

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему Розробка математичної моделі та дослідження параметрів січення
косого різну на стрічкопилльному верстаті

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МВмз-61

напряму підготовки (спеціальності) _____

133 –Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Студент

(підпис)

Луб'янський О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Шанайда В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Крупа В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Крупа В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)
студенту Луб'янському Олександру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка математичної моделі та дослідження параметрів січення
косого різну на стрічкопилльному верстаті

Керівник роботи Шанайда Володимир Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 16 » листопада 2023 року № 4/7-1065_

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до роботи кінематичні схеми токарних верстатів різних категорій;
конструктивні креслення токарних патронів; типові схеми діагностики токарних патронів;
результати попереднього аналізу конструкцій токарних патронів.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний розділ: провести огляд та
виконати аналіз проблематики дипломної роботи; здійснити інформаційно-патентний
пошук. Виконати комплекс кінематичних та силових розрахунків. Визначити напрям подальших
досліджень. Описати методика та методи проведення дослідження; сформулювати модель
вивчення об'єкта дослідження. Відобразити результати оприлюднення отриманих
результатів. Розробити заходи з ОП та БНС.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Титульний аркуш – сл.1; Завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження – сл. 2-3;
Інформаційно-патентне дослідження – сл. 4-5; Аналітичні дослідження – сл. 6-9;
Дослідно-проектні положення – сл. 10-12; Аналіз теоретичних положень – сл. 13;
Аналіз динамічних моделей та процесу різання на стрічкопилльному верстаті – сл. 14-16;
Математичне моделювання і дослідження параметрів профілю – сл. 17-20;
Загальні висновки – сл. 21-24;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвич. ситуаціях	проректор АГРБ Клепчик В.М.		
Охор. праці	к.т.н., ас. Сенік А.А.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Кобельник В.Р.		

7. Дата видачі завдання 15 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи	18.11.2023 р.	
2.	Аналіз останніх досліджень і публікацій	21.11. 2023 р	
3.	Інформаційно-патентний огляд стрічкових пил	23.11. 2023 р.	
4.	Інформаційно-патентний огляд стрічкопильних верстатів	24.11. 2023 р.	
5.	Закономірності процесу різання при використанні стрічкових пил	25.11. 2023 р.	
6.	Конструктивні розрахунки пил та стрічкопильних верстатів	28.11. 2023 р.	
7.	Аналіз методик та методів для виконання дослідження	30.11. 2023 р.	
8.	Розробка математичної моделі проведення дослідження	01.12. 2023 р.	
9.	Аналіз отриманих результатів	05.12. 2023 р.	
10.	Розробити заходи з охорони праці	07.12. 2023 р.	
11.	Розробити заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях	09.12. 2023 р.	
12.	Оформлення графічної частини	12.12. 2023 р.	
13.	Оформлення пояснювальної записки	16.12. 2023 р.	
14.	Оформлення презентації доповіді	19.12. 2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Луб'янський О.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Шанайда В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Луб'янський О.В.; "Розробка математичної моделі та дослідження параметрів січення косоного різку на стрічкопилльному верстаті". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2023 р.

Мета роботи: сформувати математичну модель для визначення площі поперечного перерізу оброблюваного профілю при кутовому зміщенні полотна пили.

Завдання роботи:

- 1 – дослідити та встановити закономірності у взаємозв'язках між параметрами процесу різання при використанні стрічкових пил;
- 2 – вивчити розподіл навантажень по профілю зуба пили у процесі різання;
- 3 – провести аналіз результатів розрахунку полотна пили на міцність та довговічність;
- 4 – провести конструктивний розрахунок елементів приводу головного руху стрічкопилльного верстата;
- 5 – дослідити критерії втрати стійкості полотна стрічкової пили;
- 6 – провести 3D моделювання профілю оброблюваної деталі та визначити параметри його поперечного січення при кутовому зміщенні полотна для порізу;
- 7 – сформувати математичну модель для аналітичного розрахунку параметрів: площа та периметр поперечного січення з метою її використання як аналітичного блоку інформаційного модуля бази даних.

Об'єкт дослідження: січення оброблюваного профілю деталі.

Предмет дослідження: характер зміни параметрів січення оброблюваного профілю при зміні взаємного розміщення різального інструменту.

Методи дослідження: засоби 3D моделювання; метод скінченних елементів; математичні методи аналізу; алгоритми автоматизованого аналізу дискретних множин.

Загальні висновки:

у відповідності до поставлених завдань нами сформульовані наступні висновки:

1 – досліджено та встановлено закономірності у взаємозв'язках між параметрами процесу різання при використанні стрічкових пил.

Процес обробки біметалевими стрічковими пилами можна розглядати як вільне різання, де кожен зуб має одну головну ріжучу кромку з мінімальним кутом λ . Величини переднього кута та тип розведення впливають на умови роботи зубів стрічкового полотна.

Розрахункові формули для визначення величин напруженого стану від факторів, які впливають на полотно пили у процесі роботи подають у наступному вигляді:

$$\sigma_H = \frac{F_H}{S}; \quad \sigma_{\text{и}} = \frac{b \cdot E}{D}; \quad \sigma_{\text{ц}} = 0.01 \cdot v^2 \frac{\gamma}{g}; \quad \sigma_p = \frac{P_d \cdot z}{S}; \quad \sigma_T = E \cdot \alpha_T \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{с}}); \quad \tau_K = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\text{кр}}}$$

2 – вивчено розподіл навантажень по профілю зуба пили у процесі різання;

Внаслідок складних деформаційних та теплових навантажень спостерігають різні причини виходу пили з ладу: зношування та руйнування зубів пили, зношування або зминання спинки пили, розрив полотна, тріщини в міжзубних канавках, тріщини між полотном основи і матеріалом різальної частини та ін

Напруження у зубах стрічкової пилки при прикладанні рівнодіючої сили різання P для кутів $\gamma = 0^\circ \dots 10^\circ$ знаходяться в межах 650 МПа, а зміщення ріжучої кромки при цьому може сягати $\Delta = 0,31$ мм;

3 – проведено аналіз результатів розрахунку полотна пили на міцність та довговічність;

Використана методика розрахунку дозволяє визначати та встановлювати зусилля натягу на полотно пили з врахуванням допустимих напружень для широкою номенклатури типорозмірів пил. Такий розрахунок з великою ступінню точності дозволяє спрогнозувати параметри стійкості пили ще в умовах виробництва.

4 – проведено конструктивний розрахунок елементів приводу головного руху стрічкопильного верстата;

На основі проведеного аналізу нами встановлено, що максимальне навантаження валу знаходиться в його перерізі під підшипником поруч із стрічкопривідним колесом. Там діє згинальний момент, який виникає під дією сили натягу стрічкової пилки. Для зменшення вигину привідного вала пропонується схема, за якої деформації згину будуть приймається тілом підшипника або самим корпусом верстата. Найбільш раціонально підшипники закріплювати в несучій частині верстата.

5 – досліджено критерії втрати стійкості полотна стрічкової пили;

За результатами виконаних аналітичних досліджень та геометричних побудов встановлено, що при хвильовому варіанті розведення зубів пил на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t = 4$ мм є технологічно стабільним при швидкості різання понад 30 м/хв, тоді як для пил з кроком $t = 6$ мм і $t = 8$ мм ці показники зростають до 42 м/хв і 55 м/хв відповідно. При другому варіанті розведення зубів пил, коли середній зуб не підлягає розведенню, на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t = 4$ мм є технологічно стабільним при швидкості різання понад 40 м/хв, тоді як для пил з кроком $t = 6$ мм і $t = 8$ мм ці показники не мають перевищувати 32 м/хв і 45 м/хв відповідно.

6 – проведено 3D моделювання профілю оброблюваної деталі та визначити параметри його поперечного січення при кутовому зміщенні полотна для порізу;

7 – сформувано математичні моделі для аналітичного розрахунку параметрів: площа та периметр поперечного січення профільної конструкції при косому різі.

$$Pl(x) = 0.65 \cdot x^{1.584} - 1.24 \cdot x + 420.873;$$

$$Per(x) = 0.105 \cdot x^{1.608} - 0.201 \cdot x + 149.708.$$

Lubianskyi O.V.; “Development of a mathematical model and investigation of parameters for oblique cutting on a band sawing machine”. 133 – Industrial engineering; Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu; Ternopil, 2023.

The purpose of the work: to form a mathematical model for determining the cross-sectional area of the processed profile at the angular displacement of the saw blade.

Job tasks:

- 1 – to investigate and establish regularities in the relationships between the parameters of the cutting process when using band saws;
- 2 – study the distribution of loads along the saw tooth profile during the cutting process;
- 3 – analyze the results of the calculation of the saw blade for strength and durability;
- 4 – to carry out a constructive calculation of the drive elements of the main movement of the band saw machine;
- 5 – to investigate the criteria for the loss of stability of the band saw blade;
- 6 – carry out 3D modeling of the profile of the processed part and determine the parameters of its cross-section at the angular displacement of the blade for cutting;
- 7 – to form a mathematical model for the analytical calculation of the parameters: area and perimeter of the cross-section in order to use it as an analytical block of the information module of the database.

Object of research: section of the processed profile of the part.

The subject of the study: the nature of changes in the cross-section parameters of the processed profile when changing the mutual placement of the cutting tool.

Research methods: 3D modeling tools; finite element method; mathematical methods of analysis; algorithms of automated analysis of discrete sets.

General conclusions:

in accordance with the tasks set, we formulated the following conclusions:

- 1 – regularities in the interrelationships between the parameters of the cutting process when using band saws were investigated and established.

The process of processing with bimetallic band saws can be considered as free cutting, where each tooth has one main cutting edge with a minimum angle λ . The values of the front angle and the type of separation affect the working conditions of the belt teeth.

Calculation formulas for determining the values of the stress state from factors that affect the saw blade during operation are given in the following form:

$$\sigma_H = \frac{F_H}{S}; \quad \sigma_u = \frac{b \cdot E}{D}; \quad \sigma_{\Pi} = 0.01 \cdot v^2 \frac{\gamma}{g}; \quad \sigma_p = \frac{P_A \cdot Z}{S}; \quad \sigma_T = E \cdot \alpha_T \cdot (t_{\Pi} - t_C); \quad \tau_K = \frac{M_{KP}}{W_{KP}}$$

2 – the distribution of loads along the profile of the saw tooth during the cutting process was studied;

As a result of complex deformation and thermal loads, various causes of saw failure are observed: wear and destruction of saw teeth, wear or crumpling of the back of the saw, tearing of the blade, cracks in the grooves between the teeth, cracks between the blade of the base and the material of the cutting part, etc.

The tension in the teeth of the band saw when applying the equivalent cutting force P for angles $\gamma = 0^\circ \dots 10^\circ$ are within 650 MPa, and the displacement of the cutting edge in this case can reach $\Delta = 0.31$ mm;

3 – an analysis of the results of the calculation of the saw blade for strength and durability was carried out;

The used calculation method allows you to determine and set the tension force on the saw blade, taking into account the allowable stresses for a wide range of standard sizes of saws. Such a calculation with a high degree of accuracy makes it possible to predict the parameters of the stability of the saw even under production conditions.

4 – a constructive calculation of the drive elements of the main movement of the band saw machine was carried out;

Based on the analysis, we found that the maximum load of the shaft is in its section under the bearing next to the belt drive wheel. There is a bending moment, which occurs under the action of the tension force of the band saw. To reduce the bending of the drive shaft, a scheme is proposed in which the bending deformations will be

accepted by the bearing body or the machine body itself. It is most rational to fix the bearings in the supporting part of the machine.

5 – the criteria for the loss of stability of the band saw blade were investigated;

According to the results of the performed analytical studies and geometric constructions, it was established that with the wave version of the saw teeth on the KSA 8532 machine, the use of a saw with a pitch of $t= 4$ mm is technologically stable at a cutting speed of more than 30 m/min, while for saws with a pitch of $t= 6$ mm and $t= 8$ mm, these indicators increase to 42 m/min and 55 m/min, respectively. In the second variant of thinning the saw teeth, when the middle tooth is not subject to thinning, on the KSA 8532 machine, the use of a saw with a pitch of $t= 4$ mm is technologically stable at a cutting speed of more than 40 m/min, whereas for saws with a pitch of $t= 6$ mm and $t= 8$ mm, these indicators should not exceed 32 m/min and 45 m/min, respectively.

6 – 3D modeling of the profile of the processed part was carried out and the parameters of its cross-section were determined during the angular displacement of the blade for cutting;

7 – mathematical models were formed for the analytical calculation of parameters: the area and perimeter of the cross-section of the profile structure at an oblique cut.

$$Pl(x) = 0.65 \cdot x^{1.584} - 1.24 \cdot x + 420.873;$$

$$Per(x) = 0.105 \cdot x^{1.608} - 0.201 \cdot x + 149.708.$$

ЗМІСТ

	стор.
Реферат	4
ВСТУП	13
1. Аналітичний розділ	16
1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи	16
1.1.1. Аналіз останніх досліджень і публікацій	17
1.1.2. Аналіз патентних даних	18
1.1.2.1. Стрічкові пили	18
1.1.2.2. Стрічкопильні верстати	22
1.2. Інформаційно-патентний пошук	26
1.2.1. Характеристика стрічкових пил	26
1.2.2. Матеріали та властивості стрічкових пил	28
1.2.3. Конструктивні та геометричні параметри стрічкових пил	29
1.2.3.1. Крок зубів пили	32
1.2.3.2. Передній кут зубів пили	34
1.2.3.3. Розведення зубів	35
1.2.4. Характеристика стрічкопильних верстатів	37
1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження	39
2. Дослідно-проектний розділ	43
2.1. Закономірності процесу різання при використанні стрічкових пил	43
2.2. Методика розрахунку стрічкових пил на міцність	49
2.2.1. Розрахунок стрічкової пили на довговічність та стійкість процесу різання	53
2.3. Розрахунок привідного вала приводу головного руху стрічкопильного верстата	53

2.3.1.	Аналіз навантажень привідного вала пили	56
2.3.2.	Побудова розрахункової схеми для аналізу привідного вала пили	59
2.3.3.	Розрахунок крутних моментів на привідному валу пили	60
2.3.4.	Розрахунок діаметрів у характерних точках на привідному валу пили	60
2.3.5.	Конструктивне оформлення привідного валу пили	61
2.4.	Висновки до розділу	64
3.	Науково-дослідна частина	66
3.1.	Методика та план проведення наукових досліджень	66
3.1.1.	Метод найменших квадратів	66
3.1.2.	План проведення досліджень	67
3.2.	Оцінка впливу резонансної частоти коливань на процес різання стрічковими пилами	69
3.3.	Дослідження напружено-деформованого стану зуба пили та якості обробленої поверхні	77
3.4.	Методи аналітичних досліджень	79
3.4.1.	Реалізація лінійної регресії загального виду	79
3.4.2.	Реалізація нелінійної регресії загального виду	80
3.5.	Дослідження закономірностей зміни площі та периметра оброблюваного профілю від величини зміщення при кутовому різі	82
3.6.	Обговорення та аналіз отриманих результатів	90
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	93
4.1.	ОХОРОНА ПРАЦІ	93
4.1.1.	Типова інструкція для обслуговуючого персоналу на випадок виникнення аварії, пожежі	93

4.2.	БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	95
4.2.1.	Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до впливу вражаючих факторів	95
4.2.2.	Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу ударної хвилі	97
4.2.3.	Оцінка стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання	97
4.2.4.	Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження	99
4.2.5.	Оцінка стійкості об'єкта до впливу вторинних вражаючих факторів	100
	Загальні висновки	101
	Перелік посилань	104
	Додатки	

ВСТУП

На сучасних заготівельних виробництвах близько 80 % заготовок розрізають за допомогою стрічкопилних технологій, які відносяться до високотехнологічних, високопродуктивних енерго- та ресурсозберігаючих процесів. Стрічкопилні технології охоплюють широкий діапазон розмірів перерізів заготовок – від листів завтовшки 0,5 мм до прокату в 1,5 м. Процес різання простий в експлуатації та його легко автоматизувати. Обробляють сталеві блоки, сортовий прокат, важкооброблювані сталі, сплави на основі нікелю та титану, кольорові метали та їх сплави, граніт, бетон та інші матеріали різних форм та розмірів.

До найпотужніших виробників стрічкопилних верстатів відносять фірми Amada, (Japan); Do ALL, (USA); Forte, Behringer, Kasto, Meba MetalBandsagemaschinen GmbH, Klager (Німеччина); FMB, CARIF (Італія); PEGAS; Pilous, Bomar, (Чехія), Beka-mak, UZAY MAKINA (Туреччина) та ін. Виробники стрічкових пилок - це Amada, Do All, WIKUS, Arntz, Wespa, RONTGEN, BANCO та ін. Відмінна риса процесів пиляння - це висока продуктивність, точність і чистота різку, економлячи матеріал за рахунок зменшення ширини пропилю.

Існуючі верстати та стрічкові пилки забезпечують різні потреби різання: контурне пиляння, відрізка під кутами, різання пакетів заготовок різного профілю. Площа поперечного перерізу заготовок можуть досягати більше метра, при цьому стрічкове пиляння забезпечує мінімальне відхилення різку від перпендикулярності.

Виробнича лінійка верстатів фірми МЕВА, варіанти нормальної та консольної компоновки представлені на рисунках 1 і 2. Номенклатура пилок WIKUS має 1400 варіантів стрічкових пилок, що забезпечує можливість вибору оптимальної конструкції різального інструменту для конкретних умов виробництва.



Рисунок 1. Виробнича лінійка верстатів фірми MEBA

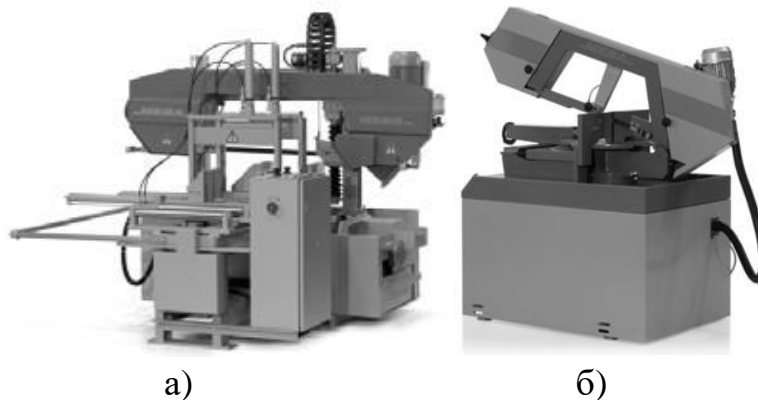


Рисунок 2. загальний вид двоколонного (а) і консольного (б) стрічкопилних верстатів.

Використання технологій різання заготовок стрічковими пилами забезпечують наступні переваги:

- можливість високопродуктивного різання сталей, чавунів, важкообробних матеріалів, кольорових металів та сплавів;
- економія матеріалу заготовок: ширина пропилу 2,5 ... 4,0 мм;
- висока якість різку: відхилення від прямолінійності до 1,5мм/100мм;
- економія споживаної енергії: 1,5 ... 15 кВт;

- підвищення продуктивності праці;
- екологічна чистота процесу різання;
- підвищення культури виробництва.

Переваги стрічкового пиляння представлені у розрахунках машинного часу та вартості одного різу для різних варіантів заготівельних операцій, таблиця 1.

Таблиця 1. Сумарна вартість одного різу (у.о./різ) при порізці сталей різними методами

Діаметр заготовки, мм	Дискова пила			Ножовочна пила			Стрічкопильний верстат		
	Конструкційна сталь	Легована сталь	Нержавіюча сталь	Конструкційна сталь	Легована сталь	Нержавіюча сталь	Конструкційна сталь	Легована сталь	Нержавіюча сталь
10	0,006	0,007	0,017	0,013	0,015	0,022	0,014	0,018	0,023
30	0,008	0,04	0,120	0,03	0,05	0,10	0,03	0,04	0,09
40	0,05	0,07	0,270	0,05	0,07	0,17	0,05	0,06	0,14
80	0,80	0,28	1,26	0,19	0,30	0,85	0,15	0,18	0,54
150	0,74	1,06	4,86	0,63	1,03	3,03	0,69	0,82	2,18
200	~ 2,13	2,37	13,04	1,31	1,74	6,76	1,31	1,45	4,51

Вище подані міркування дозволяють аргументовано стверджувати, що використання стрічкопильних верстатів є загально прийнятою практикою на заготівельних операціях. Широкий вибір верстатного обладнання та велика номенклатура металорізальних пил свідчать про актуальність розгляду питань, які пов'язані із вивченням питань міцності, надійності та довговічності верстатного обладнання та стрічкових пил; дослідженням динаміки процесу механічної обробки, власне процесу різання стрічковими пилами; впливу геометрії зубів стрічкових пил на продуктивність обробки та їх стійкість.

1. Аналітичний розділ

1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи

Металообробні підприємства та підприємства, які займаються виготовленням металоконструкцій широко використовують пиловідрізні верстати (пили) як у заготівельному виробництві, так і на етапі механічної обробки заготовок. Перед металообробними підприємствами стоїть завдання переходу до інтенсивного впровадження новітніх технологій, які забезпечують значне підвищення продуктивності праці при мінімальних витратах сировини, енергії та трудових ресурсів.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженим обладнанням для порізки металопрофілів є стрічкові пили. Енергетичні затрати при цьому залежать від фізико – механічних властивостей металу, експлуатаційних характеристик металообробного обладнання та режимів різання.

Ефективність процесу порізки металу стрічковими пилами характеризують якістю поверхні, формою та розмірами при мінімально можливих витратах енергії, часу, коштів. На цей критерій впливає багато факторів. Зокрема на ефективність такої механічної обробки суттєво впливають не контрольовані процеси, які мають місце під час обробки. Основними з них є анізотропія оброблюваного матеріалу, зміна в часі стану ріжучого інструменту та супутнього обладнання.

Розробка нових ефективних принципів та методів роботи систем управління, що враховують динаміку процесу обробки, необхідність виконання суміжних та ряду допоміжних операцій, які виникають в процесі обробки є актуальною науково-технічною задачею [1, 2, 3]. Її вирішення сприятиме покращенню планово-організаційних параметрів підприємства, зменшенню собівартості і витрат енергії при виконанні обробки на стрічкопилкових верстатах, підвищенню продуктивності і забезпеченню конкурентоспроможності продукції.

1.1.1. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Підвищення ефективності процесу порізки заготовок пилою можна досягти за рахунок впровадження систем управління процесом обробки. Такі системи стабілізують силові параметри різання: потужність різання, зусилля різання, момент різання [4]. Найбільшого розповсюдження для стрічкових пил, набули системи стабілізації за потужністю, яка затрачається на процес різання. Саме використання зазначених систем [5, 6], дозволяє здійснити реалізацію енергозберігаючих режимів роботи на стрічкових пилах, підвищує якість та точність обробки.

З огляду на результати Інтернет-пошуку, виробничникам доступна значна кількість конструктивних рішень, які відрізняються один від одного кількістю параметрів, котрі підлягають контролю, а також принципами побудови і організації роботи автоматичних регуляторів. Широко розповсюджені системи стабілізації потужності різання при використанні коректуючих пристроїв за послідовною та паралельною схемами дії, адаптивних контролерів, попереджувальної корекції, системи із змінними параметрами початкових налаштувань.

Аналіз роботи окремих підприємств показав, що організаційний аспект нерозривно пов'язаний з технологічним процесом. Вдале планування календарного терміну щодо періоду виготовлення замовлення базується на оптимізації всіх процесів з прогнозуванням непередбачуваних обставин. Таким чином аналіз та врахування якнайбільшої кількості керованих та некерованих параметрів може допомогти спрогнозувати часові, матеріальні та енергетичні витрати.

Кожна із систем стабілізації і керування процесом механічної обробки (порізки) володіє певними недоліками. Низька швидкодія та значне ускладнення процесу планового та технологічного регулювання; зниження точності утримування заданих параметрів регульованого критерію;

забезпечення неналежної якості обробки при значних енергетичних затратах – одні із багатьох факторів. Рівень якості керування технологічним процесом та управлінням в цілому, який є досяжним в системах побудованих з врахуванням вище зазначених обставин є обмеженим, оскільки при виконанні розрахунків, як правило, структуру моделі об'єкта керування та регулятора вважають незмінною, а визначають лише параметри управління [5, 6].

Обґрунтування та створення технології побудови систем управління спираючись на вивчення процесів забезпечення стабільності потужності різання при обробці на стрічкопильних верстатах з метою забезпечення належної якості оброблюваної поверхні [7] при найменших енергетичних витратах в умовах виробництва є актуальним технічним та методологічним завданням. Окрім того нові рішення мають мати просту технічну та організаційну реалізацію. Вирішення цих завдань пов'язане з використанням сучасних науково-методологічних підходів, обчислювальних алгоритмів, зокрема динамічного проектування [4, 8-10], а також розробкою баз даних та інформаційних модулів з функціями аналітичного прогнозування [11]. Це дозволить враховувати особливості динаміки верстату, стохастичний характер стану ріжучих зубів [12] полотна пили, внутрішнього стану заготовки у процесі проведення механічної обробки.

1.1.2. Аналіз патентних даних.

Патентний пошук проведено в Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні" та міжнародній пошуковій системі <https://patentscope.wipo.int/search/ru/advancedSearch.jsf>.

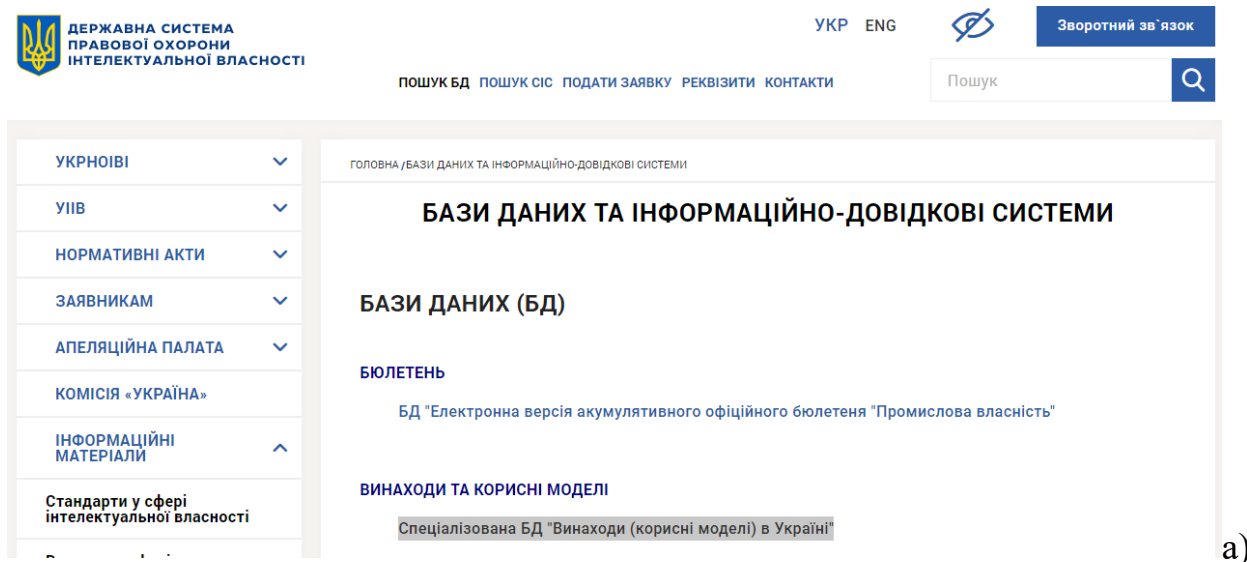
В першому випадку проведено пошук патентів на стрічкові пили, а в іншому випадку – пошук охоронних документів на стрічкопильні верстати.

1.1.2.1. Стрічкові пили

Стрічкові пили широко використовують як у деревообробній промисловості, так і при обробці заготовок з різного роду металів. Виконавши

аналіз геометричних параметрів пил слід відзначити, що як пили для порізки деревини, так і пили для порізки металевих профілів і прокату мають багато спільних рис, а відрізняються лише за кількома конструктивними параметрами.

У процесі пошуку патентної інформації (рис. 1.1) нам вдалося відшукати три патенти на корисні моделі, в яких подано основні напрями щодо конструктивного вдосконалення цього різального інструменту.



а)



б)

Рисунок 1.1. Порядок пошуку патентів на винаходи (корисні моделі): а- на сайті Державної системи правової охорони інтелектуальної власності; б – результати пошуку на сайті Українського інституту інтелектуальної власності

На рисунках 1.2-4 подано копії патентів України на корисні моделі, які відображають охоронні документи [13,14] на особливі елементи в конструкції полотна та зубів стрічкових пил.



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **81004** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
B27B 33/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2013 04784	(72) Винахідник(и): Стогнієнко Олександр Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.04.2013	(73) Власник(и): Стогнієнко Олександр Васильович, вул. Князя Володимира, 3, кв. 44, м. Біла Церква, Київська обл., 09100 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.06.2013	(74) Представник: Ротнер Світлана Едуардівна, реєстр. №361
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.06.2013, Бюл.№ 11	

(54) СТРИЧКОВА ПИЛА

(57) Реферат:

Стрічкова пила включає полотно із зубами в кількості принаймні один, виконаними з кутами заточування передньої і задньої граней зубів відповідно 10° і 30° і розводкою зубів за схемою. Схема розведення зубів здійснюється за схемою вправо-вліво-прямо з величиною розведення зубів в сторону $0,52 \pm 0,70$ мм. Радіус в місці сполучення полотна з зубом становить $1,24 \pm 0,2$ мм, висота зуба становить $6,25 \pm 0,05$ мм. Ріжуча кромка вершини зуба як і всієї кромки профілю зуба сформована строго перпендикулярно до тіла полотна.

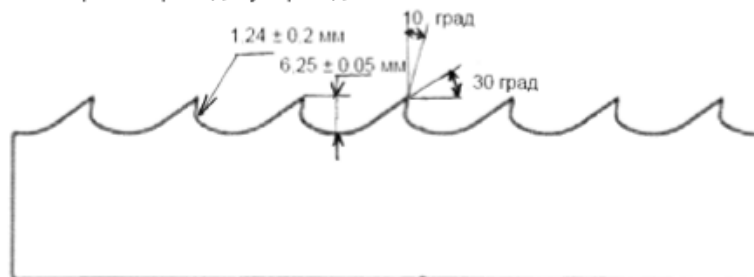


Рисунок 1.2. Патент № 81004 (на корисну модель) [15].

UA 81004 U



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93442** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
B27B 33/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2014 08035**
(22) Дата подання заявки: **16.07.2014**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.09.2014**
(46) Публікація відомостей про видану патенту: **25.09.2014**, Бюл.№ 18

(72) Винахідник(и):
Стогнієнко Олександр Васильович (UA)
(73) Власник(и):
Стогнієнко Олександр Васильович,
вул. Князя Володимира, 3, кв. 44, м. Біла Церква, Київська обл., 09100 (UA)
(74) Представник:
Марченко Віталій Омелянович, реєстр. №10

(54) СТРИЧКОВА ПИЛА

(57) Реферат:

Стричкова пила включає полотно із зубами, передня і задня грані кожного з яких заточені, а розташування зубів на полотні виконане за визначеною схемою розводу із однаковим значенням величини розводки по сторонах. Кути заточування передньої і задньої граней зубів складають, відповідно, 8-13° і 28-31°. Схема розводу містить групи по три зуби, що повторюються. Перший із зубів групи розведений в один бік - вправо чи вліво, наступний - у протилежний бік, третій зуб - не розведений. Величина розводки зубів на сторону складає 0,30-0,53 мм і виконана на відстані H від лінії впадин - дотичної до впадин між зубами, значення якої визначено виразом $H=(0,28-0,32)T$, де T - відстань від лінії впадин до вершини нерозведеного зуба.

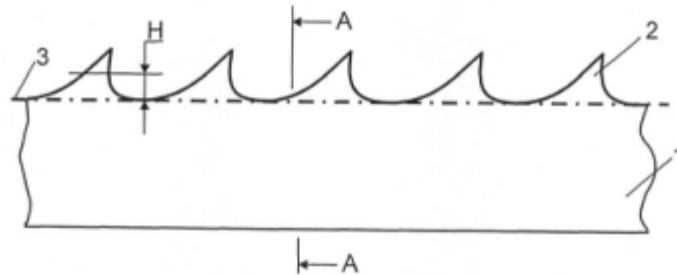


Рисунок 1.3. Патент № 93442 (на корисну модель) [16].

UA 93442 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102314** (13) **U**
(51) МПК
B27B 33/06 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 03832	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: 22.04.2015	(73) Власник(и):
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.10.2015	ПРИВАТНЕ ПІДПРИЄМСТВО "КОРОНЕТ УКРАЇНА", вул. Водопійна, 37, м. Біла Церква, Київська обл., 09100 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.10.2015 , Бюл.№ 20	

(54) СТРІЧКОВА ПИЛА

(57) Реферат:

Стрічкова пила містить стрічкове полотно з зубцями, що виконані з кутами заточки переднього кута 10° та заднього кута 30° , з розведенням зубців за схемою, з кутом ріжучої кромки зубця 90° , та додатково виконана з кутами заточки 4° чи 7° , чи 9° , чи 13° , а зовнішнього кута 32° чи 34° , чи 39° , чи 29° , що визначають профіль зубця $4^\circ/32^\circ$, $7^\circ/34^\circ$; $7^\circ/39^\circ$; $9^\circ/29^\circ$; $10^\circ/30^\circ$; $13^\circ/29^\circ$. Інтервал зубця виконаний величиною 22,225 мм, висота зубця складає 5,6-7,6 мм. Розведення зубців виконано за схемою вліво-вправо-прямо.

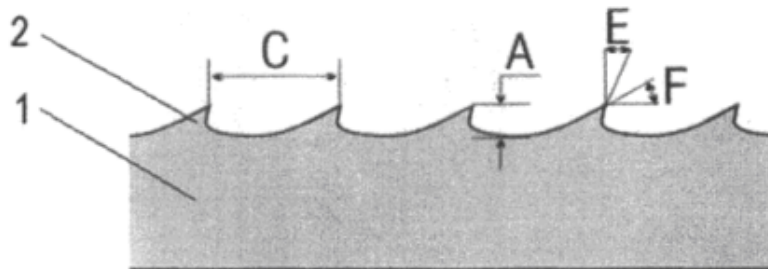


Рисунок 1.4. Патент № 102314 (на корисну модель) [17].

1.1.2.2. Стрічкопилні верстати

Патентні дослідження щодо конструкції стрічкопилних верстатів виконані у міжнародній базі даних WIPO для патентів і корисних моделей.

Вікно для пошуку патентів у міжнародній базі даних WIPO подано на рисунку 1.5.

UA 102314 U

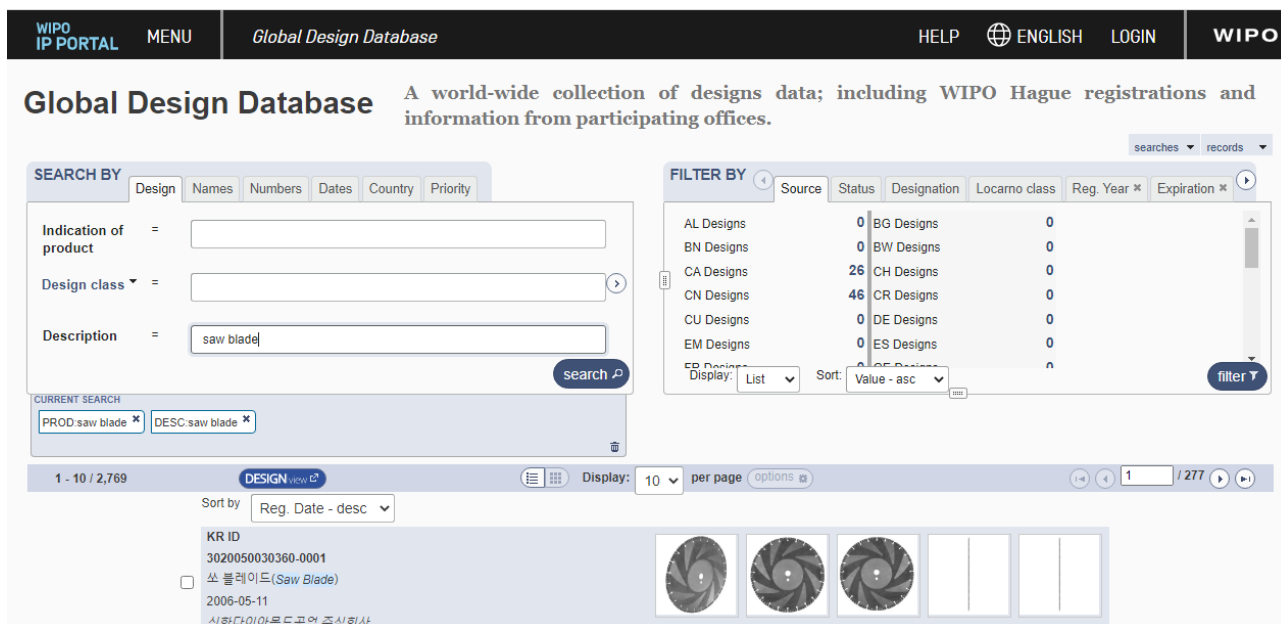


Рисунок 1.5. Вікно пошуку патентів у міжнародній базі даних WIPO.

Результати пошуку відображені на сторінці із вказанням номера патента, його назви і короткого опису. Також в описі патента виділені ключові слова за якими проводили пошук (рис. 1.6). За бажанням користувач може змінити умови пошуку інформації.

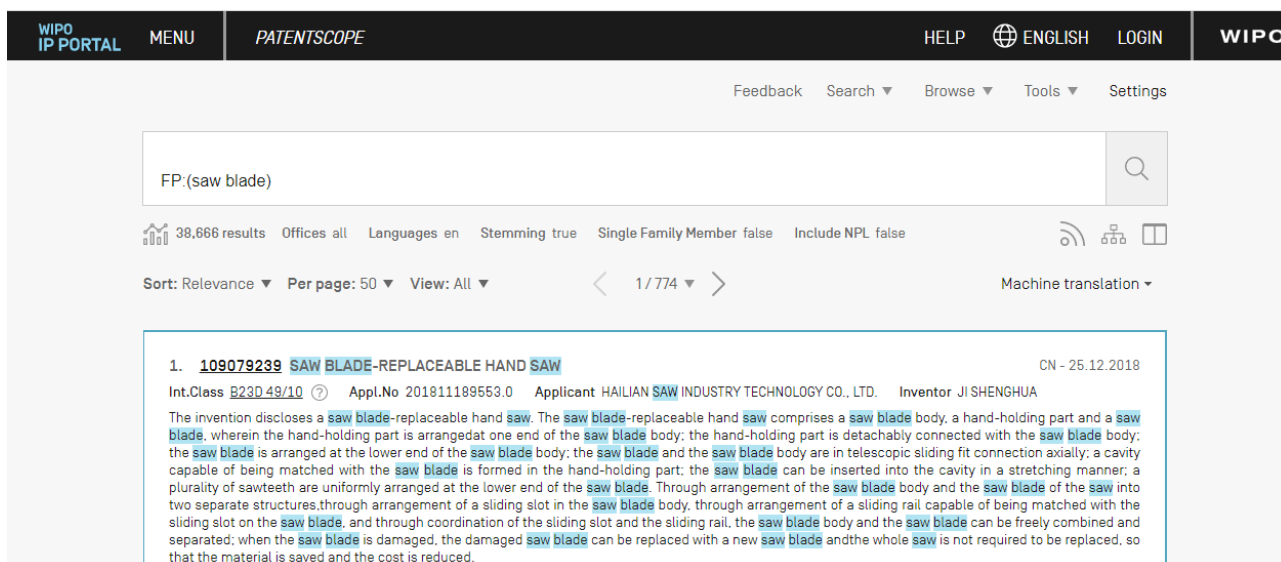


Рисунок 1.6. Результати пошуку патентів у міжнародній базі даних WIPO.

Слід зазначити, що характер подання інформації про патенти у міжнародній базі даних WIPO відрізняється (рис. 1.7) від національної бази даних. Очевидно, це пов'язано із комерціалізацією доступу до інформації. У

багатьох випадках користувач отримує лише опис винаходу та формулу винаходу.

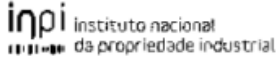
		(11) Número de Publicação: PT 1517763 E
		(51) Classificação Internacional: B23D 53/04 (2007.10)
(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO		
(22) Data de pedido: 2003.06.21	(73) Titular(es): MARK DIENER FICHTENWEG 13 72589 WESTERHEIM	DE
(30) Prioridade(s): 2002.07.03 DE 10229999	(72) Inventor(es): MARK DIENER	DE
(43) Data de publicação do pedido: 2005.03.30	(74) Mandatário: JOSÉ EDUARDO LOPES VIEIRA DE SAMPAIO R DO SALITRE 195 RC DTO 1250-199 LISBOA	PT
(45) Data e BPI da concessão: 2007.11.14 019/2008		
(54) Epígrafe: SERRA DE FITA METÁLICA COM UMA ARMAÇÃO DE SERRA SUSPensa		
(57) Resumo:		

Рисунок 1.7. Варіант оформлення титульного аркушу на закордонний патент.

В більшості випадків, користувач має доступ до окремих файлів: опис винаходу (рис. 1.8), формула винаходу, ілюстрації до опису винаходу (рис. 1.9).

FIELD OF THE INVENTION	The present invention relates to metal cutting band saws, and in particular, to metal cutting band saws for mitering elongated workpieces.
------------------------	--

BACKGROUND OF INVENTION	A metal cutting band saw with a machine frame on which the workpiece to be cut is placed is disclosed in DE 40 40 470 A1. The machine frame is provided with a vise for fixing the workpiece to be processed on the machine frame. The vise contains a stationary clamping jaw that also serves as a reference surface. A swivel support allows the saw frame in which the bandsaw blade is supported to move into different miter positions. The required swivel support is arranged underneath the plane of the workpiece and carries not only the saw frame but also a workpiece support table that serves to support the part of the workpiece that is subjected to the cutting process during sawing. The advantage of this arrangement is that the bandsaw blade does not produce a horizontal pivoting motion relative to the support table and consequently always cuts into the support table at the same location independent of the adjusted miter position.
-------------------------	---

Рисунок 1.8. Варіант подання опису винаходу на закордонний патент.

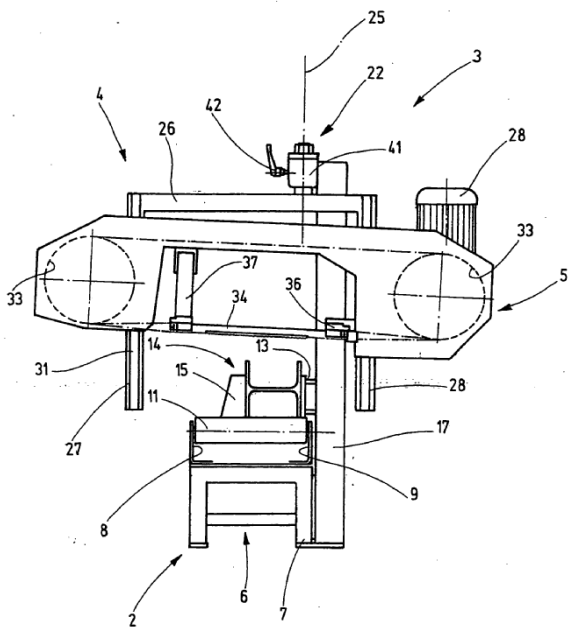


Fig.3

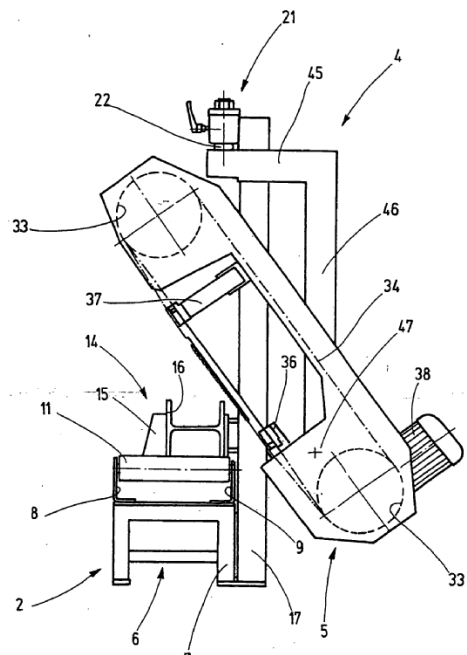


Fig.5

а)

б)

Рисунок 1.9. Варіант подання рисунків до опису винаходу на закордонний патент.

Проведений огляд літературних джерел [4-13, 19] та патентної інформації [15-18] показав, що тематика робіт пов'язаних із порізкою металевих профілів та прокату на стрічкопильних верстатах є актуальною, технічно та науковомісткою. В цілому розглянуто кілька груп проблемних моментів: вирішення технічних проблем при виборі конструкції пили верстата; проблеми компоновки верстатного обладнання у структурі стрічкопильного устаткування виробництва; вивчення питань енергомісткості процесу розпилювання заготовок; питання інформаційного забезпечення процесу механічної обробки; проблеми організаційного забезпечення ділянок, дільниць і цехів при використанні стрічкопильних верстатів.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

1.2.1. Характеристика стрічкових пил

Матеріали різальної частини стрічкових пил.

Для стрічкових пил застосовують такі види матеріалів: інструментальні сталі; швидкорізальні сталі; твердий метал; штучні алмази.

Стрічкові пилки із інструментальної сталі.

Пили виготовляються із цільної смуги високоякісної легованої та загартованої вуглецевої інструментальної сталі. Загартована ріжуча кромка та гнучка стрічка-основа забезпечують високу якість полотна. Твердість ріжучих кромок зубів досягає 61...62 HRC. Пили застосовуються, в основному, для пиляння нелегованих сталей з низької міцності, розкрою композиційних матеріалів і для фрикційного пиляння на спеціальних верстатах. Ці пили найчастіше використовуються для ремонтних робіт.

Біметалічні стрічкові пилки M42 (аналог - 45XГНМФА).

Полотно-основа цих стрічкових пил виготовляють з пружної ресорно-пружинної сталі. До полотна-основи методом електронно-променевого зварювання приварюють профільний дріт із швидкорізальної сталі (HSS) і фрезерують профіль зубів пили з наступним розведенням зубів. Після термообробки ріжучі кромки зубів пили мають твердість 67 ... 69 HRC і мають високу зносостійкість і червоностійкість. Це дозволяє успішно використовувати біметалічні пилки для обробки до 90% сталей різних марок та сплавів, що застосовують у промисловості. Залежно від марки та складу швидкорізальної сталі біметалічні пили відомих виробників діляться на два основні типи – M42 та M51.

Біметалічні стрічкові пилки M51 (аналог 12P10M4K10) (рисунок 1.10).

Вищий вміст вольфраму збільшує кількість карбідів і підвищує опір абразивному зносу, а високий вміст кобальту збільшує червоностійкість ріжучої кромки до 620 ... 645 0С. Це дозволяє застосовувати такий інструмент для різання високоміцних, нержавіючих та жароміцних сталей, у тому числі і

заготовок великого поперечного перерізу та твердістю до 45HRC. Твердість ріжучого краю 67...69 HRC. Стійкість такого стрічкового полотна на 10-20% вище, ніж пил з ріжучою кромкою M42. Пружинне полотно основи забезпечує необхідну жорсткість для точного пиляння. Полотно з легованої пружинної сталі після гартування та відпуску має високі характеристики міцності, які дозволяють пилі витримувати багатоциклові знакозмінні навантаження.



а)



б)

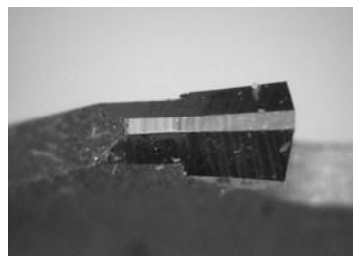
Рисунок 1.10. Твердосплавна (а) та біметалічна (б) стрічкові пили

Твердосплавні стрічкові пилки, (рисунок 1.10 і 1.11).

Даний інструмент рекомендується застосовувати для високопродуктивного пиляння важкообробних, жароміцних та нержавіючих сталей та сплавів, титану, нікелю тощо. твердістю до 62 HRC. Геометрія зубів, отримана спеціальним шліфуванням і мають твердість ріжучих кромок до 1600...3800 HV, забезпечують можливість пиляння різних марок сталей та їх сплавів. Такі пили виготовляють двох типів – з твердосплавними напайними пластинами (рисунок 1.11), і з твердосплавною крихтою (суцільний або уривчастий поверхневий шар) (рисунок 1.12).



а)



б)

Рисунок 1.11. Твердосплавні пили: а- вигляд з боку; б- вигляд зверху.

Алмазні стрічкові пили (рисунок 1.7).

Так як алмаз є найтвердішим матеріалом в природі (твердість до 9000 HV), то він в змозі пиляти практично будь-які матеріали, метали і сплави: алюміній з вкрапленням твердих частинок, загартовані і хромовані сталі, тверді сплави, фєррадо, загартоване скло, мармур, граніт, кварц, графіт і т.д.

DiagritU – алмазні стрічкові пили з переривчастим покриттям призначені для пиляння високоміцних матеріалів та заготовок великого розміру. Рекомендовані швидкості пиляння до 1200 м/хв, залежно від матеріалу. Алмазні стрічкові пили WIKUS (DiagritU) можуть використовуватися для обробки алюмінію з вкрапленнями частинок спеченого граніту, мармуру/граніту, моно- та полікристалічного кремнію, кварцу. Стрічкові пили DiagritU можуть бути застосовуваними для обробки наступних груп матеріалів: абразивні будівельні матеріали, скло, скловолокно, мармур, кремній.



Рисунок 1.12. Алмазні стрічкові пили

1.2.2. Матеріали та властивості стрічкових пил.

Марки, хімічні склади легованих швидкорізальних сталей біметалічних пилок наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Хімічний склад матеріалу ріжучих кромок біметалічних пил

Матеріал кромки пили	C%, вуглець	Cr%, хром	W%, вольфрам	Mo%, молібден	V%, ванадій	Co%, кобальт
Вуглецева сталь 62-66 HRC	1,3	0,2				
Matrix	0,7	3,8	1,0	5,0	1,0	7,0
M 2	0,8	4,15	6,37	5,0	1,92	
M 42 68-69 HRC	1,1	4,0	1,5	9,3	1,1	7,9
M 51 (M71) 69 HRC	1,3	4,3	9,4	3,4	3,2	9,8

Мікротвердість і теплостійкість зубів стрічкових пил, залежно від матеріалу різальної частини пили та відстані від вершини зуба до дна канавки (впадини), змінюються в широких межах, рисунок 1.13.

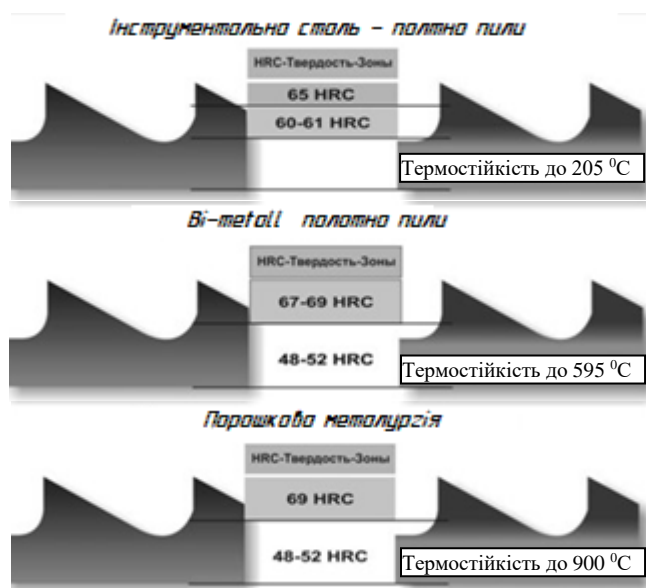


Рисунок 1.13. Варіанти зміни параметрів мікротвердості та допустимої теплостійкості по висоті зуба і полотна пили

Для пил з інструментальної сталі стрічкове полотно має зменшення мікротвердості у напрямку від вершини зуба до міжзубної западини канавки від 67...69HRC до 60...61HRC при теплостійкості до 205 °C. Для біметалічних пилкових полотен при твердості зуба 67...69HRC теплостійкість полотна становить 595 °C, а за твердості зуба 69HRC – теплостійкість 700 °C. Пили з твердим сплавом різучої частини з твердістю 69-70HRC мають теплостійкість до 900-1000 °C при твердості полотна 48-52HRC.

1.2.3. Конструктивні та геометричні параметри стрічкових пил

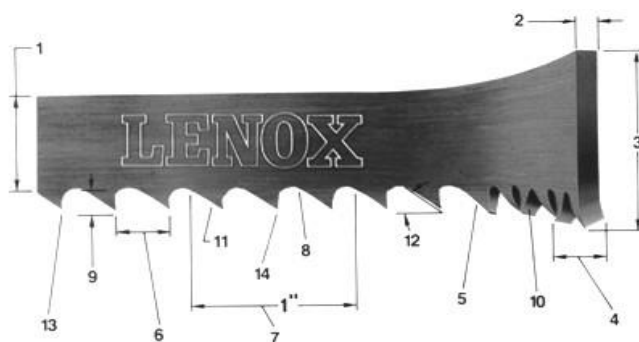


Рисунок 1.14. Конструктивні параметри стрічкової пили

- 1 – ширина полотна пили без врахування висоти зубів пили;
- 2 – товщина полотна пили;
- 3 – ширина полотна пили з врахуванням висоти зуба пили;
- 4 – величина розведення зубів пили (вліво-вправо);
- 5 – зуб пили;
- 6 – крок зубів пили;
- 7 – кількість зубів на 1 дюйм довжини;
- 8 – радіус закруглення канавки;
- 9 – відстань від вершини зуба до дна впадини канавки;
- 10 – передня поверхня зуба;
- 11 – задня поверхня зуба;
- 12 – задній кут зуба;
- 13 – передній кут зуба;
- 14 – різальна кромка зуба пили.

Такі параметри як ширина та товщина полотна для конкретних моделей верстатів, як правило, є постійними. Ці розміри прийняті з типорозмірів сталі "бірмінгемського прокату", що випускається, і становлять наступний ряд: 10x0,9; 13x0,9; 20x0,9; 27x0,9; 34x1,1; 41x1,3; 54x1,6; 80x1,6 та ін. Зі збільшенням розмірів полотна збільшуються ріжуча здатність пили та її жорсткість.

Чинники, що визначають ефективність використання стрічкових пилок: формоутворення стружки; конструкція зуба; швидкість різання пилки; величина подачі; жорсткість полотна; охолодження; потужність та конструкція верстата; оброблюваний матеріал. Для ефективного процесу різання стружка має видалятися максимально швидко. Схеми розміщення стружок у канавках та можливі наслідки при перевищенні допустимих обсягів стружки у канавках представлені на рис. 1.15.

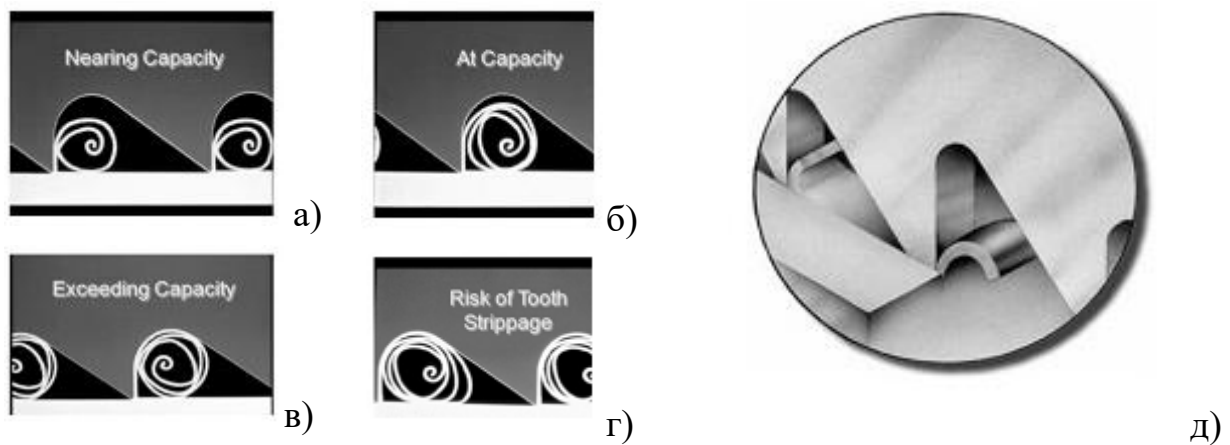


Рисунок 1.15. Схеми розміщення стружки в канавках пили:

а – оптимальне розміщення стружки в канавці; б – найбільше з допустимого розміщення стружки в канавці; в – гранично можливе розміщення стружки в канавці; г – занадто щільне розміщення стружки в канавці (можливі викришування зубів і розрив полотна пили); д – товщина стружки.

При будь-якому типі пилок слід стежити за видаленням стружки із канавки після виходу полотна із заготовки. Якщо стружка не видаляється і заповнить міжзубний простір полотна, то це може призвести до розриву полотна і поломки зубів. При автоматичному розпилюванні на верстатах встановлюють пристрої для очищення полотна. Необхідно періодично проводити перевірку роботи цього механізму (рис. 1.16).

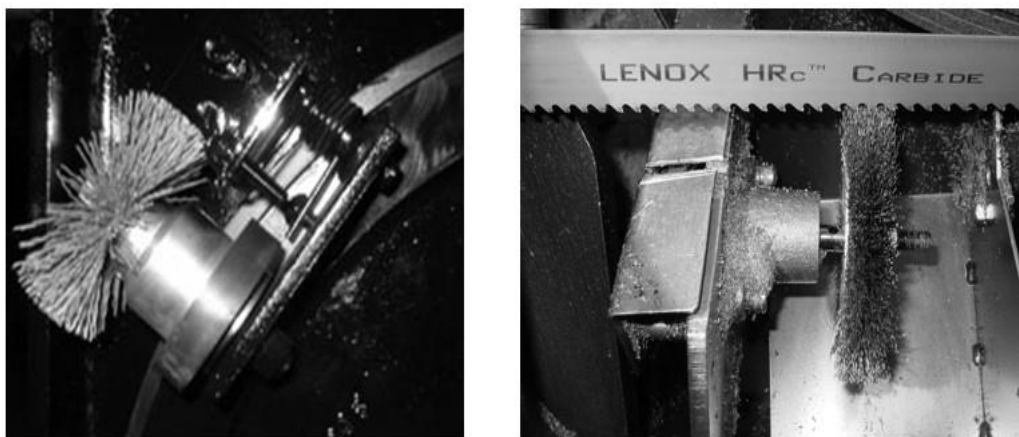


Рисунок 1.16. Видалення стружки з канавок пили дротяними щітками

Зважаючи на велику кількість додаткових параметрів, які супроводжують процес різання стрічковими пилами на стрічкопилних верстатах, було б доцільно більш детально проаналізувати конструктивні параметри самих пил.

1.2.3.1. Крок зубів пили

Крок зубів – це кількість зубів пили на 1 дюйм/TPI – Tooth Per Inch, ZPZ – німецький стандарт. Крок зубів на полотні може змінюватися від 1 до 24 зубів.

Вибір кроку, форми зубів, об'єми стружкових канавок залежать від наступних чинників: властивостей оброблюваного матеріалу; процесу стружкоутворення; силового та теплового навантаження на зуб; профілю заготовок (труба, кутник, тавр, двотавр та ін.), розмірів та стану поверхні заготовок, параметрів полотна пили.

Тонкостінні деталі, наприклад, труби, трубки, листи і т.п., вимагають пилок з дрібним кроком зубів для виключення пошкодження або руйнування зуба. Великі поперечні перерізи слід різати пилкою із великим кроком, тобто. з меншою кількістю зубів на дюйм. Чим менше зубів залучено в оброблювану деталь, тим більша товщина зрізу. Навантаження на кожен зуб вище, якщо тиск подачі пилки передається на меншу кількість зубів у контакті із заготовкою. Великий крок (мале TPI) забезпечує більший об'єм стружкової канавки, що дозволяє підвищувати продуктивність процесу різання.

Пластичні матеріали, наприклад алюміній, вимагають великих об'ємів стружкових канавок. Великий крок запобігає скупченню стружки між зубами пилки та пошкодженню полотна, проте призводить до погіршення якості розпилу (підвищується шорсткість обробленої поверхні).

Пилки з постійними кроком зубів та формою використовуються для різання цілісних заготовок та пластичних матеріалів. Пилки зі змінним кроком, що мають періодично змінюваний профіль западини і крок, забезпечують деяке зниження шуму і вібрацій при різанні, використовуються для широкого діапазону матеріалів.

Крок зубів залежить від ширини різку, при цьому керуються такими рекомендаціями:

- у тілі заготовки має бути не менше 3 зуби;
- оптимальна кількість зубів у тілі заготівлі 10...12;

- максимальна кількість зубів 22.

Відомі загальні рекомендації щодо вибору кількості зубів на різ виходячи з оброблюваності матеріалів:

– для матеріалів нормальної оброблюваності (у стані постачання) мінімальна кількість зубів – 3; максимальна кількість зубів – 24; оптимальна кількість зубів – 6...12;

– для матеріалів підвищеної твердості мінімальна кількість зубів – 6; максимальна кількість зубів – 36; оптимальна кількість зубів – 12...24.

Рекомендації щодо вибору кроку зубів пили подані у таблицях 1.2 і 1.3.

Таблиця 1.2. Вибір кроку зубів для стрічкової пили при обробці цільних заготовок

Стандартний зуб		Зуб із змінним кроком	
Ширина матеріалу	Кількість зубів на дюйм	Ширина матеріалу	Кількість зубів на дюйм
< 12mm	14 ZpZ. N	< 25mm	10/14 0°
12-30 mm	10 ZpZ. N	20-40 mm	8/12 0°
30-50 mm	8 ZpZ. N	25-70 mm	6/10 0°
50-80 mm	6 ZpZ. N	35-90 mm	5/8 ZpZ. 0°
80-100 mm	4 ZpZ. Kl.	50-100mm	4/6 ZpZ. pos.
110-200mm	3 ZpZ. Kl.	80-150mm	3/4 ZpZ. pos.
110-200mm	3 ZpZ. Kl.	120-350mm	2/3 ZpZ. pos.
200-400mm	2 ZpZ. Kl	250-600mm	1,33/ 2 ZpZ. pos
> 400mm	1,25 Kl	500-3000mm	0,75-1,25ZpZ. pos.

Таблиця 1.3. Вибір кроку зубів для стрічкової пили при обробці металопрофілів та труб

Товщина стінки	Діаметр						
	<40	80	100	150	200	300	500
3	8/12	8/12	8/12	8/12	6/10	6/10	6/10
8	8/12	6/10	6/10	5/8	4/6	4/6	3/4
12	6/10	5/8	5/8	4/6	4/6	4/6	3/4
15	5/8	4/6	4/6	4/6	3/4	3/4	2/3
20		4/6	4/6	3/4	3/4	3/4	2/3
30		3/4	3/4	3/4	2/3	2/3	2/3

1.2.3.2. Передній кут зубів пили

Від переднього кута залежить ріжуча здатність зубів. Чим більший передній кут, тим меншою є сила різання, менший кут загострення зуба, проте більша кількість тепла припадає на одиницю маси зуба і в результаті менша його зносостійкість. Біметалічні пилки мають передні кути 0° , 10° , 15° . Сучасні способи виготовлення зубів дозволяють отримувати різні передні кути в межах секції змінного кроку, рис. 1.17, 1.18.

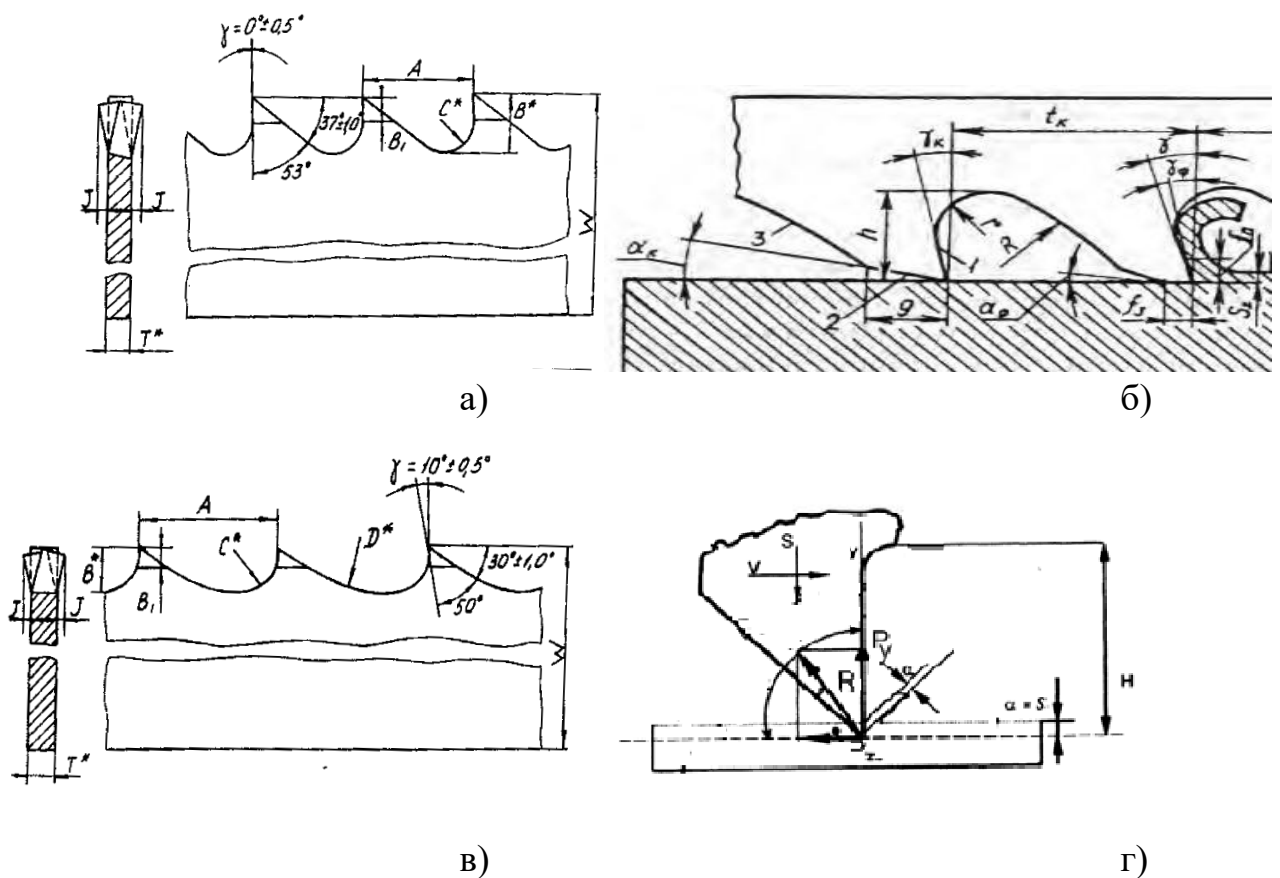


Рисунок 1.17. Параметри зуба пили, стружкової канавки (а, б, в) та напрямку швидкості різання V , подачі S і сил різання (г): P_z – сила різання; P_y – радіальна складова сили різання; R – рівнодіюча сила; δ – кут різання; H – висота зуба; a – товщина стружки.

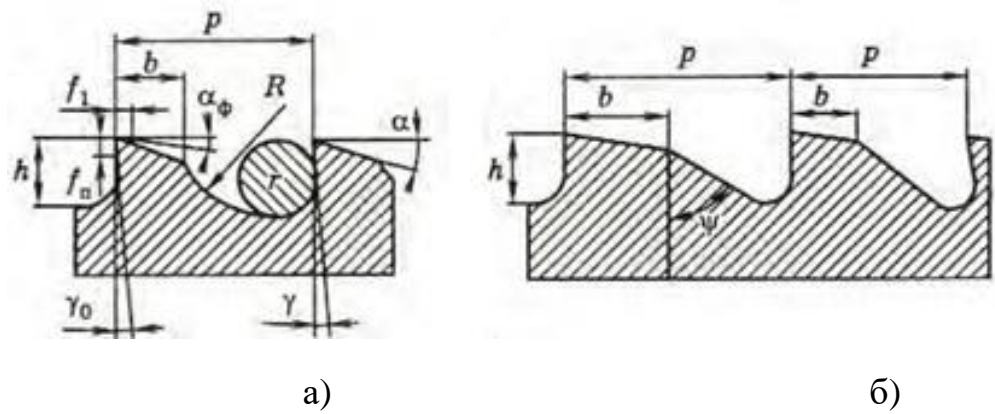


Рисунок 1.18. Передній і задній кути зуба пили; форми стружкових канавок:
а – дворадіусна; б – двокутова.

1.2.3.3. Розведення зубів

При розведенні зуби пили виступають праворуч і ліворуч. Розведення зубів пил повинно враховувати специфічні умови пиляння, задану продуктивність, чистоту обробки, тертя між полотном та заготовкою, доступ СОЖ та вихід стружки, рис. 1.19, 1.20.

Стандартне розведення зубів (SD) - універсальне - застосовують для різних матеріалів заготовок (сталь, чавун, тверді матеріали, котрі не містять заліза) товщиною більше 5 мм. При постійному кроці один зуб на кроковий інтервал залишається без розведення. Інші зуби розведені поперемінно вліво-вправо.



Рисунок 1.19. Стандартне розведення зубів (SD)

При груповому розведенні (GS) зубів пили вздовж полотна з кроком зубів від 4 до 14 трі досягається покращена якість поверхні різні заготовки.

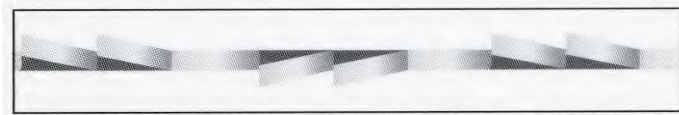


Рисунок 1.20. Стандартне розведення зубів (GS)

Розведення зубів пили праворуч-ліворуч (RL) забезпечує найбільшу продуктивність при пилянні матеріалів, що легко обробляються: кольорових металів, пластмаси, деревини (рис. 1.21).

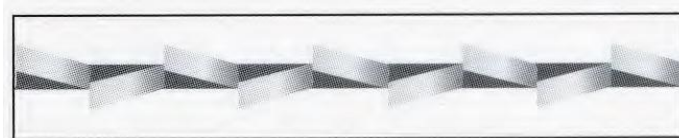


Рисунок 1.21. Розведення зубів праворуч-ліворуч (RL)

Розведення зубів пили вздовж полотна по схемі «хвиля» рекомендоване для розпилу заготовок завтовшки до 5мм: листовий метал, тонкостінні труби, профілі (рис. 1.22).

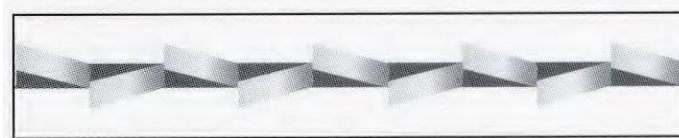


Рисунок 1.22. Розведення зубів вздовж полотна по схемі «хвиля».

Розведення зубів пили забезпечує ширину пропилу для полотна пилки. Зазвичай ширина розведення не перевищує подвоєної товщини пиляльного полотна. Наприклад, для пилки з товщиною полотна 0,9 величина розведення кожного зуба не повинна перевищувати 0,45 мм.

Відомі пили з трапецеїдальною формою зубів (форма Т), що не мають розведення. Просвіт тіла пилки із заготовкою забезпечується вдавлюванням (зменшення товщини тіла пилки в порівнянні з шириною її ріжучої частини).

Хвилястість полотна.

Змінна характеру прокатування в зоні спинки полотна надає пилці певної хвилеподібності, що сприяє «змінно наростаючому пилянню» і зменшенню наклепу на ріжучій кромці зубів. Для широких полотен $H > 67$ мм додаткове вальцювання в зоні міжзубної западини збільшує жорсткість полотна.

Деякі приклади роботи стрічкових пилок представлені на рис. 1.23.

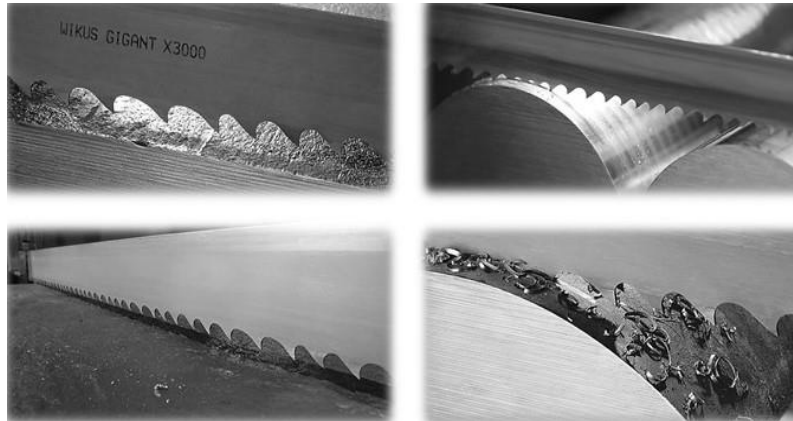


Рисунок 1.23. Приклади застосування стрічкових пилок.

1.2.4. Характеристика стрічкопилільних верстатів

Стрічкопилільні верстати за конструктивним виконанням поділяються на три групи, рис. 1.24 – 25:

Горизонтальні верстати консольного (гойдалкового типу) компоновки (рис. 1.24,а), на яких проводиться порізка заготовок практично будь-яких форм (прутки, труби, профільний і фасонний прокат). Верстати використовуються на машинобудівних та інших видах виробництва для отримання точних деталей або заготовок для подальшої механічної обробки або обробки тиском, зварюванням; використовуються також для різання неметалічних матеріалів: дерева, пластмас, скла, кераміки, композитів та інших матеріалів з різними фізичними, механічними та спеціальними властивостями. Максимальні розміри заготовок, оброблюваних цих верстатах, вбирається у 40-450 мм.

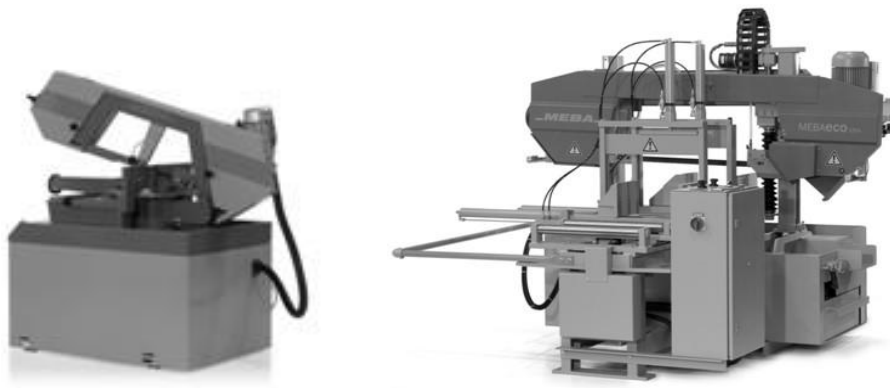


Рисунок 1.24. Стрічкопилільні верстати консольного та порталного типів

Горизонтальні верстати порталного компонування (рис. 1.24, б) мають підвищену жорсткість, що дозволяє використовувати як біметалічні, так і твердосплавні стрічкові пили та обробляти заготовки великих розмірів: блоки двигунів, штампові кубики, зливки та поковки в металургійному виробництві, стінові панелі та будівельні блоки. всі види заготовок, що обробляються на консольних верстатах.

Вертикальні стрічковопильні верстати (рис. 1.25) є універсальним обладнанням і застосовуються при поперечному, профільному та фігурному порізці-вирізці листового та фасонного прокату, обрізці литників, фігурному випилюванню (у модельних цехах), вирізці зразків і темплетів, порізці автомобільних шин, кабелів, секційних заготовок, а також у меблевій, медичній та харчовій промисловості.



Рисунок 1.25. Стрічкопильний верстати вертикальної компоновки

Стрічкопильні верстати призначені для роботи в умовах індивідуального та дрібносерійного виробництва для різання заготовок практично будь-яких форм (прутки, труби, профільний та фасонний прокат) під прямим кутом 90° або під кутом $\pm 45^\circ$ до осі заготовки, що розрізається. Верстати-автомати застосовуються на машинобудівних, металургійних, машинобудівних та інших видах виробництвах для отримання точних деталей або заготовок для подальшої механічної обробки, обробки тиском або зварюванням.

1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження

Провівши огляд літературних джерел та патентної інформації щодо конструкцій пил, стрічкопилних верстатів та умов їх використання можна зробити певні узагальнення та висновки.

Стрічкові пилки стандартної ширини використовують на металообробних та деревообробних підприємствах в умовах одиничного, дрібносерійного та серійного виробництва. На верстаті стрічкову пилу встановлюють на два пилкових шківів і проводять її натяг. Виконання натягу має забезпечити виконання кількох необхідних критеріїв: забезпечити жорсткість і стійкість пилки, протидіяти сходу пили зі шківів та передати колове зусилля для забезпечення процесу різання. Силу натягу стрічкової пилки встановлюють виходячи з умови забезпечення передачі колесного зусилля [20].

У процесі експлуатації стрічкова пила іноді може втрачати свою працездатність. Працездатність стрічкової пилки – це такий стан пилки, який характеризує її здатність виконувати технологічно обумовлені функції. Цей параметр стрічкової пилки залежить від низки факторів, серед яких: тривкість зубців пилки проти спрацювання; міцність пилки; напруження в полотні пилки; незрівноважені бокові складові сили різання; жорсткість полотна пили у поперечному напрямі; стійкість пилки [20].

Перехід стрічкової пили з працездатного стану в непрацездатний є відмовою [21]. Причини відмов пил можуть проявлятися в часі (тертя, спрацювання, процеси втоми матеріалу) і миттєво (ламання зубців, бокове вигинання полотна пили, перегрів тіла пили). Відмови пили можна розділити на такі, які можна усунути, і зберегти стан її працездатності, й такі, які практично не можливо усунути і які призводять до втрати пилою стану працездатності. Відмови стрічкових пил належать до явищ, які ще недостатньо вивчені. Це зумовлено великою кількістю факторів, які можуть спричинити

відмову чи втрату працездатності. Підвищення працездатності стрічкових пилок, а саме вузького типу, є актуальним завданням.

Основні наукові здобутки щодо підвищення працездатності стрічкових пил висвітлено в працях О.Є. Феоктистова, І.Т. Ребезнюка, Г.П. Прокоф'єва, В.К. Шилько, В.В. Солов'єва [20, 21]. У роботі І.Т. Ребезнюка [20] досліджено проблеми раціональної взаємодії зубців стрічкової пилки з анізотропним середовищем оброблюваного матеріалу, особливості розведення та загострення зубців пилки. У ряді публікацій інших дослідників розглянуто різні типи стрічкопильних верстатів та їхніх конструкцій, описано специфічні умови експлуатування стрічкових пил, подано приклади розрахунку міцності стрічкових пил; проаналізовано фактори, які обмежують можливість підвищити продуктивність обробки стрічковими пилками, шляхи підвищення довговічності стрічкових пил; розглянуто підвищення ефективності використання пил шляхом створення умов, які забезпечують їх довговічність завдяки скороченню загальних втрат (руйнування). У монографії І.Т. Ребезнюка [22] досліджено особливості процесу підготовки вузьких стрічкових пил до роботи, зокрема підвищення стійкості зубів цих пил до зношування. В ряді інших публікаціях запропоновано огляд конструкцій механізмів різання стрічкопильних верстатів з подовженим контактом тертя полотна пили.

Міцність стрічкової пили досліджують за сумарним значенням напруження у полотні і воно не повинно перевищувати 400-500 МПа при коефіцієнті запасу міцності $n = 2$. Зазвичай, за небезпечний переріз приймають місце з'єднання кінців стрічкової пилки (переважно місце електроконтактного зварювання). Як правило, коефіцієнт запасу міцності стрічкових пилок визначають, виходячи з умови, що матеріал полотна пили є сталь 9ХФ або сталь 85ХФ. Ці сталі мають наступні механічні характеристики: границя міцності $\sigma_{\text{мц}} = 1500$ МПа, границя витривалості $\sigma_{-1} = 430$ МПа. У ряді досліджень значну увагу приділяють міжзубцевій западині стрічкової пили, яка є концентратором напружень. Величина коефіцієнта концентрації напружень

залежить від профілю міжзубцевої западини пили та перебуває в межах від 1,46 до 1,69.

Також за об'ємом міжзубцевої западини визначають швидкість подачі під час розпилу [23]. Розраховуючи швидкість подачі пили, використовують коефіцієнт форми зуба θ . Одними із чинників, які істотно позначаються на працездатності вузької стрічкової пилки, є її поперечна жорсткість та стійкість. Розрізняють три види жорсткості пили: власну – жорсткість не розтягнутої зовнішніми силами пилки; початкову – жорсткість розтягнутої пилки, без врахування сил різання; робочу – жорсткість пили під час роботи, під дією сил різання. Також розрізняють три типи стійкості, які потрібно враховувати, коли аналізують процес розпилювання стрічковими пилами: стійкість стрічкової пили проти поперечного зсуву по шківках від дії нормального складника сили різання; стійкість стрічкової пили проти відхилення від прямолінійності у пропилі; вібростійкість стрічкової пили. При моделюванні процесу різання тіло стрічкової пили відтворюють тонкою пластиною. Щоб визначити величини критичної сили, використовують енергетичний метод. В окремих випадках при дослідженні стійкості стрічкової пили останню моделюють рухомою пластиною під дією розподіленого навантаження.

Нагрівання стрічкових пил у процесі роботи приводить до перерозподілу внутрішніх напружень у полотні. Вплив теплового потоку позначається на стійкості стрічкової пили та її міцності. Фактори, які є причиною нагрівання стрічкових пилок, поділяють на три групи: фізико-технічні – марка оброблюваного матеріалу, стан поверхні, використання МОР; технологічні – швидкість різання, висота пропилу, швидкість подачі; інструментально-конструктивні – ширина і товщина пили, профіль і параметри зубців, величина розведення зубів у протилежні боки по напрямку руху полотна пили, матеріал і конструкція направляючих, стан поверхні шківів, наявність спеціального охолодження тощо [24].

Окрім того слід відмітити комплекс організаційних показників, які суттєво впливають на продуктивність праці через оптимізацію критеріїв

оцінювання ефективності праці. Такі критерії можуть бути обґрунтованими на основі розроблених математичних моделей для аналізу різних показників і впровадження цих моделей в інформаційні блоки баз даних профілів обробки.

Мета роботи: сформувати математичну модель для визначення площі поперечного перерізу оброблюваного профілю при кутовому зміщенні полотна пили.

Завдання роботи:

1 – дослідити та встановити закономірності у взаємозв'язках між параметрами процесу різання при використанні стрічкових пил;

2 – вивчити розподіл навантажень по профілю зуба пили у процесі різання;

3 – провести аналіз результатів розрахунку полотна пили на міцність та довговічність;

4 -провести конструктивний розрахунок елементів приводу головного руху стрічкопилального верстата;

5 – дослідити критерії втрати стійкості полотна стрічкової пили;

6 – провести 3D моделювання профілю оброблюваної деталі та визначити параметри його поперечного січення при кутовому зміщенні полотна для порізу;

7 – сформувати математичну модель для аналітичного розрахунку параметрів: площа та периметр поперечного січення з метою її використання як аналітичного блоку інформаційного модуля бази даних.

Об'єкт дослідження: січення оброблюваного профілю деталі.

Предмет дослідження: характер зміни параметрів січення оброблюваного профілю при зміні взаємного розміщення різального інструменту.

Методи дослідження: засоби 3D моделювання; метод скінченних елементів; математичні методи аналізу; алгоритми автоматизованого аналізу дискретних множин.

2. Дослідно-проектний розділ

2.1. Закономірності процесу різання при використанні стрічкових пил

Стрічкові біметалічні, твердосплавні пили, а також виготовлені з високовуглецевих сталей, алмазні пили, таких фірм-виробників як WIKUS, AMADA, LENOX, ВАНСО та ін. застосовують в різних галузях промисловості. Вони різняться конструктивними та геометричними параметрами, а також областю застосування.

Біметалеві пилки складаються з полотна-основи з пружної ресорно-пружинної сталі (аналог - 45ХГНМФА) і зубів з різальними лезами зі швидкорізальної сталі (10P2M10K8 або 12P10M4K10; HRC = 67 ... 70), рис.2.1, а).

Область застосування стрічкових пилок даного типу визначає, відповідно, форми зубів; величини переднього кута - $\gamma = 0^{\circ} \dots +15^{\circ}$; вид розведення; форму стружкових канавок, рис. 25, б). Відхилення зуба при розведенні для різних типів пилок становить $\Delta = 0,3 \dots 0,5$ мм, (рис. 2.1, в).

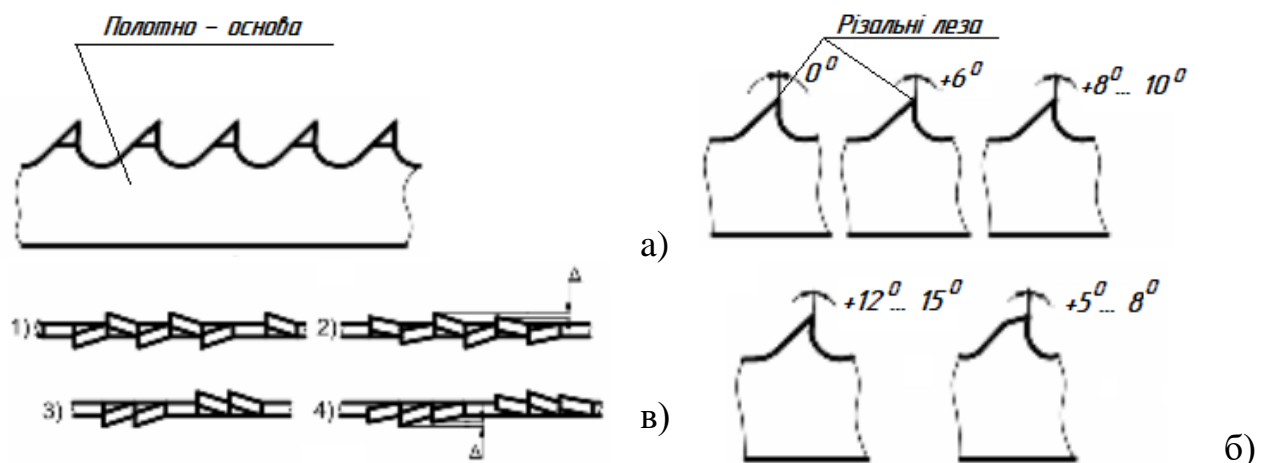


Рисунок 2.1. Конструктивні елементи біметалічної стрічкової пили:

а – біметалічне стрічкове полотно; б – типи передніх кутів зубів пили; в – типи розведення зубів пили: 1 і 3 – типове розведення; 2 і 4 – хвилеподібне розведення.

Процес обробки біметалевими стрічковими пилами можна розглядати як вільне різання, де кожен зуб має одну головну ріжучу кромку з мінімальним кутом λ . Величини переднього кута та тип розведення впливають на умови

роботи зубів стрічкового полотна. Ріжучі леза h_1 , h_2 і h_3 розведених зубів у процесі різання піддаються змінним навантаженням. Зуб розведений вправо, ріже частиною ріжучої кромки шириною BC , розведений вліво - AB , прямий зуб ріже шириною h_1 , рис. 2.2.

Форма стружки на оптимальних режимах різання має мати спіралеподібний вигляд з 2-3 витків сріблястого кольору.

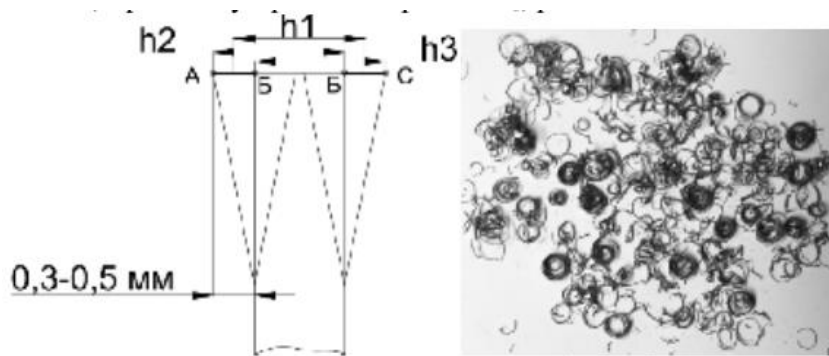


Рисунок 2.2. Розподіл ділянок ріжучих частин лез та стружка.

Твердосплавна стрічкова пилка складається з полотна-основи та зубів із привареними твердосплавними елементами, заточеними за груповою схемою різання, рис. 2.3. Твердість різальних кромки пил 1600 - 1700HV, а при використанні зносостійких покриттів - 3800HV.

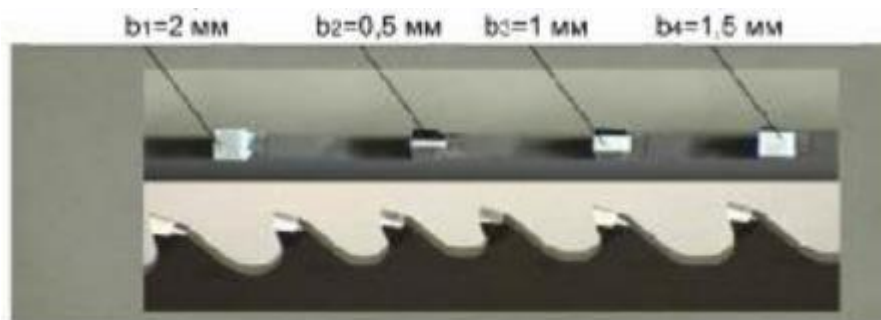


Рисунок 2.3. Конструктивні елементи стрічкової пили із зубами з твердого сплаву.

Практично всі твердосплавні стрічкові пилки виготовляють із груповою схемою різання. Зуби заточуються по бічних поверхнях, утворюючи головне і два допоміжні різальні леза. Як правило, група складається з чотирьох зубів, які мають ширину різальних лез від b_1 до b_4 , (рис. 2.3).

Загальна ширина пропилу забезпечується за рахунок розширення різального леза наступного зуба групи по відношенню до попереднього. Останній зуб групи зрізає мінімальний шар матеріалу завширшки 0,1 – 0,3 мм.

Процес різання стрічкової пилкою супроводжується сумою напружень різного роду, що діють у всій її довжині. Процес різання стрічковими пилами супроводжує складний комплекс деформаційних процесів полотна, зумовлених кінематикою верстатів. Пилова стрічка та її зуби в процесі різання зазнають різних видів напруженого стану: напруження розтягу; згинальні на шківках; крутильні при позиціонуванні зубів у зоні різання та при виході з напрямних; напруги від сил різання та відцентрових сил. Усі види навантажень разом із температурними впливами визначають у кінцевому підсумку зносостійкість стрічкових пилок.

Для оцінки напруженого стану полотна пилки розглядають зони з характерними видами навантажень, рис. 2.4.

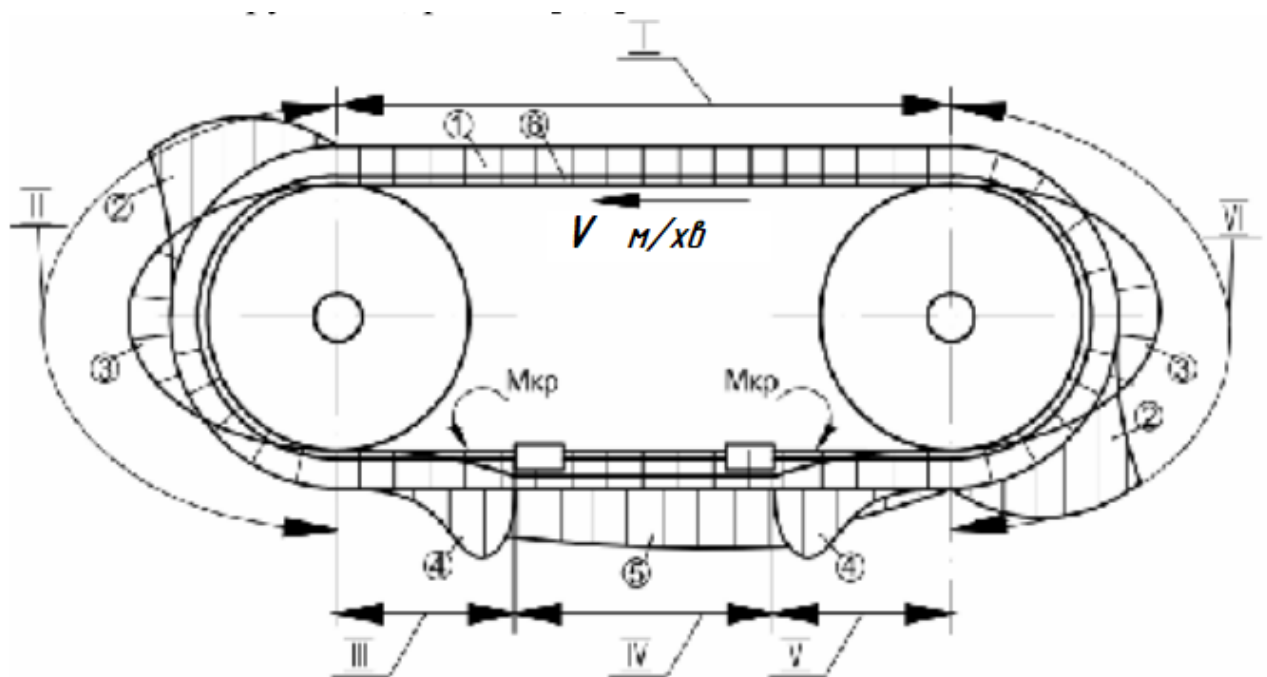


Рисунок 2.4. Види напруженого стану полотна пилки при різанні:
1 – розтягуючі; 2 – від тягового зусилля; 3 – згинні; 4 – крутильні;
5 – від сил різання; 6 – від відцентрових сил.

Сума нормальних напружень по всій довжині пилки може бути визначена за формулою

$$\sum \sigma = \sigma_H + \sigma_{\text{и}} + \sigma_{\text{ц}} + \sigma_{\text{р}} + \sigma_{\text{Т}} + \tau_{\text{к}}$$

де σ_H – напруження від попереднього натягу полотна пили;
 $\sigma_{\text{и}}$ – напруження від згину полотна пили на шківках;
 $\sigma_{\text{ц}}$ – напруження від відцентрових силових факторів;
 $\sigma_{\text{р}}$ – напруження від сил різання;
 $\sigma_{\text{Т}}$ – напруження від теплових навантажень;
 $\tau_{\text{к}}$ – напруження іншої природи (інші види напруженого стану, наприклад кручення).

Розрахункові формули для визначення величин напруженого стану від факторів, які впливають на полотно пили у процесі роботи подають у наступному вигляді:

$$\sigma_H = \frac{F_H}{S}; \quad \sigma_{\text{и}} = \frac{b \cdot E}{D}; \quad \sigma_{\text{ц}} = 0.01 \cdot v^2 \frac{\gamma}{g}; \quad \sigma_{\text{р}} = \frac{P_{\text{д}} \cdot z}{S}; \quad \sigma_{\text{Т}} = E \cdot \alpha_{\text{Т}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{с}}); \quad \tau_{\text{к}} = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\text{кр}}}$$

У цих математичних залежностях:

F_H – сила попереднього натягу полотна пили;

S – площа поперечного січення полотна пили;

b – товщина полотна стрічкової пили;

E – модуль пружності 1-го роду для матеріалу полотна пили;

D – діаметр шківки пили (рекомендовано обирати менший з діаметрів);

v – швидкість різання;

γ – щільність полотна пили (полотна основи);

g – прискорення вільного падіння;

$P_{\text{д}}$ – дотична складова сили різання;

z – кількість одночасно ріжучих зубів пили;

$\alpha_{\text{Т}}$ – коефіцієнт лінійного розширення полотна пили;

$t_{\text{п}}$ – температура пили;

$t_{\text{с}}$ – температура навколишнього середовища;

$M_{\text{кр}}$ – момент кручення, що діє на полотно пили;

$W_{\text{кр}}$ – момент опору крученню.

Напруження розтягу від сил попереднього натягу $\sigma_H = 150 \dots 250$ МПа діють у всіх перерізах стрічкового полотна та залежать від їх параметрів.

Напруження згину σ_z (зони II і VI), спостерігають при обкатуванні полотна пили по шківках верстата, на яких воно вигинається дугою, що дорівнює радіусу шківка. Розрахункове значення $\sigma_H = 250 \dots 500$ МПа.

Розрахункові напруження від відцентрових сил $\sigma_{ц} = 5 \dots 10$ МПа діють у всіх перерізах стрічкового полотна.

Напруження скручування виникають в зонах III і V. Викручування стрічки відбувається двічі: перед та після зони різання. Викручування стрічки необхідно для переорієнтації пилки з горизонтальної у вертикальну площину. Розрахункове значення τ_k напруженого стану від кручення становить 300-500 МПа.

Напружений стан від сил різання σ_p виникають у зонах III, IV та V. Розрахункове значення σ_p становить 120-200 МПа.

Напруги від температурного впливу σ_T діють у всіх перерізах стрічкового полотна: при обкатуванні по шківках, при проходженні через блоки напрямних, у зоні різання. Розрахункове значення напруги від температурного впливу становить 30-80 МПа.

На напружений стан пилок впливає також зміна температур не тільки в зоні різання, але і при контакті пилки з окремими вузлами верстата, що потребує спеціальних досліджень.

Для дослідження зміни температур на окремих ділянках стрічкового полотна у процесі пиляння була прийнята схема, що враховує зони контакту пили з заготовкою у процесі різання, контакти пили зі шківками до і після пиляння, зони між шківками та напрямними до і після пиляння, зона просування пили над шківками, рис. 2.5.

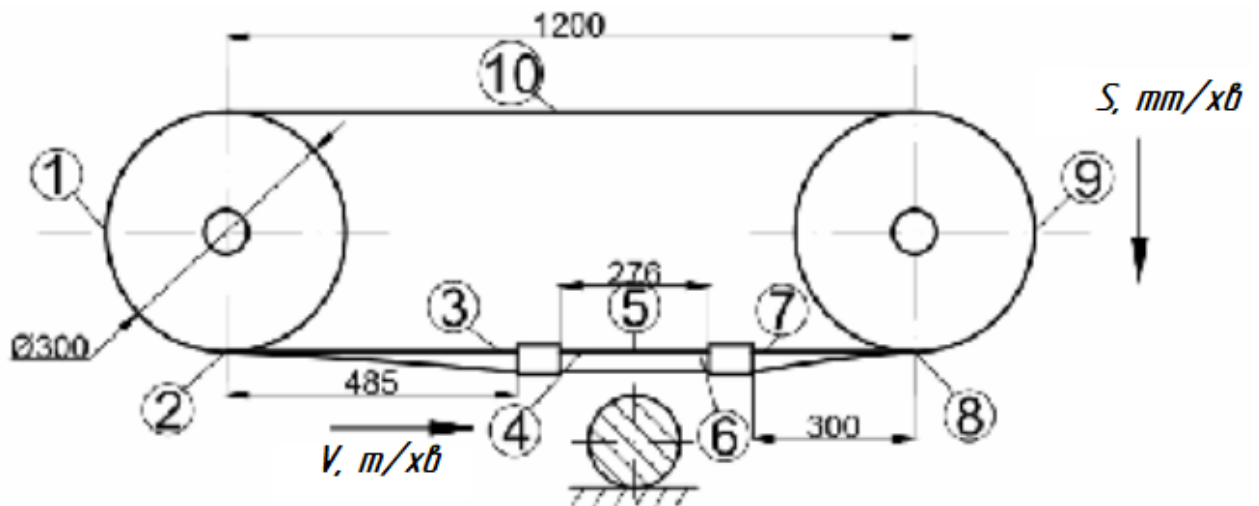


Рисунок 2.5. Схема для визначення температур при порізці стрічковою пилою

Умови експериментів: біметалічна стрічкова пила WIKUS M42 27x0,9x – 5/8 трі.

Заготовка $d=90$ мм; Сталь45. Стрічковопилний верстат двоколонного виконання MEBA 260 GP.

Режими різання прийняті згідно з рекомендаціями виробника біметалічної стрічкової пилки WIKUS M42: швидкість різання $V=50$ м/хв; $S=20$ мм/хв. Охолодження – мікроспрей OEST MEBA SP 36 E.

Температури вимірювали пірометром "Німбус - 420". Виміри температур проводили при вимкненому верстаті, при роботі на холостому ході та в процесі різання. При вимкненому верстаті значення температур різних зон (1...10, рис.29) складала $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$. На холостому ході відбулося загальне нагрівання стрічкового полотна на $2...3^{\circ}\text{C}$ внаслідок тертя по рухомих та нерухомих елементах верстата: шківів, роликів, бічних та верхніх твердосплавних напрямків, а також за рахунок внутрішніх напружень, що виникають у базовому полотні. При пилянні заготовки зміна температур у розглянутих зонах подано на рис. 2.6.

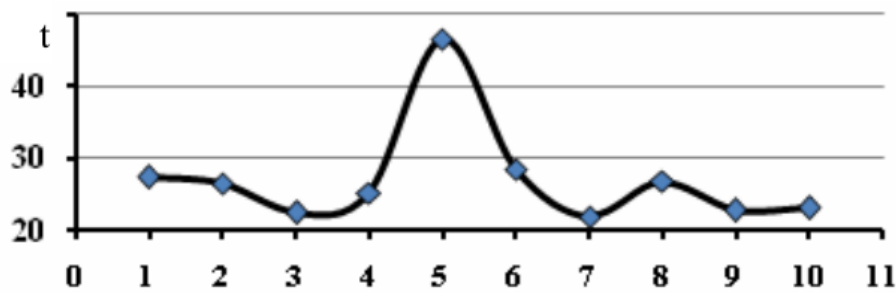


Рисунок 2.6. значення температур на стрічковій пилі по зонах

На початку процесу різання, тепло, що виділилося, передається заготовці, стрічковому полотну та навколишньому середовищу. Стрічка в зоні 5 нагрівається до $46,5^{\circ}\text{C}$. При виході із зони різання температура пилки знижується. Після проходження зони 7 полотно пилки має температуру близько 23°C , як у зоні 3. У зоні 8 при заході полотна на шків - близько 23°C , часткове підвищення температури полотна до 25°C . Зниження температури до 23°C у зонах 9 і 10 пов'язано з віддачею частини тепла шківу та навколишньому середовищу.

Рівень температур у кожній із зон збільшується в міру поглиблення пилки в заготовку та зі збільшенням кількості порізів. Максимальні температури спостерігалися при знаходженні в зоні різання від 17 до 28 зубів пилки.

Внаслідок складних деформаційних та теплових навантажень спостерігають різні причини виходу пилки з ладу: зношування та руйнування зубів пилки, зношування або змінання спинки пилки, розрив полотна, тріщини в міжзубних канавках, тріщини між полотном основи і матеріалом різальної частини та ін.

2.2. Методика розрахунку стрічкових пил на міцність

Для забезпечення економічного використання стрічкових пилки необхідно, щоб ресурс втомної міцності стрічки пилки перевищував ресурс стійкості ріжучих зубів. Ресурс довговічності стрічки пилки, в основному, визначається розміром та матеріалом стрічки, діаметром дисків та зусиллям натягу.

Для забезпечення стійкості різання необхідно забезпечити попередній натяг стрічкової пилки, що виключає проковзування приводного диска та забезпечує стійкість її роботи. З підвищенням сили попереднього натягу збільшується її жорсткість та можливість передачі більшого крутного моменту та відповідно сили різання і, як наслідок, підвищується продуктивність. Верхня межа сили попереднього натягу обмежується міцністю стрічки пилки.

У зоні охоплення стрічкою приводного та натяжного дисків виникають напруги згину. Дані напруги пропорційні товщині стрічки b і обернено пропорційні діаметру дисків D . Для конструктивних розрахунків раніше приймалося відношення b/D рівним $1/1000$, коли застосовувалися стрічкові пилки з вуглецевих сталей. В даний час для різання металів і сплавів застосовуються біметалічні пилки або пили із зубами із твердого сплаву.

Основою таких пилок є стрічка з ресорно-пружинної сталі з високими характеристиками міцності. Це дозволило прийняти вищі допустимі напруги, а водночас і $b/D = 1/350 - 1/500$.

Диски меншого діаметра також сприятливо впливають на навантаження пильної рами, зменшують габаритні розміри верстата.

Напруження згину, як це буде показано наступним розрахунком, становлять, як правило, найбільшу частину навантаження. Нижче представлена методика розрахунку на міцність полотна пили.

Вихідні дані:

- розмір перерізу стрічкової пили, $h \times b$, мм, $34 \times 1,1$;
- висота зуба h_z , мм, 4;
- матеріал стрічки, Сталь 50ХФА;
- діаметр дисків, D , мм, 420;
- довжина скручування стрічки, l , мм, 420;
- кут скручування, φ , град., 75° (1.3 рад);
- сила різання, F_r , Н, 2760;
- швидкість різання V_p , м/хв - 65;
- зусилля попереднього натягу вітки стрічки F_H , Н – 9900 ($\sigma_H = 300$ Н/мм²)

У полотні пили виникають напруження:

- а) від сили попереднього натягу, σ_H ; Н/мм²;
- б) від сили різання, σ_p , Н/мм²;
- в) від вигину стрічки на дисках, $\sigma_{и}$, Н/мм²;
- г) від скручування стрічки, дотичні напруги, $\tau_{скр}$, Н/мм².

1) Напруги в стрічці, σ_H (Н/мм²) від сили попереднього натягу:

$$\sigma_H = \frac{F_H}{(h - h_3)b} \quad (2.1)$$

Підставляючи чисельні значення у вираз (2.1) отримаємо :

$$\sigma_H = \frac{9900}{(34 - 4) \cdot 1.1} = 300 \text{ Н/мм}^2$$

2) Напружений стан, σ_p , Н/мм² викликаний силою різання :

$$\sigma_p = \frac{F_p}{(h - h_3)b} = \frac{2760}{(34 - 4) \cdot 1.1} = 83.6 \text{ Н/мм}^2 \quad (2.2)$$

3) Напружений стан від вигину стрічки на дисках, $\sigma_{и}$, Н/мм²;

$$\sigma_{и} = \frac{b \cdot E}{D}; \quad (2.3)$$

де, E – модуль пружності 1-го роду для матеріалу полотна пили ($E = 2.3 \cdot 10^5$ Н/мм²).

$$\sigma_{и} = \frac{1.1 \cdot 2.3 \cdot 10^5}{425} = 595,3 \text{ Н/мм}^2$$

4) Від скручування стрічки, дотичні напруги, $\tau_{скр}$, Н/мм²

$$\tau_{\max} = \frac{b}{l} \cdot G \cdot \varphi \quad (2.4)$$

де, G – модуль зсуву для матеріалу полотна пили ($G = 8.1 \cdot 10^4$ Н/мм²).

$\varphi - 75^0$ (1.3 рад)

Підставляючи чисельні значення у вираз (2.4) отримаємо :

$$\tau_{\max} = \frac{1.1}{420} \cdot 8.1 \cdot 10^4 \cdot 1.3 = 275.8 \text{ Н/мм}^2$$

Сумарні напруги та їх зміну у часі можна отримати з окремих параметрів напруженого стану. Йдеться про коливання між напругою натягу σ_H (Н/мм²), як

мінімальної напруги, і результуючою напругою $\sigma_{\max 1}$, яка складена з напруги вигину, натягу та різання, а також результуючою напругою $\sigma_{\max 2}$, яка сформована з напруги натягу, натягу від процесу різання та дотичної напруги.

Сумарні напруження в полотні пили $\sigma_{\max 1}$ і $\sigma_{\max 2}$ (Н/мм²):

$$\sigma_{\max 1} = \sigma_H + \sigma_u + \sigma_P \quad (2.5)$$

Підставляючи чисельні значення у вираз (2.5) отримаємо :

$$\begin{aligned} \sigma_{\max 1} &= 300 + 595,3 + 83,6 = 979 \text{ Н/мм}^2 \\ \sigma_{\max 2} &= \sqrt{(\sigma_H + \sigma_P)^2 + 3 \cdot \tau_{\max}^2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Підставляючи чисельні значення у вираз (2.6) отримаємо :

$$\sigma_{\max 2} = \sqrt{(300 + 83,6)^2 + 3 \cdot 275,8^2} = 612,7 \text{ Н/мм}^2$$

Умови забезпечення міцності стрічки пилки в статичному стані (стрічка встановлена на диски та натягнута):

$$\sigma_{\max} \leq \frac{\sigma_t}{h_t} \quad (2.7)$$

де, $\sigma_{\max} = \sigma_H + \sigma_P$;

h_t – запас по границі текучості матеріалу пили ($h_t = 1,2$)

$$\sigma_{\max} = 300 + 595,3 = 895,3 \text{ Н/мм}^2$$

Тоді:

$$895,3 \leq 1300/1,2$$

$$895,3 \leq 1083$$

Умова виконана.

У стрічкових пил, що скручуються, додатково виникає тиск на площину бокових сторін напрямних. Момент скручування повинен сприйматися цими бічними сторонами напрямних. При цьому слід розрізняти тиск на площину і перекидальний тиск. Вони підвищують діючі на цьому місці дотичні напруження та напруження розтягу і цим впливають на довговічність пили. Шляхом конструктивних рішень, наприклад, закругленням напрямних або встановленням роликів з великим радіусом, можна суттєво знизити тиск на площину бокових сторін напрямних.

2.2.1. Розрахунок стрічкової пили на довговічність та стійкість процесу різання

Стрічка пили в процесі роботи зазнає змінних напружень у часі, її ресурс до появи тріщин та розриву через втому матеріалу стрічки пили залежить від величин даних напружень та числа циклів навантаження.

1) Визначимо межу витривалості матеріалу стрічки σ_r при базовій кількості циклів навантажень $N_6 = 10^7$

$$\sigma_r = (1 + \operatorname{ctg}\beta) \cdot \frac{\sigma_T \cdot \sigma_{-1}}{\sigma_T + \sigma_{-1} \operatorname{ctg}\beta} \quad (2.8)$$

де, $\sigma_T = 1300 \text{ Н/мм}^2$;

$\sigma_{-1} = 750 \text{ Н/мм}^2$.

$$\operatorname{ctg}\beta = \frac{1+r}{1-r} \quad (2.9)$$

r - коефіцієнт, що враховує коливання напружень і він дорівнює:

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max 1}} \quad (2.10)$$

При $\sigma_{\min} = 300 \text{ Н/мм}^2$ і $\sigma_{\max 1} = 979 \text{ Н/мм}^2$ отримаємо:

$$r = \frac{300}{979} = 0.31$$

Тоді:

$$\operatorname{ctg}\beta = \frac{1+0.31}{1-0.31} = 1.9$$

Підставляючи чисельні значення у вираз (2.8) отримаємо :

$$\sigma_r = (1+1.9) \frac{1300 \cdot 750}{1300 + 750 \cdot 1.9} = 1037,6 \text{ Н/мм}^2$$

2) Знаходимо число циклів навантажень із розрахунку обмеженого терміну служби пили до руйнування:

$$N = 2\Pi \quad (2.11)$$

де, Π – число перебігів пили за T годин роботи. Воно рівне:

$$\Pi = 60T \frac{v}{L} \quad (2.12)$$

де, T – період служби пили, 45 год.;

v – швидкість різання, 65 м/хв;

L – довжина полотна пили, 4.5 м.

Тоді:

$$П = 60 \cdot 45 \frac{65}{4.5} = 39000$$

Відповідно, число циклів навантажень складає $N = 78000$.

3) Визначимо коефіцієнт еквівалентності напружень з врахуванням обмеженого терміну служби:

$$K_e = \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad (2.13)$$

де, $m = 6$.

Відповідно:

$$K_e = \sqrt[6]{\frac{10^7}{7.8 \cdot 10^4}} = 2,24.$$

4) Визначаємо межу витривалості в умовах обмеженого терміну служби σ_{rn} , Н/мм²

$$\sigma_{rn} = K_e \cdot \sigma_r = 2,24 \cdot 1037,6 = 2324,2 \text{ Н/мм}^2 \quad (2.14)$$

5) Визначаємо величину допустимого напруження у робочій вітці пили в умовах обмеженого строку служби за винятком перенапружень, які виникають у процесі огинання привідних дисків $[\sigma]_0$, Н/мм²

$$[\sigma]_0 = \frac{\sigma_{rn}}{\kappa_k |n|} = \sigma_u \quad (2.15)$$

де, κ_k – коефіцієнт концентрації напружень, ($\kappa_k = 1,4$);

$|n|$ - коефіцієнт запасу міцності, ($|n| = 1,6$).

Таким чином:

$$[\sigma]_0 = \frac{2324,2}{1,4 \cdot 1,6} \cdot 595,3 = 442,2 ;$$

6) Визначаємо зусилля натягу робочої вітки пили $F_{pв}$, Н:

$$F_{pB} = [\sigma]_0 \cdot s \quad (2.16)$$

де, s – площа поперечного січення пили за винятком впадини зуба,
($s = 33 \text{ мм}^2$);

Тоді:

$$F_{pB} = 442,2 \cdot 33 = 14592,6 \text{ Н.}$$

7) Розраховуємо зусилля для натягу холостої вітки пили F_{XB} , Н:

$$F_{XB} = \frac{F_{pB}}{f \cdot \alpha} \quad (2.17)$$

де, f – коефіцієнт тертя ($f = 0,15$);

α – кут охопту ведучого шківa, рад. ($\alpha = 3,14$).

Отримаємо:

$$F_{XB} = \frac{14592,6}{2,75^{0,15 \cdot 3,14}} \approx 9120 \text{ Н.}$$

8) Тепер можна розрахувати допустиме колове зусилля на привідних шківaх для забезпечення процесу різання P_o , Н:

$$P_o = F_{pB} - F_{XB} \quad (2.17)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$P_o = 14592,6 - 9120 \approx 5473 \text{ Н.}$$

Отримані результати підтверджують забезпечення стійкого процесу різання пилою, оскільки

$$P_o > F_r$$

$$5473 > 2760$$

Використана методика розрахунку дозволяє визначати та встановлювати зусилля натягу на полотно пили з врахуванням допустимих напружень для широкою номенклатури типорозмірів пил. Такий розрахунок з великою ступінню точності дозволяє спрогнозувати параметри стійкості пили в умовах виробництва.

2.3. Розрахунок привідного вала приводу головного руху стрічкopiльного верстата

Конструкції приводу головного руху та різальних механізмів стрічкопильних верстатів не відрізняються принципово один від одного для окремих типів верстатів. Вони складаються з двох привідних коліс зі стрічковою пилкою та основного валу, що приводиться в рух електродвигуном за допомогою ремінної передачі (рис. 2.7). Основний вал верстата піддається великим згинним напруженням, джерелом яких є, з одного боку, сила натягу стрічкової пилки і з іншого боку - сила натягу ременів.

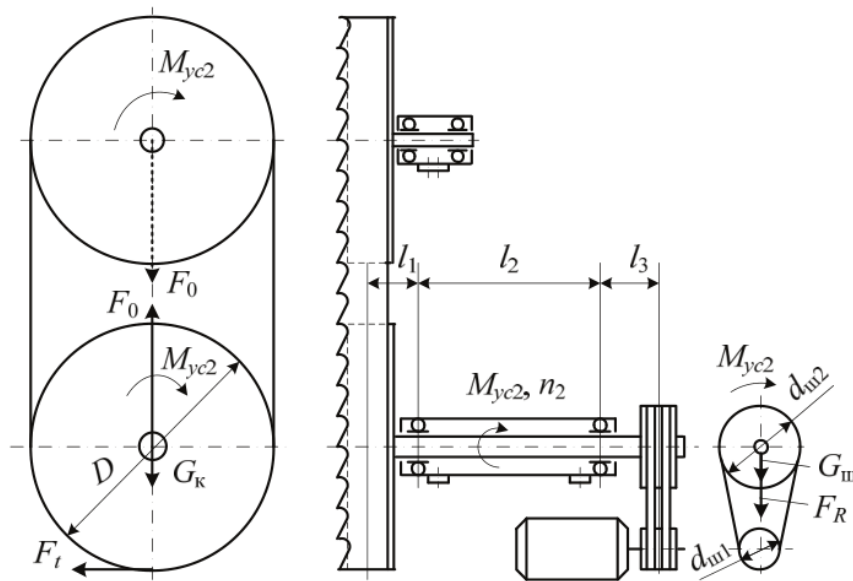


Рисунок 2.7. Структура приводу головного руху стрічкопильного верстата

Метою цього розрахунку є проведення аналізу приводу ріжучого механізму стрічкопильних верстатів і зокрема – навантаження їх валу приводу головного руху.

2.3.1. Аналіз навантажень привідного вала пили

Основний вал верстата навантажений поперечними силами і крутними моментами.

Поперечні сили, які навантажують вал, такі: F_0 від натягу стрічкової пилки, F_R від натягу ременів і F_t від крутного моменту. При більш точному розрахунку необхідно враховувати, як поперечні сили, також сили тяжіння

колеса G_k і шківа $G_{ш}$, що приводиться в рух ременями пасової передачі (рис. 31).

Усталений крутний момент M_{yc2} (Нм), який передається валом рівний крутному моменту, котрий можна розрахувати за математичною залежністю

$$M_{yc2} = \frac{9554 \cdot P_1 \cdot \nu \cdot d_{ш2}}{n_1 \cdot d_{ш1}} \quad (2.18)$$

де, P_1 – потужність двигуна приводу головного руху, (кВт);

ν – коефіцієнт корисної дії ланцюга приводу головного руху ($\nu = 0.9$);

n_1 – частота обертання ротора електродвигуна (об/хв);

$d_{ш1}$ і $d_{ш2}$ – діаметри ведучого та веденого шківів (мм).

Силу натягу стрічкової пили розраховуємо за формулою:

$$P_0 = 2B \cdot s \cdot [\sigma_p] \quad (2.19)$$

де, B – ширина полотна стрічкової пили, (мм);

s – товщина полотна стрічкової пили, (мм);

$[\sigma_p]$ – допустиме напруження розтягу для стрічки пили (Н/м²).

Для забезпечення нормальної роботи напруження розтягу у полотна стрічкової пили повинні бути в межах:

$\sigma_p = (30 \dots 40)$ МПа – для звичайних стрічкопилних верстатів;

$\sigma_p = (50 \dots 70)$ МПа – для розділювальних стрічкопилних верстатів;

$\sigma_p = (80 \dots 100)$ МПа – для поздовжньо-розпилювальних стрічкопилних верстатів.

Зовнішнє периферійне зусилля F_t (Н), визначаємо із залежності

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{yc2}}{D} \quad (2.20)$$

де, D – діаметр привідного шківа приводу головного руху, (м).

Схема приведення сил, що діють на стрічкову пилу, до геометричної осі основного валу верстата показано на рис. 2.8. Перпендикулярно осі валу діють периферійна F_t (на відстані $0,5 D$) і сила натягу стрічок F_0 .

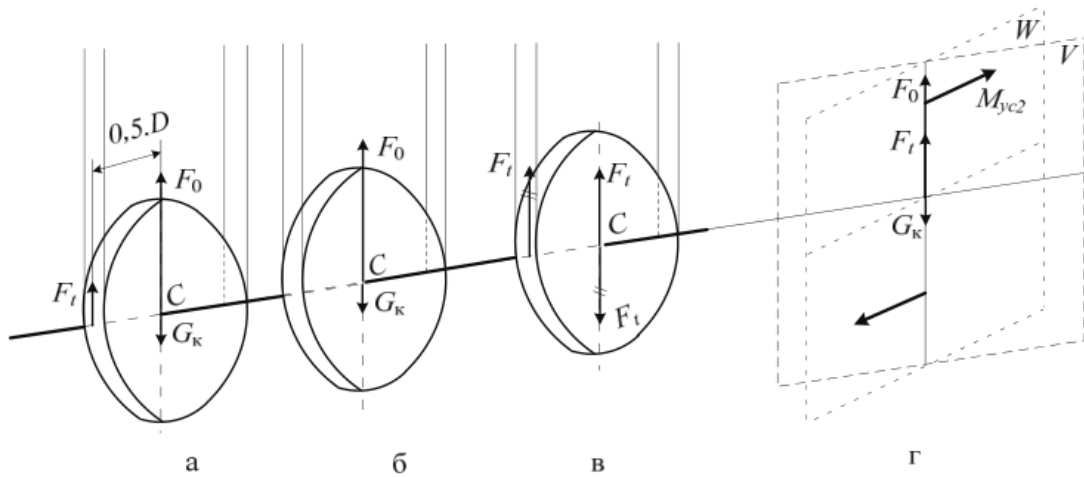


Рисунок 2.8. Схема приведення сил, які діють на привідні шків до осі основного вала.

При складанні розрахункової схеми вала радіальну силу F_0 слід перенести на вісь вала (рис. 2.8, б) і вона буде вигинати вал у площині V . Периферійна сила F_t спрямована поперек осі вала, вигинає вал у площині V і створює крутний момент $T_2 = 0.5 \cdot F_t \cdot D$. З рисунку 2.8, г видно, що у точці C діє результуюча поперечна сила F , яка рівна

$$F = F_0 + F_t - G_k, \quad (2.21)$$

де, G_k – сила ваги привідного шківа приводу головного руху, (Н).

Сила з боку клиноремінного приводу F_R діє на протилежний бік вала (рис. 2.7). Напрямок дії цієї сили залежить від характеру розміщення цього приводу (варіанти: від вертикального, коли $\alpha = 0^\circ$, до горизонтального, коли $\alpha = 90^\circ$).

$$F_R = 3 \cdot F_t. \quad (2.22)$$

За допомогою F_R визначають значення її складових:

$$F_{Ry} = F_R \cdot \sin(\alpha) \text{ – у горизонтальній площині;}$$

$$F_{Rz} = F_R \cdot \cos(\alpha) \text{ – у вертикальній площині.}$$

де, α – кут між лінією, яка з'єднує центри шківів і вертикальною віссю.

У випадку конструктивного рішення із вертикальним приводом $F_{Ry} = 0$ і

$$F_{Rz} = 0.$$

2.3.2. Побудова розрахункової схеми для аналізу приводного вала пили

Послідовність розрахункових операцій при конструюванні приводного вала пили можна проілюструвати наступним рисунком:

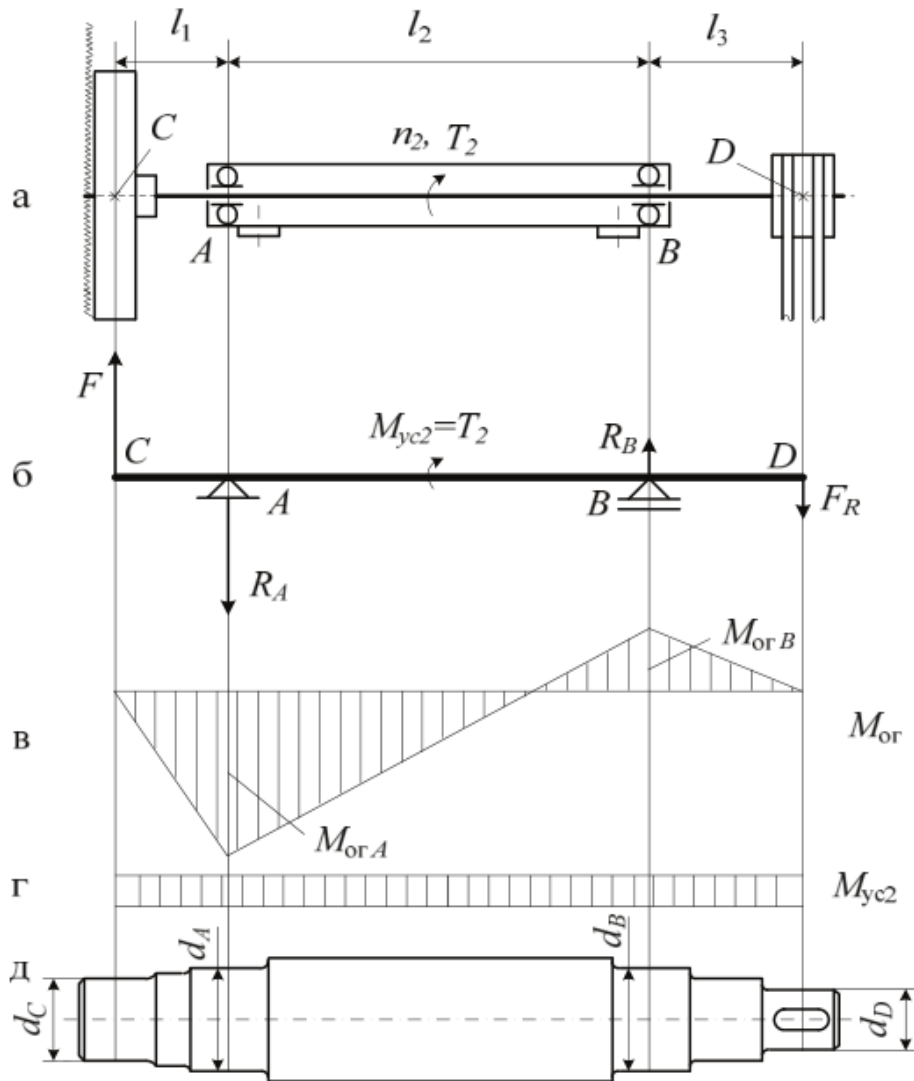


Рисунок 2.9. Розрахункова схема з епюрами та конструктивним рішенням вала

Взявши до уваги характер конструкції та розмірних параметрів, які подані на рис. 33,а легко сформувавши розрахункову схему, яка подана на рис. 2.9, б. У характерній точці С (як подано на рисунку 2.9, б) сконцентровано дію такого силового фактору, як результуюча поперечна сила F (2.21), а у точці D сконцентровано дію такого силового фактору, як сила з боку клиноремінного приводу F_R (2.22). Опори розташовані в точках А і В. Обидві реакції на силові

фактори в опорах діють на вал у вертикальній площині і мають протилежні напрямки.

2.3.3. Розрахунок крутних моментів на привідному валу пили

На рисунку 2.9 представлена конструкція основного вала стрічкопильного верстата, а також розрахункова схема із зазначенням епюр згинних моментів $M_{ог}$, скручуючих моментів $M_{ус}$, поперечних сил F і F_R . На вал діють наступні активні силові фактори F , F_R і $G_{ш}$. Вал розташований на двох підшипниках кочення.

Згинні моменти (рис. 2.9, в):

$$M_{огC} = 0; \quad M_{огA} = F \cdot l_1; \quad M_{огB} = (F_R + G_{ш}) \cdot l_3 \quad (2.23)$$

По всій своїй довжині вал зазнає деформацій скручування від передаваного крутного моменту $M_{ус2}$ (рис. 2.9,г). Числове значення цього моменту розраховуємо за математичною залежністю (2.18).

2.3.4. Розрахунок діаметрів у характерних точках на привідному валу пили

Ділянки вала, які можна охарактеризувати як його крайні шийки, (точки С і D) характерні за наступними критеріями: у точці С закріплене привідний шків стрічкової пили, а у точці D закріплено ведений шків пасової передачі у приводі головного руху різання. Обидві ділянки навантажені лише крутним моментом для забезпечення усталеного процесу різання $M_{ус2}$. Значення

діаметра вала у цих характерних точках можна визначити із наступної математичної залежності:

$$d_C = d_D = 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{yc2}}{0,2 \cdot [\tau'_{yc}]}} \quad (2.24)$$

де, d_C і d_D – діаметри вала у характерних точках С і D, в котрих закріплено привідне колесо стрічки пили та ведений шків приводу головного руху (м);

$[\tau'_{yc}]$ – занижене допустиме напруження скручування (МПа). Для матеріалу вала Сталь45 $[\tau'_{yc}] = 20.1$ МПа.

Діаметри в опорах (точки А і В).

З конструктивних міркувань шийки під підшипники вибирають з однаковим розміром, який має бути рівним більшому розрахунковому значенню. При цьому має бути враховано, що розміри шийок під підшипники мають бути співрозмірними із внутрішніми посадковими діаметрами підшипників кочення, тобто $d_A = d_B$. У розглядуваному випадку найбільш навантаженою є опора А (рис. 33,в). Діаметр вала в опорах А і В, де розміщені підшипники кочення розраховуємо із залежності:

$$d_A = d_B \geq \sqrt[3]{\frac{M_{еквА}}{0,1 \cdot [\sigma_{ог}]}} \quad (2.25)$$

де, d_A і d_B – діаметри вала у характерних точках А і В (під підшипники);

$M_{еквА}$ – еквівалентний момент в опорі А (Н·м).

$$M_{еквА} = \sqrt{M_{огА}^2 + M_{yc2}^2} \quad (2.26)$$

$[\sigma_{ог}]$ – допустиме напруження згину. Для матеріалу вала Сталь45 $[\sigma_{ог}] = 40$ МПа.

2.3.5. Конструктивне оформлення привідного валу пили

Конструкція валу (рис. 2.9, д) має ступінчасту форму, починаючи із геометрії крайніх шийок у перерізах С і D. Діаметр шийки у перерізі має бути

якнайбільшим. Ступені між шийками в перерізах С і А повинні бути трохи відмінними по діаметру та з невеликою висотою.

На основі проведеного аналізу нами встановлено, що максимальне навантаження валу знаходиться в його перерізі під підшипником поруч із стрічкопривідним колесом. Там діє згинальний момент, який виникає під дією сили натягу стрічкової пилки.

Для зменшення вигину привідного вала пропонується схема, за якої деформації згину будуть приймається тілом підшипника або самим корпусом верстата (рис. 2.10). Найчастіше тіла підшипників закріплюються в несучій частині верстата у вигляді болтового з'єднання. Вал по всій його довжині навантажений тільки моментом кручення.

M_{yc2} (рис. 2.10, в) та його діаметр визначається за рівнянням (2.24). Конструкція самого вала показана на рис. 2.10, г.

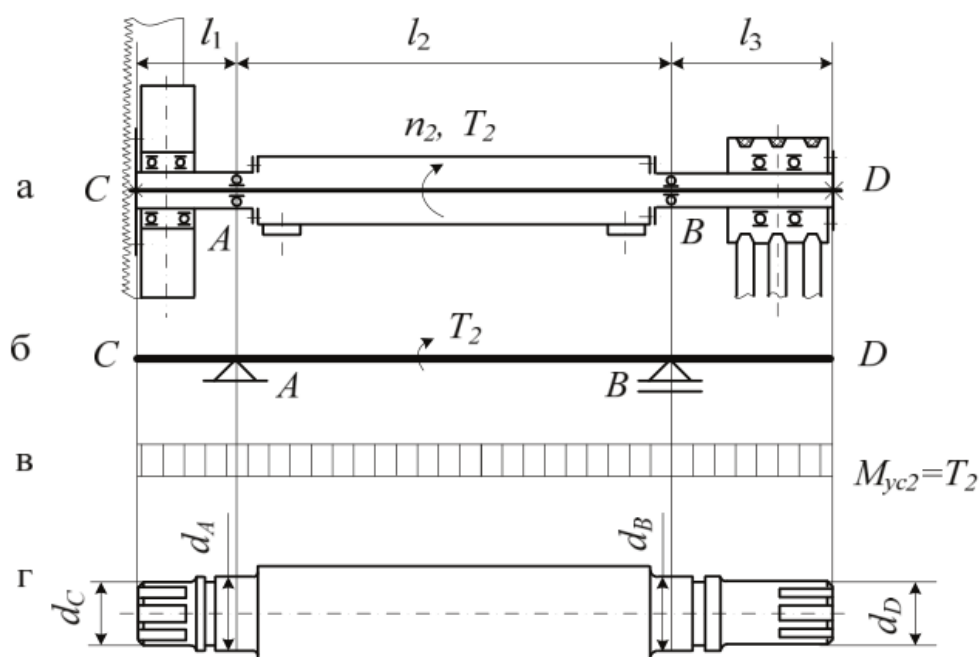


Рисунок 2.10. Розрахункова схема та модифікована конструкція вала

З аналізу діаграми згинального моменту (рис. 2.9, в) видно, що згинальний момент від сили натягу ременів (опора В) значно менший від згинального моменту від сили натягу стрічкової пилки (опора А). Тому в даному випадку можливий проміжний варіант, при якому можна надати валу приймати на себе згинальний момент сили натягу ременів (рис. 2.11), в той час

як згинальний момент сили натягу стрічкової пилки приймається тілом підшипника, який нерухомо закріплений у корпусі верстата.

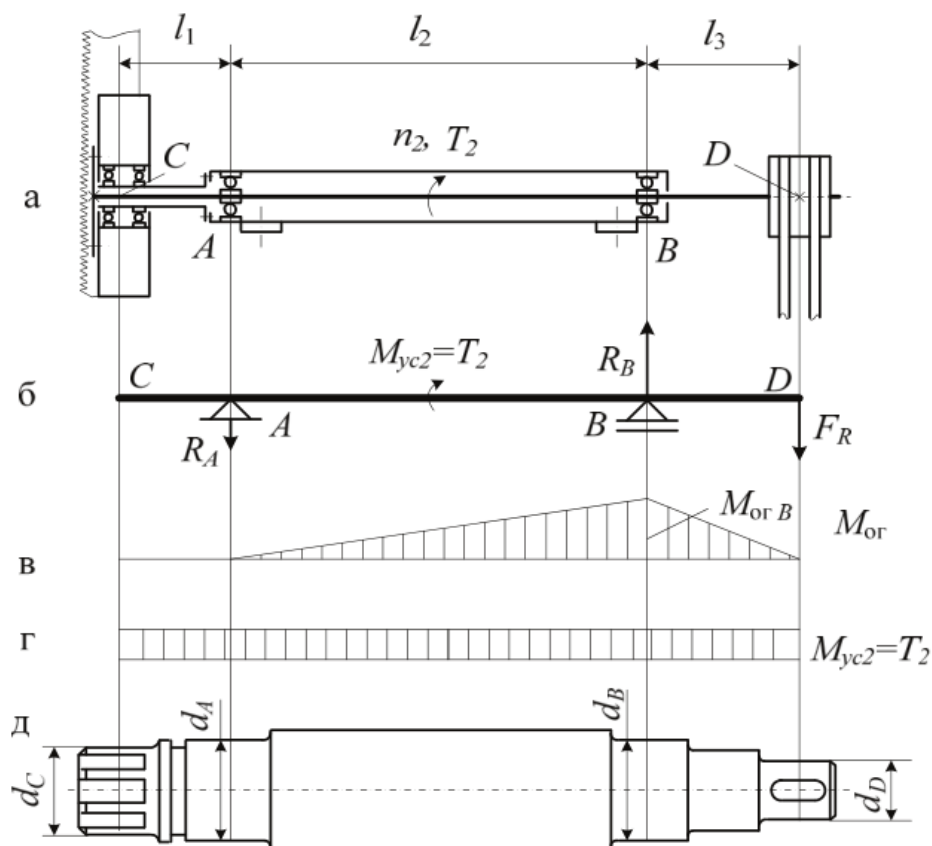


Рисунок 2.11. Розрахункова схема та епюри моментів згину та кручення при модифікованій конструкції вала

Використовуючи математичну залежність (2.24) ми можемо визначити діаметр вала d_C у точці С. Ця умовна точка визначає місце кріплення стрічкопривідного шківів (рис. 2.11). За аналогією, використовуючи математичну залежність (2.24) ми можемо визначити діаметр вала d_D у точці D. Ця умовна точка визначає місце кріплення шківів приводу головного руху (рис. 2.11).

Діаметр вала в опорах (точки А і В, рис. 2.11), де розміщені опори (підшипники кочення), розраховуємо в залежності від величини силових факторів у найбільш навантаженій опорі. Аналізуючи епюру навантаження вала по його довжині від сумарної дії крутних моментів, видно, що опора В є найбільш навантаженою (рис. 2.11, в). Діаметри вала в точках А і В d_A і d_B розраховуємо за математичною залежністю:

$$d_A = d_B \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\text{еквВ}}}{0,1 \cdot [\sigma_{\text{ор}}]}} \quad (2.27)$$

де, d_A і d_B – діаметри вала у характерних точках А і В (під підшипники);

$M_{\text{еквВ}}$ – еквівалентний момент в опорі В (Н·м).

$$M_{\text{еквВ}} = \sqrt{M_{\text{орВ}}^2 + M_{\text{ус2}}^2} \quad (2.28)$$

Виконані проектні розрахунки конструкції вала з умови забезпечення його міцності, а відповідно, і довговічності у конструкції стрічкопильного верстата, дозволяють проводити аналіз найбільш небезпечних ділянок по січеннях вала. Описана методика проектування дозволяє виконувати аналіз також і інших конструкцій привідного вала, які би забезпечували покращені експлуатаційні показники.

2.4. Висновки до розділу

Внаслідок складних деформаційних та теплових навантажень спостерігають різні причини виходу пили з ладу: зношування та руйнування зубів пили, зношування або зминання спинки зубів пили, розрив полотна, тріщини в міжзубних канавках, тріщини між полотном основи і матеріалом різальної частини та ін.

У стрічкових пил, що скручуються, додатково виникає тиск на площину полотна від бокових сторін напрямних. Момент скручування сприймається цими бічними сторонами напрямних. При цьому розрізняють тиск на площину і перекидальний тиск. Вони підвищують діючі на цьому місці дотичні напруження та напруження розтягу і цим впливають на довговічність пили. Шляхом впровадження конструктивних рішень, а саме, закругленням напрямних або встановленням роликів з великим радіусом, суттєво знижують тиск на площину полотна від бокових сторін напрямних.

На основі проведеного аналізу нами встановлено, що максимальне навантаження валу знаходиться в його перерізі під підшипником поруч із стрічкопривідним колесом. Там діє згинальний момент, який виникає під дією

сили натягу стрічкової пилки. Для зменшення вигину привідного вала пропонується схема, за якої деформації згину будуть приймається тілом підшипника або самим корпусом верстата. Найбільш раціонально підшипники закріплювати в несучій частині верстата.

3. Науково-дослідна частина

3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

3.1.1. Метод найменших квадратів

Набір дискретних даних при виконанні експериментальних досліджень, статистичній обробці даних, як правило, супроводжуються представленням отриманих результатів за допомогою таблиць, графіків, діаграм [25, 26]. Важливу роль при аналізі теоретичних та експериментальних даних відіграють не самі значення досліджуваної функції, а власне характер їх зміни, градієнт поведінки в досліджуваному діапазоні значень аргумента. Для визначення таких оціночних характеристик досліджуваних параметрів використовують метод найменших квадратів (МНК).

Суть методу найменших квадратів полягає в наступному: апроксимуюча пряма (або крива) яка має вигляд $\varphi(x) = a + bx$ (чи описана іншою математичною залежністю) повинна так розміститися у координатному просторі, щоб сума квадратів відхилень між теоретичними та експериментально встановленими значеннями функції у вузлових точках була б мінімальною:

$$Q = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum [\varphi(x_i) - y_i]^2 \Rightarrow \min. \quad (3.1)$$

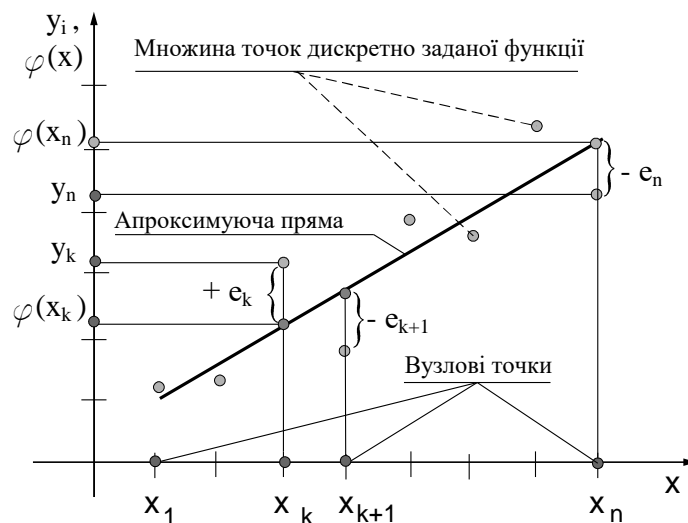


Рисунок 3.1. Розміщення апроксимуючої прямої та множини точок дискретно заданої функції у координатній площині

Для висвітлення змісту поняття "сума квадратів відхилень" доцільно виконати аналіз розміщення множини дискретних точок (експериментальних точок) у координатній площині. З вище наведеного рисунка (рис. 3.1) видно, що експериментальні точки розміщені по обидва боки від апроксимуючої прямої. Числові значення різниці між теоретичними та експериментальними значеннями у вузлових точках буде мати як знак "+", так і знак "-". Беручи до уваги не суму квадратів відхилень, а просто суму відхилень, можна отримати такий стан, коли при звичайному додаванні відхилень отримаємо "0". Таким чином, сума відхилень може мати нульове значення навіть за умови, що ці відхилення досить вагомі.

Для побудови апроксимуючої кривої, яка б відповідала суті методу найменших квадратів, необхідно визначити значення коефіцієнтів a і b , чи й інших коефіцієнтів, що характеризують розміщення апроксимуючої прямої у координатному просторі.

Допустимо, що множину точок дискретно заданої функції можна охарактеризувати наступними параметрами: n - кількість експериментальних (вузлових) точок; i - ранжована змінна, що встановлює порядок вузлових точок; x_i - абсциси вузлових точок; y_i - значення дискретно заданої функції у вузлових точках.

Математичний вираз, що описує суть МНК має вигляд:

$$Q = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n [(a + b \cdot x_i) - y_i]^2. \quad (3.2)$$

Прирівнявши до нуля часткові похідні, по a і b отримаємо систему рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів.

3.1.2. План проведення досліджень

Нами проаналізовано можливі варіанти математичного дослідження дискретних множин, які можна отримати як експериментальним шляхом, так і при виконання комплексу математичних розрахунків, а також використовуючи

засоби 3D моделювання. Спираючись на результати попередньо виконаних досліджень та аналізу стану розглядуваної проблеми ми дійшли наступних висновків:

1 – геометричні параметр полотна пили слід призначати в залежності від геометричних характеристик оброблюваного профілю;

2 – геометричні параметри зубів пили визначають можливість її застосування та безперебійної роботи в залежності від геометричних характеристик оброблюваного профілю;

3 – ширина пропилу суттєво впливає на процес стружковідведення та подріблення стружки у процесі різання;

4 – ефективність процесу різання та працездатність пили залежать від стану та навантаженості зубів пили;

5 – на ефективність процесу різання мають значний вплив параметри статичного та динамічного навантаження полотна пили;

6 – сумарні енергетичні затрати на процес розпили залежать від площі оброблюваного матеріалу.

Вище подані результати аналізу визначають напрями для подальших досліджень, а саме:

1 – дослідити динамічні показники та параметри, які безпосередньо впливають на полотно пили у процесі механічної обробки, оскільки резонансні явища приводять до вигинання полотна пили і збільшення об'єму оброблюваного матеріалу, а відповідно, і енергетичних затрат;

2 – дослідити напружено-деформований стан зуба пили у процесі механічної обробки;

3 – встановити математичні залежності для автоматизованого розрахунку площі поперечного перерізу та периметру оброблюваного профілю при його обробці під кутом до напрямної площини.

3.2. Оцінка впливу резонансної частоти коливань на процес різання стрічковими пилами

Дослідження проводилися з метою підтвердження ідеї про те, що зусилля натягу є найважливішим фактором, що впливає на відхилення пилки від перпендикулярності різку, що викликає резонансні явища та визначає стійкість процесу різання в цілому.

Досі вважалося, що визначальними факторами відхилення від площинності в процесі різання є розведення зубів пилки. Внаслідок несиметричності розведення і перекручування ділянок пили, що виникає при цьому, слід враховувати три фактори: дійсну величину розведення окремих зубів, різницю між величиною розведення вправо і вліво, а також розмір і характер скручування зубів. Усі три фактори впливають на відхилення. При цьому слід враховувати, що при сучасних способах виготовлення стрічкових пилок виготовляють порівняно однаково розведені пилки. Однак, пили також можуть виготовлятися з відхиленням 1° і більше, що призводить до значного відхилення від площини різку. Експерименти з оцінки впливу натягу пили проводилися на верстаті КСА 8532, при порізці сталеві заготовки Сталь45 діаметром 210 мм. Параметри роботи верстата були наступними: швидкість становила 60 м/хв, час одного різку 8 хв., продуктивність 43 см²/хв., при використанні належним чином припрацьованої пилки. Експеримент проводився наступним чином: після встановлення заготовки та налаштування верстата було зроблено по 3 різки з зусиллям натягу 100, 120, 200, 250 і 300 Н/мм². Далі експеримент був повторно проведений на вже зношеній пилці, але до моменту настання катастрофічного зносу (відведення пилки більше 1 мм на 100 мм площини різання). Результати експерименту наведено на рисунках 3.2 та 3.3.

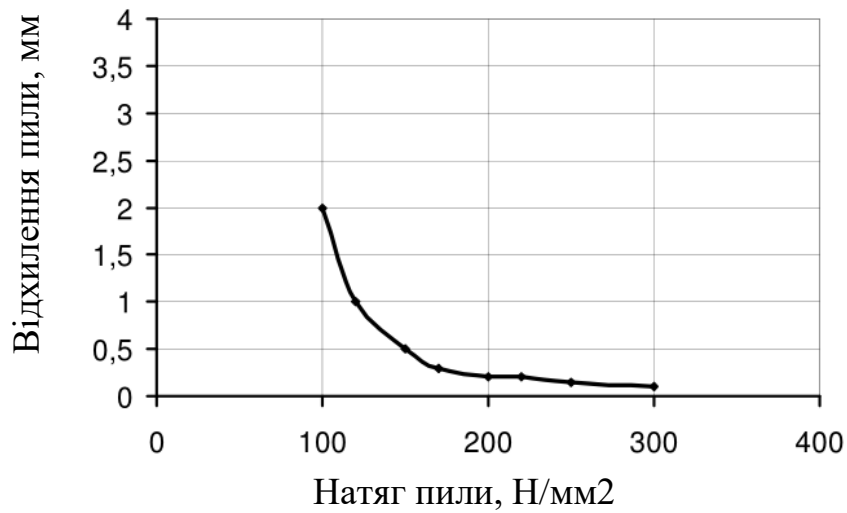


Рисунок 3.2. Відхилення нормально припрацьованої пилки

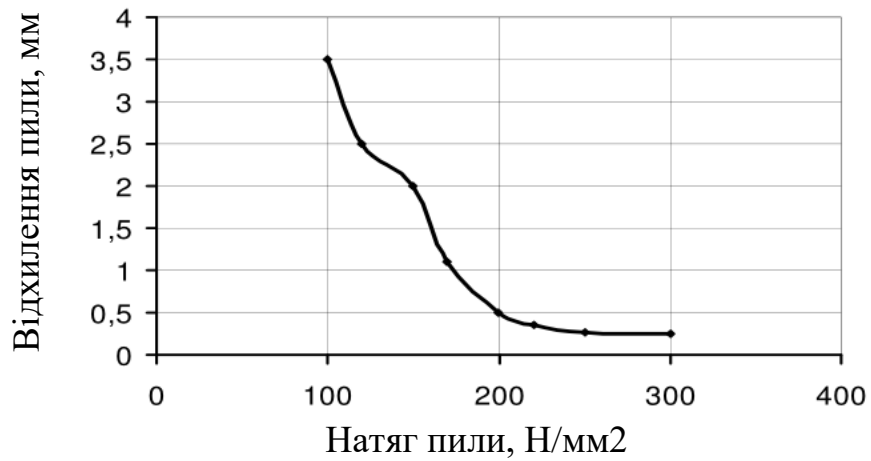


Рисунок 3.3. Відхилення зношеної пилки

У ході проведення досліджень було експериментально встановлено, що дані щодо зусилля натягу пилки, рекомендовані виробниками в більшості випадків, є заниженими і вимагають збільшення на 10-15% залежно від типу та жорсткості верстата. За результатами експерименту рекомендовано такі зусилля натягу для різних класів верстатів, представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Рекомендовані значення натягу пил

Клас верстатів	Легкі	Середні	Високопродуктивні
Натяг, Н/мм ²	150-180	200 - 270	280 - 350

Величина натягу полотна пили безпосередньо впливає як на стійкість процесу різання, так і на резонансні частоти системи “пила-направляючі”, дослідження яких наведені далі.

Динамічна модель аналізованої системи наведена на рисунку 3.4.

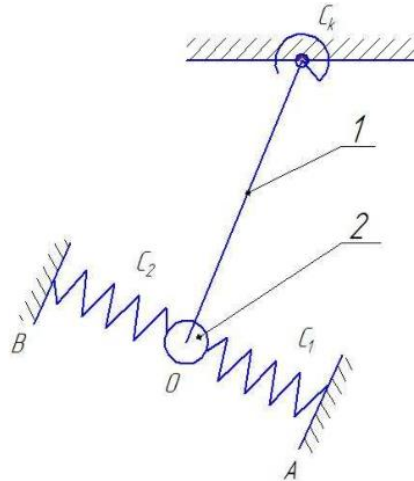


Рисунок 3.4. Динамічна модель системи “пила-направляючі”

У точці А прикладено зусилля, що є збурюючим. Причому через бічні розведення зубів пилки виникають бічні сили, що збурюють поперечні коливання, через те, що точка А (відповідає точці контакту входячого в матеріал зуба, на етапі врзання) періодично переміщається на величину кроку зубів пилки. У системі, що розглядається, можуть виникати параметричні коливання (змінюється довжина полотна пилки на ділянці ОА). Поперечні коливання пили розглядатимемо на ділянці ОА та ділянці АВ (коливання маси 2).

Для наочності подальших міркувань перетворимо динамічну модель до виду, зображеному малюнку 3.5.

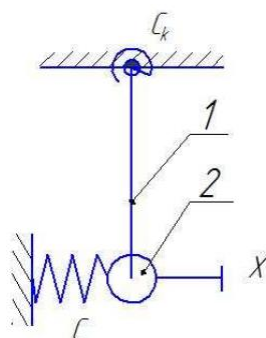


Рисунок 3.5. Динамічна модель для визначення поперечних коливань пили.

У цьому випадку пружність C рівносільна дії пружностей C_1 і C_2 . Знайдемо пружність C шляхом приведення жорсткостей. Отже, при переміщенні вантажу на величину "x" відносно подовження полотна дорівнює (рис. 3.6):

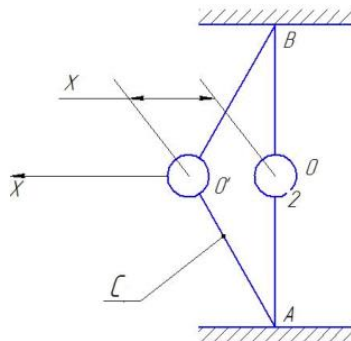


Рисунок 3.6. Динамічна модель для визначення приведеної жорсткості C .

$$\Delta = \frac{\sqrt{OA^2+x^2} + \sqrt{OB^2+x^2} - OA - OB}{OA+OB} \quad (3.1)$$

Звідки:

$$\frac{x^2}{2 \cdot OA} = \sqrt{OA^2 + x^2} - OA$$

$$\frac{x^2}{2 \cdot OB} = \sqrt{OB^2 + x^2} - OB.$$

Тоді

$$\Delta = \frac{x^2}{2 \cdot OA \cdot OB} \quad (3.2)$$

Коефіцієнт жорсткості пружини C із розрахункової схеми, яка показана на рис. 3.6 можна визначити за формулою

$$C = \frac{OA+OB}{OA \cdot OB} \cdot q \quad (3.3)$$

Диференціальне рівняння руху для динамічної системи, яка показана на рис. 3.6 можна записати за структурою рівняння Лагранжа 2-го роду:

- для поступальної системи:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} = Q_i \quad (3.4)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

де, T – кінетична енергія системи;

$$T = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{m \cdot \dot{x}^2}{2}$$

m – маса;

v, \dot{x} – швидкість;

x – переміщення;

Π – потенційна енергія системи;

$$\Pi = \frac{c \cdot x^2}{2}$$

c – коефіцієнт жорсткості пружини;

x – деформація пружини;

Φ – дисипативна функція Релея (функція розсіювання), яка характеризує швидкість розсіювання енергії у часі.

В механічній системі дана функція виражає процеси які пов'язані із в'язким тертям у системі.

$$\Phi = \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{k=1}^n \lambda_{jk} \cdot \dot{q}_j \dot{q}_k$$

λ_{jk} – коефіцієнт в'язкого тертя;

q_j, q_k – узагальнені координати;

n – число ступенів вільності системи.

Q_j – узагальнені силові фактори.

- для обертової системи:

Узагальненні координати: φ_1, φ_2 та φ_3 .

Запишемо узагальнені рівняння кінематичної енергії системи:

$$T = \frac{J_1 \cdot \omega_1^2}{2} \quad T = \frac{J_1 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{2}$$

Узагальнене рівняння потенціальної енергії системи:

$$\Pi = \frac{C_i \cdot (\varphi_i - \varphi_{i+1})^2}{2}$$

Узагальнене рівняння дисипативної функції Релея:

$$\Phi = \frac{\lambda_{i,i+1} \cdot (\dot{\varphi}_i - \dot{\varphi}_{i+1})^2}{2}$$

В якості узагальненої координати приймаємо параметр "X" (рис. 3.6). Враховуючи, що динамічна система включає елементи поступального та коливного руху, можна записати наступні математичні залежності:

$$T = \frac{m_2 \cdot \dot{X}^2}{2} + \frac{J_1 \cdot \dot{\varphi}^2}{2} \quad (3.5)$$

де, m_2 – маса направляючої;

J_1 – момент інерції швелера направляючої відносно точки коливання.

$$J_1 = \frac{m_1 \cdot l_1^2}{3} \quad (3.6)$$

де, m_1 – маса швелера;

l_1 – довжина швелера;

$$\dot{\varphi} = \frac{\dot{X}}{l_1} \quad (3.7)$$

З вище поданих математичних залежностей (3.5 – 7) випливає:

- кінетична енергія системи

$$T = \frac{c \cdot \dot{X}^2}{2} + \frac{c_k \cdot \dot{\varphi}^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left(c + \frac{c_k}{l_1^2} \right) \cdot \dot{X}^2 = \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot \dot{X}^2 \quad (3.8)$$

- потенційна енергія системи

$$\Pi = \frac{c \cdot X^2}{2} + \frac{c_k \cdot \varphi^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left(c + \frac{c_k}{l_1^2} \right) \cdot X^2 = \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot X^2 \quad (3.9)$$

Підставивши значення T і Π у рівняння Лагранжа (3.4), отримаємо:

$$a \cdot \ddot{X} + C_0 \cdot X = 0 \quad (3.10)$$

Отримане рівняння можна характеризувати як рівняння вільних коливань досліджуваної системи.

Тоді власна колова частота коливань досліджуваної системи у конструкції стрічкопильного верстата буде рівна:

$$K = \sqrt{\frac{\frac{OA+OB}{OA \cdot OB} \cdot q + \frac{10^5 \cdot \varphi^2}{l_1^2}}{m_2 + \frac{1}{3} m_1}} \quad (3.11)$$

Для проведення подальших досліджень необхідно визначити колову частоту сили збудження. Позначимо її через ω . При граничних умовах, коли $\omega = K$ виникають резонансні коливання, які супроводжуються значним ростом амплітуди зміщення полотна пили, що негативно впливає як на процес різання, так і на вузли приводу головного руху верстата [27]. Встановлено, що для

гарантованого виключення явища резонансу у процесі механічної обробки на стрічкопильному верстаті, необхідно щоб значення параметрів ω і K різнилися не менше ніж на 30%.

Розглянемо математичні моделі для пил з різним видом розведення зубів. У першому варіанті розглянемо випадок, коли зуби розведені, а у другому випадку, коли середній зуб із трьох послідовних не розведений.

Колова частота для першого випадку може бути визначена як:

$$\omega = \frac{\pi \cdot V}{t} \quad (3.12)$$

Для другого випадку:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot V}{3t} \quad (3.13)$$

Отримані дані занесемо в таблицю 3.2 для першого випадку та таблицю 3.3 для другого випадку. За отриманими даними на рисунках 6 і 7 наведено графіки кругової частоти від швидкості різання та визначимо зони виникнення резонансів.

Таблиця 3.2. Залежність кругової частоти від швидкості різання для першого виду розведення зубів пилки

Колова частота	v, м/хв			
	25	32	45	65
$\omega, \text{с}^{-1}$ для пили з кроком зубів $t= 4$ мм	314	416	588	847
$\omega, \text{с}^{-1}$ для пили з кроком зубів $t= 6$ мм	209	277	392	565
$\omega, \text{с}^{-1}$ для пили з кроком зубів $t= 8$ мм	157	208	294	423

Швидкість, при якій виникає явище резонансу визначаємо за формулою, прийнявши $n = 1$:

$$v_p = \frac{Kt}{\pi n} \quad (3.14)$$

Таблиця 3.3. Залежність кругової частоти від швидкості різання для другого виду розведення зубів пилки

Колова частота	v, м/хв			
	25	32	45	65
$\omega, \text{с}^{-1}$ для пили з кроком зубів t= 4 мм	209	271	392	565
$\omega, \text{с}^{-1}$ для пили з кроком зубів t= 6 мм	140	185	262	377
$\omega, \text{с}^{-1}$ для пили з кроком зубів t= 8 мм	104	138	196	282

Швидкість, при якій виникає явище резонансу визначаємо за формулою, прийнявши $n = 1$:

$$v_p = \frac{3Kt}{2\pi n} \quad (3.15)$$

Як видно з математичних залежностей (3.14) і (3.15) визначальними параметрами при дослідженні резонансної частоти є власна резонансна частота системи фіксації заготовки та крок зубів пили, які власне і створюють збуджуючі коливання. Виконавши математичне моделювання цього процесу з використанням засобів САПР [28] ми отримали графіки для візуалізації областей резонансної не стабільності (рис. 3.7 і 3.8).

$$v := \begin{pmatrix} 25 \\ 32 \\ 45 \\ 65 \end{pmatrix} \quad t4 := \begin{pmatrix} 314 \\ 416 \\ 588 \\ 847 \end{pmatrix} \quad t6 := \begin{pmatrix} 209 \\ 277 \\ 392 \\ 565 \end{pmatrix} \quad t8 := \begin{pmatrix} 157 \\ 208 \\ 294 \\ 423 \end{pmatrix}$$

$$s := v_1, v_1 + 0.02.. v_4 \quad w_r(s) := 270 \quad w_{rh}(s) := 270 + 270 \cdot 0.3$$

$$w_{rl}(s) := 270 - 270 \cdot 0.3$$

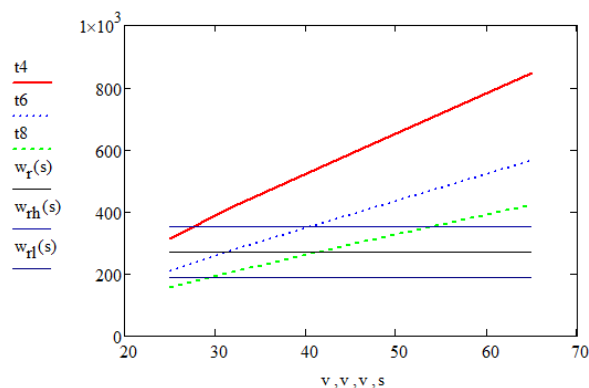


Рисунок 3.7. Оцінка резонансних зон для першого випадку розведення зубів.

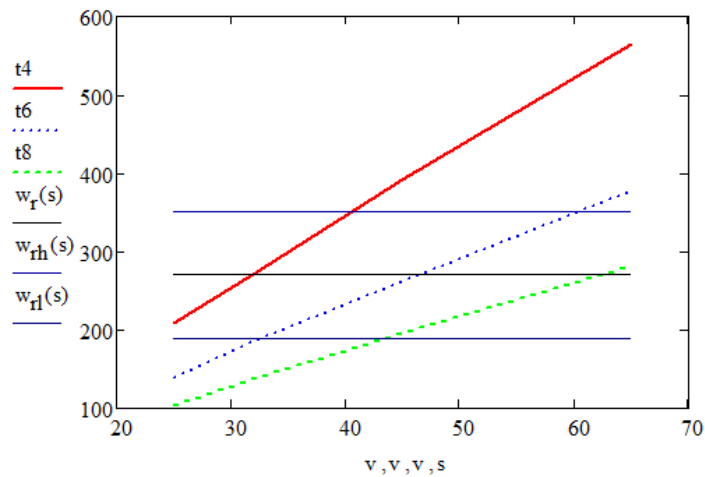


Рисунок 3.8. Оцінка резонансних зон для другого випадку розведення зубів.

За результатами виконаних побудов стає очевидним, що при першому варіанті розведення зубів пил на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t=4$ мм є технологічно стабільним при швидкості різання понад 30 м/хв, тоді як для пил з кроком $t=6$ мм і $t=8$ мм ці показники зростають до 42 м/хв і 55 м/хв відповідно. При другому варіанті розведення зубів пил на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t=4$ мм є технологічно стабільним при швидкості різання понад 40 м/хв, тоді як для пил з кроком $t=6$ мм і $t=8$ мм ці показники не мають перевищувати 32 м/хв і 45 м/хв відповідно.

3.3. Дослідження напружено-деформованого стану зуба пили та якості обробленої поверхні

При стрічковому пилянні рухи подачі та різання надають стрічковій пилці, полотню якої піддається напруженням розтягу, стиску і знакозмінному моменту, що скручує полотню пили, при повороті в робоче положення в зоні контакту із заготовкою.

Використання методів математичного моделювання дозволило дослідити напруження та деформацію зуба в процесі роботи. Для створення 3D твердотілої моделі зуба стрічкової пилки використовувалася методика тривимірного моделювання, яка дозволяє змінювати параметри навантаження на зуб пилки. Модель зуба [29] створена у пакеті Solid Works. Для дослідження

напруженого стану та деформацій зубів застосовувався метод кінцевих елементів.

Розглядали стандартний зуб (S) біметалічного стрічкового полотна M42 3660x34x1,1x6,3 з передніми кутами $\gamma = 0^\circ$ і 10° . Стандартний зуб з кутом заточування 0° використовується для пиляння матеріалів з утворенням короткої стружки; сталей із високим вмістом вуглецю; інструментальних сталей та чавунів; заготовок невеликого перерізу; тонкостінних профілів.

Встановлено, що напруження у зубах стрічкової пилки при прикладання рівнодіючої сили різання P для кутів $\gamma = 0^\circ$ та $\gamma = 10^\circ$ знаходяться в околі $\sigma = 650$ МПа, а зміщення ріжучої кромки при цьому може сягати $\Delta = 0,31$ мм (рис. 3.9).

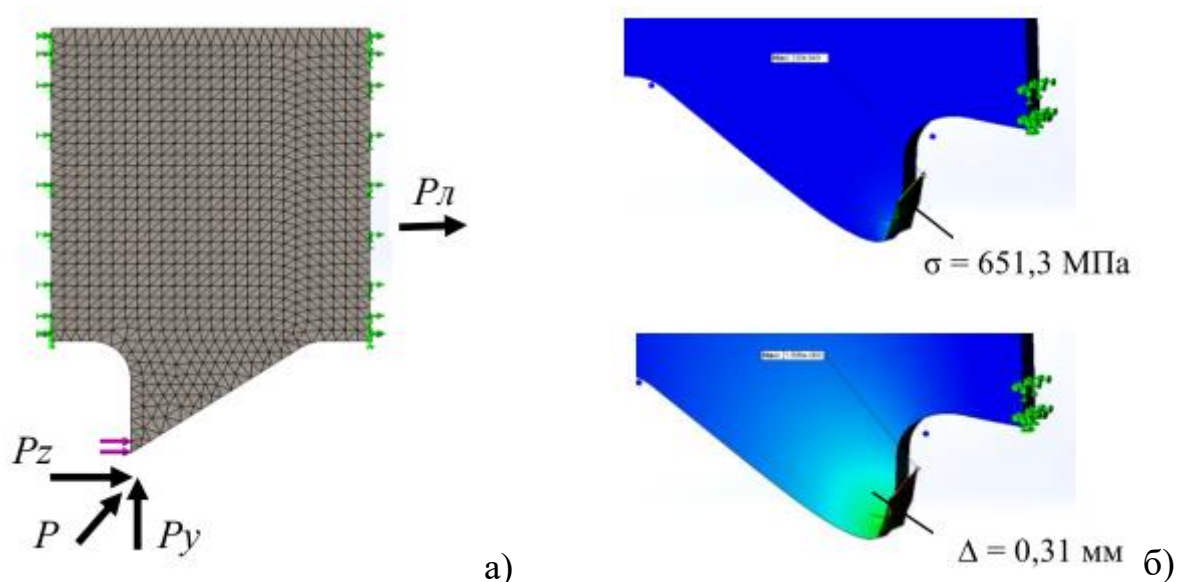


Рисунок 3.9. Дослідження напружено-деформованого стану зуба пили:
а – прикладення сили різання до зуба пили; б – зони найбільших напружень та деформацій при прикладання рівнодіючої сили різання.

Досліджено також вплив величини подачі на шорсткість поверхні в трьох перерізах при врзанні пили, в середній зоні заготовки та при закінченні пиляння (рис. 3.10).

Швидкість різання пилки становила 56 м/хв. Оскільки після пиляння шорсткість поверхні різку знаходиться в межах $R_{\max} = 71,2$ мкм ... 134 мкм, то в ряді випадків це дозволяє виключити операцію торцювання заготовок і, відповідно, скоротити час обробки.

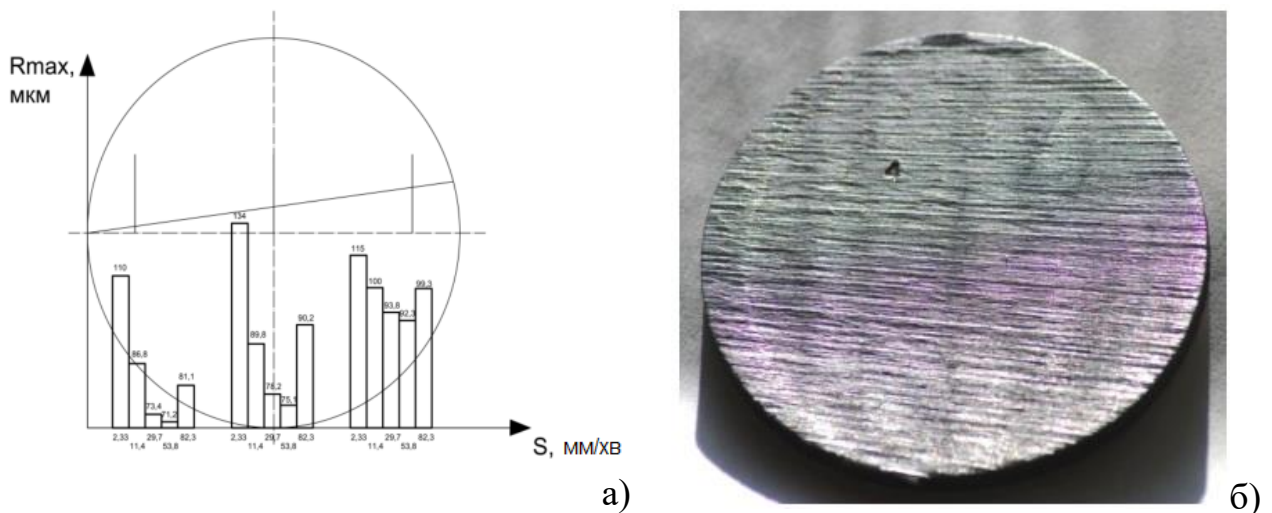


Рисунок 3.10. Дослідження якості обробленої поверхні:
 а – шорсткість торцевої поверхні різку при різних подачах; б – загальний вигляд поверхні заготовки після обробки Сталь45 біметалічним стрічковим полотном М42 3660 x 34 x 1,1 x 6,3.

Представлені результати ілюструють, що при малих подачах: 2,33 мм/хв, 11,4 мм/хв, а також при великих подачах: 53,8 мм/хв, 82,3 мм/хв можемо спостерігати підвищені параметри шорсткості торцевої поверхні. Найкращих параметрів якості (шорсткості) обробленої поверхні можна добитися при середніх показниках подачі 29,8 мм/хв, 53,8 мм/хв.

Окрім того слід відмітити, що найкращі показники якості спостерігаємо на етапах врізання та у середній частині профілю при подачі пили 53,8 мм/хв. На етапі виходу пили із оброблюваної деталі якість поверхні суттєво знижується. Це може бути пов'язано із стабільністю процесу різання через кількість зубів, які одночасно беруть участь у процесі різання.

3.4. Методи аналітичних досліджень

3.4.1. Реалізація лінійної регресії загального виду

Окремі математичні пакети дозволяють реалізовувати алгоритм лінійної регресії загального виду за допомогою вмонтованої функції – $\text{linfit}(vx,vy,F)$.

$\text{linfit}(vx,vy,F)$ – формує вектор (у робочому документі подається як матриця-стовпець) коефіцієнтів лінійної регресії загального виду, наприклад K ,

при котрому середньоквадратичне відхилення між теоретичними та експериментально встановленими (попередньо визначеними) точками було б мінімальним. Вектор F описує функції лінійної регресії загального виду $F_1(x)$, $F_2(x)$, ..., $F_n(x)$ у символічній формі. Також слід зазначити, що вектор F у робочому документі подають у вигляді матриці-стовпця. Кількість елементів цієї матриці відповідає кількості складових елементів у рівнянні лінійної регресії загального виду.

Довільну сукупність дискретно заданих точок можна описати функцією загального виду:

$$F(x, K_1, K_2, \dots, K_n) = K_1 \cdot F_1(x) + K_2 \cdot F_2(x) + \dots + K_n \cdot F_n(x)$$

Функція регресії є лінійною комбінацією функцій $F_1(x)$, $F_2(x)$, ..., $F_n(x)$, при чому ці функції самі по собі можуть бути нелінійними. Такий підхід значно розширює можливості апроксимації та дозволяє його застосовувати і до нелінійних функцій. Як і у попередньому випадку, вектор VX повинен містити абсциси точок із дискретної множини, що впорядковані по мірі їх зростання, а вектор VY повинен містити ординати точок, що відповідають абсцисам у векторі VX .

3.4.2. Реалізація нелінійної регресії загального виду

Під нелінійною регресією загального виду розуміють знаходження вектора K , у якому описані параметри довільної функції виду:

$$F(x, K_1, K_2, \dots, K_n).$$

Система підбирає значення параметрів досліджуваної функції таким чином, щоб забезпечити мінімальне середньоквадратичне відхилення між теоретичними та експериментально встановленими даними у вузлових точках.

Для проведення нелінійної регресії загального виду використовують вмонтовану функцію `genfit`:

$\text{genfit}(VX, VY, VS, F)$ – формує вектор шуканих коефіцієнтів для функції F , котрою описують дискретну множину точок із мінімальним середньоквадратичним відхиленням.

Вектор F складається із символьних елементів, причому ці елементи повинні містити аналітичний вираз для вихідної функції, та її похідні по всіх досліджуваних параметрах. Вектор VS містить початкові значення параметрів для елементів вектора K . Ці значення потрібні для розв'язку системи нелінійних рівнянь ітераційним методом.

Звернемо увагу ще на декілька важливих моментів. Перш за все, службовій змінній `ORIGIN` необхідно присвоїти значення "1". При виконанні подальших розрахунків потрібно буде вказати для котрого елемента вектора, що заданий у символьній формі, потрібно побудувати графік.

Другий момент – знаходження частинних похідних по досліджуваних параметрах. Описувати аналітичний вираз для досліджуваної функції та шукати частинні похідні потрібно на самому початку документа, до вводу вхідних даних та будь - яких перетворень.

Третя особливість полягає у використанні функції genfit в її стандартному вигляді. При описі вектора F потрібно замінювати параметри a, b, \dots на k_1, k_2, \dots відповідно чи інші індексовані літери.

Наступний етап – формування вектора F , елементи котрого є аналітичними виразами, що описують досліджувану функцію та її частинні похідні по досліджуваних параметрах. Описуємо вектор K для знаходження значень шуканих коефіцієнтів. Створюємо функцію користувача $g(x)$, виконуємо графічні побудови, розраховуємо середньоквадратичне відхилення.

Слід відмітити, що для дослідження дискретно заданих функцій у пакетах математичного моделювання передбачено цілий комплекс можливостей та спеціальних функцій. Користувач може на свій розсуд реалізовувати методику дослідження, формувати власні алгоритми або використовувати вмонтовані функції, застосування яких дозволяє оперативно проаналізувати характер поведінки множини дискретно заданих точок у координатній площині,

порівняти різні аналітичні вирази, що описують цю множину за середньоквадратичним відхиленням.

Реалізація алгоритмів лінійної та нелінійної регресії дозволяє досить швидко та ефективно підібрати математичний вираз, що із задовільною точністю описує задану множину точок [25, 26].

3.5. Дослідження закономірностей зміни площі та периметра оброблюваного профілю від величини зміщення при кутовому різі

Як вже було попередньо встановлено, процес механічної обробки нерозривно пов'язаний з енергетичними затратами, які є комплексним показником ефективності технологічного процесу. Аналіз процесу різання передбачає врахування усталених параметрів, наприклад, глибини різання та подачі різального інструменту. Виконуючи певні конструктивні та технологічні розрахунки можна встановити об'єм матеріалу, який видаляють з тіла оброблюваної деталі за одиницю часу або за одиницю іншого критерію, який прийнятий за визначальний параметр (наприклад – робочий хід). Процес відрізання деталей (заготовок) на пиловідрізних верстатах можна охарактеризувати як процес із змінними характеристиками, тому що у вертикальній площині (площині розміщення прорізної канавки) пила входить під змінним кутом до вертикальної осі оброблюваної деталі, а виходить з деталі практично паралельно до поверхні, яка виступає в ролі установчої бази.

Окрім того, при реалізації процесу різання під кутом меншим за 90° до поверхні (опорної поверхні), яка, як правило, виступає за направляючу базу, об'єм зрізаного матеріалу буде зростати як за одиницю часу різання, так і при повній відрізці деталі чи заготовки.

У процесі дослідження параметрів поперечного січення $40 \times 40 \times 3$ профільної труби згідно стандарту ДСТУ 8940:2019 (Труби сталеві профільні (Технічні умови)) (див. рис. 3.11), що при зміні кута відрізання профілю шляхом зміщення відрізного профілю на 22 мм по одній із сторін, змінюються

як геометричні параметри оброблюваного профілю, так і навантаження на привід головного руху верстату.

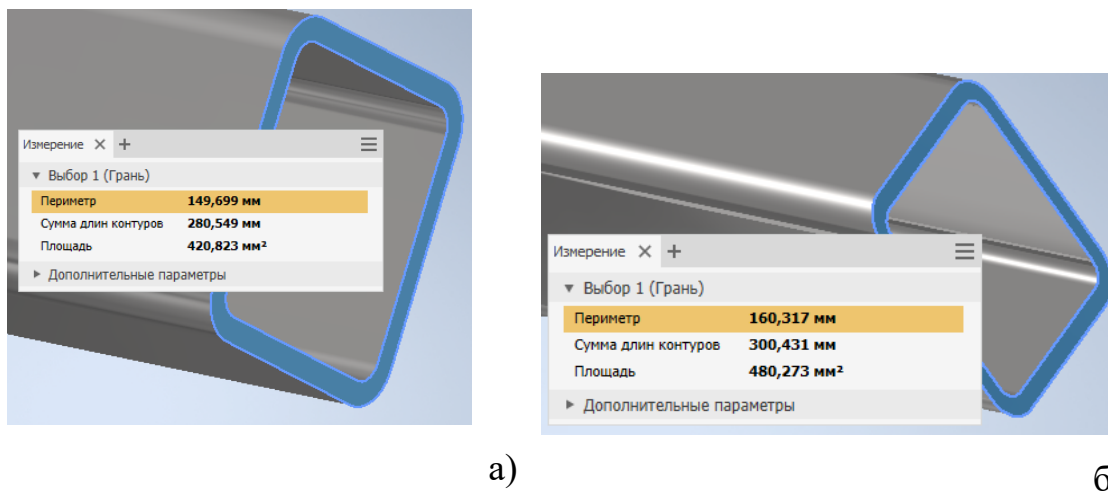


Рисунок 3.11. Параметри січень профільної труби: а – нормальний різ; б – косий різ.

Оскільки параметри поперечного січення при косому різі є змінними в часі і залежать, від величини зміщення по одній із сторін, яка, як правило є паралельною до установчої площини, то перший етап вивчення цього процесу полягає у визначенні математичної залежності, яка би дозволила розраховувати ці параметри від величини зміщення.

За результатами проведених досліджень нами встановлено величини площ поперечного перерізу січення профільної труби у залежності від зміщення пили щодо нормального різку.

Таблиця 3.4. Площі поперечного перерізу при прямому і косому різках

Зміщення, мм	0	10	15	20	25	30	35	40
Площі:								
Фактичні, мм ²	420.823	433.774	449.439	470.494	496.255	526.029	559.176	595.134

У процесі дослідження зміни площі поперечного січення профільної труби у залежності від зміщення пили щодо нормального різку також встановлено значення зовнішнього периметру профілю при такому різі. Результати проведених вимірювань подані у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Значення зовнішнього периметру поперечного перерізу при прямому і косому різіах

Зміщення, мм	0	10	15	20	25	30	35	40
Площі:								
Фактичні, мм ²	149,699	152,005	154,799	158,565	163,185	168,543	174,526	181,038

Провівши аналіз доступних інструментів для виконання такого аналізу [21], а також різні математичні моделі, які були реалізовані із застосуванням цієї інструментальної платформи [21, 22] ми реалізували алгоритм нелінійної регресії загального виду (рис. 3.12).

ORIGIN := 1

$$f_{pl}(zm, a, b, c, d) := a \cdot zm^b + c \cdot zm + d$$

$$\frac{d}{da} f_{pl}(zm, a, b, c, d) \rightarrow zm^b$$

$$\frac{d}{db} f_{pl}(zm, a, b, c, d) \rightarrow a \cdot zm^b \cdot \ln(zm)$$

$$\frac{d}{dc} f_{pl}(zm, a, b, c, d) \rightarrow zm$$

$$\frac{d}{dd} f_{pl}(zm, a, b, c, d) \rightarrow 1$$

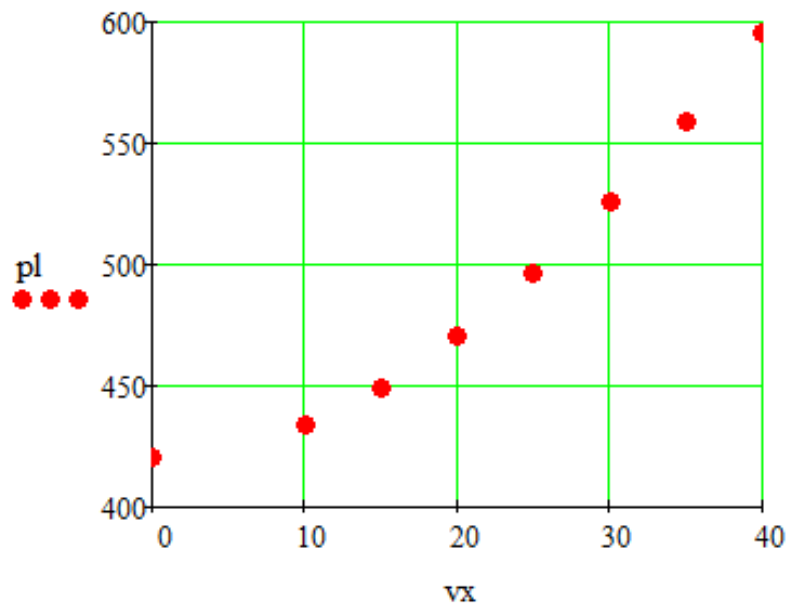
a)

Рисунок 3.12 Дослідження закономірностей зміни площі оброблюваного профілю від величини зміщення при кутовому різіах: а – математична модель.

$$vx := \begin{bmatrix} (1 \cdot 10)^{-15} \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \\ 40 \end{bmatrix} \quad pl := \begin{bmatrix} 420.823 \\ 433.774 \\ 449.439 \\ 470.494 \\ 496.255 \\ 526.029 \\ 559.176 \\ 595.134 \end{bmatrix} \quad per := \begin{bmatrix} 149.699 \\ 152.005 \\ 154.799 \\ 158.565 \\ 163.185 \\ 168.543 \\ 174.526 \\ 181.038 \end{bmatrix}$$

b)

Продовження рисунку 3.12. б – масив вхідних даних.



в)

Продовження рисунку 3.12. в – графік дискретних площ від величини зміщення при кутовому різі.

$$\text{FF}(x, k) := \begin{pmatrix} k_1 \cdot x^{k_2} + k_3 \cdot x + k_4 \\ x^{k_2} \\ k_1 \cdot x^{k_2} \cdot \ln(x) \\ x \\ 1 \end{pmatrix} \quad s1 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{Kcoef} := \text{genfit}(vx, pl, s1, \text{FF})$$

$$\text{Kcoef} = \begin{pmatrix} 0.65 \\ 1.584 \\ -1.24 \\ 420.873 \end{pmatrix}$$

г)

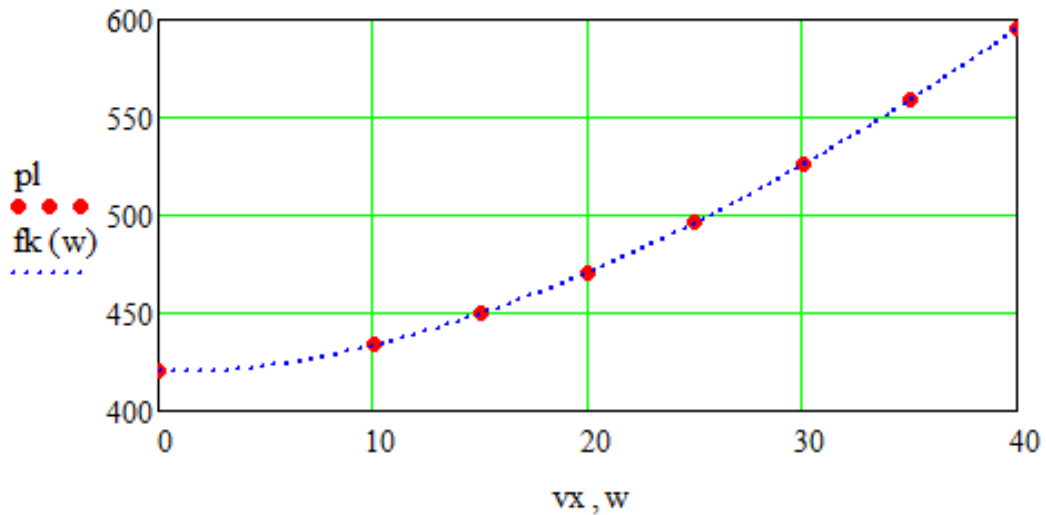
Продовження рисунку 3.12. г – реалізація алгоритму не лінійної регресії загального виду.

$$w := vx_1, vx_1 + 0.02 \dots vx_n \quad fk(w) := \text{FF}(w, \text{Kcoef})_1$$

$$E := \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (pl_i - fk(vx_i))^2}}{n-1} \quad E = 0.105$$

д)

Продовження рисунку 3.12. д – оцінка точності (адекватності) запропонованої математичної моделі.



e)

Продовження рисунку 3.12. е –аналіз взаємного розміщення дискретних даних та теоретичної кривої в координатному просторі.

$i := 1..n$

$fk(vx_i)$	$\left \frac{(fk(vx_i) - pl_i) \cdot 100}{pl_i} \right $
420.873	0.012
433.404	0.085
449.664	0.05
470.825	0.07
496.322	0.013
525.767	0.05
558.869	0.055
595.4	0.045

ж)

Продовження рисунку 3.12. ж –аналіз відносних похибок між дискретними даними та теоретично визначеними параметрами.

В такий спосіб ми встановили, що для профільної труби згідно стандарту ДСТУ 8940:2019 з січенням 40x40x3 величину площі поперечного перерізу в залежності від величини зміщення по одній із сторін можна описати рівнянням:

$$Pl(x) = 0.65 \cdot x^{1.584} - 1.24 \cdot x + 420.873.$$

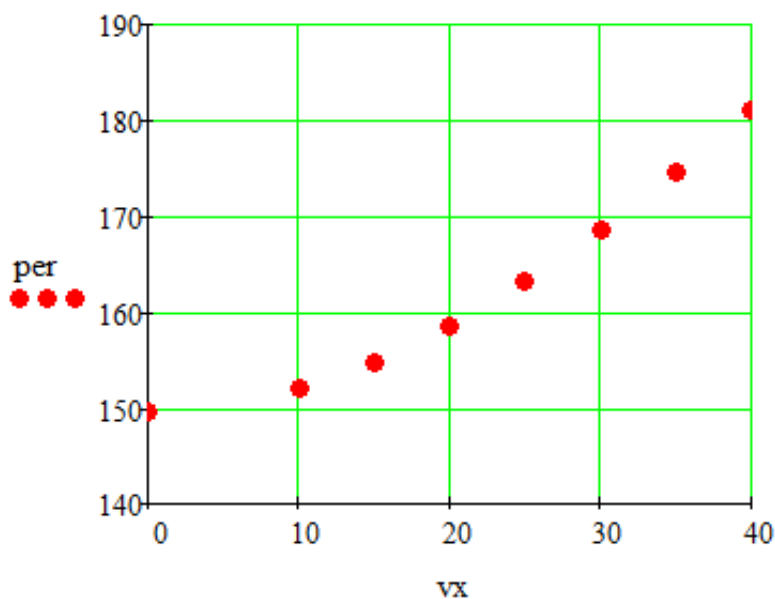
Після розрахунку значень досліджуваного параметра за запропонованою залежністю було проведено порівняння площ зрізуваного шару із фактичними показниками (див. табл.3.4)

Таблиця 3.6. Порівняльні дані площ поперечного перерізу при прямому і косому різіах

Зміщення, мм	0	10	15	20	25	30	35	40
Площі:								
Фактичні, мм ²	420.823	433.774	449.439	470.494	496.255	526.029	559.176	595.134
Розраховані, мм ²	420.873	433.404	449.664	470.825	496.322	525.767	558.869	595.4
Похибка, %	0.012	0.085	0.05	0.07	0.013	0.05	0.055	0.045

Слід зазначити що отримані результати також можна оцінити за середньо-квадратичним відхиленням, яке становить $E = 0,105 \text{ мм}^2$ і є найменшим серед показників, які були розраховані при реалізації інших алгоритмів.

За вище поданим алгоритмом було проведено аналіз характеру зміни зовнішнього периметру різіа. Вхідні дані для розрахунку подані на рис. 3.12 а, б.



а)

Рисунок 3.13. Дослідження закономірностей зміни зовнішнього периметру оброблюваного профілю від величини зміщення при кутовому різіах: а – графік

дискретних периметрів від величини зміщення при кутовому різі.

$$FF(x, k) := \begin{pmatrix} k_1 \cdot x^{k_2} + k_3 \cdot x + k_4 \\ x^{k_2} \\ k_1 \cdot x^{k_2} \cdot \ln(x) \\ x \\ 1 \end{pmatrix} \quad s1 := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad Koef := \text{genfit}(vx, per, s1, FF)$$

$$Koef = \begin{pmatrix} 0.105 \\ 1.608 \\ -0.201 \\ 149.708 \end{pmatrix}$$

б)

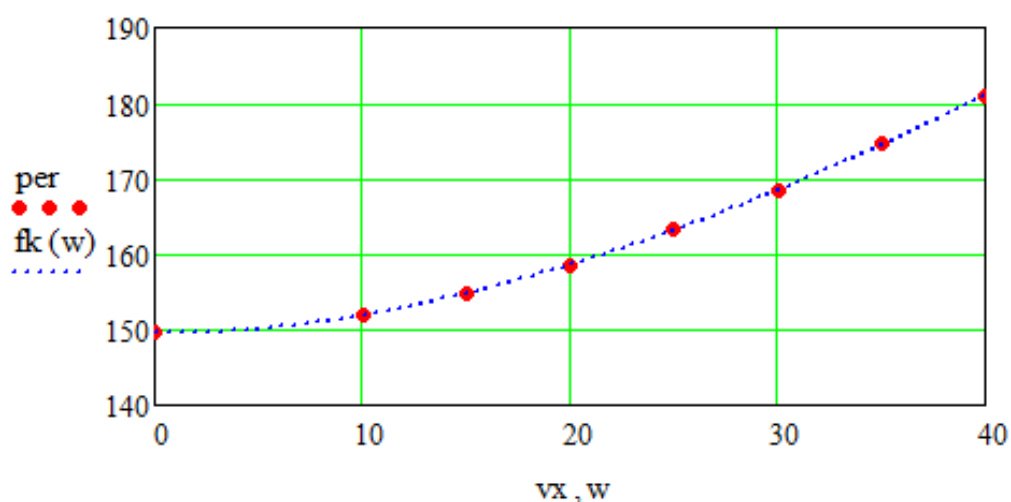
Продовження рисунку 3.13. б – реалізація алгоритму не лінійної регресії загального виду.

$$w := vx_1, vx_1 + 0.02 .. vx_n \quad fk(w) := FF(w, Koef)_1$$

$$E := \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (per_i - fk(vx_i))^2}}{n-1} \quad E = 0.018$$

в)

Продовження рисунку 3.12. в – оцінка точності (адекватності) запропонованої математичної моделі.



г)

Продовження рисунку 3.12. г –аналіз взаємного розміщення дискретних даних та теоретичної кривої в координатному просторі.

$$i := 1..n$$

$f_k(vx) =$	149.708	$\left \frac{(f_k(vx_i) - per_i) \cdot 100}{per_i} \right $
	151.942	
	154.837	
	158.621	
	163.197	
	168.498	
	174.473	
	181.083	
	$5.87 \cdot 10^{-3}$	
0.042		
0.025		
0.035		
$7.571 \cdot 10^{-3}$		
0.027		
0.03		
0.025		

д)

Продовження рисунку 3.12. д –аналіз відносних похибок між дискретними даними та теоретично визначеними параметрами.

В такий спосіб ми встановили, що для профільної труби згідно стандарту ДСТУ 8940:2019 з січенням 40x40x3 величину зовнішнього периметру поперечного перерізу в залежності від величини зміщення по одній із сторін можна описати рівнянням:

$$Per(x) = 0.105 \cdot x^{1.608} - 0.201 \cdot x + 149.708.$$

Після розрахунку значень досліджуваного параметра за запропонованою залежністю було проведено порівняння площ зрізаного шару із фактичними показниками (див. табл.3.5)

Таблиця 3.7. Порівняльні дані зовнішнього периметру поперечного перерізу при прямому і косому різіах

Зміщення, мм	0	10	15	20	25	30	35	40
Площі:								
Фактичні, мм	149,699	152,005	154,799	158,565	163,185	168,543	174,526	181,038
Розрахун- кові, мм	149,708	151,942	154,837	158,621	163,197	168,498	174,473	181,083
Похибка, %	0.0059	0.042	0.025	0.035	0.0076	0.027	0.03	0.025

Отримані результати доводять, що використання алгоритму не лінійної регресії загального виду для аналізу дискретної множини даних щодо аналізу площ поперечного січення при косому різі та зовнішнього периметру цього різу дає достатньо точні результати, які можна оцінити за величиною як середньоквадратичного відхилення, так і за величиною відносної похибки. При аналізі площ поперечного січення середньоквадратичне відхилення $E = 0,105 \text{ мм}^2$ і є найменшим серед показників, які були розраховані при реалізації інших алгоритмів. При аналізі зовнішнього периметру поперечного січення середньоквадратичне відхилення $E = 0,018 \text{ мм}$ є найменшим серед показників, які були розраховані при реалізації інших алгоритмів.

3.6. Обговорення та аналіз отриманих результатів

За результатами проведених досліджень нами встановлено, що при певних параметрах режимів різання виникає явище резонансу при котрому можна спостерігати суттєві відхилення від номінальної геометрії прорізної канавки, погіршення якості обробленої поверхні, виникнення додаткових динамічних навантажень, які можуть спричинити викришування зубів та розрив ножовочного полотна.

За результатами виконаних аналітичних досліджень та геометричних побудов встановлено, що при хвильовому варіанті розведення зубів пил на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t = 4 \text{ мм}$ є технологічно стабільним при швидкості різання понад 30 м/хв , тоді як для пил з кроком $t = 6 \text{ мм}$ і $t = 8 \text{ мм}$ ці показники зростають до 42 м/хв і 55 м/хв відповідно. При другому варіанті розведення зубів пил, коли середній зуб не підлягає розведенню, на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t = 4 \text{ мм}$ є технологічно стабільним при швидкості різання понад 40 м/хв , тоді як для пил з кроком $t = 6 \text{ мм}$ і $t = 8 \text{ мм}$ ці показники не мають перевищувати 32 м/хв і 45 м/хв відповідно.

Провівши симуляційне моделювання процесу різання стрічковою пилою і навантаживши один зуб пили приведеним навантаженням [30] у статичних умовах отримано наступні результати:

напруження у зубах стрічкової пилки при прикладанні рівнодіючої сили різання P для кутів $\gamma = 0^\circ \dots 10^\circ$ знаходяться в межах 650 МПа, а зміщення ріжучої кромки при цьому може сягати $\Delta = 0,31$ мм;

при малих подачах: 2,33 мм/хв, 11,4 мм/хв, а також при великих подачах: 53,8 мм/хв, 82,3 мм/хв можемо спостерігати підвищені параметри шорсткості торцевої поверхні. Найкращих параметрів якості (шорсткості) обробленої поверхні можна добитися при середніх показниках подачі 29,8 мм/хв, 53,8 мм/хв;

найкращі показники якості спостерігаємо на етапах врізання та у середній частині профілю при подачі пили 53,8 мм/хв. На етапі виходу пили із оброблюваної деталі якість поверхні суттєво знижується.

При вивченні проблематики кваліфікаційної роботи нами було встановлено, що такий параметр як площа поперечного січення оброблюваного профілю впливає на енергозатрати обладнання, а відповідно і на підбір двигуна приводу головного руху за параметрами потужності та продуктивності. Проведені нами дослідження дозволити отримати математичні залежності для розрахунку площі та зовнішнього периметру:

для профільної труби згідно стандарту ДСТУ 8940:2019 з січенням 40x40x3 величину площі поперечного перерізу в залежності від величини зміщення по одній із сторін можна описати рівнянням:

$$Pl(x) = 0.65 \cdot x^{1.584} - 1.24 \cdot x + 420.873;$$

для профільної труби згідно стандарту ДСТУ 8940:2019 з січенням 40x40x3 величину зовнішнього периметру поперечного перерізу в залежності від величини зміщення по одній із сторін можна описати рівнянням:

$$Per(x) = 0.105 \cdot x^{1.608} - 0.201 \cdot x + 149.708.$$

Окремі результати кваліфікаційної роботи оприлюднені [24] (додаток А)
під час роботи Міжнародної студентської науково - технічної конференції.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1.1. Типова інструкція для обслуговуючого персоналу на випадок виникнення аварії, пожежі

1. При роботі на деревообробних верстатах ситуації, які можуть привести до аварії і нещасних випадків, являються наслідком: ураження електричним струмом, вильоту заготовок та їх осколків, вильоту інструменту, відсутності захисних огорожень.

2. У разі виникнення аварійної ситуації треба негайно відключити верстат від електромережі, загородити небезпечну зону, не допускати в неї сторонніх осіб.

3. Повідомити про те, що сталося, керівника робіт.

4. Якщо є потерпілі, необхідно надавати їм першу медичну допомогу; при необхідності, викликати швидку медичну допомогу.

5. Надання першої медичної допомоги:

5.1. Надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом:

У разі ураження електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а при неможливості відключення – відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

У разі відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані необхідно негайно приступити до оживлення потерпілого і викликати швидку медичну допомогу.

5.2. Перша допомога при пораненні:

Для надання першої допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти стерильний перев'язочний матеріал, що міститься у ньому, на рану і зав'язати її бинтом. Якщо індивідуального пакету якимсь чином не буде, то

для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку і т. ін. На те місце ганчірки, що приходить безпосередньо на рану, бажано накапати декілька крапель настойки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після нього накласти ганчірку на рану. Особливо важливо застосовувати настойку йоду зазначеним чином при забруднених ранах.

5.3. Перша допомога при переломах, вивихах, ударах:

При переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластикою, палицею, картоном або іншим подібним предметом.

Пошкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба. При переломі черепа (несвідомий стан після удару голови, кровотеча з вух або роту) необхідно прикласти до голови холодний предмет (грілку з льодом або снігом, чи холодною водою) або зробити холодну примочку.

При підозрінні перелому хребта необхідно потерпілого покласти на дошку, не підіймаючи його, чи повернути потерпілого на живіт обличчям униз, наглядаючи при цьому, щоб тулуб не перегинався, з метою уникнення ушкодження спинного мозку.

При переломі ребер, ознакою якого є біль при диханні, кашлю, чханні, рухах, необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

5.4. Надання першої допомоги при теплових опіках:

При опіках вогнем, парою, гарячими предметами ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються, та обв'язувати опіки бинтом.

При опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом.

При опіках другого ступеня (пухирі) обпечене місце обробляють спиртом, 3%-ним марганцевим розчином або 5%-ним розчином таніну.

При опіках третього ступеня (зруйнування шкіряної тканини) накривають рану стерильною пов'язкою та викликають лікаря.

5.5. Перша допомога при кровотечі:

Для того, щоб зупинити кровотечу, необхідно:

- підняти поранену кінцівку вгору;
 - кровоточиву рану закрити перев'язочним матеріалом (із пакета), складеним у клубочок, придавити 2 зверху, не торкаючись самої рани, потримати на протязі 4-5 хвилин; якщо кровотеча зупинилася, то не знімаючи накладеного матеріалу, поверх нього покласти ще одну подушечку з іншого пакета чи кусок вати і забинтувати поранене місце (з деяким натиском);
 - при сильній кровотечі, яку не можна зупинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровоносних судин, які живлять поранену область, за допомогою згинання кінцівок в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою; при великій кровотечі необхідно терміново викликати лікаря.
6. У разі виникнення пожежі викликати пожежну частину та приступити до гасіння її наявними засобами пожежогасіння.
7. Виконувати всі вказівки керівника робіт по ліквідації небезпеки.

4.2. БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.2.1. Оцінка стійкості роботи промислового підприємства до впливу вражаючих факторів

Стійкість роботи об'єкта - це здатність в умовах військового часу виготовляти продукцію в запланованому об'ємі і номенклатурі, а при одержанні слабких і частково середніх руйнувань відновлювати своє виробництво в мінімальні терміни. Ціль оцінки стійкості об'єкта полягає у виявленні слабких його елементів, щоб у подальшому провести інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості об'єкта в цілому [32].

Оцінка стійкості роботи об'єкта - це всебічне вивчення підприємства з погляду спроможності його протистояти впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, продовжувати роботу і відновлювати виробництво при одержанні слабких руйнувань.

Промислові підприємства відрізняються одне від одного як по конструктивному рішенню, так і по технологічному процесі. Відмінності об'єктів полягають в будинках і спорудах, устаткуванні і технології виробництва, комунально-енергетичних мережах і території, на якій розташований об'єкт. Тому в усіх випадках оцінка стійкості кожного об'єкта має свої особливості і вимагає конкретного підходу до рішення цього питання. У даному випадку розглянемо загальні для всіх об'єктів питання оцінки їх стійкості до впливу вражаючих факторів зброї масового знищення.

Оцінка стійкості роботи об'єкта починається з вивчення району розташування. Об'єкт може знаходитися в місті, за межею його проектної забудови і на деякій віддалі від міста. Досліджується територія району, його структура, щільність і тип забудови, сусідні об'єкти і можливість виникнення на них вторинних чинників поразки. На об'єкті визначаються щільність забудови, розміщення основних будинків і споруджень, що впливають на характер руйнування, можливе утворення завалів і виникнення пожеж. Особлива увага приділяється ділянкам, де можливе виникнення небезпечних вторинних чинників ушкоджень. Беруться на облік усі будинки і споруди, робиться оцінка їх статичної стійкості. Вивчають кожен цех і його окремі елементи як по конструктивному рішенню, так і за матеріалами, що були використані в будівництві. Розглядаються умови розміщення внутрішнього технологічного устаткування і визначаються види руйнувань і ушкоджень, що можуть мати місце при ядерному вибуху і заваленні огорожувальних конструкцій цехів. Особливо важливо визначити захист цінного й унікального устаткування, насиченість виробництва автоматикою і можливість продовження виробництва у випадку виходу з ладу контрольно-вимірювальної апаратури. Обстежуються комунально-енергетичні системи об'єкта і робиться оцінка стійкості споруджень і ліній, тобто визначаються параметри вражаючих факторів, при яких комунально-енергетичні мережі одержать ті або інші руйнування. Визначається забезпеченість працюючих захисними спорудженнями: встановлюється кількість сховищ, укриттів і оцінюються їхні захисні властивості. Вивчається система керування,

зв'язку й оповіщення на основі вивчення стану захищених пунктів керування, вузлів і ліній зв'язку. Аналізується система матеріально-технічного постачання і виробничих зв'язків. Встановлюється об'єм запасів і можливих термінів продовження роботи без постачань; визначається відповідність їхньої кількості і номенклатури вимогам, запропонованим до виробництва у військовий час. Оцінюється стійкість складів сировини, комплектуючих виробів, готової продукції й інших матеріалів, а також сховища паливних матеріалів. Досліджується підготовка об'єкту до відновлення виробництва у випадку одержання слабких або середніх руйнувань. Аналіз виробничої діяльності об'єкта дозволяє виявити слабкі елементи, ділянки і підготувати план підвищення стійкості їх роботи і план відновлювальних робіт, забезпечити їх будівельно-монтажною і проектною документацією.

4.2.2. Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу ударної хвилі

Критерієм для визначення стійкості промислового підприємства до впливу ударної хвилі ядерного вибуху є розмір надлишкового тиску, при якому будинки і спорудження об'єкта збережуться або одержать слабкі і середні руйнування.

При оцінці стійкості об'єкта необхідно виявити найбільш уразливі елементи і ділянки, від яких залежить робота всього підприємства. Після оцінки окремих споруджень оцінюється об'єкт у цілому. При цьому стійкість об'єкта визначається по тій будівлі або спорудженню, що руйнується при найменшому надлишковому тиску. Після оцінки стійкості об'єкта намічаються заходи, що необхідно провести для підвищення стійкості об'єкта до впливу ударної хвилі ядерного вибуху. Для цього визначають доцільні межі підвищення стійкості кожної споруди [32].

4.2.3. Оцінка стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання

Критерієм стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання є світловий імпульс, при якому відбувається загоряння тих або інших будівель і споруджень і виникнення пожеж. При оцінці стійкості враховуються якість

будівельних матеріалів, характеристика будівель і споруджень, особливості виробництва.

Виникнення пожеж у першу чергу залежить від того, які будівельні матеріали використані при зведенні будівель і споруджень об'єкта. Всі будівельні матеріали по загоранню поділяють на три групи: незаймисті, важкозаймисті і займисті.

Незаймисті - це такі матеріали, що під впливом вогню або високої температури не займаються, не жевріють і не обуглюються. До них відносяться всі природні і штучні неорганічні матеріали, а також застосовувані в будівництві метали.

Важкозаймисті - це такі матеріали, що під впливом вогню або високої температури важко займаються, жевріють або обуглюються і продовжують горіти або жевріти тільки при наявності джерела вогню, а при його відсутності горіння або тління припиняється. До таких матеріалів відносяться матеріали в склад яких входять негорючі і горючі складові, наприклад асфальтовий бетон, гіпсові і бетонні деталі з органічними заповнювачами; глино-солом'яні матеріали при щільності не менше 900 кг/м³; цементний фіброліт; войлок, вимочений у глиняному розчині, і ін.

Займисті - це такі матеріали, що під впливом вогню або високої температури займаються або жевріють і продовжують горіти або жевріти після видалення джерела вогню. До таких матеріалів відносяться всі органічні матеріали не піддані глибокому проникненню антипиренів.

По пожежній небезпеці всі об'єкти поділяють на п'ять категорій: А, Б, В, Г і Д.

До підприємств категорії А відносяться нафтопереробні заводи, хімічні підприємства, склади бензину, цехи обробки і застосування металевого натрію, калію й ін.

До підприємств категорії Б відносяться цехи приготування і транспортування вугільної пилюки і деревної муки, промивочно-пропарювальні станції цистерн і іншої тари від мазуту й інших рідин з температурою спалаху пар

28...120 °C; цехи обробки синтетичного каучуку, цехи виготовлення цукрової пудри і склади кіноплівки.

До підприємств категорії В відносяться лісопильні, деревообробні, столярні, модельні і лісо-тарні цехи; відкриті склади олії, малярне господарство електростанцій; цехи текстильного виробництва.

До підприємств категорії Г відносяться металургійні виробництва, підприємства гарячої обробки металу, термічні й інші цехи, а також котельні.

До підприємств категорії Д відносяться підприємства по холодній обробці металів і інші, зв'язані з збереженням і переробкою негорючих матеріалів.

Таким чином, при оцінці стійкості об'єкта до впливу світлового випромінювання уважно вивчаються всі будівлі, спорудження і виробничі пристрої, розташовані на території підприємства; визначаються місця можливого загоряння, а також аналізуються наслідки, що можуть виникнути від пожежі з врахуванням характеру виробництва і забудов навколо об'єкту. Після оцінки вогнестійкості будівель, споруджень і вивчення характеру технологічного процесу робляться висновки про стійкість до впливу світлового випромінювання об'єкта в цілому. На підставі проведеної оцінки виробляються заходи щодо підвищення вогнестійкості об'єкта.

4.2.4. Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження

Робота об'єкта в першу чергу залежить від стану людей, і при ураженні радіацією робітників та службовців підприємство працювати не може. Критерієм оцінки стійкості роботи об'єкта є доза радіації, що можуть одержати робітники та службовці, що опинилися в зоні зараження. Оцінка стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації включає визначення коефіцієнтів захисту (коефіцієнтів послаблення радіації) для будівель, споруджень, сховищ і укриттів. При оцінці стійкості роботи об'єкта до впливу радіоактивного зараження визначається також можливість герметизації виробничих приміщень з метою зменшення проникнення в них радіоактивної пилі. Крім того, при оцінці стійкості

до впливу радіації визначається наявність матеріалів, приборів і апаратури, чутливих до дії радіації.

На підставі оцінки стійкості роботи об'єкта до впливу радіоактивного зараження визначаються режими роботи об'єкта в різних умовах радіоактивного зараження.

4.2.5. Оцінка стійкості об'єкта до впливу вторинних вражаючих факторів

До вторинних вражаючих факторів відносяться аварії, пожежі, вибухи, затоплення, зараження атмосфери і місцевості, а також завалення ушкоджених конструкцій. Масштаби вражаючої дії від вторинних вражаючих факторів в окремих випадках можуть перевершувати безпосередню вражаючу дію ядерного вибуху. Причинами виникнення вторинних вражаючих факторів є руйнування, викликані ядерним вибухом на об'єкті або на сусідніх із ним об'єктах, що виявилися в зоні безпосередньої дії ядерного вибуху, тобто внутрішні і зовнішні джерела.

При оцінці стійкості об'єкта до впливу вторинних вражаючих факторів ядерного вибуху визначаються різні джерела їхнього виникнення. У першу чергу виявляються внутрішні джерела, наявні на самому підприємстві. Це можуть бути резервуари і ємкості з легкозаймистою рідиною і газами, склади вибухових речовин, вибухонебезпечні технологічні установки і комунікації, руйнування яких викликає пожежі, вибухи або загазованість, легкозаймісті будівлі і спорудження. Зовнішніми джерелами вторинних вражаючих факторів можуть бути близько розташовані хімічні і нафтопереробні заводи, нафтові і газові промисли, холодильники, гідровузли, склади нафтопродуктів і інших паливних рідин й інші об'єкти. Одночасно з врахуванням усіх можливих джерел вторинних вражаючих факторів визначається характер їхнього впливу на даний об'єкт і встановлюється, який вид ушкоджень і руйнувань очікується, а також час і тривалість їхньої дії.

Загальні висновки

При виконанні кваліфікаційної роботи проведено аналітичний огляд практичних та теоретичних досліджень стосовно технологічного процесу порізки деталей на стрічкопилних верстатах, проведено інформаційно-патентне дослідження, здійснено 3D моделювання оброблюваного профілю та розроблено математичні моделі для автоматизованого розрахунку площ та зовнішнього периметру оброблюваної деталі. У відповідності до поставлених завдань нами сформульовані наступні висновки:

1 – досліджено та встановлено закономірності у взаємозв'язках між параметрами процесу різання при використанні стрічкових пил.

Процес обробки біметалевими стрічковими пилами можна розглядати як вільне різання, де кожен зуб має одну головну ріжучу кромку з мінімальним кутом λ . Величини переднього кута та тип розведення впливають на умови роботи зубів стрічкового полотна.

Розрахункові формули для визначення величин напруженого стану від факторів, які впливають на полотно пили у процесі роботи подають у наступному вигляді:

$$\sigma_H = \frac{F_H}{S}; \sigma_{и} = \frac{b \cdot E}{D}; \sigma_{ц} = 0.01 \cdot v^2 \frac{\gamma}{g}; \sigma_p = \frac{P_d \cdot z}{S}; \sigma_T = E \cdot \alpha_T \cdot (t_{п} - t_c); \tau_k = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}$$

2 – вивчено розподіл навантажень по профілю зуба пили у процесі різання;

Внаслідок складних деформаційних та теплових навантажень спостерігають різні причини виходу пили з ладу: зношування та руйнування зубів пили, зношування або зминання спинки пили, розрив полотна, тріщини в міжзубних канавках, тріщини між полотном основи і матеріалом різальної частини та ін

Напруження у зубах стрічкової пилки при прикладанні рівнодіючої сили різання P для кутів $\gamma = 0^\circ \dots 10^\circ$ знаходяться в межах 650 МПа, а зміщення ріжучої кромки при цьому може сягати $\Delta = 0,31$ мм;

3 – проведено аналіз результатів розрахунку полотна пили на міцність та довговічність;

Використана методика розрахунку дозволяє визначати та встановлювати зусилля натягу на полотно пили з врахуванням допустимих напружень для широкою номенклатури типорозмірів пил. Такий розрахунок з великою ступінню точності дозволяє спрогнозувати параметри стійкості пили ще в умовах виробництва.

4 – проведено конструктивний розрахунок елементів приводу головного руху стрічкопильного верстата;

На основі проведеного аналізу нами встановлено, що максимальне навантаження валу знаходиться в його перерізі під підшипником поруч із стрічкопривідним колесом. Там діє згинальний момент, який виникає під дією сили натягу стрічкової пилки. Для зменшення вигину привідного вала пропонується схема, за якої деформації згину будуть приймається тілом підшипника або самим корпусом верстата. Найбільш раціонально підшипники закріплювати в несучій частині верстата.

5 – досліджено критерії втрати стійкості полотна стрічкової пили;

За результатами виконаних аналітичних досліджень та геометричних побудов встановлено, що при хвильовому варіанті розведення зубів пил на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t = 4$ мм є технологічно стабільним при швидкості різання понад 30 м/хв, тоді як для пил з кроком $t = 6$ мм і $t = 8$ мм ці показники зростають до 42 м/хв і 55 м/хв відповідно. При другому варіанті розведення зубів пил, коли середній зуб не підлягає розведенню, на верстаті моделі КСА 8532 використання пили з кроком $t = 4$ мм є технологічно стабільним при швидкості різання понад 40 м/хв, то ді як для пил з кроком $t = 6$ мм і $t = 8$ мм ці показники не мають перевищувати 32 м/хв і 45 м/хв відповідно.

6 – проведено 3D моделювання профілю оброблюваної деталі та визначити параметри його поперечного січення при кутовому зміщенні полотна для порізу;

7 – сформувано математичні моделі для аналітичного розрахунку параметрів: площа та периметр поперечного січення профільної конструкції при косому різі.

$$Pl(x) = 0.65 \cdot x^{1.584} - 1.24 \cdot x + 420.873;$$

$$Per(x) = 0.105 \cdot x^{1.608} - 0.201 \cdot x + 149.708.$$

Перелік посилань

1. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів / П. Д. Кривий, В. В. Крупа, В. І. Продан // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 147-156. .
2. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В.Р., Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Каровська О.М. / Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня — 02 листопада 2018 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ: ДДМА, 2018. — С. 78-79
3. Кобельник В. Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.
4. Струтинський В.Б., Мельничук П.П. Математичне моделювання металорізальних верстатів: монографія. Житомир, 2002. 570 с.
5. Деревообробні верстати загального призначення: підручник / В. В. Шостак, Я. І. Савчук, А.С. Григор'єв та ін. Київ: Знання, 2007. 279 с.
6. Кірик, М. Д. Різання деревини та деревних матеріалів: навч. посібник. Львів: Український держ. лісотехнічний ун-т., 2000, 218 с.
7. Математичні моделі регулярних мікрорельєфів на робочих евольвентних поверхнях циліндричних прямозубих коліс / П. Д. Кривий, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко, А. І. Гураль // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 100–101. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).

8. Азарсков, В.Н., Блохин, Л.Н., Житецкий, Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: монографія. Київ: Книжное изд-во НАУ, 2006. 400 с.

9. Осадчий С.І. Методологія та етапи забезпечення максимальної якості процесу керування обробкою деревини на стрічкопилковому верстаті./ Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту. 2015. Вип. 28. С. 301-309.

10. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю., Білак Н.В. Статистична динаміка систем управління: підручник. Київ: НАУ, 2014. 300 с.

11. Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю.М. Кузнецов, Р.А. Скляр; під ред. Ю.М. Кузнецова. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

12. Анельчик, Д.Є. Система різання: фізичні основи і оптимізація /Д.Є. Анельчик, С.В. Швець, І.В. Луців, І.Д. Дубецький. Під ред. І.В. Луціва. – Одеса-Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2000. – 145с.

13. Скляр Р.А., Шанайда В.В., Редько Р.Г., Четвержук Т.І. Порівняльно-правовий аналіз законодавства у сфері захисту програмних продуктів у Франції, Німеччині та Україні. Наукові записки. Серія: Право. 2023. Випуск 14. Кропивницький, 2023. С. 27 - 39.

DOI: 10.36550/2522-9230-2023-14-27-39

14. Редько Р.Г., Скляр Р.А., Шанайда В.В. Порівняльно-правовий аналіз законодавства в області інтелектуальної власності в країнах ЄС та Україні. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки». Луцьк, 2023, №75. С. 9 - 14.

DOI 10.36910/775.24153966.2023.75.1

https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky/issue/archive

15. <https://pravo.cuspu.edu.ua/index.php/pravo/article/view/250/252>Стогнієнко Олександр Васильович. СТРИЧКОВА ПИЛА: патент № 81004 (на корисну

модель). МПК *B27B 33/00* (2013.01), Україна, заявл. 15.04.2013 р., опубл. 10.06.2013р., Бюл. № 11.

16. Стогнієнко Олександр Васильович. СТРИЧКОВА ПИЛА: патент № 93442 (на корисну модель). МПК *B27B 33/00* (2013.01), Україна, заявл. 16.07.2014 р., опубл. 25.09.2014 р., Бюл. № 18.

17. ПРИВАТНЕ ПІДПРИЄМСТВО "КОРОНЕТ УКРАЇНА". СТРИЧКОВА ПИЛА: патент № 102314 (на корисну модель). МПК *B27B 33/06* (2006.01), Україна, заявл. 22.04.2015 р., опубл. 26.10.2015 р., Бюл. № 20.

18. MARK DIENER. FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO: PT 1517763 E. CI *B23D 53/04* (2007.10), PT, Prioridade(s) 2002.07.03 DE 10229999, Data e BPI da concessão: 2007.11.14. (019/2008).

19. Березюк І.А., Голик О.П., Солдатенко В.П. Динамічне проектування оптимальної системи стохастичної стабілізації потужності різання для стрічкопилкового верстата /Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2020, вип. 3(34). - с. 169-174.

20. Ребезнюк І.Т. Розвиток наукових основ розпилювання деревини на стрічкопилкових верстатах : дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт / Ребезнюк Ігор Тарасович. – Львів, 2009. – 375 с.

21. Дзюба Л.Ф. Основи надійності машин. / Л.Ф. Дзюба, Ю.В. Зима, Є.М. Лютий. – Львів : Вид-во "Логос", 2002. – 203 с.

22. Ребезнюк І.Т. Підготовки вузьких колодопиляльних стрічкових пилок до роботи : монографія / Ігор Тарасович Ребезнюк. – Львів : Вид-во "Кольорове небо", 2005. – 260 с.

23. Кірик М.Д. Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів : підручник [для студ. ВНЗ] / М.Д. Кірик. – Львів : Вид-во "Кольорове небо", 2006. – 412 с.

24. Пилип'як А.Б. Напрямки підвищення працездатності вузьких пилок стрічкопилкових верстатів / А. Б. Пилип'як, Л. Ф. Дзюба, І. Т. Ребезнюк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.2. С. 89-93.

25. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
26. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатofункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.
27. Скляр Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Скляр Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. – 2011. – Том 16. – № 1. – С.117-125.
28. Vitenko T. Features of creating a solid models and assembly operations at CAD-systems / Vitenko T., Shanaida V., Droździel P., Madlenak R. // 9th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017: IATED Academy, 2017. – P. 7464-7469. - Режимдоступу: <https://library.iated.org/view/VITENKO2017FEA>
29. Ковбашин В.І. Вивчення курсу "Інженерна графіка та САД системи" в режимі веб-конференції в системі ATutor / В.І. Ковбашин, О.П. Захарчук, А.І. Пік // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць МДПУ ім. Б. Хмельницького, Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2021. - Вип. 21, С. 164-170. ISSN 2313-125X.\
30. Луців І.В. Комп'ютерне моделювання складових самоналагоджувального комплексного оснащення для токарної обробки / І.В. Луців, В.Н. Волошин, В.М.Буховець // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2012. - Випуск 746. - С. 28-31
31. Луб'янський О. Розробка математичної моделі для визначення площі січення трубного профілю при косому різі / Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції /Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023.- 348 с. С. 234-235.
32. Губський А.І. Цивільна оборона./ Губський А.І. -К.: Міністерство освіти, 1995. - 216 с.