

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Андрій ЗАГОРУЛЬКО
(підпис)
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 131 Прикладна механіка, освітньо-професійної програми «Комп'ютерна механіка», на тему: **«Сучасні комп'ютерні технології при розробці та виготовленні деталей фільтрів-зневоднювачів».**

Здобувача групи КМ.м-31 ПОКИДЧЕНКА Владислава Олеговича.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Владислав ПОКИДЧЕНКО
(підпис)

Керівник: доцент, к.т.н., доцент Євген САВЧЕНКО _____
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 115 с., 12 рис., 28 табл., 20 джерел.

Мета роботи: підтвердження ефективності використання сучасних комп'ютерних технологій при розробці та виготовленні деталей фільтрів-зневоднювачів.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення деталей фільтрів-зневоднювачів.

Предмет дослідження – застосування верстатів з ЧПК в техпроцесі виготовлення деталей фільтрів-зневоднювачів та використання програмного комплексу ANSYS для розрахунків на міцність.

Методи дослідження – технологічна підготовка виробництва, програмування техпроцесу обробки деталей на верстатах з ЧПК, використання програмного комплексу ANSYS, економічний аналіз.

Розроблено сучасний технологічний процес з прогресивними методами обробки на верстаті з ЧПК з застосуванням спеціальних ріжучих та вимірювальних інструментів. Також змінений спосіб отримання заготовки. Запропоновано отримання заготовки на горизонтально-кувальній машині (ГКМ), що дозволяє зменшити собівартість заготовки і дає можливість отримувати заготовку максимально наближену за своїми розмірами до розмірів деталі. Базовий технологічний процес був змінений таким чином, що токарно-гвинторізна операція (обробка за два установи) замінюється на одну токарну на верстаті з ЧПК, де обробка ведеться за один установ. Всі нововведення, які були введені технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» спрямовані на зниження собівартості та підвищення конкурентоспроможності виробу. Показано можливості використання програмного комплексу ANSYS для розрахунків на міцність. Отримані результати підтверджені економічними розрахунками, що дозволяє зробити висновок про економічну ефективність розробленого технологічного процесу.

ФІЛЬТР-ЗНЕВОДНЮВАЧ, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ANSYS,
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТИ З ЧПК, ЕКОНОМІЧНА
ЕФЕКТИВНІСТЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛЬТРА-ЗНЕВОДНЮВАЧА	8
1.1 Опис виробу - фільтра-зневоднювача	8
1.2 Опис деталі	9
1.3 Характеристика типу виробництва	12
1.4 Вибір і технічне обґрунтування методу виготовлення заготовки	14
1.5 Розрахунок аналітичним методом поверхні $d120.2 h9$	18
1.6 Розробка маршрутного техпроцесу	20
1.7 Розробка операційного технологічного процесу	32
1.8 Проектування оснащення	54
1.9 Дослідницька частина	63
2 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	65
2.1 Розрахунок річного приведеного обсягу деталей та норм штучнокалькуляційного часу і розцінок	65
2.2 Розрахунок кількості верстатів та коефіцієнта їх використання	69
2.3 Розрахунок чисельності персоналу дільниці	70
2.4 Організація постачання робочих місць на дільниці матеріалами, інструментом	74
2.5 Організація наладки обладнання з ЧПК по керуючій програмі	77
2.6 Обґрунтування прийнятих методів розробки керуючих програм в технологічному процесі, що проектується	79
3 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS В РОЗРАХУНКАХ НА МІЦНІСТЬ	85
3.1 Загальна характеристика комплексу ANSYS	85
3.2 Основні можливості ANSYS для розрахунків на міцність	85
3.3 Процес розрахунку на міцність у ANSYS	86
3.4 Приклади використання ANSYS для розрахунків на міцність	86

	5
3.5 Метод скінченних елементів (МСЕ) в ANSYS	88
3.6 Аналіз напружень в ANSYS	90
3.7 Аналіз на втому в ANSYS	94
3.8 Термомеханічний аналіз в ANSYS	96
3.9 Лінійний і нелінійний аналіз в ANSYS	98
4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	104
4.1 Визначення вихідних даних для економічного порівняння варіантів	104
4.2 Визначення капітальних вкладень по порівнюваним варіантам	105
4.3 Визначення технологічної собівартості річного випуску деталей за порівнюваними варіантами	107
4.4 Визначення річного економічного ефекту та строку окупності капітальних вкладень	109
4.5 Техніко-економічні показники дільниці	111
ВИСНОВКИ	112
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні особливу роль відводять створенню і впровадженню нової техніки в усіх галузях, прискоренню науково-технічного прогресу країни. З переходом України на ринкові відносини різко зросла потреба народного господарства в якісній надійній конкурентоспроможній продукції, виготовленої машинобудуванням та іншими галузями промисловості. Для отримання якісної, конкурентоспроможної продукції на підприємстві впроваджуються передові технології і високопродуктивне прогресивне обладнання.

У зв'язку з гнучким використанням та створенням виробничих комплексів механічної обробки різанням особливого значення набувають верстати з ЧПК. Застосування верстатів з ЧПК, заміна універсального обладнання має особливості і створює певні переваги:

- продуктивність верстата підвищується в 1,5-5 разів у порівнянні з аналогічними верстатами, але з ручним керуванням;
- поєднується гнучкість універсального обладнання з точністю і продуктивністю верстата-автомата, що дозволяє вирішувати питання комплексної автоматизації одиничного і серійного виробництва;
- якісно переозброюється машинобудування на базі сучасної електроніки і обчислювальної техніки;
- знижується потреба у кваліфікованих робітничих кадрах, а підготовка виробництва переноситься в сферу інженерної праці;
- скорочується час пригонюваних робіт у процесі складання, так як деталі, виготовлені в одній програмі, є взаємозамінними;
- скорочуються терміни підготовки і переходу на виготовлення нових деталей, завдяки централізованому запису програм і простішій універсальній технологічній оснастці;
- знижується тривалість циклу виготовлення деталей і зменшується запас незавершеного виробництва.

Також новий технологічний процес повинен бути більш прогресивним, ніж старий, і забезпечувати виконання всіх вимог креслення і технічних умов, підвищення продуктивності праці і якості виробу, скорочення трудових і матеріальних витрат на його реалізацію технологічний процес повинен відповідати вимогам техніки безпеки і промислової санітарії, викладеним в системі стандартів безпеки праці. Також розробці нового технологічного процесу в центрі уваги повинні бути питання екології.

1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛЬТРА-ЗНЕВОДНЮВАЧА

1.1 Опис виробу - фільтра-зневоднювача

1.1.1 Загальні положення

Фільтри-зневоднювачі призначені для очистки стисненого повітря від твердотільних забруднень, аерозолів, води та мастила. Розраховані на користування в якості вхідних цехових фільтрів, працюючих з одним або групою споживачів. Служать для забезпечення заданого класу чистоти повітря в цехових магістралях та захисту від перевищень забруднень фільтрів робочих пневмосистем.

1.1.2 Конструкція та принцип дії

Фільтр-зневоднювач виконано у вигляді одного блоку зі змінною кришкою. Розрахунок, проектування та виготовлення фільтру зневоднювача у відповідності з вимогами ДСТУ, ТУ по робочим кресленням, затверджуваних у встановленому порядку.

Фільтр-зневоднювач функціонально є вхідним цеховим зневоднювачем та масловологовідокремлювачем з фільтруючим картриджем. Перша очищувачем повітря є вхідний циклон. Потім проводиться очистка від більш проникаючих частинок та аерозолів в фільтруючому картриджі. Для ефективного видалення водо-масляного туману в фільтруючому картриджі введені відокремлюючі прошарки з ультра тонких полімерних волокон. Зібрані картриджем краплі під дією сил тяжіння, долаючи сили поверхневого тяжіння та аеродинамічного протистояння потоку газу, переміщеного у відстійник по дренажному прошарку картриджа. Для виключення виносу зібраних крапель в «чисту зону» в корпусі є інерційна пастка. Очищене

середовище виходить з корпусу через вихідний патрубков. Для накопичення забруднень є два відстійника в нижній частині корпусу. Опорожнення відстійників проводиться періодично за допомогою відповідних дренажних кранів. Для візуального контролю за величиною перепаду тиску на картриджі важливо, щоб фільтр був укомплектований диференціальним манометром.

Фільтри комплектуються високоефективними волоконними фільтроелементами об'ємної фільтрації. Фільтруюче середовище – рівномірно розподілені полімерні волокна, структура – зі змінюваною пористістю. В залежності від характеру забруднення фільтри можуть бути укомплектовані партикулятивними (для очистки від твердотільних забруднень) або коалесцируючими (для очистки від аерозолів) фільтроелементами. На фільтрі допускається короточасний перепад тиску до 0.2 МПа.

При постійному перепаді тиску, рівному 0.15 МПа. рекомендується змінити фільтроелемент. Початковий перепад тиску на фільтрі не більш 0.01 МПа. Для запобігання виникнення в процесі роботи вторинних забруднень всі внутрішні порожнини захищені гальванічними або полімерними покриттями. Матеріал фільтруючого картриджу електрохімічної та біологічної корозії не боїться. Для захисту від атмосферного впливу використовують епоксі-поліефірне зовнішнє покриття корпусу.

1.2 Опис деталі

Деталь «Корпус» являє собою тіло обертання. Матеріал – Конструкційна криогенна сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-78. Вага деталі складає – 13.94 кг.

Існують якісні та кількісні методи оцінки технологічності конструкції.

1.2.1 Якісний метод оцінки технологічності деталі.

Матеріал деталі (наявність заміників, вартість, оброблюваність, можливі способи одержання заготовок).

Дана деталь зручна для базування та закріплення на токарному верстаті. Також її можливо закріпити в лещатах для фрезерування або в поворотній головці для свердлення. Розміри на кресленні проставлені зручно для робітника при її обробці, тобто простановка розмірів технологічна.

Наявність жорстких вимог допусків форми та розташування.

Нетехнологічними конструктивними елементами буде паз 5 мм, глухі отвори на двох поверхнях, канавка, округлення, глухі, малого діаметру отвори та розташовані під кутом отвори, різноманітність розмірів різьбових отворів тобто потрібен спеціальний інструмент.

Заготовку отримують на ГКШП, тобто заготовка буде подібна до деталі, що є технологічно і говорить про те, що механічна обробка зведена до мінімуму.

1.2.2 Кількісна оцінка технологічності деталі

Коефіцієнт точності обробки K_T :

$$K_T = 1/(A_{\text{ср}})$$

де $A_{\text{ср}}$ – середнє арифметичне значення квалітетів точності.

$$A_{\text{ср}} = ((14 \times 20) + (7 \times 6) + (9 \times 3) + (13 \times 4)) / 33 = 401 / 33 = 12.2$$

$$K_T = 1 - (1 / 12.2) = 0.92, 0.92 > 0.8, \text{ деталь технологічна}$$

Коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{\text{ш}}$:

$$K_{\text{ш}} = 1/B_{\text{ср}}$$

де $B_{\text{ср}}$ – середнє значення шорсткості по R_a .

$$B_{\text{ср}} = ((12.5 \times 19) + (1.6 \times 3) + (3.2 \times 3) + 1.3) / 33 = 7.7$$

$$K_{\text{ш}} = 1 / 7.7 = 0.1, 0.1 < 0.32, \text{ деталь технологічна.}$$

Хімічний склад сталі:

C = 0.08-0.12%, Cr=8%, Ni=10%, T=1%, Si=0,17-0,37%, P=0,035%.

Таблиця 1.1 Механічні властивості:

Сортамент	Размер	Напр.	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	KCU	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-
Трубы холоднодеформир., ГОСТ 9941-81			549		35			
Трубы горячедеформир., ГОСТ 9940-81			529		40			
Прутки, ГОСТ 5949-75	до \varnothing 60		510	196	40	55		Закалка 1020 - 1100°C, Охлаждение воздух,
Проволока, ГОСТ 18143-72			540-830		20-25			
Поковки, ГОСТ 25054-81	до 1000		510	196	35-38	40-52		Закалка 1050 - 1100°C, вода,
Лист толстый, ГОСТ 7350-77			530	235	38			Закалка 1000 - 1080°C, Охлаждение вода,
Лист тонкий, ГОСТ 5582-75			530	205	40			Закалка 1050 - 1080°C, Охлаждение вода,
Лист тонкий нагартован., ГОСТ 5582-75			880-1080		10			
Лист тонкий полунагартован., ГОСТ 5582-75			740		25			

Таблиця 1.2 Фізичні властивості

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Град	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20	1.98		15	7920		725
100	1.94	16.6	16		462	792
200	1.89	17	18		496	861
300	1.81	17.2	19		517	920
400	1.74	17.5	21		538	976
500	1.66	17.9	23		550	1028
600	1.57	18.2	25		563	1075
700	1.47	18.6	27		575	1115
800		18.9	26		596	
900		19.3				
T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹

Таблиця 1.3 Замінники

США	Германія	Японія	Франція	Англія	Євросоюз	Італія	Іспанія	Китай	Швеція	Болгарія	Венгрія	Польща	Румунія	Чехія	Австрія	Австралія	Юж.Корея
-	DIN, WNr	JIS	AFNOR	BS	EN	UNI	UNE	GB	SS	BDS	MSZ	PN	STAS	CSN	ONORM	AS	KS
321	1.4541	SUS321	Z10CNT18-	321S31	1.4541	X6CrNiTi18-	F.3523	0Cr18Ni10Ti	2337	0Cr18Ni10T	H5Ti	0H18N10T	10TiNiCr180	17246	X6CrNiTi18-	321	STS321
321H	1.4878		10	321S51	1.4878	11	X6CrNiTi18-	0Cr18Ni11Ti		Cr18N12T	KO36Ti	1H18N10T	12TiNiCr180	17247	10KKW		STS321TKA
S32100	X10CrNiTi18-		Z10CNT18-	321S59	X10CrNiTi18-	X6CrNiTi18-	10	0Cr18Ni9Ti		Cr18N9T	KO37Ti	1H18N12T		17248	X6CrNiTi18-		STSF321
S32109	10		11	LW18	10	11KG		1Cr18Ni11Ti		X6CrNiTi18-	X6CrNiTi18-	1H18N9T			10S		
	X12CrNiTi18-		Z6CNT18-	LW24	X6CrNiTi18-	X6CrNiTi18-		H0Cr20Ni10Ti		10	10						
	9		10	X6CrNiTi18-	10KT	11KT											
	X6CrNiTi18-		Z6CNT18-	10													
	10		12														

З аналізу деталі на технологічність можна зробити висновок що деталь є технологічною хоча і має деякі нетехнологічні елементи, але їх можна зробити технологічними за допомогою спеціальних приладів, інструментів або обладнання.

1.3 Характеристика типу виробництва

Тип виробництва-це комплексна характеристика технологічних, організаційних, екологічних особливостей машинобудівного виробництва зумовлена його спеціалізацією, об'ємом і постійністю номенклатури виробів, а також формою руху виробів по трудовим місцям.

В залежності від маси деталі та за заданою з програмою випуску на рік $N_p=5000$ шт. вибираємо річну програму продукції, що відповідає середньосерійному типу виробництва. Цей тип виробництва характеризується обмеженою номенклатурою випускаємої продукції, при цьому вироби кожного найменування випускаємо визначеним і партіями, які повторюються через визначені відрізки часу.

Основні принципи цього виду виробництва партіями цілком, як в обробці деталі так і в збиранні. В серійному виробництві в залежності від кількості виробів в серії, їх трудомісткості. Частоти повторюваності серії на протязі року розрізняють виробництво дрібносерійне, середньосерійне, великосерійне.

Таблиця 1.4 Кількісна та якісна оцінка технологічності деталі

Найменування поверхонь	Кількість	Точність (квалітет)	Шорсткість (Ra)
Діаметри зовнішні			
d 170	1	14	12.5
d 120.2	1	9	1.6
d 120	1	7	3.2
d 111	1	9	1.6
d 115	1	14	12.5
Діаметри внутрішні			
D100	1	14	12.5
D90	1	14	12.5
D27	1	13	1.3
D25	1	14	12.5
D20.4	2	13	12.5
D21.8	2	14	12.5
D28	2	14-	3.2
D10	3	7	12.5
D20	2	7	3.2
Торці			
L150	1	14	12.5
L118	1	14	12.5
L31	2	14	12.5
L8	1	13	12.5
L7	1	14	12.5
L76	1	14	12.5
Фаски			
1x45°	1	14	12.5
1.6x45°	1	14	12.5
2x45°	1	14	12.5
Канавки			
D111	1	9	16
D33	1	14	12.5
Пази			
B=5мм	1	14	12.5
Σ	33		26

Середньосерійне виробництво є найбільш розповсюдженим типом виробництва. На машинобудівних підприємствах середньосерійного типу виробництва виготовляється достатня велика номенклатура виробів, хоча більш обмежена ніж в одиничному виробництві.

Організація праці відрізняється високою спеціалізацією. За кожним робочим місцем закріплюється виконання декількох визначених деталей операцій. Це дозволяє робітнику добре засвоїти інструмент, пристосування й увесь процес розробки, здобути навички, й удосконалити обробку деталі.

Технологічне оснащення в більшості універсальне. Велике розповсюдження отримали універсальні збірні переналагоджувальні пристрої, що дозволяють суттєво підвищити коефіцієнт оснащеності виробництва. Різальний інструмент в основному стандартний. Технічне нормування робіт ведеться за допомогою розрахунків. Документація розробляється докладно.

1.4 Вибір і технічне обґрунтування методу виготовлення заготовки

Для деталі “Корпус” виготовленої зі Сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-78, в умовах середньосерійного виробництва найбільш доцільним методом одержання буде поковка штампована КГШП.

Для визначення припусків табличним способом проводяться наступні розрахунки:

Клас точності поковки – Т2 (с.194, таблиця 14, [2]).

Група сталі – М1 (с.202, таблиця 11, [2]).

Коефіцієнт для визначення орієнтованої маси поковки $K_p = 1,5$ (с.31, таблиця 20, додаток 3).

Орієнтовна (розрахункова) маса поковки:

$$m_{н.ор.} = m_0 \cdot K_p, \quad (1.1)$$

$$m_{п,ор.} = 13,94 \cdot 1,5 = 20,91 \text{ кг.}$$

Визначаємо довжину заготовки:

$$h = l_{max} \cdot 1,05 = 150 \cdot 1,05 = 157,5 \text{ мм} \quad (1.2)$$

де l_{max} - максимальна довжина деталі.

Визначаємо діаметр заготовки:

$$d = d_{max} \cdot 1,05 = 170 \cdot 1,05 = 178,5 \text{ мм} \quad (1.3)$$

де d_{max} - максимальний діаметр деталі.

Визначаємо об'єм заготовки:

$$V = \pi R^2 \cdot h = 3,14 \cdot (89,25)^2 \cdot 157,5 = 0,00394 \text{ м}^3 \quad (1.4)$$

Фактична маса заготовки:

$$m_{\phi} = \rho \cdot V = 7920 \cdot 0,00394 = 31,2 \text{ кг.} \quad (1.5)$$

де ρ - густина сталі, $\rho = 7920 \text{ кг/м}^3$.

Розрахуємо відношення $m_{п,ор}$, до m_{ϕ} . щоб дізнатися Ступінь складності:

$$\frac{m_{п.ор.}}{m_{\phi}} = \frac{20,91}{31,2} = 0,67 \quad (1.6)$$

Виходячи з розрахунків можна визначити: Ступінь складності – С4 (с.30, додаток 2).

Вихідний індекс – 16 (с.9, таблиця 2).

Конфігурація поверхні роз'єму штамп – П (плоска) (с.8, таблиця 1).

Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметри шорсткості R_a , якої необхідно досягнути після механічної обробки, визначаються основні припуски на механічну обробку (с.12, таблиця 3), допуски та допустимі відхилення лінійних розмірів (с.17, таблиця 8) і допустимі припуски (с.20, таблиця 9, 10, 11, 12, 13).

Основні припуски на розміри, мм:

- 3,2 – діаметр 170 мм. та шорсткість поверхні $R_a=12,5$ мкм,
- 3,2 - діаметр 120,2мм. та шорсткість поверхні $R_a =12,5$ мкм,
- 2,8 – діаметр 100 мм. та шорсткість поверхні $R_a=12,5$ мкм,
- 2,8 – довжина 150 мм. та шорсткість поверхні $R_a=12,5$ мкм,
- 2,4 – довжина 20 мм. та шорсткість поверхні $R_a=12,5$ мкм,

Додаткові припуски, що враховують:

- зміщення по поверхні роз'єму штампa – 0,5 мм. (с. 14, таблиця 4),
- зігнутість, відхилень від площинності і прямолінійності – 0,3 мм. (с. 14, таблиця 5).

Розміри поковки, мм:

- діаметр $170 + (1,9 + 0,5 + 0,3) \cdot 2 = 175,5$ мм.
- діаметр $100 - (1,7 + 0,5 + 0,3) \cdot 2 = 95$ мм.
- діаметр $120,2 + (1,9 + 0,5 + 0,3) \cdot 2 = 122,9$ мм. приймаю 123 мм.
- довжина $150 + (2 + 0,5) \cdot 2 = 155$ мм.
- довжина $20 - (1,5 + 0,5) = 18$ мм.

Допустима висота торцевої задирки – 1,0 мм. (с.22, таблиця 11).

Допустиме відхилення по відігнутості, від площинності і від прямолінійності – 0,8 мм (с.23, таблиця 13).

Результати розрахунків припусків і допусків з граничними відхиленнями розмірів показані в таблиці 1.5.

Коефіцієнт використання заготовки визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{m_d}{m_{п.ор.}} = \frac{13,94}{20,91} = 0,67 \quad (1.7)$$

Коефіцієнт використання матеріалу (для штамповок на КГШП)
 $m_{ОПЗ} = 3\% \cdot m_3 = 3\% \cdot 20,91 = 0,647$ кг):

$$K_{и.м.} = \frac{13,94}{20,91 + 0,647} = 0,64 \quad (1.8)$$

Таблиця 1.5 – Зведена таблиця для визначення розмірів заготовки, мм.

Розмір деталі	Основний припуск на сторону	Додатковий припуск на сторону	Розрахунковий розмір заготовки	Допуск та граничні відхилення	Прийнятий розмір заготовки
d170	3,2	0,5; 0,3	175,5	$2,8^{+1,8}_{-1,0}$	$175,5^{+1,8}_{-1,0}$
D100	2,8	0,5; 0,3	95	$2,5^{+1,6}_{-0,9}$	$95^{+1,6}_{-0,9}$
d120,2	3,2	0,5; 0,3	122,9	$2,5^{+1,6}_{-0,9}$	$123^{+1,6}_{-0,9}$
l20	2,4	0,5; 0,3	18	$1,6^{+1,1}_{-0,5}$	$18^{+1,1}_{-0,5}$
L150	3,2	0,5; 0,3	155	$1,6^{+1,1}_{-0,5}$	$155^{+1,1}_{-0,5}$

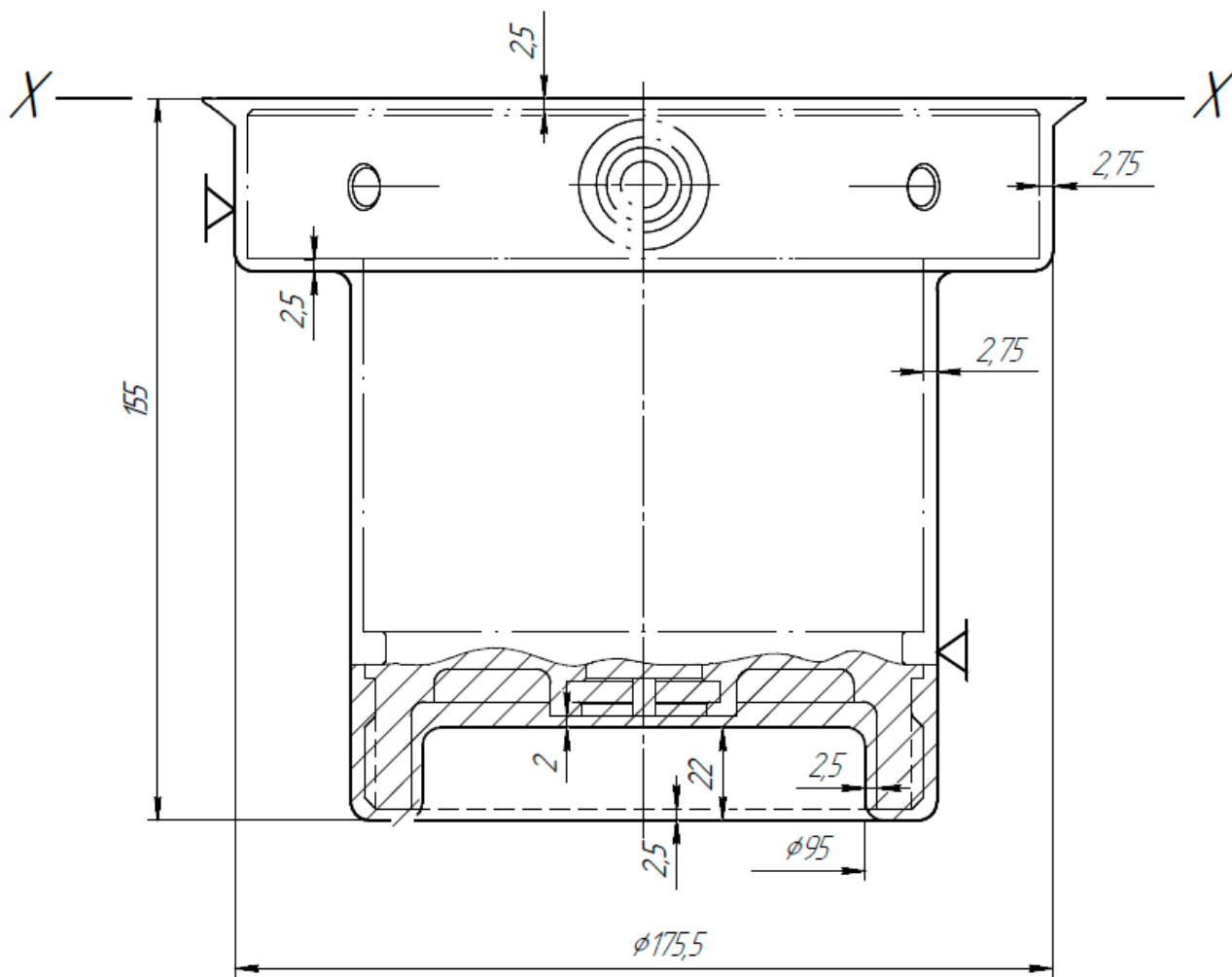


Рисунок 1.1 - Ескіз заготовки, отриманої методом штампування

1. Клас точності – Т2, група сталі М1, ступінь важкості – С1, вихідний індекс – 16.
2. Штамповані схили 5...7 мм.
3. Невказані радіуси 2...3 мм.

1.5 Розрахунок аналітичним методом поверхні d120.2 h9

1.5.1 Вихідні дані:

Маса - 13,94 кг.

Матеріал - сталь 12X18H10T

Метод отримання заготовки - лиття під натиском.

Метод закріплення - 3-х кулачковий патрон.

Базова поверхня – d120.2 h9 чорнова.

1.5.2 Значення відхилень по квалітету та шорсткості

Таблиця 1.6 - Значення відхилень по квалітету та шорсткості.

Найменування операції	Квалітет	Шорсткість
Отримання заготовки	IT 16±0.87	25
Точіння чорнове	h12-0.4	6.3-50
Точіння напівчистове	h11 -0.25	1.6-25
Точіння чистове	h9 -0.087	0.4-6.3
Точіння доводочне	g7 -0.035	3.2

1.5.3 Обираємо елементи припусків по переходах [3].

Висота мікронерівностей та глибина дефектного шару обираються по таблицях:

- для заготовки (с. 186, таблиця 12) Rz заг = 200 мкм Tзаг = 250 мкм

- по переходах (с. 188, таблиця 22):

чорнове Rz чор.=200 мкм, Tz чор.=250 мкм

напівчистове Rz н/ч=50 мкм, Tz н/ч=50 мкм

чистове Rz чист.=25.мкм, Tz чист.=25 мкм

доводочна Rz дов.=6,3, Tz дов. =6,3

1.5.4 Обираємо значення просторових відхилень форми для заготовок, отриманих литтям.

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2} = 2,65 \text{ мм}$$

$$p \text{ чор.} = r_{заг} * K_y = 2,65 * 0,07 = 0,18 \text{ мм} \quad (1.9)$$

$$p \text{ н/чист.} = r_{заг} * K_y = 2,65 * 0,04 = 0,1 \text{ мм} \quad (1.10)$$

$$p \text{ чист.} = 2,65 * 0,02 = 0,05 \text{ мм} \quad (1.11)$$

1.5.5 Похибку установки вибираємо $E_y = 120,2$ мкм,

Таблиця 1.7 Вибір значень припусків

Технічні операції по переходам	Елементи припуску				Розрахунок припуску			Розмір		
	Rz	T	p	E	2z _{мін}	2z _{ном}	2z _{макс}	D _{мін}	D _{ном}	D _{макс}
Заготовка	-	-	-	-	-	-	-	128,3	129	129,9
Чорнова	200	250	2650	120,2	6,3	7,2	8,5	121,65	122,05	122,05
Напівчистова	50	50	180	-	0,63	0,85	1,2	120,95	121,2	121,2
Чистова	25	25	100	-	0,41	0,66	0,75	120,49	120,57	120,57

1.5.6 Розрахунок припусків по переходам

Чистова стадія:

$$d \text{ ном.чист.} = 120,2 + 0,37 = 120,57 \text{ мм} \quad (1.12)$$

$$d \text{ мин.чист.} = d_{\text{мин.чист.}} = d_{\text{ном.чист.}} - e_{i_{\text{чист.}}} = 120,2 + 0,29 = 120,49 \text{ мм} \quad (1.13)$$

$$2Z_{\text{мин.чист.}} = 2(\text{Rz}_{\text{чист.}} + T_{\text{чист.}} + (p^2 + E_y^2)^{1/2}) = 0,41 \text{ мм} \quad (1.14)$$

$$2Z_{\text{макс.чист.}} = 2z_{\text{макс.чист.}} = 2z_{\text{ном.чист.}} + \delta_{\text{чист.}} = 0,75 \text{ мм} \quad (1.15)$$

$$2Z_{\text{НОМ.ЧИСТ.}} = 2z_{\text{НОМ.ЧИСТ.}} = 2z_{\text{мин чист}} + \delta_{\text{н/ч}} = 0,66 \text{ мм} \quad (1.16)$$

Напівчистова стадія:

$$d_{\text{НОМ.Н/ЧИСТ.}} = 120,2 + 1 = 121,2 \text{ мм} \quad (1.17)$$

$$d_{\text{МИН.Н/ЧИСТ.}} = 120,2 + 0,75 = 120,95 \text{ мм} \quad (1.18)$$

$$2Z_{\text{МИН.Н/ЧИСТ.}} = 2(R_{\text{ЗН/ЧИСТ.}} + T_{\text{Н/ЧИСТ.}} + (p^2 + Ey^2)^{1/2}) = 0,63 \text{ мм} \quad (1.19)$$

$$2Z_{\text{МАКС.Н/ЧИСТ.}} = 2z_{\text{МАКС.Н/Ч}} = 2z_{\text{НОМ.Н/Ч}} + \delta_{\text{н/ч}} = 1,2 \text{ мм} \quad (1.20)$$

$$2Z_{\text{НОМ.Н/ЧИСТ.}} = 2z_{\text{НОМ.Н/Ч}} = 2z_{\text{МИН.Н/Ч}} + \delta_{\text{чорн}} = 0,85 \text{ мм} \quad (1.21)$$

Чорнова стадія:

$$d_{\text{НОМ.ЧОР.}} = 121,2 + 0,85 = 122,05 \text{ мм} \quad (1.22)$$

$$d_{\text{МИН.ЧОР.}} = 121,85 - 0,20 = 121,65 \text{ мм} \quad (1.23)$$

$$2Z_{\text{МИН.ЧОР.}} = 2(R_{\text{ЗН/ЧОР.}} + T_{\text{ЧОР.}} + (p^2 + Ey^2)^{1/2}) = 6,3 \text{ мм} \quad (1.24)$$

$$2Z_{\text{МАКС.ЧОР.}} = 2z_{\text{МАКС.ЧОР.}} = 2z_{\text{МИН.ЧОР.}} + \delta_{\text{чор}} + e_{s_{\text{заг}}} = 8,5 \text{ мм} \quad (1.25)$$

$$2Z_{\text{НОМ.ЧОР.}} = 2z_{\text{НОМ.ЧОР.}} = 2z_{\text{МИН.ЧОР.}} + e_{i_{\text{заг}}} = 7,2 \text{ мм} \quad (1.26)$$

Заготівельна:

$$d_{\text{НОМ.ЗАГ}} = d_{\text{МИН.ЗАГ}} + e_{i_{\text{заг}}} = 128,3 + 0,7 = 129 \text{ мм} \quad (1.27)$$

$$d_{\text{МИН.ЗАГ}} = d_{\text{МАКС.ЧОР.}} + 2z_{\text{МИН.ЧОР.}} = 122 + 6,3 = 128,3 \text{ мм} \quad (1.28)$$

$$d_{\text{МАКС.ЗАГ}} = d_{\text{НОМ.ЗАГ}} + e_{s_{\text{заг}}} = 129 + 1,1 = 130,1 \text{ мм} \quad (1.29)$$

1.6 Розробка маршрутного техпроцесу

Для отримання високої якості виробництва, зниження собівартості. техпроцес рекомендується розділяти по принципу поетапності.

В першу чергу визначають чистові бази.

Визначаються поверхні з максимальним припуском та напуском, оскільки при цьому змінюється значні сили закріплення.

Потім оброблюються поверхні, при формуванні яких можуть бути дефекти заготовки.

Останніми оброблюються найбільш точні поверхні.

Таблиця 1.8 - Базовий та запропонований техпроцеси.

Базовий ТП			Запропонований ТП		
№ опер.	Операція	Обладнання	№ опер.	Операція	Обладнання
005	Кузнечна	ГКШП	005	Заготівельна	Оболонкова модель
010	Термічна	Піч	010	Термічна	Піч
150	Контроль ОТК	Стіл ОТК	015	Контроль ОТК	Стіл ОТК
016	Токарно-гвинторізна	16К20	020	Токарно-гвинторізна	
017	Маркування		020	Контроль на місці	ПП
018	Контрольна	ПП	025	Токарна з ЧПК	
019	Розміточна	РП	025	Контроль на місці	ПП
020	Виготовлення зразків		030	Контроль УЗД	
025	Перевірка зразків		035	Маркування	
030	Токарно-гвинторізна	16К20	040	Багатоцільова з ЧПК	ГФ2171С5
035	Маркування		040	Контроль на місці	ПП
040	Контрольна	ПП	045	Багатоцільова з ЧПК	IP320
045	Контроль УЗД		045	Контроль на місці	ПП

050	Токарно-гвинторізна	16K20	050	Слюсарна	
055	Маркування				
060	Контрольна	ПП			
065	Розміточна	РП			
070	Фрезерна	6P12			
080	Свердлувальна	РС-35			
085	Контрольна	ПП			
090	Слюсарна				

1.6.1 Запропоновані методи досягнення технічних вимог в процесі обробки

Точність обробки – відповідність технічних вимог в процесі обробки. Піддаючи ці вимоги аналізу ми можемо побачити, що вони обмежені такими факторами:

- відповідність розмірної точності;
- відповідність вимог шорсткості поверхні;
- відповідність допусків шорсткості поверхонь;
- відповідність допусків форми та положення поверхонь;
- відповідність вимог твердості поверхні;

Поверхні деталі можливо визначити в наступні групи:

- точні (6-7кв);
- середні (8-9кв);
- грубі (10-14кв).

Шорсткість поверхонь забезпечується правильним підбором режимів різання. Найбільший вплив на шорсткість має подача. Тому обрану подачу перевіряємо за можливістю досягнення потрібної шорсткості поверхні. Або потрібна шорсткість досягається шляхом шліфування поверхні.

Таблиця 1.9 - Методи досягнення розмірів

Поверхня	Квалітет	Метод досягнення
M20 M10 M120 M8	7	Різь нарізання мітчиками, які мають високу розмірну точність, а значить і різь. Нарізання точними інструментами буде мати високу точність. Мітчик M8-7H Мітчик M10x1-7H Мітчик M20x1.5-7H P6M5 Різець різьбовий T15K6 PCLNR – 3225P16
D25 D11 D120,2	9	Отвори, вали отримують методом багатократної механічної обробки (чорнової, напівчистої, чистої). Також точність дотримується за рахунок високої точності обладнання, застосованої при обробці.
-	10-14	Грубі поверхні отримання при чорновій обробці (якщо ж ця поверхня має високий клас шорсткості, то для її обробки необхідно застосовувати спеціальні режими різання)

Досягнення шорсткості:

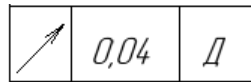
- шорсткість 12,5 досягається при мінімальному застосуванні ріжучого інструменту та мінімальному числу обробки;
- шорсткість 6,3 досягається при 2 або більше стадій обробки;
- шорсткість 3,2 досягається шляхом кількох стадій обробки;
- шорсткість 1,6 досягається при доводочних стадіях обробки, геометрії ріжучого інструменту, мінімальних подачах та великих обертах, властивостей ріжучої пластини.

Допуски форми та взаємного розташування:

– допуск радіального биття відносно циліндричної поверхні $d120,2$ складає $0,04$ мм.

Цей допуск витримується завдяки жорсткості системи ВПД, обробці на одній установі.

Дотримання допусків форми й взаємного розташування поверхонь та твердості поверхні:



- допуск радіального биття $\phi 120,2h9$ ($_{-0,1}$) відносно бази D становить $0,04$ мм.

Даний допуск жорсткий і досягається за рахунок постійності бази, що в свою чергу досягається за рахунок центрування заготовки. І під час зміни операції на токарну чи шліфувальну за рахунок центрів постійність баз забезпечується центрами на радіальному битті до $\phi 120,2 h9$ відносно бази D де допуск становить $0,021$ мм.

Оскільки додаткових вимог конструктором не вказано, то твердість деталі буде такою самою як і у заготовки після загартування 750°C , у воді чи маслі. Відпуск 650°C , у воді чи маслі.

1.6.2 Аналіз базового техпроцесу.

В базовому техпроцесі на виробництві використовують наступний техпроцес.

005. Кузнечна. Обладнання – ГКШП. Деталь закріплюється на спеціальному пристосуванні.

010. Термічна. Обладнання – піч. Використовується для низькотемпературного відпуску з метою покращення якості заготовки.

015. Контроль ВТК. Обладнання – стіл ВТК. Деталь вимірюють та контролюють розміри та дефекти заготовки.

016. Токарно-гвинторізна. Обладнання – 3-х кулачковий патрон. Верстат – 16К20. Підрізати один із торців для маркування.

017. Маркування.
018. Контрольна ПП. Відбувається контроль розмітки.
019. Розміточна ІТБ №58. Розмітка заготовки зразків.
020. Виготовлення зразків.
025. Перевірка зразків.
030. Токарно-гвинторізна. Обладнання – 3-х кулачковий патрон. Верстат – 16К20. Точити в розмір $d150 \times 85$ мм під УЗК. Штангенциркуль ШЩ-2-250-0,1 ДСТУ 166-89.
035. Маркування. Маркувати значення замовлення, креслення, матеріалу ударним методом. Шрифт5-Пр3 ДСТУ 26020-80.
040. Контрольна ПП.
045. Контроль УЗД. Відбувається контроль деталі методом ультразвукової дефектоскопії.
050. Токарно-гвинторізна. Обладнання – 3-х кулачковий патрон. Верстат – 16К20. Штангенциркуль ШЩ-2-250-0,1 ДСТУ 166-89. Штангенциркуль – нутромір М5-215А. Свердло 10-1 СТП 3300-331-87. Нутромір НІ 18-50 ДСТУ 868-78. Мікрометр МР 100-125-0,002 ДСТУ 4381-87. Кільце М120х4-6g ПР СТП 3300-2062-78. Кільце М120х4 НЕ СТП 3300-2063-78. Пробка 2007 д25 Н9 СТП 3300-2372-82. Скоба д111 8113-1010 СТП 3300-2343-82. Скоба д120,2 8113-1010 СТП 3300-2343-82.
055. Маркування. Маркування замовлення, креслення, матеріал.
060. Контрольна.
065. Розміточна ІТБ №58. Розмітити паз $B=5$ мм, отвір $d10$ мм, 2 отвори $M20 \times 1,5-7H$, 2 отвори $M10-7H$, 2 отвори $M8-7H$ згідно креслення.
070. Фрезерна ІТБ №189-4-4. Обладнання – лещата. Верстат – 6Р12. Фрезерування паз $B=5$ мм згідно креслення. Штангенциркуль ШЩ-1-125-0,1 ДСТУ 166-89. Фреза 2220-0601 $d5$ мм СТП 3300-2446-84.
075. Контрольна. Відбувається контроль пазу.
080. Свердлувальна ІТБ №189-4-2. Обладнання – лещата. Верстат – РС-35. Свердлити 2 отвори $d6,8$ під різь $M8-7H$. Зенкувати фаски $1,6 \times 45^\circ$. Свердлити

2 отв. d10. Центрувати 2 отвори d28. Зенкерувати фаски під кутом 30°. Зенкувати 2 отвори d20,4. Нарізати різі M20x1,5-7H. Розвернути 2 отв. d20,5. Штангенциркуль ШЩ-1-125-0,1 ДСТУ 166-89. Свердло 6,8-1.,8,5-1.,17,5-2.,10-1., 20-2., СТП 3300-331-87. Зенковка 011 d16 СТП 3300-2235-80. Зенковка 000, d32 СТП 3300-2232-80. Мітчик M20x1,5. Свердло d28,2, заточене під 180° СТП 3300-331-87. Пробка 7H M20x1,5 СТП 3300-2057-78.

085. Контрольна.

090. Слюсарна.

1.6.3 Запропонований техпроцес

В запропонованому технічному процесі використовується нове обладнання для мінімізації людського втручання та похибки, обумовленої людським фактором.

005. Заготівельна.

Обладнання – оболонкові моделі. Обирається метод отримання заготовки – лиття під тиском, отримаємо заготовку з розмірами d180, 128,2 120, 1 155, 22. Метою заготівельної операції є отримання заготовки дуже наближеної до деталі.

010. Термічна.

На цій операції загартовується деталь при температурі 750° С для покращення механічних властивостей матеріалу деталі.

Обладнання – піч. Г-134.

Оснастка – клещі ТП-98.

015. Контрольна.

На цій операції контролюються розміри та дефекти заготовки, отриманої після загартовування.

Доп. інструмент: Штангенциркуль ШЦ-||-250-0,1 ДСТУ 166-88

020. Токарно-гвинторізна.

На цій операції підрізається деталь у розмір 170x150 мм за допомогою різця прохідного Матеріал Т5К10 ДСТУ 18868-73.

Обладнання – 3-х кулачковий патрон.

Верстат – 16Р25.

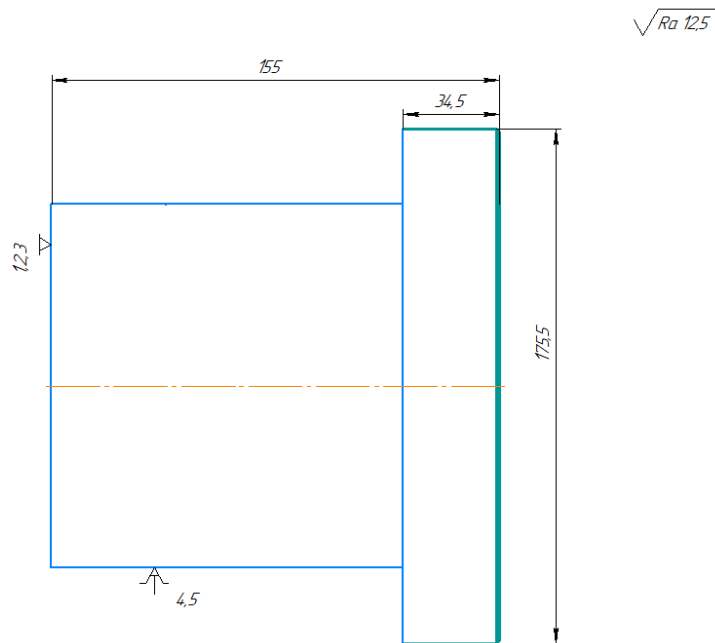


Рисунок 1.2 – Операційний ескіз (операція 020)

Таблиця 1.10

Оброблювані поверхні	Глибина різання t, мм
Торець l32	2,5
Торець $\varnothing 175,5$	2,5
Фаска 1x45	1

020К. Контрольна. Контроль на робочому місці. Відбувається контроль токарної операції. Штангенциркуль ДСТУ166-73.

025. Токарна з ЧПК. На цій операції підганяється зовнішня частина деталі під розміри, обробляється різь М120x4-7g , також обробляється отвір d10. Верстат

– HAAS ST10. Обладнання – 3-х кулачковий патрон. Різець прохідний упорний T15K6 PCLNR – 3225P16. Різець відрізний T5K10 2128-0525 ДСТУ 2108-84. Різець різьбовий T15K6 PCLNR – 3225P16. Різець упорний T15K6 2128-0525 ДСТУ2108-84. Різець розточний T5K10 S40V-PDUNR 15. Свердло d10BK8 ДСТУ 17274-71. Патрон 2-50-11-100 ОСТ2 П12-7-84. Різець розточний T15K6 S40V-PDUNR 15. Різець відрізний T5K10.

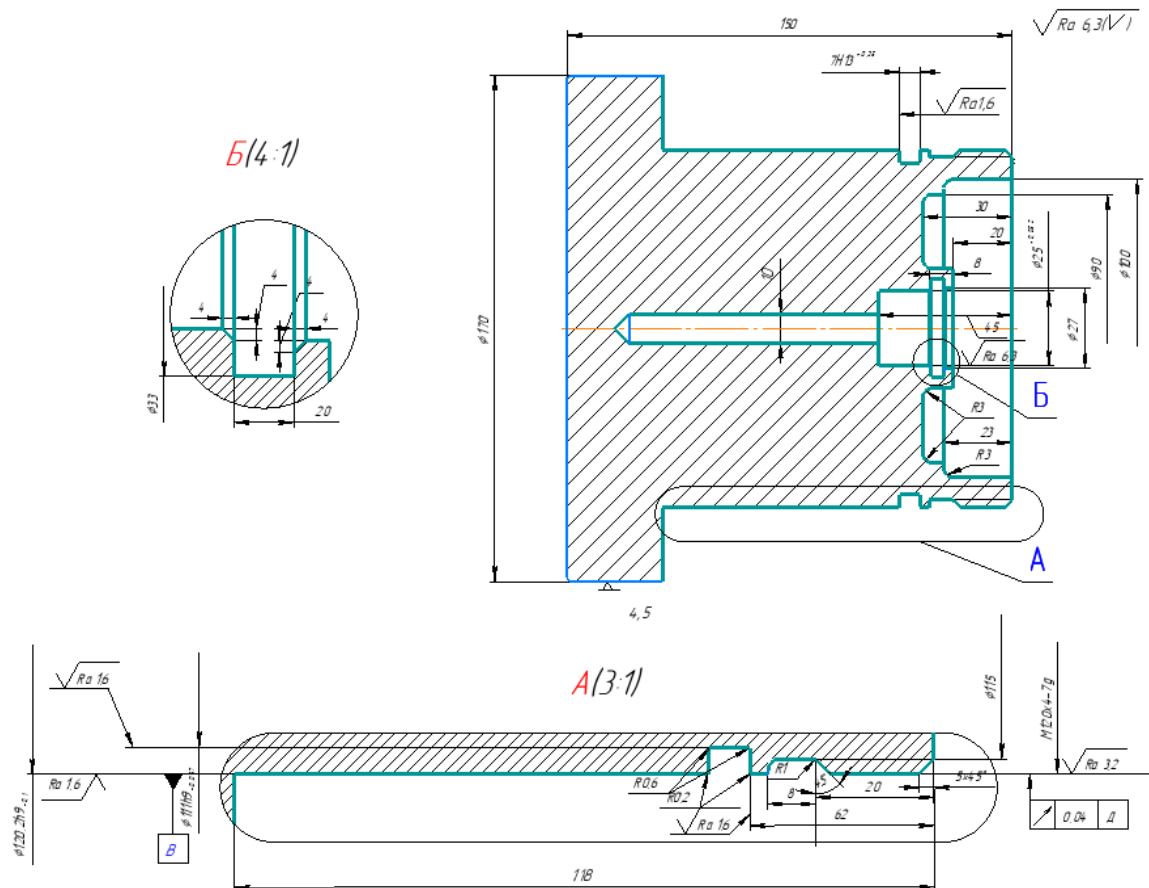


Рисунок 1.3 – Операційний ескіз (операція 025)

025К. Контрольна. Відбувається контроль на робочому місці з метою виключення помилок деталі.

Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ДСТУ 166-89, ШЦ-2-125-0,1 ДСТУ 166-89, Фаскомір М5-215, Сверло 10 ДСТУ 2092-77, Нутромір НИ 18-50, Мікрометр МР 100-125-0,002, Кільце М120х4-6g ДСТУ 17763-72, Пробка d25H9 ДСТУ 15677-80, Скоба d11h9 ДСТУ 14952-75, Скоба d120,2h9

Таблиця 1.11

Оброблювані поверхні	Глибина різання t, мм
Торець I150	2,5
Поверхня Ø120,2h9	2,75
Поверхня Ø120	2,75
Фаска 5x45	5
Торець I118	2,75
Канавка Ø111h9	2
Різьба M120x4-7g	1
Отвір d10	1
Внутрішня поверхня Ø100	2,5
Внутрішня поверхня Ø90	
Канавка Ø33	
Торець I45	

030. Контроль УЗД. Перевірка деталі методом ультразвукової дефектоскопії на дефекти або мікротріщини всередині деталі.

035. Маркування. Маркувати ударним методом, шрифт №10 ДСТУ 26.008-85 слова «ВХ», «ВИХ».

040. Багатоцільова з ЧПК. Обладнання – спеціальне. Верстат HAAS mini mill типу FANUC. Обробляються отвори з різью M8-7H, та отвір d10 за допомогою наступних інструментів: Свердло спіральне d6,8 ДСТУ 14952-75, мітчик машинний M8-7H ДСТУ 3266-80. Фреза дискова d5 ДСТУ 2092-78. Мітчик M8-7H ДСТУ 3226-78.

Таблиця 1.12

Оброблювані поверхні	Глибина різання t, мм
2 отвори с різью M8-7H	15
Отвір Ø10	99

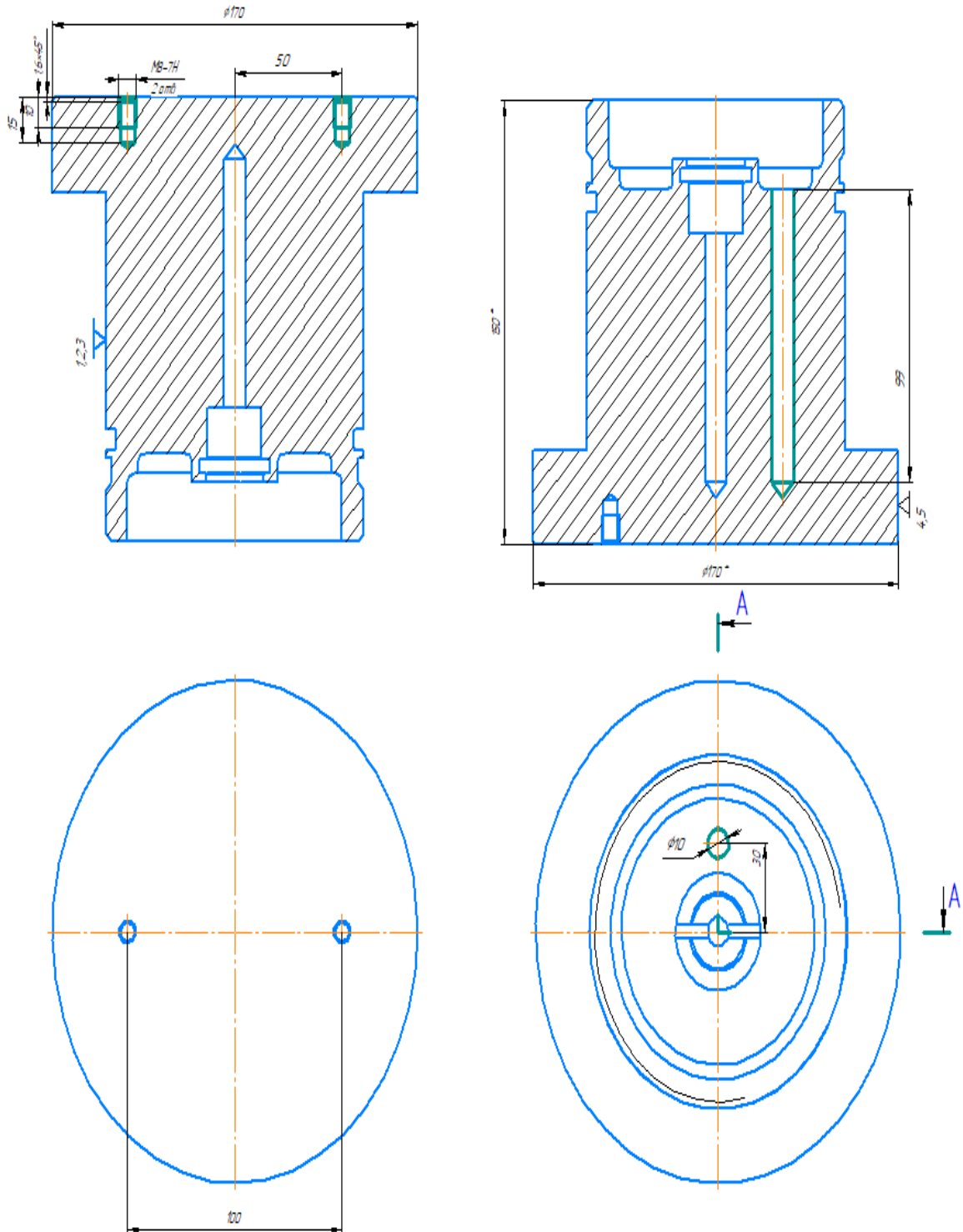


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз (операція 040)

040К. Контроль на робочому місці. Відбувається контроль оброблених поверхонь. ЩЦ 1 ДСТУ 166-89. Пробка ПР/НЕ М8-7Н ДСТУ17763-85. Фаскомір.

045. Багатоцільова з ЧПК. Обладнання – спеціальне. Верстат HAAS mini mill типу FANUC. Обробляється 4 отв. M10 та 2 отв. M20x2-7H. Інструменти для операції: Свердло центровочне d4 мм P6M5 ДСТУ 14952-75. Свердло спіральне d6,8 мм P6M5 ГОСТ 17274-71. Патрон 2-50-8-100 ГОСТ 26539-85. Свердло d10 BK8 2300-3993 ДСТУ 17274-71. Мітчик M10x1-7H 2620-0539 P6M5 ДСТУ 3266-81. Патрон 191221040 ТУ2-035-975-85. Свердло Ø18,2 BK8 2300-3993 ДСТУ 17274-71. Свердло Ø20,4 BK8 ДСТУ 17274-71 Мітчик M20x1.5-7H P6M5. Цековка d28 P6M5 ДСТУ 15600-70. Зенковка угол 90° d42 P6M5 2353-0136 ДСТУ 14953-80

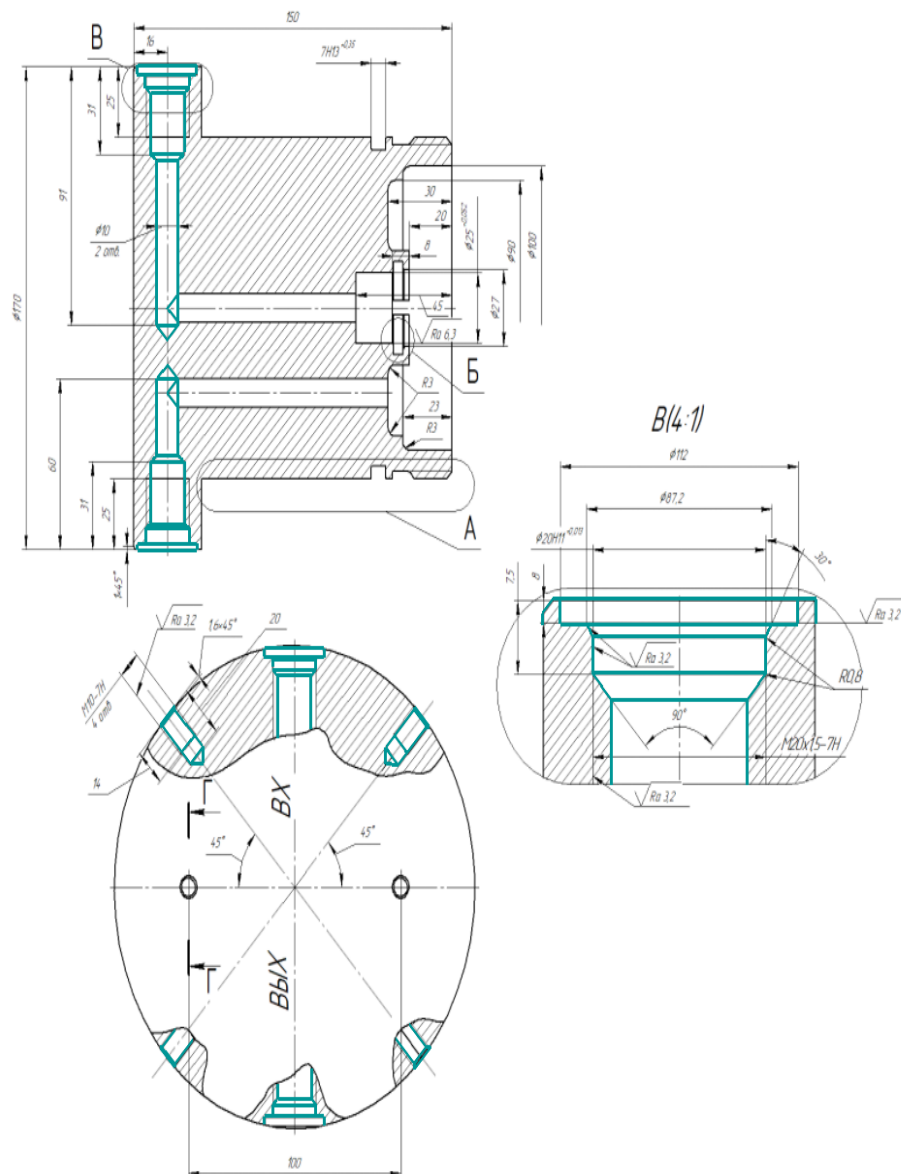


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз (операція 045)

Таблиця 1.13

Оброблювані поверхні	Глибина різання t, мм
4 отвори с різьбою М10-7Н	20
2 отвори М20х1,5-7Н	97;60

045. Контроль на робочому місці. Здійснюється контроль оброблених поверхонь. Калібр-пробка d20,4Н11 ПР/НЕ шаблони спеціальні, пробка М20х1.5-7Н ПР/НЕ. Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 ДСТУ 166-89. Пробка М10-7Н ПР/НЕ. Пробка М20х1.5-7Н ДСТУ3265-85

050. Слюсарна. Обладнання – лещата. Відбувається зачищення задирок. Напилек плоский ДСТУ 1465-69. Наждачний папір.

1.7 Розробка операційного технологічного процесу

1.7.1 Стислий опис траєкторій руху ріжучих інструментів

Використання верстатів з ЧПК на заміну універсальному обладнанню має суттєві особливості та створює переваги, а саме:

- скорочення строків підготовки на 50-75%;
- скорочення загального часу циклу виготовлення продукції на 50-60%;
- заощадженню коштів на проектування та виготовлення технологічної оснастки на 30-85%;
- підвищення виробництва за рахунок зменшенню праці за рахунок скорочення допоміжного та основного часу обробки на верстаті.

На токарних операціях з ЧПК використовується числове керування «НААС ST10». УЧПК «НААС ST10» - призначений для обслуговування зовнішніх пристроїв вводу-виводу, редагування з пульта керування, пошуку

необхідного кадру та його відпрацювання. Основна область використання - токарні верстати.

Система «НААС ST10» оснащена монітором та пультом ручного вводу керуючої програми. Програмування відбувається по двох координатах, інформацію можливо задавати двома способами: в переміщеннях та в абсолютній системі координат.

УЧПК забезпечує:

- введення КП;
- автоматичну обробку деталі по КП;
- ручне керування верстатів з пульта.

Програма складається з кадрів, котрі нумеруються -N. Кожний кадр складається з перемінного числа слів. Слово складається з літерного адресата (G, F, X, Z, P, M, S, T) та наступна за ним цифра.

Допоміжні функції:

M00 - програмний зупин.

M01 - зупин з підтвердженням.

M02 - кінець програми.

M08 - включення охолодження.

M09 - виключення охолодження.

M17 - кінець описання деталі в циклах L08, L09, L10..

M18 - кінець ділянки програми, який буде повторюватися в циклі L1.

M20 - передача керування роботу. Підготовчі функції:

G05 - використовується в тих кадрах K, після обробки котрих треба робити зупинку (при спряженні контурів).

G10 - задається перед кадрами де необхідно підтримувати постійність швидкості різання.

G11 - відміна G10.

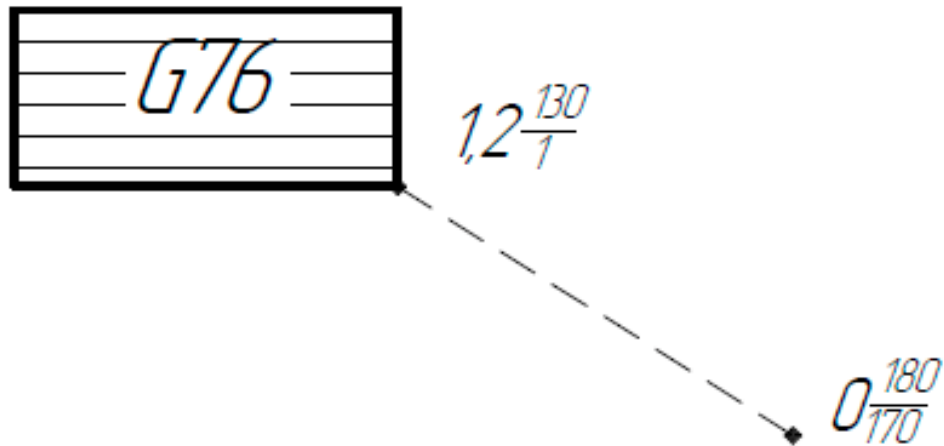


Рисунок 1.6 - Траєкторія руху Р.І. №5.

Нуль координат знаходиться на торці оброблюваної деталі.

Вихідну точку вибираємо таким чином, щоб при зміні Р.І. різець, що має найбільшу довжину та закріплений в револьверній головці, не зачепив оброблювану деталь, в даному випадку І. Т. має координати (200/100).

Ділянка 1 відображає швидкий підхід різця по осі Z (таким чином, щоб різець на швидкому русі не врізався в деталь).

Швидкий хід до оброблюваної поверхні - це підхід Р.І. на швидкій подачі, в даному випадку S-4000мм/ хв.

Керуюча програма (КП):

NO23 FO.15 S 4 600 T5

NO24 X 72 Z-2.5 E

NO25 Z-29.5

NO26 Z -2.5

NO27 X 54

NO28 Z -29.5

NO29 Z-2.5

NO30 X 40

NO31 Z-30

NO32 X72

NO33 Z-2.5

де NO23 - NO33 - номери кадрів програми;

S4600 - оберти шпинделя з частотою 600 об/хв, на четвертому діапазоні;

FO.15 - подача P.I., для даного випадку S-0,15 мм/ хв;

T5 - номер ріжучого інструменту в револьверній головці верстата;

E - швидкий хід до точки.

A - припуск на чистову обробку.

B - з якого кадру йде повтор.

C - фаска під кутом 45°.

D- витримка часу.

F-подача.

H- число повторень.

M-допоміжні функції.

N-№ кадру.

P - глибина різання або товщина різця.

O- гантель.

R-дуга.

G-підготовча функція.

S- частота обертів.

T- функція інструменту.

X- переміщення по x в абсолютній системі відліку.

U-по X в переміщеннях.

Z - по Z в абсолютній системі відліку.

W-по Z в переміщеннях.

Цикли:

LO1- цикл нарізання різи.

LO2 - прорізання прямокутних канавок.

LO3- цикл петля при зовнішній обробці.

LO4-цикл петля, при внутрішній обробці.

LO5- цикл петля при торцевій обробці.

LO6- цикл глибокого свердлування.

LO7- нарізання різі мітчиком або плашкою.

LOS - чорновий багатопрохідний цикл обробки ступінчатих деталей з прокату..

LO9- чорновий багатопрохідний цикл обробки ступінчатих деталей з поковки або штамповки.

LI0- цикл чистової обробки після циклів LO8, LO9, якщо така необхідна. П-повторення ділянки програми.

Роздивимося рух ріжучого інструмента №5 на операції 025-токарна з ЧПК та коротко опишемо його траєкторію:

№024 - перша точка, к котрій Р.І. наближається на швидкому ході.

№025 - 2-а точка, відбувається врізання в метал.

№026 - 3-а точка, відбувається відхід першої точки.

№027 - 4-а точка, різець переміщується для наступної вибірки металу.

№028 - 5-а точка, відбувається врізання в метал.

№029 - 6-а точка, відбувається відхід до четвертої точки.

№030 - 7-а точка, переміщення по осі Х.

№031 - 8-а точка, відбувається врізання в метал.

№032 - 9-а точка, відбувається зачищення канавки.

№033 - 10-а точка, відхід першої точки по осі Х.

1.7.2 Вибір режимів різання і нормування операцій технологічного процесу

Операція 045. Багатоцільова з ЧПК

1. Зміст операції:

- свердлення 4 отворів М10-7Н

- свердлення 2 отворів М20* 1,5-7Н

2. Схема базування операції. В цілому деталь позбавлена 6 ступенів свободи. Мають місто три технологічні бази. Установча база, забирає у деталі 3 ступені свободи. Подвійна опорна база (3-х кулачковий патрон), забирає 2 ступені свободи. Опорна база (ромбічний палець), забирає одну ступінь свободи.

3. Операція виконується на багатоцільовому верстаті HAAS mini mill с ЧПК WAM.

Технічна характеристика верстата:

- найбільший діаметр свердлення - 65 мм;
- найбільший діаметр розточування - 200 мм;
- розмір столу 730*305мм.
- оберти шпинделя 45-1200 об/хв.

4. Вибираємо варіант маршрутної обробки, який занесений в таблицю.

5. Вибираємо глибини різання по переходам з урахуванням коефіцієнтів.

6. Розраховуємо діаметри P_i по переходам:

$$D_i = D_{i+1} - 2t_{i+1} \quad (1.30)$$

Всі данні занесені в таблицю 1.14.

7. Різальний інструмент [5]:

2 отв. M10-7НН:

1) Свердло центрувальне, діаметром 4 мм. ТУ 2-035-835-81.

2) Свердло спіральне з конічним хвостовиком, діаметром 8,6 мм ГОСТ 2092-77.

3) Зенковка, діаметром 20,4 мм СNG 3300-2232-80.

4) Мітчик машинний M10-711, ГОСТ 3266-81.

Отв. D20,4/D28:

1) Свердло центрувальне, діаметром 4 мм

2) Свердло спіральне з конічним хвостовиком, діаметром 18.2 мм ГОСТ 2092-77.

3) Цековка спеціальна, діаметром 28 мм, ГОСТ 22736-77

Таблиця 1.14 - Глибини різання для свердлильних операцій, діаметр РІ

Маршрут обробки	Режими різання					
	tm, мм	К	tp, мм	Dp, мм	Dф, мм	tф, мм
М10-7Н						
Зацентровка	----	----	----	----	4	2
Свердлення	----	----	----	8,6	8,6	4,3
Зенкування фаски	----	----	----	20,4	20,4	2
Нарізування Мітчиком	----	----	----	10	10	0,7
Ø20, Ø20,4 Ø28						
Зацентровка	----	----	----	----	4	2
Свердлення	----	----	----	10	10	5
Свердлення	----	----	----	18,2	18,2	4,1
Свердлення	----	----	----	20,4	20,4	1,1
Цекування	----	----	----	28	28	3,8
М20*1,5-7Н						
Зенкування фаски	----	----	----	42	42	1
Нарізування мітчиком	----	----	----	20	20	0,9

Отв. М20*1,5-7Н:

1) Зенковка, діаметром 42 мм, CNG 3300-2232-86.

4) Мітчик машинний М20*1,5-7Н, ГОСТ 3266-81.

Допоміжний інструмент:

- для свердла і зенковок необхідна втулка діаметром 100 мм ГОСТ 1350-85, патрон ГОСТ 8522-79;

- для розверток – оправка, що качається з конічним хвостовиком 6240-0028 ГОСТ 20507-75, патрон-поводок для оправок, що качаються, 6155-0054 ГОСТ 20505-75;

8. Вибір табличних режимів, різання, обчислення оборотів шпинделя.

Таблиця 1.15 - Табличні режими різання по стадіям обробки.

Маршрут обробки	Режими різання				
	Som мм/об	Vm, м/хв	Nm, кВт	Pm, Н	np, об/хв
М10-7Н					
Зацентровка	0,09	27,3	0,19	580	2173
Свердлення	0,19	25,5	0,64	1885	1159
Зенкування фаски	0,25	9,3	5,46	810	372
Нарізування мітчиком	1	8,1	0,11	5	258
Ø20, Ø20,4 Ø28					
Зацентровка	0,09	27,3	0,19	184	2173
Свердлення	0,36	16,1	1,67	4347	450
Свердлення	0,4	18,4	2,15	7982	300
Свердлення	0,4	18,4	2,15	7982	302
Цекування	0,09	14,5	0,19	184	245
М20*1,5-7Н					
Зенкування фаски	0,3	10,5	7,26	918	167
Нарізування мітчиком	1,5	11,5	0,38	23	183

9. Табличні значення подачі, обертів, швидкості, напруги в залежності від зміни умов праці. Наприклад, для подачі формула виглядає:

$$S = S_{0m} * K_{SM} \quad (1.31)$$

K_{SM} при цьому рівний 1, тоді при зацентровці отвору подача буде дорівнювати $S_0 = 0,09 * 1 = 0,09$ мм/об. Всі інші розрахунки зведені в таблицю.

Таблиця 1.16 - Відкореговані режими різання за картами.

Маршрут обробки	Режими різання			
	S_{0m} мм/об	V_m , м/хв	N_m , кВт	P_m , Н
М10-7Н				
Зацентровка	0,072	37,4	0,215	660
Свердлення	0,15	34,5	0,73	2356
Зенкування фаски	0,224	13,6	5,6	826
Нарізування мітчиком	0,7	11,8	0,11	6,25
Ø20, Ø20,4 Ø28				
Зацентровка	0,072	37,4	0,215	209
Свердлення	0,27	19,3	1,8	6278
Свердлення	0,32	25,2	2,44	9070
Свердлення	0,32	25,2	2,44	9070
Цекування	0,072	18,7	0,215	209
М20*1,5-7Н				
Зенкування фаски	0,24	15,3	7,4	936
Нарізування мітчиком	1,5	15,8	0,38	26

11. Визначаємо величину обертання шпинделя для розрахункових значень швидкостей різання для кожного переходу:

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi D} \text{ (об/хв)} \quad (1.32)$$

де: V_p - розрахункова швидкість різання м/хв..

D - діаметр оброблюваного отвору на даному переході.

$$\pi = 1000 * 27,3 / 3,14 = 2173 \text{ об/хв..}$$

Всі данні занесені до таблиці.

12. Знаходимо фактичну швидкість шпинделя, корегуючи по верстату. При цьому обираємо найближчу меншу. Якщо ж різниця між розрахунковою і найближчою по верстату не перевищує 10 відсотків, то береться більша. Результати корегування по верстату швидкості обертання шпинделя заносимо в таблицю. Розрахунок хвилинної подачі проводимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} \text{ (м/хв)} \quad (1.33)$$

Для всіх переходів фактична швидкість обчислена і занесена в таблицю.

14. Перевірка обраних режимів потужності приводу головного руху і допустимого зусилля подачі. Для цього необхідно визначити по паспортним можливостям верстата:

N_d - 14 - потужність двигуна, кВт;

- 0,81 - коефіцієнт корисної дії;

P - 15000 - допустима сила подачі, Н.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$N \leq N_d \cdot \eta \quad (1.34)$$

Найбільше значення N - при обробці отвору діаметром 20 при свердленні при цьому $N = 2,4$ кВт: $2,4 < 140,81$, тобто $2,4S11,38$, що задовольняє умову.

Найбільша сила - 9070 Р, при свердленні отвору діаметром 20 мм, при цьому вона не перевищує 15000Н, що дозволяє обробку при даних режимах.

Таблиця 1.17 - Фактичні режими різання

Маршрут обробки	Режими різання		
	S_m мм/хв	V_f , м/хв	пф, об/хв
M10-7H			
Зацентровка	150	26,4	2173
Свердлення	175	30	1400
Зенкування фаски	80	11,6	370
Нарізування мітчиком	180	8,2	260
$\varnothing 20, \varnothing 20,4 \varnothing 28$			
Зацентровка	150	26,4	2173
Свердлення	85	17,3	550
Свердлення	100	18,8	300
Свердлення	100	19	300
Цекування	20	22	250
M20*1,5-7H			
Зенкування фаски	40	10,7	170
Нарізування мітчиком	270	10	180

15. Визначення часу циклу автоматичної роботи верстата по програмі:

$$T_{ца} = \sum T_o + \sum T_{мв}, \quad (1.35)$$

де T_o - норма основного часу;

$T_{мв}$ - норма машинно-допоміжного часу.

$$T_o = L_{р.х.} / S_{мин р.х.}, \quad (1.36)$$

де $S_{мин р.х.}$ - хвилинна подача робочого ходу;

$$L_{р.х.} = l + y + \Delta + k, \quad (1.37)$$

де $l = 20$ - довжина оброблюваного отвору;

$y = 3$ мм - величина врізання;

$\Delta = 3$ мм - величина перебігу;

k - величина фаски на вершині ріжучого інструменту.

$$T_{мв} = T_{мви} + (2R + i * L_{р.х.} + C(i-1)) / S_{мин х.х.},$$

де C - відстань між однойменними отворами;

i - кількість однойменних оброблюваних отворів;

$T_{мви} = 0,05$ хв - машинно-допоміжний час на заміну, хв.;

$S_{мин х.х.} = 4000$ мм/хв. - хвилинна подача холостого ходу.

R - величина від вершини ріжучого інструменту до площини оброблюваного отвору мінус величина врізання

$$R = L1 - L2 - L3 - L4 - y$$

де $L1 = 560$ мм - відстань від шпинделя до столу верстата;

$L2 = 200$ мм - висота устаткування;

$L3 = 75$ мм - товщина деталі;

$L4$ - довжина виходу ріжучого інструменту з шпинделю верстата.

Усі дані для $T_{ца}$ зведені в таблицю 1.18.

Таблиця 1.18 - Нормування часу.

Маршрут обробки	Режими різання						
	L4, мм	R, мм	i	Lp.х., мм	C, мм	T _{мв} , хв	T _о , хв
M10-7H							
Зацетровка	57	269	4	16	100	0,14	0,1
Свердлення	100	226	4	33,4	100	0,68	0,2
Зенкування фаски	150	176	4	15,6	100	0,32	0,2
Нарізування мітчиком	50	262	4	27	100	0,8	0,15
Ø20, Ø20,4 Ø28							
Зацентровка	57	269	2	16	130	0,28	0,12
Свердлення	87	239	2	27,7	130	0,75	0,33
Свердлення	87	239	1	91	130	0,75	1,1
Свердлення	87	239	1	60	130	0,75	0,7
Свердлення	87	239	2	18,2	130	0,75	0,4
Цекування	30	296	2	5	140	0,237	0,1
M20*1,5-7H							
Зенкування фаски	150	176	2	6	130	0,21	0,3
Нарізання мітчиком	50	262	2	20,5	130	0,33	0,15

16. Знаходимо T_{ца}:

$$T_{ца} = (0,14+0,68+0,32+0,63+0,8+0,28+0,75+0,75+0,237+0,21+0,33) + (0,12+0,52+0,48+0,37+0,12+1,17+0,7+0,4+0,1+0,3+0,15) = 9,6 \text{ хв}$$

17. Визначаємо норму штучного часу, хв:

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{в}) \times (1 + (a_{тех} + a_{орг} + a_{отл}) / 100), \text{ (Літб)}$$

де атех+ аорг+ аотл - час на оргтехобслуговування, відпочинок, особисті потреби.

Визначаємо T_v - допоміжний час:

$$T_v = T_{v.уст} + T_{v.оп} + T_{v.изм},$$

де $T_{v.уст}$ - допоміжний час на встановлення і знаття деталі;

$T_{v.оп}$ - допоміжний час, пов'язаний з операцією;

$T_{v.изм}$ - допоміжний час на виміри.

$$T_{v.уст} = 0,36 \text{ хв [карта 10]}.$$

$$T_{v.оп} = 0,03 + 0,2 + 0,12 + 0,03 = 0,4 \text{ хв [карта 14]}$$

$$T_{v.изм.} = 0,36 * 2 + 0,15 * 2 = 1,02 \text{ [карта 15]}$$

$$T_v = 0,36 + 0,4 + 1,02 = 1,42 \text{ мин.}$$

Визначаю час на організацію - технічне обслуговування, відпочинок і власні потреби: атех, аорг, аотл.

Цей час складає 8% від оперативного часу, тобто:

$$атех+аорг+аотл = 8\% T_o = 9,6 * 0,08 = 0,768 \text{ хв.}$$

18. Визначаю норми штучного часу $T_{шт}$, хв:

$$T_{шт} = (9,6 + 1,42) * (1 + 0,768 / 100) = 12,03 \text{ хв.}$$

19. Визначаю норму штучно-калькуляційного часу.

$$T_{шк} = T_{шт} \cdot T_{пз} / n \tag{1.38}$$

де $T_{пз}$ - 24 хв (карта 21) - підготовчо-закінчувальний час.

n - кількість деталей за одну зміну, шт

$$n = T_{ем} / T_{пз} * T_{шт} = 480 / 24 * 12 = 240 \text{ шт,}$$

$$T_{шк} = 12 * 24 / 240 = 1,2 \text{ хв.}$$

1.7.3 Заповнення ККІ

Операція 025 токарна з ЧПК.

1. Вибір верстатного устаткування.

Верстат моделі HAAS ST10

Система ЧПК «ST10»

Частота обертання шпинделя об/хв: 18; 25; 35, 503 71; 100; 140; 180;
2003В 2503 280; 355: 500; 560; 630; 710: 800; 1000; 1400; 2000;

Діапазон подач S_v , мм/хв:

- по осі X: 0,052800

- по осі Z: 0,1..5600

Найбільша сила:

- механізм продольної подачі: 8000 Н

- механізм поперечної подачі: 3600 Н

Потужність приводу головного руху 11,2кВт.

Діапазон регулювання частоти обертання електродвигуна з постійною потужністю (в об хв):1500..4500

2. Схема базування деталі на операції.

В цілому деталь позбавлена 5 ступенів свободи. Мають місце 2 технологічні бази, а саме:

- 3-ох кулачковий патрон лишає деталь двох ступенів свободи (подвійна опорна база);

- упор в розточені кулачки, лишає деталь 3 ступенів свободи (установча база).

3. Вибір подач для інструментів.

3.1 Для чорнової стадії обробки поверхонь 1,4.7 подачу обираємо з 3-ї карти. Всі дані заносимо в таблицю.

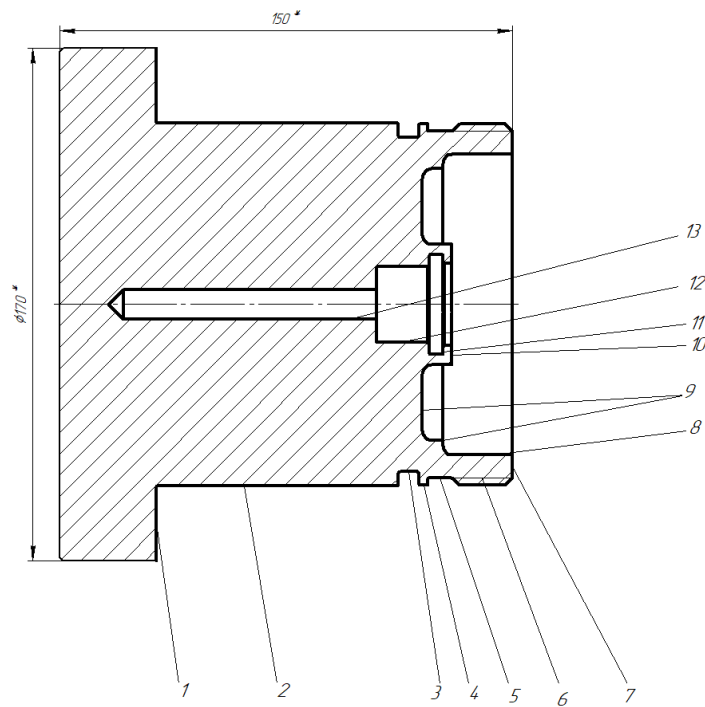


Рисунок 1.7 - Обробка деталі за поверхнями

По карті 3 визначаємо поправочні коефіцієнти в залежності від:

- інструментального матеріалу $K_{ai}-0,8$;
- способу кріплення пластини $K_{sp}- 1,00$;
- механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{zm}- 1.15$;
- схеми установки заготовки $K_{зу}-0,8$;
- радіуса вершини різця $K_a-1,00$;
- якості оброблюваної деталі $K_{sk}- 1, 15$;
- кінематичного кута в плані $K_{\phi k}-0,80$.

Знаючи поправочні коефіцієнти, знаходимо дійсну подачу (бо регулювання подачі безступінчасте), наприклад для 1-ї поверхні подача буде рівною:

$$S_o-0.26 \cdot 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.15 \cdot 0.8 \cdot 1.0 \cdot 1.15 \cdot 0.8 = 0.176 \text{ мм/об.}$$

Таким же чином знаходимо подачі для напівчистої і чистої стадії обробки. Отримані значення заносимо до таблиці. Для нарізання канавок 3 подачу визначаємо з 27 карти в залежності від товщини канавочного різця,

оброблюваного матеріалу і діаметра заготовки. Для канавки 2 шириною 6 мм і діаметром до 150 мм $S_{om} = 0,12$ мм/об.

$$S_o = 0,12 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 0,8 = 0,135 \text{ мм/об}$$

3.2 Вибір швидкості різання

Значення швидкості різання вибираємо з 21 карти. При чорновій обробці цих поверхонь з глибиною різання до 3 мм і подачею $S_a = 0,16$ мм/об швидкість різання $V_m = 190$ м/хв. Аналогічно вибираємо швидкість різання для інших поверхонь при чорновій і напівчистовій стадіях обробки, після чого заносимо до таблиці. Вибираємо поправочні коефіцієнти для швидкості різання по 23 карті в залежності від:

- інструментального матеріалу $K_{VM} = 1,3$ (для чорнової стадії) та $K_{VM} = 1,3$ (для напівчистої стадії);
- групи оброблюваного матеріалу $K_{VC} = 0,9$;
- виду обробки $K_{VO} = 1,00$;
- жорсткості верстата $K_{VJ} = 0,7$;
- механічних властивостей оброблюваних матеріалів $K_{VM} = 1,3$;
- геометрії різця $K_{V\phi} = 1,0$;
- періоду стійкості ріжучої частини $K_{V\tau} = 1,0$;
- наявності охолодження $K_{Vж} = 1,0$.

Загальний поправковий коефіцієнт на швидкість різання обчислюють по формулі:

$$V = V_m \cdot K_{VC} \cdot K_{VO} \cdot K_{VJ} \cdot K_{VM} \cdot K_{Vж} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{V\tau} = 190 \cdot 0,82 = 155,6 \text{ м хв.}$$

Аналогічно знаходимо швидкість різання для інших поверхонь на чорновій напівчистовій стадіях обробки.

Всі дані заносимо до таблиці.

3.3 По карті 22 знаходимо швидкість різання для чистої стадії, поправочні коефіцієнти ті ж самі що і на чорновій стадії обробки. Отримані дані заносимо до таблиці.

3.4 Частоту обертів шпинделя визначаємо по формулі

$$n = 1000 V/\Pi D \quad (1.39)$$

При чорновій стадії обробки поверхні 1:

$$n = 1000 \cdot 155,6/3,14 \cdot 128 = 387 \text{ об/хв.}$$

3.5 Перевірка обраних режимів по потужності приводу головного руху.

Для чорнової і напівчистої стадії обробки табличну потужність різання визначаємо по карті 21 аналогічно табличній швидкості різання.

Всі розрахунки аналогічні і занесені до таблиці 1.19.

3.6 Визначення хвилинної подачі.

При чорновій обробці для поверхні 1

$$SM-So \text{ n- } 0.176-355-63 \text{ м хв.}$$

Всі розрахунки аналогічні і занесені до таблиці 1.19.

Таблиця, 1.19 - Режими різання.

№ пов	Чорнова стадія										Получи- стова стадія		Кана вка	Отвір
	1	2,4	3	5	6	7	8	9	10	11	2	4	3	12
<i>t</i> , мм	1,7	3	3	3,5	1,1	3	2,5	4	3	0,9	1	1	4,6	5
<i>S_m</i> , мм/об	0,2 6	0,2 6	0,2 6	0,2 6	0,2 6	0,2 6	0,2 1	0,2 1	0,2 1	0,3 6	0,13	0,13	0,12	0,09
<i>S_ф</i> , мм/об	0,1 76	0,1 76	0,1 76	0,1 76	1,5	0,1 76	0,1 5	0,1 5	0,1 5	0,3	0,1	0,1	0,08	0,07
<i>V_m</i> , м/хв	19 0	19 0	19 0	19 0	15 3	19 0	17 9	17 9	17 9	19 0	365	365	241	21,6
<i>V_ф</i> , м/хв	15 6	15 6	15 6	15 6	13 2	15 6	14 7	14 7	14 7	15 6	270	270	275	25,2
<i>n_ф</i> , об/хв	38 7	38 7	38 7	38 7	22 7	38 7	60 0	60 0	11 70	15 00	950	950	1400	550
<i>N_m</i> , кВт	4,0	4,0	4,0	4,0	3,2	4,0	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	--	2
<i>N_ф</i> , кВт	2,6 3	2,6 3	2,6 3	2,6 3	1,4 4	2,6 3	3,1 7	3,1 7	3,1 7	2,6 3	2,63	2,63	--	1,74
<i>S_m</i> , м/хв	68, 1	68, 1	68, 1	68, 1	53	68, 1	90	90	17 6	36 0	95	95	168	36

Визначення часу автоматичної роботи верстата по програмі:

Для верстата HAAS ST10 $T_{i.f.} = 2$ сек. (0,033 хв.), а час повороту головки на одну позицію (0,016 хв.)

Результати розрахунку занесені в таблицю 1.20.

Закінчувальний час циклу автоматичної роботи верстата по програмі обчислюється по формулі:

$$T_{ца} = T_0 + T_{мв} = 8,49 + 0,54 = 9 \text{ хв.}$$

4. Визначаємо норму штучного часу.

$$T_{ш} = (T_{ца} + T_{в}) \times \left(1 + \frac{a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}}}{100}\right), \quad (1.40)$$

де $a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}}$ - час на оргтехобслуговування, відпочинок, особисті потреби.

$T_{в}$ - допоміжний час:

$$T_{в} = T_{в.уст} + T_{в.оп} + T_{в.изм},$$

де $T_{в.уст}$ - допоміжний час на встановлення і зняття деталі:

$T_{в.оп}$ - допоміжний час, пов'язаний з операцією;

$T_{в.изм}$ - допоміжний час на виміри.

$$T_{в.уст} = 0,65 \text{ хв. [карта 10].}$$

$$T_{в.оп} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,5 \text{ хв (карта 4).}$$

$$T_{в.изм} = 6 \cdot 0,11 \cdot 0,08 = 0,74 \text{ хв (карта 15).}$$

$$T_{в} = 0,65 + 0,5 + 0,74 = 1,89 \text{ хв.}$$

Визначаємо час на організаційно-технічне обслуговування, відпочинок і власні потреби: $a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}}$.

Цей час складає 8% від оперативного часу, тобто:

$$a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{отл}} = 8\% T_0 = 8,49 \cdot 0,08 = 0,68 \text{ хв.} \quad (1.41)$$

Визначаємо норми штучного часу $T_{шт}$, хв:

$$T_{шт} = (9 + 1,89) \times (1 + 0,68/100) = 10,96 \text{ хв.}$$

Таблиця 1.20 - Визначення автоматичної роботи верстата

Ділянка траєкторії	Переміщення по осі X	Переміщення по осі Y	Довжина ділянки	Хвили-нна подача	Основний час авт. подачі	Машинно допоміж-час
<i>P.I.10-P.I.1</i>	---	---	---	---	---	0,06
0-1	94,5	39	102,23	4000	0,025	
1-2	48,61	0	48,61	68	0,7	
2-3	0	12	12	68	0,17	
3-4	43,11	0	43,11	68	0,63	
4-5	0	27,5	27,5	68	0,4	
5-6	3	0	3	68	0,04	
6-0	97	54,5	111,26	4000	0,027	
<i>P.I.1-P.I.2</i>	-	-	-	-	-	0,06
0-1	127,91	36	132,88	4000	0,033	
1-2	0	6,4	6,4	168	0,038	
2-3	0	6,4	6,4	168	0,038	
3-4	4	0	4	168	0,024	
4-5	0	6,5	6,5	168	0,038	
5-6	4	0	4	168	0,024	
6-7	0	7,5	7,5	168	0,045	
7-0	127,91	36	132,88	4000	0,033	
<i>P.I.2-P.I.3</i>	-	-	-	-	-	0,06
0-1	125,91	37	131,23	4000	0,032	
1-2	0	3	3	39	0,077	
2-3	17,2	0	17,2	39	0,44	
3-4	2	2	2,83	39	0,07	
4-0	141,11	38	146,14	4000	0,037	
<i>P.I.3-P.I.4</i>	-	-	-	-	-	0,06
0-1	102,52	64	120,85	4000	0,03	
1-2	27	0	27	90	0,3	
2-3	27	0	27	90	0,3	
3-4	0	9	9	90	0,1	
4-5	27	0	27	90	0,3	
5-6	27	0	27	90	0,3	
6-7	0	7	7	90	0,07	
7-8	27,5	0	27,5	90	0,3	
8-9	0	16	16	90	0,18	
9-10	27,5	0	27,5	90	0,3	
10-0	102,52	64	120,85	4000	0,03	
<i>P.I.4-P.I.5</i>	-	-	-	-	-	0,06
0-1	97	50	109,13	4000	0,027	
1-2	23	0	23	90	0,25	
2-3	3	3	4,7	90	0,052	
3-4	0	2	2	90	0,02	
4-5	3	0	3	90	0,03	
5-6	0	45	45	90	0,5	
6-7	3	0	3	90	0,3	
7-0	117	100	153,91	4000	0,039	
<i>P.I.5-P.I.6</i>	-	-	-	-	-	0,06
0-1	113	100	150,89	4000	0,038	
1-2	46,11	0	46,11	137	0,34	

2-3	46,11	0	46,11	137	0,034	
3-0	113	100	150,89	4000	0,038	
P.I.6-P.I.7	-	-	-	-	-	0,06
0-1	112	100	150,15	4000	0,038	
1-2	33	0	33	111	0,3	
2-3	33	0	33	111	0,3	
3-0	112	100	150,15	4000	0,038	
P.I.7-P.I.8	-	-	-	-	-	0,06
0-1	86	95,8	128,74	4000	0,032	
1-2	39	0	39	176	0,22	
2-3	0	12	12	176	0,068	
3-4	0	12	12	176	0,068	
4-5	39	0	39	176	0,22	
5-0	86	95,8	128,74	4000	0,032	
P.I.8-P.I.9	-	-	-	-	-	0,06
0-1	86	95,8	128,74	4000	0,032	
1-2	39	0	39	176	0,22	
2-3	0	12	12	176	0,068	
3-4	0	12	12	176	0,068	
4-5	39	0	39	176	0,22	
5-0	86	95,8	128,74	4000	0,032	

5. Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шк} = T_{шт} T_{пз}/n \quad (1.42)$$

де $T_{пз} = 34$ хв (карта 21) - підготовчо-закінчувальний час.

n - кількість деталей за одну зміну, шт

$$n = T_{см}/T_{пз} T_{шт} = 480/34 \cdot 11 = 155 \text{ шт}, \quad (1.43)$$

$$T_{шк} = 11 \cdot 34/155 = 2,5 \text{ хв.}$$

Таблиця 1.21 - Результати нормування механічних операцій.

№, найменування операції.	перехід (ріжучий інструмент)	Результати нормування									
		t	S	V_{ϕ}	n_{ϕ}	T_o	T_e	T_{me}	$T_{шт.}$	$T_{пз}$	$T_{шк}$
		мм	мм/хв	м/хв	об/хв	хв	хв	хв	хв	хв	хв
020 Токар на	P.I.1					0,4	0,2		0,6	21	0,8
	P.I.2										
035, Токарня с ЧПК	P.I.1	1,7	68,1	156	387	5,43	-	4,18	9,6	24	10,8
	P.I.2	1,1	53	132	227						
	P.I.3	1,1	112	84	224						
	P.I.4	1	95	270	950						
	P.I.5	4	90	147	600						
	P.I.6	2,5	90	147	600						
	P.I.7	5	36	25,2	550						
	P.I.8	0,7	98	180	750						
	P.I.9	3	170	150	750						
040, Багатощільова	P.I.1					4,13	1,7		5,8	22	6,3
	P.I.2										
	P.I.3										
	P.I.4										
	P.I.5										
045, Багатощільова з ЧПК	P.I.1	2	156	37,4	2173	8,49	-	0,54	9	34	11,5
	P.I.2	4,3	174	34,5	1159						
	P.I.3	2	81,8	13,6	372						
	P.I.4	0,7	181	11,8	258						
	P.I.5	5	176	25,2	550						
	P.I.6	4,1	96	25,2	300						
	P.I.7	1,2	96	25,2	300						
	P.I.8	1,1	270	10	180						
	P.I.9	2	26	18,7	250						
	P.I.10	2	41	15,3	170						

1.8 Проектування оснащення

1.8.1 Проектування верстатного пристосування

Для проектування задано пристосування для вертикально-фрезерної операції, виходячи з умов закріплення (відсутність наскрізного центрального отвору) для прототипу пристосування приймається пневматичний трьохкулачковий патрон.

Розрахунок зусилля різання за емпіричними формулами [4]:

Глибина фрезерування $t = 20$ мм. Ширина фрезерування $B = 10$ мм.

Визначення подачі на один зуб фрези: при роботі на верстаті потужністю 5-10кВт кінцевою фрезою з швидкорізальної сталі Р6М5 $z = 4$ $S_z = 0,06-0,05$ мм / зуб. Приймається $S_z = 0,05$ мм / зуб [табл.35, с.284].

Визначення швидкості різання.

Окружна швидкість різання фрези визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v \quad (1.44)$$

Визначення значень коефіцієнтів і показників ступенів [табл.39-40, с.286-290]:

$C_v = 46,7$; $q = 0,45$; $x = 0,5$; $y = 0,5$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$; $T = 20$ хв.

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання визначається за формулою:

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} , \quad (1.45)$$

де: K_{mv} -коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

K_{nv} - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

K_{uv} - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту.

$$K_{mv} = K_A \left(\frac{750}{\sigma_a} \right)^{n_v} \quad (1.46)$$

$n_v = -0,9$, $K_A = 1,0$ [табл.2, с.262].

$$K_{uv} = \left(\frac{750}{500} \right)^{-0,9} = 0,69$$

$K_{nv} = 1,0$ [табл.5, с.263]

$K_{uv} = 1,0$ [табл.6, с.263].

$$K_v = 0,69 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,69$$

$$\frac{46,7 \cdot 7^{0,45}}{20^{0,33} \cdot 20^{0,5} \cdot 0,05^{0,5} \cdot 10^{0,1} \cdot 4^{0,1}} = 28,84$$

Визначення числа обертів фрези

$$n = \frac{1000V}{\pi D}, \quad (1.47)$$

де: D - діаметр фрези.

$$n = (1000 \cdot 28,84) / (3,14 \cdot 8) = 1148 \text{ об/хв.}$$

Приймається $n = 1000$ об / хв.

Визначення фактичної швидкості різання

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n}{D^q n^w} K_{mp} \quad (1.48)$$

Визначення значень коефіцієнтів і показників ступенів у формулі сили різання: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1,0$; $q = 0,86$; $w = 0$ [табл.41, с.291].

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_a}{750} \right)^n, \quad (1.49)$$

$n = 0,35$ [табл.9, с.264]

$$K_{mp} = \left(\frac{500}{750} \right)^{0,35} = 0,87$$

$$\frac{10 \cdot 68,2 \cdot 20^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 10^{0,35} \cdot 4}{8^{0,86} \cdot 1000^0} \cdot 0,87 = 1554$$

Визначення зусилля закріплення деталі.

Виходячи з умови рівноваги деталі:

$$61D_z = 60 \cdot F_{\delta\delta}, \quad (1.50)$$

де: P_z - сила різання при найгірших умовах різання

$F_{тр}$ - сила тертя між деталлю і кулачками.

$$F_{mp} = Qf \quad (1.51)$$

де: Q - сила закріплення, діюча на деталь,

f - коефіцієнт тертя між деталлю і затискними елементами пристосування.

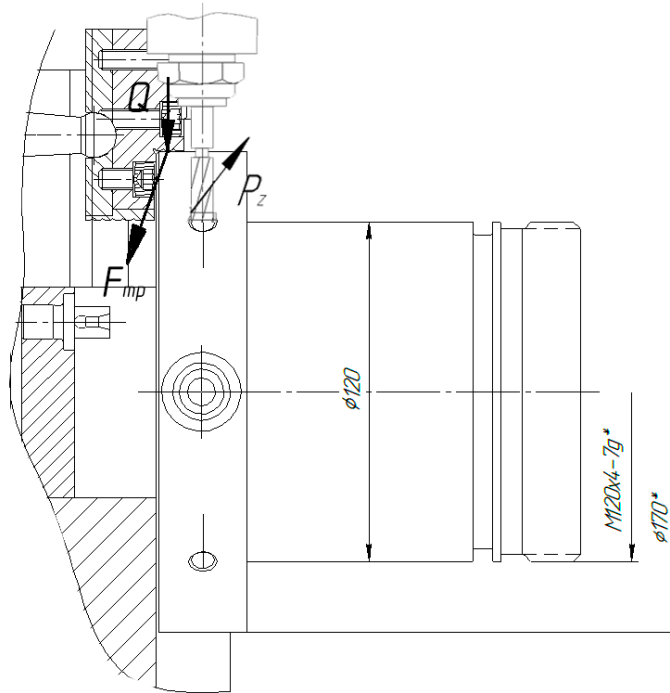


Рисунок 1.8 - Схема сил, що діють на заготовку

Виходячи з попередніх залежностей визначається зусилля затиску заготовки

$$Q = \frac{61P_z}{60 \cdot f} \quad (1.52)$$

$$Q = (61 \cdot 1554) / (60 \cdot 0.1) = 15799$$

Визначення сили на штоку. Сила на штоку визначається виходячи з передавального числа кулачків патрона, розмір яких визначається конструктивно з ескізної опрацювання пристосування.

$$W = \frac{42}{38} Q \quad (1.53)$$

$$W = (42 / 38) \cdot 15799 = 17462$$

Мінімально необхідний діаметр пневмоциліндра визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot p \cdot \eta} + d^2} \quad (1.54)$$

де: $p = 0,4$ МПа - тиск повітря в пневмомережі;

$\eta = 0,75$ - ККД пневмоциліндра (для вільного провороту поршня в стиснутому стані);

$d = 24$ мм - передбачуваний діаметр штока.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 17462}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,75} + 24^2} = 273 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 20218-74 приймається найближчий більший діаметр пневмоциліндра: діаметр штока $d = 24$ мм, діаметр циліндра $D = 274$ мм.

1.8.2 Проектування ріжучого інструменту.

Для проектування ріжучого інструменту обираємо різець, використаний на токарній операції з ЧПК-операцією для нарізання циліндричних канавок.

Розміри поперечного перерізу корпусу різця обирають в залежності від сили різання, матеріалу корпусу, виходу різця та інших факторів.

При розрахунку канавочного різця на міцність враховують, що небезпечним розрізом канавочного різця є місце переходу від робочої частини до корпусу. Для різців найбільш часто зустрічаються відношення розмірів розрізу $v/h = 1/6$ - ширина небезпечного розрізу.

Розраховується по формулі:

$$e = \sqrt[3]{\frac{6P_z l}{36\sigma_{н.д.}}} = \sqrt[3]{\frac{P_z l}{6\sigma_{н.д.}}} \quad (1.55)$$

де: P_z - головна складова сили різання, Н (кгс).

l - вихід різця, м (мм).

σ - допустиме напруження при роботі, матеріал корпусу, МПа.

Для корпусу з вуглецевої сталі, підданої термообробці $\sigma = 400 \dots 600$ МПа (40...60 кгс/мм).

Визначаємо силу різання (СМТ, т.2 стор. 271)

$$P_z = 10C_p Z^x S^y V^n K_p(H) \quad (1.56)$$

Постійну C_p та показники степені x , y , n , обираємо по табл. 22 (СМТ, т.2, стор. 273)

$$C_p = 408; x = 0,72; y = 0,8; n = 0.$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{yp} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (1.57)$$

Дані взяті з (СМТ т.2, стр.271)

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750}\right)^n \quad (1.58)$$

де:

$$n = 0,75$$

m.9 (СМТ т.2, стр.264)

$$K_{\varphi p} = 0,89$$

m.10 (СМТ т.2, стр.275)

$$K_{yp} = 1,25$$

$$K_{\lambda p} = 1,0$$

$$K_{rp} = 0,93$$

$$R = 0,5 = 0,87$$

$$R = 1 = 0,93$$

$$\sigma_s = 470 \text{ (МПа)} * \text{ (Н / мм}^2\text{)}$$

З формули (1.31):

$$P_z = 10 \cdot 4^{0,72} \cdot 0,14^{0,8} \cdot 98,91^0 \cdot \left(\frac{470}{750}\right)^{0,75} \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,93 \cdot 0,93 = 2322,13 = 236,95 \text{ кгсН}$$

З формули ()::

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 2322,13 \cdot 60}{36 \cdot 400}} = 3,072$$

$\sigma = H = 23,4$, приймаємо 25.

Керуючись приведеними співвідношеннями (т.28 стор. 98) отримуємо висоту корпусу різі $h = 20$; $b = 25$ мм.

Максимальне навантаження, допустима міцність різця при відомих розмірах розрізу корпусу різця: для різця прямокутного розрізу:

$$P_z = \frac{6h^2 \sigma_{nd}}{6l} = \frac{20 \cdot 25^2 \cdot 40}{6 \cdot 60} = 1388 \text{ кгс} = 13611 \text{ Н} \quad (1.59)$$

Максимальна навантаження, додаткова жорсткість різця, визначена з розрахунку допустимої стріли прогину різця:

$$P_{Z_{жест.}} = \frac{3fEj}{l^3} = \frac{3 \cdot 0,05 \cdot 20000 \cdot 26042}{60^3} = 362 \text{ кгс} = 3545 \text{ Н} \quad (1.60)$$

де f - допустима стріла прогину різця при кінцевій обробці:

$$f = 0.05-10 \text{ м} = 0,05 \text{ мм}$$

E - модуль пружності матеріалу різця.

Для вуглецевої сталі $E = 2-10$ МПа;

j - момент інерції розрізу корпусу.

Необхідно, щоб сила P_a , була менше максимально допустимих натисків.

$$P_Z \leq P_{Z_{доо}} ; P_Z \leq P_{Z_{жест}} \quad (1.61)$$

Різець має достатню міцність та жорсткість.

$$P_{Z_{доо}} > P_Z > P_{Z_{жест}} \quad (1.62)$$

$$1361 \text{ Н} > 2323 \text{ Н} > 3545 \text{ Н}.$$

1.8.3 Проектування вимірювального інструменту.

Метод контролю повинен підлягати збільшенню виробництва праці контролера та верстатника, створювати умови для покращення якості продукції та зниженню її собівартості.

В одиничному та серійному виробництві зазвичай застосовується універсальний вимірювальний інструмент (штангенциркуль, мікрометр, кутомір, індикатор)

У масовому та багатосерійному виробництві рекомендується застосовувати граничні калібри (скоби, пробки, шаблони і т. д.) та методи активного контролю, котрі отримали широке застосування в багатьох видах машинобудування.

Розрахунок розмірів різьбових калібрів-пробок.

Калібр-пробка різьбова непрохідна для контролю нового різьбового прохідного нерегульованого кільця:

$$TR - 30 \quad T_{cp} - 15 \quad Zr - 20$$

$$d_{2max} = d_2 + es_{d2} - Zr + TR/2 + T_{cp}/2$$

$$d_{2min} = d_2 + es_{d2} - Zr + TR/2 - T_{cp}/2$$

$$d_{2max} = -0,085 - 0,020 + 0,015 + 0,0075 + 20 = 19,9175 \text{ (мм)}$$

$$d_{2min} = -0,085 - 0,020 + 0,015 - 0,0075 + 20 = 19,9025 \text{ (мм)}$$

Використовуваний розмір $d_2 = 19,9176_{-0,015}$ (мм)

Калібр-пробка різьбова контрольна для контролю зносу різьбових прохідних нерегульованих та регульованих калібр-кілець:

$$T_{cp} - 15 \quad Zr - 20 \quad WGO - 27$$

$$d_{2max} = d_2 + es_{d2} - Zr + WGO + T_{cp}/2$$

$$d_{2min} = d_2 + es_{d2} - Zr + WGO - T_{cp}/2$$

$$d_{2max} = 19,9175 - 0,085 + 0,02 + 0,027 + 0,0075 = 19,887 \text{ (мм)}$$

$$d_{2min} = 19,9175 - 0,085 + 0,02 + 0,027 - 0,0075 = 19,872 \text{ (мм)}$$

Використовуваний розмір $d_2 = 19,887_{-0,015}$ (мм)

Калібр-пробка різьбова встановлена для різьбового прохідного калібра-кільця:

$$T_{cp} - 15 \quad m - 27 \quad Zr - 20$$

$$d_{2max} = d_2 + es_{d2} - Zr - m + T_{cp}/2$$

$$d_{2min} = d_2 + es_{d2} - Zr - m - T_{cp}/2$$

$$d_{2max} = 19,887 - 0,085 + 0,02 - 0,027 + 0,0075 = 19,8025 \text{ (мм)}$$

$$d_{2min} = 19,887 - 0,085 + 0,02 - 0,027 - 0,0075 = 19,7875 \text{ (мм)}$$

$$\text{Исполнительный размер } d_2 = 19,8025_{-0,015} \text{ (мм)}$$

Використовуваний розмір $d_2 = 19,8025_{-0,015}$ (мм)

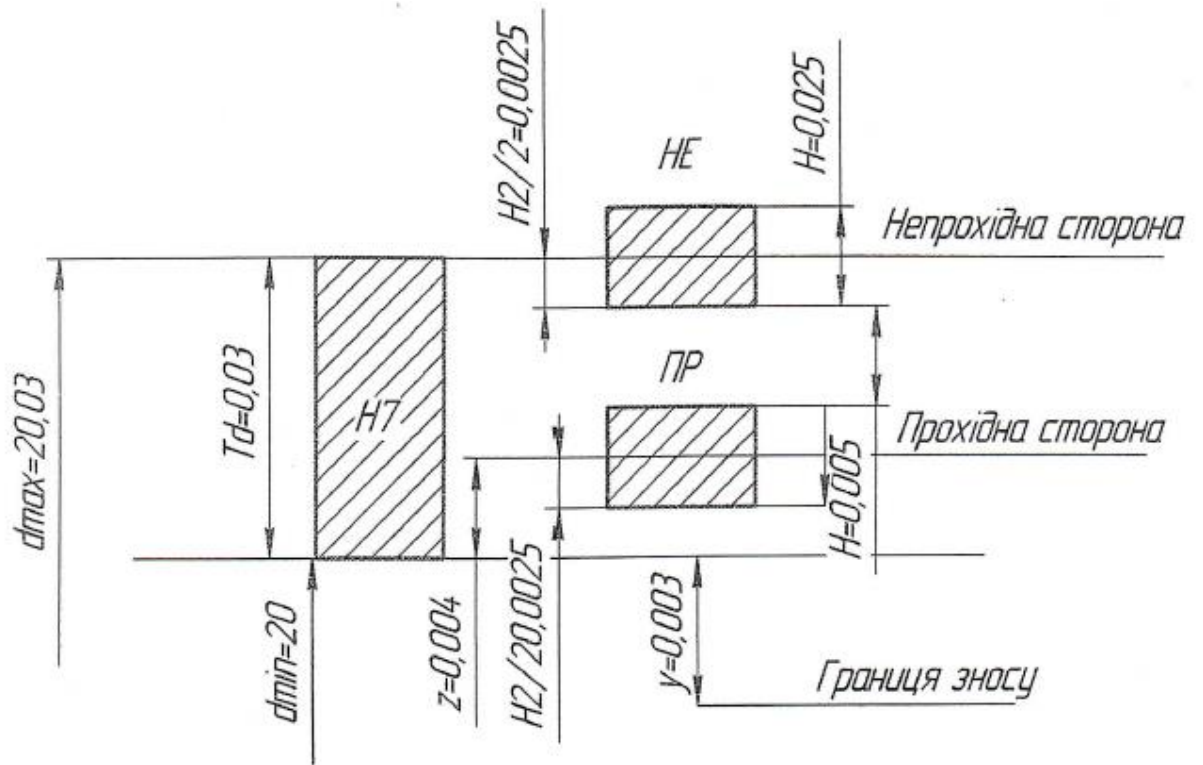


Рисунок 1.9 - Схема розміщення полів допусків.

Розраховану похибку називають основною, а похибку засобів вимірювань, визначену використанням його в умовах, які відрізняються від нормальних - допоміжною похибкою засобів вимірювань.

Таблиця 1.22 Границі похибок (мкм)

IT	Номінальні розміри												
	до3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
IT2	0,4	0,6	0,3	0,8	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,8	3,0	3,0	4,0
IT3	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,8	2,0	2,8	4,0	4,0	5,0	5,0
IT4	1,0	1,4	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0
IT5	1,4	1,6	2,0,2,0	2,8	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0
IT6	1,8	2,0	4,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	7,0	12	10	10	12
IT7	3,0	3,0	5,0	5,0	6,0	7,0	10	10	12	16	14	16	18
IT8	6	4,0	9	7,0	8,0	10	12	12	16	18	20	24	26
IT9	8	8	12	10	12	16	20	20	30	30	30	40	40
IT10	12	10	18	14	18	20	30	30	40	40	50	50	50
IT11	20	16	30	30	30	40	50	50	50	60	70	80	80
IT12	30	30	50	40,60	50	50	70	70	80	100	120	120	140
IT13	50	40	80	90	70	80	120	120	140	160	180	180	200
IT14	80	60	100	140	120	140	180	180	200	240	260	280	320
IT15	120	100	140	240	180	200	280	280	320	320	440	460	500
IT16	180	160	200	300	280	320	400	440	500	600	700	800	800
IT17	220	240	300	380	440	500	600	700	800	1000	1100	1200	1400

Згідно з ДСТУ 8,050-73 нормальні умови виконання лінійних вимірювань в межах від 1 до 500 мм та вимірювання кутів з довжиною до 500 мм характеризується наступними величинами:

- температура середовища - 20°C;
- атмосферний тиск - 101324,72 Па;
- відносна вологість повітря - 58%;
- прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²;
- положення поверхні вимірювання кутів - горизонтальне;
- значення навколишніх сил дорівнює 0.

Стандарт визначає нормальну область значень впливаючих величин при лінійних та кутових вимірах. Межі допустимих відхилень від нормальних напрямків.

При виборі засобів вимірювань, форми вимірюваних величин треба мати на увазі, що похибка вимірювання зазвичай більше засобів вимірювання

та визначається як сума відхилень. Застосування методу зрівняння пов'язано з застосуванням міри. В масовому виробництві в якості міри користуються деталлю. При високій точності виготовлення зразкової деталі існує мала похибка вимірювань

1.9 Дослідницька частина

Під вимірами розуміють дослід, в результаті якого отримують кількісну характеристику властивостей об'єкта, явища або процесу з похибкою, яка не перевищує допустиму .

Тому вибір видів та методів вимірів, умов їх виконання та методики обробки результатів спостереження завжди обмежені встановленою точністю.

Виміри, при яких величину знаходять через дослідницькі дані називають прямими. Якщо величину знаходять на основі відомої залежності між цією величиною та величинами, отриманими прямими вимірами, то їх називають непрямыми. Точність цих вимірів залежить від точності прямих вимірів та точності використаної залежності.

Метод виміру називають методом неопосередкованої оцінки, якщо величину знаходять по вимірювальному пристрою та методом звіряння, якщо вимірювану величину зрівнюють з величиною міри. При цьому міра виступає як самостійний засіб виміру, призначений для фізичної величини заданого розміру. Можливість використання засобів вимірювання для виміру методом зрівняння обумовлений тим, що діапазон виміру даного засобу більше його діапазону показання. Цей метод використовують при контролі деталей в масовому та серійному виробництві, тоді коли немає переналадок вимірювального пристрою на нові значення вимірюваної величини та коли достатньо інформації про відхилення вимірюваної величини від встановленого значення. Використання методу зрівняння дозволяє

пристосувати при конструюванні приладу малогабаритних типових перетворювачів .

Похибка виміру - відхилення результату виміру від дійсного значення. При цьому за дійсне відхилення значення приймають значення вимірюваної величини. Результати виміру є дійсні, якщо похибка виміру не перевищує встановленої величини виміру. При прийманні виробів межі допустимих відхилень вимірюється лінійним розміром, встановлюється по ДСТУ 8,051-81 в залежності від допусків на виробництво.

Арбітражна перевірка прийнятих деталей не повинна проводитися з похибкою, перевищеною за 30 відсотків. Серед прийнятих допускається наявність деталі з відхиленнями, які виходять за межі. Допустима похибка виміру включає в себе й невраховані систематичні похибки виміру. Випадкова похибка виміру не повинна перевищувати 0,6 допустимої похибки виміру. При цьому виходячи з міркувань , що випадкова похибка виміру розподіляється по нормальному закону та достатньою є ймовірність 0,954.

Похибка виміру є результатом недосконалості методу виміру, засобів виміру та неточністю відливки. В той же час похибка методу включає в себе похибку базування, похибку, зумовлена вільними силами.

2 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок річного приведеного обсягу деталей та норм штучнокалькуляційного часу і розцінок

Операція 045 Багатоцільова з ЧПК

Вихідні дані:

Деталь: «Корпус». Марка матеріалу: 12Х18Н10Т ГОСТ 25054-81

Маса деталі: 13,94 кг. Маса заготовки: 29,62 кг

№ операції	Найменування операції	Норми часу				Розряд роботи
		То(Тца)	Тдоп(руч.)	Тшт	Тпз	
020	Токарно-гвинторізна	0,4	0,2	0,6	21	2
025	Токарна з ЧПК	5,43	1,42	9,6	24	3
040	Багатоцільова з ЧПК	4,13	1,7	5,8	22	2
045	Багатоцільова з ЧПК	8,49	1,89	9	34	3

2.1.1 Річний приведений випуск деталей

Річний приведений випуск деталей, тобто умовна кількість типових деталей, трудомісткість обробки яких дорівнює трудомісткості усіх деталей закріплених за дільницею, розраховується, виходячи з виробничої потужності дільниці і найбільш раціонального використання обладнання за формулою:

$$N_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{д}}^0 \cdot K_3 \cdot 60}{T_{\text{шт}}^{\text{пр}} \cdot (1 + \alpha)}, \text{ шт} \quad (2.1)$$

де: $F_{\text{д}}^0$ - фонд дійсної роботи одного верстата (годин), середній $F_{\text{д}}^0$ приймемо у розмірі 4015 годин (при умові двохзмінного режиму роботи);

K_3 – коефіцієнт завантаження верстата (інтервал 0,8÷0,85);

$T_{\text{шт}}^{\text{пр}}$ - норма штучного часу на провідній операції, хв.;

α - коефіцієнт допустимих витрат на переналагодження верстата (для дрібносерійного типу виробництва - $0,03 \times 0,05$; для середньо серійного типу виробництва - $0,05 \times 0,08$; для багатосерійного типу виробництва - $0,08 \times 0,1$).

$$N_{\text{пр}} = \frac{4015 \cdot 0,8 \cdot 60}{9 \cdot (1+0,06)} = 20201 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 21000 \text{ шт.}$$

2.1.2 Річний обсяг випуску деталей розрахований в інтервалі:

$$N_p = \frac{N_{\text{пр}}}{K_{\text{за}}^{\text{max}}} \div \frac{N_{\text{пр}}}{K_{\text{за}}^{\text{min}}}, \text{ шт.} \quad (2.2)$$

де: $K_{\text{за}}$ - коефіцієнт закріплення операцій (для середньосерійного типу виробництва $K_{\text{зо}}=11 \div 20$).

$$N_p = \frac{21000}{11} \div \frac{21000}{20} = 1909 \div 1050 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_p = 1900$ шт.

2.1.3 Кількість найменувань деталей, які будуть оброблятися на дільниці розраховуються за формулою:

$$m_d = \frac{F_d^0 \cdot K_z \cdot 60}{T_{\text{шт}}^{\text{пр}} \cdot (1+\alpha) \cdot N_p}, \text{ шт} \quad (2.3)$$

$$m_d = \frac{4015 \cdot 0,8 \cdot 60}{9 \cdot (1+0,06) \cdot 1050} = 14,96 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 15 \text{ шт.}$$

2.1.4 Мінімальна кількість деталей в партії розраховується за формулою:

$$n_d^{\text{min}} = \frac{T_{\text{пз}}^{\text{пр}}}{T_{\text{шт}}^{\text{пр}} \cdot \alpha}, \text{ шт.} \quad (2.4)$$

де: $T_{\text{пз}}^{\text{пр}}$ – підготовчо-заключний час на провідній операції.

$$n_d^{\text{min}} = \frac{34}{9 \cdot 0,06} = 62,96 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 63 \text{ шт.}$$

2.1.5 Випуск деталей за половину зміни вираховується за формулою:

$$1/2 N_{\text{зм}} = \frac{T_{\text{оп}}^{\text{зм}}}{2 \cdot T_{\text{оп}}^{\text{пр}}}, \text{ шт.} \quad (2.5)$$

де: $T_{\text{оп}}^{\text{зм}}$ - оперативний час за зміну(приймаємо $T_{\text{оп}}^{\text{зм}} = 300$ хв.).

$T_{оп}^{пр}$ - оперативний час на провідній операції.

2.1.6 Оперативний час на провідній операції:

$$T_{оп}^{пр} = T_o + T_d, \text{ хв.} \quad (2.6)$$

де: T_o – основний час, приймаю з 7 пункту КП ($T_o = 1,23\text{хв.}$)

T_d – допоміжний час, приймаю з 7 пункту КП ($T_o = 3,0\text{хв.}$)

$$T_{оп}^{пр} = 1.23 + 3.0 = 6,13 \text{ хв.}$$

$$\frac{1}{2} N_{зм} = \frac{380}{2 \cdot 6.13} = 30.99 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 31 \text{ шт.}$$

Отже приймаємо n_d – за зміну 100 шт.

2.1.7 Розрахункова партія коригується таким чином, щоб вона була не меншою півзмінного випуску, а також мінімальної кількості деталей і кратною річному обсягу випуску деталей.

Кількість запусків за рік буде дорівнювати:

$$n_{зап} = \frac{N_p}{n_d}, \text{ запуски.} \quad (2.7)$$

$$n_{зап} = \frac{1900}{100} = 19 \text{ запуски.}$$

2.1.8 Штучно калькуляційний час розраховується за формулою:

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}, \text{ хв} \quad (2.8)$$

$$020T_{шк} = 0,6 + \frac{21}{100} = 0,81 \text{ хв.}$$

$$025T_{шк} = 9,6 + \frac{24}{100} = 9,84 \text{ хв.}$$

$$040T_{шк} = 5,8 + \frac{22}{100} = 6,02 \text{ хв.}$$

$$045T_{шк} = 9 + \frac{34}{100} = 9,34 \text{ хв.}$$

2.1.9 Відрядна розцінка на кожну операцію технологічного процесу розраховується за формулою:

$$P_{\text{від}} = \frac{C_{\text{год}} \cdot T_{\text{шк}}}{60}, \text{ грн} \quad (2.9)$$

де: $C_{\text{год}}$ - годинна тарифна ставка відповідного розряду робіт, грн. (за даними базового підприємства).

$$020P_{\text{від}} = \frac{46,2 \cdot 0,81}{60} = 0,62 \text{ грн.}$$

$$025P_{\text{від}} = \frac{56,7 \cdot 9,84}{60} = 9,3 \text{ грн.}$$

$$040P_{\text{від}} = \frac{48,3 \cdot 6,02}{60} = 4,84 \text{ грн.}$$

$$045P_{\text{від}} = \frac{56,7 \cdot 9,34}{60} = 8,82 \text{ грн.}$$

2.1.10 Річна трудомісткість приведенного випуску продукції розраховується за формулою:

$$Q = \frac{T_{\text{шк}} \cdot N_{\text{пр}}}{60}, \text{ Н-Г} \quad (2.10)$$

$$Q = \frac{0,81 \cdot 21000}{60} = 284 \text{ Н-Г.}$$

$$Q = \frac{9,84 \cdot 21000}{60} = 3444 \text{ Н-Г.}$$

$$Q = \frac{6,02 \cdot 21000}{60} = 2107 \text{ Н-Г.}$$

$$Q = \frac{9,34 \cdot 21000}{60} = 3269 \text{ Н-Г.}$$

Таблиця 2.1- Розрахунок норм часу і розцінок на деталь.

№ операції	Tшт, хв	нд, шт	Tпз, хв	Tшк, хв	Cгод, грн	Pвід, грн	Nпр, шт	Q, Н-Г
020	0,6	100	21	0,81	46,2	0,62	27000	284
025	9,6	100	24	9,84	56,7	9,3	27000	3444
040	5,8	100	22	6,02	48,3	4,84	27000	2107
045	9	100	34	9,34	56,7	8,82	27000	3262
Разом	25	-	101	26,01	-	23,58	-	9,097

2.2 Розрахунок кількості верстатів та коефіцієнта їх використання

2.2.1 Розрахункова кількість верстатів по кожній операції визначається за трудомісткістю річного приведеного випуску деталей за формулою:

$$n_B = \frac{Q}{F_D^0 \cdot K_{BH}}, \text{ шт} \quad (2.11)$$

де K_{BH} - коефіцієнт виконання норм.

$K_{BH} = 1,0$ – для верстатів з ЧПК, автоматів, напівавтоматів, автоматизованих ліній.

$K_{BH} = 1,05 \div 1,2$ - для універсальних верстатів.

F_D^0 - фонд дійсного часу роботи обладнання за рік розраховується за формулою:

$$F_D^0 = F_H^0 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right), \text{ год.} \quad (2.12)$$

F_H^0 - фонд номінального часу роботи обладнання в розрахунковому році.

$$F_H^0 = (T \cdot v + t \cdot v') \cdot S, \text{ год.} \quad (2.13)$$

$$F_H^0 = (244 \cdot 8 + 6 \cdot 7) \cdot 2 = 3988 \text{ год.}$$

α - це втрати часу, пов'язані з його плановим ремонтом, $\alpha = 2\%$ при двозмінному режимі роботи для верстатів до 10 тонн; $\alpha = 8\%$ - для верстатів масою більше 100 т.

$$F_D^0 = 3988 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 3908.24 \text{ год.}$$

$$020n_B = \frac{317}{3908.24 \cdot 1,05} = 0.8 \text{ шт.}$$

$$025n_B = \frac{3444}{3908.24 \cdot 1} = 0.88 \text{ шт.}$$

$$040n_B = \frac{2107 + 1000}{3908.24 \cdot 1} = 0.79 \text{ шт.}$$

$$045n_B = \frac{3269}{3908.24 \cdot 1} = 0.83 \text{ шт.}$$

Середній коефіцієнт використання обладнання обчислюється за формулою:

$$K_B^{\text{сер}} = \frac{\sum n_B^p}{\sum n_B^{\text{пр}}} \quad (2.14)$$

$$K_B^{\text{сер}} = \frac{0,8 + 0,88 + 0,79 + 0,83}{4} = 0,83$$

Таблиця 2.2 - Розрахунок необхідної кількості верстатів і коефіцієнт їх використання.

№ операції	Тип і модель верстата	$F_{Д'}^0$, год.	$K_{ВН}$	$Q_{Н-Г}$	$Q_{Д}$	$Q_{заг}$	n_B^p , шт.	$n_B^{\text{пр}}$	K_B	Габарити верстатів
020	16P25	3908.24	1.05	284	3000	3284	0.8	1	0.8	2575×1345
025	HAAS ST10	3908.24	1	3444	-	3177	0.88	1	0.88	2921×2108
040	HAAS Mini Mill	3908.24	1	2107	1000	3107	0.79	1	0.79	2000×2000
045	HAAS Mini Mill	3908.24	1	3269	-	3269	0,83	1	0,83	2000×2000
Разом	-	-	-	-	-	-	3,3	4	3,3	-

2.3 Розрахунок чисельності персоналу дільниці

2.3.1 Розрахунок можливості багатOVERстатного обслуговування.

Можливість використання багатOVERстатного обслуговування аналізується лише на тих операціях які відповідають таким умовам:

- 1) операція виконується на верстатах з ЧПК;
- 2) операція виконується на верстатах-дублерах;
- 3) $T_{ца} > T_{доп}$
- 4) $T_{ца} \geq 3\text{хв.}$

БагатOVERстатне обслуговування не виконується.

2.3.2 Розрахунок чисельності основних робітників.

Чисельність робітників визначається по кожній операції за трудомісткістю робіт:

$$P^p = \frac{Q}{F_d^p \cdot K_{вн} \cdot S_6}, \text{ чол.} \quad (2.15)$$

де F_d^p - фонд дійсної роботи одного робітника протягом року.

$$F_d^p = F_n^p \left(1 - \frac{B}{100}\right), \text{ год.} \quad (2.16)$$

де F_n^p - фонд номінальної роботи одного робітника в розрахунковому році.

B - втрати часу (відпустки, хвороби) (за даними базового підприємства)

$$F_n^p = 244 * 6,7 = 1994$$

$$F_d^p = 1994 \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 1755$$

$$020P^p = \frac{3284}{1755 \cdot 1 \cdot 1} = 1.51$$

$$025P^p = \frac{3444}{1755 \cdot 1 \cdot 1} = 1.96$$

$$040P^p = \frac{3107}{1755 \cdot 1 \cdot 1} = 1.77$$

$$045P^p = \frac{3269}{1755 \cdot 1 \cdot 1} = 1.86$$

Таблиця 2.3 - Розрахунок чисельності основних робітників на дільниці.

№ Операції	Професія	Розряд	Q, н-г.	K _{вн}	P ^p , чол.	P ^{пр} , чол.	n _в ^{пр} шт.	кількість робітників за змінами	
								1 зміна	2 зміна
020	Токар	2	3284	1.05	1.51	1	1	1	-
025	Оператор ЧПК	3	3444	1	1.96	2	1	1	1
040	Фрезерувальник	2	3107	1	1.77	1	1	1	-
045	Фрезерувальник	3	3269	1	1.86	2	1	1	1
Разом	-	-	13104	-	7.1	6	4	4	2

2.3.3 Розрахунок продуктивності праці виробничих працівників.

Продуктивність праці виробничих робітників визначаємо, як виробіток продукції в нормо годинах на одного робітника за формулою:

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{\sum Q}{\sum R^{\text{пр}}}, \text{ год.} \quad (2.17)$$

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{13104}{6} = 2184 \text{ год.}$$

Зростання продуктивності праці планується у розмірі:

$$\Delta \Pi_{\text{п}} = \frac{\Pi_{\text{п}}}{F_{\text{д}}} \cdot 100 - 100\%, \quad (2.18)$$

$$\Delta \Pi_{\text{п}} = \frac{2184}{1755} \cdot 100 - 100 = 24,44\%$$

2.3.4 Розрахунок кількості допоміжних робітників.

Чисельність допоміжних робітників встановлюється в відсотковому відношенню до основних робітників (для механічних цехів серійного типу виробництва 40-50% від чисельності основних робітників).

$$R_{\text{доп}} = \frac{\sum R^{\text{пр}} \cdot 40}{100}, \text{ чол.} \quad (2.19)$$

$$R_{\text{доп}} = \frac{6 \cdot 40}{100} = 2,4 \text{ чол.}$$

2.3.5 Розрахунок кількості керівників, спеціалістів, службовців.

Кількість керівників визначається на дільниці виходячи з кількості змін і норми керованості.

Кількість спеціалістів визначається при наближених розрахунках, в відсотковому відношенні до чисельності основних і допоміжних робітників (спеціалісти - 8 ÷ 12%):

$$Ч_{\text{спец}} = \frac{(\sum R^{\text{пр}} + R_{\text{доп}}) \cdot 8}{100}, \text{ чол.} \quad (2.20)$$

$$Ч_{\text{спец}} = \frac{(6 \cdot 2,4) \cdot 8}{100} = 0,672 \text{ чол.}$$

Чисельність службовців приймається у відсотковому відношенні до основних і допоміжних робітників (службовці - 3 ÷ 5%):

$$Ч_{сл} = \frac{(\sum P^{пр} + P_{доп}) \cdot 5}{100}, \text{чол.} \quad (2.3.8)$$

$$Ч_{сл} = \frac{(6 \cdot 2,4) \cdot 5}{100} = 0.42 \text{чол.}$$

Всі попередні розрахунки зведено в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку чисельності персоналу

Категорії та професії	Кількість, чоловік
1. Основні виробничі робітники, всього	6
у тому числі, за професіями	
1.1 Фрезерувальник	3
1.2 Токар	1
1.3 Оператор ЧПК	2
1.4 Шліфувальник	
2. Допоміжні робітники, всього	3
у тому числі, за професіями	
2.1 Крановщик	2
2.3 Електромонтер	1
3. Керівники, всього	1
у тому числі, за посадою	
3.2 Старший майстер	1
4. Спеціалісти, всього у тому числі, за професіями	1
4.1 Технолог	1
5. Службовці, всього у тому числі, за професіями	1
5.1 Табельник	1
Всього	12

2.4 Організація постачання робочих місць на дільниці матеріалами, інструментом

2.4.1 Організація інструментального господарства

Цехи основного виробництва є споживачами великої кількості інструменту і пристосовування, тому раціональна організація інструментального господарства має тут велике значення. Від повного і своєчасного забезпечення робочих місць якісним і продуктивним інструментом залежить рівномірне виконання плану, якість продукції, що випускається, зростання продуктивності праці і рівень собівартості продукції.

Завданнями інструментальної служби цеху є: повне і своєчасне забезпечення робочих місць цеху потрібним і якісним інструментом; усунення простоїв робітників із-за несвоєчасного забезпечення інструментом; звільнення основних робітників від робіт із заточення й ремонту інструменту; своєчасний ремонт і організація робіт з відновлення відпрацьованого інструменту.

Так як спроектована виробнича ділянка механічного цеху не має в своєму розпорядженні самостійних інструментально-роздавальної комори (ІРК) і майстерні з ремонту і заточування інструментів, то описується інструментальне господарство цеху.

Відповідно до встановлених норм витрат визначається потреба цеху в інструменті і складається заявка на потреби інструмент і пристосовування. Після встановлення потреби цеху видається лімітна карта, куди записується потреба цеху в інструменті і пристроях, у тому числі спеціальному. Цех за вимогами одержує необхідний інструмент і пристосовування з ЦІСа (Центральний інструментальний склад).

Кращим способом видачі інструменту є його доставка безпосередньо на робоче місце. Це звільняє робітників від втрат часу при одержанні інструменту і сприяє збільшенню їх виробництва.

Для більш продуктивної роботи на проектованій ділянці застосовується наступний метод видачі інструменту: на самому початку зміни ІРК цеху закриті і, отже, ніякої видачі інструменту не проводиться. Це стало можливим після того, як встановився порядок подачі інструменту безпосередньо на робоче місце за 15-20 хв. до початку зміни. ІРК відкривається через 1-2 год., коли потрібно буде міняти затуплений інструмент. Такий порядок дає можливість робітникам весь час віддавати виробничій роботі.

Майстер на проектованій ділянці перед закінченням зміни заповнює заявку на споживаний інструмент для робітників своєї ділянки на наступний день.

Для обліку наявності інструменту до ІРК використовуються облікові картки, які відкриваються на кожний вид і розмір інструменту. Облік надходження ведеться на основі вимог по всім інструментам, що надійшли в цех. Облік витрат інструменту проводиться за актами, де реєструються поломки і на підставі яких складаються відомості на списання відпрацьованого інструменту. Інструментально-роздавальні комори виробляють передачу інструменту в заточку і ремонт.

В комірчині знаходиться рухливий роздавальний стелаж для доставки інструменту на робоче місце.

2.4.2 Організація складського господарства

Правильна організація складського господарства - один із чинників поліпшення матеріально-технічного постачання підприємства. Склади служать для приймання, зберігання, обліку та видачі сировини, матеріалів, напівфабрикатів, оснащення та палива. Матеріали, напівфабрикати і

оснащення надходять на постачаючі склади підприємства, звідки їх отримують відповідні споживачі - цехи та служби.

Залежно від масштабів обслуговування розрізняють склади загальнозаводські, прицехові, а так само цехові комори, що входять до складу цеху.

Кожен зі складів відповідно до особливостей збережених матеріалів, напівфабрикатів і палива повинен бути обладнаний необхідними підйомно-транспортними засобами, стелажми, шафами, ящиками та іншими пристосуваннями, що дозволяють ефективно здійснювати операції складування матеріалів.

На проектованій ділянці передбачено:

- склад заготовок;
- склад готової продукції.

У склад заготовок надходить продукція з заготівельного цеху. З складу заготовок. Деталі партіями відправляються на механічну обробку, де деталі знаходяться на місцях складування. Після останньої операції технологічного процесу партія деталей потрапляє на склад готової продукції.

2.4.3 Організація транспортного господарства

У процесі виробництва в цехах підприємства регулярно переміщається велику кількість сировини, матеріалів, палива, напівфабрикатів, інструментів і готової продукції. Доставка цих вантажів на склади підприємства, переміщення їх усередині підприємства, а так само вивезення готової продукції та відходів з підприємства є функціями промислового транспорту, який ділиться на зовнішньозаводський і внутрішньозаводський.

Внутрішньозаводський транспорт зосереджується в транспортному цеху підприємства, який підпорядковується заступнику директора з загальних питань. Здійснюючи виробничий зв'язок між складами, цехами,

ділянками і робочими місцями. Внутрішньозаводський транспорт є частиною матеріально-технічної бази виробництва.

Внутрішньозаводський транспорт за своїм призначенням поділяється на міжцехових, що здійснює різні перевезення між цехами і складами, і внутрішньоцехових, призначений для виконання транспортних операцій в межах окремих цехів і складів.

На проєктованій ділянці використовується підлогові транспортні засоби (ручні візки, електрокари) крім того, для переміщення важких вантажів по цеху - крани поворотні, кран-балки.

2.5 Організація наладки обладнання з ЧПК по керуючій програмі

Налаштування інструментів для металорізального обладнання з числовим програмним управлінням є невід'ємною частиною технологічної підготовки виробництва при організації гнучких автоматизованих виробництв. Розмірне налаштування інструментів дозволяє організувати регламентоване забезпечення інструментами робочих місць. Регламентоване забезпечення інструментами має на увазі виконання двох видів робіт: примусову (регламентовану) заміну інструментів; позапланову (екстрену) заміну інструментів.

Регламентоване забезпечення інструментами скорочує час простою дорогого обладнання при налагодженні, скорочує втрати від браку з огляду на неприпустимого зносу, знижує витрату інструментів. Необхідний коефіцієнт використання високопродуктивних верстатів в значній мірі залежить від підготовки, зберігання і доставки інструменту.

Для централізованого забезпечення верстатів з ЧПК інструментами організують ділянку розмірного налаштування інструментів. Ділянка підпорядкована заступнику начальника цеху з технологічної підготовки.

Ділянка розмірного налаштування інструментів для верстатів з ЧПК містить зони забезпечення інструментами верстатів з ЧПК і розмірної настройки інструменту.

У зоні забезпечення інструментами верстатів з ЧПУ здійснюється зберігання мінімальних запасів всієї номенклатури ріжучого, вимірювального і допоміжного інструментів і технологічної документації, комплекція технічної документації і всіх видів інструментів; передача скомплектованим інструментів і технічної документації в зону розмірної настроювання інструментів.

Для налаштування ріжучих інструментів до верстатів токарної групи використовується прилад мод. БВ-2026 горизонтального використання. На приладі виконують розмірне налаштування інструментів за двома координатами з точністю 0,001 мм.

Для настроювання інструментів для верстатів свердлильно-фрезерно-розточної групи застосовують прилад мод. БВ-2027 вертикального використання.

Комплектацію інструментів здійснює комплектувальник відповідно зі змінним завданням на підготовку інструментів. Майстер з інструментом підбирає для даної технологічної операції комплектуючу карту, схему установки та іншу необхідну технологічну документацію. На підставі технологічної документації комплектувальник підбирає з стелажів ріжучий і допоміжний інструменти. Зборку і розмірне налаштування інструментів здійснює слюсар інструментальник по налаштуванню інструменту згідно картами і схемами настройки інструменту. Отримавши із зони забезпечення інструментами вибраний ріжучий і допоміжний інструменти, слюсар-інструментальник збирає їх, закріплює на приладі і налаштовує відповідні координати вильоту ріжучих кромок.

Налаштовані технологічні комплекти інструментів повертають у зону забезпечення інструментами. Отримавши комплекти налаштованих інструментів, комплектувальник доукомплектовує їх вимірювальними

засобами, технологічною документацією і передає їх до транспортно-накопичувальну систему ГВС для відправки до робочих місць, де інструменти виставляються і прив'язуються.

2.6 Обґрунтування прийнятих методів розробки керуючих програм в технологічному процесі, що проектується

Відділ розробки керуючих програм (ВРКП) забезпечує технологічну готовність механообробного виробництва до виготовлення деталей на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) відповідно до технічних вимог та мінімальними трудовими і матеріальними витратами.

Очолює ВРКП, організовує всю роботу і несе повну відповідальність за діяльність відділу начальник ВРКП.

Планування роботи ВРКП здійснює начальник відділу на підставі затверджених головою правління АТ або його першим заступником графіків технічної підготовки виробництва, планів підвищення ефективності виробництва і соціального розвитку колективу, річних, квартальних і місячних виробничих планів, інших директивних документів, а також заявок від цехів і відділів на розробку керуючих програм (КП).

Підставою для розробки КП механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК є доведення до виконавця план-завдання.

Вихідною документацією для розробки КП та технологічних процесів обробки деталей на верстатах з ЧПК є:

- робоче креслення деталі;
- технологічний процес обробки (виписка з технологічного процесу);
- технічні характеристики та технологічні можливості верстатів і пристроїв з ЧПК;
- відомості про використовувані пристосування і засоби технологічного оснащення, ріжучим і вимірювальним інструментом.

Технолог-програміст робить аналіз вихідних даних, вибір устаткування з ЧПК і оснащення, намічає зміни в базовому технологічному процесі, які в необхідних випадках узгоджуються з розробником технологічного процесу.

Технолог-програміст в відповідно до вихідних даних намічає план операцій, схеми установок, складає по перехідну технологію, яка записується в операційну карту або виконується графічно на бланку ескізів відповідно до ГОСТ 3.1105-84, форми 7 і 8.

На карті ескізів зазначаються:

- ескіз деталі з розмірами і контурами заготовки;
- технічні вимоги;
- застосовувана оснащення;
- вихідна (нульова) точка програми;
- траєкторія руху ріжучого інструменту;
- режими обробки;
- елементи оснащення;
- умовні позначення опор, баз і затискних елементів;
- вимоги з техніки безпеки;
- особливі технологічні вимоги і вказівки.

У процесі розробки карти ескізів технолог-програміст заповнює відомість оснащення, яка складається в необхідних випадках додаткові заявки на проектування й виготовлення оснащення і спеціального інструменту і на складання універсального переналагоджуваного оснащення.

На підставі карти ескізів і операційного технологічного процесу технологом-програмістом складається КП обробки деталі. Залежно від складності деталі, типу вживаного верстата, наявності засобів автоматизації програмування розрахунок КП здійснюється двома основними методами:

- ручним програмуванням;
- з використанням автоматизованих робочих місць.

При ручному програмуванні технолог-програміст виробляє:

- розрахунок координат опорних точок;

- кодування геометричній та технологічної інформації (формування КП);

- сформована КП наноситься на програмний носій.

При використанні систем автоматизованого програмування технолог-програміст підготовляє початкові дані і безпосередньо вводить їх в міні-ЕОМ, яка робить обробку даних і видачу КП.

Технолог-програміст проставляє в журналі відділу розробки програм УГТ реєстраційний номер розроблюваної КП. Цей же реєстраційний номер проставляється в карті ескізів і їй відповідним відомостях засобів технічного оснащення ріжучого і вимірювального інструменту.

Після впровадження обробки деталі в цеху і коректування УП технолог-програміст здає в архів відділу розробки програм комплектно наступну технічну документацію:

- робочий креслення деталі;
- виписку з технологічного процесу;
- відомості засобів технологічного оснащення;
- карту ескізів;
- вихідні дані для розрахунку на ЕОМ;
- роздруківку УП;
- УП (перфострічки).

Технік-оператор архіву відділу розробки програм УГТ стежить за збереженням приймається до-кімнатці, своєчасним її дублюванням і видачею дублікатів в цеху.

За заявкою цеху технік-оператор архіву видає копії наступній документації:

- карти ескізів;
- відомості засобів технологічного оснащення;
- керуючої програми;
- роздруківки керуючої програми.

Пропозиції для розгляду та прийняття рішення про доцільність механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК надаються технологами УГТ і технологічними службами цехів об'єднання за погодженням з провідним технологом у відділі розробки програм УГТ.

Розгляд пропозицій здійснюється фахівцями відділу розробки програм спільно з провідним технологом УГТ.

Для розгляду пропозиції провідний технолог надає:

- креслення деталей, включених до пропозиції;
- перелік замовленої технологічного оснащення, ріжучого і вимірювального інструмента;
- відомості про трудомісткість та обсяги виробництва;
- відомості про існуючий технологічному процесі і його особливості.

За результатами аналізу поданих матеріалів приймається відповідне рішення. При цьому в графі " Примітка " проводиться одна з двох записів:

- прийняти до розробки (із зазначенням строку або черговості);
- відхилити через ...

Розглянуте пропозицію підписується фахівцями, що беруть участь в обговоренні, проходить реєстрацію у відділі розробки програм і, в подальшому, є підставою для планування робіт з розробки УП.

Доцільність обробки деталі на верстатах з ЧПУ в загальному випадку визначається техніко-економічним розрахунком або зіставленням деталі, пропонованої до обробки, з робочою деталями на верстатах з ЧПУ. При цьому вирішальними чинниками є:

- трудомісткість обробки;
- складність конструкції деталі та її технологічність;
- величина запускається у виробництво партії деталей і її повторюваність протягом року;
- розрахункові дані щодо завантаження обладнання (КЗ);
- трудомісткість розробки КП та технологічного оснащення;
- спосіб отримання і матеріал заготовки;

- технічні умови і вимоги до точності і шорсткості поверхонь деталі.

Кожна розроблена УП механічної обробки деталі на верстаті з ЧПУ повинна проходити перевірку при обробці дослідної деталі (зразка) або партії деталей в реальних умовах.

Відпрацювання КП провадиться за наявності на робочому місці передбачених по технологічному процесу технологічного оснащення.

Обробка дослідної деталі (зразка) або партії деталей проводиться оператором цеху в присутності технолога-програміста.

У процесі дослідної обробки технолог-програміст виробляє коригування УП або її переробки (при необхідності).

Оброблена деталь перевіряється працівником БТК цеху або особою яка їх заміняє, на відповідність розмірам і технічним вимогам креслення або операційного ескізу. Придатна деталь приймається БТК цеху в установленому порядку. При наявності відступів від вимог креслення, працівник БТК або особа, його що заміняє, складає перелік зауважень і передає розробнику керуючих програм для прийняття відповідних технічних рішень та внесення змін до УП.

Після обробки другий деталі або партії деталей і отримання позитивного висновку робітника ВТК технолог-програміст визначає цикл обробки, час обробки програми в автоматичному режимі і оформляє акт впровадження програми.

Акт впровадження програми підписується в наступній послідовності:

- технологом-програмістом з встановленням циклу обробки;
- майстром дільниці верстатів з ЧПК;
- працівником БТК цеху або особою яка їх заміняє;
- провідним технологом з встановленням норми часу та розцінки по операціях.

Акт впровадження програми є основним документом, на підставі якого закріплюється Звернення деталі за певною одиницею або групою обладнання

з ЧПК, видається повідомлення провідним технологом про зміни до діючої технологічної документації, розцеховці і маршрут технологічного процесу.

Акт впровадження програми зберігається у відділі розробки програм. Копії акту по одному примірнику розсилаються провідному технологові і майстерні, якому впроваджена КП.

Після впровадження КП механічної обробки на верстатах з ЧПК цех-виробник несе відповідальності за дотриманням технологічної дисципліни, наявність і збереження оснащення та технологічної документації відповідно до порядку та вимог, установлених в об'єднанні.

3 ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS В РОЗРАХУНКАХ НА МІЦНІСТЬ

3.1 Загальна характеристика комплексу ANSYS

ANSYS — це потужний програмний комплекс для числового моделювання та аналізу, який широко використовується для розрахунків на міцність і стійкість матеріалів та конструкцій. Його функціональні можливості охоплюють механічний, термічний, електромагнітний аналіз, а також моделювання вібрацій та інших фізичних явищ. Моделювання на міцність є однією з основних сфер застосування ANSYS, оскільки програмне забезпечення дозволяє виконувати складні та точні розрахунки для оцінки міцності конструкцій і деталей під дією різних навантажень.

3.2 Основні можливості ANSYS для розрахунків на міцність

- 1. Метод скінченних елементів (МСЕ):** В основі всіх розрахунків в ANSYS лежить метод скінченних елементів (МСЕ), який дозволяє розділяти складну геометрію на прості елементи для подальшого аналізу. Це дає змогу врахувати складні форми, матеріали та умови навантаження.
- 2. Аналіз напружень:** ANSYS дозволяє проводити детальний аналіз розподілу напружень і деформацій у матеріалах під дією різних сил та моментів. Це дозволяє виявляти слабкі місця конструкції та запобігати її руйнуванню.
- 3. Аналіз на втому:** Програма має можливості для виконання аналізу втомного руйнування, що особливо важливо для деталей, які зазнають циклічних навантажень.
- 4. Термомеханічний аналіз:** Окрім механічних навантажень, ANSYS також дозволяє враховувати вплив температури на конструкції, що є

важливим для багатьох галузей (наприклад, в аерокосмічній чи автомобільній промисловості).

5. **Лінійний і нелінійний аналіз:** ANSYS підтримує як лінійні, так і нелінійні розрахунки, що дає можливість моделювати поведінку матеріалів і конструкцій при великих деформаціях, пластичному або крихкому руйнуванні.

3.3 Процес розрахунку на міцність у ANSYS

1. **Моделювання геометрії:** Спочатку в ANSYS створюється модель деталі або конструкції. Це може бути як 2D, так і 3D модель з точно заданими розмірами та характеристиками.
2. **Вибір матеріалів:** У ANSYS є вбудовані бази даних матеріалів, з яких можна вибрати відповідний матеріал для моделі. Водночас, користувач може ввести свої власні характеристики для нестандартних матеріалів.
3. **Навантаження і граничні умови:** Далі на модель накладаються відповідні навантаження (механічні, термічні, електричні) та граничні умови (фіксації, контакти, симетрії). Ці умови визначають, як буде реагувати модель на зовнішні впливи.
4. **Розбиття на скінченні елементи:** Модель розбивається на кінцеві елементи, після чого програма проводить числовий аналіз.
5. **Аналіз результатів:** Після розрахунку ANSYS надає звіт з результатами, які включають карти напружень, деформацій, фактори безпеки та інші параметри, що дозволяють оцінити міцність конструкції.

3.4 Приклади використання ANSYS для розрахунків на міцність

1. **Розрахунок міцності турбінних лопатей (авіаційна та енергетична галузь):** Лопаті турбін є критично важливими елементами, що працюють в умовах високих температур і механічних навантажень. Для

їхнього аналізу використовуються спеціалізовані програми, серед яких ANSYS є однією з найбільш популярних. Враховуючи високі температури та швидкості обертання, важливо передбачити зношування та можливі тріщини. У ANSYS можна змоделювати вплив термічних і механічних навантажень на лопаті та визначити максимальні напруження і місця, де можуть виникнути тріщини або зношування. Такий аналіз дозволяє мінімізувати ризик катастрофічного руйнування і продовжити термін служби турбіни.

2. **Аналіз міцності корпусу автомобіля при зіткненні:** Для розробки автомобільних кузовів ANSYS використовують для розрахунку міцності при фронтальних і бокових зіткненнях. Завдяки моделюванню деформацій при різних типах аварій можна передбачити ефективність кузова в збереженні цілісності пасажирів та знизити ризик серйозних травм. ANSYS допомагає розрахувати не лише розподіл напружень, але й поведінку матеріалів під час пластичних деформацій.
3. **Розрахунок міцності мостових конструкцій:** ANSYS також використовується для аналізу мостових конструкцій, де враховуються не тільки статичні навантаження, але й динамічні ефекти, такі як коливання при русі транспорту. За допомогою ANSYS можна оцінити, як деформації моста змінюються під впливом різних навантажень, що дозволяє визначити, чи буде міст здатний витримати довгострокову експлуатацію без небезпечних деформацій чи руйнувань.
4. **Аналіз міцності деталей літальних апаратів:** В аерокосмічній галузі ANSYS застосовується для аналізу міцності та стабільності літальних апаратів, таких як крила, фюзеляжі та інші критичні компоненти. Оскільки ці деталі піддаються великим навантаженням на висоті, важливо забезпечити їх здатність витримувати різні аеродинамічні сили, включаючи турбулентність, термічні впливи і вібрації. Використовуючи ANSYS, інженери можуть прогнозувати поведінку матеріалів під дією цих сил і передбачити можливі зони ризику.

3.5 Метод скінченних елементів (МКЕ) в ANSYS

Метод скінченних елементів (МКЕ) в ANSYS — це потужний інструмент для чисельного розв'язання різних інженерних задач, таких як механіка, теплоперенос, електричні поля, динаміка, а також для багатьох інших галузей науки та техніки. ANSYS використовує МСЕ для моделювання складних структур, які важко або неможливо розв'язати аналітичними методами. Ось основні етапи використання методу скінченних елементів в ANSYS:

1. Створення геометрії

Першим кроком є створення моделі геометрії, яка відповідає реальній проблемі. ANSYS надає можливість створення геометрії безпосередньо в програмному середовищі або імпорту її з CAD-систем.

- Вибір правильних розмірів та форми об'єкта є важливим для отримання коректних результатів.
- Можна використовувати різні типи елементів для моделювання різних компонентів (наприклад, стержні, плити, оболонки, твердотільні елементи).

2. Мережування (дискретизація)

Після створення геометрії необхідно розбити її на кінцеві елементи (елементарні частини, які складають модель). Це називається **мережуванням**.

- Кількість елементів повинна бути достатньою для отримання точних результатів, але не занадто великою, щоб уникнути великих обчислювальних затрат.
- Тип елементів може бути різним, зокрема трикутні, квадратні, твердотільні елементи і т. д.

- Вибір типу елементів залежить від типу задачі (наприклад, для механічних задач можуть бути використані вісімимірні або чотиригранні елементи).

3. Задання матеріальних властивостей

Для кожного елемента необхідно задати матеріальні властивості (модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, густина, теплопровідність і інші залежно від задачі).

- В ANSYS є велика база матеріалів, але також можна створити власні матеріали.
- Враховуються різні моделі матеріалів, включаючи лінійно еластичні, пластичні, високоеластичні та інші.

4. Задання граничних умов і навантажень

На цьому етапі задаються умови на межах моделі, такі як:

- **Граничні умови:** фіксація певних точок або ліній (наприклад, закріплення частини конструкції).
- **Навантаження:** сили, моменти, температури, тиск, електричні поля тощо.
- Граничні умови та навантаження можуть бути постійними чи змінними в часі, а також можуть бути прикладені на різні частини моделі.

5. Розв'язок задачі

Коли модель побудована, і всі умови задані, наступним кроком є розв'язок задачі за допомогою чисельних методів МСЕ.

- ANSYS використовує чисельні методи для розв'язання рівнянь рівноваги, які описують поведінку моделі.

- Можливі різні типи розв'язків: лінійні або нелінійні, стаціонарні або трансієнтні (залежно від змін у часі).

6. Аналіз результатів

Після розв'язку задаються відповідні критерії для інтерпретації результатів.

- **Деформації:** визначення деформаційної поведінки конструкції.
- **Напруження:** обчислення напружень в різних точках моделі.
- **Температурні поля:** для задач теплопереносу.
- Результати можна вивести у вигляді графіків, карт температур, деформацій, напружень тощо.

7. Оптимізація та валідація

На основі результатів можна виконати **оптимізацію** конструкції, змінивши геометрію, матеріали або параметри навантажень, щоб досягти бажаного результату.

- Валідація результатів порівнюється з експериментальними даними або іншими розв'язками, щоб забезпечити коректність моделювання.

Метод скінченних елементів в ANSYS дозволяє моделювати і аналізувати досить складні інженерні системи, що дає змогу скоротити час і вартість експериментальних досліджень.

3.6 Аналіз напружень в ANSYS

Аналіз напружень в ANSYS — це процес, що включає використання програмного забезпечення ANSYS для оцінки механічних напружень та деформацій у конструкціях або деталях під дією навантажень. ANSYS є потужним інструментом для проведення скінченно-елементного аналізу

(FEA), який дозволяє моделювати та досліджувати поведінку матеріалів і конструкцій у різних умовах.

Основні етапи аналізу напружень в ANSYS:

1. Моделювання геометрії:

- Створення або імпорт геометрії конструкції або деталі. Це може бути 2D або 3D модель. Ви можете створити геометрію безпосередньо в ANSYS або імпортувати її з інших CAD програм (наприклад, SolidWorks, CATIA, або AutoCAD).

2. Визначення матеріалу:

- Вибір матеріалу для моделі, що враховує його механічні властивості, такі як міцність, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, межа текучості та інші характеристики. Можна використовувати матеріали з бібліотеки ANSYS або створювати власні.

3. Мережа елементів (Meshing):

- Оскільки ANSYS використовує метод скінченних елементів (FEM), необхідно розділити модель на дрібні елементи (так звану сітку). Чим менший розмір елементів, тим точніші будуть результати, але й більше часу буде витрачено на розв'язання задачі.
- Вибір типу елементів: це можуть бути тетраедри, гексаедри, чи інші типи в залежності від форми і складності моделі.

4. Прикладення навантажень та умов закріплення:

- Визначення зовнішніх навантажень (наприклад, сили, тиски, моменти) і умов закріплення (фіксація, підтримка, симетрія тощо). Це етап, на якому задаються умови, за яких буде виконуватись розрахунок.

5. Вибір типу аналізу:

- Вибір типу аналізу напружень: лінійний чи нелінійний, статичний чи динамічний, термічний чи механічний. Для простих задач зазвичай використовують лінійний статичний аналіз.

- Якщо є великий ризик пластичної деформації або значних переміщень, може знадобитись нелінійний аналіз.
- 6. Розв'язання задачі:**
- Після налаштування моделі ANSYS проводить обчислення, базуючись на методі скінченних елементів (FEM). Це дозволяє отримати розподіли напружень, деформацій та інших важливих величин по всій моделі.
- 7. Аналіз результатів:**
- Отримані результати можна візуалізувати в ANSYS, де ви можете переглядати контури напружень, переміщень, моди коливань тощо. Результати зазвичай представлені графічно у вигляді кольорових карт для виявлення найбільш критичних зон.
 - Аналіз включає виявлення максимальних напружень, деформацій, можливих зон руйнування, а також перевірку конструкції на міцність (за допомогою критеріїв, таких як критерій Мора, міцність на зсув і ін.).
- 8. Оптимізація (якщо потрібно):**
- Якщо результати аналізу показують, що деякі частини конструкції перевантажені або не працюють ефективно, можна провести оптимізацію (наприклад, зменшення товщини стінки, зміна матеріалу) для поліпшення результатів.

Типи аналізу напружень в ANSYS:

1. Статичний лінійний аналіз:

- Використовується для аналізу конструкцій, які піддаються статичним навантаженням. Моделює лінійні деформації і припускає, що матеріали не виходять за межі еластичності.

2. Нелінійний аналіз:

- Використовується для випадків, коли спостерігаються значні нелінійні ефекти, наприклад, пластична деформація матеріалу, великі переміщення, контактні явища тощо.

3. Динамічний аналіз:

- Застосовується для оцінки конструкцій під дією змінних навантажень, таких як удари, вібрації, або коливання. Цей аналіз дозволяє вивчати, як змінюються напруження в часі.

4. Термічний аналіз:

- Використовується для аналізу впливу температурних змін на конструкцію, включаючи термічні розширення та теплові навантаження.

Переваги використання ANSYS для аналізу напружень:

- **Точність:** ANSYS використовує метод скінченних елементів, що дозволяє отримати дуже точні результати для складних конструкцій.
- **Гнучкість:** Підтримка різноманітних матеріалів і умов навантаження дозволяє моделювати широкий спектр реальних ситуацій.
- **Візуалізація результатів:** ANSYS надає інтуїтивно зрозумілі інструменти для візуалізації результатів, що дозволяє легко ідентифікувати критичні області конструкції.
- **Оптимізація:** Можливість оптимізації конструкцій для підвищення їх ефективності та міцності.

Таким чином, ANSYS є потужним інструментом для оцінки та аналізу напружень, що дозволяє інженерам та проектувальникам приймати обґрунтовані рішення на етапі проектування, знижуючи ризик помилок і покращуючи надійність та ефективність конструкцій.

3.7 Аналіз на втому в ANSYS

Аналіз на втому (fatigue analysis) в ANSYS є важливою частиною інженерних досліджень, оскільки дозволяє оцінити стійкість матеріалу або конструкції до багаторазових навантажень, що можуть призвести до зламу через втому. В ANSYS для цього є спеціальні модулі, які використовуються для моделювання втомних пошкоджень матеріалів і визначення їх довговічності.

Ось основні етапи, які слід виконати для проведення аналізу на втому в ANSYS:

1. Моделювання геометрії та матеріалу

Спочатку потрібно створити модель конструкції в ANSYS. Це може бути як 2D, так і 3D модель. Важливо вибрати правильні матеріальні характеристики, зокрема модуль пружності, межу текучості, показник втоми та інші параметри, що будуть використовуватися в подальшому аналізі.

2. Моделювання навантажень

Для втомного аналізу необхідно задати цикл навантажень, який буде змінюватися в часі. У ANSYS можна створювати різні типи навантажень, зокрема постійні, варіативні або циклічні навантаження. Це можуть бути моменти, сили, перепади температури або комбінації цих факторів.

3. Створення багатокрокового аналізу (Load Steps)

Оскільки втома виникає через багаторазові цикли навантаження, потрібно правильно задати кількість кроків навантаження і відповідно вказати кількість циклів для кожного з них. Кількість кроків визначає, як навантаження змінюється протягом часу.

4. Вибір методу аналізу

ANSYS підтримує кілька підходів для втомного аналізу:

- **Метод S-N (Wöhler curve):** використовується для аналізу матеріалів, де є доступні дані для кривої Wöhler для конкретного матеріалу. Цей метод дозволяє визначити кількість циклів до руйнування для конкретної амплітуди навантаження.
- **Метод ϵ -N (Strain-life method):** цей метод застосовується, коли є необхідність врахувати пластичні деформації в процесі втоми.
- **Метод нульового циклу:** для розрахунку для структур, які працюють при змінних навантаженнях без циклів.

5. Аналіз результатів

ANSYS надає можливість переглядати результати аналізу у вигляді контурів напружень, деформацій, а також прогнозованих ділянок, які можуть стати причиною втомного руйнування. Це дозволяє точно визначити місця найбільш вразливі до втоми.

Основні параметри для перевірки:

- **Кількість циклів до руйнування.**
- **Залишковий ресурс конструкції.**
- **Індекс втомної міцності матеріалу.**
- **Мапа зусиль втоми.**

6. Коригування конструкції

Якщо розрахунки показують, що конструкція піддається втомному руйнуванню, можна змінити геометрію або вибрати інший матеріал для покращення результатів.

Ключові інструменти ANSYS для аналізу на втому:

- **ANSYS Mechanical** для загального механічного аналізу.
- **ANSYS Workbench** для інтеграції різних типів аналізу, включаючи втомний.
- **Fatigue Tool (ANSYS Workbench)** для проведення спеціалізованого аналізу на втому.

3.8 Термомеханічний аналіз в ANSYS

Термомеханічний аналіз (ТМА) в ANSYS — це методика для моделювання та аналізу поведінки матеріалів та конструкцій під дією температурних змін і механічних навантажень одночасно. Вона дозволяє оцінити, як температура впливає на механічні властивості матеріалу, деформації та напруги в конструкціях.

Основні етапи термомеханічного аналізу в ANSYS:

1. Створення геометрії:

- Як і в будь-якому іншому аналізі, на першому етапі необхідно створити модель об'єкта або конструкції, яку ви плануєте аналізувати. Це можна зробити в ANSYS DesignModeler або імпортувати вже готову геометрію з інших програм (наприклад, SolidWorks).

2. Визначення матеріалів:

- Вибір матеріалу та його властивостей важливий для термомеханічного аналізу. ANSYS має великий набір матеріалів з різними параметрами (модуль Юнга, коефіцієнт теплового розширення, теплопровідність тощо), але ви також можете додавати власні властивості матеріалів.

3. Визначення граничних умов та навантажень:

- **Температурні умови:** необхідно задати зміну температури у часі або постійну температуру на певних поверхнях або в певних точках

конструкції. Може бути застосовано як зовнішнє тепло, так і температура внаслідок механічних навантажень.

- **Механічні навантаження:** це можуть бути сили, моменти, тиску, або навіть деформації.
4. **Вибір типу аналізу:**
- В ANSYS доступні різні типи аналізів, зокрема статичний, динамічний, термальний, а також термомеханічний, який поєднує теплові та механічні впливи. Для цього вибирається відповідний тип аналізу — **Thermal-Mechanical** або **Steady-State/Transient Thermal** та **Structural**.
5. **Розв'язок задачі:**
- Після визначення всіх параметрів можна запустити розв'язок задачі, в результаті чого ANSYS обчислює зміну деформацій, напруг, температурних полів і їх взаємодію.
6. **Аналіз результатів:**
- Після того, як розв'язок буде виконаний, можна аналізувати отримані результати, включаючи температурні поля, механічні деформації, напруги та інші характеристики конструкції. Для цього використовуються графіки, контури, 3D-моделі, а також різні інструменти для аналізу результатів.

Основні аспекти термомеханічного аналізу:

- **Теплові ефекти:** Зміна температури впливає на розміри і форму матеріалів, тому потрібно враховувати **коефіцієнт теплового розширення**.
- **Механічні напруги та деформації:** Зміна температури може призводити до виникнення додаткових напруг у матеріалі через його теплове розширення або стиснення.
- **Взаємодія температури і механічних навантажень:** У деяких випадках зміна температури може змінювати механічні властивості матеріалу (наприклад, зниження міцності при високих температурах).

Переваги термомеханічного аналізу в ANSYS:

1. **Моделювання складних умов:** можливість врахування одночасно термічних і механічних ефектів.
2. **Прогнозування поведінки конструкцій:** дозволяє передбачити, як конструкція буде поводитись при змінах температури, що важливо для високотемпературних або термічно навантажених систем.
3. **Визначення критичних зон:** допомагає виявити області з високими напруженнями або потенційними проблемами через температурні зміни.

Приклад застосування:

- В аерокосмічній промисловості термомеханічний аналіз може бути використаний для моделювання поведінки деталей двигунів при зміні температури, яка виникає внаслідок роботи двигуна.
- В автомобільній промисловості, для аналізу теплових та механічних навантажень на компоненти двигунів, гальмівних систем і підвіски.

Таким чином, термомеханічний аналіз в ANSYS є потужним інструментом для моделювання складних взаємодій між температурою і механічними властивостями матеріалів. Він дозволяє прогнозувати поведінку конструкцій у різних умовах, що є важливим для розробки надійних і ефективних інженерних рішень.

3.9 Лінійний і нелінійний аналіз в ANSYS

У ANSYS доступні два основних типи аналізу: **лінійний** та **нелінійний**. Вибір між ними залежить від того, які явища вам потрібно моделювати, і наскільки складні характеристики матеріалів і навантажень у вашій задачі.

Лінійний аналіз передбачає, що деформації та напруження в матеріалі мають лінійний характер, тобто зберігаються пропорційно навантаженню.

Цей тип аналізу є найбільш простим і швидким, і зазвичай використовується в більшості випадків, коли поведінка матеріалів є еластичною і не виникають значні деформації або нелінійні ефекти.

Основні характеристики лінійного аналізу:

- **Лінійність деформацій:** Деформації прямо пропорційні до прикладених навантажень.
- **Еластичність матеріалів:** Матеріали розглядаються як еластичні, тобто не допускаються пластичні чи інші нелінійні ефекти.
- **Малі переміщення:** У лінійному аналізі передбачається, що переміщення об'єкта настільки малі, що вони не змінюють геометрію моделі та не впливають на навантаження чи інші умови.
- **Незалежність від історії навантаження:** Лінійний аналіз не враховує зміни в поведінці матеріалу під час процесу навантаження (наприклад, у разі пластичної деформації).

Коли використовувати лінійний аналіз:

- Якщо матеріали не виходять за межі еластичності.
- Якщо деформації конструкції незначні і можна ігнорувати нелінійні ефекти.
- Якщо передбачається, що конструкція піддається сталому (не змінюваному з часом) навантаженню.

Приклад задачі:

- Аналіз конструкції, виготовленої з сталі або іншого еластичного матеріалу, при невеликих навантаженнях (наприклад, каркас будівлі).

Нелінійний аналіз використовується, коли в процесі навантаження виникають складні нелінійні ефекти, такі як пластичні деформації, великі переміщення, зміна геометрії або нелінійна поведінка матеріалів. Цей тип

аналізу значно більш обчислювально складний, ніж лінійний, але він необхідний для розв'язання задач, де лінійні припущення не підходять.

Основні характеристики нелінійного аналізу:

- **Пластичні деформації:** При великому навантаженні матеріал може переходити з еластичної стадії в пластичну, що потребує врахування нелінійних властивостей матеріалу.
- **Великі переміщення:** Якщо переміщення об'єкта великі і впливають на його геометрію, це може змінити розподіл навантажень, що треба враховувати.
- **Нелінійні матеріали:** Врахування нелінійної поведінки матеріалу, наприклад, через критерії міцності (для пластичних матеріалів), або через нефіксовані характеристики (як у випадку гуми або полімерів).
- **Контактні проблеми:** Якщо деталі конструкції контактують між собою і виникає проблема контакту або тертя, це часто вимагає нелінійного підходу.

Коли використовувати нелінійний аналіз:

- Якщо матеріал піддається пластичним деформаціям або має нелінійні характеристики.
- Якщо деформації значні і впливають на загальну поведінку конструкції.
- Якщо необхідно моделювати контакт між елементами, наприклад, тертя чи зчеплення.
- Якщо аналізу підлягають складні навантаження, наприклад, ударні навантаження, циклічні навантаження або великий прогин конструкції.

Приклад задачі:

- Аналіз руйнування матеріалу (перехід від еластичної деформації до пластичної).
- Аналіз вібрацій або коливань конструкції з великими переміщеннями.
- Моделювання контактних явищ (наприклад, зчеплення між деталями механізмів).

Основні типи нелінійного аналізу в ANSYS:

1. Нелінійний аналіз матеріалу:

- Враховує нелінійну поведінку матеріалів (наприклад, пластичні, в'язкопружні матеріали). Для цього використовуються спеціальні криві, які описують залежність напруження від деформацій за межами еластичності.

2. Нелінійний аналіз геометрії:

- Використовується при великих переміщеннях, коли геометрія конструкції змінюється в процесі навантаження, що може впливати на розподіл напружень і деформацій.

3. Нелінійний контакт:

- Моделює взаємодію між твердими тілами, що можуть вступати в контакт і розриватися. Враховуються нелінійні ефекти, такі як тертя, втиснення та зміна геометрії контактуючих поверхонь.

4. Нелінійний термічний аналіз:

- Для розв'язання задач, де температурні зміни спричиняють нелінійні теплові розширення матеріалів.

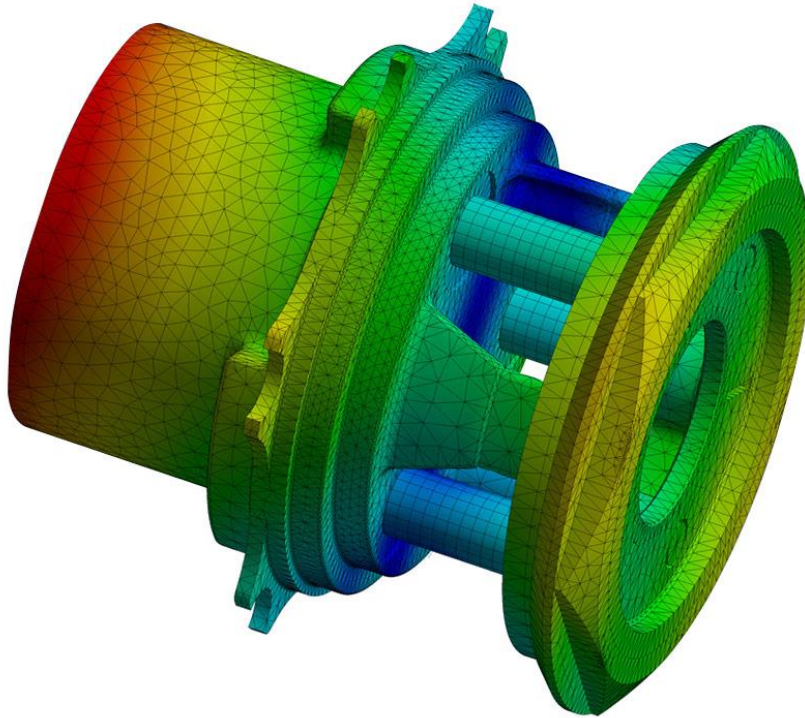


Рисунок 3.1 – Приклад створення 3D моделі в ANSYS

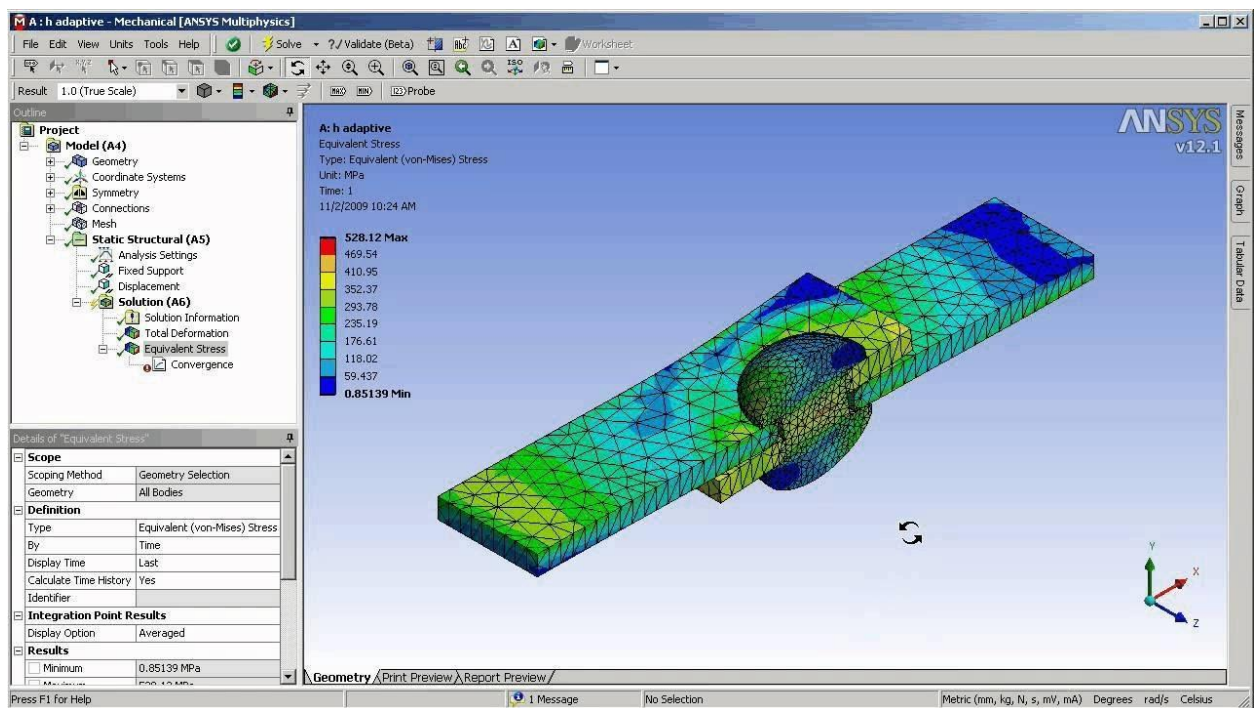


Рисунок 3.2 – Приклад розрахунку деталі на міцність в ANSYS

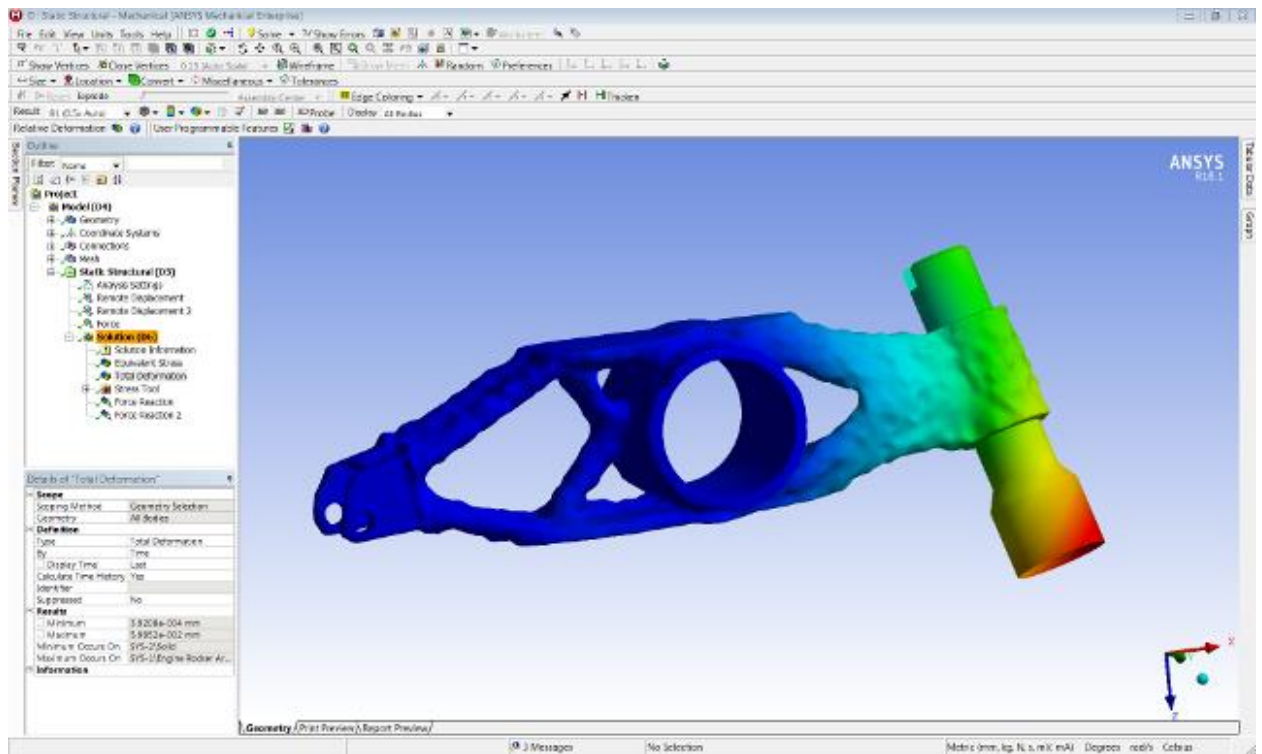


Рисунок 3.3 – Приклад розрахунку деталі на міцність в ANSYS

4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

4.1 Визначення вихідних даних для економічного порівняння варіантів

Економічна ефективність запропонованого варіанту технологічного процесу визначається шляхом економічного порівняння з базовим варіантом, або однієї операції, або груп операцій, або всього технологічного процесу.

Вихідні дані для економічного порівняння варіантів треба звести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для економічного порівняння варіантів.

Найменування даних	Буквені позначення	1-й варіант (базовий)	2-й варіант (запропонований)
		016	025
Річний приведений обсяг випуску, шт.	N_{np}	21000	21000
Тип та модель верстата		16K20	HAAS ST-10
Норма штучно-калькуляційного часу	$T_{шк}$	18,3	9,84
Кількість верстатів, шт.	n_{np}	2	1
Коефіцієнт використання	K_e	0,94	0,86
Площа верстата за габаритами, м. кв.	s	3,28	6,16
Оптова ціна верстата	C_e	500000	1400000
Чисельність робітників-верстатників	P_{np}	4	2
Розряд робітників-верстатників		4	3
Коефіцієнт багатостатності	K_b	1	1

Вихідні дані для базового варіанта визначаються таким чином:

а) річний приведений випуск $N_{пр}$ буде однаковим з запропонованим варіантом

б) тип, модель верстата (верстатів), кваліфікацію робітників та $T_{шк}$ треба брати згідно з базовим технологічним процесом.

в) кількість верстатів та коефіцієнт їх використання визначити за формулами 2.11 та 2.14.

г) чисельність робітників-верстатників визначається за формулою 2.15.

4.2 Визначення капітальних вкладень по порівнюваним варіантам

Капітальні вкладення, які враховуються під час визначення ефективності верстатів з ЧПК складаються з наступних витрат:

$$K = K_{бал} + K_{пл} + K_{сл}, \text{ грн.} \quad (4.1)$$

де $K_{бал}$ - балансова вартість верстата, грн.;

$K_{пл}$ - вартість виробничої площі, грн.;

$K_{сл}$ - вартість службово-побутових приміщень, грн..

$$K_1 = 1150000 + 44280 + 52500 = 1246780, \text{ грн.}$$

$$K_2 = 1610000 + 54208 + 38500 = 1702708, \text{ грн.}$$

Балансова вартість устаткування визначається за формулою:

$$K_{бал} = \sum_1^M (Ц_в \cdot n_{пр}) \cdot K_{дм}, \text{ грн.} \quad (4.2)$$

де M - кількість типорозмірів верстатів за операціями, що враховуються в розрахунку ефективності, шт.;

$Ц_в$ - оптова вартість верстата, грн.;

$K_{дм}$ - коефіцієнт, враховуючий витрати на транспортування, встановлення верстата, пуско-налагоджувальні роботи (дорівнює 1,15).

$$K_{\delta 1} = 500000 \cdot 2 \cdot 1,15 = 1150000, \text{ грн.}$$

$$K_{\delta 2} = 1400000 \cdot 1 \cdot 1,15 = 1610000, \text{ грн.}$$

Вартість виробничої площі визначається за формулою:

$$K_{nl} = C_{nl} \sum_1^M (S + S_y) \cdot n_{np} \cdot \gamma, \text{ грн.} \quad (4.3)$$

де C_{nl} - вартість 1 м. кв. площі механічного цеху (для верстатів нормальної та підвищеної точності дорівнює 1200-1500; для верстатів високої та особливо високої точності, важких та унікальних дорівнює 2200 грн.);

S - площа, яку займає станок за габаритами, м. кв.;

S_y - площа, яку займають виносні та допоміжні прилади ЧПК, електрошафа, гідростанція, елеватор для прибирання стружки та ін. (дорівнює 1-3 м. кв.);

γ - коефіцієнт, який враховує додаткову площу (його значення наведено в таблиці 4.2).

$$K_{пл1} = 1500 \cdot 7 \cdot (3,28) \cdot 4,5 \cdot 2 = 44280, \text{ грн.}$$

$$K_{пл1} = 2200 \cdot (6,16) \cdot 1 = 54208, \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 - Коефіцієнт, який враховує додаткову площу

Площа верстата за габаритами	2,5	2,6-5	5,1-9	9,1-14	14,1-20	20,1-40	40,1-75	>75
Коефіцієнт, що враховує додаткову площу, γ	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

Вартість службово-побутових приміщень визначається за формулою:

$$K_{cl} = C_{nl.cl} \cdot S_{cl} \cdot \left(\sum_1^M P_{np} + \sum_1^M P_{доd} \right), \text{ грн.} \quad (4.4)$$

де $C_{nl.cl}$ - вартість службово-побутових приміщень, грн. (1 м. кв. приймається 1500 грн.);

$S_{сл}$ - питома площа на одного виробничого робітника ($S_{сл}=7$ м. кв.);

P_{np} - кількість виробничих робітників на даній операції, чел.;

$P_{доd}$ - додаткова робоча сила для одного верстата з ЧПК та витрачаєма на підготовку ПК, настройку інструменту поза станком, виготовлення ріжучого інструменту поверх звичайних нормативів, технічне обслуговування та ремонт приладів ЧПК, чел. (за укрупнених розрахунків можна прийняти $P_{доd} = 0,5$), чел. на кожний верстат з ЧПК.

$$K_{сл1} = 1500 \cdot 7 \cdot (4+1) = 52500, \text{ грн.}$$

$$K_{сл2} = 2200 \cdot 7 \cdot (2+0,5) = 38500, \text{ грн.}$$

4.3 Визначення технологічної собівартості річного випуску деталей за порівнюваними варіантами

До технологічної собівартості (собівартість механічної обробки) включаються витрати, що залежать від використовуваної техніки та технології, розмір яких є різним для порівнюваних варіантів.

Розмір технологічної собівартості річного випуску деталей розраховується за формулою:

$$C = Z_{в.р.} + A_{пл} + A_{сл} + A_{е}, \text{ грн.} \quad (4.5)$$

де $Z_{в.р.}$ - річна заробітна плата верстатників (основна та додаткова), враховуючи відрахування до фонду соціального страхування, грн.;

$A_{см}$ - річні амортизаційні відрахування на повне відновлення верстатів, грн.;

$A_{пл}$ - річні витрати на амортизацію та утримання приміщень, що відведені під верстати, грн.;

$A_{сл}$ - річні витрати на амортизацію та утримання службово-побутових приміщень, грн.

$$C_1 = 616345 + 230000 + 9630 + 7000 = 862975, \text{ грн.}$$

$$C_2 = 298271 + 322000 + 9792 + 5250 = 635313, \text{ грн.}$$

4.3.1 Річна заробітна плата виробничих робітників з відрахуванням у фонд соціального призначення визначається за формулою:

$$Z_{ппр} = \sum (C_{год} \cdot T_{шк} / 60) \cdot N_{пр} \cdot (1 + K_{доод}) \cdot (1 + \frac{C_{с}}{100}) \cdot K_{с} \quad (4.6)$$

де $C_{год}$ - годинна тарифна ставка, грн.;

$K_{доод}$ - коефіцієнт, який враховує додаткову ЗП;

$C_{с}$ - ставка відрахувань у фонди соціального призначення.

$$Z_{ппр.1} = \sum (63 \cdot 18,3 / 60) \cdot 21000 \cdot (1 + 0,252) \cdot (1 + \frac{22}{100}) \cdot 1 =$$

4.3.2 Річні амортизаційні відрахування на повне відновлення станків визначаються за формулою:

$$A_{с} = \sum_1^M K_{с} \cdot \alpha_{в} / 100, \text{ грн.} \quad (4.7)$$

де $\alpha_{в}$ - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення верстата, % ($\alpha_{в} = 20\%$).

$$A_{в1} = 1150000 \cdot 0,2 = 230000, \text{ грн.}$$

$$A_{в2} = 1610000 \cdot 0,2 = 322000, \text{ грн.}$$

4.3.3 Річні витрати на амортизацію та утримання приміщень, що займають верстати визначаються за формулою:

$$A_{нл} = H_{нл} \sum_1^M (S + S_y) \cdot n_{пр} \cdot \gamma, \text{ грн.} \quad (4.8)$$

де $H_{нл}$ - вартість амортизації та утримання м. кв. Площі механічного цеху, грн. (для верстатів нормальної та підвищеної точності дорівнює 200-250 грн., для станків високої та особливо високої точності, важких та унікальних дорівнює 250-300 грн.).

$$A_{нл1} = 250 \cdot (4+1) \cdot 4,5 \cdot 2 = 9630, \text{ грн.}$$

$$A_{нл2} = 300 \cdot (6,16) \cdot 4,0 \cdot 1 = 9792, \text{ грн.}$$

4.3.4 Річні витрати на амортизацію та утримання службово-побутових приміщень розраховуються за формулою:

$$A_{cl} = H_{nl} \cdot S_{cl} \cdot \left(\sum_1^M P_{np} + \sum_1^M P_{ood} \right), \text{ грн.} \quad (4.9)$$

$$A_{cl1} = 250 \cdot 7 \cdot (4) = 7000, \text{ грн.}$$

$$A_{cl2} = 1500 \cdot 7 \cdot (4+1) = 5250, \text{ грн.}$$

4.4 Визначення річного економічного ефекту та строку окупності капітальних вкладень

Визначив капітальні вкладення та технологічну собівартість обробки річної продукції за порівнюваними варіантами, розраховуємо розмір приведених витрат (З) за варіантами:

$$Z = C + E_n \cdot K, \text{ грн.} \quad (4.10)$$

де C - технологічна собівартість річного випуску продукції за даним варіантом, грн.;

K - капітальні вкладення за цим же варіантом;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, дорівнює 0,15.

$$Z_1 = 862975 + 0,15 \cdot 1246780 = 1049992, \text{ грн.}$$

$$Z_2 = 635313 + 0,15 \cdot 1702708 = 890719, \text{ грн.}$$

Розраховуємо річний економічний ефект (E_p) як різницю приведених витрат двох варіантів:

$$E_p = Z_1 - Z_2 = (C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2), \text{ грн.} \quad (4.11)$$

$$E_p = Z_{1,2} = 1049992 - 890719 = 159273, \text{ грн.}$$

Якщо новий варіант технологічного процесу потребує більшої суми капітальних вкладень (являючись в той же час ефективним, тобто $Z_1 > Z_2$), то

слід визначати строк окупності додаткових капітальних вкладень за рахунок економії, отримуваної від зниження собівартості продукції за формулою:

$$T_{ф.ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2) < T_{н.ок} \quad (4.12)$$

де $T_{н.ок}$ - нормативний строк окупності додаткових капітальних вкладень, який дорівнює 6,7 років.

$$T_{ф.ок} = \frac{1702708 - 1246780}{862975 - 635313} = 2,003 < 6,7$$

Отримані результати зводимо до таблиці 4.3

Таблиця 4.3. – Розрахунок величин приведених витрат, річного економічного ефекту та строку окупності додаткових капітальних вкладень.

Найменування витрат	Буквені позначення	Сума, грн..	
		1-й варіант (базовий)	2-й варіант (проектний)
Капітальні вкладення	К	1246780	1702708
Технологічна собівартість	С	862975	635313
Приведені витрати	З	1049992	890719
Річний економічний ефект	Е _р	159273	
Строк окупності додаткових капітальних вкладень	T _{ф.ок.}	2,003 < 6,7	

4.5 Техніко-економічні показники ділянки

Розрахунок показників зведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Техніко-економічні показники ділянки.

Найменування показника	Величина
1. Річний приведений обсяг продукції	
1.1 В натуральному виразі, шт. (N_{np})	21000
1.2 По трудомісткості, н-г.	9104
1.3 За повною собівартістю, грн.	49145460
2. Річний обсяг випуску деталі, шт.	1900
3. Кількість обладнання, шт.	4
4. Середній коефіцієнт використання обладнання	0,83
5. Виробнича площа, м ²	360
6. Загальна площа ділянки у розрахунку на одиницю обладнання, м ²	36
7. Чисельність працюючих, чол.	12
7.1 Основні виробничі працівники	6
7.2 Допоміжні працівники	3
7.3 Керівники	1
7.4 Спеціалісти	1
8. Продуктивність праці	
8.1 В натуральному виразі в розрахунку на одного основного робітника, шт.	3500
8.2 За трудомісткістю, н-г.	1517,33
8.3 За собівартістю, грн.	8190910
9. Середньомісячна заробітна плата основних виробничих працівників, грн.	11860,61
10. Собівартість деталі, грн.	2340,26
11. Ціна деталі, грн.	3276,36
12. Матеріальні витрати на 1 грн. собівартості деталі	0,95

ВИСНОВКИ

У розробленому технологічному процесі були застосовані більш прогресивні методи обробки:

- застосування спеціальних ріжучих інструментів призвело до скорочення тривалості обробки деталі;
- застосування спеціальних вимірювальних інструментів дало можливість знизити витрати часу на контрольні вимірювання та підвищити точність вимірювань.

Також змінений спосіб отримання заготовки. Заводську заготовку зі сталі 12X18H10T в даний час отримують поковкою, кованою на молотах. Запропоновано отримання заготовки на горизонтально-кувальній машині (ГКМ). Це дозволило зменшити собівартість заготовки і отримувати заготовку максимально наближену за своїми розмірами до розмірів деталі.

Базовий технологічний процес був змінений таким чином: токарно-гвинторізна операція (обробка за два установи) замінюється на одну токарну з ЧПК, де обробка ведеться за один установ.

Всі нововведення, які були введені в базовий технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» спрямовані на зниження собівартості та підвищення її конкурентоспроможності.

З огляду на вищеперераховане, підтверджене економічними розрахунками, можна зробити висновок, що розроблений технологічний процес є економічно ефективним.

На прикладі ряду деталей в роботі показано можливості використання сучасного програмного комплексу ANSYS для розрахунків на міцність.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аніщенко М.В. Системи числового програмного керування.- Х.: НТУ ХПІ, 2012. – 312 с.
2. Бочков В.М., Сілін Р.І. Обладнання автоматизованого виробництва. Навчальний посібник / За ред. Сіліна Р.І. Львів: Виробництво Державного університету “Львівська політехніка”, 2000. – 380 с.
3. Вакуленко І.О. Технологія механічної обробки металевих матеріалів: навчальний посібник / І. О. Вакуленко, Т. М. Кадильникова, С. В. Пройдак. — Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т, 2014. — 176 с.
4. Взаємозамінність, основи стандартизації та технічних вимірювань: підручник / Г. О. Іванов, В. С. Шебанін, Д. В. Бабенко, П. М. Полянський ; за ред. Г.О. Іванова, В.С. Шебаніна. — вид. перероб. і доп. — Миколаїв : Миколаївський нац. аграрний ун-т, 2016. — 412 с.
5. Гайворонський В. А. Програмування автоматизованого обладнання. Технологічні основи обробки корпусних деталей : навчальний посібник // В. А. Гайворонський. – К. : Кондор, 2007. – 290с.
6. Григурко І.О. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування): навч. посіб. / І. О. Григурко, М. Ф. Брендюля, С. М. Доценко. — Львів : Новий Світ-2000, 2006. — 576 с.
7. Григурко, І.О. Брендюля М. Ф. Технологія обробки типових деталей та складання машин: Практикум / І. О. Брендюля М. Ф. Григурко, С. М. Доценко. — Львів : Новий Світ-2000, 2019. — 472с.
8. Єременко О.І. Інженерна механіка. Ч. 2. Теорія механізмів і машин. Вінниця: Нова Книга, 2009,
9. Карпусь В.Є. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авіаційному атрагатовбудуванні / В. Є. Карпусь, В. О. Границя. — Х. : ДП ХМЗ "ФЕД", 2009. — 228 с.
10. Кузнєцов Ю. М., Саленко О. Ф., Харченко О. О., Щетинін В. Т. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник

- для студентів вищих навчальних закладів / Ю. М. Кузнєцов, О. Ф. Саленко, О. О. Харченко, В. Т. Щетинін. – Київ – Кременчук - Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. — 500 с.
11. Кушніров П. В. Методичні вказівки до практичних занять з курсу "Технологічна оснастка": для студ. за напрямом підготовки 6.050502 - «Інженерна механіка» (спец. "Технологія машинобудування", "Металорізальні верстати та системи", "Інструментальне виробництво") денної та заочної форм навчання. Ч.1 / П. В. Кушніров. – Суми : СумДУ, 2009. – 52 с.
12. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Кульпін Р.А. Динаміка й оптимізація машин. – К.: ЦП «Компринт», 2018. – 310 с.
13. Онофрейчук Н. В. Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням : підруч. / Н.В. Онофрейчук. — Львів : Світ, 2019. — 352 с.
14. Основи обробки матеріалів різанням та інструмент: Навчальний посібник для підготовки молодших спеціалістів та бакалаврів машинобудівних спеціальностей / Ю. Ф. Лебеденко, С. Є. Сліпченко. Харків: Факт, 2020. — 344 с.
15. Сєдінкін Л.М. Збірник тестових завдань з програмування обробки деталей на верстатах з ЧПК: навч. посіб. / Л. М. Сєдінкін. — Суми : СумДУ, 2007. — 119 с.
16. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 201 с.
17. Методичний практикум на тему: “Інженерний аналіз в Ansys Workbench” з дисципліни: “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів” для практичних занять і М54 самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей. /Укладачі : Васильків В.В., Данильченко Л.М., Радик Д.Л., Дивдик О.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021.– 58 с.

18. Математичне моделювання систем та процесів. Комп'ютерний практикум: Навч. посіб. для студентів спеціальності 143 “Атомна енергетика” спеціалізації “Атомні електричні станції”/ О.В. Баранюк ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с.
19. Основи ANSYS. Лабораторний практикум: навч. посіб. / В.М. Грищенко, О.А. Свіргун, Є.І. Калінін, В.Б. Савченко – Харків : ХНТУСГ, 2020. 168с.
20. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD : підручник / І. А. Гришанова, Л. П. Згуровська, Ю. В. Киричук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 180 с.