецевих сталей (наприклад, сталі 45) внаслідок малого підвищення зносостійкості в порівнянні з незагартованим чавуном не рекомендується. Характеристики тертя при роботі з мастилом незагартованого чавуну в парі з загартованими чавуном і сталлю близькі.

Пара тертя чавун - хромований чавун (сталь) по зносостійкості в умовах абразивного зношування в 3-4 рази вище, ніж пара чавун-чавун; коефіцієнти тертя спокою і руху при малих швидкостях ковзання у цієї пари істотно нижче, ніж у пари чавун-чавун. Мінімальний коефіцієнт тертя у пари хром по хрому, але вона внаслідок схильності до схоплювання використовується рідко. Хромування зменшує корозію напрямних. Хромування найдоцільніше для прецизійних верстатів, у яких допустимий знос напрямних менше товщини хромового покриття. Хромовані напрямні внаслідок незначних деформацій можуть бути використані як змінні; можливе відновлення шару хрому.

Металізація напрямних молібденом і іншими зносостійкими сплавами становить значний інтерес, тому що не викликає деформацій і легко здійсненна в умовах одиничного виробництва, в тому числі при виготовленні важких верстатів.

Чавунні загартовані напрямні найчастіше виготовляють із чавуну СЧ20, СЧ 25, СЧ 30 за одне ціле. Нагрів при загартуванні здійснюють струмами високої частоти або газополум'яним методом. Накладні напрямні виготовляють з наступних зміцнених матеріалів: цементованих та загартованих сталей 20Х та 18ХГТ; високовуглецевих хромистих загартованих сталей ШХ15, ШХ15СГ, ХВГ, 9ХС, 7ХГ2В, 8ХФ; азотованих сталей 38ХМЮА, 40ХФ, 30ХН2МА, легованих та модифікованих загартованих чавунів СЧ 30 з твердістю під загартування не менше НВ 170. Твердість загартованих чавунних напрямних HRC 48-53, твердість сталевих HRC 58-62.

2.4 Кольорові метали

Накладні напрямні (або заливка) з кольорових сплавів - бронзи, бабіту, цинкового сплаву і інших застосовуються головним чином на переміщуваних вузлах важких верстатів з метою запобігання задирок, забезпечити рівномірність подачі і підвищити точність переміщень. Зносостійкість пар тертя кольоровий сплав - чавун оцінювали в ряді випробувань таблиця 2.4. [1]

Таблиця 2.4 – Випробування зносостійкості різних пар тертя

Назва пари тертя	Результати по зносостійкості
Кольорові сплави при чисто абразивному зношуванні	Максимальна зносостійкість з числа випробуваних кольорових сплавів має алюмінієва бронза Бр.АМц 9-2. Наклепані при обробці тиском і не відпалені кольорові метали мають в більшості випадків дещо меншу зносостійкість при чисто абразивному зношуванні, а також дещо вищі характеристики тертя, ніж м'які (відпалені).

Кінець таблиці 2.4

Кольоровий сплав - чавун при схоплюванні	Найбільшу зносостійкість при роботі без змащення мають цинкові сплави і вторинні бронзи Бр. ОЦС 6-6-3 і Бр. ОЦС 5-5-5. Бронза Бр. АМц 9-2 з числа безолов'яні бронзи - показала кращі результати.
Тертя з малов'язким мастилом	При роботі з мастилом, коли змащуюча здатність графіту проявляється слабо, порядок розташування кольорових сплавів по зносостійкості різко змінився. Кращі результати показала бронза Бр. ОФ 10-1, потім ЦАМ 10-5, Бр. АМц 9-2; значно більший знос при високих навантаженнях у бронз Бр. ОЦС 6-6-3 і Бр. ОЦС 5-5-5; дуже високий знос у всіх латуней.

Отже, проводилися дві серії випробувань [1].

У першій серії випробувань в умовах переважно абразивного зношування знос всіх випробуваних бронз і латуней істотно вище, ніж у відповідних зразків пари чавун-чавун. Це пояснюється набагато меншою зносостійкістю кольорових сплавів в порівнянні з чавуном при чисто абразивному зношуванні. Знос пов'язаних з ними нижніх чавунних зразків, що імітують напрямні станини, значно менше, ніж у нижніх зразків пари чавун-чавун; кращі результати показали чавунні зразки, що працюють в парі з алюмінієвими бронзами Бр. АМц 9-2 і Бр. АЖ 9-4. Високі значення зносу нижніх чавунних зразків пар тертя Л62 - чавун і Л68 - чавун пояснюються посиленням схоплюванням, що спостерігалось при сухому терті і при роботі з мастилом. Цинкові сплави, в тому числі ЦАМ 10-5, зношуються більше бронз і латуней, що відповідає їх меншою зносостійкістю при чисто абразивному зношуванні.

У другій серії випробувань, коли роль схоплювання велика, проявляються переваги пар кольоровий сплав-чавун. В процесі зношування пари чавун-чавун утворюються задирки; всі кольорові метали намазуються на поєднану з чавуном поверхню, все ж обидва елементи пари тертя чавун чавун зношуються більше, ніж пара кольоровий сплав-чавун.

За зносостійкості і характеристикам тертя (в сукупності) алюмінієва бронза Бр. АМц 9-2 (смуги по ГОСТу 1595-47) перевершує виготовлені у вигляді прокату бронзи і латуні і приблизно відповідає застосовуваній для напрямних ливарної олов'яної бронзи Бр. ОЦС 6-6-3. У порівнянні зі сплавом ЦАМ. 10-5 у- Бр. АМц 9-2 вище зносостійкість при абразивному зношуванні, менше зносостійкість при терті без змащення і дещо менш сприятливі характеристики тертя. Вартість накладних напрямних з бронзи Бр. АМц 9-2 значно нижче, ніж з бронзи Бр. ОЦС 6-6-3, але вище, ніж зі сплаву ЦАМ 10-5. У порівнянні з текстоліту ПТ бронза Бр. АМц 9-2 (при терті по чавуну) має більш сприятливі характеристики тертя, але значно дорожче; трудомісткість виготовлення накладних напрямних з бронзи вище, ніж з текстоліту. Цинковий сплав ЦАМ 10-5 при терті в парі з чавуном з урахуванням умов роботи напрямних верстатів має високий опір утворенню задирок, найбільш сприятливі характеристики тертя в порівнянні з іншими металевими парами тертя, використовуваними для напрямних, і недостатню зносостійкість при абразивному зношуванні. Для напрямних переміщуваних вузлів (столів, кареток, бабок) в основному важких верстатів з метою запобігання задирок, зниження тертя і підвищення рівномірності подач і точності настановних переміщень рекомендуються бронза Бр. АМц 9-2 і сплав ЦАМ 10-5.

Найбільш ефективним є застосування сплаву ЦАМ 10-5 для напрямних при тиску до 0,2 МПа.

У ряді випадків при високих вимогах до зносостійкості і одночасно до рівномірності подачі доцільно використовувати пару тертя загартовані чавун або сталь - ЦАМ 10-5 (Бр. АМц 9-2).

2.5 Пластмаси

Пластмасові накладні напрямні на переміщуваних корпусних деталях (столах, полозках та ін) застосовують в основному у великих і важких верстатах, головним чином для запобігання задирок; використовують у нових верстатах, а також при ремонті.

Пластмаси використовують для рухливих напрямних вузлів деяких верстатів з ЧПУ. Позитивні характеристики пластмас - сприятливі властивості тертя, що сприяють рівномірності переміщення рухомих пристроїв при мінімальних швидкостях, відсутність явища схоплювання. Однак більшість пластмас не мають достатньої жорсткості та необхідної стійкості до впливу теплових навантажень, вологи, мастила, слабких лугів та кислот.

Пластмаси для накладних напрямних повинні мати підвищену зносостійкість при роботі у парі з чавуном (сталлю) із забрудненим мастилом, а також при нестачі мастила.

Для роботи в напрямних головного руху з високими швидкостями ковзання потрібні пластмаси, які володіють підвищеною теплостійкістю і викликають мінімальне теплоутворення при тертях; останнє досягається у пластмас, що мають порівняно низький коефіцієнт тертя у парі з чавуном, при механічній обробці яких забезпечується висока якість поверхні.

З пластмас у верстатах використовуються:

- фторопласт;
 - композиційні матеріали на основі епоксидних смол з присадками дисульфиду молібдену, графіту та неметалічних наповнювачів
- табл.2.5

Таблиця 2.5 – Пластмаси

Фторопласт	Чистий фторопласт застосовується рідко через його великі пружні та залишкових деформацій та швидкого зносу. Введення в об'єм матеріалу 15-30% наповнювачів дозволяє знизити знос у 250-1000 разів порівняно із зносом чистого фторопласту. Найбільш поширеними наповнювачами є: - кокс; - штучний графіт; - дисульфід молібдену; - металеві порошки, у тому числі бронзові. Фторопласт наклеюється у вигляді стрічки.
Композиційні матеріали на основі епоксидних смол	На підготовлені поверхні напрямних більш короткої базової деталі наноситься шар композиту завтовшки 3-6 мм у пластичному стані. Поверхні напрямних довшої базової деталі покривають тонким шаром мастила або воску, щоб уникнути прилипання смоли і здійснюють складання. Після затвердіння профіль напрямної короткої деталі повністю копіює профіль напрямних довгої деталі. Використовують з присадками дисульфиду молібдену, графіту та неметалічних наповнювачів.
Текстолит металургійний марки Б, кордоволокніт марки 1Г і винипласт	Успішно застосовують при модернізації супортів і столів. Так, накладки для напрямних з текстоліту і кордоволокніта застосовують для токарних верстатів середніх розмірів. Накладні напрямні набирають з окремих пластин довжиною 500-600 мм, шириною, рівній ширині граней напрямних, і товщиною (для важких верстатів) 10 мм. Для верстатів середніх розмірів допустима менша товщина пластин (бажано не менше 3 мм).

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти тертя різних пар тертя та зносостійкість

Пара «наповнений фторопласт – загартована сталь»	
Коефіцієнти тертя	Зносостійкість
Найбільш сприятливе ковзання, де коефіцієнти тертя спокою та руху практично однакові та не перевищують 0,06–0,08. Коефіцієнти контактної піддатливості стиків «сталь – наповнений фторопласт» та «чавун – ЦАМ10-5» приблизно однакові.	Зносостійкість наповнених фторопластів при терті по чавуну та загартованій сталі істотно вище зносостійкості сплаву ЦАМ10-5 та алюмінієвої бронзи при роботі в однакових умовах.
Пара «наповнений фторопласт – чавун	
Коефіцієнти тертя	Зносостійкість
Коефіцієнти тертя не перевищують 0,09-0,12. Такі характеристики тертя забезпечують плавність та рівномірність переміщення рухомих вузлів верстата.	Зносостійкість чавунних напрямних станин, що працюють у парі з фторопластом, значно вища, ніж у парі з ЦАМ10-5.
Пари тертя пластмаси — чавун, зокрема текстоліт ПТ чавун	
Коефіцієнти тертя	Зносостійкість
При роботі без мастила висока зносостійкість мають пластмаси, що меншою мірою змінюють свої властивості при нагріванні (термореактивні пластмаси), особливо при введенні в них графіту, що знижує коефіцієнт тертя.	Мають підвищену зносостійкість при роботі в умовах нестачі мастила; характерних у ряді випадків для напрямних, при яких пара тертя чавун-чавун піддається значному зносу і можуть виникати задирки.

Істотним недоліком накладних напрямних з текстоліту ПТ та його замінників є зниження їхньої зносостійкості в умовах абразивного зношування, при якому відбувається різання пластмаси твердими частинками металевої стружки, абразиву та ін. і сполученою шорсткою поверхнею металу; цей процес моделюється при терті пластмас по шліфувальній шкірці. Найбільшу зносостійкість при терті по шліфувальній шкірці мають поліаміди; максимальну зносостійкість має капрон марки Б.

Застосування пластмасових напрямних пов'язане з деяким зниженням жорсткості супортів, так як вводиться шар пластмаси з модулем пружності на один-два порядки нижче, ніж у чавуну, і з'являється додатковий стик.

На рис. 2.1 представлена залежність коефіцієнту тертя від тривалості нерухомого контакту t_k та швидкості відносного ковзання v з різними видами матеріалу. Коефіцієнт тертя матеріалу в рухомому та не рухомому стані є одним із основних факторів при виборі матеріалу напрямних.

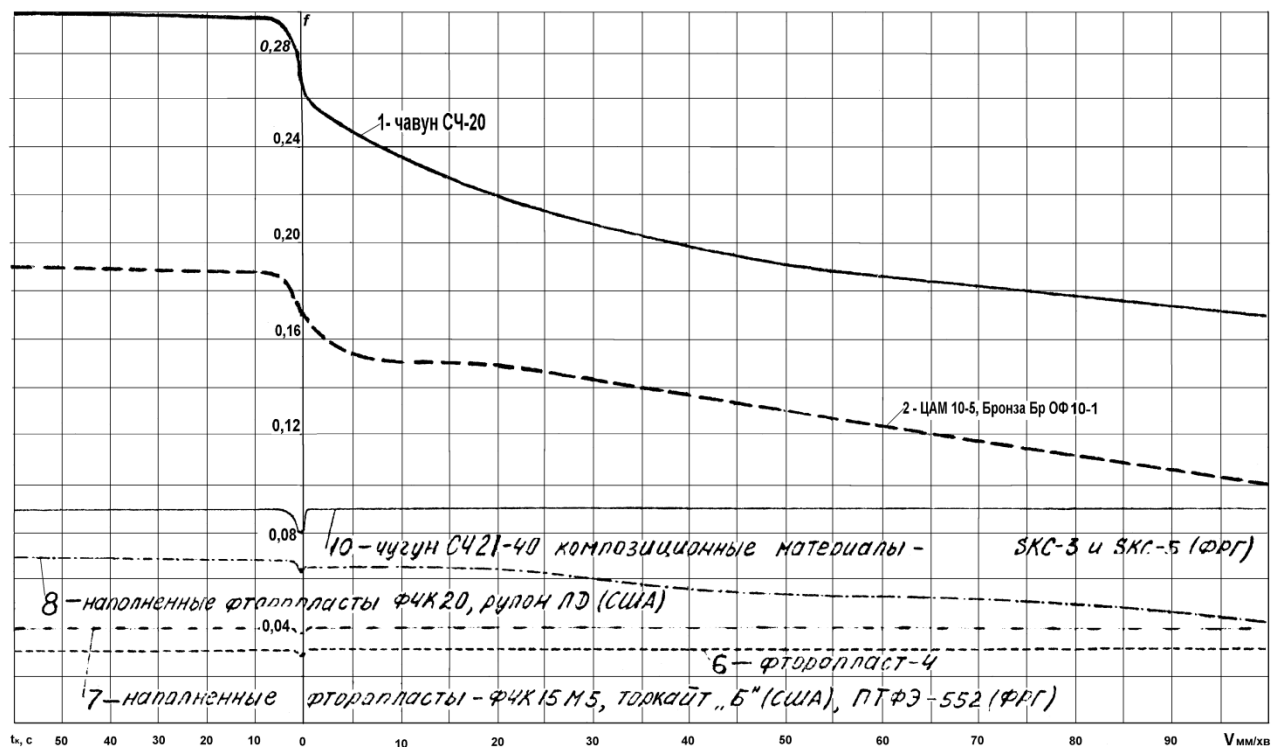


Рисунок 2.1 – Залежність коефіцієнту тертя від тривалості нерухомого контакту t_k та швидкості відносного ковзання v .

Тертя по чавуну СЧ 20, НВ180, тиск 0,2 МПа, мащення маслом: 1-5 індустріальне И-20А; 6 – антистрибкове ИНСП -40. Матеріали 1 - чавун СЧ 20; 2

– сплав ЦАМ 10-5; 8 - фторопласт Ф4К20; 7 – фторопласт Ф4К15М5, Turcite В; 6 – фторопласт – 4; 10 – чавун СЧ 20.

При терті пар матеріалів чавун-чавун, коефіцієнт тертя на малих швидкостях становить 0,28. Зі збільшенням швидкості коефіцієнт тертя поступово зменшується. Так при швидкості 75 мм/хв коефіцієнт тертя досягає 0,18. За 50 с у не рухомому стані коефіцієнт зростає з 0,28 до 0,3.

Не суттєво змінюється коефіцієнт тертя у пар чавуну та кольорових металів – 0,15-0,07. У не рухомому стані він дорівнює 0,19. Коефіцієнт тертя пари чавун – Turcite В значно менший ніж у попередніх матеріалів – 0,04. Одними з переваг цього матеріалу є те, що коефіцієнт тертя в рухомому та не рухомому стані залишається однаковим. Відсутні стрибкоподібні руху при малих переміщеннях

2.6 Матеріал Turcite-B Slydway

Turcite-B Slydway – являє собою термопластичний матеріал з високими експлуатаційними характеристиками для використання у напрямних лінійного переміщення, таких, наприклад, як напрямні верстатів. [5]

Turcite-B Slydway протягом багатьох років добре зарекомендував себе в багатьох галузях машинобудування та інших галузей важкої промисловості. Turcite-B може використовуватися в самих різних областях виробництва. У прикладах застосування показані форми напрямних ковзання з покриттям з Turcite-B, вже використовуваного в промисловості верстатів рис 2.2.

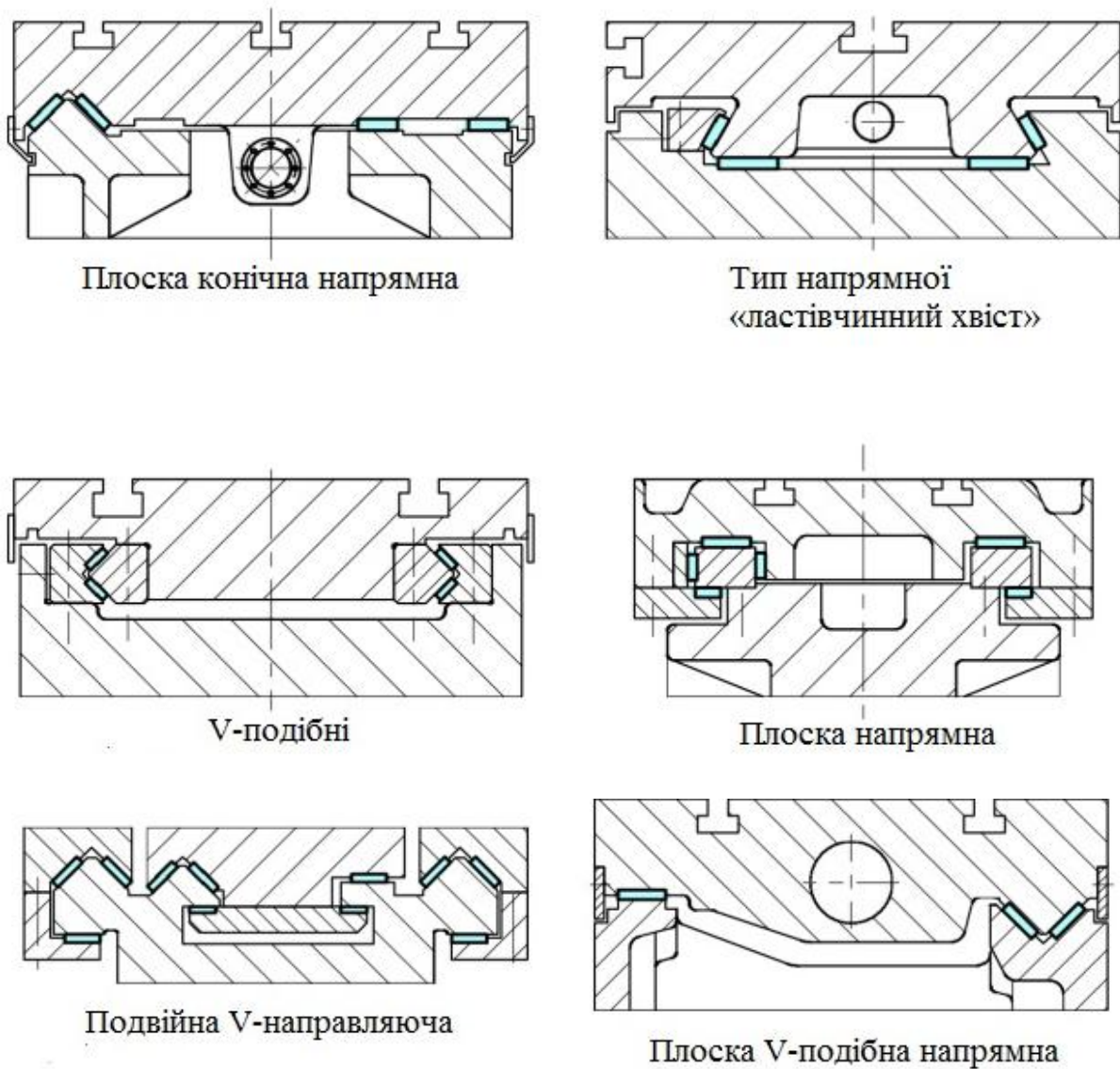


Рисунок 2.2– Форми напрямних ковзання з покриттям Turcite B

Turcite B відповідає сучасним вимогам, які пред'являються різним видам і розмірам напрямних. Він має товщину від 0,5 до 5 мм і ширину до 300 мм. Він поставляється з розрізом по зазначеній довжині або без матеріалу. Turcite B виготовлений з спеціально розробленого високопродуктивного термопластичного матеріалу і модифікований для особливих вимог до напрямних. Для досягнення гарної адгезії при склеюванні з компонентами верстата поверхня піддається хімічній обробці.

Переваги Turcite-B:

- низький коефіцієнт тертя, відсутність заклинювання, відсутність стрибків, особливо на малих швидкостях ковзання;

- можливість роботи в умовах недостатнього мащення або відсутності мастила;
- висока точність позиціонування та повторюваність робочих рухів;
- висока зносостійкість, що забезпечує тривалий термін служби;
- хороші аварійні властивості, відсутність схильності до схоплювання;
- висока продуктивність протягом багатьох років;
- низькі виробничі витрати;
- гасить і поглинає вібрації;
- несприйнятливий для забруднення і вологи;
- хімічно стійкий до агресивних охолоджуючим мастильних матеріалів.

Характеристики Turcite-B наведені у таблиці 2.7 [5]

Таблиця 2.7 - Характеристики Turcite-B

Технічні характеристики	Значення
Вологостійкість	<0,01%
Лінійний коефіцієнт розширення	$6 \times 10^{-5} \text{ 1/K}$;
Теплопровідність від 20°C	0,8 Вт/м · К
Максимальне навантаження під тиском для 1% деформації	9,3 МПа
Модуль пружності при 40 ° С	1.000 Н/мм ²

Для нанесення клею має бути хімічно оброблена тільки одна сторона рис. 2.3 колір обробленої поверхні – коричневий. Колір необробленої ковзуючої поверхні рис. 2.4 - зелено-синій. Turcite В - слід зберігати при кімнатній температурі і в сухих середовищах, захищених від світла. Термін зберігання обмежений і залежить від умов зберігання.

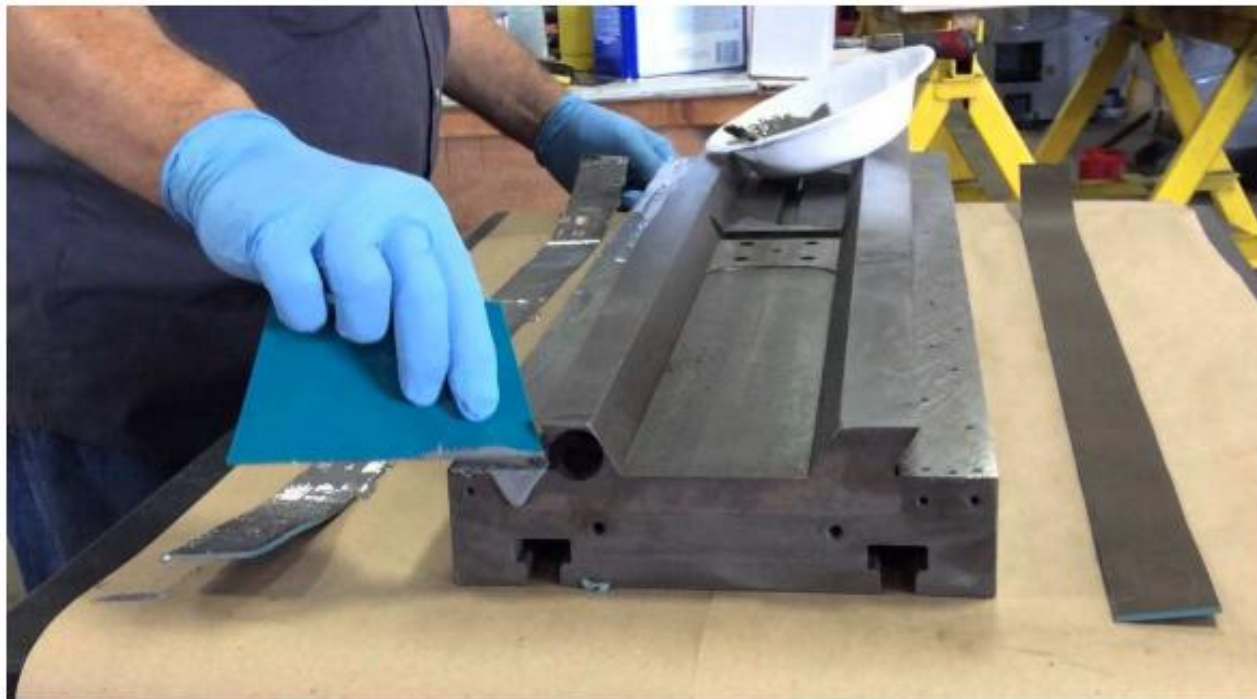


Рисунок 2.3 - Нанесення клею на напрямні для склеювання матеріалу Turcite-B

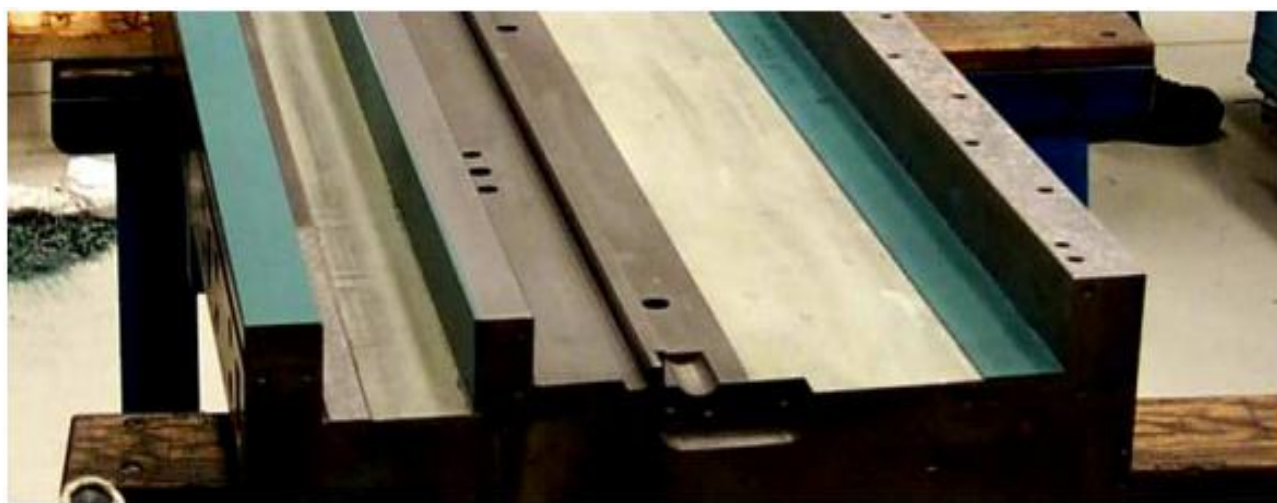


Рисунок 2.4 - Зелено-синій колір матеріалу Turcite-B

Turcite В обробляється такими видами обробки як:

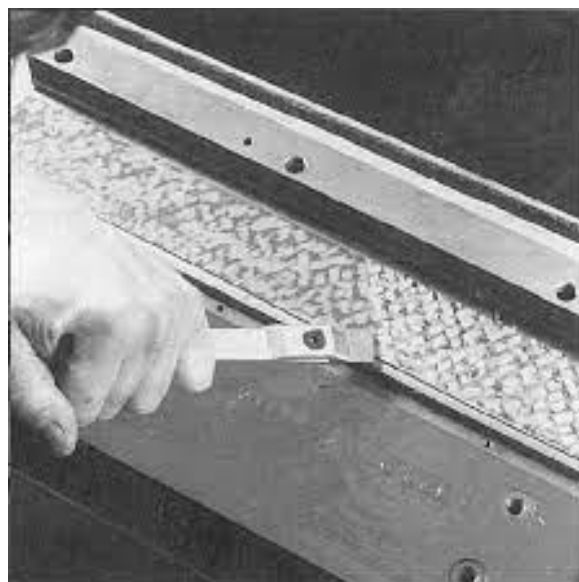
Фрезерування



Шліфування



Шабрування



Якість поверхні повинно бути $Ra = 0,6$ мкм. Малі відхилення, мають незначний вплив на характер тертя. З більшою шорсткістю поверхні буде збільшуватися контактна деформація і знос. Недостатня шорсткість поверхні впливає на характер ковзання, коли поверхні ковзання склеюються (адгезія).

При використанні Turcite В помічається тільки незначна різниця між статичним тертям і динамічним тертям, тим самим усуваючи стрибки ковзання. При використанні в машинах з числовим програмним управлінням він забезпечує більш високу точність позиціонування і відтворення.

Динамічне тертя для Turcite В має практично лінійний характер у всьому діапазоні швидкостей. При поєднанні поверхневого навантаження $0,35\text{МПа}$ і викривленої поверхні Turcite В коефіцієнт тертя досягає $f = 0,022-0,055$.

У поєднанні з контактною деформацією навантаження є великим значенням для точності роботи лінійних напрямних.. Вантажопідйомність залежить від товщини матеріалу підшипника та шорсткості поверхні. На рис. 2.5 показана контактна деформація як функція від різної товщини матеріалу для напрямних з поверхнею шорсткістю $Ra=0,6$ мкм. Як видно з діаграми, Turcite В можна піддавати навіть більш ніж в оптимальний діапазон. У межах зображуваного робочого діапазону коефіцієнт тертя матеріалу Turcite В практично залишається без змін.

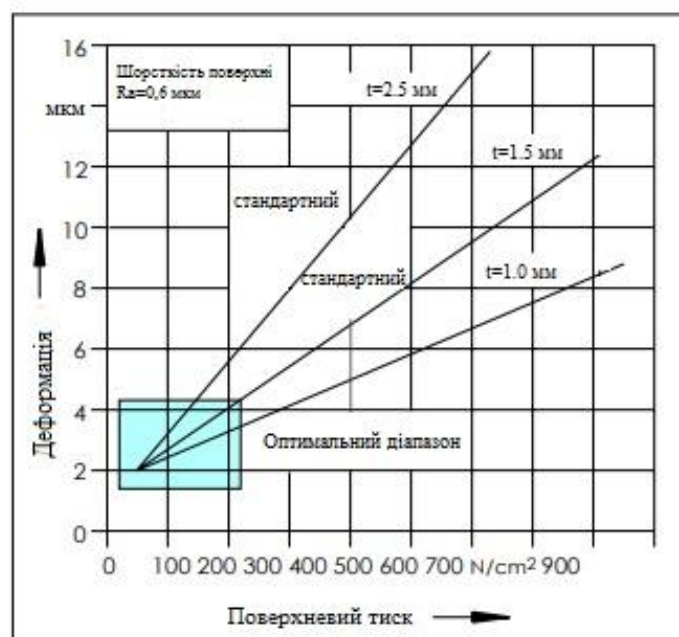


Рисунок 2.5 - Деформація як функція поверхневого тиску та товщини Turcite-B

Достатнє мащення має першорядне значення для досягнення контрольованого рівня динамічного тертя.

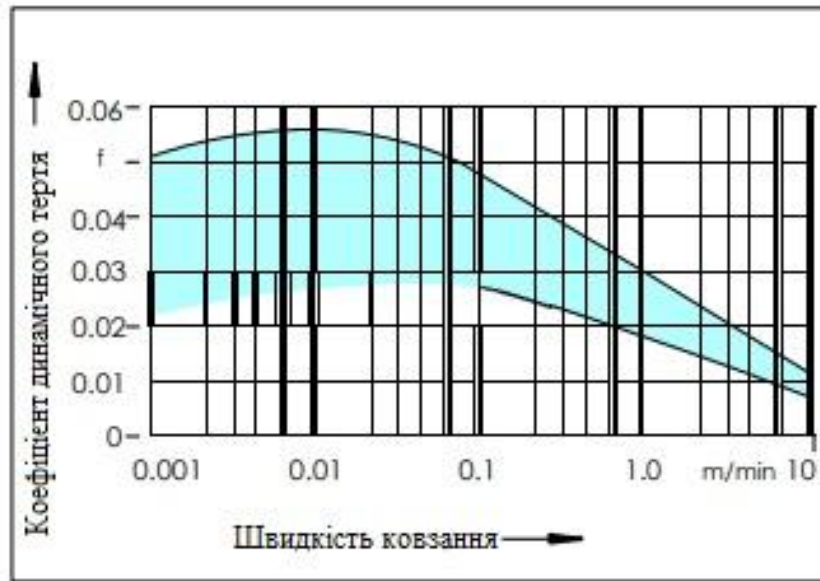


Рисунок 2.6- Діапазон коефіцієнта динамічного тертя (f) як функція швидкості ковзання, коли використовується різний мастильний матеріал

Термін служби і безперервна точність Turcite В визначається головним чином його зносостійкістю. Якщо раптово припиниться подача мастила, Turcite В буде функціонувати протягом тривалого часу через самозмащувальну властивість матеріалу, при цьому знос буде незначним. Дуже висока зносостійкість досягається з використанням комбінації Turcite В і загартованої поверхні сполучення.

Характер зносу визначається в значній мірі впливом навколишнього середовища. Важливо захистити напрямні від зовнішнього забруднення, використовуючи кришки і ущільнення.

Turcite В має більшу перевагу, адже дозволяє поглинати дрібні частинки бруду, тим самим запобігаючи негайне заїдання, пошкодження і надмірний знос напрямних.

Зазори в напрямних Turcite В встановлюються суттєво меншими, що забезпечує дуже високу безперервну точність навіть протягом тривалого періоду експлуатації. Тому характер ковзання визначається головним чином мастилом і поверхнею рис. 2.7.

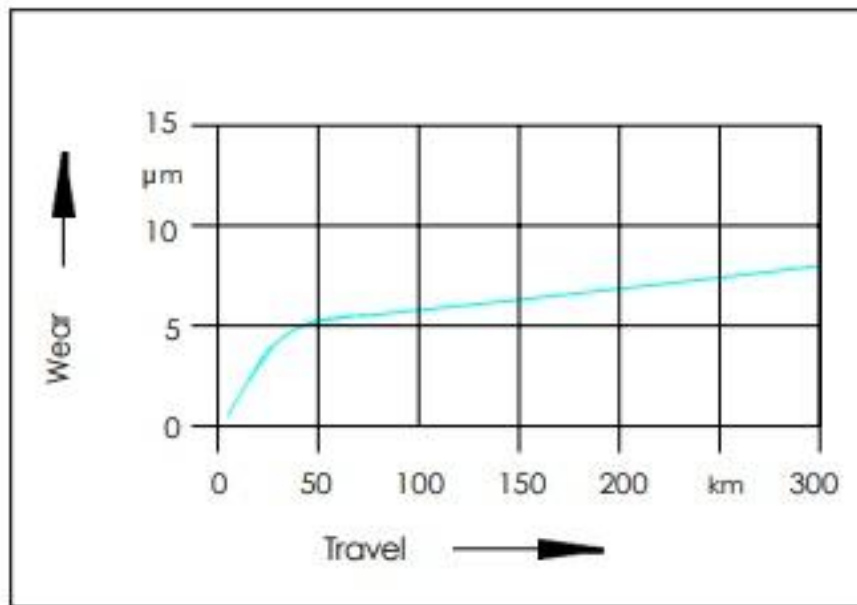


Рисунок 2.7 - Залежність величини зносу від шляху тертя: Turcite ТВ, середнє навантаження 0,5 МПа з мастилом

Температура на ковзючих поверхнях повинна бути якомога більш постійною. У разі підвищених температур необхідно забезпечити достатню тепловіддачу за допомогою мастила.

Одним з переваг цього матеріалу є те, що коефіцієнт тертя в рухомому та не рухомому стані залишається однаковим. Відсутні стрибкоподібні руху при малих переміщеннях.

Отже, розглянувши більшість видів матеріалів, розібравши їх характеристики, випробування зносостійкості різних пар тертя виявлено, що Turcite В за своїми властивостями та перевагами стає кращим вибором для верстатів з ЧПК, оскільки Turcite В відповідає тим критеріям, які забезпечують найкраще рішення для верстатобудування. Для подальшого розрахунку напрямних ковзання обираємо саме покриття Turcite В.

2.7 Напрямні "Box Way"

Верстати з ЧПУ, які оснащені напрямними Вох, є жорсткими та трохи повільнішими і здатні виконувати важкі пропили на великих деталях [6].

Напрямні ковзання, які частіше називають "коробчастими напрямними", можуть мати кілька конфігурацій [7]. Мета конструкції полягає в тому, щоб використовувати дві дотичні поверхні для підтримки заготовки, коли вона розташовується на верстаті рис. 2.8



Рисунок 2.8– Вигляд коробчастих напрямних у верстаті

Напрямні ковзання коробчастого вигляду мають такі переваги:

- високу жорсткість;
- динамічну жорсткість;
- низькі вібрації;
- збільшений термін служби інструменту;
- хороші демпфуючі характеристики;
- велика площа контакту з поверхнею, що надає їм хорошу стійкість до високих навантажень при різанні.

На додаток до більш високої вантажопідйомності і більшої жорсткості коробчасті напрямні можуть забезпечити значне демпфування вібрацій машини - те, чого не можуть забезпечити рециркуляційні лінійні напрямні з точковим або лінійним контактом. Гасіння вібрації не тільки покращує чистоту поверхні та точність процесу обробки, але також може збільшити термін служби інструменту за рахунок зниження невеликих, але руйнівних вібрацій в інструменті.

Коробчасті напрямні мають кілька недоліків таблиця 2.8

Таблиця 2.8 – Недоліки коробчастих напрямних

Різниця між статичним та динамічним коефіцієнтами тертя	статичне тертя завжди більше, ніж динамічне тертя, що призводить до труднощів при точному запуску та зупинці підшипника ковзання;
Тепло	виділяється ковзними частинами. Незважаючи на те, що коефіцієнти тертя дуже низькі, великі ваги чи нормальні сили можуть призвести до розсіювання великої кількості енергії у вигляді тепла;
Швидкість подачі	найнижча швидкість подачі з усіх напрямних.

Коробчасті напрямні можуть бути виготовлені з високою точністю, що забезпечує осьову точність від 0,005 до 0,01 мкм і поперечну точність від 0,1 до 10 мкм. Через велику площу контакту коробчасті напрямні вимагають дуже точних виробничих допусків. Каретка та основа прецизійно відшліфовані (зверху та знизу) для забезпечення паралельності та рівності ходу. І більшість напрямних коробчатого типу мають ручний спосіб обробки, який підвищує точність, зменшує тертя і створює кишені для змащення, яке зазвичай забезпечується через систему подачі мастилом під тиском.

На рис.2.9 показаний типовий приклад прямокутної конструкції, відомої як Т-подібна конструкція:

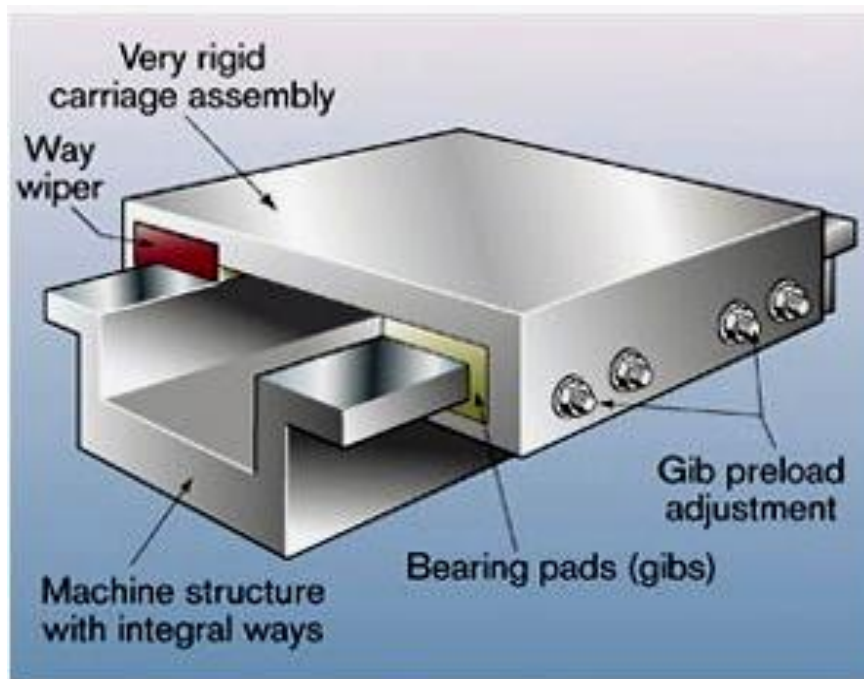
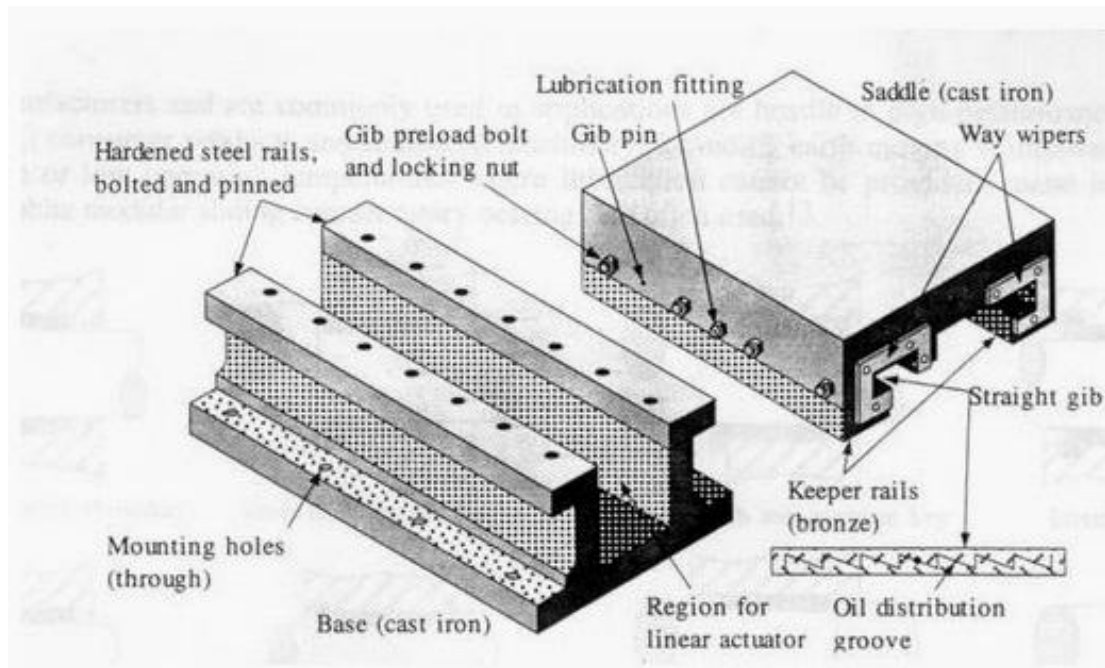


Рисунок 2.9- Типовий приклад прямокутної Т-подібної конструкції

Основні конструктивні елементи коробчастих напрямних наведені у таблиці

2.9 [6]

Таблиця 2.9 - Основні конструктивні елементи коробчастих напрямних

Рейки	зазвичай виготовляються зі сталі і можуть мати або не мати покриття для зменшення тертя (наприклад, тефлон або його похідне). Рейки можна обробляти механічним способом, але для найточніших верстатів їх обробляють вручну;
Основа	зазвичай відливається, а в деяких машинах може бути відлито прямо в основу самої машини. Це може заощадити гроші на початковому етапі, але призводить до труднощів у ремонті чи обслуговуванні;
Каретка	використовується як «база» для заготівлі або утримувача інструменту, які повинні переміщатися по салазках.
Пластина	смужка матеріалу, яка утримує каретку від зміщення з боку в бік;
Гвинти	знаходяться збоку сидла за їх допомогою відбувається регулювання зношених клинів;
Захисні планки	захищають контактну поверхню від бруду та сміття, створюваного самим верстатом (у разі фрезерного верстата);
Мастильний фітинг	застосовується для подачі мастила на рейки.

Напрямні - поверхні на нижній стороні каретки, які фактично ковзають з основи - зазвичай покриваються матеріалом, що знижує тертя, таким як Turcite або Rulon,, обидва з яких являють собою матеріали на основі ПТФЕ. Ці неметалеві покриття забезпечують чудовий захист від ефектів переривчастого ковзання і корозії і разом з масою зсуву коробчатого вузла роблять свій внесок у здатність повзуна гасити вібрації.

Напрявні можуть мати кілька конфігурацій, найпоширенішими з яких є коробки, «ластівчин хвіст», «V» і «Т». На рисунках 2.10, 2.11 нижче показана конструкція підшипників ковзання типу «ластівчин хвіст» та «коробка».

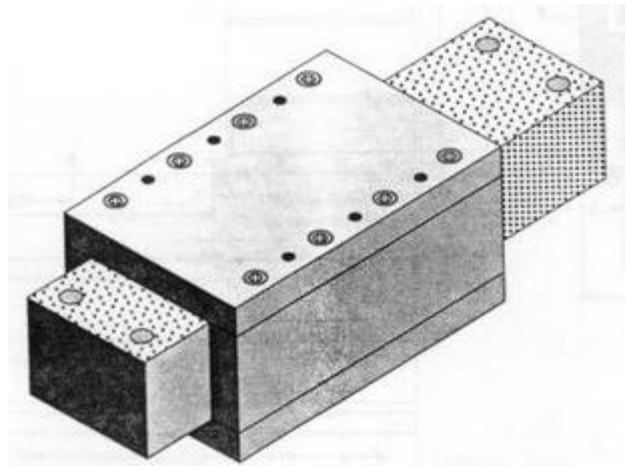


Рисунок 2.10 – Напрявна типу «коробка»

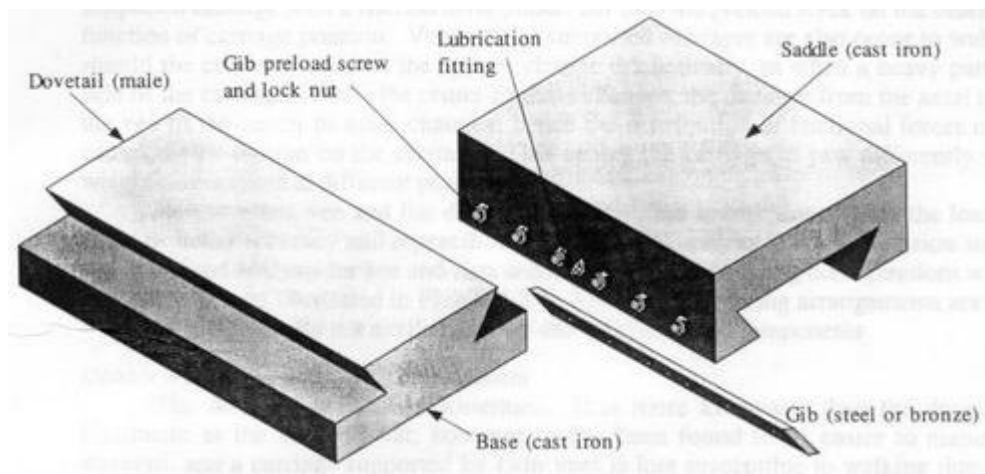


Рисунок 2.11– Напрявна типу «Ластівчин хвіст»

У той час як рециркуляційні профільовані рейкові напрямні та напрямні типу «ластівчин хвіст» використовуються у багатьох верстатах, коробчасті напрямні є основним вибором для верстатів, призначених для потужної, «жорсткої» обробки та матеріалів, які особливо важко обробляти, наприклад таких як аерокосмічні сплави. [6]

Коробчасті напрямні кращі при роботі з твердішим матеріалом, більш високим навантаженням і універсальним застосуванням, ніж лінійний спосіб. Перевага ще у тому, що немає обмежень для різних видів робіт.

Максимальні швидкості робочих рухів та прискорених переміщень, які забезпечуються такими напрямними досягають 20 – 30 м/хв. Використання напрямних ковзання взагалі і коробчастих напрямних зокрема доцільно в тих випадках, коли на напрямні діють значні навантаження, крім того напрямні ковзання забезпечують значно краще демпфування у порівнянні з напрямними кочення (рис.2.12, 2.13), що покращує динамічну жорсткість верстата та підвищує точність обробки і якість обробленої поверхні.

Поєднання ваги верстата та загартованих коробчатих напрямних гарантує дуже жорстку робочу платформу, що забезпечує виняткове гасіння вібрацій, особливо при переривчастому різанні широкого спектру матеріалів, таких як титан, чавун або нержавіюча сталь, тощо. На рис. 2.12 відображений графік вібрації коробчастих напрямних (Box Way) з накладками Turcite, а на рис. 2.13 вібрації лінійних напрямних кочення



Рисунок 2.12- Типовий графік вібрації коробчастих напрямних (Box Way) з накладками Turcite універсальних токарних верстатів TC300



Рисунок 2.13 - Типовий графік вібрації лінійних напрямних кочення універсальних токарних верстатів TC300

3 ДЕМПФУЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

Серед різних причин, що зумовлюють гасіння коливань механічних систем, особливий інтерес представляє природне поглинання енергії коливань у матеріалі пружних елементів самої коливальної системи. Будь-який реальний матеріал здатний при його циклічному деформуванні більшою чи меншою мірою поглинати енергію циклічного деформування, перетворюючи її на теплоту, яка потім розсіюється. [8]

Здатність матеріалу незворотно поглинати механічну енергію обумовлена його недосконалою пружністю, що виявляється в нелінійності та неоднозначності залежностей між напруженнями та деформацією при навантаженні та розвантаженні та призводить до утворення петлі гістерезису (рис. 3.1), площею якої характеризується величина поглиненої (або розсіяної) в одиниці об'єму матеріалу енергії $\Delta U(\epsilon_0)$ за цикл його деформування з цією амплітудою деформації в (напруження σ_0).

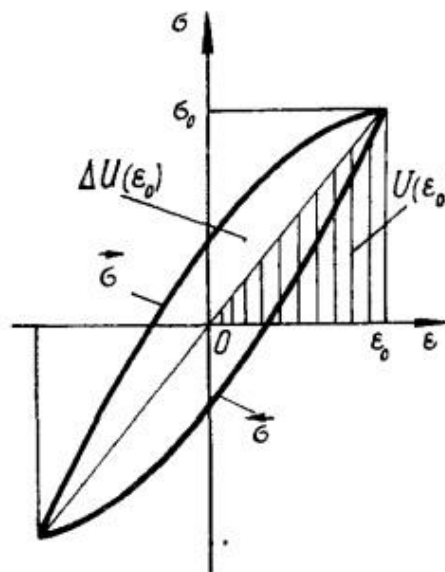


Рисунок 3.1 – Петля гістерезису

Відзначена здатність матеріалу починає проявлятися при амплітудах напруг, значно менших за макроскопічну межу пружності, і для області робочих амплітуд деформацій деталей інженерних конструкцій в основному обумовлюється мікропластичними деформаціями, пов'язаними з переміщеннями дислокацій, переміщеннями міжфазових границь та меж двійників пов'язаними з

наявністю оборотного мартенситу в структурі, а також магніто-механічною гістерезисом, пов'язаним з незворотними зміщеннями меж доменів.

Стосовно інженерних завдань гасіння (демпфування) коливань елементів конструкцій розглянута здатність матеріалу поглинати енергію його циклічного деформування називається демпфуючою здатністю.

Ця здатність матеріалу як один з основних факторів, що обумовлюють обмеження амплітуди резонансних коливань та загасання вільних коливань та впливають на динамічну стійкість та розвиток автоколивань, має важливе значення для забезпечення не тільки динамічної міцності віброуючих елементів, а й сталої роботи апаратури, а також покращення комфортабельності транспортних машин та підвищення ефективності роботи вібраційних машин резонансного типу. При цьому якщо зазвичай прагнуть забезпечити максимум демпфування коливань пружного елемента, що вважається однією з умов оптимального конструювання то наприклад, для резонансної системи вібраційної машини бажано мати мінімальний рівень, демпфування.

Численні дослідження показують, що на розсіювання енергії в матеріалі при коливаннях впливає ряд факторів, вплив кожного з яких при різних умовах циклічного деформування може виявитися однаковим.

У технічній літературі спостерігається велика строкатість даних про характеристики внутрішнього розсіювання енергії тих самих (або близьких за складом) матеріалів [9]. Це пов'язано з технічними можливостями використовуваної апаратури, з вибором для оцінки демпфуючої здатності матеріалів розрахункових формул, з методичними особливостями даних, з порушенням при порівнянні результатів принципу фізичної співвідносності умов експерименту тощо.

На рівень розсіювання енергії в металах значний вплив має попередня пластична деформація, при цьому не тільки тоді, коли деформування призводить до зміцнення, а й тоді, коли опір матеріалу пластичним деформацією ще не підвищується.

Попередня пластична деформація зазвичай призводить до збільшення розсіювання енергії в матеріалі, що спостерігається як у сталей рис. 3.2, так і у кольорових матеріалів рис. 3.3.

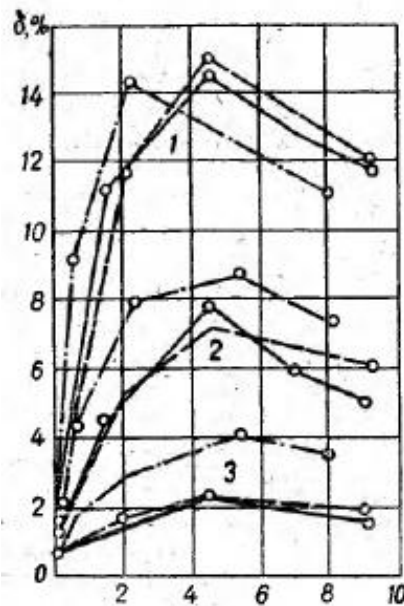


Рис. 3.2 - Залежність декрименту коливань чистого вигину від ступеня пластичної деформації при різних рівнях напруги: 1— $\sigma=20$ кГ/мм²; 2 — $\sigma=10$ кГ/мм²; 3 — $\sigma=5$ кГ/мм²; суцільні лінії – Ст. 3 після стиску; пунктир – Ст. 3 після розтягування; штрих-пунктир – сталь У8 після розтягування.

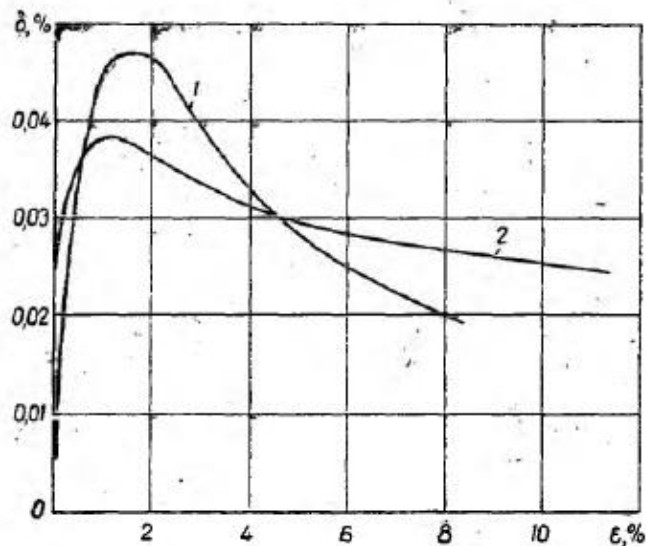


Рисунок 3.3 - Залежність декрименту крутильних коливань від ступеня пластичної деформації при амплітуді напруги $\tau=2$ кГ/мм²; 1 – алюмінієвий сплав Д-16; 2 – мідь.

Найбільше збільшення-розсіювання енергії у сталей спостерігається при початковій, навіть незначній деформації. При подальшому підвищенні

пластичного деформування процес зростання розсіювання енергії сповільнюється, а після досягнення деякого критичного значення розсіювання енергії починає зменшуватися

Проте пластичне деформування, що супроводжується, очевидно, знеміцненням матеріалу, не може вважатися досить ефективним технологічним засобом підвищення демпфуючих властивостей сталей, оскільки при подальшому природному старінні (поверненні) розсіювання енергії, як правило, змінюється в протилежному напрямку і рівень розсіювання енергії може бути нижче вихідного. Слід зазначити, що за підвищених температурах процес повернення початкових демпфуючих властивостей може піти значно швидше.

Демпфуючі властивості матеріалу - не залишаються постійними при тривалому впливі циклічних напруг. Характер зміни розсіювання енергії залежить від умов навантаження та від структури матеріалу. Так, при амплітуді напружень, що перевищує межу витривалості, у сталей спостерігається швидке і майже рівномірне зростання розсіювання енергії зі збільшенням числа циклів

Демпфуюча здатність розглядається як самостійна характеристика матеріалу, що вимагає в основному експериментального визначення з урахуванням реальних технологічних та експлуатаційних факторів.

В основі створення класу вібропоглинаючих конструкційних матеріалів використовуються два напрями: підвищення внутрішнього (структурного) розсіювання в матеріалі та контактне розсіювання енергії завдяки використанню складних шаруватих систем, що часто складаються з металу та високомолекулярних сполук. [10]

Класифікація сплавів високого демпфування доцільна за видом механізмів розсіювання енергії, що контролюють процес. Приклад класифікаційної схеми представлений на рис. 3.4

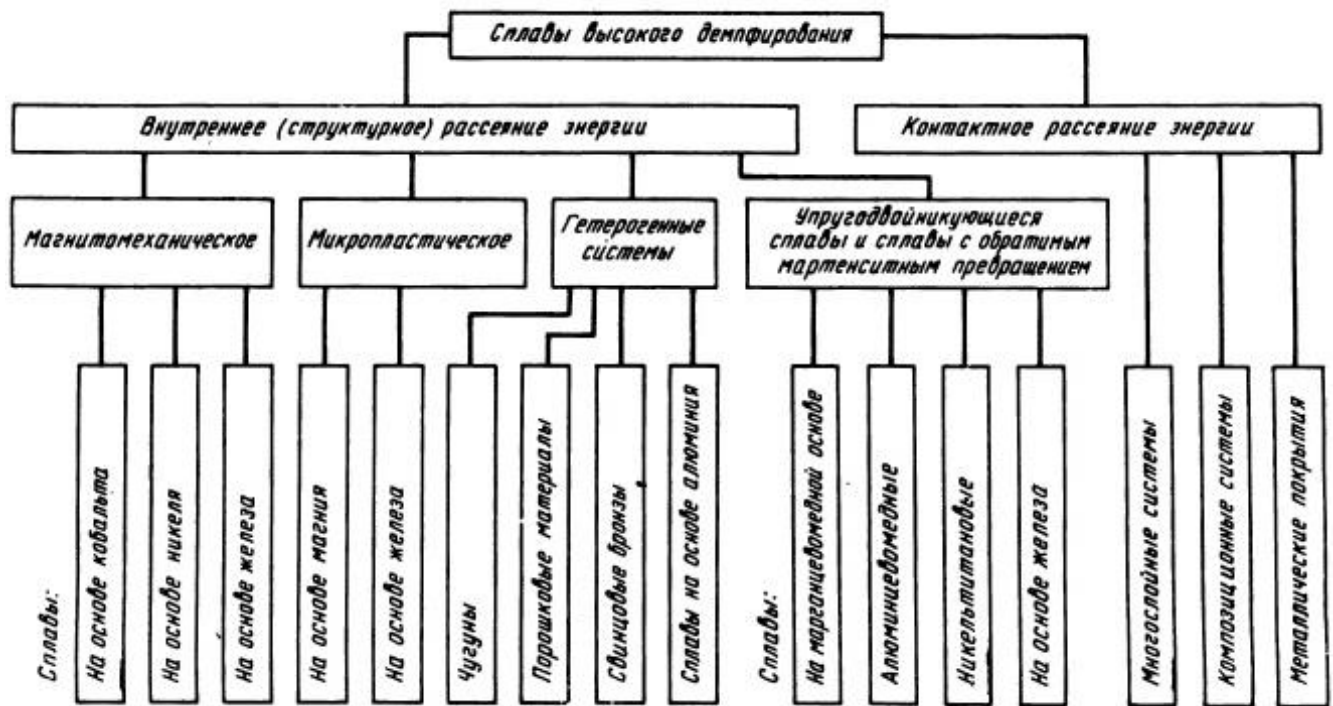


Рисунок 3.4- Класифікаційна схема сплавів високого демпфування

Проте будь-яка класифікація за вказаною ознакою дуже умовна, оскільки той чи інший механізм розсіювання енергії проявляється в обмеженому амплітудному, температурному або частотному діапазоні навантажень. У багатьох випадках діє одночасно кілька джерел загасання коливань.

Розроблювані сплави високого демпфування практично завжди використовують для вібраційно-навантажених елементів конструкцій. Аналіз робіт, що пов'язують циклічне деформування з розсіяною в процесі навантаження енергією, показує, що за цією ознакою також можна виділити певні групи конструкційних матеріалів.

Відомі конструкційні матеріали розрізняються за демпфуючою здатністю дуже істотно - на три порядки. Нижче наведені (табл. 3.1) деякі орієнтовні дані про максимальне значення декрименту коливань різних класів матеріалів при амплітуді гомологічного напруження, що дорівнює приблизно одній десятій; межі плинності даного матеріалу, в умовах кімнатної температури.

Таблиця 3.1 - Орієнтовні дані про максимальне значення декримент коливань [7].

Матеріал	$\delta_{\max}$, %	Матеріал	$\delta_{\max}$, %
Сплави		Чавуни з графітом	
алюмінієві	0,1-1	пластинчастим	10-15
магнієві (литі)	13-30	кулястим	2-5
марганцевомідні	10-25		
мідноалюмінієві	4-10		
нікельтитанові	10-15		
кобальт нікелеві	6-12		
титанові	0,05-0,15		
Сталі		Латунь та бронза	0,1-0,3
хромисті	1-4		
вуглецеві	0,2-1		

Для полімерних матеріалів логарифмічний декримент має значення в 5-10 разів вищі, ніж для металів. Збільшення модуля пружності призводить до зниження якостей гасіння коливань.

Розсіювання енергії в полімерному матеріалі залежить від напруженого стану системи, амплітуди циклічного навантаження. виду коливань: поздовжніх, поперечних, крутильних, складних.

Одним з переваг полімерних матеріалів є властивість зростання демпфуючої здатності з підвищенням рівня напружень. Це дозволяє деталям з полімерних матеріалів працювати в резонансних режимах коливань.

Матеріали мають різну жорсткість, і тому порівняння матеріалів за коефіцієнтами в'язкості є не повним. Для твердих матеріалів зручнішою характеристикою загасання є відношення коефіцієнта в'язкості до модуля пружності - постійна часу демпфірування матеріалу.

4 ВИБІР І РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ

4.1 Попередній вибір форми і розмірів напрямних

Для розрахунків параметрів напрямних ковзання будуть використовуватись прямокутні напрямні ковзання. Вони прості за формою та технологічні у виготовленні, зручні при складанні завдяки незалежності переміщень в горизонтальній і вертикальній площинах. Несучі горизонтальні грані робляться широкими, що дозволяє знизити тиск. На горизонтальних гранях мастило добре утримується, але відходи обробки самі не скидаються, для цього потрібні необхідні додаткові пристрої. Навантаження сприймається в основному несучими гранями, а бічні здійснюють напрямок, при малому зносі або коли знос мало впливає на точність. Застосовують найчастіше в верстатах нормальної точності, в важких верстатах, а також при гідростатичному мастилі напрямних (відсутність зносу).

Розміри прямокутних напрямних обираємо по [11, с. 265, табл. 11.1]:

$H=50$ мм

$B=125$ мм

$b=12$ мм - товщина планки

$s=1$ мм - зазор

$L=1800$ мм

4.2 Розрахунок розподілу тиску на гранях напрямних

Розрахунок напрямних тертя ковзання ведеться виходячи із забезпечення потрібної зносостійкості та жорсткості. Для забезпечення зносостійкості обмежують допустимі тиски на робочих гранях, а вимоги до жорсткості лімітують допустимі контактні переміщення.

Коли власна жорсткість поєднаних базових деталей суттєво більша контактної жорсткості напрямних, то тиски на робочих поверхнях визначаються

приблизним методом. При цьому нехтують власними деформаціями деталей та розглядають відносний поворот та зміщення деталей як твердих тіл в наслідок деформації поверхневих слоїв. По довжині напрямних тиски вимірюються по лінійному закону, а по ширині напрямних тиск буде постійним. Надається розрахункова схема для рухомого вузла рис. 4.1, при дії на нього всіх сил: складових сили різання, ваги вузла, тягового зусилля, реакцій на робочих гранях напрямних та відповідних сил тертя.

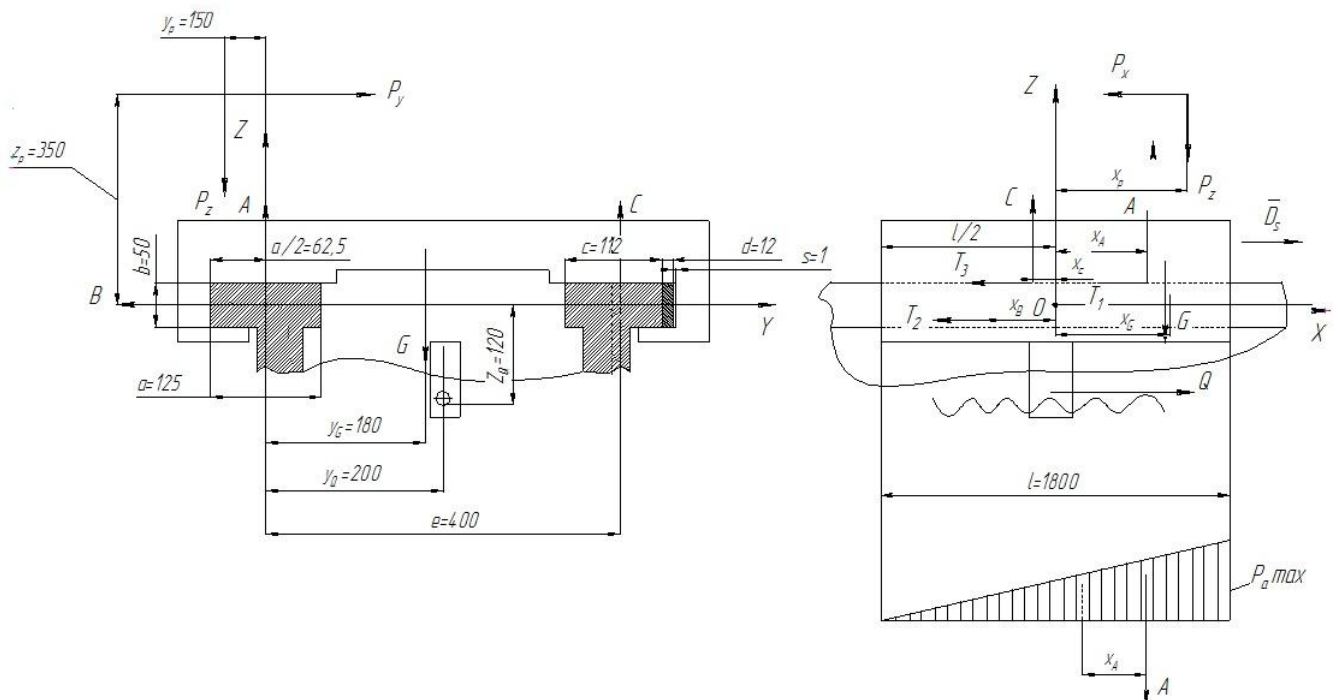


Рисунок 4.1 – Схема рухомого вузла

Приймаємо систему координат та по розрахунковій схемі складаємо рівняння рівноваги рухомого вузла:

$$\sum X=0; -P_x+Q-f(A+B+C)=0;$$

$$\sum Y=0; -B+P_y=0;$$

$$\sum Z=0; -G+C+ A-P_z =0$$

$$\sum M_x=0; -P_y z_p+ P_z y_p-G y_G+C e=0;$$

$$\sum M_y=0; P_x z_p- P_z x_p+ Q z_Q-C x_c+A x_a=0;$$

$$\sum M_z=0; P_y x_p+ P_x y_p+Q y_Q-f B a +f C e- B x_B =0,$$

де G —вага вузла, Н;

Q — тягове зусилля, Н;

A, B, C – реакції на робочих гранях;

f – коефіцієнт тертя на гранях направляючих матеріалу;

x_p, y_p, u_p – координати прикладення реакції на гранях, м;

X_A, X_B, X_C – координати прикладення реакції на гранях, м;

Розраховуються режими різання для знаходження складових сили різання. Режими різання розраховуються для фрезерування деталі зі Сталі 45, торцевою фрезою с пластинами з твердого сплаву.

Вихідні данні:

$D = 100\text{мм}$;

$B = 80\text{мм}$ [3, стр.402];

$Z = 8$ – ГОСТ 24359-80;

$t = 2\text{мм}$;

$S_o = 0,16\text{ мм/об}$ – для матеріалу Сталь 45, потужності двигуна вище 10 [12, стр.403, табл.75];

Швидкість різання V , мм/хв, розраховується за формулою:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u Z^p} \cdot K_v, \quad (4.1)$$

де C_v, m, x, y, u, p – коефіцієнт, показники ступеня;

T – стійкість інструмента, хв

$C_v = 332, q = 0.2, m = 0.2, x = 0.1, y = 0.4, u = 0.2, p = 0$ – для фрезерування торцевою фрезою заготовки з конструкційної сталі, інструментом з T15K6, [12, с407, табл. 81];

$T = 180$ – середнє значення стійкості, [12, стр. 411 табл. 82];

K_v – поправочний коефіцієнт швидкості різання, розраховується за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{pv} \quad (4.2)$$

де K_{nv} – коефіцієнт враховуючий стан заготовки;

K_{uv} – коефіцієнт враховуючий матеріал інструмента.

$K_{nv} = 1$ – для заготовки без корки, [12, с. 361, табл. 5];

$K_{uv} = 1$ – для ріжучого інструмента з T15K6, [12, с. 361, табл. 6];

Коефіцієнт враховуючий оброблюваний матеріал K_{mv} , розраховується за формулою:

$$K_{mv} = K_r \cdot (750 / \sigma_B)^{n_v}, \quad (4.3)$$

де K_r – Коефіцієнт для розрахунку оброблюваності сталі K_{mv} ;

n_v – показник ступеня для розрахунку оброблюваності сталі K_{mv} .

$K_r=1$; $n_v=1$ – для обробки заготовки із конструкційної сталі інструментом із T15K6, [12, с. 359, табл. 2]

$$K_{mv} = 1 \cdot (750 / 710)^{0,9} = 1$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$V = \frac{332 \cdot 100^{0,2}}{180^{0,2} \cdot 2^{0,1} \cdot 0,16^{0,4} \cdot 80^{0,2} \cdot 8^0} \cdot 1 = 240,15 \text{ м / хв}$$

Окружна сила різання P_z , Н, розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^n \cdot Z}{D^q \cdot n^w}, \quad (4.4)$$

де C_p, x, y, n, q, w - коефіцієнт, показники ступеня;

$C_p=825, x=1, y=0,75, n=1,1, q=1,3, w=0,2$ [12, с. 412, табл. 83];

n – частота обертання шпинделя.

Частота обертання шпинделя n , хв^{-1} розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V_s}{\pi \cdot D}, \quad (4.5)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 240,15}{3,14 \cdot 100} = 764,8$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 10 \cdot 2^1 \cdot 0,16^{0,75} \cdot 80^{1,1} \cdot 8}{100^{1,3} \cdot 764,8^{0,2}} = 2726,2 \text{ Н}$$

Потужність різання N_e , кВт розраховується за формулою:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_n}{1020 \cdot 60} \quad (4.6)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{2726,2 \cdot 240,15}{1020 \cdot 60} = 9,52$$

Осьова та радіальна сила визначаються за [12, с.413,табл. 84]

$$P_y = 0,35 \cdot 2726,2 = 954,2$$

$$P_x = 0,5 \cdot 2726,2 = 1363,1$$

$$P_z = 2726,2 \text{ Н}$$

$$P_y = 954,2 \text{ Н}$$

$$P_x = 1363,1 \text{ Н}$$

Вага вузла була розрахована з урахуванням маси заготовки, яка дорівнює 1200 кг та маси стола з пристосуванням – 500 кг:

$$1200 \cdot 9,81 + 500 \cdot 9,81 = 16677 \text{ Н}$$

$$G = 16677 \text{ Н}$$

$$y_p = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}$$

$$y_G = 180 \text{ мм} = 0,18 \text{ м}$$

$$y_Q = 200 = 0,2 \text{ м}$$

$$z_p = 350 \text{ мм} = 0,35 \text{ м}$$

$$z_Q = 120 = 0,12 \text{ м}$$

$$e = 400 \text{ мм} = 0,4$$

$$x_p = 700 \text{ мм} = 0,7 \text{ м}$$

$f = 0,1$ – коефіцієнт тертя для пари сталь чавун з мастилом

З перших чотирьох рівнянь рівноваги рухомого вузла, розрахуємо реакції граней на напрямних і тягову силу:

$$A = P_z + G - 1/e (P_y z_p + P_z y_p + G y_G) \quad (4.7)$$

$$B = P_y \quad (4.8)$$

$$C = (P_y z_p + P_z y_p + G y_G) \cdot 1/e \quad (4.9)$$

$$Q = P_x + f(A + B + C) \quad (4.10)$$

$$A = 2726,2 + 16677 - 1/400(954,2 \cdot 0,35 + 2726,2 \cdot 0,15 + 16677 \cdot 0,18) = 19393,84 \text{ Н}$$

$$B = 954,2 \text{ Н}$$

$$C = (954,2 \cdot 0,35 + 2726,2 \cdot 0,15 + 16677 \cdot 0,18) \cdot 1/400 = 9,36 \text{ Н}$$

$$Q=1363,1+0,1(19393,84+954,2+9,36)=3392,84\text{Н}$$

По реакціям на гранях можливо оцінити величини середнього тиску за формулою:

$$p_a = \frac{A}{(al)} \quad (4.11)$$

$$p_b = \frac{B}{(bl)} \quad (4.12)$$

$$p_c = \frac{C}{(cl)} \quad (4.13)$$

де a,b, c – ширина та висота напрямних;

L– довжина напрямної;

a = 0,125 м; b = 0,05 м; c = 0,112 м; l = 1,8м;

$$p_a = \frac{19393,84}{(0,125 \cdot 1,8)} = 86194,84 \text{Па} = 0,086 \text{МПа} = 0,86 \text{кг} / \text{см}^2$$

$$p_b = \frac{954,2}{(0,05 \cdot 1,8)} = 10602,2 \text{Па} = 0,01 \text{МПа} = 0,1 \text{кг} / \text{см}^2$$

$$p_c = \frac{9,36}{(0,112 \cdot 1,8)} = 46,42 \text{Па} = 0,000046 \text{МПа} = 0,00046 \text{кг} / \text{см}^2$$

Для визначення максимального питомого тиску необхідно знайти три координати X_A , X_B , X_C прикладення рівнодійних. Для розв'язання цієї задачі до двох рівнянь, що залишилися напишемо додаткове рівняння, виходячи з розподілу зовнішніх моментів між напрямними.

$$X_a = \frac{-P_x z_p + P_z x_p - Qz_a}{A(c/a + 1)} \quad (4.14)$$

$$X_B = \frac{-P_y x_p + P_x y_p - Qy_Q + fAe - fB(e + a/2)}{B} \quad (4.15)$$

$$X_c = \frac{-P_y z_p + P_z x_p - Qz_Q}{-C(c/a + 1)} \quad (4.16)$$

$$X_a = \frac{-1363,1 \cdot 0,35 + 2726,2 \cdot 0,7 - 3398,84 \cdot 0,12}{19393,84 \cdot (0,125 / 0,112 + 1)} = 0,05$$

$$X_B = \frac{-954,2 \cdot 0,7 + 1363,1 \cdot 0,15 - 3398,84 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 19393,84 \cdot 0,4 - 0,1 \cdot 954,2(0,4 + 0,125 / 2)}{-954,2} = 0,43$$

$$X_c = \frac{-954,2 \cdot 0,35 + 2726,2 \cdot 0,7 - 3398,4 \cdot 0,12}{9,36(0,112 / 0,125 + 1)} = 103,35$$

Максимальний тиск на робочих гранях напрямних розраховується за формулою, що пов'язує тиски з рівнодіючою та координатою її прикладення:

$$P_{a \max} = \frac{A}{al} \left(1 + \frac{6X_a}{l}\right) \quad (4.17)$$

$$P_{B \max} = \frac{B}{bl} \left(1 + \frac{6X_B}{l}\right) \quad (4.18)$$

$$P_{c \max} = \frac{C}{cl} \left(1 + \frac{6X_c}{l}\right) \quad (4.19)$$

$$P_{a \max} = \frac{19393,84}{0,125 \cdot 1,8} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 0,05}{1,8}\right) = 99986,02 \text{ Па} = 0,099 \text{ МПа}$$

$$P_{B \max} = \frac{954,2}{0,05 \cdot 1,8} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,43}{1,8}\right) = 25763,39 \text{ Па} = 0,025 \text{ МПа}$$

$$P_{c \max} = \frac{9,36}{0,112 \cdot 1,8} \left(1 + \frac{6 \cdot 103,35}{1,8}\right) = 16009,31 \text{ Па} = 0,016 \text{ МПа}$$

4.3 Розрахунок напрямних ковзання за видом тертя

Розрахунок ведеться за критерієм максимального використання гідродинамічної підйомної сили в умовах змішаного тертя. Режим роботи напрямних може характеризуватися параметром:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot v}{\sigma} = 1175 \cdot 10^2 \frac{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2}{L \cdot c_p} \cdot h_1^2, \quad (4.20)$$

де μ – динамічна в'язкість мастила, МПа·с;

v – швидкість відносного руху (ковзання) м/с;

σ – тиск на поверхнях ковзання, кг/см²;

L, B – довжина і ширина, відповідно, напрямної, мм;

h_1 – мінімальна товщина масляної плівки в зазорі, мм;

c_p – коефіцієнт, що залежить від відношення h_2/h_1 .

$L = 1800$ мм;

$B = 125$ мм;

$h_{кр} = 0,005$ мм – для матеріалу Чавун СЧ 21-40; НВ 180 [1, с. 283, табл. 30]

Максимум значення c_p , а отже і сили P , що підтримує, відповідає оптимальному значенню нахилу каретки $h_2/h_1 = 2,2$. Тоді $c_p = 0,16$.

За критичного значення швидкості $v = v_{кр}$ (або $\lambda = \lambda_{кр}$), коли найменша товщина масляного шару $h_1 = h_{кр}$ достатня для забезпечення умов рідинного тертя, нахил каретки також буде оптимальним.

$$\lambda_{кр} = 1175 \cdot 10^2 \frac{1 + \left(\frac{1800}{125}\right)^2}{1800 \cdot 0,16} \cdot 0,005^2 = 2,11 \text{ мм}$$

Критична швидкість, за якої виникає гідравлічна підйомна сила розраховується за формулою:

$$v_{кр} = \frac{\lambda_{кр} P_{\max}}{\mu} \quad (4.21)$$

де μ – динамічна в'язкість мастила, мПа·с;

Динамічна в'язкість мастила розраховується за формулою:

$$\mu = \nu \cdot \rho \quad (4.22)$$

Для розрахунку обираємо індустріальне мастило И-40А ГОСТ 20799-88

$\nu = 68$ мм²/с – кінематична в'язкість мастила И-40А;

$\nu = 6,8 \cdot 10^{-5}$ м²/с

$\rho = 880$ кг/м³ – густина мастила И-40

$$\mu = 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot 880 = 0,05984 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$v_{кр} = \frac{2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,099 \cdot 10^6}{0,05984 \cdot 10^3} = 0,349 \text{ м / с}$$

З розрахунку одержали значення критичної швидкості для вибраних параметрів напрямних. Збільшення довжини L та зменшення ширини B

напрямних визначає зростання критичної швидкості і навпаки зменшення довжини L та збільшення ширини B напрямних знижує величину критичної швидкості за однакових інших умов.

Для зменшення довжини прямої L доцільно виконувати на напрямній поперечні канавки (рис.4.2 а,б), що сприятиме виникненню гідродинамічної підйомної сили на менших швидкостях ковзання.

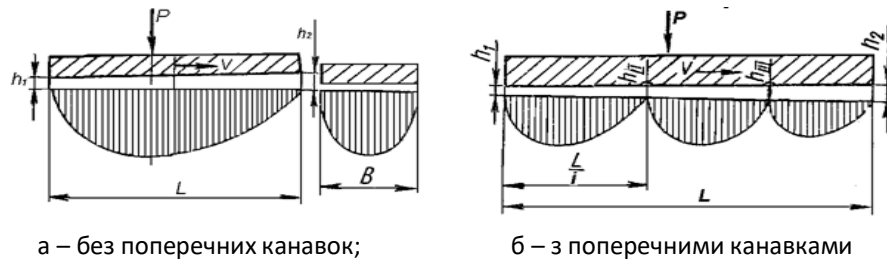


Рисунок 4.2– Епюри гідродинамічного тиску в мастильному шарі напрямних

4.4 Порівняння впливу різних пар тертя на їх довговічність

Довговічність напрямних залежить від критичної швидкості при якій виникає гідродинамічна підйомна сила. При рідинному терті знос напрямних майже відсутній, це підвищує довговічність напрямних.

Для порівняння матеріалу пар тертя напрямних обираємо пари чавун (СЧ 21-40) – чавун (СЧ 21-40), чавун (СЧ 21-40) – цинковий сплав (ЦАМ 10- 5), чавун (СЧ 21-40) – Turcite В.

Розрахунок пари тертя чавун (СЧ 21-40) – чавун (СЧ 21-40). Характер роботи напрямних розраховується за формулою:

$$\lambda = 1175 \cdot 10^2 \frac{1 + \left(\frac{L}{B}\right)^2}{L \cdot c_p} \cdot h_1^2, \quad (4.23)$$

де $h_1=0,005$ мм.

$$\lambda = 1175 \cdot 10^2 \frac{1 + \left(\frac{1800}{125}\right)^2}{1800 \cdot 0,16} \cdot 0,005^2 = 2,11 \text{ мм}$$

Критична швидкість розраховується за формулою 4.21

$$v_{кр} = \frac{2,11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,099 \cdot 10^6}{0,05984 \cdot 10^3} = 0,349 \text{ м / с}$$

Розрахунок пари тертя чавун (СЧ 21-40)– цинковий сплав (ЦАМ 10-5).

Характер роботи напрямних розраховується за формулою 4.23,

де $h_1=0,004$ мм.

$$\lambda = 1175 \cdot 10^2 \frac{1 + \left(\frac{1800}{125}\right)^2}{1800 \cdot 0,16} \cdot 0,004^2 = 1,35 \text{ мм}$$

$$v_{кр} = \frac{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,099 \cdot 10^6}{0,05984 \cdot 10^3} = 0,223 \text{ м / с}$$

Розрахунок пари тертя чавун (СЧ 21-40) - Turcite В.

Характер роботи напрямних розраховується за формулою 4.23

$h_{кр}= 0,0008$ мм.

$$\lambda = 1175 \cdot 10^2 \frac{1 + \left(\frac{1800}{125}\right)^2}{1800 \cdot 0,16} \cdot 0,0008^2 = 0,054 \text{ мм}$$

$$v_{кр} = \frac{0,054 \cdot 10^{-3} \cdot 0,099 \cdot 10^6}{0,05984 \cdot 10^3} = 0,009 \text{ м / с}$$

Рідинне тертя у пари чавун (СЧ 21-40) – цинковий сплав (ЦАМ 10-5) при $v_{кр} = 0,223$ м/с, у пари тертя чавун (СЧ 21-40) – чавун (СЧ 21-40) при $v_{кр} = 0,349$ м/с, а у пари тертя чавун (СЧ 21-40) - Turcite В – $0,009$ м/с. Довговічність пари тертя чавун (СЧ 21-40) – Turcite В буде значно вища ніж у інших.

Отже, розрахунок показав, що рідинне тертя у пари (СЧ 21-40) – Turcite В найменше, тому для виготовлення напрямних ковзання використовую матеріал Turcite-В, так як він має низький коефіцієнт тертя, високу зносостійкість, що забезпечує тривалий термін служби, гасить і поглинає вібрації, що підвищує довговічність різального інструмента.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Тема дипломного проєкту «Розробка конструкції фрезерного (багатоцільового) верстата з ЧПК» тому вона передбачає проведення розрахунків у приміщенні (лабораторії) обладнаному персональними комп'ютерами (далі ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі ВДТ), отже нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщення (лабораторії) обладнаного візуальними дисплейними терміналами, у відповідності з методичними вказівками.

Розпочнемо з того, що є фактори виробничого середовища, які впливають на функціональний стан і працездатність людини, яка працює за комп'ютером. Наразі загальноприйнятою є класифікація небезпечних і шкідливих чинників, які згідно ДСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори Класифікація» по характерним видам дій на організм людини, підрозділяються на фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

Перші три групи включають вплив, який може бути завданий виробничою технікою та робітничим середовищем. Психофізіологічні фактори характеризують зміни стану людини під впливом ваги й напруженості праці. Включення їх у систему факторів виробничої безпеки обумовлене тим, що надмірні трудові навантаження в підсумку можуть також привести до захворювань.

Нижче представлені небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;
- механічне травмування в наслідок застосування меблів, що не відповідають ергономічним вимогам;

- нервово-психічні навантаження в наслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру;
- довготривалий дискомфорт в умовах недостатньої фізичної активності сприяє передчасному розвитку загального втомлення, зниженню працездатності, а при систематичній безперервній роботі призводить до захворювань периферичної нервової системи: невритів, радикулітів;
- негативний вплив електромагнітних, в тому числі і рентгенівських випромінювань при використанні моніторів персональних комп'ютерів (далі

ПК) з електронно-променевою трубкою, що призводить до погіршень зору, зниження імунітету;

- недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;
- підвищений рівень шуму, що створюється людьми, які працюють у приміщенні, призводить до їх роздратованості, втомленню;
- незадовільні параметри мікроклімату робочого місця, у зв'язку із відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, які можуть викликати загальні захворювання;
- вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;
- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

Людина, що працює на ПК може зіштовхнутися з наступними фізично небезпечними й шкідливими факторами:

- несприятливий мікроклімат робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- відсутність або недолік природного світла, недостатня освітленість робочої зони, підвищена яскравість світла; знижена контрастність;
- підвищена пульсація світлового потоку;

- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищена напруженість магнітного поля.

До психофізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів можна віднести: фізичні перевантаження (статичні й динамічні), нервово-психічні перевантаження (розумова напруга й перенапруга, монотонність праці, емоційні перевантаження, стомлення, емоційний стрес, емоційне перевантаження).

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

У приміщенні (лабораторії) застосовується широке різноманіття електроприладів: персональні комп'ютери, принтери, ксерокси, освітлювальні прилади, кондиціонери, побутові електроприлади тощо. Небезпека ураження електричним струмом при використанні цих приладів з'являється при недотриманні заходів обережності, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Одна із проблем при роботі на ПК – це ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку. Для цього треба застосовувати спеціальні засоби захисту: заземлення, занулення, захисне відключення. Захисне заземлення слід виконувати відповідно до ПУЕ і СНіП 3.05.06-85 («Електротехнічні пристрої») також треба користуватись НПАОП40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок».

По способу захисту людини від ураження електричним струмом, обладнання належить до I класу, оскільки має подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом, що відповідає вимогам НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила

безпечної експлуатації електроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Для того що мати невелику ймовірність механічного травмування треба раціонально розташувати робочі місця, не загороджувати робочі місця. Щоби виключити можливість травматизму відстань між робочими столами повинна становити не менше 2 метрів, а відстань між боковими поверхнями моніторів - не менше 1,2 метра. Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» площа на одне робоче місце не менше 6м², а об'єм – не менше 20м³.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

Згідно рекомендаціям НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку. Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Часто при роботі за ПК виникає кістково-м'язове порушення. Для запобігання кістково-м'язових порушень у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг необхідно передбачити перерви в роботі та виконувати фізичні вправи 2-3 рази протягом робочого часу. Застосування меблів та організація робочого місця згідно рекомендацій

ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи.» Загальні ергономічні вимоги, дає можливість не тільки

уникнути прояву захворювань але і забезпечує гарний настрій та високий рівень працездатності.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

У виробничих приміщеннях на робочих місцях за комп'ютером мають забезпечуватися оптимальні значення параметру мікроклімату відповідно ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря;
- інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення;
- температура поверхні.

Роботи в приміщенні з ПК, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40- 60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;
- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40- 60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень пристроями кондиціонування, вентиляції та дезодорації повітря, системами опалювання відповідно до рекомендацій ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Для нормальної репродуктивної здатності людини необхідний повітрообмін, для видалення з приміщення надлишків тепла, вологи і шкідливих речовин. Коли

повітря в приміщенні застоюється, в ньому починають розмножуватися шкідливі мікроорганізми, зменшується вміст кисню і воно стає непридатним для нормального дихання.

Приміщення, в яких перебувають люди потрібно вентилювати, тобто подати в приміщення необхідну кількість підготовленого (нагрітого, охолодженого, зволоженого, осушеного) повітря і відповідну його кількість видалити. Іншими словами, зробити приплив і витяжку в приміщенні.

Обмін повітря повинен розраховуватись так, щоб концентрація шкідливостей (пари, газу, волога, пилю або аерозолі та ін.) в приміщенні під час роботи вентиляції не перевищувала допустимих рівнів чи гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК деяких шкідливих речовин встановлюються згідно ДСН 3.3.5.042 — 99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".

Внаслідок роботи за ПК, на фізіологію людини негативно впливають електромагнітні випромінювання. Вимоги до захисних елементів повинні бути вказані в стандартах та технічних умовах на конкретні види виробів. Згідно з «НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгенівського та електромагнітного випромінювань.

Основними причинами недостатньої або нераціональної освітленості робочих місць є несправність або нераціональний вибір освітлювальних приладів. Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Раціональне освітлення є одним з найважливіших чинників попередження травматизму і професійних захворювань. Правильно організоване освітлення

створює сприятливі умови праці, підвищує працездатність і продуктивність праці. Освітленість виробничих, службових і допоміжних приміщень регламентується будівельними нормами і правилами ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» і галузевими нормами.

У приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28:2018 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників; переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу; використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

Неправильне проектування або несправність систем опалення та вентиляції в приміщенні може призвести до негативних впливів на здоров'я працівників у

вигляді простудних захворювань, перегрівань, проблем із дихальними шляхами тощо.

Для запобігання ризиків захворювання інфекційними хворобами підприємство чи окрема установа має індивідуальну програму забезпечення робітників належними умовами праці та впроваджує профілактичні заходи. Це можуть бути як сезонні (профілактичні) так і планові заходи. Плановими чи попередніми (при вступі на роботу) заходами можуть бути медичні огляди з урахуванням загальних протипоказань, індивідуальної чутливості, прогностичних ризиків розвитку захворювань. Сезонними заходами можуть бути проведення додаткових ін'єкцій чи оздоровчі програми для визначеної групи працівників що підлягають найбільшому впливу негативних факторів виробництва. Додатковими заходами попередження захворюваності є навчання адміністрації та працівників організацій (підприємств) основам медичних знань, способам збереження здоров'я на робочому місці; нормалізація санітарно-гігієнічних і психофізіологічних умов праці; залучення працівників до занять фізичною культурою, туризмом і спортом, підвищення доступності цих видів оздоровлення;

Значним фізичним фактором є мікроклімат робочої зони, особливо температура й вологість повітря. Норми мікроклімату зазначені у санітарних нормах мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений»

Шкідливий вплив на людину має електромагнітне поле. Електромагнітне поле великої інтенсивності призводить до перегріву тканин, впливає на органи зору і органи статеві сфери.

Нормованим параметром електромагнітного поля в діапазоні частот 50 КГц - 300 МГц, згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів, ультразвуку та інфразвуку, є граничне допустиме значення складових напруг електричних і магнітних полів.

Перевищення цих значень призводить до виникнення депресії, стресового стану, головного болю, безсоння, подразнення шкіри, хвороби суглобів і розвиток синдрому "хронічної втоми". Тривале знаходження людини в полі системного блоку комп'ютера негативно впливає на його психіку.

Зробимо висновок, якщо раціонально спланувати робоче місце, то є можливість отримати: найкраще розміщення знарядь і предметів праці, уникнути загальний дискомфорт, зменшування стомлюваності працівника, підвищення продуктивності праці людини.

5.4 Аналіз та заходи безпеки під час роботи на фрезерних верстатах з ЧПК

Охорона праці при роботі на верстатах з ЧПУ - одна з умов безаварійної експлуатації обладнання та відсутності нещасних випадків.

Оператор верстата з числовим програмним управлінням повинен дотримуватися правил техніки безпеки при роботі на обладнанні. Якщо халатно поставитися до їх виконання, це може коштувати робочого здоров'я, а то й життя.

Найважчі травми, іноді зі смертельним результатом працівники отримували через недотримання цих простих правил. За статистикою лише 3,6% нещасних випадків в промисловості відбувається через відмову обладнання, все інше - людський фактор.

При експлуатації верстатів з ЧПУ кожному етапу виробничого процесу відповідають свої правила, дотримуючись яких можна мінімізувати ризик отримання виробничої травми або професійного захворювання.

Для оцінки фізіологічного стану фахівців і запровадженню погіршенню їх загального здоров'я в процесі виконання обов'язків оператора, перед початком роботи передбачено проведення медогляду, відповідно до вимог Наказу міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Також періодично треба підтверджувати знання правил експлуатації обладнання рекомендацій відповідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове **положення** про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»

З метою запобігання травматизму фахівців приводи верстата потрібно відключати кожен раз, коли необхідно встановити заготовку або зняти готовий

вириб. Це ж правило слід дотримуватися при збиранні стружки, проведенні замірів і зміні інструменту.

Коли при обробці металевих заготовок утворюється дрібна стружка, оператор повинен користуватися захисними екранами або окулярами.

З метою уникнення пошкодження шкіри рук та обличчя, попадання металевої стружки у очі заборонено видувати стружку ротом або зчищати її з верстата руками. Для цього треба використовувати щітки або спеціальні гачки.

Високий рівень кваліфікації оператора верстата гарантує його безпечність, тому в процесі виконання професійних обов'язків він зобов'язаний знати:

- пристрій верстата, включаючи органи управління;
- аналізувати та діагностувати основні несправності;
- вимоги санітарних норм, що впливають на особистий стан здоров'я;
- правила трудового розпорядку в цеху.

До початку роботи верстатник зобов'язаний провести перевірку:

- надійності захисник огорожень, що відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних огорож»;
- наявності і працездатності інструменту;
- заземлення згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ»;
- функціонування на холостому ходу;
- цілісності мастильної системи і трубопроводів охолодження.

Верстатнику необхідно міцно закріпити оброблювану заготовку. Для цих цілей потрібно використовувати призначені для цього пристосування.

Необхідно закріпити робочий інструмент таким чином, щоб виключити ймовірність його розкріплення і поломки. Якщо затискної механізм зношений, то потрібно замінити кулачки або губки.

Під час роботи оператору обладнання заборонено розмішувати на вібрусе верстаті заготовки або інструмент - вони можуть завдати травми працівнику в разі падіння.

Привід верстата необхідно відключати в таких ситуаціях:

- якщо виявлена несправність устаткування;
- при коротких перервах в роботі;
- на період мастила або верстатів;
- при збоях в електромережі.

Якщо при роботі відбулося захоплення дрантя обертовими деталями, треба зупинити верстат. Не можна намагатися її витягнути.

На початку роботи оператор повинен проводити операції в такій послідовності:

1. Спочатку включити привід інструменту, потім подавати його на заготовку;
2. Після завершення операції відвести робочий інструмент від деталі, потім зупинити обертання шпинделя.

Не можна натискати руками на обертові частини устаткування, щоб загальмувати шпиндель.

Верстатнику заборонено на працюючому обладнанні виконувати наступні операції:

- змащувати і чистити верстат;
- прибирати утворилася стружку;
- вимірювати деталі;
- перевіряти рукою оброблювану поверхню.

Після завершення технологічних операцій верстатнику потрібно відключити електропривод обладнання. Потім необхідно видалити стружку, скласти заготовки і готові вироби. Інструмент треба прибрати на штатне місце.

Якщо протягом робочої зміни були неполадки обладнання або з верстатом проводилися ремонтні операції, необхідно передати цю інформацію наступного верстатнику або майстру.

Після зупинки рухомих частин верстата потрібно провести їх мастило. При цьому використану ганчір'я треба помістити в закривається сталевий ящик.

Безпека електрообладнання визначається дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок»;

Для виключення нещасних випадків, викликаних ураженням електрострумом, оператори верстатів з ЧПУ повинні дотримуватися правил електробезпеки при експлуатації обладнання.

Підключати верстат до електричної мережі можна тільки після того, як станина і електродвигун заземлені.

Оператор зобов'язаний відключити електроживлення в наступних обставинах:

- при виявленні напруги на сталевих частинах машини;
- ланцюг заземлення розімкнути.

При проведенні ремонту та налагоджувальних робіт потрібно встановлювати огороження та знаки безпеки. Електробезпека верстата забезпечується шляхом від'єднання кінців живильних ліній.

У разі поразки оператора електричним струмом слід перш за все припинити дію електрики на потерпілого. Для цього потрібно використовувати сухі предмети, які не проводять електрострум - дошка, канат, швабра. Людину потрібно відтягнути від джерела напруги, уникаючи брати його за взуття або відкриті ділянки тіла. При цьому для захисту рук треба використовувати будь-який діелектрик - суху ганчір'я або гуму.

При експлуатації машин і механізмів з числовим програмним управлінням виникають ризики виникнення пожежі. Причинами можуть бути як порушення техніки безпеки, так і технічна несправність обладнання.

Для запобігання виникнення пожежі потрібно дотримуватись вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»:

- не курити в виробничому приміщенні (СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания»;
- не використовувати відкритий вогонь в цеху;
- стежити за роботою електроприводів, не допускаючи їх перегріву;
- не зберігати промаслений ганчір'я на столах і відкритих стелажах;
- НЕ складувати матеріали і готову продукцію в цехових проходах;

- при роботі з деталями зі сплавів титану або магнію НЕ здувати стружку стисненим повітрям, щоб не утворювалася вибухонебезпечна суспензія.

У наказі по підприємству перераховуються особи, відповідальні за пожежну безпеку в цеху.

Якщо загоряння сталося, верстатнику необхідно зробити наступні дії:

1. Знеструмити обладнання;
2. Викликати пожежну команду по телефону;
3. Подати сигнал пожежним сповіщувачем і сповістити керівництво про подію;
4. До прибуття пожежних гасити вогнище вуглекислотним або порошковим вогнегасником;
5. Покинути цех, якщо локалізувати пожежу не вдалося.

При виконанні всіх заходів по боротьбі з пожежею ризики отримання опіків і травм, а також отруєння токсичними газами будуть мінімальними.

Інструкція з охорони праці - основний документ по техніці безпеки на виробництвах, де застосовуються верстати з ЧПУ. Вона розробляється відповідно до «Міжгалузевими правилами з охорони праці при холодній обробці металів» і затверджується наказом по організації. Інструкцію з охорони праці для верстатника повинен зберігати у себе майстер цеху.

Підключення електроживлення до верстата і обслуговування його електродвигунів виробляється згідно НПАОП 40.1-1.21-98 «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Таким чином, дотримуючись вимог нормативно-правових актів, міжгалузевих правил з охорони праці та інструкцій, можна забезпечити комфортні та безпечні умови праці.

5.5 Заходи з пожежної безпеки

Метою пожежної безпеки об'єкта є попередження виникнення пожежі на визначеному чинними нормативами рівні, а у випадку виникнення пожежі

обмеження її розповсюдження, своєчасне виявлення, гасіння пожежі, захист людей і матеріальних цінностей. Основні вимоги до системи запобігання пожежі надаються у ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення»

Для людей дуже важливо виконання елементарних правил пожежної безпеки під час перебування на робочому місці. Адже безвідповідальне ставлення до таких, здавалося б, дрібниць, як кинутий недопалок чи залишений без нагляду електрообігрівач, може спричинити пожежу. Часто займання відбувається через неправильне зберігання в приміщенні легкозаймистих речовин, спалах електропроводки через перевантаження електромережі, неакуратне поводження з вогнем у місцях приготування їжі.

Для забезпечення пожежної безпеки в установах треба проводити пожежну профілактику, яка включає в себе комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Пожежа – неконтрольоване горіння по за спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі. Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломи, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись окремо, так і в складі пожежних щитів.

Горіння – це швидко протікаюча хімічна реакція окислення речовин, що супроводжується виділенням теплоти і часто випромінюванням світла.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу Е - пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною безпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» приміщення (лабораторія) відповідає категорії Д – наявність не займистих речовин і матеріалів в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості дослідницької лабораторії - II.

В приміщення (лабораторія) пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розташовано на двох спеціальних пожежних щитах (стендах), відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні". Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. В приміщення (лабораторія) встановлено 2 вуглекислотних вогнегасника місткістю 5 л, вогнегасники повинні відповідати вимогам ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник ВВК-3 призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в офісних приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Також, для адміністративних приміщень рекомендується використання сповіщувачів пожежі, тому в офісне приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого

номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я. Для адміністративних приміщень використовується димові пожежні сповіщувачі.

Отже, якщо дотримуватись всі види положень та правил, проводити пожежні профілактики та робити перевірки приміщень на наявність пожежних небезпек, то ризик виникнення надзвичайної ситуації знизиться до мінімуму.

5.6 Забезпечення стійкої роботи комунально-енергетичних систем промислового об'єкта.

Дослідження стійкості роботи об'єкта полягає у всебічному вивченні умов, які можуть скластися при виникненні надзвичайної ситуації та у визначенні їх впливу на виробничу діяльність підприємства [13].

Мета дослідження – виявити вразливі місця в роботі об'єкта в умовах надзвичайної ситуації та виробити найбільш ефективні пропозиції і рекомендації, спрямовані на підвищення його стійкості.

Дослідження стійкості підприємств проводиться силами інженерно-технічного складу із залученням фахівців науководослідних і проектних організацій, пов'язаних з даним підприємством.

Організатором і керівником дослідження є керівник підприємства (начальник цивільного захисту об'єкта).

Весь процес планування та проведення досліджень поділяється на три етапи:

1-й етап – підготовчий;

2-й етап – оцінка стійкості роботи об'єкта в особливий період;

3-й етап – розробка заходів, що підвищують стійкість роботи об'єкта.

Тривалість дослідження (встановлюється в залежності від обсягу робіт і підготовленості учасників, які залучаються до виконання завдань) може становити 2-3 місяці.

Для проведення дослідження на об'єкті можуть створюватися наступні дослідницькі групи:

- начальника відділу капітального будівництва;
- головного енергетика;
- головного механіка;
- головного технолога;
- відділу матеріально-технічного забезпечення (постачання);
- штабу цивільного захисту.

Для узагальнення результатів дослідження створюють групу керівника дослідження, яку очолює головний інженер або начальник виробничого відділу.

На першому етапі з керівниками дослідницьких груп проводиться спеціальне заняття, на якому керівник підприємства доводить до виконавців план роботи, ставить задачу кожній групі і призначає терміни проведення досліджень.

На другому етапі кожна група фахівців проводить дослідження і розрахунки стійкості роботи певних елементів виробничого комплексу в умовах надзвичайної ситуації воєнного характеру, визначає і оцінює:

- умови захисту робітників та службовців об'єкта від зброї масового ураження;
- уразливість виробничого комплексу при впливі на нього вражаючих факторів ядерного вибуху;
- характер можливих уражень від вторинних вражаючих факторів;
- стійкість системи постачання та кооперативних зв'язків об'єктів з підприємствами-постачальниками і споживачами;
- уразливі місця в системі управління виробництвом.

На третьому етапі підводяться підсумки проведених досліджень. Групи фахівців за результатами досліджень готують доповіді з висновками і пропозиціями по:

- захисту робітників та службовців;
- підвищенню стійкості елементів виробництва що оцінюються (до доповідей додаються необхідні таблиці, схеми і плани).

Група керівника дослідження, на основі доповідей груп фахівців, складає узагальнену доповідь, у якій відображаються:

- можливості захисту робітників, службовців і членів їх родин у захисних спорудах на об'єкті та у заміській зоні;
- загальна оцінка стійкості об'єкта і найбільш уразливі ділянки виробництва;
- практичні заходи, які необхідно виконати в мирний час і в період загрози нападу для підвищення стійкості роботи об'єкта у воєнний час, а також обсяг і вартість робіт;
- порядок і орієнтовні терміни проведення відбудовних робіт при різних ступенях руйнувань і розробляє план заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкта в особливий період.

У плані заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкта намічаються заходи щодо підвищення стійкості об'єкта. Визначаються вартість проведення намічених заходів, джерела фінансування, сили і засоби, необхідні матеріали, терміни виконання і особи, відповідальні за виконання.

План заходів, які проводяться силами об'єкта, затверджується керівником підприємства – начальником цивільного захисту.

План заходів, що вимагає більших матеріальних витрат, направляється на затвердження старшому начальнику.

На мирний час плануються, головним чином, трудомісткі заходи, що вимагають значних матеріальних витрат і часу.

На особливий період (загрози виникнення воєнної НС) плануються заходи, які можуть бути легко реалізовані або виконання яких в мирний час недоцільно і навіть неможливо.

Вихідні положення для оцінки стійкості об'єкта

Оцінка стійкості роботи промислового об'єкта в особливий період (в умовах воєнної НС) проводиться на підставі моделювання впливу вражаючих факторів ядерного вибуху (на основі використання результатів випробувань і розрахункових даних).

При цьому враховуються наступні положення:

1. Оцінювати стійкість об'єкта необхідно щодо кожного із вражаючих факторів.
2. Повинні враховуватися вторинні вражаючі фактори ядерного вибуху.

3. Припускають, що значення параметрів вражаючих факторів однакові на всій площі об'єкту і всі елементи об'єкта піддаються майже одночасному їх впливу.

4. Оцінку стійкості об'єкта починають із визначення максимальних очікуваних значень параметрів вражаючих факторів ядерного вибуху.

5. Найнесприятливішим вважають випадок, коли центр вибуху виявиться ближче до об'єкту.

6. Стійкість об'єкта в цілому визначається стійкістю кожного елемента окремо.

7. На основі аналізу уразливості об'єкта, виділяються основні елементи виробництва, від яких залежить функціонування об'єкта в особливий період (в умовах воєнної НС).

В якості додаткових вихідних даних для оцінки стійкості об'єкта (цеху) необхідно також знати наступне:

1. Основні елементи виробництва та їх характеристики.
2. Вид виробництва і готової продукції, а також горючих речовин і матеріалів які використовуються в технологічному процесі.
3. Характеристики будівель і споруд щодо вогнестійкості.
4. Щільність забудови на об'єкті.
5. Захисні споруди та їх характеристики (тип, кількість, захисні властивості, місткість або площа приміщень, обладнання системами життєзабезпечення та ін.)

Висновки

У дипломному проєкті була проведена розробка конструкції фрезерного (багатоцільового) верстата з ЧПК, а саме напрямні ковзання.

1 Проведений порівняльний аналіз напрямних ковзання та кочення з точки зору зносостійкості, довговічності, зменшення коефіцієнту тертя та на здатність напрямних гасити коливання.

Були представлені основні переваги та недоліки як напрямних кочення так і напрямних ковзання за якими визначено, що напрямні ковзання відповідають одним з головних критеріїв забезпечення високої жорсткості, простоту і компактність конструкції та найголовніше мають гарні демпфуючі властивості при великих швидкостях.

2 Проаналізовані матеріали напрямних ковзання з погляду зносостійкості, коефіцієнту тертя, залежності коефіцієнту тертя від швидкості відносного ковзання. Були розглянуті такі матеріали як: чавун незагартований, загартовані чавунні та сталеві метали високої твердості, кольорові метали, пластмаси та термопластичний матеріал Turcite-B.

Для багатоцільових та фрезерних верстатів з ЧПУ середніх та великих розмірів доцільним є використання напрямних ковзання з покриттям полімерними антифрикційними матеріалами, тому був обраний матеріал Turcite-B Slydway.

3 Переглянувши всі переваги та враховуючі недоліки в роботі були обрані напрямні коробчастої форми, тому що саме вони можуть забезпечити значне демпфування вібрацій машини.

Загартовані коробчаті напрямні з напрямними з покриттям Turcite-B протягом багатьох років були кращим вибором для XYZ верстатів, оскільки вони відомі тим, що забезпечують найкраще рішення для верстатобудування. Поєднання ваги верстата та загартованих коробчатих напрямних гарантує дуже жорстку робочу платформу, що забезпечує виняткове гасіння вібрацій, особливо при переривчастому різанні широкого спектру матеріалів, таких як титан, чавун або нержавіюча сталь

4 Також були обрані розміри напрямних, які забезпечують роботу напрямних в режимі рідинного тертя. Складена розрахункова схема по якій виконане рівняння рівноваги рухомого вузла.

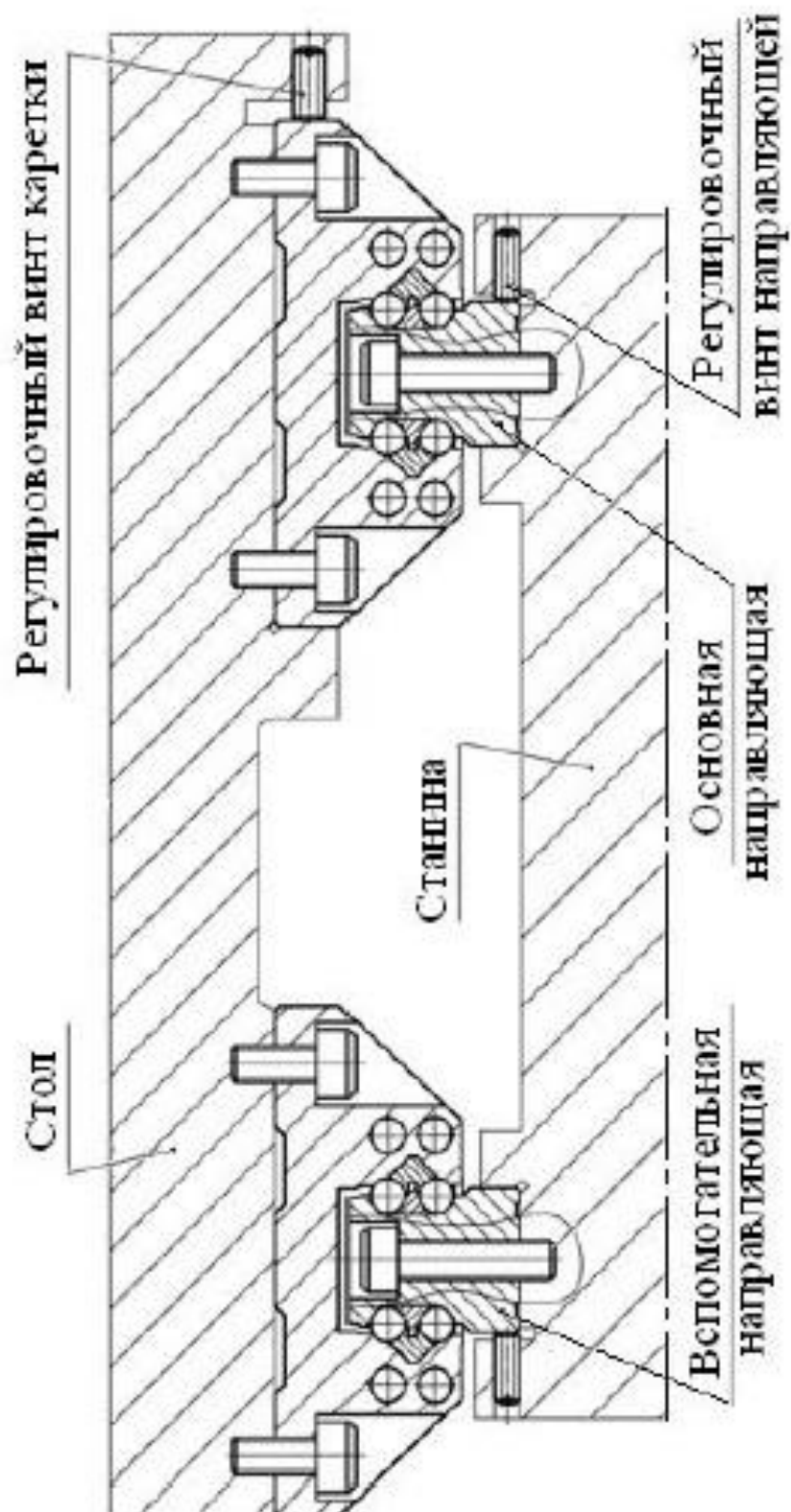
Виконаний розрахунок розподілу тиску на гранях напрямних та розраховані критичні швидкості в залежності від пари тертя. Виявлено, що довговічність пари тертя чавун (СЧ 21-40) – Turcite В буде значно вища ніж у інших.

1. Детали и механизмы металлорежущих станков [Текст] / Д.Н. Решетова, В.В. Каминская, А.С. Лапидус и др.; Под ред. Д.Н. Решетова - М: Машиностроение 1972. т. I - 664 с.
2. Пуш В.Э. Металорежущие станки [Текст] / Пуш В.Э.- М.: Машиностроение, 1985. – 256с.
3. Металлорежущие станки [Текст] / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какоило и др.; Под ред. В.В. Бушуева. - М.: Машиностроение, 2011. т. 2 - 586 с.
4. Прикладна механіка [Текст] В.Д. Хіцан, О.М. Ушаков, Є.В. Басова. – Х.: НТУ «ХП», 2017. – 80 с.
5. Turcite® B Slydway® TechnicalData/ Trelleborg, SealingSolution [Електронний ресурс] <https://www.boedeker.com/Portals/0/Documents/Turcite-B-Slydway-Boedeker-Plastics-Technical-Installation-Guide.pdf?ver=2019-08-22-212309440×tamp=1566527242807>
6. Info About Slides Slides & Bearings Information (From MIT Lectures) [Електронний ресурс] <https://sites.google.com/site/smabhyan/infoaboutslides>
7. Boxway slides [Електронний ресурс] <https://www.linearmotiontips.com/what-are-boxway-slides-and-where-are-they-used/>
8. Сопротивление материалов [Текст] / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка, В.Г. Попков, Э.С. Уманский и др.; Под ред. Г.С. Писаренко. - К.: Выща школа. Головное изд-во 1986. - 775 с.
9. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов [Текст] / С.А. Головин, А. Пушкар, Д.М.Левин - М: Металлургия, 1987. - 190 с.
10. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов [Текст] Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К.: Наукова думка, 1971. - 376 с.
11. Кочергин, А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов [Текст] / А.И. Кочергин— Мн.: Выш. шк., 1991. — 382 с.
12. Косилова, А.Г. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] / под ред. А.Г. Косиловой, – М.: “Машиностроение”, 1985. т.2 – 496 с.

13. Демиденко, Г.П. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время [Текст] / под ред. Г.П. Демиденко. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1984. – 232 с.

Додаток А

Схема напрямних кочення



Додаток Б

Схема напрямних ковзання

