

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація шпиндельного вузла вертикально-свердлильного
верстата для підвищення точності обробки отворів у деталі
«Пуансон 0609-5154/003»

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МВ-41
спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Іван БАГЛАЙ
(прізвище та ініціали)

Керівник Володимир КРУПА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Володимир КОБЕЛЬНИК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Володимир КРУПА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Баглай Іван Степанович. Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: Модернізація шпиндельного вузла радіально-свердлильного верстата для підвищення точності обробки отворів у деталі «Пуансон 0609-5154/003».

У роботі проведено аналіз та технічний опис базової моделі верстата, а також конструкцій та характеристик верстатів аналогічного призначення. Здійснено аналіз граничних режимів різання. Визначено службове призначення деталі та обґрунтовано вибір матеріалу. Розроблено маршрут технологічного процесу та карту операційних технологій. Вибрано верстатно-інструментальне оснащення. Проведено аналіз конструкції шпиндельного вузла та виконано конструкторський розрахунок модернізованого вузла.

Ключові слова: радіально-свердлильний верстат, пуансон, прес-форма, технологічний процес, шпиндельний вузол, модернізація, режими різання.

SUMMARY

Bahlai Ivan. Bachelor's qualification work on the topic: Modernization of the spindle unit of a radial drilling machine to improve the accuracy of hole machining in the part «Punch 0609-5154/003».

The work includes an analysis and technical description of the base machine model as well as the designs and characteristics of analogous machines. The limiting cutting conditions are analysed. The functional designation of the part is determined and the material selection is substantiated. The technological process route and operational technology maps are developed. Machine tool and tooling equipment are selected. The design of the spindle unit is analysed and design calculations of the modernised unit are carried out.

Keywords: radial drilling machine, punch, injection mould, technological process, spindle unit, modernisation, cutting conditions.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1. Аналіз базової моделі верстата	8
1.1.1. Призначення та сфера застосування радіально-свердлильних верстатів	8
1.1.2. Конструкція та характеристики верстата	9
1.1.3. Складові частини верстата.....	12
1.2. Службове призначення та характеристика деталі та аналіз	18
1.3. Вибір типу виробництва та заготовки	19
1.4. Аналіз технічних умов на оброблювану деталь	21
1.5. Висновки по розділу, постановка мети та завдань кваліфікаційної роботи	21
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	24
2.1. Характеристика матеріалу деталі.....	24
2.2. Розробка маршрутного технологічного процесу.....	24
2.3. Розробка операційної технології.....	26
2.4. Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту	27
2.5. Створення керуючої програми для фрезерної обробки	29
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1. Аналіз вихідних даних	34
3.2. Опис конструкції шпиндельного вузла верстата 2Н55	37
3.3. Аналіз існуючих підшипникових опор шпиндельного вузла	38
3.4. Обґрунтування необхідності модернізації підшипникових опор	39
3.5. Вибір підшипників для модернізованого шпиндельного вузла.....	41
3.5.1. Вимоги до підшипників шпиндельних вузлів металорізальних верстатів	41
3.5.2. Варіанти підшипників для передньої опори	41

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Зміст	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.							
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.					<i>ТНТУ, ФМТ, МВ-41</i>		
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.							

3.5.3. Варіанти підшипників для задньої опори	43
3.6. Розрахунок підшипникових опор	46
3.6.1. Визначення навантажень на підшипникові опори шпинделя ...	46
3.6.2. Розрахунок довговічності підшипників	47
3.7. Автоматизований розрахунок шпинделя	49
3.8. Висновки по розділу	52
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	53
4.1. Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування»	53
4.2. Заходи безпеки при обслуговуванні верстата, установки, механізму ..	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ВСТУП

Радіально-свердлильні верстати широко застосовуються в машинобудуванні для обробки отворів у великогабаритних корпусних деталях. Завдяки можливості переміщення свердлильної головки вздовж рукава такі верстати є універсальними та забезпечують виконання свердління, розсвердлювання, зенкерування, розвертання та нарізання різьби без переустановлення деталі.

Одним із відповідальних виробів, що виготовляються із застосуванням такого верстата, є пуансон — формоутворюючі елементи прес-форми. Точність його виготовлення безпосередньо визначає якість кінцевої продукції, отриманої литтям під тиском, тому розробка раціонального технологічного процесу є важливим практичним завданням.

Мета роботи: розробити технологічний процес виготовлення деталі «Пуансон 0609-5154/003» та обґрунтувати технічні рішення з модернізації шпиндельного вузла радіально-свердлильного верстата 2Н55.

Основні завдання:

1. Проаналізувати конструкцію та технічні характеристики базової моделі верстата і верстатів-аналогів.
2. Визначити службове призначення деталі, розробити маршрутний та операційний технологічні процеси її виготовлення.
3. Вибрати різальне та вимірювальне інструментальне оснащення для виконання технологічних операцій.
4. Провести аналіз шпиндельного вузла, виявити недоліки та виконати конструкторські розрахунки модернізованого вузла.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Вступ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.							
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.							
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ, МВ-41			

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз базової моделі верстата

1.1.1 Призначення та сфера застосування радіально-свердлильних верстатів

Радіально-свердлильний верстат моделі 2Н55 призначений для широкого застосування в різних галузях машинобудування та металообробної промисловості. Завдяки високій універсальності цей верстат знаходить ефективне використання на підприємствах будь-якого масштабу — від дрібносерійних ремонтних та інструментальних цехів до умов великосерійного виробництва, де необхідна високопродуктивна обробка отворів.

Широкі технологічні можливості верстата дозволяють виконувати великий комплекс технологічних операцій, зокрема: свердління в суцільному матеріалі, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, підрізання торців, а також нарізання внутрішньої різьби мітчиками.

Комплектація верстата додатковими пристосуваннями, спеціальним оснащенням та сучасним різальним інструментом суттєво підвищує його продуктивність та значно розширює коло можливих операцій. Це дозволяє автоматизувати робочі цикли, здійснювати виточування внутрішніх канавок, вирізання круглих пластин (дисків) із листового матеріалу, а за наявності відповідного технологічного оснащення — виконувати низку точних операцій, які є характерними для верстатів розточувальної групи.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	1. Аналітичний розділ	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.							
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.							
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ, МВ-41			



Рис. 1.1 Загальний вигляд верстата

1.1.2 Конструкція та характеристики верстата

Радіально-свердлильний верстат моделі 2Н55 складається з таких основних вузлів: фундаментної плити, цоколя, поворотної колони, рукава, свердлильної головки, шпинделя, а також систем енергозабезпечення та охолодження.

Нерухомою базовою основою верстата є масивна фундаментна плита, на якій жорстко закріплений цоколь. У цоколі на підшипникових опорах монтується поворотна колона, виконана зі сталеві труби. На колоні розміщено рукав верстата, по напрямних якого переміщується свердлильна головка. Вертикальне переміщення рукава по колоні здійснюється за допомогою механізму підйому, що змонтований у корпусі на верхньому торці

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

колони та кінематично пов'язаний із рукавом через ходовий гвинт. У цьому ж верхньому корпусі розташовано гідромеханічний пристрій для затискання колони та струмопідвідний пристрій, який забезпечує живлення поворотних і рухомих частин верстата.

Свердлильна головка виконана у вигляді окремого автономного силового агрегату. Вона об'єднує в собі такі ключові конструктивні вузли: коробку швидкостей, коробку подач, механізм подачі, а також шпиндель із системою противаги. Свердлильна головка переміщується вручну по горизонтальних напрямних рукава, а її фіксація в необхідному робочому положенні здійснюється за допомогою вбудованого в неї механізму затискання.

У внутрішній порожнині фундаментної плити виконано бак і встановлено насосну підстанцію для подачі мастильно-охолоджувальної рідини до різального інструмента. Для обробки деталей порівняно невеликих розмірів на фундаментній плиті монтується спеціальний робочий стіл.

Усі основні органи керування верстатом зосереджені безпосередньо на свердлильній головці. На панелі цоколя додатково розміщено кнопки ввідного вимикача, який підключає верстат до електричної мережі, та кнопки керування насосом системи охолодження. Для освітлення робочої зони в нижній частині свердлильної головки інтегровано лампу.

Електроапаратура верстата розміщена у спеціальній захисній ніші, яка розташована зі зворотного боку рукава.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1.1.3 Складові частини верстата

Плита, цоколь, колона:

Фундаментна плита виконана у вигляді жорсткого литого виробу, посиленого поздовжніми та поперечними ребрами. Уздовж робочої поверхні плити розташовані Т-подібні пази для кріплення столу, оброблюваних виробів або спеціальних пристосувань.

На плиті нерухомо закріплено болтами цоколь, у якому на роликівих підшипниках встановлено колону. Ця найбільш навантажена деталь верстата виготовлена зі сталевий труби та має загартовану, ретельно оброблену робочу поверхню, по якій переміщується рукав.

Система охолодження:

У фундаментній плиті розташований резервуар для охолоджувальної рідини. Охолоджуюча рідина заливається через отвори, що закриваються кришками.

Рідина подається до свердлильної головки зануреним електронасосом по шлангу, під'єднаному до трійника з поворотним з'єднанням і наконечником. Положення наконечника по висоті можна регулювати, переміщуючи шлангу, що закріплюється в потрібному місці гвинтом.

Після увімкнення електронасоса запуск охолоджувальної рідини та регулювання потоку здійснюються поворотом наконечника.

Охолоджувальна рідина повертається в резервуар по каналах плити через отвори, захищені сітками.

Механізм затискання колони:

Механізм затискання колони розташований у корпусі редуктора механізму підйому рукава. Корпус з'єднаний з колоною. Стійка з'єднана з цоколем. Порожнистий гвинт в осьовому напрямку закріплений на стійці гайкою через упорні підшипники. Різьбова частина гвинта пов'язана з

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

біметалевою гайкою-шестернею. Зубчастий вінець цієї деталі виконаний зі сталі, різьбова частина — з бронзи. Гайка-шестерня встановлена в корпусі на конічних роликівих підшипниках. Регулювання натягу в підшипниках здійснюється за допомогою кришки, гвинтів і віджимних гвинтів.

У зачепленні з зубчастим вінцем гайки-шестерні знаходяться: робочий плунжер і допоміжний плунжер. Весь механізм змонтований у корпусі, який з'єднаний з корпусом гвинтами. Порожнистий гвинт у верхній частині має зубчасте колесо, яке з'єднане з внутрішнім зубчастим колесом фланця. Останній гвинтами з'єднаний з кришкою, а через неї з корпусом. Таким чином, порожнистий гвинт не може повернутися відносно корпусу під час роботи механізму.

Робочий плунжер переміщується в циліндрі при подачі масла під тиском через отвори в кришках. На плунжері нарізана зубчаста рейка, яка при переміщенні плунжера обертає гайку-шестерню. При повороті гайки-шестерні в напрямку за годинниковою стрілкою відбувається затиск колони, поворот проти годинникової стрілки викликає звільнення колони.

Під час затискання колони в механізмі відбуваються такі переміщення: шестерня-гайка обертається за годинниковою стрілкою, оскільки гвинт утримується від обертання фланцем і закріплений в осьовому напрямку, шестерня-гайка прагне переміститися вниз по різьбі гвинта, при цьому вона тягне за собою через корпус і колону. В результаті конусне кільце колони з'єднується з конусним розточуванням цоколя і надійно гальмує колону.

При спрацьовуванні механізму затиску в зворотний бік (проти годинникової стрілки) шестерня-гайка піднімає колону і звільняє конусне кільце колони.

Витоки масла, що накопичуються в порожнині, відкачуються в гідробак, розташований поруч у корпусі, допоміжним плунжером. Для цього, щоб плунжер працював як відкачувальний насос при повороті гайки-шестерні, у

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

корпусі змонтовані всмоктувальний клапан, пов'язаний з порожниною, та нагнітальний клапан, встановлений перед штуцером трубки, що йде до гідробака.

Редуктор переміщення рукава:

На верхньому торці колони закріплено редуктор приводу механізму підйому. Редуктор приводиться в обертання електродвигуном, встановленим на кришці. Управління ввімкненням електродвигуна здійснюється з пульта управління, розташованого на свердлильній головці. Напрямок обертання електродвигуна задається залежно від необхідного напрямку переміщення рукава (підйом або опускання), а також змінюється в процесі виконання циклу. Обертання від електродвигуна через дві понижуючі передачі передається на гвинт .

На проміжному валу знаходиться спеціальна кулькова запобіжна муфта, що захищає деталі механізму підйому та привід від поломки при перевантаженнях. Конструкція муфти забезпечує її спрацьовування при підйомі та опусканні рукава.

Механізм підйому:

Рукав охоплює колону і переміщується по ній у вертикальному напрямку. По напрямних рукава в радіальному напрямку переміщується свердлильна головка. Спеціальна шпонка, що входить у паз колони, перешкоджає повороту рукава навколо колони. У всіх випадках, коли рукав не переміщується по колоні, він затиснутий на ній, що розвантажує шпонку від зусиль, що виникають під час свердління, та забезпечує безпеку роботи на верстаті.

Переміщення рукава по колоні здійснюється за допомогою механізму

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

підйому. Механізм затиску рукава зблокований з механізмом підйому таким чином, що звільнення рукава, його переміщення та затиск здійснюються автоматично в одному циклі за однією командою.

Основними елементами механізму підйому є гвинт, що приводиться в обертання редуктором, і вантажна гайка. Вантажна гайка має знімний фланець, який на двох упорних підшипниках зафіксований у втулці за допомогою гайки. Наявність знімного фланця, з яким гайка з'єднана торцевими зубцями, дозволяє частково компенсувати похибки, пов'язані з перекосами гвинта відносно осі втулки.

На початку обертання гвинта вантажна гайка нічим не утримується від обертання і починає обертатися разом із гвинтом. Допоміжна гайка у цей час переміщується по гвинту, оскільки закріплена на ній шпонка входить у паз нерухомої втулки, чим утримує гайку від обертання. Переміщаючись по гвинту, гайка повертає важіль, вал і кулак, який звільняє ролик, в результаті чого розвантажуються болти. Розточена частина рукава, проріzana по всій довжині, внаслідок своєї пружності розтискається до упору в головки болтів і гайки. При цьому рукав розгальмовується відносно колони.

У момент, коли рукав повністю звільняється від затискача, шпонка своїм виступом (верхнім або нижнім — залежно від напрямку обертання гвинта, тобто від напрямку переміщення рукава) підходить до виступу вантажної гайки і зупиняє її обертання. Оскільки гайка зафіксована, а гвинт обертається, починається переміщення рукава.

Після завершення переміщення гвинт не зупиняється, а автоматично змінює напрямок обертання. При цьому переміщення рукава негайно припиняється, оскільки виступи шпонки і гайки віддаляються один від одного, внаслідок чого вантажна гайка починає обертатися разом із гвинтом. Допоміжна гайка при цьому переміщується по гвинту у зворотному напрямку, повертаючи важіль, вал і кулак. Під тиском виступу кулака на ролик важелі

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

повертаються навколо осей і затягують болти. Рукав з великою силою стягується між головками болтів і гайками на болтах, здійснюючи жорстке затискання рукава на колоні.

Гайки на болтах відрегульовані так, щоб забезпечити необхідну жорсткість затиску. У цьому положенні вони зафіксовані. Величина зазору між рукавом і колоною, що визначається затягуванням гайок, повинна мати певну величину для того, щоб переміщення відбувалося плавно, без ривків і не викликало перевантаження приводу механізму підйому. Управління циклом забезпечується двома кінцевими вимикачами на які впливають кулачки, насадженими на вал затискача.

У крайніх положеннях рукава на колоні (верхньому або нижньому) штанги впливають на кінцеві вимикачі, які розривають ланцюг живлення електродвигуна редуктора.

Зношення різьби вантажної гайки не призводить до падіння рукава, оскільки під час аварійного опускання рукава на кілька міліметрів кулак повертається і своїм додатковим виступом автоматично затискає рукав на колоні. Змащування механізму підйому здійснюється за допомогою прес-маслянки, встановленої в гайці.

Змащування колони здійснюється за допомогою плунжерного насоса, який подає масло в кільцеву трубку, розташовану під ущільненням у верхній частині бочки рукава. Насос подає порцію масла в трубку при повороті кулака, який регулювальним гвинтом натискає на плунжер насоса. Трохи вище розташовується пластмасовий резервуар для масла.

Щоб уникнути потрапляння частинок бруду між деталями, що тертяться, рукава та колони, на бочці рукава зверху та знизу встановлено сальникові ущільнення.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Свердлильна головка:

Свердлильна головка є самостійним силовим агрегатом, що складається з декількох складальних одиниць, які монтуються в загальному корпусі головки.

Свердлильна головка розміщена на напрямних рукава, по яких легко переміщується в радіальному напрямку. Легке переміщення свердлильної головки забезпечується застосуванням комбінованих напрямних кочення-ковзання. У відтиснутому положенні між нижніми напрямними ковзання головки та рукава є зазор 0,03–0,05 мм, а по верхній напрямній рукава свердлильна головка перекочується на двох роликах. Тертя між бічними напрямними не ускладнює переміщення, оскільки центр ваги головки розташовується приблизно в площині цих напрямних.

Ролики встановлені за допомогою кулькових підшипників на ексцентрикових осях, що дозволяє легко регулювати їх.

Регулювання зазору між бічними напрямними здійснюється поворотом ексцентрикових осей.

При затиску свердлильна головка піднімається вгору до усунення люфту між нижніми напрямними рукава та головки. Затиск здійснюється за допомогою ексцентрикового механізму. При повороті вала, повертається з'єднана з ним шпонкою ексцентрикова втулка, що обертається в ексцентриковій втулці на голках. При повороті вала завдяки ексцентриситету втулки натискний елемент через п'яту впирається у верхню напрямну рукава, змушуючи головку підійматися вгору. Поворот вала здійснюється гідроциліндром через рейку, нарізану на штоку поршня, і зубчасте колесо.

Зсув осі вала затискача відносно вертикальної площини напрямних і конструкція натискної п'яти створюють у момент затискання головки горизонтальну складову зусилля затискання, що забезпечує постійний притиск головки до бічних напрямних рукава. Така конструкція забезпечує стабільне

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

положення осі шпинделя в поперечній площині верстата.

Команда на затиск подається натисканням кнопки, розташованої на пульті в центрі маховика ручного переміщення головки. На цьому пульті є три кнопки, за допомогою яких можна здійснювати роздільний затиск і відтиск головки при затиснутій колоні, або спільний відтиск і затиск колони та головки. При непрацюючій гідравліці затиск головки можна здійснити вручну. Для цього на вільному кінці вала затиску профрезеровано квадрат під ключ. Ручний затиск і відтиск здійснюють при відключеному електродвигуні головного приводу, тобто коли тиск у гідросистемі головки відсутній.

На передній лицьовій стороні свердлильної головки поруч із рукоятками штурвального пристрою розташований електричний пульт керування верстатом. Вперед виведена і рукоятка управління фрикційною муфтою.

Коробки швидкостей і подач розташовані у верхній частині головки. До задньої площини бурової головки прикріплена панель управління гідросистемою.

1.2 Службове призначення та характеристика деталі та аналіз технічних умов на виготовлення

На основі аналізу робочого креслення зрозуміло, що деталь «Пуансон 0609-5154/003» належить до складальних одиниць складного збірного пристосування, а саме прес-форми. Дана деталь виконує функцію основного формоутворюючого елемента, який забезпечує отримання заданої конфігурації виробів, що виготовляються методом лиття під тиском.

Розглянувши креслення деталі, можна виділити основні та допоміжні поверхні. Основні поверхні ті, що забезпечують основний контур вилитої деталі:

- Зовнішня кінчна поверхня $\varnothing 118,32^{+0,045}_{+0,023}$, $\angle 0^{\circ}58$

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

- Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 117,71_{-0,035}$
- Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 116,66_{-0,035}$
- Зовнішня складна поверхня $l = 116,18_{\pm 0,02}$

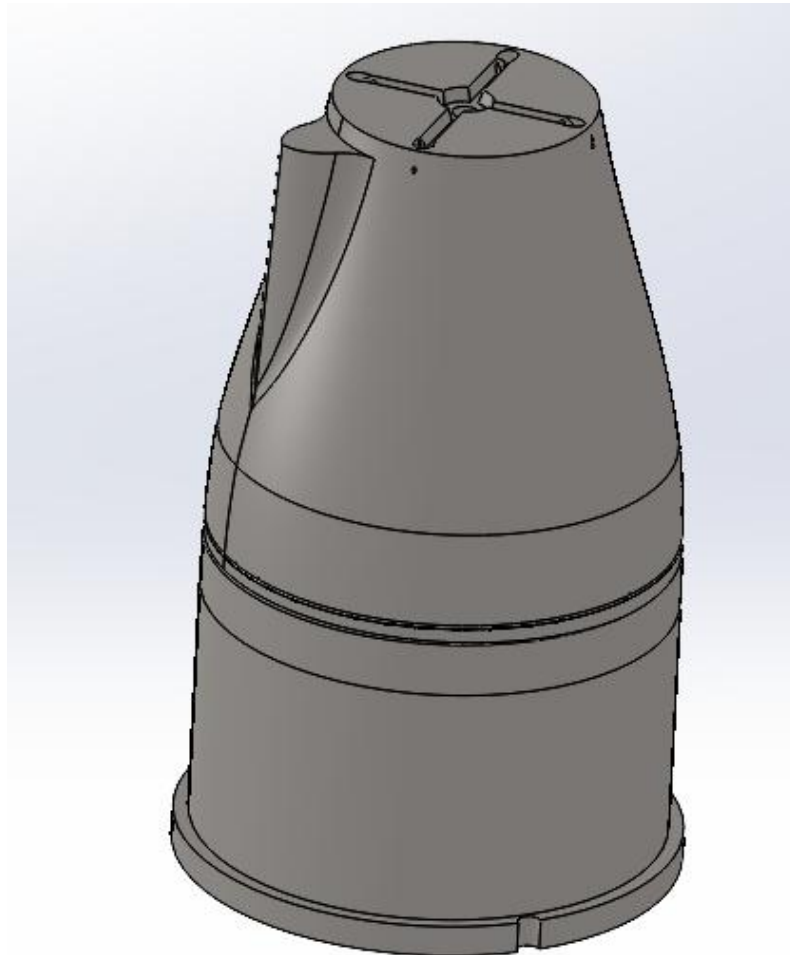


Рис. 1.4 3D модель деталі

1.3. Вибір типу виробництва та заготовки

Пуансони для прес-форм виготовляються у дрібносерійному або одиничному виробництві, оскільки кожна прес-форма є унікальним інструментом. Річна програма випуску таких деталей складає 1...10 штук.

Тип виробництва – одиничне. Характерні ознаки: широка номенклатура

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

виробів, неповторюваність операцій, застосування універсального обладнання та висококваліфікованих робітників, використання верстатів з ЧПК для складних поверхонь.

Враховуючи матеріал деталі сталь Х12МФ, складний профіль пуансону та одиничний тип виробництва, в якості заготовки обирається кований або катаний круглий прокат.

Для деталі «Пуансон 0609-5154/003» з максимальним зовнішнім діаметром $\varnothing 126$ мм та загальною довжиною ~ 204 мм обираємо заготовку у вигляді поковки або круглого прокату $\varnothing 130$ мм довжиною 205 мм. Припуск на торці – 3 мм з кожної сторони, на зовнішню циліндричну поверхню – 2 мм на діаметр.

За допомогою програмного забезпечення SolidWorks створимо твердотільну модель заготовки. Використання САД-систем дозволяє задати геометричні параметри та фізичні властивості деталі, що спрощує процес моделювання заготовки деталі.

Будуємо заготовку $\varnothing 130$ мм та довжиною 205 мм, задаючи обраний раніше матеріал з бібліотеки матеріалів SolidWorks. Отримаємо масу заготовки 21,2 кг.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

після термічної обробки складає 50...55 HRCe, що забезпечує зносостійкість та довговічність в умовах циклічного навантаження.

Аналіз креслення деталі дозволяє виділити такі основні групи поверхонь:

1. Формоутворюючі поверхні – складний профіль пуансону з шорсткістю Ra 0,80 мкм. Саме ці поверхні безпосередньо контактують з розплавленим полімером.

2. Базові поверхні – зовнішня циліндрична поверхня Ø126 мм, торцева поверхня з шорсткістю Ra 0,80 мкм.

3. Центральний отвір – Ø8.

4. Конічні та фасонні поверхні – нахили 10°, 15°, кути 30°, 51°26', 45° та інші елементи, що формують конфігурацію виробу.

5. Допоміжні елементи – 3 пази, рівномірно розподілені отвори Ø5 мм і Ø5 мм.

До обробки цих елементів висувається комплекс технологічних вимог:

Точність просторового розташування: Осі рівномірно розподілених отворів повинні мати мінімальні відхилення від заданих координат та витримувати перпендикулярність відносно базових поверхонь. Це критично для забезпечення точної збираності багатокомпонентної прес-форми без перекосів.

Глибина та стабільність обробки: З огляду на габарити пуансона, виконання наскрізних або глибоких глухих отворів вимагає точності напрямку різального інструменту, що висуває суворі вимоги до динамічної та статичної жорсткості обладнання, на якому виконується свердлильна операція.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1.5 Висновки по розділу, постановка мети та завдань кваліфікаційної роботи

1. Внаслідок аналізу базової моделі радіально-свердлильного верстата 2Н55 встановлено принципи його конструювання та кінематичні особливості.

2. Проведено аналіз службового призначення та конструктивно-технологічних особливостей деталі «Пуансон 0609-5154/003».

3. Визначено технічні вимоги до виготовлення деталі, особливості її обробки.

Основні завдання:

1. Розробити технологічний процес виготовлення деталі «Пуансон 0609-5154/003».

2. Провести аналіз існуючої конструкції шпиндельного вузла та обґрунтувати напрямки його модернізації.

3. Розробити конструкцію модернізованого шпиндельного вузла.

4. Провести автоматизовані розрахунки компонентів шпиндельного вузла.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика матеріалу деталі

Відповідно до вимог креслення деталей виготовляється зі сталі Х12МФ. На кресленні зазначена твердість після термічної обробки 50...55 HRCe, що відповідає загартуванню та відпуску.

Хімічний склад сталі типу Х12МФ та її механічні властивості наведені в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі Х12МФ, %

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
1,45–1,65	0,10–0,40	0,15–0,45	11,0–12,5	0,40–0,60	0,15–0,30	~84

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі Х12МФ

Тимчасовий спротив σв, МПа	Межа текучості σт, МПа	Твердість після ТО, HRCe	Теплостійкість, °С
≥1800	≥1500	50...55	до 520

Сталь Х12МФ має високу зносостійкість, добру прогартовуваність, мінімальні деформації при термічній обробці, що робить її оптимальним вибором для виготовлення формоутворюючих деталей прес-форм.

2.2. Розробка маршрутного технологічного процесу

Враховуючи конфігурацію деталі, технічні вимоги та тип виробництва, розроблено маршрут виготовлення пуансону. Послідовність операцій

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	2. Технологічний розділ	Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Баглай І. С.							
Переір.	Крупа В.В.							
Реценз.								
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Зав. каф.	Крупа В.В.				ТНТУ, ФМТ, МВ-41			

забезпечує поступове підвищення точності та якості поверхонь, при цьому термічна обробка виконується перед чистою механічною обробкою.

Таблиця 2.3 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі
«Пуансон 0609-5154/003»

№	Назва операції	Зміст операції	Обладнання
000	Заготівельна	Відрізання заготовки від прутка	Стрічкова пила
005	Токарна з ЧПК	Підрізати торці, обточити зовнішні циліндричні поверхні Ø126; Ø118 мм начорно	Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3
010	Розмічальна	Розмітити осі 7 отворів Ø10 мм, 4 отворів Ø5 мм, центрального отвору Ø8 та 3 пазів	Розмічальна плита
015	Свердлильна	Свердлити центральний отвір Ø8 мм наскрізь, отвори Ø5 та Ø10	Радіально-свердлильний 2Н55
020	Термічна	Загартування + відпуск до твердості 50...55 HRCe	Термічна піч
025	Шліфувальна	Шліфувати базові поверхні Ø126 та торці після ТО	Кругло- та плоскошліфувальний верстат
030	Фрезерна з ЧПК (чорнова)	Фрезерувати формоутворюючий профіль начорно по електронній моделі, витримуючи припуск 0,3 мм	Фрезерувальний верстат HAAS VF-1
035	Фрезерна з ЧПК (напівчистова)	Фрезерувати профіль напівчисто, припуск 0,05...0,1 мм	Фрезерувальний верстат HAAS VF-1
040	Фрезерна з ЧПК (чистова)	Фрезерувати формоутворюючі поверхні начисто по ел. моделі: Ra 0,80 мкм, допуск 0,10 мм.	Фрезерувальний верстат HAAS VF-1

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Операція 030/035/040 – Фрезерна з ЧПК

Верстат: фрезерний обробний центр HAAS VF-1. Установка: у спеціальному пристосуванні по базовій поверхні Ø126 мм та торцю. Програма обробки розроблена в САМ-системі на основі електронної 3D-моделі.

Операція включає наступні керуючі програми:

1. Чорнова обробка основного профілю: знімається основний припуск по всьому профілю;
2. Напівчистова обробка ливника та обробка складних перехідних радіусів;
3. Чистова обробка: фінішна обробка формоутворюючих поверхонь по нормалі;
4. Фрезерування: паз під охолодження, лиска, обробка пазів та отворів;
5. Розвертки, чорнова обробка ливника, чистова обробка, чорнова площини, доробка по контуру носика, напівчистова та чистова обробка носика.

Операція 045 – Електроерозія

Верстат: Електроерозійний верстат Zap VP-97. Операція: випалювання ливника за допомогою графітового електроду.

2.4. Вибір різального, допоміжного та контрольного-вимірювального інструменту

Вибір інструменту здійснюється на основі аналізу операційної технології, матеріалу деталі, його твердості та вимог до якості поверхонь. Для обробки деталі використовуватимемо твёрдосплавний інструмент компанії TaeguTec. При виборі інструменту та режимів різання орієнтуватимемось на

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

рекомендації та інструкції компанії виробника.

Таблиця 2.5 – Вибір різального та вимірювального інструменту

№ оп.	Назва операції	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
005	Підрізання торця	Різець HCBNR 2525 M0904, пластина CNMG 090404 TT7015	Штангенциркуль ШЦ-ІІ 250
005	Зовн. точіння Ø203,92; Ø126	Різець HCBNR 2525 M0904, пластина CNMG 090404 TT7015	Мікрометр МК 125-150, МК 175-200
015	Свердління Ø8 мм	Свердло TaeguTec TDS 160M1Q 8	Штангенциркуль ШЦ-І 150
015	Свердління Ø10 мм	Свердло TaeguTec TDS 180M1Q 10	Штангенциркуль ШЦ-І 150
030	Чорнова фрезерна обробка профілю	Фреза TaeguTec TEP D36	Штангенциркуль ШЦ-ІІ 300, шаблони
030	Чорнова об-ка ливників	Фреза сферична D6R3 TaeguTec SRM2060M-S06 (тверд. сплав)	3D-щуп, шаблон
035	Напівчистова обробка ливників	Фреза сферична D10R5 TaeguTec SRM2100M-S10 TT7080	3D-щуп KBM, профілемір
035	Напівчистова обробка носика	Фреза TaeguTec SRM2050M TT7080	Профілемір, 3D-щуп
040	Чистова обробка основного профілю	Фреза TaeguTec TEP D366; фреза TaeguTec TEM2060	KBM DEA Global, профілемір Mitutoyo SJ- 210
040	Чистова обробка носика	Фреза TaeguTec SRM2015M- S015	KBM, профілемір Mitutoyo SJ-210
040	Центрування;	Центрівка D1.6 TaeguTec;	Калібр-пробка,

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

	свердління 4 отв. D10×20 та 1 отв. D7×180	свердло D7 TaeguTec TDS 070M1Q	штангенциркуль
040	Паз під охолодження, лиска, обробка пазів	Фреза TaeguTec TEM2080; фреза D2R0 TaeguTec TEM2020	Нутромір, глибиномір
040	Отвір D5, розвертки D3,5 та D5	Свердло D3; D3.4 TaeguTec; D5; D5.8 TaeguTec; розвертки TaeguTec TSR 3.5H7, TSR 5H7	Нутромір НІ 3-6, калібр- пробка

2.5. Створення керуючої програми для фрезерної обробки

Для забезпечення високої точності та якості формоутворюючих поверхонь пуансону, фрезерна обробка виконується на обробному центрі з ЧПК HAAS VF-1. Розробка керуючих програм здійснювалась у середовищі САМ-системи на основі електронної твердотільної 3D-моделі деталі. Використання цієї системи дозволило згенерувати оптимальні траєкторії руху інструменту, уникнути колізій та застосувати прогресивні стратегії різання, адаптовані під використання твердосплавного інструменту компанії TaeguTec.

Обробка пазу під охолодження

Фрезерування допоміжного елемента пуансону — пазу.

Інструмент: Фреза TaeguTec TSE 4080M TT5515.

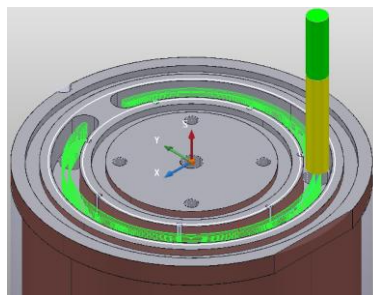


Рис. 2.1. Траєкторія інструменту при обробці пазу під охолодження

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Обробка лиски

Фрезерування допоміжного плоского конструктивного елемента — лиски.

Інструмент: Фреза TaeguTec HSF 4080M 200 TT5505.

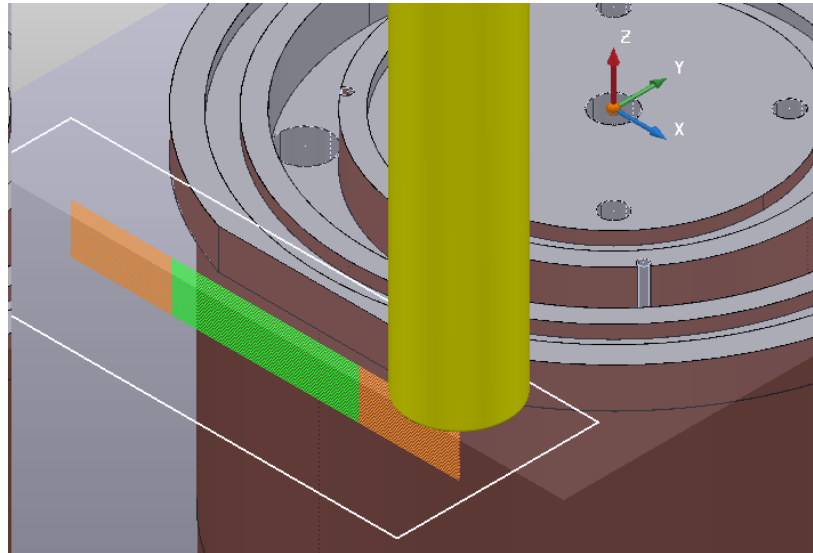


Рис. 2.2. Траєкторія інструменту при обробці лиски

Обробка ливника

Формування та задання геометричного контуру ливникового каналу на поверхні пуансону.

Інструмент: Фреза TaeguTec HSF 2020M 060 TT5505.

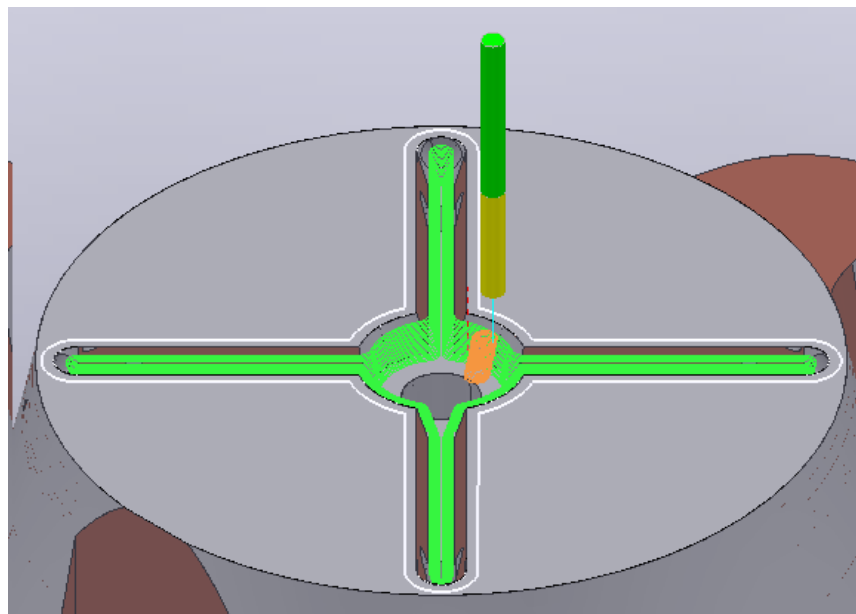


Рис. 2.3. Траєкторія інструменту при обробці лиски

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Обробка основного профілю

Чорнова обробка формоутворюючого профілю пуансону

Інструмент: Фреза TaeguTec HSF 4080M 200 TT5505.

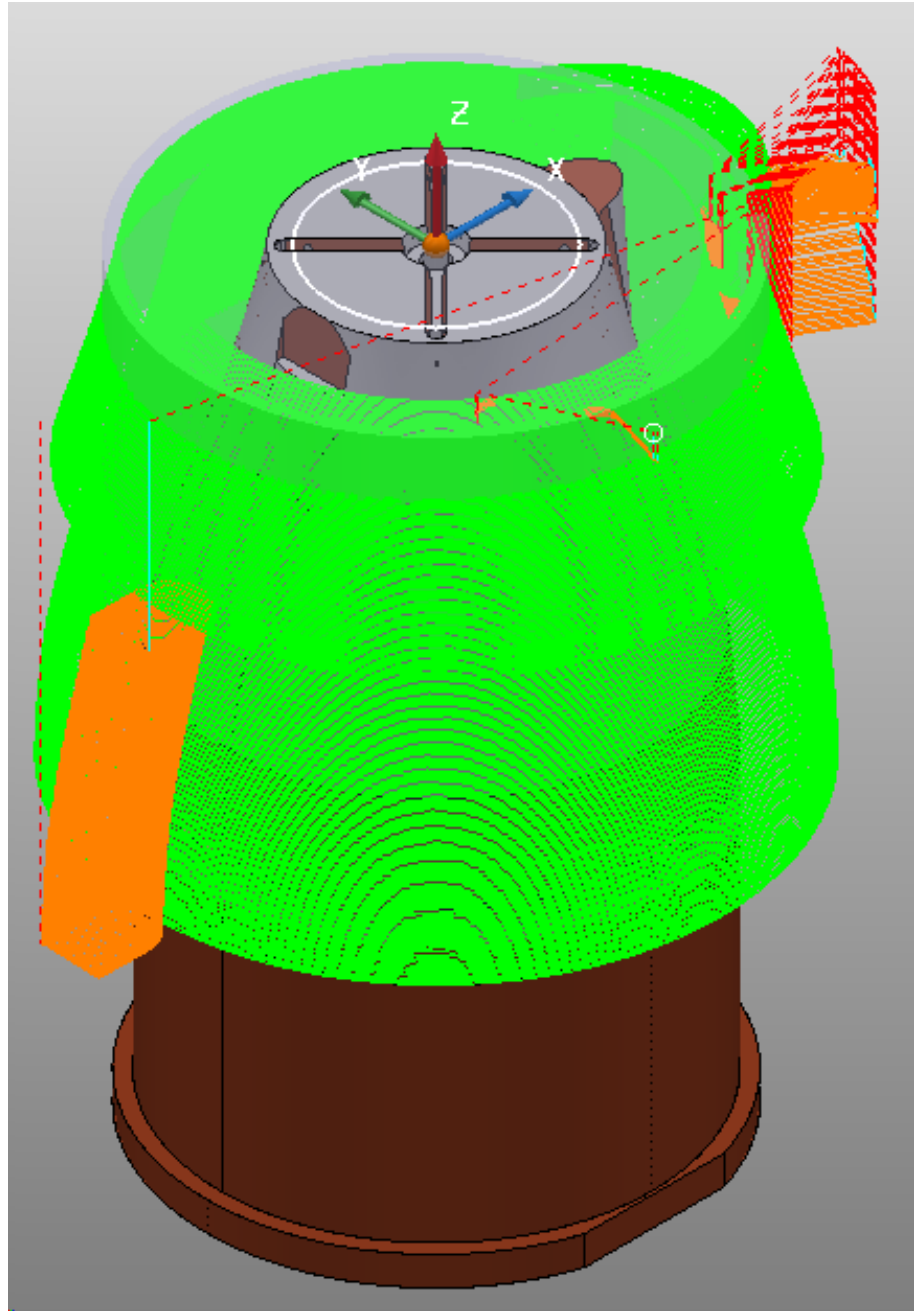


Рис. 2.4. Траекторія інструменту при обробці основного профілю пуансону

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Обробка контуру носика

Формування заданого геометричного контуру носика пуансону.

Інструмент: Фреза TaeguTec HSF 2020M 060 TT5505.

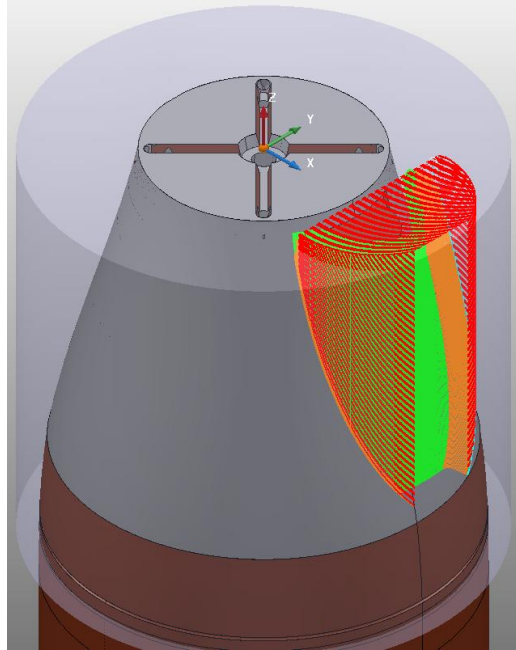


Рис. 2.5. Траєкторія інструменту при обробці контуру носика

Обробка основного профілю

Чистова обробка формуючого профілю пуансону

Інструмент: Фреза TaeguTec TSE 4080M TT5515.

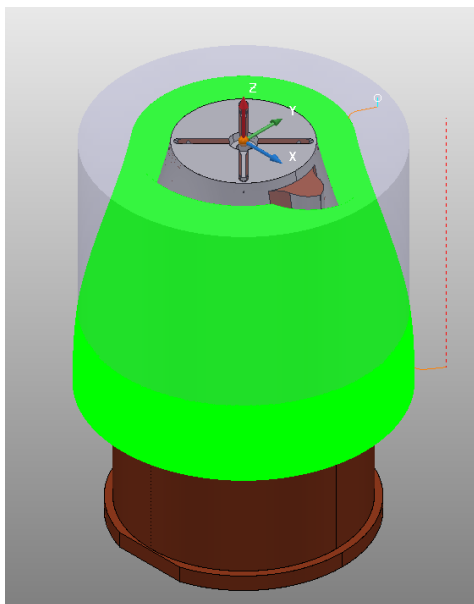


Рис. 2.6. Траєкторія інструменту при чистовій обробці основного профілю пуансону

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Обробка носика

Чистова обробка носика

Інструмент: Фреза TaeguTec HSF 2020M 060 TT5505.

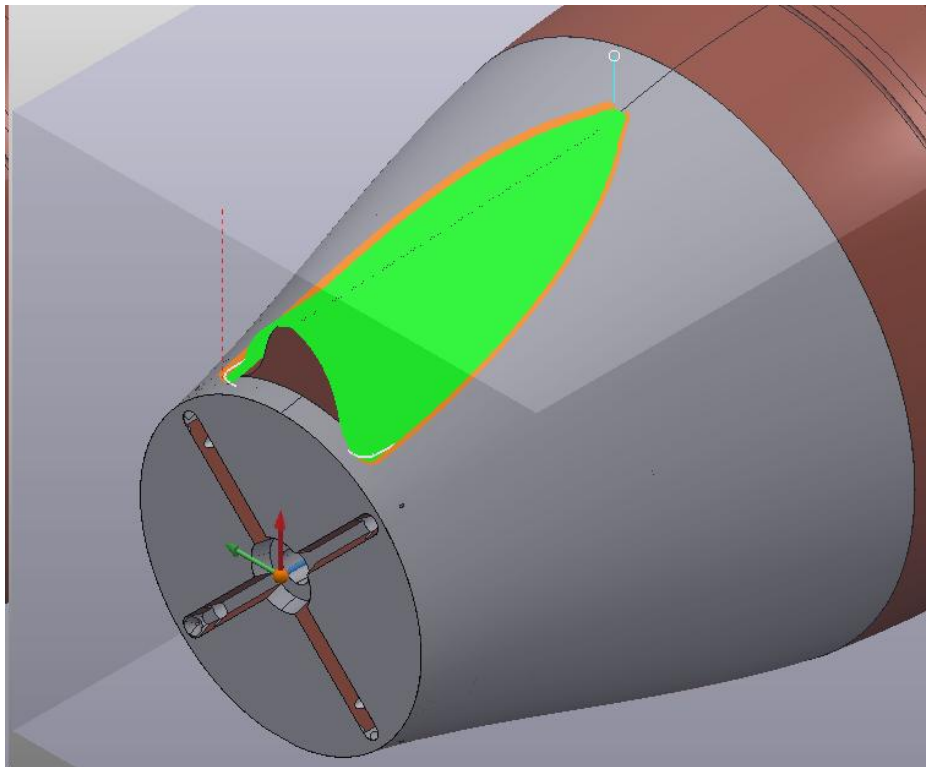


Рис. 2.7. Траєкторія інструменту при чистовій обробці основного профілю пуансону

2.6 Висновки по розділу

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Аналіз вихідних даних

Шпиндель отримує обертання від електродвигуна через пускову фрикційну муфту та коробку передач із трьома рухомими зубчастими блоками. Фрикційна муфта з'єднується з коробкою передач однією з двох передач: через шестерні 3 і 7, або через шестерні 4, 6 і паразитку 5, що забезпечує плавне реверсування шпинделя. Рухомі блоки шестерень (один потрійний і два подвійних) дозволяють отримати 12 ступенів чисел обертів шпинделя. Можна отримати ще стільки ж швидкостей реверсуванням фрикційної муфти з одночасним реверсуванням електродвигуна. Структурний графік побудований таким чином, що три ступені чисел обертів перекриваються, а решта 21 утворюють геометричний ряд з $\phi = 1,26$ в інтервалі від 20 до 2000 об/хв.

Коробка подач отримує обертання від шпинделя через шестерні 21 і 22. Один потрійний і два подвійні блоки забезпечують отримання 12 подач, що утворюють геометричний ряд з $\phi = 1,41$ в діапазоні від 0,056 до 2,5 мм/об.

Останній вал коробки подач за допомогою запобіжного пристрою з'єднаний з черв'яком 39. Далі обертання через черв'ячне колесо 35 і механізм включення подачі передається рейковій шестерні 37, що знаходиться в зачепленні з зубчастою рейкою пінолі шпинделя 36. Швидке ручне переміщення шпинделя виконується рукоятками «А». При відключенні механічної подачі за допомогою маховика «В» можна здійснювати тонку ручну подачу.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.				3. Конструкторський розділ	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.					ТНТУ, ФМТ, МВ-41		
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.							

Вертикальне переміщення рукава здійснюється від спеціального електродвигуна через редуктор (шестерні 52, 53, 54 і 55) і гвинтову пару 56, 57. Зміна напрямку переміщення рукава здійснюється реверсуванням двигуна.

Ручне переміщення свердлильної головки по напрямних рукава здійснюється обертанням маховичка через шестерні 42, 43 і рейку 58, закріплену на рукаві.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

За результатами аналізу підтверджується необхідність подальшого конструкторського опрацювання шпindelного вузла, зокрема вибору та розрахунку підшипникових опор, що є основним завданням даного конструкторського розділу.

3.2. Опис конструкції шпindelного вузла верстата 2Н55

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н55 призначений для свердління, зенкерування, розгортання та нарізання різі в деталях із чорних та кольорових металів у свердлильній бабці, що переміщується по вертикальній стійці. Найбільший діаметр свердління в сталі становить 50 мм, конус шпindelя — Морзе №5.

Шпindelний вузол верстата 2Н55 є одним із найвідповідальніших вузлів, що визначає точність і продуктивність обробки. Конструктивно він являє собою порожнистий шпindel, встановлений на двох підшипникових опорах у пінолі, що переміщується у корпусі шпindelної бабки.

Передня (нижня) опора шпindelя містить комплект підшипників, що забезпечують одночасне сприйняття радіальних та осьових навантажень, які виникають у процесі свердління. Задня (верхня) опора включає два підшипника основним призначенням яких є сприйняття радіального навантаження від приводного механізму. Посадка підшипників на шпindel та в корпус виконана з гарантованим натягом для забезпечення необхідної жорсткості шпindelної системи.

Осьова фіксація шпindelя здійснюється через передні підшипники з регулюванням осьового зазору за допомогою гайки. Підшипники задньої опори встановлюються з можливістю осьового зміщення для компенсації теплових деформацій шпindelя при роботі. Мастило підшипників — пластичне (консистентне), що подається при монтажі та поповнюється через

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ніпелі. Захист від забруднень забезпечується лабіринтними ущільненнями та манжетами.

Привід шпинделя здійснюється через зубчасту передачу, що дозволяє передавати обертальний рух від коробки швидкостей до шпинделя при його осьовому переміщенні (ходу) у межах 250 мм.

3.3. Аналіз існуючих підшипникових опор шпиндельного вузла

У базовій конструкції шпиндельного вузла верстата 2Н55 використовуються підшипники кочення, що відповідали вимогам точності та надійності на момент проєктування верстата. Проте аналіз конструкції дозволяє виявити ряд обмежень, що негативно позначаються на сучасних вимогах до точності та продуктивності обробки.

Передня опора — оснащена кульковими радіально-упорними підшипниками серії 36000 із кутом контакту 12° або 26° відповідно до ГОСТ 831-75, класу точності 6 (нормальний). У базовій конструкції застосовується здвоєний комплект у схемі «тандем» або «Х» для сприйняття осьового навантаження в одному напрямку. Такі підшипники обмежують максимальну жорсткість опори та не забезпечують рівного сприйняття двостороннього осьового навантаження, що характерне для зворотного ходу шпинделя.

Задня опора — укомплектована одним кульковим радіальним підшипником серії 200 або 300 відповідно до ГОСТ 8338-75, класу точності 6. Кульковий підшипник у задній опорі обмежує навантажувальну здатність по радіальному зусиллю та не допускає вільного осьового переміщення, що необхідне для компенсації температурного подовження шпинделя при нагріванні під час роботи.

Аналіз технічних характеристик та умов роботи підшипників базової конструкції виявив такі недоліки:

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

1. клас точності 6 не відповідає сучасним вимогам до точності шпиндельних вузлів верстатів підвищеної та нормальної точності, де рекомендується клас P5 або P4;
2. обмежена жорсткість радіально-упорних кулькових підшипників із кутом контакту 12° при дії великих осьових навантажень (що характерне для верстата 2H55 з P_o max до 20 кН);
3. підшипник у задній опорі типу 6200 не забезпечує вільного осьового «плавання» шпинделя при тепловому розширенні, що призводить до додаткового навантаження передніх підшипників і скорочення ресурсу вузла;
4. радіальне биття шпинделя, обумовлене класом точності підшипників P6, становить до 10 мкм, що є недостатнім при обробці отворів вищих квалітетів (H7 та точніше);
5. підвищений рівень вібрацій при роботі на максимальних частотах обертання (до 1000 об/хв) внаслідок геометричних відхилень тіл кочення та доріжок підшипників класу P6.

3.4. Обґрунтування необхідності модернізації підшипникових опор

Модернізація підшипникових опор шпиндельного вузла верстата 2H55 обумовлена необхідністю комплексного підвищення точності обертання шпинделя, жорсткості підшипникових опор та довговічності вузла в цілому. Необхідність модернізації підтверджується такими аргументами:

1. Підвищення вимог до точності обробки. Сучасні технологічні завдання вимагають забезпечення радіального биття шпинделя на рівні 3–5 мкм, що відповідає класу точності підшипників P5 або P4. Існуючі підшипники класу P6 забезпечують биття до 10 мкм — у 2–3 рази більше від сучасних вимог.

2. Підвищення жорсткості підшипникової опори. Застосування

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

радіально-упорних кулькових підшипників з кутом контакту 40° замість 12° забезпечує збільшення осьової жорсткості опори приблизно в 2–2,5 рази, що позитивно позначається на точності розташування осьового положення шпинделя під навантаженням та якості обробки глухих отворів.

3. Збільшення ресурсу роботи. Сучасні підшипники провідних виробників виготовляються зі сталей підвищеної чистоти з оптимізованою мікрогеометрією доріжок кочення, що забезпечує розрахунковий ресурс $L_{10h} \geq 20000$ год — у 1,5–2 рази більше, ніж у підшипників радянського виробництва аналогічного класу.

4. Компенсація теплових деформацій. Заміна кулькового радіального підшипника в задній опорі на циліндричний роликовий підшипник типу NU (з вільним одним кільцем) забезпечує компенсацію теплового видовження шпинделя та усуває небажані осьові переднавантаження в передній опорі при зміні температурного режиму роботи верстата.

5. Зниження рівня вібрацій та шуму. Підшипники підвищеного класу точності мають кращу геометрію тіл кочення та доріжок, що забезпечує більш плавну та тиху роботу шпиндельного вузла, знижує рівень коливань та покращує якість оброблюваних поверхонь.

Таким чином, доцільно виконати заміну підшипників позиції 5 (передня опора) на прецизійні радіально-упорні кулькові підшипники класу точності P5 з кутом контакту 40° , встановлені у схемі «О» (спина до спини), а підшипника позиції 4 (задня опора) — на циліндричний роликовий підшипник типу NU класу точності P5, що забезпечить вільне осьове переміщення зовнішнього кільця.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

3.5. Вибір підшипників для модернізованого шпиндельного вузла

3.5.1. Вимоги до підшипників шпиндельних вузлів металорізальних верстатів

До підшипників шпиндельних вузлів металорізальних верстатів висуваються підвищені вимоги порівняно з підшипниками загальномашинобудівного застосування. Основні вимоги такі:

6. висока точність обертання: радіальне биття не більше 3–5 мкм для передньої опори та 5–8 мкм для задньої (клас точності P5 або P4 за ISO 492);
7. висока жорсткість опор: жорсткість передньої опори повинна бути не менше 250–500 Н/мкм залежно від типу верстата;
8. достатня несуча здатність: сприйняття радіальних та осьових навантажень від сил різання та сил у приводних передачах;
9. забезпечення теплового режиму: температура зовнішнього кільця не повинна перевищувати +70°C при тривалій роботі;
10. надійність та довговічність: розрахунковий ресурс $L_{10h} \geq 20000$ год для верстатів серійного виробництва;
11. можливість регулювання осьового зазору (попереднього натягу) для забезпечення оптимальної жорсткості та точності.

Наведені вимоги визначили напрям вибору підшипників для модернізації: для передньої опори — прецизійні радіально-упорні кулькові підшипники з кутом контакту 40°, для задньої — циліндричні роликові підшипники з плаваючим зовнішнім кільцем.

3.5.2. Варіанти підшипників для передньої опори

Для передньої опори шпинделя верстата 2Н55, що сприймає одночасно радіальне та значне осьове навантаження (аксіальна сила свердління до $P_0 \text{ max}$

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

= 20 кН), розглянуто три варіанти прецизійних підшипників зовнішнього діаметра $D = 110$ мм, внутрішнього діаметра $d = 60$ мм. Зазначені посадкові розміри відповідають конструкції шпинделя 2H55 без потреби в його переробці.

Таблиця 3.1 – Варіанти підшипників для передньої опори

Параметр	Варіант 1 SKF 7212 BECBP	Варіант 2 FAG B7212-C-T-P4S	Варіант 3 NSK 7212CTYNDBP4
Тип	Кульковий радіально-упорний	Шпиндельний підшипник (кульковий)	Кульковий радіально-упорний
Кут контакту α , °	40	15	40
Клас точності (ISO)	P5	P4	P4
$d \times D \times B$, мм	60 × 110 × 22	60 × 110 × 22	60 × 110 × 22
Динам. вантажопідйомність С, кН	55,3	45,5	54,0
Статична вантажопідйомн. C_0 , кН	38,0	32,5	39,5
Макс. частота обертання, об/хв	6 000	12 000	8 000
Схема встановлення	О (спина до спини)	О (спина до спини)	ОО (спарений блок DB)
Масило	Консистентне	Масляний туман / консистентне	Консистентне (захищений)
Точність биття шпинделя, мкм	≤ 5	≤ 3	≤ 3

Варіант 1 — SKF 7212 BECBP. Кульковий радіально-упорний підшипник з кутом контакту 40° та суфіксом BE (оптимізована конструкція сепаратора з поліаміду), клас точності P5. Кут контакту 40° забезпечує значно вищу осьову жорсткість порівняно з базовим підшипником (12° або 26°), що особливо важливо при великих аксіальних силах свердління. Встановлюється у схемі «О» (спина до спини, back-to-back), що дає більшу відстань між точками прикладання реакцій і підвищує куту жорсткість шпинделя. Є оптимальним рішенням з точки зору вартість/продуктивність.

Варіант 2 — FAG B7212-C-T-P4S. Прецизійний шпиндельний підшипник класу P4 з кутом контакту 15° . Розроблений спеціально для шпиндельних вузлів верстатів із високою частотою обертання. Параметр $DM \cdot n$ (добуток середнього діаметра кільця на частоту) сягає $480\,000 \text{ мм} \cdot \text{об/хв}$ — у 1,6 рази вище, ніж у варіанту 1. Забезпечує биття $\leq 3 \text{ мкм}$. Однак кут контакту 15° менш ефективний при великих осьових навантаженнях, характерних для свердлильних верстатів. Оптимальний для верстатів із переважним радіальним навантаженням та високими швидкостями.

Варіант 3 — NSK 7212CTYNDBP4. Спарений кульковий радіально-упорний підшипник класу P4 у конфігурації DB (дублет, спина до спини) у єдиному герметичному виконанні. Зручний при монтажі та не потребує регулювання попереднього натягу. Підходить для заміни без суттєвих змін корпусних деталей. Однак вища вартість і менша ремонтпридатність (не можна замінити один підшипник) обмежують застосування в умовах одиничного та середньосерійного виробництва.

3.5.3. Варіанти підшипників для задньої опори

Для задньої опори шпинделя верстата 2H55, що сприймає переважно радіальне навантаження від сил у зубчастій передачі приводу та повинна забезпечувати вільне осьове «плавання» шпинделя (компенсацію теплового

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

видовження), розглянуто три варіанти підшипників із посадковими розмірами $d = 60$ мм, $D = 110$ мм.

Таблиця 3.2 – Варіанти підшипників для задньої опори

Параметр	Варіант 1 SKF NU 212 ЕСР	Варіант 2 FAG NJ212- E-TVP2	Варіант 3 SKF 6212/C3
Тип	Циліндричний роликовий (NU — обидва кільця вільні)	Циліндричний роликовий (NJ — з бортом на зовнішньому кільці)	Кульковий радіальний з зазором С3
Клас точності (ISO)	P5	P5	P5
$d \times D \times B$, мм	60 × 110 × 22	60 × 110 × 22	60 × 110 × 22
Динам. вантажопідйомн. С, кН	81,9	79,0	47,8
Статична вантажопідйомн. С ₀ , кН	64,0	60,5	32,0
Сприйняття осевого навантаження	Ні (вільне осьове переміщення)	Одностороннє (у бік борту)	Двостороннє (обмежене)
Радіальна вантажопідйомність	Дуже висока	Висока	Помірна
Відповідність задній опорі	Відмінна	Добра	Задовільна

Варіант 1 — SKF NU 212 ЕСР. Циліндричний роликовий підшипник типу NU (відсутні борти на обох кільцях у напрямку осі), що дозволяє вільне осьове переміщення внутрішнього кільця відносно зовнішнього — ідеальне

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

технічне рішення для «плаваючої» задньої опори шпинделя. Радіальна вантажопідйомність $C = 81,9$ кН у 1,7 рази перевищує базовий кульковий підшипник 6212 ($C = 47,8$ кН). Суфікс ECP — сепаратор із поліаміду з оптимізованим мастилоутриманням. Клас точності P5.

Варіант 2 — FAG NJ212-E-TVP2. Циліндричний роликовий підшипник типу NJ має борт на зовнішньому кільці, що обмежує осьове переміщення в одному напрямку. Це може бути корисним при необхідності осьової фіксації шпинделя в одному напрямку, проте для компенсаційної задньої опори є зайвим конструктивним елементом. Застосовується там, де необхідна фіксація з боку обойми, що для даного вузла не є доцільним.

Варіант 3 — SKF 6212/C3. Кульковий радіальний підшипник із збільшеним радіальним зазором C3. Хоча і допускає певне осьове зміщення кільця при нагріванні, однак не є повністю «плаваючим», має нижчу радіальну вантажопідйомність та не так ефективно сприймає динамічні навантаження, як роликовий підшипник. За конструкцією близький до базового підшипника, тому не забезпечує суттєвого підвищення характеристик опори.

За результатами порівняльного аналізу для модернізації шпиндельного вузла верстата 2Н55 обрано:

- для передньої опори: підшипники SKF 7212 BECBP у кількості 2 шт., схема встановлення — О (спина до спини, back-to-back), клас точності P5. Обрано за сукупністю найвищої жорсткості при великих осьових навантаженнях (кут контакту 40°), прийнятної точності (P5, биття ≤ 5 мкм), доступності та простоти монтажу [10];
- для задньої опори: підшипник SKF NU 212 ECP, 1 шт., клас точності P5. Обрано завдяки повному вільному осьовому «плаванню» внутрішнього кільця, що ідеально відповідає функції компенсаційної опори, та значно вищій радіальній вантажопідйомності порівняно з базовим підшипником.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Такий вибір підшипників дозволяє реалізувати класичну раціональну схему компоновки шпиндельного вузла: «фіксована передня опора + плаваюча задня опора», що є стандартним рішенням для шпиндельних вузлів верстатів із тепловим навантаженням і забезпечує стабільне осьове положення переднього кінця шпинделя (інструментального конуса) незалежно від температурного стану вузла.

3.6. Розрахунок підшипникових опор

3.6.1. Визначення навантажень на підшипникові опори шпинделя

Розрахункова схема шпинделя являє собою балку на двох опорах: передній та задній. Вихідні дані для розрахунку наведені нижче.

Параметри верстата:

- потужність електродвигуна: $P_{дв} = 4$ кВт;
- максимальна аксіальна сила свердління: $P_o \max = 20\ 000$ Н;
- розрахункова аксіальна сила: $F_a = 0,75 \cdot P_o \max = 15\ 000$ Н;
- максимальна частота обертання шпинделя: $n_{\max} = 1000$ об/хв;
- мінімальна частота обертання шпинделя: $n_{\min} = 22,4$ об/хв;
- середня частота обертання (для розрахунку ресурсу): $n_{ср} = 150$ об/хв.

Геометрія шпиндельного вузла:

- виліт переднього кінця шпинделя від передньої опори А до торця інструмента: $a = 80$ мм;
- відстань між опорами А і В: $L = 220$ мм;
- відстань від задньої опори В до осі приводної шестерні: $c = 60$ мм.

Радіальна сила від зубчастої передачі (визначається через момент та параметри передачі):

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

$$M_{кр} = 9550 \cdot \frac{P}{n} = 9500 \cdot \frac{4}{150} = 254,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$F_t = 2 \cdot \frac{M_{кр}}{d} = 2 \cdot \frac{254700}{80} = 6368 \text{ Н}$$

$$F_{r \text{ пр.}} = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha = 6368 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 2318 \text{ Н} \approx 2300 \text{ Н}$$

де $d = 80$ мм — умовний ділильний діаметр зубчастого колеса на шпинделі; $\alpha = 20^\circ$ — кут зачеплення.

Для розрахунку приймаємо сумарне радіальне навантаження від передачі та сил різання:

$$F_r = F_{r \text{ пр.}} + F_{r \text{ різ.}} = 2300 + 1000 = 3300 \text{ Н}$$

Осьове навантаження сприймається підшипниками передньої опори у схемі «О».

3.6.2. Розрахунок довговічності підшипників

Розрахункову довговічність підшипників визначаємо за формулою ISO 281:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

де C — динамічна вантажопідйомність підшипника, Н;

P — еквівалентне динамічне навантаження, Н;

p — показник степеня ($p = 3$ для кулькових підшипників, $p = 10/3$ для роликових підшипників);

n — частота обертання, об/хв.

Передня опора — підшипник SKF 7212 ВЕСВР (два підшипники за схемою «О»):

динамічна вантажопідйомність одного підшипника: $C = 55300$ Н;

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

динамічна вантажопідйомність пари підшипників

$$C_{\text{пр}} = C \cdot 1,624 = 55300 \cdot 1,624 = 89807 \text{ Н}$$

коефіцієнт $e = 1,14$ (для кута контакту $\alpha = 40^\circ$).

Визначаємо співвідношення навантажень для вибору коефіцієнтів X та Y :

$$\frac{F_a}{R_a} = \frac{15000}{4500} = 3,33 > e = 1,14$$

Оскільки $\frac{F_a}{R_a} > e$, за каталогом SKF для спарених підшипників приймаємо коефіцієнти радіального та осьового навантажень: $X = 0,57$; $Y = 0,93$.

Еквівалентне динамічне навантаження на опору:

$$P_A = X \cdot R_A + Y \cdot F_a = 0,57 \cdot 4500 + 0,93 \cdot 15000 = 16515 \text{ Н}$$

Розрахункова довговічність передньої опори:

$$L_{10h_B} = \frac{10^6}{60 \cdot 150} \cdot \left(\frac{89807}{16515} \right)^3 = 111,11 \cdot 5,438^3 = 17866 \text{ год.}$$

Задня опора — підшипник SKF NU 212 ECP:

динамічна вантажопідйомність підшипника: $C=81900 \text{ Н}$;

еквівалентне динамічне навантаження (враховується лише радіальне):

$$P_B = R_B = 1200 \text{ Н}$$

Розрахункова довговічність задньої опори:

$$L_{10h_B} = \frac{10^6}{60 \cdot 150} \cdot \left(\frac{81900}{1200} \right)^{\frac{10}{3}} = 111,11 \cdot 68,25^{\frac{10}{3}} = 144931328 \text{ год.}$$

Задня опора з великим запасом задовольняє вимогам до ресурсу.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Параметр	Передня опора А (SKF 7212 ВЕСВР × 2)	Задня опора В (SKF NU 212 ЕСР)
Динам. вантажопідйомн. С, Н	55 300	81 900
Реакція в опорі R, Н	4 500 (рад.)	1 200 (рад.)
Осьове навантаження F _a , Н	15 000	0 (вільна опора)
Еквів. динам. навантаж. Р, Н	10 125	1 200
Базовий ресурс L _{10h} , год	17 866	> 100 000
Вимога L _{10h} , год	≥ 16 000	≥ 16 000
Відповідність вимогам	Відповідає	Відповідає з великим запасом

Розрахунковий базовий ресурс передньої опори $L_{10h} = 18\ 087$ год перевищує нормативну вимогу 16 000 год для верстатів серійного виробництва. Таким чином, вибрані підшипники SKF 7212 ВЕСВР та SKF NU 212 ЕСР відповідають вимогам до довговічності та забезпечують необхідну надійність модернізованого шпиндельного вузла.

3.7 Автоматизований розрахунок шпинделя

Автоматизований розрахунок шпиндельного вала верстата 2Н55 виконується в системі SolidWorks Simulation.

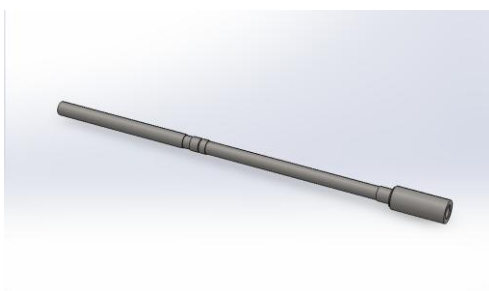


Рис 3.2 Загальний вигляд шпиндельного вала

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Матеріал шпинделя — Сталь 40X. Механічні та фізичні характеристики матеріалу, що задано в SolidWorks Simulation:

Параметр	Значення
Матеріал	Сталь 40X
Межа текучості	$7,5 \cdot 10^8$ Н/м ²
Межа міцності	$1,0 \cdot 10^9$ Н/м ²
Модуль пружності	$2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м ²
Коефіцієнт Пуассона	0,28
Густина	7800 кг/м ³

Для проведення інженерних розрахунків у SolidWorks Simulation використовується метод скінченних елементів (МСЕ).

Принцип його роботи полягає в тому, що програма бере суцільну 3D-модель і ділить її на скінченну кількість дрібних простих фігур — найчастіше пірамід (тетраедрів). Ці фігури з'єднуються між собою в кутах, які називаються вузлами.

Замість складного математичного розрахунку всієї деталі складної форми, програмне забезпечення крок за кроком обчислює, що відбувається з кожним окремим елементом під дією сил, а потім зводить усе в єдину комплексну картину. Це дозволяє точно визначити, де саме конструкція деформуватиметься та де виникатимуть критичні напруження. Сукупність усіх цих дрібних фігур, яка повністю повторює контури моделі, формує скінченно-елементну сітку.

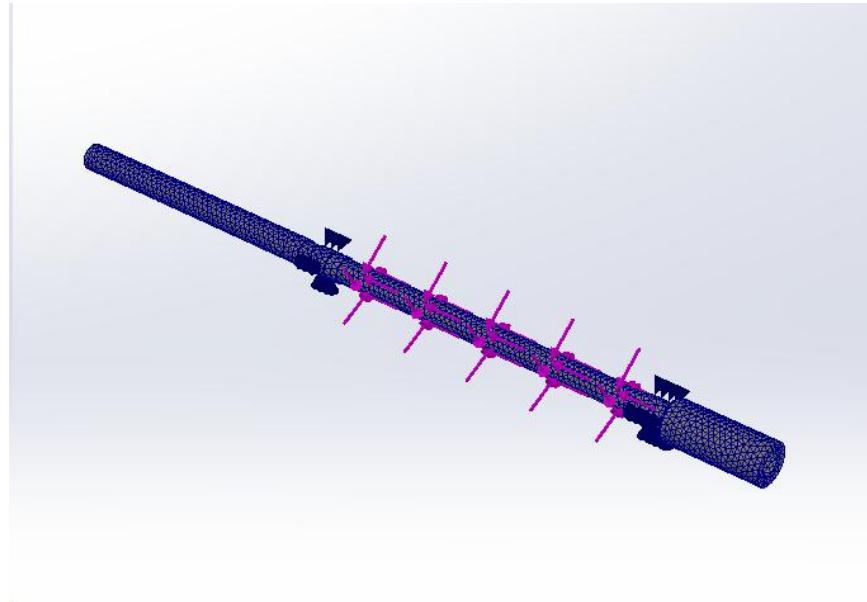


Рис 3.3 Скінченно-елементна модель шпиндельного вала

До моделі прикладено крутний момент 489 Н·м та радіальну силу 3300 Н. Закріплення виконано за допомогою підшипникових опор. Для шпиндельного вала на малюнку наведено карту еквівалентних напружень за критерієм Мізеса, отриману в середовищі SolidWorks Simulation. Оцінювання напруженого стану за критерієм Мізеса дозволяє визначити найбільш навантажені ділянки деталі.

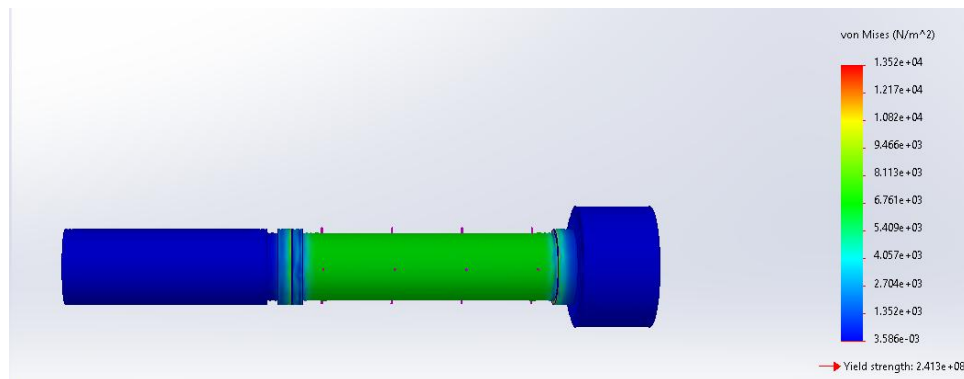


Рис 3.4 Еквівалентні напруження за Мізесом

Оскільки виникаючі напруження не досягають межі текучості матеріалу, переважна частина шпиндельного вала на епюрі забарвлена в синій та зелений колір. Це вказує на низький рівень навантаження та означає, що конструкція має запас міцності й жорсткості. Робочі сили для вала абсолютно некритичні, він працює виключно в зоні пружних деформацій, тому ризик його втоми чи

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

руйнування мінімальний. Під час роботи шпиндель не буде зазнавати помітних прогинів, надійно зберігаючи високу точність обертання інструмента.

3.8 Висновки по розділу

У конструкторському розділі виконано такі роботи:

1. Описано конструкцію шпиндельного вузла вертикально-свердлильного верстата 2Н55 та проаналізовано призначення і умови роботи його складових частин.
2. Виявлено недоліки існуючих підшипникових опор: клас точності Р6 не відповідає сучасним вимогам; кульковий підшипник задньої опори обмежує компенсацію теплових деформацій; недостатня жорсткість при великих осьових навантаженнях свердління.
3. Обґрунтовано доцільність заміни підшипників позиції 5 на прецизійні SKF 7212 ВЕСВР (клас Р5, $\alpha = 40^\circ$, схема «О»), а позиції 4 — на SKF NU 212 ЕСР (клас Р5, циліндричний роликовий, тип NU).
4. Проведено порівняльний аналіз трьох варіантів підшипників для кожної опори за комплексним критерієм; обрано оптимальні варіанти, що забезпечують: биття шпинделя ≤ 5 мкм, підвищення жорсткості передньої опори в ~ 2 рази, вільну компенсацію теплових деформацій у задній опорі.
5. Виконано розрахунок навантажень на підшипникові опори та перевірковий розрахунок довговічності: $L_{10h_A} = 17\ 866$ год (вимога $\geq 16\ 000$ год), $L_{10h_B} \gg 100\ 000$ год — обидві опори відповідають нормативним вимогам.
6. Проведено автоматизований розрахунок шпиндельного валу в середовищі SolidWorks Simulation.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика життєдіяльності людини у системі «людина – машина – середовище існування»

Система «людина – машина – середовище існування» є центральним поняттям безпеки життєдіяльності на виробництві. Вона охоплює сукупність взаємопов'язаних елементів, що функціонують як єдине ціле з метою виконання виробничого завдання. Кожен елемент системи виконує свою функцію:

- Людина (оператор) — сприймає інформацію про стан машини і середовища, приймає рішення, здійснює керуючі дії та несе відповідальність за результат;
- Машина — виконує технологічні функції відповідно до керуючих дій людини, передає зворотну інформацію через індикатори, звукові та механічні сигнали;
- Середовище існування — сукупність фізичних, хімічних і соціальних чинників виробничого простору, що впливають на стан і діяльність людини та на роботу машини.

Між елементами системи ЛМС існують два основні контури взаємодії: інформаційний — потік даних від машини до людини та керуючий — потік дій від людини до машини. Злагодженість цих контурів визначає ефективність і безпечність усієї системи.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.							
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.							
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.					ТНТУ, ФМТ, МВ-41		

Надійність системи ЛМС визначається надійністю кожної з її ланок. Відмова будь-якої ланки — помилкова дія оператора, технічна несправність машини або різка зміна параметрів середовища — може призвести до аварійної ситуації. Тому аналіз системи ЛМС є необхідним етапом забезпечення безпеки на виробництві.

4.1.2. Людина як ланка системи ЛМС

Людина є найбільш складною і водночас найменш передбачуваною ланкою системи ЛМС. Її діяльність у системі визначається трьома групами характеристик: біологічними, такими як фізичні можливості, витривалість, психофізіологічними — увага, пам'ять, реакція та соціальними — кваліфікація, мотивація, дисципліна.

У процесі керування машиною оператор виконує три послідовні функції: сприйняття інформації через зоровий, слуховий і тактильний канали; переробку інформації та прийняття рішення; реалізацію рішення через органи керування. Затримка або помилка на будь-якому з цих етапів є причиною більшості виробничих аварій — за статистикою, 60–80 % нещасних випадків на виробництві пов'язані з помилками людини.

За характером трудової діяльності оператори металообробних верстатів виконують роботу середньої важкості — категорія Па за ДСН 3.3.6.042-99. Основні види навантажень наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика навантажень на оператора металообробного верстата

Вид навантаження	Характер навантаження	Ступінь
Динамічне фізичне	Встановлення та знімання заготовок, переміщення рухомих вузлів верстата	Середній (кат. Па)
Статичне фізичне	Утримання органів керування при безперервному веденні інструменту	Помірний

Зорове	Відлік показань вимірювальних пристроїв, контроль якості обробленої поверхні	Підвищений (розряд III)
Нервово-емоційне	Відповідальність за точність розмірів, прийняття оперативних рішень	Помірний
Слухове	Контроль характеру звуку різання як сигналу стану інструменту і верстата	Значний

Важливою характеристикою людини як ланки системи ЛМС є час реакції на аварійний сигнал. Час простої реакції людини становить 0,15–0,5 с залежно від виду сигналу та ступеня готовності оператора. За цей час рухомі частини верстата встигають пройти значний шлях, що підкреслює першорядну роль технічних засобів захисту як першої лінії безпеки.

4.1.3. Машина як ланка системи ЛМС

Машина як ланка системи ЛМС виконує дві взаємопов'язані функції: технологічну — безпосереднє виконання операції та інформаційну — відображення свого стану для оператора. Ефективність інформаційної функції визначається складом і якістю органів відображення інформації — індикаторів, лічильників, сигнальних пристроїв.

Ергономічні вимоги до машини як ланки системи ЛМС охоплюють такі аспекти:

- розміщення органів керування у зонах оптимального досяжності оператора (висота 900–1400 мм від підлоги для стоячого положення);
- зусилля на органах керування в межах допустимих значень ДСТУ EN 563-2001 — не більше 50 Н при частому та 250 Н при рідкому застосуванні;
- наявність і справність засобів аварійної зупинки — кнопка «Стоп»

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

збільшеного розміру червоного кольору, доступна з будь-якої робочої позиції;

– захисні огороження рухомих і небезпечних зон, що виключають випадковий контакт оператора з ними.

4.1.4. Виробниче середовище та оцінка умов праці

Виробниче середовище формує фон, в якому функціонують людина і машина. При роботі на металообробних верстатах середовище характеризується комплексом шкідливих і небезпечних виробничих чинників (ШНВЧ) відповідно до ГОСТ 12.0.003-74. Оцінку основних чинників наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика виробничого середовища при роботі на металообробних верстатах

Чинник середовища	Джерело	Норма
Виробничий шум	Зубчасті передачі, підшипники, процес різання	80 дБА
Вібрація локальна	Рукоятки і маховики органів керування	126 дБ
Аерозоль ЗОР	Розпилення мастильно-охолоджуючої рідини	5 мг/м ³
Освітленість	Недостатнє загальне та місцеве освітлення	300–500 лк
Мікроклімат	Теплові виділення від двигунів і процесу різання	19–23 °С, 40–60 %

Перевищення хоча б одного з наведених показників переводить умови

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

праці до шкідливого класу, що потребує організаційних і технічних заходів захисту. Зниження рівня шкідливих чинників середовища є одним із напрямів модернізації виробничого обладнання — зокрема, застосування підшипників підвищеного класу точності в вузлах верстатів зменшує виробничий шум і вібрацію від підшипникового вузла.

4.1.5. Аналіз небезпечних ситуацій та управління ризиками

Аналіз небезпек у системі ЛМС виконується з метою виявлення потенційних причин нещасних випадків і розробки запобіжних заходів. Рівень ризику оцінюється як добуток ймовірності реалізації небезпечної ситуації на тяжкість можливих наслідків: $R = P \times S$. Типові небезпечні ситуації при роботі на металообробних верстатах наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Типові небезпечні ситуації при роботі на металообробних верстатах

Небезпечна ситуація	Причина (ланка ЛМС)	Тяжкість наслідків	Рівень ризику
Контакт з обертовим інструментом або шпинделем	Помилкова дія оператора (Л)	Висока (травма)	Середній
Вліт уламків зламаного інструменту	Знос інструменту + неправ. режим (М+Л)	Середня (поріз, удар)	Середній
Захоплення одягу або волосся обертовими частинами	Незахищені рухомі частини (М) + Л	Висока (тяжка травма)	Середній
Ураження електричним струмом	Пошкодження ізоляції, відсутність заземлення (М)	Дуже висока	Прийнятний

Вдихання аерозолів ЗОР та стружкового пилу	Недостатня вентиляція (С) + відсутність ЗІЗ (Л)	Середня (хронічна)	Середній
--	---	--------------------	----------

де Л — ланка «людина», М — ланка «машина», С — ланка «середовище».

Зниження рівня ризику досягається поєднанням трьох підходів: технічних — огороження, блокування, заземлення, організаційних — інструктаж, регламенти, контроль та індивідуальних — засоби індивідуального захисту.

4.2. Заходи безпеки при обслуговуванні верстата, установки, механізму

4.2.1. Загальні вимоги безпеки при роботі на металообробних верстатах

До самостійної роботи на металообробних верстатах допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, первинний інструктаж з охорони праці та навчання безпечним прийомам роботи. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на три місяці.

При роботі на металообробних верстатах діють такі ШНВЧ:

- механічні: обертів шпиндель та інструмент; вліт уламків зламаного інструменту; рухомі вузли верстата, такі як стіл, супорт, шпиндельна бабка; зрив незакріпленої заготовки;
- електричні: струмовідні частини обладнання під напругою 380 В; пошкоджена ізоляція кабелів;
- термічні: нагрів зони різання, інструменту та оброблюваної поверхні;
- хімічні: аерозоль мастильно-охолоджуючої рідини в зоні різання;
- фізичні: виробничий шум від передач та процесу різання;

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

вібрація органів керування.

4.2.2. Заходи безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи на верстаті виконуються такі обов'язкові перевірки та підготовчі дії:

1. Зовнішній огляд. Перевіряється наявність і справність захисних кожухів усіх рухомих передач; цілісність ізоляції електрокабелів; наявність і надійність з'єднання захисного заземлення (клема РЕ) відповідно до вимог ПУЕ.
2. Перевірка органів керування. Усі рукоятки, маховики та кнопки керування переміщуються і спрацьовують без заїдань; кнопка аварійного зупину (червона, грибоподібна) перевіряється натисканням і відпусканням.
3. Встановлення захисних пристроїв. Огородження зони різання (прозорий екран, щиток) встановлюється у робоче положення до початку обробки.
4. Закріплення заготовки. Заготовка закріплюється надійно — із зусиллям, що виключає її зміщення або обертання під дією максимального крутного моменту різання. Не допускається розпочинати обробку при незафіксованій заготовці.
5. Встановлення і перевірка інструменту. Різальний інструмент встановлюється у посадкове місце без перекосу; хвостовик протирається від мастила до встановлення для забезпечення надійного контакту. Биття ріжучої кромки при ручному прокручуванні не повинно перевищувати допусків, зазначених у технічній документації на верстат.
6. Одягання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Оператор одягає захисні окуляри, халат із застебнутими рукавами без звисаючих деталей; при рівні шуму понад 80 дБА — антифони зі звукозниженням не менше 15 дБА. Рукавиці застосовуються лише при встановленні та знятті заготовок — не під

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

час роботи верстата.

4.2.3. Заходи безпеки під час роботи

Вимоги до зони різання.

Торкатися обертового шпинделя, інструменту і заготовки голими руками під час роботи верстата категорично забороняється. Стружка видаляється виключно після повного зупину обертових частин — гачком або щіткою; видалення стружки руками неприпустиме незалежно від її виду.

Перемикання режимів.

Перемикання ступенів частот обертання виконується лише при зупиненому шпинделі. Різке зростання зусилля різання або поява нехарактерного стуку свідчать про затуплення чи поломку інструменту — верстат негайно зупиняється для перевірки.

Переміщення рухомих вузлів.

Переміщення рухомих вузлів верстата (столу, бабки, рукава) здійснюється після відведення інструменту від заготовки і зупину шпинделя. Перед початком переміщення переконуються у відсутності людей і предметів у зоні руху вузла.

Контроль теплового стану вузлів.

Температура корпусних деталей у зоні підшипникових вузлів контролюється тактильно не рідше одного разу за зміну. При відчутному перегріві понад норму верстат зупиняється і викликається механік. Нормальна температура зовнішньої поверхні корпусу підшипникового вузла не перевищує 60 °С.

Застосування ЗОР.

Подача охолоджуючої рідини вмикається до початку різання і вимикається після відведення інструменту. Концентрація емульсії

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

підтримується відповідно до паспорта верстата і технічних вимог до застосовуваної ЗОР; відхилення від норми погіршують або охолоджувальний ефект, або санітарний стан робочої зони.

4.2.4. Заходи безпеки при технічному обслуговуванні та ремонті

Технічне обслуговування верстата, у тому числі заміна підшипників шпиндельного вузла виконується в наступному порядку:

1. Знеструмлення. До початку будь-яких ремонтних робіт верстат відключається від мережі — вимикач у ввідному щитку переводиться у положення «0» і замикається на ключ. На вимикачі вивішується табличка «Не вмикати — ведуться роботи!».
2. Розбирання вузлів. Деталі знімаються спеціальними знімачами та пристосуваннями відповідно до технологічної карти розбирання. Силкові методи (збивання зубилом, удари молотком по посадкових поверхнях) заборонені — вони призводять до пошкодження посадкових місць і поверхонь деталей.
3. Монтаж підшипників. Підшипники витягуються з упаковки безпосередньо перед встановленням. Напресування внутрішнього кільця на вал виконується через монтажну втулку — зусилля передається лише на кільце, не на тіла кочення. Для полегшення посадки допускається нагрів внутрішнього кільця до 80–100 °С в масляній ванні або індукційним нагрівачем.
4. Мащення. Підшипники заповнюються мастилом відповідно до вказівок паспорта верстата у кількості 1/3 вільного об'єму гнізда. Надлишок мастила спричиняє перегрів підшипника при роботі.
5. Перевірка після монтажу. Після збирання вузла верстат запускається на холостий хід. Контролюється температура корпусу у зоні підшипників, характер шуму (рівний, без стукотів) і відсутність підвищеної

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

вібрації. При позитивних результатах верстат допускається до роботи.

4.2.5. Заходи безпеки після завершення роботи

1. Інструмент відводиться від заготовки, шпindel зупиняється кнопкою «Стоп», головний вимикач відключається.
2. Стружка видаляється зі столу та корпусу верстата щіткою або магнітним скребком; прибирання стружки з підлоги виконується совком, а не руками.
3. Різальний інструмент виймається і укладається у відповідне місце зберігання.
4. Насос ЗОР зупиняється; поверхні верстата протираються технічними серветками.
5. Виконується огляд верстата для виявлення відхилень (витоки мастила, пошкодження захисних кожухів, сліди перегріву); виявлені несправності передаються механіку або майстру зміни.

4.3. Висновки до розділу

1. Аналіз системи ЛМС при роботі на металообробних верстатах виявив п'ять типових небезпечних ситуацій — від контакту з обертовим інструментом до вдихання аерозоллю ЗОР. Зниження рівня ризику досягається поєднанням технічних, організаційних і індивідуальних заходів захисту.
2. Умови праці оператора металообробного верстата відповідають категорії важкості Па; основним шкідливим чинником є виробничий шум, рівень якого при роботі зубчастих передач і процесі різання може перевищувати ГДР 80 дБА. Застосування підшипників підвищеного класу точності в шпindelних вузлах є технічним заходом зниження шуму і вібрації верстата.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологічний процес на основі аналізу технологічності деталі, її матеріалу, технічних умов на виготовлення.
2. Розроблено маршрутну карту на деталь Пуансон 0609-5154/003. Відповідно до типу виробництва та вимог до якості оброблених поверхонь проведено вибір верстатно-інструментального забезпечення. Розроблено керуючі програми для фрезерної обробки на верстаті з ЧПК.
3. Проведено аналіз шпиндельного вузла верстату 2Н55. Обґрунтовано доцільність та визначено шляхи модернізації шпиндельного вузла.
4. Виконано комплекс розрахунків підшипникових опор, обрано нові підшипникові опори шпинделя. Проведено автоматизовані розрахунки шпиндельного валу та розроблено складальне креслення оновленого шпиндельного вузла.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ					
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Загальні висновки			<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.									
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.									
<i>Реценз.</i>										
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.									
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.				<i>ТНТУ, ФМТ, МВ-41</i>					

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
2. Крупа В.В., Кобельник В.Р. Призначення режимів різання при точінні табличним методом : Навчальний посібник - практикум. Тернопіль : ФОП ПАЛЯНИЦЯ, 2025. 144 с
3. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.
4. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Скляр; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
5. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Скляр Р. А. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
6. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.
7. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ		
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Перелік посилань		
<i>Розроб.</i>	Баглай І. С.						
<i>Переір.</i>	Крупа В.В.						
<i>Реценз.</i>					<i>ТНТУ, ФМТ, МВ-41</i>		
<i>Н. контр.</i>	Кобельник В.Р.						
<i>Зав. каф.</i>	Крупа В.В.						

8. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.

9. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

10. Крупа, В., Гагалюк, А., Сеник, А. ВПРОВАДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ В СИСТЕМІ AUTOCAD ПРИ НАВЧАННІ ІНЖЕНЕРІВ. Сучасні проблеми моделювання. Мелітополь, (27), 2025. С.96-108.

11. Бабій А. В., Довбуш Т. А., Бабій М. В., Ткаченко О. І., Сташків М. Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль : ТНТУ 2023. 246 с.

12. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В. Р, Крупа В. В., Тимошенко Н. М. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

13. Ворощук В. Я., Вітенько Т. М. «Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі SolidWorks». Навчальний посібник. 2023. – 164 с.

14. Вплив випадковості подачі на висоту мікронерівностей поверхні при її точінні або розточуванні / П. Кривий, Н. Тимошенко, М. Шарик, В. Крупа Львів : Машинознавство. 2013. №9-10 (195-196). С. 76-83.

15. Герасимчук Г. А., Скляр Р. А., Шанайда В. В. Розробка математичної моделі та дослідження складних профільних з'єднань у спеціалізованих пакетах комп'ютерного моделювання. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2013. № 42. С. 75–80.

16. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навч. посіб. до виконання

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи /Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

17. Дослідження розсіювання величин подач токарних верстатів в імовірнісному аспекті / В. В. Крупа та ін. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2023. № 4(83). С. 16–28. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.2>

18. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердильних верстатів / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. № 1 (40). – С. 34–40.

19. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.

20. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

21. Кривий П. Д. , Крупа В. В. Конструкторсько-технологічні параметри багаторізцевих розточних головок з радіусними вершинами різців. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2011. Вип. 33 С. 92-99.

22. Кривий П.Д. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, В.І. Продан, В.Г. Яковлєв // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 145–155.

23. Кривий П. Д., Крупа В. В. Геометричні та математичні моделі формування шорсткості циліндричних поверхонь при точінні та розточуванні.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". 2011. Т. 1, № 2(53). С. 44–55. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/70846>.

24. Кривий П. Д., Крупа В. В. Інструментальне забезпечення процесу комбінованого розточування глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. 2012. № 2. С. 23–34.

25. Кривий П., Крупа В., Продан В. Конструкторсько-технологічні передумови підвищення якості оброблення глибоких отворів тонкостінних циліндрів. Вісник ТДТУ. 2010. Т. 15, № 1. С. 147–156. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/486>.

26. Крупа В. В. Визначення конструкторсько-технологічних параметрів багаторізцевих розточних головок з поділом припуску та подачі. Вісник ТДТУ. 2011. Т. 16, № 1. С. 105–117. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/959>.

27. Крупа В. В. Металорізальні інструменти з асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких отворів циліндрів : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль, 2015. 168 с. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/5656>

28. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>

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

30. Кузнецов Ю. М., Скляр Р. А. Формалізований опис шпиндельного вузла як основної компоненти багатошпиндельного токарного автомата. Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

наук. праць. - Краматорськ : ДДМА, 2009. - Вип. 25. – С. 139-146

31. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлев. Технічні науки та технології. 2016. № 2 (4). С. 28-35.

32. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).

33. achievements in materials and manufacturing engineering. 2022. Vol. 114, no. 1. P. 22–31. URL: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1480>

34. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / P. Kryvyi et al. Scientific journal of the Ternopil national technical university. 2019. Vol. 96, no. 4. P. 57–69. URL: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2019.04.057

35. Technological Heredity and Accuracy of the Cross-Section Shapes of the Hydro-Cylinder Cylindrical Surfaces / P. D. Kryvyi et al. ASME 2014 International Manufacturing Science and Engineering Conference collocated with the JSME 2014 International Conference on Materials and Processing and the 42nd North American Manufacturing Research Conference, Detroit, Michigan, USA, 9–13 June 2014. 2014. URL: <https://doi.org/10.1115/msec2014-3946> (date of access: 22.05.2024).

36. The influence of titanium as a desferoidizing element on the stability of production of magnesium cast irons with compacted graphite. Aulin, V., Kropivny, V., Kuzyk, O., O. Lyashuk, M. Bosyi, Y. Vovk, A. Kropivna, M. Sokol, Senyk, A., Slobodyan, L. Tribology in Industry. Faculty of Engineering University of Kragujevac. Serbia. Volume 43, No 4, 2021, Pages 654-666 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0->

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

85120570655&origin=resultslist&sort=plf-
f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=bd1963aefba42134076b7bda6d0147e0&sot=aff&
sdt=a&sl=67&s=AF-
ID%%28"Ternopil+Ivan+Puluj+National+Technical+University"+60013556%%2
9&relpos=1&citeCnt=0&searchTerm=
http://www.tribology.rs/journals/2021/2021-4/2021-4-14.html

37. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.

38. Volodymyr Shanaida, Ruslan Skliarov, Valeriy Lazaryuk. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations/ Proceedings ITTAP'2023: 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, November 22–24, 2023, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland. 2023, 3628, pp. 43-54. (Scopus) <https://ceur-ws.org/Vol-3628/paper12.pdf>

39. Krupa V. DEVISING A METHOD FOR ASSESSING THE RESIDUAL RESOURCE AND EFFICIENCY OF TOOL UTILIZATION BASED ON THE ANALYSIS OF DIMENSIONAL WEAR. Krupa V., Kobelnyk V., Viuk D., Zakharii A., Bei M. Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Ukraine. 2026. Volume 1. Issue 1(139), pp. 6–14. <https://www.scopus.com/pages/publications/105032896292?origin=resultslist>

40. Крупа В.В., Апостол Ю.О., Щербань Ю.І., Тарапата О.С. Дослідження параметрів процесу та шорсткості поверхні при свердлінні гартованої сталі гарматним свердлом. Вісник Херсонського національного технічного університету, 3(94), ч. 1, 2025, С. 149-159.

					КРБ 22-027.00.00.00 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		