

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Проектування технологічного обладнання для обробки
кромки тонкостінних циліндричних деталей великих
діаметрів»**
**«Design of technological equipment for processing the edges of thin-walled
cylindrical parts with large diameters»**

Виконав здобувач вищої освіти 2-го року
магістратури групи ПМ-24М-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Сергій АНАНІЧЕВ

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Олександр ЛИСЕНКО

Рецензент: к.т.н., доцент
_____ Олег БЕВЗ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММіР
Андрій ГРЕЧКА

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Сергій АНАНІЧЕВ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проектування технологічного обладнання для обробки кромки тонкостінних циліндричних деталей великих діаметрів»
«Design of technological equipment for processing the edges of thin-walled cylindrical parts with large diameters»

2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр ЛИСЕНКО

3. Строк подання роботи до захисту 10 грудня 2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:

Мета роботи полягає в забезпеченні операції обрізання кромки на заготовці типу тонкостінна труба шляхом модернізації спеціалізованого кромкообрізного верстата розрахунком його затискного пристосування та приводів

Завдання:

- Провести аналіз існуючого верстатного обладнання призначеного для операції відрізання;
- На основі проведеного аналізу обрати верстат;
- Визначити напрями модернізації обраного верстату для забезпечення обробки тонкостінної деталі типу труби;
- Провести розрахунок основних вузлів модернізованого кромкообрізного верстата;
- Виконати розрахунок техніко-економічного обґрунтування використання проекту кромкообрізного верстату.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Дослідно-конструкторський	Олександр ЛИСЕНКО		
Організаційно-економічний	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	Вересень-жовтень 2025	
2.	Вступ	Вересень-жовтень 2025	
3.	Мета та задачі роботи	Вересень-жовтень 2025	
4.	Методика роботи	Жовтень-листопад 2025	
5.	Теоретична робота	Жовтень-листопад 2025	
6.	Визначення економічної ефективності	Листопад-грудень 2025	
7.	Висновки	Грудень 2025	
8.	Оформлення роботи	Грудень 2025	
9.	Підготовка презентації роботи	Грудень 2025	
10.	Перевірка роботи на антиплагіат	Грудень 2025	

Дата видачі завдання «28» серпня 2025 р.

Керівник роботи _____ Олександр ЛИСЕНКО
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «28» серпня 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Сергій АНАНІЧЕВ
(підпис)

Анотація

АНАНІЧЕВ Сергій. Проектування технологічного обладнання для обробки кромки тонкостінних циліндричних деталей великих діаметрів. Випускна кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2025. – 88 с. Матеріали презентації 9 іл.

Актуальність.

У роботі розглянуто процес проектування технологічного обладнання для обробки кромки тонкостінних циліндричних деталей великих діаметрів. Об'єктом дослідження є тонкостінна труба, для якої під час виконання операції обрізання кромки виникає проблема деформації заготовки під дією сил затиску та сил різання.

На основі аналізу існуючого обладнання визначено вимоги до конструкції спеціального кромкообрізного верстата, здатного забезпечити високу точність, бездеформаційну обробку та відсутність заусенців на обробленій кромці. Запропоновано конструкцію верстата напівавтоматичної дії з удосконаленим пневматичним затискним пристроєм, спеціальним вузлом обрізки та раціональною кінематичною схемою приводу. Проведено технічне обґрунтування роботи основних вузлів, визначено напрями модернізації існуючих рішень і сформовано рекомендації щодо підвищення якості та надійності обробки тонкостінних труб.

Практичне значення.

Практична цінність отриманих у магістерській роботі результатів полягає у створенні та технічному обґрунтуванні конструкції спеціального кромкообрізного верстата, призначеного для обробки кромки тонкостінних циліндричних деталей великих діаметрів, який забезпечує високу якість обробки при мінімальних деформаціях заготовки.

Ключові слова: кромкообрізний верстат, тонкостінна труба, обробка кромки, деформація заготовки.

Summary

ANANICHEV Serhii. Design of technological equipment for processing the edges of thin-walled cylindrical parts with large diameters. Graduation thesis for the educational degree "Master": CNTU, 2025. – 88 p. Presentation materials 9 slides.

Relevance.

The thesis addresses the design of technological equipment intended for edge trimming of thin-walled cylindrical components of large diameters. The research object is a thin-walled tube, which is susceptible to deformation during the edge-cutting operation due to clamping forces and cutting loads.

Based on a comprehensive analysis of existing machines, the requirements for a specialized edge-trimming machine capable of ensuring high accuracy, deformation-free processing, and burr-free edge formation were determined. A design of a semi-automatic edge-trimming machine featuring an improved pneumatic clamping device, a specialized cutting unit, and a rational kinematic drive scheme is proposed. The functionality of the main units is technically justified, directions for modernization of existing solutions are identified, and recommendations for enhancing the quality and reliability of thin-walled tube processing are formulated.

Practical meaning.

The practical value of the results obtained in the master's thesis lies in the development and technical justification of the design of a specialized edge-trimming machine intended for processing the edges of thin-walled cylindrical components of large diameters, ensuring high machining quality while minimizing workpiece deformation.

Key words: edge-trimming machine, thin-walled tube, edge machining, workpiece deformation

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ВИРОБНИЦТВА, МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ	10
1.1. Характеристика об'єкта виробництва – деталі типу труба.....	10
1.2. Аналіз існуючих конструкції обрізних верстатів	11
1.3. Особливості конструкції обраного кромкообрізного верстату	23
1.4. Визначення напрямів модернізації кромкообрізного верстату.....	29
1.5. Висновки, мета та задачі роботи	29
2. ДОСЛІДНИЦЬКО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	33
2.1. Розрахунок пристосування для затиску деталі типу труби	33
2.2. Розрахунок клинопасової передачі кромкообрізного верстату.....	37
2.3. Розрахунок редуктора кромкообрізного верстату	41
2.3.1. Визначення частот обертання.....	41
2.3.2. Визначення діаметрів колеса і шестірні	44
2.3.3. Розрахунок значення модуля	46
2.3.4 Витривалість зубчастих коліс на контактах робочих поверхонь.....	49
2.3.5 Розрахунок на витривалість зубів при вигині.....	53
2.3.6. Розрахунок розмірів зубчастої передачі	57
2.3.7 Розрахунок підшипників редуктора на витривалість.....	59
2.3.8. Розрахунок шпонкового з'єднання	62
3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ВЕРСТАТА ДЛЯ ОБРОБКИ КРОМОК ТОНКОСТІННИХ ВТУЛОК.....	64
3.1. Загальні вихідні дані	64
3.2. Конструкторська підготовка виробництва	65
3.3. Технологічна підготовка виробництва	67
3.4. Визначення витрат на модернізацію верстата	69

3.5. Розрахунок собівартості та оптової ціни модернізованого верстата....	74
3.6. Визначення експлуатаційних витрат в розрахунку на одиницю продукції	74
3.7. Розрахунок показників економічної ефективності.....	79
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	84

ВСТУП

Забезпечити розвиток машинобудівної галузі України не можливо без оновлення та серйозної модернізації верстатного парку. Підприємства, керівництво яких цього не розуміють приречені на програш конкурентної боротьби за споживчі ринки в умовах ринкової економіки та занепад.

Як свідчить досвід оновлення та модернізація верстатного парку машинобудівними підприємствами здійснюється трьома шляхами:

- перший – самий низьковитратний – пошук та придбання не нових верстатів в робочому стані;
- другий – придбання або капітальний ремонт наявного верстата з модернізацією сучасною системою ЧПУ та приводів;
- третій самий витратний, але й самий ефективний – придбання нових сучасних обробних центрів провідних світових виробників верстатного обладнання.

В умовах сучасної ринкової економіки провідною вимогою до промислового виробництва стає економічна ефективність, адже забезпечення конкурентоспроможності продукції можливе лише за умови максимально ефективного користування будь-якими ресурсами. Щоб забезпечити таку ефективність підприємству необхідно зменшувати виробничі витрати, знижувати матеріаломісткість і трудомісткість технологічних процесів, підвищувати результативність використання фінансових коштів та скорочувати строки окупності інвестиційних вкладень.

Водночас реалізація зазначених заходів не повинна негативно позначатися на якості продукції. Навпаки, вимоги ринку зумовлюють необхідність системного підвищення якісних характеристик виробів, розширення їх номенклатури та асортименту при одночасному зменшенні собівартості. Додатковим аспектом сучасних виробничих викликів є потреба у скороченні циклів оновлення продукції, збільшенні її конструктивної складності, забезпеченні стабільності експлуатаційних параметрів машин та підвищенні їх надійності.

Існує цілий ряд технологічних завдань на виробництві, для виконання яких, враховуючи вимоги по собівартості та якості, не доцільно закуповувати або використовувати новітні обробні центри з ЧПУ, т.б. йти третім шляхом. Цілком достаньмо провести модернізацію існуючого (другий шлях), або придбати необхідне обладнання з наступною модернізацією під вимоги необхідної технологічної операції, оскільки вартість такого рішення значно менше.

До таких технічних завдань відноситься технологічна операція обрізання кромки на деталі, що представляє собою тонкостінну трубу.

Однак з огляду на те, що наявні конструктивні рішення кромкообрізних верстатів, орієнтовані на обробку типових зразків продукції сучасного машинобудівного виробництва, у недостатній мірі узгоджуються з актуальними вимогами сучасного виробництва. Тому є актуальним питання розробки сучасної конструкції спеціального верстата, що дозволяє з великою продуктивністю і якістю робити обрізання кромки на деталях типу тіл обертання.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ВИРОБНИЦТВА, МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ

1.1. Характеристика об'єкта виробництва – деталі типу труба

Об'єкт виробництва представляє собою деталь типу тонкостінної труби. В результаті проведення обробки, необхідно виконання технологічної операції обрізання кромки.

Обрізання кромки в тонкостінній трубі з габаритними розмірами $\varnothing 135,2 \times \varnothing 133,6 \text{H}12 \times 55$ (рис. 1.1) відбувається в напівавтоматичному режимі.

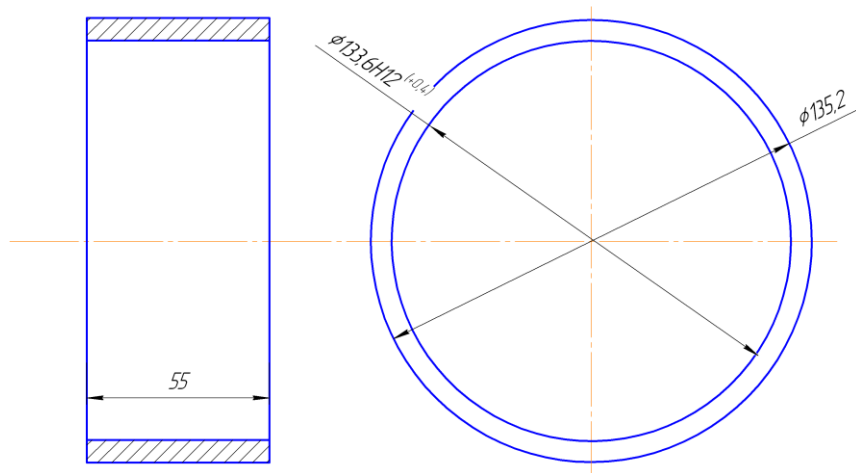


Рис. 1.1. Ескіз оброблюваної заготовки

Матеріалом заготовки є сталь 08КП – конструкційна вуглецева якісна сталь, яка широко використовується у машинобудуванні для виготовлення прокладок, шайб, вилок і труб, а також деталей, що підлягають хіміко-термічній обробці, зокрема втулок, проушин і тяг.

Твердість сталі 08кп каліброваної нагартованої – $\text{HB} = 179$, гарячекатаного відпаленої $\text{HB} = 131$. Технологічні властивості сталі 08кп характеризуються доброю зварюваністю без обмежень, а також відсутністю схильності до опускної крихкості.

Оскільки заготовка є тонкостінною трубою, необхідно запобігти її деформації від сил затиску у затискному пристрою та від вил різання, що

виникають в процесі обробки. Крім того необхідно обрати технологічне обладнання з таким різальним інструментом, що не залишає заусенців після обробки кромки.

1.2. Аналіз існуючих конструкцій обрізних верстатів

Вихідним пунктом будь-якого технологічного процесу, як правило є склад заготовок. Першими від нього (по шляху виготовлення деталей) намагаються розмістити розмічальні плити, ножівкові і відрізні верстати. Потім розміщують інше устаткування за принципом мінімізації шляху переміщення оброблюваних заготовок [1].

Розрізання матеріалу проводять двома різними методами:

- 1) матеріал, що розрізається, нерухомий, різальний інструмент рухається;
- 2) матеріал, що розрізається, обертається, а інструмент має тільки рух подачі.

За першим методом працюють відрізні верстати з круглими пилками, ножівкові верстати, стрічкові пилки, абразивні пилки, електропилки і т.п. За другим – токарно-відрізні верстати й автомати.

Розрізання на токарно-відрізних верстатах і автоматах забезпечує гарну якість поверхонь торців і їх перпендикулярність до осі заготовки. Торці таких заготовок не вимагають додаткової обробки. Другою перевагою цього методу є нескладність інструмента – відрізних різців.

Найбільш розповсюдженими на машинобудівних заводах є відрізні верстати, що працюють круглими циркулярними пилками. Вони мають порівняно високу продуктивність. Різальним інструментом є пильний диск діаметром 660 або 710 мм. Подача пильного диска гідравлічна. Заготовки, що розрізаються, кріпляться призмою індивідуально кожна або по декілька штук. Притиск гідравлічний. До недоліків цих верстатів варто віднести порівняно

велику ширину пропилу (6-6,5 мм) і нерівну поверхню торців після відрізки заготовок [2].

Заготовки діаметром до 30 мм іноді рубають на ексцентрикових пресах, але після рубання на пресі заготовку приходится правити. Застосовуються спеціальні відрізні верстати, на яких заготовки відрізають вулканітовими кругами. Цей метод є найбільш продуктивним для відрізання сталей великої твердості [3].

Різання сортового прокату (швелера, балок двотаврових і ін.) відбувається зазвичай на комбінованих прес-ножицях мод. Н511, Н513, Н514 і ін. Для різання пруткового прокату (коло, квадрат і ін.) застосовують відрізні верстати мод. 8Б55, 8А67, 8А68 і ін. Крім того, для різання симетричного здвоєних двотаврових і швелерних балок застосовують газорізальні машини типу «Смолоскип».

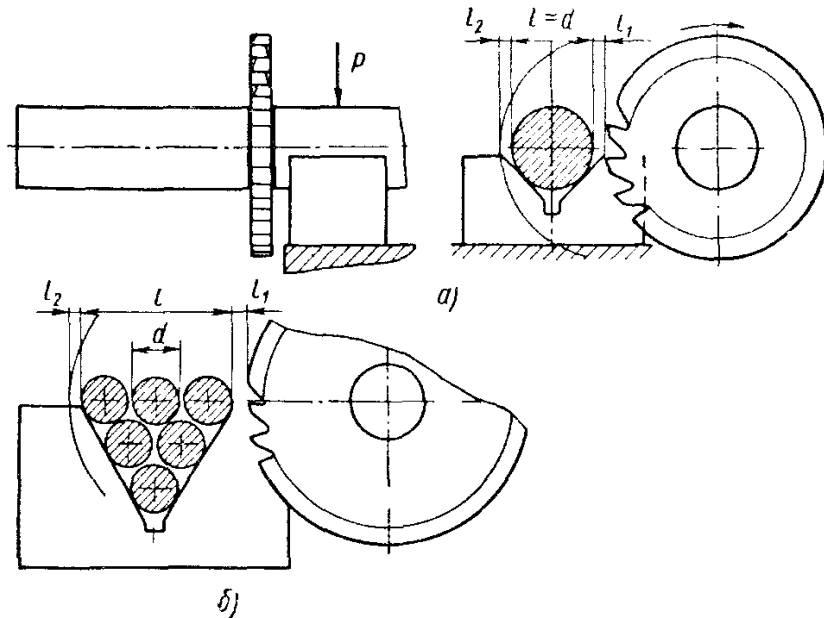
Відоме також закордонне устаткування. у США стосовно до умов дрібносерійного виробництва розроблені і застосовуються гільйотинні ножиці з керуючою обчислювальною машиною; голландською фірмою «Safan» створений «Робот-різьбяр» з числовим програмним управлінням, що здійснює комплексну автоматизацію різання. Аналогічні роботи проводяться в Англії й в інших країнах. На верфі військово-морських сил США в Бремертоні (штат Вашингтон) ефективно використовується розрізання заготовок, що мають вид складних геометричних фігур [4].

Для виконання операції обрізки застосовується широкий спектр інструментів. На механічній ножівці заготовку відрізають ножівковим полотном, якому за допомогою механічного приводу надається зворотно-поступальний рух. Різальні зуби полотна орієнтовані в одному напрямку, у зв'язку з чим притискання полотна до заготовки здійснюється лише під час робочого ходу, тоді як при зворотному ході воно піднімається за допомогою гідравлічного механізму. У порівнянні з іншими відрізними верстатами ножівки мають низьку продуктивність. Перевагою ножівки є те, що суттєво менше ширина пропила, чим при відрізання дисковими пилами, а значить менша втрата матеріалу [5].

Пилки для розрізання матеріалів можуть бути стрічкові і дискові. На дискових пилках можлива різка холодного і нагрітого до температури 500-700 градусів металу. Крім звичайних зубчастих пилок, застосовуються дискові пилки без зубів, що працюють за рахунок великої швидкості (більш 150 м/хв) диска в місці різі. Для розрізання труб і сортового прокату на заготовці використовуються спеціальні автоматичні відрізні верстати. Стрічкові пилки типу ножівок, що працюють з малими швидкостями, використовують для різання будь-якого металу всіляких марок [6].

Відрізні верстати оснащуються дисковими пилками для розрізання прокатного матеріалу, валів, прутків, кувань, і т.п.

Дискова пилка являє собою диск із різальними зубами (рис. 1.2). Тому що виготовлення пилок великого діаметра цілком зі швидкорізальної сталі нерационально, пилки виготовляють складеними. Диск роблять з вуглецевої сталі і до нього приклепують зубчасті сегменти зі швидкорізальної сталі. Іноді пилки виготовляють із вставними зубами зі швидкорізальної сталі [5].



d – діаметр прутка, що розрізається; l – величина поверхні різання;

l_1 – величина врізання пилки; l_2 – величина перебігу

Рис. 1.2. Схеми розрізання дисковою пилкою [7]:

a – одного прутка; b – пакета прутків

Продуктивність відрізки заготовок дисковими пилками є значно вищою порівняно з приводними ножівками. До недоліків відрізки дисковими пилками відносяться низький клас чистоти поверхні різу і широкий проріз, тому що товщина дискових пилок у залежності від діаметра складає 5-8 мм. Остання обставина обмежує застосування відрізання дисковими пилками заготовок типу кілець, дисків і т.д., тому що відхід металу в стружку тільки за рахунок відрізки буде надзвичайно великим і може в залежності від співвідношення діаметра до товщини заготовки, що відрізається, скласти 25-40% [7].

У зв'язку з тим, що навантаження на зуби під час відрізання змінюється в процесі проходження пилки через матеріал, за умов рівномірної подачі виникають різкі коливання сил різання. Такі коливання негативно впливають на стабільність роботи верстата. З метою усунення цього недоліку відрізні верстати оснащують гідравлічною системою подачі. Механізм гідравлічної подачі має істотні переваги порівняно з механічним, оскільки забезпечує можливість плавного регулювання величини подачі, внаслідок чого процес різання відбувається значно рівномірніше та стабільніше.

Стрічкові пилки застосовують головним чином для відрізання і розрізання кольорових металів. Стрічкова пилка представляє нескінченну стрічку товщиною 1-1,5 мм із зубами.

Фрикційна, або беззуба, пилка являє собою тонкий сталевий диск, який приводиться в обертання електродвигуном. Під час роботи диск обертається з дуже високою кутовою швидкістю і за рахунок сил тертя нагріває частинки металу в зоні різання до температури плавлення. Утворений розплавлений метал видаляється з прорізу самим диском, який у процесі роботи охолоджується повітрям і водою [5].

На відрізних верстатах застосовуються також абразивні диски. Різальним інструментом у такому верстаті є тонке абразивне армоване коло товщиною 2-3 мм, діаметром 300-400 мм, закрите міцним металевим кожухом. Коло одержує обертання від електродвигуна через пасово-клинову передачу,

натисканням педалі або важеля він вводиться в контакт з трубою, надійно закріпленої в нерухомих призматичних опорах верстата, і розрізає її. Площина різку, виконаного абразивними колами, виходить чистої без заусенців. Для різання застосовуються абразивні армовані кола з коловою швидкістю 80 м/с [8].

Пильні верстати [9] оснащуються стрічковими пилками та за конструктивним виконанням поділяються на вертикальні (рис. 1.3), горизонтальні та нахилені. Стрічкові пилки застосовуються переважно для розрізання пруткового матеріалу, а також для вирізання криволінійних контурів деталей, зокрема кривошипів колінчастих валів, шатунів та інших подібних елементів. Водночас широкого розповсюдження стрічкові пилки не набули, що зумовлено відносно високою вартістю пильної стрічки.

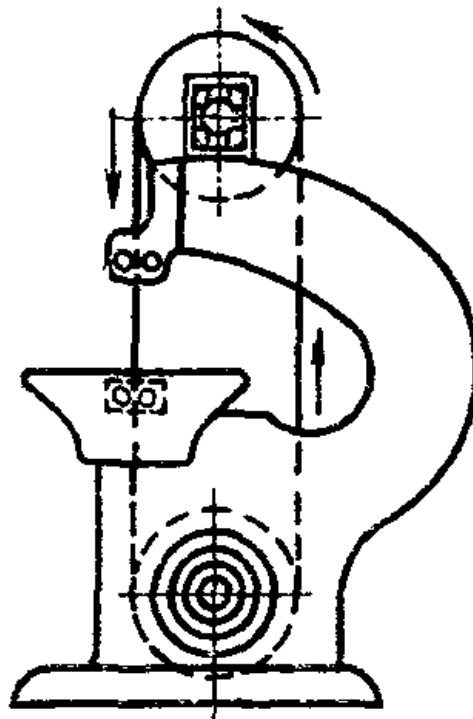


Рис. 1.3. Схема вертикальної стрічкової пилки [9]

Відрізні верстати відрізняються від пильних верстатів насамперед типом застосовуваного різального інструмента. У таких верстатах використовують різці, за конструкцією подібні до токарних, а також абразивні або металеві диски.

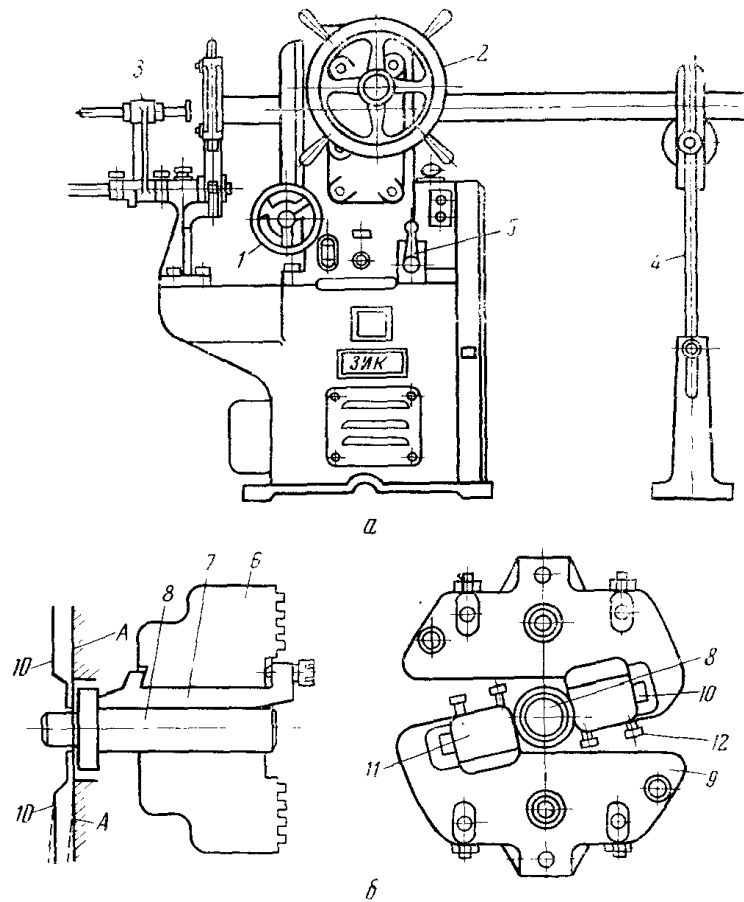
Верстати одного різновиду за принципом роботи аналогічні токарним, проте відрізняються тим, що різцетримачі в них не здійснюють подовжніх переміщень, характерних для каретки токарного верстата. Верстати іншого різновиду функціонують за принципом токарних верстатів із центральним приводом, у яких інструмент є нерухомим, а оброблювана заготовка переміщується разом із супортом. Від класичних верстатів із центральним приводом вони відрізняються тим, що рух виробу можливий лише в одному напрямку. Верстати обох зазначених типів призначені для виконання лише однієї технологічної операції — відрізання.

Відрізні верстати, що працюють за принципом токарних, оснащуються пустотілим шпинделем великого діаметра, який охоплює оброблювану заготовку. Коротка станина таких верстатів служить для розміщення одного або двох різцетримачів, здатних переміщуватися лише в поперечному напрямку. Верстати, побудовані за принципом верстатів із центральним приводом, мають рухомий супорт, на якому встановлюється заготовка, що підлягає обробці. Різальний інструмент при цьому закріплюється безпосередньо на верстаті та являє собою швидкообертову коронку, на якій кільцевим способом закріплені різці.

Відрізні верстати з абразивними дисками за конструктивним виконанням подібні до стрічкових пильних верстатів, однак замість пильної стрічки в них використовується двосторонній абразивний диск.

Відрізні верстати з металевими дисками, відомі також як фрикційні пилки, характеризуються застосуванням диска з м'якої сталі, окружна поверхня якого не має зубів. Такий диск може мати спеціальні канавки й обертається з великою швидкістю, унаслідок чого при наближенні його периферії до поверхні заготовки остання починає плавитися ще до безпосереднього контакту з диском. Це явище зумовлене інтенсивним тертям у поєднанні з процесами окиснення металу повітрям, що захоплюється обертовим диском [10].

Відрізні верстати застосовують для різання труб, також призначені для розрізання сортового металу. Усі ці верстати (за винятком ножівкових) придатні тільки для різання труб під прямим кутом до осі рис. 1.4 [11].



- 1 – маховик для подачі різців; 2 – маховик для затиснення труби;
 3 – пересувний упор для труб; 4 – виносна роликів опора для труб;
 5 – рукоятка коробки швидкостей; 6 – кулачки; 7 – насадні губки;
 8 – оправка; 9 – супорти; 10 – різці; 11 – обойми; 12 – гвинти.

Рис. 1.4. Трубовідрізний верстат моделі 3-246А [11]:

а – загальний вид; б – схема відрізної головки

Відрізні верстати є більш доцільними для виконання таких технологічних операцій і призначені для розрізання різноманітних прутків і труб. Як правило, на жорсткій станині цих верстатів розміщується передня бабка з пустотілим шпинделем, на обох кінцях якого встановлені затискні самоцентрувальні патрони (рис. 1.5).

Основними перевагами відрізних верстатів є висока продуктивність, конструктивна простота, а також відносно невисока собівартість як самого верстата, так і застосовуваного різального інструмента (різців). Разом з тим до їхніх недоліків належить значна ширина прорізу (3–5 мм), що зумовлює підвищені втрати матеріалу. Відомі також відрізні верстати, оснащені двома супортами — переднім і заднім, які працюють одночасно двома різцями, що дає змогу істотно підвищити їхню продуктивність [12].

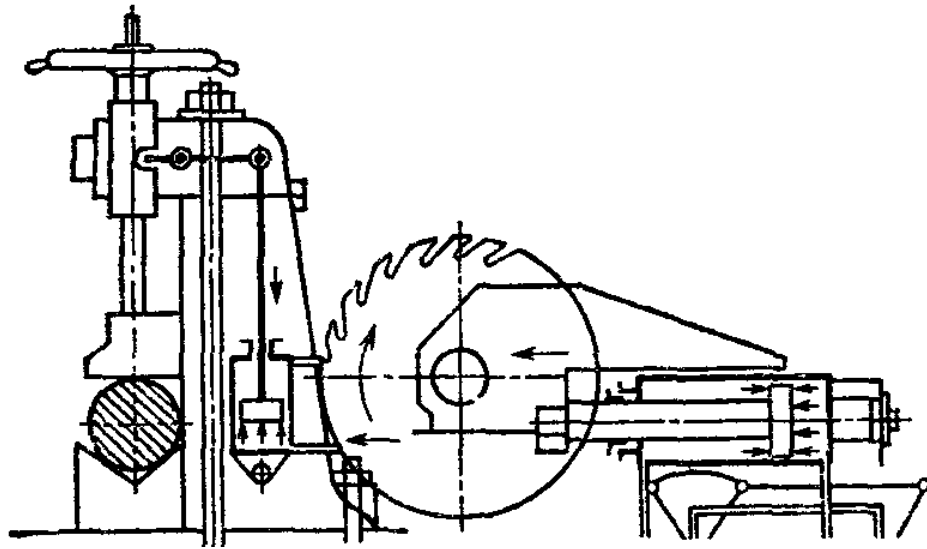


Рис. 1.5. Диска пилка з гідравлічною подачею [12]

Підвищення продуктивності відрізних верстатів також досягається завдяки застосуванню спеціальних пристроїв, які забезпечують регулювання та підтримання сталої швидкості різання. Верстати, що працюють із тонким абразивним кругом, використовуються для розрізання прутків і труб. Застосування еластичних абразивних кругів на бакелітовій або вулканітовій зв'язці з електрокорундом товщиною 2–3 мм забезпечує незначні втрати металу на ширину прорізу.

Під час розрізання труб великого діаметра виникає необхідність їх повертання навколо власної осі. Продуктивність різання абразивним кругом є досить високою; зокрема, пруток діаметром 40–50 мм може бути розрізаний за 5–6 с за швидкості периферії круга близько 50 м/с. Відрізання матеріалів також може здійснюватися методом швидкісного шліфування, при якому швидкість кола досягає 90–100 м/с [13].

Однак, найбільш якісним є різання на різцевих трубовідрізних верстатах. Поверхня різу виходить гладкою і чистою, не потребує подальшої обробки. Одночасно з відрізанням можна знімати з кромки труби зовнішню і внутрішню фаски під зварювання.

Різцеві трубовідрізні верстати підрозділяються на дві категорії. Перша – верстати, у яких труба, що перерізається, обертається разом зі шпинделем, а різці встановлені в супортах на станині верстата; друга – верстати, у яких труба, що перерізається, затискається нерухомо, а різці встановлені у відрізній головці, що обертається навколо труби. До цієї ж групи відноситься більшість переносних трубовідрізних механізмів [14].

Для операцій розрізання застосовують також спеціальні верстати. Наприклад, виробництво стрижневої обмотки ротора починають з виправлення і різання шин для стрижнів. Зазначені операції виконують на спеціалізованому верстаті. При цьому істотне значення має точність витримування довжини відрізуваної заготовки, оскільки це дає змогу виключити подальшу операцію підрізування кінців стрижнів і, відповідно, забезпечує економію міді. Такі відрізні верстати дозволяють нарізати заготовки з відхиленнями довжини, що не перевищують 1 мм [15].

Відомі також відрізні верстати, оснащені переднім і заднім супортами, які працюють одразу обома різцями, що забезпечує підвищення їхньої продуктивності [9].

Відомі також відрізні верстати, оснащені двома супортами – переднім і заднім – працюючі одночасно двома різцями, завдяки чому їхня продуктивність підвищується [9].

Підвищення продуктивності відрізних верстатів також забезпечується застосуванням пристрою, який здійснює регулювання та підтримання сталої швидкості різання. В процесі розрізання прутка (або валу) у міру наближення різців до його подовжньої осі швидкість різання при однаковому числі обертів шпинделя верстата внаслідок зменшення діаметра прутка в місці розрізу

поступово убуває. У верстатах з постійною швидкістю різання в міру наближення різців до осі прутка число обертів шпинделя верстата увесь час підвищується, що прискорює виконання операції.

Вертикальні відрізні автомати призначені для розрізування каліброваних за діаметром і рівних по всій довжині (невигнутих) прутків. У таких верстатах заготовка подається зверху, завдяки чому обладнання займає незначну виробничу площу в цеху. Пруток під дією власної ваги опускається на опорну підставку, де здійснюється його затиск, після чого до зони різання підводиться супорт із різцем. Обслуговування кількох таких верстатів, як правило, може здійснюватися одним робітником.

Токарно-свердлильно-відрізні верстати застосовуються в заготівельних цехах для виконання попереднього обдирання, розточування, свердління та відрізання як пруткового матеріалу, так і кувань і штампувань. У рухомій задній бабці верстата закріплюється спіральне свердло, призначене для виконання отворів. Передній супорт використовується для операцій обдирання і розточування, тоді як задній супорт служить для відрізання заготовки від прутка. Схема обробки на даному верстаті наведена на рис. 1.6.

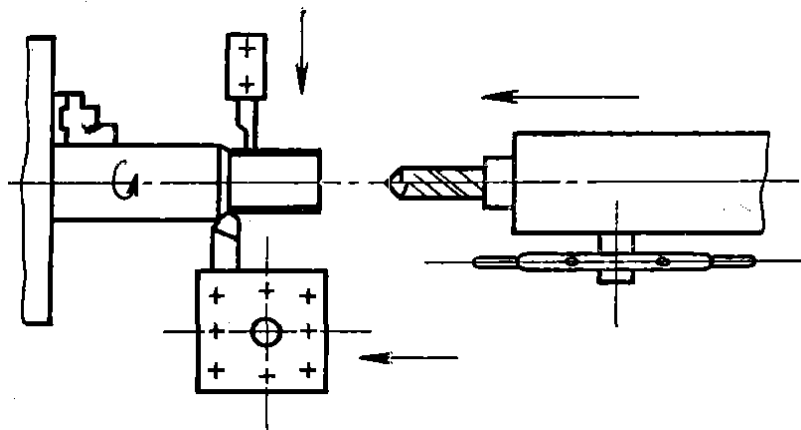


Рис. 1.6. Токарно-свердлильно-відрізний верстат: кінематика обробки

Верстати, що працюють із тонким абразивним колом, застосовуються для розрізування прутків і труб. Використовуються еластичні абразивні кола товщиною 2–3 мм, що забезпечує незначні втрати металу на ширину прорізу. Під час розрізування труб великого діаметра виникає потреба у їх повороті

навколо власної осі. Продуктивність різання абразивним колом є достатньо високою; зокрема, пруток діаметром 40–50 мм може бути розрізаний за 5–6 с.

Розрізування на інших типах верстатів також знаходить практичне застосування. Окрім наведених вище способів, прутки, труби та заготовки у вигляді штампувань, кувань і виливків можуть розрізатися на універсальних токарних і горизонтально-фрезерних верстатах [9].

Різання прокату діаметром до 500 мм дисковими пилами на фрезерно-відрізних верстатах широко використовується не лише в одиничному, а й у серійному виробництві, оскільки цей спосіб різання є універсальним, точним, технологічно простим і високопродуктивним.

Залежно від розмірів на фрезерно-відрізних верстатах використовуються пилки діаметром від 350 до 2000 мм і вище. Широко застосовувалися для різання верстати 866, 8А66, 8Б66, 8А68 і 8631.

Фрезерно-відрізні верстати старих моделей автоматизовані лише в частині прискореного підведення і відводу пильної бабки і переключення її на робочу подачу. Закріплення прутка і подача його до упора при різанні здійснюється вручну. Тому на багатьох заводах верстати були модернізовані з метою усунення ручної праці.

Відомі відрізні верстати, у яких весь процес відрізки цілком автоматизований. Такий цілком автоматизований відрізний верстат моделі 8А66 мінського заводу (рис. 1.7).

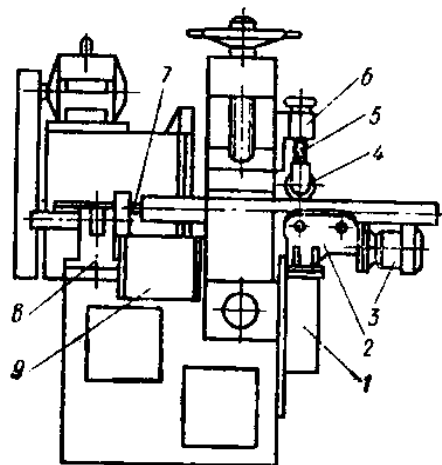


Рис. 1.7. Схема модернізованого фрезерно-відрізного верстата 8А66 [16]

Фрезерно-відрізний верстат 8А66 (рис. 1.7) оснащений додатково механізмом подачі 2 прутки, підтискним роликом 4, упором 7 і системою кінцевих вимикачів і упорів.

Механізм подачі 2 складається з двох рифлених роликів у виді подвійних конусів. Ролики одержують обертання від електродвигуна через черв'ячну і зубчасту передачі зі швидкістю 18 об/хв. Механізм подачі 2 змонтований на повзунку 1 і за допомогою гідроприводу 3 може підніматися або опускатися по напрямних, розташованих на вертикальній стінці станини.

Підтискний ролик 4 установлений на кронштейні 6 у верхній частині станини і служить упором при подачі прутка, крім пробуксовування його на роликах механізму подачі. Рухомий ролик 4 за допомогою гвинта 5 регулюється по висоті в залежності від діаметра заготовки, що розрізається. Електроупор 7 змонтований на стійці 8 і забезпечує одержання необхідної довжини заготовки. Відрізана заготовка подається в лоток 9 і скочується в тару.

Після чергової відрізки пильна бабка відходить назад і своїм упором переключає золотник гідросистеми, що забезпечує відкріплення прутка і підйом механізму подачі до упора прутка в підтискний ролик 4. У момент досягнення пильною бабкою крайнього заднього положення відбувається включення електродвигуна 3 механізми подачі.

Пруток подається вперед доти, поки лівий його кінець не упреться в електроупор 7. У цей момент електродвигун 3 відключається і відбувається включення гідравлічної системи верстата, що забезпечує затиск прутка, швидке підведення пильної бабки і переключення її на робочу подачу. Після закінчення різання прутка цикл автоматично повторюється [16].

Для різання порожніх заготовок застосовують відрізні верстати токарного типу. Верстати цього типу бувають однорізцевими і двохрізцевими. Матеріал пропускають через порожній шпиндель і затискають у патроні. Відстань від кулачка патрона до різця для зменшення биття не повинне перевершувати діаметра заготовки, що розрізається [17].

1.3. Особливості конструкції обраного кромкообрізного верстату

На основі оглядового аналізу існуючого обладнання, призначеного для відрізання та кромкообрізання, враховуючи особливості заготовки – тонкостінної труби, та необхідність забезпечити якісну високопродуктивну обробку обираємо конструкцію спеціального кромкообрізного верстату.

Верстат даної конструкції дозволить провести обрізання кромки з заготовки, не деформувавши деталь в процесі обрізання. За рахунок використання спеціального затискного пристрою.

Верстат кромкообрізний відноситься до групи спеціальних верстатів і призначений для виконання операції обрізання кромки в тонкостінній трубі розміром $\varnothing 135,2 \times \varnothing 133,6 \text{ Н} 12 \times 55$ в напівавтоматичному режимі з невеликими габаритними розмірами.

Верстат кромкообрізний складається з наступних основних деталей (рис. 1.8, 1.9:

- станина (поз. 5);
- привід вузла обрізки;
- привід пневмоциліндра (поз. 8);
- пневмоциліндр (поз. 4).

На станині (поз. 5) кріпляться:

- стійки (поз. 7) (по яких переміщається рухома нижня плита (поз. 3);
- вузол обрізки (поз. 2);
- редуктор (поз. 1);
- електродвигун (поз. 23).

Вгорі на стійках (поз. 7) закріплюється верхня плита (поз. 9) з пневмоциліндром (поз. 4).

Редуктор (рис. 1.10) (поз. 1) з'єднаний через клинопасову передачу з електродвигуном (поз. 23) встановленим на підмоторній плиті (поз. 17). Електродвигун (поз. 23) з'єднаний з шафою електроустаткування (поз. 6). Там же закріплена станція підготовки повітря, що служить для очищення стислого повітря від сторонніх домішок (рис. 1.11).

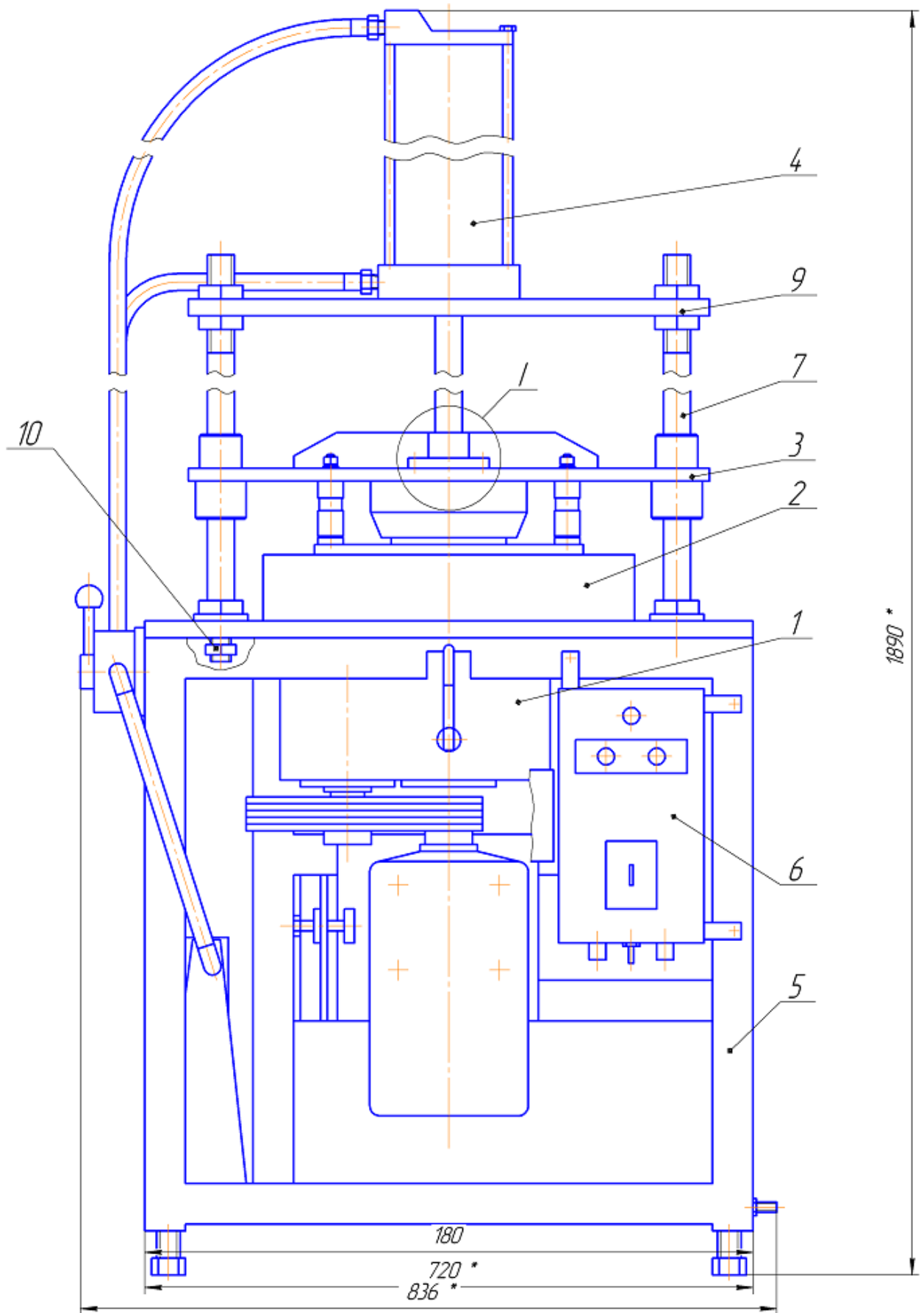


Рис. 1.8. Загальний вигляд верстату кромкообрізного

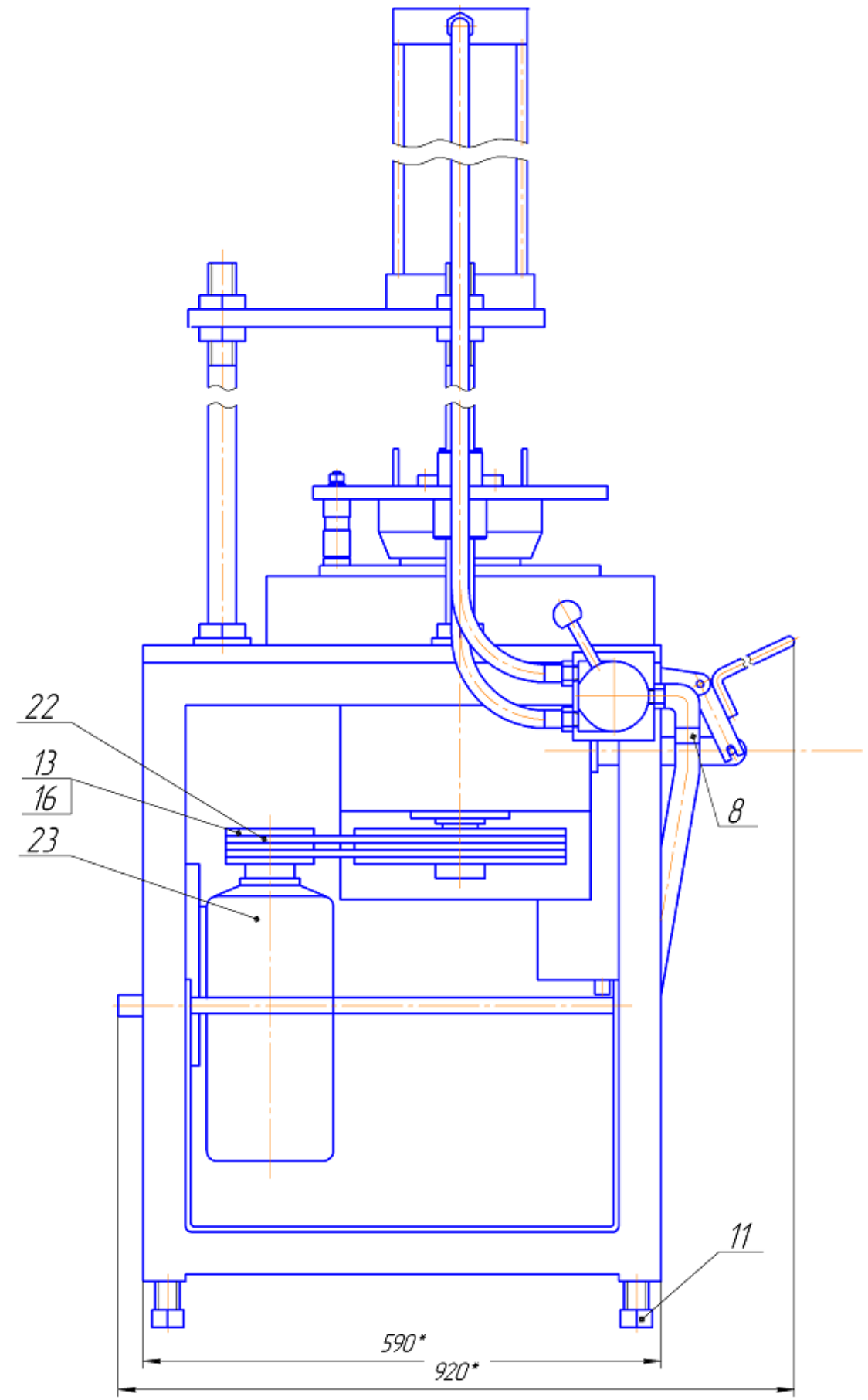


Рис. 1.9. Конструкція кромкообрізного верстату

На верхній плиті каркаса станини кріпиться вузол обрізки, що складається з пуансона (поз. 2), на якому базується поверхній отвір труби. Пуансон (поз. 2) встановлений на корпусі (поз. 7), що має спеціальний фасонний отвір, куди встановлюється ролик редуктора, який базується на вихідному валу.

Зубчасте колесо, що базуються на вихідному валу, входить в зачеплення з валом-шестерню, який приводиться у рух обертання за допомогою клинопасової передачі від електродвигуна.

На верхній плиті каркаса станини також закріплені чотири циліндричні стійки (поз. 7, рис. 1.8), по яких переміщається на втулках плита (поз. 3) з матрицею, що служить для закріплення деталі на пуансоні. Плита нижня (поз. 3) з'єднана зі штоком пневмоциліндра (поз. 4), який встановлений на плиті верхній (поз. 9). Плита верхня (поз. 9) закріплена у верхньому положенні на стійках (поз. 7).

Пневмоциліндр (поз. 4) через штуцери з'єднаний за допомогою трубопроводів з краном управління В71-22 і зі станцією підготовки повітря. Стисле повітря на верстат поступає через центральну цехову систему постачання.

Деталь, представлена на рис. 1.1, ставиться на пуансон. Поворотом ручки крану управління В 71-22 стисле повітря під тиском біля 6,3 Атм. подається у верхню порожнину пневмоциліндра і плита з матрицею притискає оброблювану деталь до пуансона.

Вхідний вал редуктора обертається постійно. Якщо рукоятка редуктора в положенні "вниз", то важіль в редукторі утримується нерухомо і вал вихідний з роликом не обертається. У цьому положенні надівається і знімається оброблювана деталь. При піднятті руку важіль під дією пружини обертається і зчіплює вхідний і вихідний (з роликом) вали редуктора. Ролик виходить з нейтрального положення і переміщає рухливу частину вузла відрізання. Рухома частина переміщується зворотно-поступально відносно нерухомих частин та здійснює різання металу.

A-A

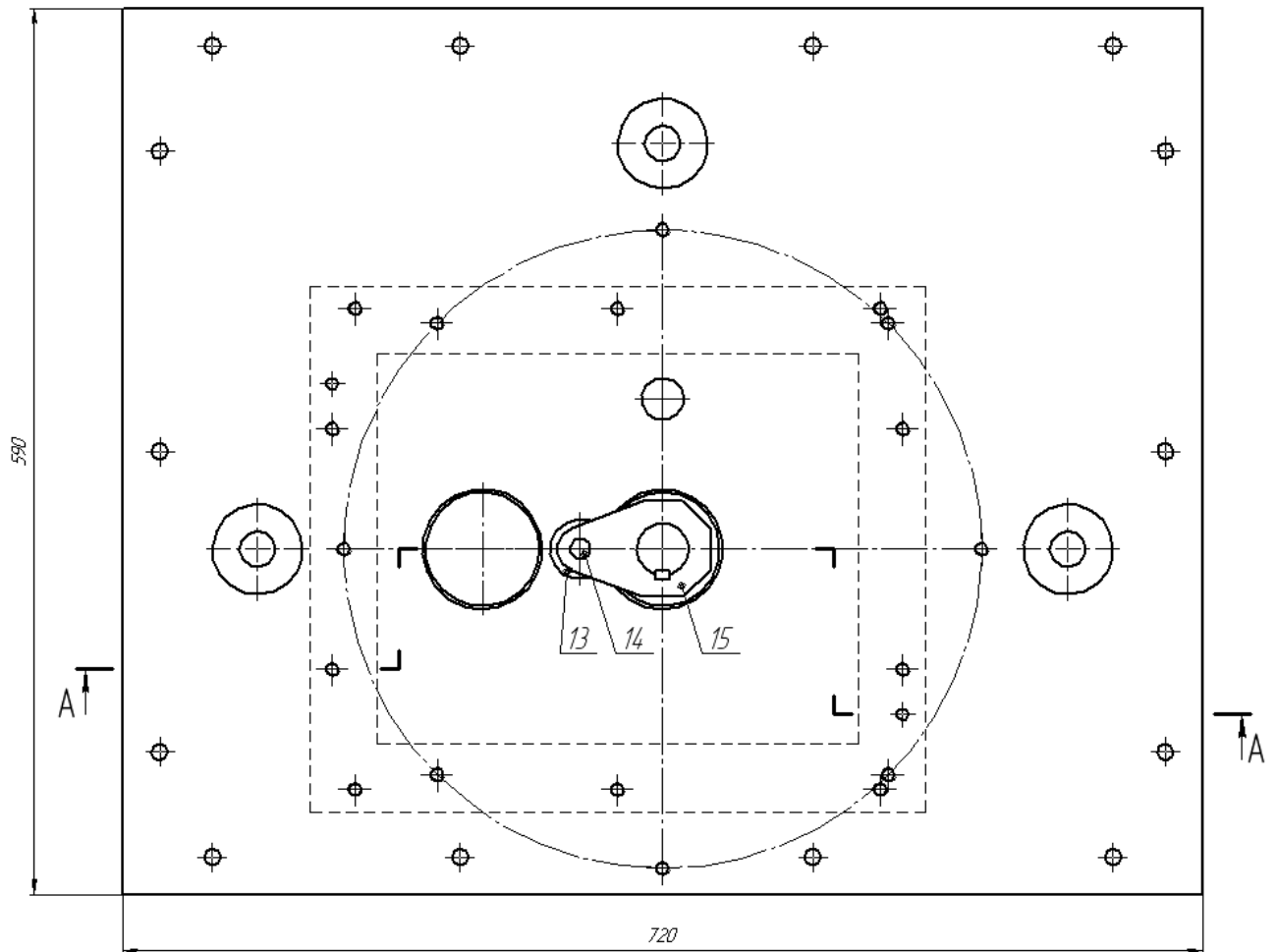
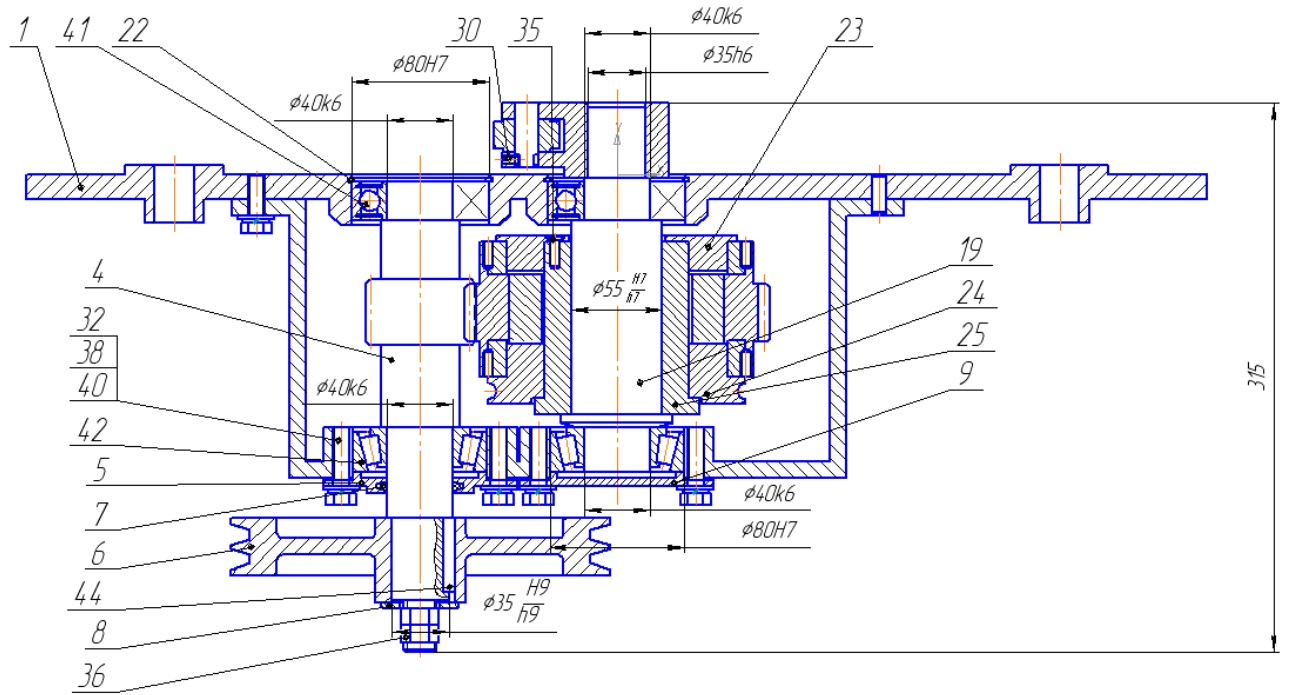


Рис. 1.10. Схематична конструкція редуктора

При опусканні ручки в нижнє положення важіль фіксується в нижньому положення. Ролик з вихідним валом зупиняється в нейтральному положенні, а вхідний вал обертається холостим ходом.

Обертовий рух на вхідний вал редуктора передається через ремінну передачу від асинхронного двигуна потужністю 1,5 кВт з постійною частотою обертання 1500 об/хв.

Пневматична система верстата (поз. 8, рис. 1.9), представлена на (рис. 1.11) і складається з:

- вентиль вхідний;
- фільтр-вологівідокремлювач 21-10-40-УХЛЧ;
- запобіжний клапан 122-12-УХЛЧ;
- мастилорозпилювач 2-10 УХЛЧ;
- пневмоциліндр.

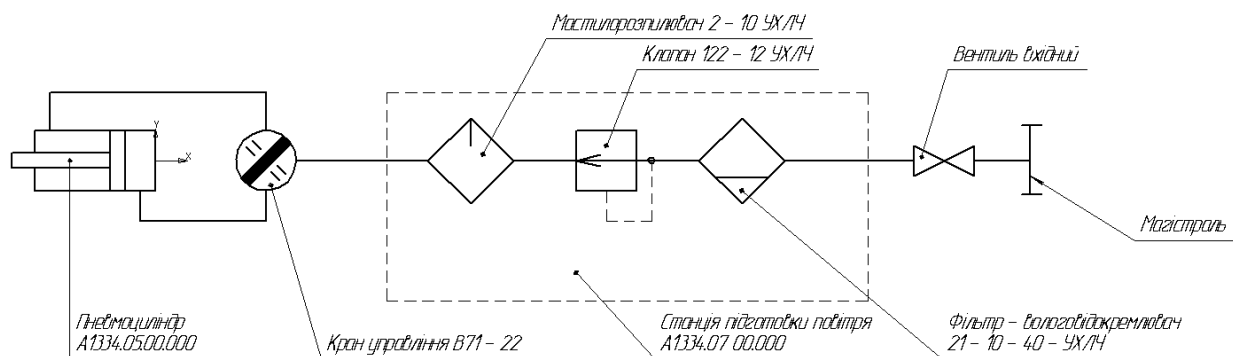


Рис. 1.11. Пневматична схема верстата

Мастилорозпилювач, клапан запобіжний і фільтр-вологівідокремлювач разом складають станцію підготовки повітря (рис. 1.11).

З проведеного аналізу особливостей конструкції спеціального кромкообрізного верстату визначимо напрями модернізації його основних вузлів.

1.4. Визначення напрямів модернізації кромкообрізного верстату

Для обрізання кромки на трубі $\varnothing 135,2 \times \varnothing 133,6 \text{H} 12 \times 55$ необхідно провести модернізацію конструкції спеціального кромкообрізного верстата працюючого в напівавтоматичному циклі.

Для цього необхідно передбачити в конструкції верстата використання механізованого пристосування. Базування і закріплення деталі робити по зовнішній і внутрішній поверхням труби, а також по торцю її фланця, що забезпечує жорстке закріплення деталі і призводить до її мінімальної деформації при обрізці кромки. В якості приводу затискних елементів передбачити використання пневмоприводу.

В якості приводу головного руху необхідно використати стандартний електродвигун потужністю $N = 1,5 \div 2,0$ кВт з числом обертів від 1000 до 1500 об/хв. Для зменшення числа обертів розробити конструкцію редуктора з клинопасовою передачею, використовуючи якомога більшу кількість стандартних деталей. Забезпечити частоту обертання вихідної ланки редуктора в межах $n = 200\text{--}300$ об/хв.

1.5. Висновки, мета та задачі роботи

Об'єкт виробництва представляє собою деталь типу тонкостінної труби. В результаті проведення обробки, необхідно забезпечити виконання технологічної операції обрізання кромки.

Розрізання матеріалу проводять двома різними методами:

- 1) матеріал, що розрізається, нерухомий, різальний інструмент рухається;
- 2) матеріал, що розрізається, обертається, а інструмент має тільки рух подачі.

За першим методом працюють відрізні верстати з круглими пилками, ножівкові верстати, стрічкові пилки, абразивні пилки, електропилки і т.п. За другим – токарно-відрізні верстати й автомати.

Найбільш розповсюдженими є відрізні верстати, які оснащені круглими циркулярними пилками. Вони мають порівняно високу продуктивність. Заготовки, що розрізаються, кріпляться призмою індивідуально кожна або по декілька штук. Притиск гідравлічний. До недоліків цих верстатів варто віднести порівняно велику ширину пропилу (6-6,5 мм) і нерівну поверхню торців після відрізки заготовок, тому такі верстати в даному випадку не підходять.

Відрізні верстати з абразивними дисками за своєю конструкцією подібні до стрічкових пильних верстатів, однак замість пильної стрічки в них використовується двосторонній абразивний диск.

Відрізні верстати з металевими дисками, відомі також як фрикційні пилки, характеризуються застосуванням диска з м'якої сталі, периферійна поверхня якого не має зубів. Диск може бути виконаний із канавками та обертається таким чином, що під час наближення його окружності до поверхні оброблюваного виробу матеріал заготовки починає інтенсивно нагріватися і плавитися ще до безпосереднього контакту з диском.

Іноді заготовки рубують на ексцентрикових пресах, але після рубання на пресі заготовку приходится правити, що також не можливо використати при обробці тонкостінних заготовок.

Різання сортового прокату відбувається зазвичай на комбінованих прес-ножицях мод. Н511, Н513, Н514 і ін. Для різання пруткового прокату застосовують відрізні верстати мод. 8Б55, 8А67, 8А68 і ін. Крім того, для різання симетричного здвоєних двотаврових і швелерних балок застосовують газорізальні машини типу «Смолоскип». Жодний з описаних верстатів не підходить для даної операції.

Існують відрізні верстати, оснащені переднім і заднім супортами, працюючі одночасно обома різцями, тому їхня продуктивність підвищується.

Токарно-свердлильно-відрізні верстати використовуються в заготівельних цехах для виконання операцій попереднього обдирання, розточування, свердління та відрізання як пруткового матеріалу, так і заготовок у вигляді кувань і штампувань.

Відомі відрізні верстати, у яких весь процес відрізки цілком автоматизований. Такий цілком автоматизований відрізний верстат моделі 8А66 мінського заводу.

Для різання порожніх заготовок застосовують відрізні верстати токарного типу. Верстати цього типу бувають однорізцевими і двохрізцевими. Матеріал пропускають через порожній шпиндель і затискають у патроні.

На основі оглядового аналізу існуючого обладнання, призначеного для відрізання та кромкообрізання, враховуючи особливості заготовки – тонкостінної труби, та необхідність забезпечити якісну високопродуктивну обробку обираємо конструкцію спеціального кромкообрізного верстату.

Верстат даної конструкції дозволить провести обрізання кромки з заготовки, не деформувавши деталь в процесі обрізання. За рахунок використання спеціального затискного пристрою.

Для цього необхідно передбачити в конструкції верстата використання механізованого пристосування. Базування і закріплення деталі робити по зовнішній і внутрішній поверхням труби, а також по торцю її фланця, що забезпечує жорстке закріплення деталі і призводить до її мінімальної деформації при обрізці кромки. В якості приводу затискних елементів передбачити використання пневмоприводу.

В якості приводу головного руху необхідно використати стандартний електродвигун потужністю $N = 1,5 \div 2,0$ кВт з числом обертів від 1000 до 1500 об/хв. Для зменшення числа обертів розробити конструкцію редуктора з клинопасовою передачею, використовуючи якомога більшу кількість стандартних деталей. Забезпечити частоту обертання вихідної ланки редуктора в межах $n = 200-300$ об/хв.

Мета роботи полягає в забезпеченні операції обрізання кромки на заготовці типу тонкостінна труба шляхом модернізації спеціалізованого кромкообрізного верстата розрахунком його затискного пристосування та приводів.

Досягти визначеної мети роботи можна шляхом вирішення таких **задач**:

1. Провести аналіз існуючого верстатного обладнання призначеного для операції відрізання;
2. Проаналізувати технологічне обладнання та обрати компоновання верстату;
3. Визначити напрями модернізації обраного верстату для забезпечення обробки тонкостінної деталі типу труби;
4. Провести розрахунок основних вузлів модернізованого кромкообрізного верстата;
5. Виконати розрахунок техніко-економічного обґрунтування використання кромкообрізного верстату.

Об'єкт дослідження – тонкостінна труба.

Предмет дослідження – обрізання кромки тонкостінних деталей.

Наукова новизна роботи.

Наукова новизна виконаного дослідження полягає в обґрунтуванні та розробленні технічних рішень, що забезпечують високоякісну, бездеформаційну обробку кромки тонкостінних циліндричних деталей великих діаметрів, а також у вдосконаленні конструктивних елементів спеціального кромкообрізного обладнання.

Практичне значення.

Практична цінність отриманих у магістерській роботі результатів полягає у створенні та технічному обґрунтуванні конструкції спеціального кромкообрізного верстата, призначеного для обробки кромки тонкостінних циліндричних деталей великих діаметрів, який забезпечує високу якість обробки при мінімальних деформаціях заготовки.

2. ДОСЛІДНИЦЬКО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок пристосування для затиску деталі типу труби

Пристосування для затиску деталі у верстаті призначено для базування і закріплення деталі типу труба на кромкообрізному верстаті, і представлено на рис. 2.1.

До складу пристосування входить вузол обрізки, який містить плиту (поз. 1), на якій закріплено пуансон (поз. 2), призначений для базування за внутрішньою поверхнею труби. Плита 1 разом із пуансоном 2 встановлюється на корпусі (поз. 7), що має отвір ексцентрикової форми, по якому здійснюється переміщення ролика. Корпус вузла обрізки 7 закріплюється на корпусі затискного пристосування, яке встановлюється на верхній плиті верстата.

У верхній частині верстата розміщується нижня плита (рис. 2.2), яка взаємодіє з матрицею (поз. 2), призначеною для фіксації та надійного закріплення деталі на пуансоні (поз. 2, рис. 2.1). Конструкція також включає три стійки (поз. 3, рис. 2.2) і чотири напрямні втулки (поз. 4), що здійснюють переміщення по стійках верстата (поз. 7, рис. 1.8). Нижня плита 3 з'єднана за допомогою тяги зі штоком пневмоциліндра 5, який встановлений на верхній плиті 9.

Труба поверхнею отвору діаметром 133,6Н12 установлюється на діаметр пуансона таким чином, що фланець труби базується по торцю пуансона.

Після повороту ручки крана керування В71-22 стиснене повітря надходить у верхню камеру пневмоциліндра, внаслідок чого приводиться в рух поршнево-штоковий вузол. Разом із поршнем переміщуються шток, тяга, нижня плита 3 та встановлена на ній матриця 2, які здійснюють поступальний рух у напрямку вниз. При цьому матриця центрується по зовнішньому діаметру труби 135,2, а торцева поверхня її виточки входить у контакт із торцем фланця труби. За рахунок цього заготовка притискається до пуансона, що забезпечує її фіксацію та надійне закріплення в процесі обробки.

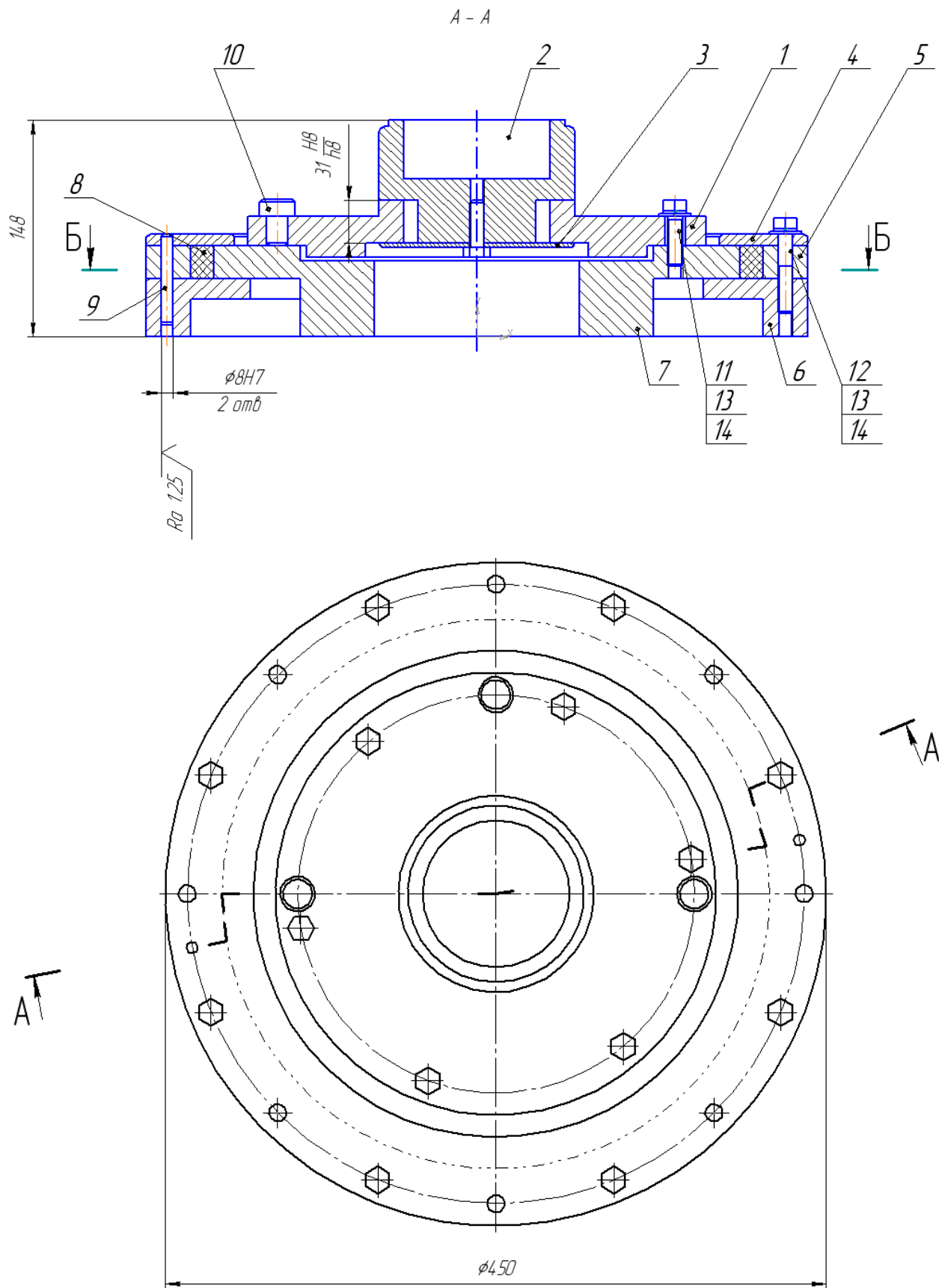


Рис. 2.1. Конструкція вузла обрізання

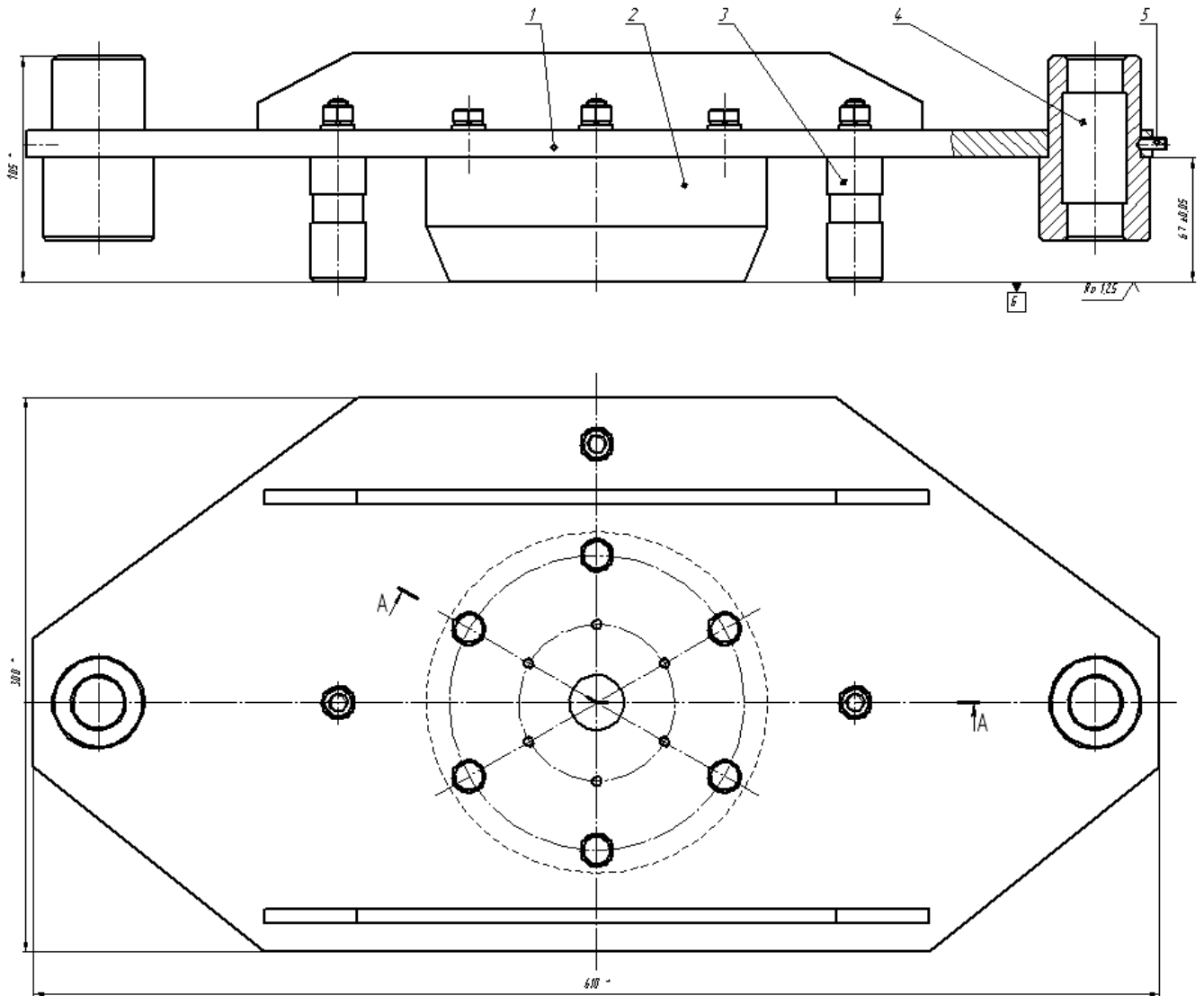


Рис. 2.2. Нижня плита вузла обрізання

Для забезпечення виконання встановлених вимог і технологічних умов під час обрізання кромки труби необхідно здійснити силовий розрахунок пристосування та визначити величину зусилля на виході приводу Q .

Вихідну величину сил затиснення Q знайдемо:

$$Q = 4Pz \cdot K \frac{R}{(D + d) \cdot f}, \quad (2.1)$$

де K – коефіцієнт, який характеризує спрацювання інструмента, $K = 1,5$;

f – коефіцієнт тертя між заготовкою та матрицею, $f = 0,15$;

D – зовнішній діаметр труби, $D = 135,2$ мм;

d – внутрішній діаметр труби, $d = 133,6$ мм;

P_z – тангенціальна складова сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.2)$$

де C_p – значення коефіцієнта і x, y, z – (табл. 22, стор. 273 [23]),

$C_p = 247$; $x = 1,0$; $y = 1,0$; $n = 0$;

t – значення глибини різання на операцію, $t = 0,8$ мм;

S – величина подачі на один ролик, $S_p = 0,2$ мм/рол;

V – швидкість головного руху (різання): $V = 25$ м/хв;

K_p – загальний поправочний коефіцієнт для даних умов обробки,

$K_p = K_{mp}$;

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_d}{750} \right)^n, \quad (2.3)$$

де $\sigma_s = 324$ МПа – межа міцності при розтяганні для сталі 0,8КП;

$N = 0,35$ – приймається (табл. 9, стор. 264 [24]).

За формулами (1), (2) та (3) відповідно розраховуємо:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_d}{750} \right)^n = \left(\frac{324}{750} \right)^{0,35} = 0,74;$$

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 247 \cdot 0,8^{1,0} \cdot 0,2^{1,0} \cdot 25^0 \cdot 0,74 = 292 \text{ Н};$$

$$Q = 4 \cdot 292 \cdot 1,5 \cdot \frac{67,6}{(135,2 + 133,6) \cdot 0,15} = 2938 \text{ Н}.$$

Визначаємо діаметр пневмоциліндру з формули:

$$Q = \frac{\pi \cdot D_u^2}{4} \cdot p, \quad (2.4)$$

де P – величина тиску у пневмосистемі пневмоциліндра; $P = 0,6$ МПа;

$$D_u = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p}}; \quad (2.5)$$

$$D_u = \sqrt{\frac{4 \cdot 293,8}{3,14 \cdot 6}} = 7,9 \text{ см} \approx 80 \text{ мм}$$

Із нормативного ряду типорозмірів приймаємо діаметр пневмоциліндра 80 мм, що забезпечує необхідний запас зусилля та нормальні умови виконання операції обрізання кромки заготовки.

2.2. Розрахунок клинопасової передачі кромкообрізного верстату

Колова швидкість ременя, м/с, за формулою:

$$\sigma = \frac{d_1 n_1}{19100}, \quad (2.6)$$

де d_1 – діаметр шківа, який має менший розмір, мм;

n_1 – кількість обертів шківа меншого розміру, хв^{-1} .

$$\sigma = \frac{90 \cdot 1500}{19100} \approx 7,07 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне число u знаходиться зі співвідношення:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2}, \quad (2.7)$$

де d_2 – розрахунковий діаметр більшого шківa, мм;

n_2 – частота обертання більшого шківa, хв^{-1} ,

$$u = \frac{225}{90} = 2,5.$$

Кут охоплення ременем малого шківa в градусах по формулі:

$$\alpha \approx 180 - 57 \frac{d_1 - d_2}{a},$$

при $\alpha > 110^\circ$,

де a – міжосьова відстань, мм,

$$\alpha = 180 - 57 \frac{225 - 90}{240} \approx 150^\circ.$$

По рис. 11 [21] вибираємо перетин ременя типу **A**.

Потужність передачі з одним ременем в умовах експлуатації:

$$N_p = N_o \frac{C_\alpha C_L}{C_p}, \quad (2.8)$$

де N_O – номінальна потужність передачі з одним ременем, кВт (табл. 21-27 [21]);

C_α – коефіцієнт кута охоплення (табл. 28 [21]);

C_L – коефіцієнт, по довжині пасу, приймається (табл. 29 [21]);

C_p – коефіцієнт динамічності і режиму роботи (табл. 30 [21]),

$$N_p = N_o \frac{C_\alpha C_L}{C_p} = 1,18 \frac{0,92 \cdot 0,89}{1,1} = 0,88 \text{ кВт}.$$

У передачі кількість ременів z , яка дозволяє забезпечити необхідний ресурс:

$$z = \frac{N}{N_p C_z}, \quad (2.9)$$

де N – передана потужність на ведучий вал, кВт;

C_z – коефіцієнт враховуючий, число ременів у передачі (табл. 31 [21]),
уводиться при $z \geq 2$.

$$z = \frac{N}{N_p C_z} = \frac{1,5}{0,88 \cdot 0,95} \approx 1,8 \text{ кВт}.$$

Розрахункову довжину ремня L_p в залежності від обраної міжосьової відстані варто визначати по формулі:

$$L_p \approx 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 - d_2) + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4a}; \quad (2.10)$$

Обчислену розрахункову довжину округляємо до найближчої стандартної розрахункової довжини пасу відповідно до ГОСТ 1284.2-80 (табл. 14 [21]).

$$\begin{aligned} L_p &\approx 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 - d_2) + \frac{(d_1 - d_2)^2}{4a} = \\ &= 2 \cdot 240 + \frac{3,14}{2}(225 + 90) + \frac{(225 - 90)^2}{4 \cdot 240} \approx 993,5 \text{ мм} \end{aligned}$$

Приймаємо $L_p = 1000$ мм.

Далі визначаємо міжосьову відстань a за формулою:

$$a = 0,25 \left[(L_p - W) + \sqrt{(L_p - W)^2 - 8y} \right], \quad (2.11)$$

де

$$W = \pi \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (2.12)$$

$$y = \left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right)^2, \quad (2.13)$$

$$W = \pi \frac{d_1 + d_2}{2} = 3,14 \frac{225 + 90}{2} = 494,6 \text{ мм},$$

$$y = \left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right)^2 = \left(\frac{225 - 90}{2} \right)^2 = 4556,25 \text{ мм}^2,$$

$$a = 0,25 \left[(L_p - W) + \sqrt{(L_p - W)^2 - 8y} \right] =$$

$$= 0,25 \left[(1000 - 494,6) + \sqrt{(1000 - 494,6)^2 - 8 \cdot 4556,25} \right] = 243,3 \text{ мм.}$$

Міжосьова відстань $a = 243,3$ мм.

2.3. Розрахунок редуктора кромкообрізного верстата

Необхідно зробити розрахунок редуктора кромкообрізного верстата (рис. 1.8, 1.9).

У якості зубчатого зачеплення доцільніше за все використовувати прямозубу циліндричну передачу.

Складемо кінематичну схему редуктора:

Вихідні дані:

- електродвигун АИР80ВЧУ3;
- потужність $N = 1,5$ кВт;
- кількість обертів електродвигуна $n = 1500$ об/хв;
- діаметр меншого шківу $D_1 = 90$;
- діаметр більшого шківу $D_2 = 225$ мм;
- передатне число пасової передачі $u_1 = 2,5$.

2.3.1. Визначення частот обертання

Визначаємо передатне число редуктора:

$$n = \frac{n_{\text{дв}}}{u}; \quad (2.14)$$

Виходячи з вихідних умов на проєктування кромкообрізного верстату вихідна ланка редуктора повинна мати частоту обертання в межах $n = 200 - 300$ об/хв. Дотримуючись цієї умови складаємо рівняння:

$$u_2 = \frac{n_{\partial\theta}}{u_1 \cdot n_{\text{вх}}} \quad (2.15)$$

Підставляємо значення змінних в рівняння (15) та визначаємо загальне передатне відношення редуктора

$$u_2 = \frac{n_{\partial\theta}}{u_1 \cdot n_{\text{вх}}} = \frac{1500}{2,5 \cdot 200} = 3.$$

Передатне число редуктора $u = 3$

Оскільки передатне число редуктора $u = 3$ має невелике значення, приймаємо для проєктування двоступінчастий редуктор.

Далі розраховуємо кількість обертів вхідного (n_1) і вихідного (n_2) валів редуктора:

Кількість обертів вхідного валу n_1 визначається за формулою

$$n_1 = \frac{n_{\partial\theta}}{u_1}, \quad (2.16)$$

Оскільки всі значення змінних у формулі (16) відомі, розраховуємо частоту:

$$n_1 = \frac{n_{\partial\theta}}{u_1} = \frac{1500}{2,5} = 600 \text{ хв}^{-1};$$

Кількість обертів вхідного валу $n_1 = 600$ об/хв. Частоту обертання вихідного валу n_2 визначається за формулою

$$n_2 = \frac{n_1}{u_2}, \quad 2.(17)$$

Підставивши значення відомих змінних в залежність (2.17), отримаємо значення частоти n_2 :

$$n_2 = \frac{n_1}{u_2} = \frac{600}{3} = 200 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота обертання вихідного валу $n_2 = 200$ об/хв

З відомого значення загального передатного числа редуктора визначаємо кількості зубів зубчастого колеса та ведучої шестірні зубчастої передачі:

$$\frac{z_2}{z_1} = 3,$$

приймаємо:

- $z_1 = 20$;
- $z_2 = 60$.

Для зубчастого колеса та ведучої шестірні приймаємо однакову марку сталі та термообробку:

- сталь 45 ГОСТ1050-90;
- загартування ТВЧ поверхнева 32...38...38 HRCe.

2.3.2. Визначення діаметрів колеса і шестірни

Орієнтоване значення діаметра початкового кола, мм:

$$d_w = K_d \sqrt[3]{\frac{T_{1H} \cdot K_{H\beta} \cdot (u+1)}{\Psi_{bd} \cdot \sigma_{HP}^2 \cdot u}}, \quad (2.18)$$

де K_d – коефіцієнт допоміжний, що характерний для прямозубих передач, визначається як $K_d = 700$ (стор. 363 [21]);

T_{1H} – навантаження, яке визначається як вихідне:

$$T_{1H} = \frac{9550 \cdot N_{эл} \cdot u_1}{n_{дв}}, \quad (2.19)$$

$$T_{1H} = \frac{9550 \cdot N_{эл} \cdot u_1}{n_{дв}} = \frac{9550 \cdot 1,5 \cdot 2,5}{1500} = 23,9 \text{ Нм};$$

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт, який характеризує розділення силового навантаження по вінцю, $K_{H\beta} = 1,03$ (рис. 46, стор. 365 [21]);

Ψ_{bd} – коефіцієнт, який розраховується за залежністю:

$$\Psi_{bd} = \frac{12}{z_1} = \frac{12}{20} = 0,6;$$

σ_{HP} – контактна напруга, що допускається:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{H\lim}}{S_H} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_{HL} \cdot K_{xH}, \quad (2.20)$$

$\sigma_{H\lim}$ – контактна витривалість гранична поверхонь зубів:

$$\sigma_{H\lim} = 1,7 \cdot H_{HRC_3} + 20. \quad (2.21)$$

Згідно табл. 95, стор. 373 [21], розраховуємо

$$\sigma_{H\lim} = 1,7 \cdot 36 + 20 = 81 \text{ кгс/мм}^2 \approx 810 \text{ МПа}$$

S_H – коефіцієнт, що враховує безпеку; $S_H = 1,1$ (табл. 95, стор. 373[21]);

Z_R – коефіцієнт мікронерівностей контактуючих поверхонь зубів, для $Ra = 2,5$, $Z_R = 0,95$ (табл. 95, стор. 373 [21]);

Z_V – коефіцієнт колової швидкості: $Z_V = 1$ (табл. 95, стор. 374 [21]);

K_{XH} – коефіцієнт розміру колеса зубчастого, $K_{XH} = 1$ (табл. 95, стор. 374 [21]);

K_{HL} – коефіцієнт тривалості;

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}, \quad (2.22)$$

N_{HO} – базова кількість циклів зміни напружень,

згідно рис. 48, стор. 365 [21] приймаємо $N_{HO} = 10 \cdot 10^6$

N_{HE} – еквівалентна кількість циклів зміни напружень

згідно рис. 50, стор. 366 [21] приймаємо $N_{HE} = 24 \cdot 10^6$

Якщо $N_{HE} > N_{HO}$, то $K_{HL} = 1$;

Визначивши всі необхідні значення змінних, підставляємо їх у формулу (20):

$$\begin{aligned}\sigma_{HP} &= \frac{\sigma_{H\lim}}{S_H} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_{HL} \cdot K_{HN} = \\ &= \frac{81}{1,1} \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \approx 70 \text{ кгс/мм}^2 \approx 700 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

Аналогічно за формулою (18) визначаємо значення діаметра початкового кола:

$$d_{w_1} = 770 \cdot \sqrt[3]{\frac{23,9 \cdot 1,03}{0,6 \cdot 700^2} \cdot \frac{(3+1)}{3}} = 65,6 \text{ мм}.$$

Діаметр початкового кола $d_{w_1} = 65,6 \text{ мм}$.

2.3.3. Розрахунок значення модуля

Для зубчастих коліс модуль визначимо за формулою

$$m = \frac{d_w}{z_1}, \quad (2.23)$$

Підставимо попередньо розраховані значення у залежність (23)

$$m = \frac{d_w}{z_1} = \frac{65,6}{20} = 3,28 \text{ мм};$$

Необхідно провести розрахунок уточненого значення модуля:

$$m = K_m \cdot \sqrt{\frac{T_{1F} \cdot K_{F\beta}}{Z_1^2 \cdot \Psi_{bd} \cdot \sigma_{FR_1}}} \cdot Y_{F_1}; \quad (2.24)$$

де K_m – коефіцієнт, який для прямозубих передач дорівнює, $K_m = 14$ (стор. 371 [21]);

T_{1F} – вихідне розрахункове навантаження, $T_{1F} = 23,9$ Нм;

$K_{F\beta}$ – коефіцієнт нерівномірності розподілу сили по вінцю, при $\Psi_{bd} = 0,3$; $K_{F\beta} = 1,02$ (рис. 58, стор. 368 [21]);

Y_{F_1} – коефіцієнт, який залежить від форми зуба:

згідно (рис. 59, стор. 369 [21]), приймаємо $Y_{F_1} = 4,08$;

σ_{FR_1} – допустиме вигине напруження;

$$\sigma_{FR_1} = 0,4 \cdot \sigma_{F\limb}^0 \cdot K_{FL}; \quad (2.25)$$

$\sigma_{F\limb}^0$ – базова границя витривалості зубів (табл. 102, стор. 380 [21]);

$$\sigma_{F\limb}^0 = 0,18 \cdot HB;$$

$$\sigma_{F_{limb}}^0 = 0,18 \cdot 200 = 36 \text{ кгс/мм}^2 \approx 360 \text{ МПа};$$

K_{FL} – коефіцієнт довговічності:

згідно (табл. 99, стор. 377 [21]), приймаємо $K_{FL} = 1$;

$$\sigma_{FP_1} = 0,4 \cdot 360 \cdot 1 = 144 \text{ МПа}.$$

Після визначення всіх значень змінних, за формулою (2.24) проводимо розрахунок уточненого значення модуля

$$m = K_m \cdot \sqrt{\frac{T_{1F} \cdot K_{F\beta}}{Z_1^2 \cdot \Psi_{bd} \cdot \sigma_{FP_1}}} \cdot Y_{F_1} = 14 \cdot \sqrt{\frac{23,9 \cdot 1,02}{20^2 \cdot 0,3 \cdot 144}} 4,08 = 3,12 \text{ мм},$$

Приймаємо за ГОСТ9563-60 значення модулю:

$$m = 3 \text{ мм}.$$

Уточнюємо значення діаметра початкового кола за формулою:

$$d_w = m \cdot z,$$

Підставивши значення у формулу, отримаємо

$$d_w = 3 \cdot 20 = 60 \text{ мм}.$$

2.3.4 Витривалість зубчастих коліс на контактах робочих поверхонь

Розрахункова контактна напруга в зачепленні:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{w_{H_1}}{d_{w_1}} \cdot \frac{u+1}{u}} \leq \sigma_{HP}, \quad (2.26)$$

де Z_H — коефіцієнт форми з'єднаних поверхонь зубів:

згідно (рис. 43, стор. 364 [21]) визначаємо $Z_H = 1,76$;

Z_M — коефіцієнт, фізико-механічних властивостей матеріалів зубчастих коліс у контакті:

для сталевих зубчатих коліс згідно (табл. 90, стор. 357[21]) $Z_M = 86,9$;

Z_ε — коефіцієнт для сумарної довжини ліній контакту при коефіцієнті торцевого перекриття $\varepsilon_\alpha = 1,2$:

згідно (рис. 44, стор. 364 [21]), приймаємо $Z_\varepsilon = 0,98$;

w_{H_1} — питома розрахункова колова сила:

$$w_{H_1} = \frac{F_{Ht}}{b_w} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV}, \quad (2.27)$$

де F_{Ht} — вихідна розрахункова колова сила:

$$F_{Ht} = \frac{2000 \cdot T_{1H}}{d_{w1}}; \quad (2.28)$$

оскільки всі необхідні значення змінних відомі, то розраховуємо значення колової сили:

$$F_{Ht} = \frac{2000 \cdot T_{1H}}{d_{w1}} = \frac{2000 \cdot 23,9}{60} = 797 \text{ Н};$$

b_w – ширина вінця:

$$b_w = \psi_{bd} \cdot d_w, \quad (2.29)$$

$$b_w = \psi_{bd} \cdot d_w = 0,6 \cdot 60 = 36 \text{ мм};$$

приймаємо $b_w = 40 \text{ мм}$;

$K_{H\alpha}$ – коефіцієнт, перерозподілу сил між зубами:

у прямозубих передачах $K_{H\alpha} = 1$;

$K_{H\beta}$ – коефіцієнт, що враховує перерозподіл сил по вінцю:

відповідно (рис. 46, стор. 365 [21]), приймаємо $K_{H\beta} = 1,04$.

K_{HV} – коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження, що виникає в зачепленні:

$$K_{HV} = 1 + V_H,$$

де V_H – динамічна добавка:

$$V_H = \frac{w_{HV} \cdot b_w \cdot d_{w_1}}{2000 \cdot T_{1F} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}}, \quad (2.30)$$

де w_{HV} – питома колова динамічна сила,

$$w_{HV} = \delta_H \cdot q_0 \cdot V \cdot \sqrt{\frac{a_w}{u}}, \quad (2.31)$$

де δ_H – коефіцієнт, що враховує впливи появ похибок зачеплення на динамічне навантаження:

згідно (табл. 93, стор. 372 [21]), приймаємо $\delta_H = 0,006$;

q_0 – коефіцієнт, що враховує вплив різниці кроків зачеплення шестірні і колеса:

для модуля $m = 3$ і ступеню точності 8, приймаємо $q_0 = 5,6$;

V – колова швидкість, визначається за формулою

$$V = \frac{\pi \cdot d_{w_1} \cdot n_w}{60 \cdot 1000 \cdot u}; \quad (2.32)$$

Підставивши значення змінних у формулу (32), отримаємо

$$V = \frac{\pi \cdot d_{w_1} \cdot n_w}{60 \cdot 1000 \cdot u} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 600}{60 \cdot 1000 \cdot 3} = 0,75 \text{ м/с};$$

a_w – міжосьова відстань:

$$a_w = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2}, \quad (2.33)$$

$$a_w = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} = \frac{3 \cdot (20 + 60)}{2} = 120 \text{ мм};$$

$$w_{HV} = 0,006 \cdot 5,6 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{\frac{120}{3}} = 0,16 \text{ кгс/мм} = 1,6 \text{ Н/мм};$$

$$V_H = \frac{0,16 \cdot 40 \cdot 60}{2000 \cdot 2,39 \cdot 1 \cdot 1,04} = 0,08;$$

$$K_{HV} = 1 + 0,08 = 1,08;$$

$$w_{H_1} = \frac{797}{40} \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot 1,08 = 22,4 \frac{\text{Н}}{\text{мм}};$$

$$\sigma_H = 1,76 \cdot 86,9 \cdot 0,98 \cdot \sqrt{\frac{22,4}{60} \cdot \frac{3+1}{3}} = 106 \text{ МПа.}$$

Співставивши розрахункове контактне напруження в точці зачеплення $\sigma_H = 106$ МПа с контактним максимальним припустимим напруженням $\sigma_{HP} = 700$ МПа, отримаємо

$$\sigma_H = 106 \text{ МПа} < \sigma_{HP} = 700 \text{ МПа}$$

Умова міцності при $\sigma_H < \sigma_{HP}$ буде виконуватись.

2.3.5 Розрахунок на витривалість зубів при вигині

Значення напруження, що виникають при дії на зубчасті колеса на вигин:

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{W_{Ft}}{m} \leq \sigma_{FP}; \quad (2.34)$$

де Y_F – коефіцієнт форми зуба:

згідно (рис. 59, стор. 369 [21]), приймаємо $Y_F = 4,08$;

Y_ε – коефіцієнт перекриття зубів:

згідно (табл. 98, стор. 376[21]), приймаємо $Y_\varepsilon = 1$;

Y_β – коефіцієнт нахилу зуба,

у прямозубих коліс $Y_\beta = 1$;

w_{Ft} – питома розрахункова колова сила:

$$w_{Ft} = F_{Ft} \cdot \frac{K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV}}{b_w}, \quad (2.35)$$

де $K_{F\alpha}$ – коефіцієнт перерозподілу сил між зубами:

відповідно (табл. 91, стор. 361[21]), приймаємо $K_{F\alpha} = 1$;

$K_{F\beta}$ – коефіцієнт паророзподілу сил по вінцю:

відповідно (рис. 58, стор. 368 [21]), приймаємо $K_{F\beta} = 1,05$;

K_{FV} – коефіцієнт динамічного навантаження в зубчастому зачепленні:

$$K_{FV} = 1 + \frac{w_{FV} \cdot b_w \cdot d_1}{F_{Ft} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\phi}}, \quad (2.36)$$

w_{FV} – питома колова динамічна сила:

$$w_{FV} = 1,6 \frac{H}{мм};$$

$$K_{FV} = 1 + \frac{w_{FV} \cdot b_w \cdot d_1}{F_{Ft} \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\phi}} = 1 + \frac{0,16 \cdot 40 \cdot 60}{797 \cdot 1 \cdot 1,05} = 1,45;$$

$$w_{Ft} = F_{Ft} \cdot \frac{K_{Fa} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV}}{b_w} = 797 \cdot \frac{1 \cdot 1 \cdot 1,45}{40} 29 \text{ МПа};$$

$$\sigma_F = Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \cdot \frac{w_{Ft}}{m} = 4,08 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{29}{3} 39,4 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження на вигин зубів:

$$\sigma_{Fp} = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} \cdot Y_R \cdot Y_S \cdot K_{XF}, \quad (2.37)$$

де $\sigma_{F\lim}$ – гранична витривалість зубів при вигині відповідній базовій кількості циклів:

$$\sigma_{F\lim} = \sigma_{F\lim}^0 \cdot K_{Fg} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL}, \quad (2.38)$$

$\sigma_{F\lim}^0$ – межа зламної витривалості зубів:

$$\sigma_{F\lim}^0 = 36 \text{ кгс} / \text{мм}^2 \approx 360 \text{ МПа};$$

K_{Fg} – коефіцієнт, залежності шліфування перехідної поверхні для зубів ведучих шестірень:

Приймаємо для шліфованих поверхонь $K_{Fg} = 1$;

K_{FC} – коефіцієнт, впливу двобічного прикладення сил:

для двостороннього прикладення навантажень, згідно (табл. 91, стор. 362 [21]) приймаємо $K_{FC} = 1$;

K_{FL} – коефіцієнт тривалості для ведучих шестірень:

згідно (табл. 99, стор. 377 [21]), приймаємо $K_{FL} = 1$;

$$\sigma_{F \lim} = \sigma_{F \lim}^0 \cdot K_{Fg} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL} = 360 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 360 \text{ МПа};$$

Y_R – коефіцієнт мікронерівностей перехідної поверхні:

згідно (табл. 91, стор. 363 [21]), приймаємо $Y_R = 1$;

Y_S – коефіцієнт, градієнту напруги та реагування матеріалу на концентрацію напруг:

згідно (рис. 60 стор. 369 [21]) приймаємо $Y_S = 1$;

S_F – безпековий коефіцієнт для ведучих шестерень:

$$S_F = S_F' \cdot S_F'', \quad (2.39)$$

S_F' – коефіцієнт несталості властивостей матеріалу колеса та зубчастої передачі для ведучих шестерень:

згідно (табл. 102, стор. 380 [21]), приймаємо $S_F' = 1,75$;

S_F'' – коефіцієнт засобу виготовлення заготовки колеса і шестерні:

для штампування: $S_F'' = 1$;

$$S_F = S_F' \cdot S_F'' = 1,75 \cdot 1 = 1,75$$

$$\sigma_{Fp} = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} \cdot Y_R \cdot Y_S \cdot K_{XF} = \frac{360}{1,75} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 206 \text{ МПа}.$$

Таким чином з умови:

$$\sigma_F = 29 \text{ МПа} < \sigma_{Fp} = 206 \text{ МПа},$$

виходить, витривалість зубів при вигині гарантується з ймовірністю неруйнування більш 99%.

2.3.6. Розрахунок розмірів зубчастої передачі

Вихідні дані. Розраховуємо розміри зубчастої передачі.

- кількість зубів ведучої шестерні: $Z_1 = 20$;
- кількість зубів зубчастого колеса: $Z_2 = 60$;
- модуль: $m = 3$ мм;
- кут профілю зуба: $\alpha = 20^\circ$

Розрахунок діаметрів ділільних ведучої шестерні та зубчастого колеса:

$$d_1 = Z_1 \cdot m = 20 \cdot 3 = 60 \text{ мм};$$

$$d_2 = Z_2 \cdot m = 60 \cdot 3 = 180 \text{ мм}.$$

Визначення міжосьової відстані в зачепленні:

$$a = \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot m}{2}, \quad (2.40)$$

$$a = \frac{(Z_1 + Z_2) \cdot m}{2} = \frac{(20 + 60) \cdot 3}{2} = 120 \text{ мм};$$

Визначення діаметрів вершин зубів: $d_a = d + 2 \cdot m$,

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = 60 + 2 \cdot 3 = 66 \text{ мм};$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m = 180 + 2 \cdot 3 = 186 \text{ мм}.$$

Визначення діаметрів западин: $d_f = d - 2 \cdot (c + m)$,

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot (c + m) = 60 - 2 \cdot (0,6 + 3) = 52,8 \text{ мм};$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot (c + m) = 180 - 2 \cdot (0,6 + 3) = 172,8 \text{ мм},$$

де c значення радіального проміжку;

Розрахунок для постійної хорди:

$$S_c = S_{c1} = S_{c2} = 1,387 \cdot 3 = 4,16 \text{ мм};$$

Розрахунок висоти до постійної хорди:

$$h_c = h_{c1} = h_{c2} = 0,748 \cdot 3 = 2,24 \text{ мм}.$$

2.3.7 Розрахунок підшипників редуктора на витривалість

Розраховуємо сили діючі на вал:

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{N_1}{n_1}, \quad (2.41)$$

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{N_1}{n_1} = 9550 \cdot \frac{1,5}{600} = 24 \text{ Нм};$$

$$T_2 = 9550 \cdot \frac{N_2}{n_2}, \quad (2.42)$$

$$T_2 = 9550 \cdot \frac{N_2}{n_2} = 9550 \cdot \frac{1,37}{200} = 72 \text{ Нм}.$$

Розраховуємо колову силу:

$$F_{t_1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_{w_1}} = \frac{2 \cdot 24}{0,06} = 800 \text{ Н};$$

$$F_{t_2} = \frac{2 \cdot T_2}{d_{w_2}} = \frac{2 \cdot 72}{0,18} = 800 \text{ Н}.$$

Розраховуємо радіальну силу:

$$F_{r_1} = F_{t_1} \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 800 \cdot 0,364 = 291 \text{ Н};$$

$$F_{r_2} = F_{t_2} \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 800 \cdot 0,364 = 291 \text{ Н}.$$

Розраховуємо еквівалентні динамічні сили:

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_t) \cdot K_\sigma \cdot K_T, \quad (2.43)$$

де X – радіальний коефіцієнт сил:

приймаємо $X = 0,45$;

Y – коефіцієнт осьових сил:

згідно (табл. 52, стор. 77 [21]), приймаємо $Y = 1,46$;

K_σ – безпековий коефіцієнт:

згідно (табл. 56, стор. 79 [21]), приймаємо $K_\sigma = 1,2$;

K_T – коефіцієнт, тепла праці підшипника:

згідно (табл. 57, стор. 79 [21]), приймаємо $K_T = 1$;

V – обертовий коефіцієнт:

відповідно (стор. 60 [21]) $V = 1$, для внутрішнього кільця обертання стосовно навантаження;

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_t) \cdot K_\sigma \cdot K_T = (0,45 \cdot 1 \cdot 291 + 1,46 \cdot 800) \cdot 1,2 \cdot 1 = 1559 \text{ H}.$$

Розраховуємо динамічну вантажопідйомність за величинами навантажень:

$$C = \frac{f_d}{f_n} \cdot P, \quad (2.44)$$

де f_d – коефіцієнт динамічних сил, з безпечністю та надійністю роботи редуктора:

відповідно (табл. 69, стор. 90 [21]), приймаємо $f_d = 4,5$;

f_n – коефіцієнт кількості обертів:

відповідно (табл. 65, стор. 86 [21]), приймаємо $f_n = 0,382$;

$$C = \frac{f_d}{f_n} \cdot P = \frac{4,5}{0,382} \cdot 1559 = 18365 \text{ Н}.$$

Відповідно до динамічної вантажопідйомності $C = 18365 \text{ Н}$.

Виходячи з умов навантаження, приймаємо однорядний радіальний підшипник типу 60208 легкої серії з розмірами $d \times D \times B = 40 \times 80 \times 18$.

Розраховуємо тривалість роботи підшипника:

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P} \right)^p, \quad (2.45)$$

де p – для кулькових підшипників значення показнику ступеня:

згідно (стор. 82 [21]), приймаємо $p = 3$;

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{c}{p} \right)^p = \frac{10^6}{60 \cdot 600} \left(\frac{18365}{1559} \right)^3 = 45416 \text{ годин}.$$

Довговічність роботи обраного підшипника складає 45416 годин, що цілком достатньо для використання у вузлі верстата.

2.3.8. Розрахунок шпонкового з'єднання

Виконаємо перевірочний розрахунок шпонкового з'єднання, призначеного для фіксації кільця, встановленого на валу, та втулки, змонтованої в отворі зубчастого колеса.

Діаметральний перетин перевіряють як правило на зріз.

Умова міцності діаметрального перетину на зріз:

$$M_{кр} = 0,5 \cdot d \cdot d_1 \cdot \ell \cdot [\tau_{зріз}], \quad (2.46)$$

де d – діаметр заготовки:

$$d = 46 \text{ мм};$$

d_1 – шпонковий діаметр:

$$d_1 = 12 \text{ мм};$$

ℓ – шпонкова довжина:

$$\ell = 84 \text{ мм};$$

$[\tau_{зріз}]$ – напруга, що допускається, на зріз:

$$[\tau_{срез}] = 0,2 \div 0,3 \cdot \sigma_T; \quad (2.47)$$

σ_T – границя текучості при розтяганні:

для сталі 45 $\sigma_T = 353 \text{ МПа}$;

$$[\tau_{срез}] = 0,3 \cdot 353 = 106 \text{ МПа};$$

$$M_{кр} = 0,5 \cdot 4,6 \cdot 1,2 \cdot 8,4 \cdot 10,6 = 246 \text{ кгс} / \text{см} \approx 24,6 \text{ Нм}.$$

На зминання перевіряється умова міцності для бічної поверхні:

$$M_{кр} \approx 0,2 \cdot d \cdot d_1 \cdot \ell \cdot [\sigma_{зм}], \quad (2.48)$$

$[\sigma_{зм}]$ – допустимі напруження на зминання шпонки:

$$[\sigma_{зм}] \approx (0,3 \div 0,5) \cdot \sigma_T \approx 0,5 \cdot 353 = 177 \text{ МПа};$$

$$\begin{aligned} M_{кр} &\approx 0,2 \cdot d \cdot d_1 \cdot l \cdot [\sigma_{зм}] = \\ &= 0,2 \cdot 4,6 \cdot 1,2 \cdot 8,4 \cdot 17,7 = 164 \text{ кгс} / \text{см} \approx 16,4 \text{ Нм}. \end{aligned}$$

За умови виконання зазначених вимог шпонка забезпечує надійну та безвідмовну роботу з'єднання.

Приведені розрахунки дозволяють спроектувати конструкцію основних функціональних вузлів кромкообрізного верстату.

3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ВЕРСТАТА ДЛЯ ОБРОБКИ КРОМОК ТОНКОСТІННИХ ВТУЛОК

3.1. Загальні вихідні дані

Модернізований верстат призначається для обрізання кромки у тонкостінній трубі, що застосовується для виготовлення прокладок, шайб, вилок, труб, а також деталей, що піддаються хіміко-термічній обробці – втулок, пружин, тяг. Метою модернізації конструкції спеціального кромкообрізного верстата, працюючого в напіваавтоматичному режимі, є необхідність запобігання деформації деталі від сил затиску в затискному пристосуванні та від сил різання у процесі обробки. Крім того, необхідно, щоб технологічне обладнання з обраним різальним інструментом не залишало заусенців після обробки на обрізувальних кромках.

В якості бази для порівняння приймаємо верстат моделі 16K20Ф3, на якому проводяться аналогічні операції обрізання кромки. За рахунок застосування у модернізованому верстаті спеціально розроблених конструкції механізованого пристосування та редуктора продуктивність обробки можливо збільшити більше, ніж у 10 разів.

Вихідні техніко-економічні показники базового та проєктного варіантів зведемо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового верстатів

№	Показники	Одиниця виміру	Варіанти	
			базовий	проєкт
1	2	3	4	5
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	100000	100000
2.	Штучний час обробки однієї деталі	хв.	0,19	0,017

Продовження табл. 3.1.

1	2	3	4	5
3.	Площа, яку займає верстат	м ²	5,75	0,77
4.	Встановлена потужність електродвигунів	кВт	11,0	1,5
5.	Категорія ремонтної складності: 1) механічної частини 2) електричної частини	УРО УРО	11 12	6 3
6.	Розряд роботи: а) верстатника б) наладчика	розряд розряд	4 6	3 5
7.	Оптова ціна базового верстата	грн.	958000	—

3.2. Конструкторська підготовка виробництва

Конструкторська підготовка виробництва складається з етапів модернізації верстата. Роботи виконуються в такий послідовності:

Встановлюють етапи конструкторської підготовки виробництва:

- технічне завдання;
- технічна пропозиція;
- ескізний проєкт;
- технічний проєкт;
- робочий проєкт.

Встановлюємо групу новизни та складності проєкту: група новизни – 2, група складності – 2.

Визначаємо кількість деталей, які підлягають розробці, диференціюючи їх за видами. За допомогою коефіцієнтів переводу деталі різних видів переводимо в “умовні деталі”.

Визначаємо трудомісткість технічного і робочого проєктів як добуток відповідної загальної кількості “умовних деталей” на трудомісткість однієї умовної деталі в залежності від групи новизни та складності проєкту:

$$K_m = 44,0 \cdot 2,0 = 88,0 \text{ нормо-год.}$$

$$K_p = 46,25 \cdot 2,6 = 120,25 \text{ нормо-год.}$$

Визначаємо трудомісткість технічного завдання, технічної пропозиції, ескізного проєкту відповідно до групи новизни і складності проєкту.

За даним трудомісткості робіт конструкторської підготовки виробництва, розроблюємо сітьовий графік, який дозволяє організувати процес проєктування так, щоб виконати його в найкоротший термін. Оскільки розрахунки сітьового графіку відносяться до організаційно-планових, доцільно винести їх в окремий розділ після закінчення економічного обґрунтування процесу модернізації.

Після визначення трудомісткості робіт розраховуємо витрати на конструкторську підготовку виробництва.

Усі отримані результати зводимо до табл. 3. 2

Таблиця 3.2.

Результати розрахунків трудомісткості та витрат конструкторської підготовки виробництва

№	Показники та етапи робіт	Одиниця виміру	Технічне завдання	Технічна пропозиція	Ескізний проєкт	Технічний проєкт	Робочий проєкт	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Група новизни	грн.	II					II
2	Група складності	грн.	II					II
3	Кількість деталей × коефіцієнт переводу в “умовні деталі”:							
	а) корпусних масою більше 100 кг					1×5	1×10	
	б) литих і зварних, які не є корпусними					2×2	2×4	
	в) оригінальних, які не є литими та корпусними					38×1,0	38×1,0	
	г) застосовані з іншого виробу					8×0,5	8×0,2	
	д) стандартні нормалізовані					150×0,15	150×0,15	
	е) покупні деталі та вироби	шт.				5×0,5	5×0,15	

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Кількість умовних деталей	шт.				76,0	80,85	
5	Норма на умовну деталь	н-год.				2,0	2,6	
6	Трудомісткість виконання етапу робіт	н-год.	16	28	24	88,0	120,25	
7	Доробка електросхеми	н-год.					18	
8	Доробка гідросхеми	н-год.					16	
9	Загальна трудомісткість	н-год.	16	28	24	88,0	244,21	
10	Середньогодинна заробітна плата конструктора	грн./год	26,91	24,4	23,18	23,48	21,59	
11	Зарплата основна (З _о)	рн.	430,6	683,20	556,32	2066,24	5272,49	9008,81
12	Зарплата додаткова (З _д): 10 % від З _о	грн.	43,06	68,32	55,63	206,62	527,25	900,88
13	Єдиний соціальний внесок: 22,0% від (З _о +З _д)	грн.	104,2	165,33	134,63	500,03	1275,94	2180,13
14	Витрати на відрядження: 5% від З _о	грн.	21,53	34,16	27,82	103,31	263,62	450,44
15	Накладні витрати: 45% від З _о	грн.	193,8	307,44	250,34	929,81	2372,62	4053,97
16	Всього вартість проекту (В _{пк})	грн.	793,1	1258,45	1024,74	3806,01	9711,93	16600,0

3.3. Технологічна підготовка виробництва

Технологічну підготовку виробництва здійснюємо відповідно до вимог “Єдиної системи технологічної підготовки виробництва”, яка встановлює такі етапи:

- технологічний контроль креслень, їх розмноження та налагодження;
- розробка техпроцесів:
 - а) виготовлень деталей;
 - б) складання вузлів;
- конструювання спеціального оснащення та нестандартних засобів механізації та автоматизації;
- виготовлення спеціального оснащення та нестандартних засобів механізації та автоматизації;
- перепланування та переустановлення обладнання.

Трудомісткість технологічної підготовки виробництва виконуємо в такій послідовності.

1) В залежності від кількості деталей та вузлів різної технологічної складності, враховуючи диференційні норми часу, визначаємо трудомісткість проєктування технологічних процесів виготовлення деталей та складання вузлів .

2) Трудомісткість останніх етапів робіт технологічної підготовки виробництва визначаємо в процентах від трудомісткості проєктування технологічних процесів обробки деталей та складання вузлів.

Після визначення трудомісткості виконання етапів робіт з технологічної підготовки виробництва визначають вартість проєкту B_m .

Всі розрахунки зводимо до табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Витрати на технологічну підготовку

№ з/п	Показники та етапи робіт	Одиниця	Кількість	Кількість н-год на один.	Загальна кількість н-год.	Середньогодинна зарплата грн/год	Зарплата основна Z_o грн.	Зарплата додаткова Z_d грн.: (10% Z_o)	Єдиний соціальн. внесок грн. (37% $Z_o + Z_d$)	Накладні витрати, грн.: 65% від Z_o	Загальна сума, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Технологічний контроль креслень, їх відладка та розмноження	нормо-год.			27,5	25,22	693,55	69,36	167,84	450,81	1381,55
2	Розробка техпроцесів виготовлення деталей: а) загальна кількість деталей б) в т.ч. за групами технологічної складності:	шт.	41		522,0		9907,74	990,77	2397,67	6935,42	20231,6
	I		6	4,5	27,0	15,79	426,33				
	II		15	9,0	135,0	15,79	2131,65				
	III		18	17,0	306,0	19,96	6107,76				
	IV		2	27,0	54,0	23	1242,00				

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	Розробка техпроцесів складання вузлів:										
	а) загальна кількість вузлів	шт.	3		33		570,84	57,08	138,14	399,58	1165,65
	б) в т.ч. за групами техн. складності:										
	II		1	5,6	5,6	15,79	88,42				
	III		1	12,5	12,5	15,79	197,38				
	IV		1	14,9	14,9	19,13	285,04				
4	Спеціальне оснащення та нестандартні засоби механізації та автоматизації:	нормо-год.									
	а) проєктування				54,67	19,96	1091,21	109,12	264,07	763,85	2228,26
	б) виготовлення				29,44	15,79	464,86	46,49	112,50	604,31	1228,15
5	Інші витрати	грн			44,8	15,79	707,39	70,74	171,19	495,17	1444,49
6	Всього вартість проєкту В _т	грн			711,41		13435,59	1343,56	3251,41	9649,15	27680,0

3.4. Визначення витрат на модернізацію верстата

Трудовітність модернізації верстата (T_o) визначаємо в нормо-годинах за формулою:

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (3.1)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

$T_l, T_k, T_z, T_m, T_{м}, T_c, T_f$, – трудовітність ливарних, ковальсько-штампувальних, зварювально-заготівельних, механічних, термічних, слюсарсько-складальних, фарбувальних, та інших робіт.

Після визначення трудомісткості виготовлення вузлів, які виготовляються при модернізації, визначаємо:

- основну заробітну плату виробничих робітників за формулою:

$$З_{op} = \sum C_{r(i)} \cdot T_{(i)}, \quad (3.2)$$

де $C_{r(i)}$ – середньогодинна тарифна ставка робітників, які виконують i -тий вид робіт, з урахуванням шкідливих умов праці, грн. Наприклад, для ливарних робіт:

$$З_{op} = 37,8 \cdot 31,00 = 1171,80 \text{ грн.}$$

- витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_o = \sum \left(З_{op(i)} \cdot \frac{П_{eo(i)}}{100} \right), \quad (3.3)$$

де $П_{eo(i)}$ – відсоток витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією. Наприклад, для ливарних робіт:

$$B_o = 1171,80 \cdot \frac{230}{100} = 2695,14 \text{ грн.}$$

- цехові витрати:

$$K_{цех} = \sum \left(З_{op(i)} \cdot \frac{П_{ce(i)}}{100} \right), \quad (3.4)$$

де $П_{ce}$ – відсоток цехових витрат по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією. Наприклад, для ливарних робіт:

$$K_{цех} = 1171,80 \cdot \frac{142}{100} = 1663,96 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконані розрахунки для інших робіт зводимо до табл. 3.4.

Таблиця 3.4.

Трудовіткість та окремі види витрат, включені до собівартості модернізації

Види робіт	Трудовіткість робіт н-год.	Середній розряд	Середньо- годинна тарифна ставка робітників грн./год.	Основна заробітна плата робітників в $Z_{ор}$, грн.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, B_o		Цехові витрати $K_{цех}$	
					%	грн.	%	грн.
Ливарні та зварювальні	37,8	3	31,00	1171,80	230	2695,14	142	1663,96
Механічні	192,7	4	27,77	5351,28	240	12843,07	132	7063,69
Термічні	18,4	3	31,00	570,40	260	1483,04	150	855,60
Гальванічні	26,8	3	27,99	750,13	280	2100,37	150	1125,20
Слюсарсько-складальні	76,3	4	27,77	2118,85	210	4449,59	142	3008,77
Фарбувальні	0,5	2	22,01	11,01	110	12,11	120	13,21
Інші	7,8	3	25,00	195,00	220	429,00	140	273,00
Всього	360,3	-	-	10168,47	-	24012,31	-	14003,42

Повну собівартість модернізації верстата розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних та звітних калькуляцій базової конструкції. Розрахунок виконуємо за формулою, а результати зводимо до табл. 3.6:

$$C_{вир}^{мод} = M_o + M_d + П_n + T_с - B_{зв} + П_{tex} + E_{tex} + \\ Z_{op} + Z_{op} + B_c + Z_{цп} + B_o + K_{цех} + K_{зав} + B_{in}$$

де M_o , M_d – витрати на основні та допоміжні матеріали (їх розрахунок зведено до табл. 3.5), грн.;

P_n – покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств, грн.;

$B_{зв}$ – зворотні відходи, які реалізуються (віднімаються), грн.;

T_v – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

E_{tex}, P_{tex} – енергія та паливо на технологічні цілі, грн.

Z_{dp} – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

B_c – єдиний соціальний внесок, грн.;

$Z_{цп}$ – відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати, грн.;

$K_{зав}$ – загальнозаводські витрат, грн.;

$B_{ин}$ – інші виробничі витрати, грн.

Таблиця 3.5.

Склад матеріальних витрат на модернізацію верстата

№ п/ п	Матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби	Одини ця	Витрати (шт., кг)	Ціна, грн.	Витрати на виріб, грн.
<i><u>I. Основні матеріали</u></i>					
1.	Сталь 40	кг	34,0	14,96	508,64
2.	Сталь 45	кг	58,0	15,10	875,80
3.	Сталь 3	кг	92,0	13,67	1257,64
4.	Інші матеріали	кг			342,62
Всього основних матеріалів					2984,70
<i><u>II. Покупні комплектуючі вироби</u></i>					
1.	Прокладка	шт.	1	12,40	12,40
2.	Метизи	кг	24,8	37,50	930,00
3.	Електродвигун	шт.	1	1720,00	1720,00
4.	Інші покупні вироби				1216,00
Всього покупних комплектуючих					3878,40

Таблиця 3.6

Собівартість модернізації верстату

№ п.п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн.
1.	Матеріали основні	M_o	табл. 5	2984,70
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	119,39
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств	P_n	табл. 5	3878,40
4.	Зворотні відходи	$-B_{зв}$	6% від M_o	179,08
5.	Транспортно-заготівельні витрати	T_v	5% від $(M_o + M_d + P_n)$	279,30
6.	Паливо та енергія на технологічні цілі	P_{tex}, E_{tex}	59,8% від $З_{op}$	6080,74
7.	Всього матеріальні витрати			13163,45
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{op}$	табл. 4	10168,47
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{dp}$	10% від $З_{op}$	1016,85
10.	Відрахування в фонд соціального страхування	B_{cc}	22,0% від $(З_{op} + З_{dp})$	2460,77
11.	Відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення	$З_{yn}$	12,2% від $З_{op}$	1240,55
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 4	24012,31
13.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 4	14003,42
14.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	221% від $З_{op}$	22472,31
15.	Інші виробничі витрати	B_{in}	3,4% від $З_{op}$	345,73
16.	Виробнича собівартість	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	88883,85
17.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1% від $C_{вир}$	888,84
18.	Повна собівартість модернізації верстата	$C_{пов}^{мод}$	$C_{вир} + K_{пв}$	89770,0

3.5. Розрахунок собівартості та оптової ціни модернізованого верстата

Повну собівартість модернізованого верстата розраховуємо за формулою:

$$C_{нов}^н = C_{нов}^б - C_{ан} + C_{нов}^{мод}, \quad (3.5)$$

де $C_{нов}^б$ – повна собівартість базового верстата, грн.;

$C_{ан}$ – собівартість анульованих деталей та вузлів, грн.;

$C_{нов}^{мод}$ – повна собівартість модернізації верстата, грн.

$$C_{нов}^н = 128900 - 3320 + 89770 = 215350 \text{ грн.}$$

Оптову ціну модернізованого верстата розраховуємо за формулою:

$$\Pi_{онт} = C_{нов} + \Pi_n \quad (3.6)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_n = \frac{P_{пр} \cdot C_{нов}}{100}, \quad (3.7)$$

де $P_{пр}$ – рентабельність виробництва верстата, %.

$$\Pi_n = \frac{20 \cdot 215350}{100} = 43070 \text{ грн.}$$

$$\Pi_{онт} = 215350 + 43070 = 258420 \text{ грн.}$$

3.6. Визначення експлуатаційних витрат в розрахунку на одиницю продукції

Розрахунки виконуємо за формулою, грн./шт.:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_{(i)} \quad (3.8)$$

де $B_{мо}$ – витрати на основні матеріали (не розраховуємо тому, що вони однакові, як в базовому так і в проєктному варіанті), грн.;

B_3 – витрати на заробітну плату основну, додаткову та єдиний соціальний внесок основних робітників, грн.;

$B_{ел}$ – витрати на силову електроенергію, грн.;

$B_{ом}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_{ip} – витрати на експлуатацію ріжучого інструменту, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

B_{yn} – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.;

Витрати на заробітну плату:

$$B_3 = C_z \cdot \frac{T_{нор}}{60} \cdot (1 + K_o)(1 + K_c), \quad (3.9)$$

де $T_{нор}$ – час обробки деталі, хв.;

K_o, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та єдиного соціального внеску відповідно.

У базовому варіанті:

$$B_3^6 = 28,348 \cdot \frac{0,19}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 0,1353 \text{ грн.}$$

В проєктному варіанті:

$$B_3^п = 25,00 \cdot \frac{0,017}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 0,0107 \text{ грн.};$$

Витрати на електроенергію силову, грн.:

$$B_{ел} = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_{\partial}}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{нор}}{60} \cdot \Pi_{ел}, \quad (3.10)$$

де N_{ϵ} – встановлена потужність електродвигунів верстата, кВт.;

$K_o = 0,65 \dots 0,8$ – коефіцієнти одночасної роботи моторів;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю;

$K_\delta=0,3\dots0,5$ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом;

$\eta_m=0,86\dots0,9$ – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів;

$\eta_c=0,92\dots0,96$ – коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії в мережі підприємства;

$U_{ел}$ – ціна 1 кВт-г силової електроенергії, грн.

$$B_{ел}^6 = \frac{11 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,94} \cdot \frac{0,19}{60} \cdot 2,007 = 0,0164 \text{ грн.}$$

$$B_{ел}^п = \frac{1,5 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,94} \cdot \frac{0,017}{60} \cdot 2,007 = 0,0002 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали, грн.:

$$B_{\partial m} = \frac{M_{зв} \cdot R_m \cdot T_{нор}}{60 \cdot 100} \cdot K_n, \quad (3.11)$$

де $M_{зв}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп.

R_m – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО;

K_n – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_n=1,0$)

$$B_{\partial m}^6 = \frac{28,5 \cdot 11 \cdot 0,19}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,0099 \text{ грн.}$$

$$B_{\partial m}^п = \frac{28,5 \cdot 6 \cdot 0,017}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,0005 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання, грн.:

$$B_p = \frac{R_m \cdot P_{вн} + R_e \cdot P_{вс}}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (3.12)$$

де $P_{вм}$, $P_{вс}$ – відповідно річні витрати на всі види ремонту на одну категорію ремонтної складності механічної та електричної частин верстата, грн/рік.;

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного типа виробництва приймаємо – 3950 год.)

$$B_p^6 = \frac{11 \cdot 490 + 12 \cdot 215}{3950} \cdot \frac{0,19}{60} = 0,0064 \text{ грн.}$$

$$B_p^п = \frac{6 \cdot 490 + 3 \cdot 215}{3950} \cdot \frac{0,017}{60} = 0,0003 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання площі, грн.:

$$B_n = \frac{F_o \cdot K_f \cdot C}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (3.13)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

K_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу;

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м² виробничого приміщення, грн/м².

$$B_n^6 = \frac{5,75 \cdot 2,5 \cdot 280}{3950} \cdot \frac{0,19}{60} = 0,0032 \text{ грн.}$$

$$B_n^п = \frac{0,77 \cdot 4,0 \cdot 280}{3950} \cdot \frac{0,017}{60} = 0,0001 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію верстата, грн.:

$$B_a = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a}{F_{дрм} \cdot 100} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \text{ грн.} \quad (3.14)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{бал}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знайдемо за формулою:

$$\Phi_{бал} = C_{опт} \cdot (1 + K_{тр} + K_m + K_{\Phi}), \quad (3.15)$$

де $C_{опт}$ – оптова ціна верстата, грн.;

$K_{тр}$, K_m , K_{Φ} – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

$$\Phi_{бал}^6 = 958000 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 1140020 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{бал}^H = 258420 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 307520 \text{ грн.}$$

$$B_a^6 = \frac{1140020 \cdot 15}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{0,19}{60} = 0,1371 \text{ грн.}$$

$$B_a^H = \frac{307520 \cdot 15}{3950 \cdot 100} \cdot \frac{0,017}{60} = 0,0033 \text{ грн.}$$

Виконані розрахунки зводимо до табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне позначення	Варіанти	
			Базовий	Проект
1.	Заробітна плата оператора основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	B_z	0,1353	0,0107
2.	Силовa електроенергія	$B_{ел}$	0,0164	0,0002
3.	Допоміжні матеріали	$B_{\Delta m}$	0,0099	0,0005
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,0064	0,0003
5.	Утримання приміщення	B_{yn}	0,0032	0,0001
6.	Амортизація обладнання	B_a	0,1371	0,0033
7.	Загальна сума	B_e	0,3083	0,0150

3.7. Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект, який отримає виробник верстата, розраховуємо за формулою:

$$E_{pv} = (\Pi_{\text{опт}}^H - C_{\text{пов}}^H) \cdot \Pi_B - E_H \cdot K_B, \quad (3.16)$$

де $\Pi_{\text{опт}}^H, C_{\text{пов}}^H$ – відповідно оптова ціна та повна собівартість нового верстата, грн.;

Π_B – програма виробництва верстатів, шт./рік;

E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($E_H=0,16$);

K_B – капітальні витрати у виробника верстату, що включають витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва нового (модернізованого) верстата, грн.

$$K_B = B_{nk} + B_m = 16600 + 27680 = 44280 \text{ грн.}$$

$$E_{pv} = (258420 - 215350) \cdot 1 - 0,16 \cdot 44280 = 36000 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект, який отримує підприємство-споживач, розраховуємо за формулою:

$$E_{p.cn} = (B_e^{\delta} - B_e^n) \cdot N_{\delta} - E_H \cdot K_{cn}, \quad (3.17)$$

де B_e^{δ}, B_e^n – експлуатаційні витрати (собівартість обробки), на одну деталь відповідно в базовому та проєктному варіантах, грн./шт.;

N_{δ} – програма випуску деталей, шт./рік;

K_{cn} – додаткові капітальні вкладення у споживача, грн.:

$$K_{cn} = \Phi_{\bar{\alpha}l}^n \cdot Q_n - \Phi_{\bar{\alpha}l}^{\bar{\alpha}} \cdot Q_{\bar{\alpha}} \quad (3.18)$$

де Q_n , $Q_{\bar{\alpha}}$ – потреба у верстатах відповідно в проєктному і базовому варіантах:

$$Q = \frac{N_{\partial} \cdot T_{нор.}}{F_{\partial pm} \cdot 60 \cdot K_{\bar{\alpha}n}}, \quad (3.19)$$

де $K_{\bar{\alpha}n}$ – коефіцієнт виконання норм часу ($K_{\bar{\alpha}n}=1,01-1,06$).

$$Q_n = \frac{100000 \cdot 0,017}{3950 \cdot 60 \cdot 1,06} = 0,01.$$

Отже, для виконання виробничої програми випуску деталей потрібно один верстат як у базовому, так і в проєктному варіантах.

$$K_{cn} = 307520 \cdot 1 - 1140020 \cdot 1 = -832500 \text{ грн.}$$

$$E_{p.cn} = (0,3083 - 0,0150) \cdot 100000 - 0,16 \cdot (-832500) = 162500 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника:

$$T_{ок}^B = \frac{K_B}{(\Pi_{опт}^H - C_{пов}^H) \cdot \Pi_B} = \frac{44280}{43070} = 1,0 \text{ р.}$$

У підсумку складемо зведену таблицю техніко-економічних показників проєкту (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проєктного верстатів

№ п/ п	Показники	Оди- ниця	Варіанти		Зміна % (+,-)
			Базовий	Проєкт	
1.	Програма виробництва верстатів	шт./рік		1	—
2.	Річний обсяг виробництва деталей	шт.	100000	100000	—
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	0,19	0,017	-91,1
4.	Потреба у верстатах для виконання річної програми випуску деталей	шт.	1	1	—
5.	Коефіцієнт завантаження верстата	η	0,08	0,01	-87,5
6.	Оптова ціна верстата	грн.	958000	258420	-73,0
7.	Повна собівартість модернізації верстата	грн.	—	89770	—
8.	Балансова вартість верстата	грн.	1140020	307520	-73,0
9.	Собівартість обробки деталі із застосуванням верстата	грн.	0,308	0,015	-95,1
10	Капітальні витрати на конструкторську і технологічну підготовку виробництва	грн.	—	44280	—
11	Строк окупності додаткових капітальних витрат:				
	— у виробника	років	—	1,0	—
	— у споживача	років	—	—	—
12	Річний економічний ефект:				
	— у виробника	грн.	—	36000	—
	— у споживача	грн.	—	162500	—

ВИСНОВКИ

Методом роботи було забезпечити обробку деталей типу тонкостінної труби, а саме обрізання кромки в тонкостінній трубі. Розрізання матеріалу проводять двома різними методами: матеріал, що розрізається, нерухомий, різальний інструмент рухається; матеріал, що розрізається, обертається, а інструмент має тільки рух подачі.

За першим методом працюють відрізні верстати з круглими пилами, ножівкові верстати, стрічкові пили, абразивні пили, електропили і т.п. За другим – токарно-відрізні верстати й автомати. Для різання порожніх заготовок застосовують відрізні верстати токарного типу. Верстати цього типу бувають однорізцевими і двохрізцевими. Матеріал пропускають через порожній шпиндель і затискають у патроні.

На основі проведеного аналізу існуючого обладнання, призначеного для відрізання та кромкообрізання, враховуючи особливості заготовки – тонкостінної труби, та необхідність забезпечити якісну високопродуктивну обробку обирали конструкцію спеціального кромкообрізного верстату.

Верстат даної конструкції дозволить провести обрізання кромки з заготовки, не деформувавши деталь в процесі обрізання. За рахунок використання спеціального затискного пристрою.

Пристрій для затиску деталі у верстаті призначено для базування і закріплення деталі типу труба на кромкообрізному верстаті. З метою забезпечення дотримання встановлених вимог і технологічних умов під час обрізання кромки труби було виконано силовий розрахунок пристрою. Крім того проведені проєктувальні розрахунки клинопасової передачі кромкообрізного верстату, редуктора кромкообрізного верстату.

Виконані у роботі розрахунки дозволили спроектувати конструкцію основних функціональних вузлів кромкообрізного верстату та розробити його конструкцію. Розрахований економічний ефект від впровадження кромкообрізного верстату на операції обрізання кромки, підтвержив доцільність його модернізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor. Частина I : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» / В. М. Гейчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 394 с.
2. Яковенко І. Е. Технологічна оснастка. Розрахунки. Проектування : навч. посібник / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2024. – 232 с.
3. Кукляк М. Л. Металорізальні інструменти. Проектування / М. Л. Кукляк, І. С. Афтаназів, І. І. Юрчишин. – Львів : Львівська політехніка, 2003. – 556 с.
4. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навчал. закладів] / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, А. І. Грабченко та ін. ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 5-е вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2025. – 457 с.
5. Булига Ю. В. Основи інструментального виробництва : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Ю. В. Булига, А. В. Слабкий – Вінниця: ВНТУ, 2018. (PDF, 149 с.)
6. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування: Навчальний посібник – Львів: «Новий світ – 2000», 2009.– 358 с.
- 7 Мовчин В.Н. Технология производства измерительных инструментов и приборов /В.Н.Мовчин, Г.М.Михайлов.– М.: Машиностроение, 1980.– 360 с.
- 8 Батенчук, А. Н. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов / А.Н. Батенчук. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Стройиздат, 1971.– 304 с.

9 Технологія машинобудування : навчальний посібник для студ. спец. : 133 «Галузеве машинобудування», 015 «Професійна освіта (машинобудування)» та 131 «Прикладна механіка» / І. І. Назаренко, М. М. Ручинський, О. П. Дєдов, Є. О. Міщук. - Київ : Ямчинський О. В., 2024. - 164 с. - Бібліогр. : с. 162 - 163.

10. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.1. Проектирование станков: Под. общ. ред. А.С. Проникова.– М.: Машиностроение, 1994.– 444 с.

11. Рубинович Л.Д. Изготовление и монтаж трубопроводов и охлаждающих приборов холодильных установок (Справочное руководство) / 2-е издание, переработанное и дополненное.– М: „Пищевая промышленность”, 1970.– 416 с.

12. Руденко П.А. и др. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. / Учеб. пособие /Под общ ред. В. М. Плескача. – К.: Выща шк., 1991. – 247 с.

13. Мельников Н.Ф. Технология машиностроения / Н. Ф. Мельников, Б. Н. Бристолю, В. И. Дементьев. Изд. 2-е переработанное и дополненное.– М.: «Машиностроение», 1977.– 328 с.

14. Николаевский Е.Я., Смерлин С.Л. Справочник по специальным работам. «Технологические трубопроводы промышленных предприятий», часть 2, М., Стройиздат, 1972.– 887 с.

15. Петко І. В. Розрахунок та конструювання електромеханічних пристроїв : навчальний посібник / І. В. Петко, М. Й. Бондаренко, В. В. Кострицький. – К. : КНУТД, 2016. – 328 с.

16. Зубовецька Н. Т. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструментів: електронний посібник з дисципліни / Н. Т. Зубовецька – Луцьк: ЛНТУ, 2018. Режим доступу до ресурсу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%97%D1%83%D0%B1%

D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B0%20%D0%9D/index.html

17. Сторожев М.В. Ковка и объемная штамповка стали / Справочник. Том 1. Издание 2-е, переработанное. М.: Машиностроение, 1973.– 436 с.
18. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонетики).– М.: Машиностроение, 1978.– 208 с.
19. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1.– 8 изд. перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой.– М.: Машиностроение, 2001 г.– 920 с.
20. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2.– 8 изд. перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой.– М.: Машиностроение, 2001 г.– 912 с.
21. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1.– 8 изд. перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой.– М.: Машиностроение, 2001 г.– 864 с.
22. Бисров Р.И. “Краткий справочник конструктора”. Л: Машиностроение, 1984. – 464 с.
23. “Справочник технолога – машиностроителя”, в двух т.; Т1, Т2, под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, 4-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985.- 496с., Т1 – 656С., т2 – 496с.
24. Горошкин А.К.”Приспособление для металлорежущих станков”: 7 – е издание перераб и доп. М.: Машиностроение, 1979, - 303с.
25. “Подшипники качения”: Справочник. Под. Ред. В.Н. Нарышкина, Р В. Корташевского. М.: Машиностроение. 1984. – 220 с.
26. Посібник з дисципліни «Проектування машинобудівних виробництв» для здобувачів освітнього рівня магістр за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / Укладачі: Комар Р.В., Барановський В.М., Окіпний

І.Б. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. –140 с.

27. Приходько, В. П. Розроблення та розрахунок конструкцій верстатних пристроїв : навч. посіб. / В. П. Приходько. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 89 с.

28. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов.– Мн. Выш. шк., 1991.– 382 с

29. Малярчук, А. О. Конструювання та розрахунок металорізальних верстатів. Курсове проектування. Частина 1: навчальний посібник / А. О. Малярчук. – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 119 с.

30. Малярчук, А. О. Конструювання та розрахунок металорізальних верстатів. Курсове проектування. Частина 2: навчальний посібник / А. О. Малярчук. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 133 с.

31. Розрахунок та конструювання верстатів та верстатного обладнання. Методичні вказівки до курсового проектування для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” освітньо-професійної програми “Галузеве машинобудування”/ Укл.: Кальченко В.В., Пасов Г.В., Кологойда А.В.– Чернігів: НУ “Чернігівська політехніка”, 2023. – 59 с.

32. Бочков В.М., Сілін Р. І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник / За ред. Сіліна Р.І.– Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008.– 448 с.

33. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т.1. Проектирование станков: Под. общ. ред. А.С. Проникова.– М.: Машиностроение, 1994.– 444 с.

34. Точность, надежность и производительность металлорежущих станков / Г.Д. Григорян, С.А. Зелинский, Г.А. Оборский. – К.: Техніка, 1991.– 221 с.
35. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студ. высш. техн. учебн. заведений.– 5-е изд., перераб.– М.: Высш. шк., 1991.– 383 с.
36. Сопротивление материалов / Под ред. Писаренко Г.С.– 5-е изд., перераб. и доп.– К.: Вища шк., 1986.– 775 с.
37. Расчет экономической эффективности новой техники. Справочник/ Под ред. К.М. Великанова.– Л.: Машиностроение, 1975.– 432 с.
38. Економічні та організаційно-планові розрахунки при розробці нових виробів. Навчальне видання / Укладачі: Скляренко І.В., Лебедєва Л.В., Романюк Л.М.– Кіровоград: КДТУ, 2001.– 36 с.
39. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник – 2-е изд./ Под ред. К.М. Великанова.– Л.: Машиностроение, 1990 г.
40. Журило, І. В. Конкурентоспроможність нової продукції промислово-виробничого призначення: теоретичні аспекти, методика прогнозування та забезпечення : монографія / І. В. Журило. - Кіровоград : Мавік, 2007. - 186 с.
41. Сітьові методи в плануванні та організації виробництва./ Укл. В.М. Глух, І.В. Скляренко, Л.М. Романюк,– Кіровоград, КІСМ, 1998 р.
42. Економічні та організаційно-планові розрахунки при обґрунтуванні доцільності розробки нових виробів //Укладачі: Журило І.В., Полтавець М.М. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017.- 40 с.