

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

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення маточини КС6-09.601 з  
дослідженням процесу розкочування отворів

Виконав: студент VI курсу, групи МПМ-61  
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Сисюк В.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ткаченко І.Г.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2021

## РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення маточини КСб-09.601 з дослідженням процесу розкочування отворів”.

У кваліфікаційній роботі представлено схему процесу розкочування отворів роликami із нахилоною під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею. Встановлено, що в процесі розкочування отворів роликami із нахилоною під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею відбувається складний рух роликів відносно заготовки, що призводить до формування регулярного неперервного мікрорельєфу у вигляді синусоїди на поверхні отвору. Виведено параметричне рівняння траєкторії руху однієї точки ролика відносно заготовки. Встановлено, що вершини представлених кривих траєкторії руху точки на робочій поверхні роликів визначають місця контакту точки ролика із оброблюваною поверхнею отвору заготовки.

Виведено параметричне рівняння кривої, що описує сформований мікрорельєф на поверхні отвору.

Представлено результати експериментальних досліджень визначення шорсткості поверхні отвору після розкочування роликami у заготовках із сталі 40 залежно від зміни трьох основних факторів: співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування, подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика.

Також вдосконалено технологічний процес виготовлення маточини КСб-09.601. Проведено розрахунок заготовки, розроблено схеми базування, підбрано інструменти, обладнання, режими різання, спроектовано пристосування.

# ЗМІСТ

<b>Вступ .....</b>	
<b>1 Аналітична частина</b>	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Службове призначення деталі.....	
1.3. Висновки та постановка задач.....	
<b>2 Науково-дослідна частина</b>	
2.1. Дослідження параметрів процесу розкочування отвору роликami.....	
2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні отвору після розкочування роликami.....	
2.3. Висновки.....	
<b>3 Технологічно-конструкторська частина</b>	
3.1. Аналіз технологічності деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.4. Формування технологічного процесу .....	
3.5. Визначення припусків на оброблення.....	
3.6. Визначення режимів різання.....	
3.7. Розрахунок пристосування.....	
<b>4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>	
4.1. Можливість виникнення статичної електрики і заходи для боротьби з цим.....	
4.2. Класифікація надзвичайних ситуацій.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	

## ВСТУП

Розкочування поверхні роликками є фінішною операцією обробки поверхонь деталей машин, яка використовується для покращення її фізичних та механічних властивостей, таких як шорсткість поверхні, стійкість до корозії, коефіцієнт тертя, зносостійкість та втомна міцність. Основний механізм процесу розкочування полягає у перекочуванні ролика поверхнею заготовки. При такому процесі відбувається пластична деформація мікро вершин поверхні в напрямку впадин. Процес розкочування роликками є процесом мікро зміщення матеріалу із використання роликів високої твердості та малої шорсткості поверхні, що подаються до поверхні під високим тиском. Переміщення матеріалу відбувається при перевищенні його границі текучості, що призводить до згладжування поверхні. При цьому на поверхні деталі виникають залишкові напруження стиску, що призводять до зростання твердості поверхні.

Більшість досліджень, спрямованих на вдосконалення фінішних процесів механічної обробки, пов'язані із вихідними параметрами: шорсткістю і твердістю поверхні. Такі дослідження довели ефективність підвищення зносостійкості поверхні за рахунок використання операції розкочування. Тому подальші дослідження процесу розкочування отворів є актуальними.

Актуальним є також вдосконалення технологічного процесу виготовлення маточини КС6-09.601 із проведенням розрахунків заготовки, розробленням схем базування, підбиранням інструментів, обладнання, режимів різання, проектуванням пристосування.

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1. Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами

Для підвищення економічної ефективності виробництва деталей із одержанням заданої технічною документацією точності та шорсткості поверхонь операція розкочування отворів дозволяє усунути додаткові операції, знизити вартість виробництва, підвищуючи якість продукції [22]. Традиційні процеси механічної обробки поверхонь деталей характеризуються утворенням мікро виступів та впадин [32], [33]. Шорсткість поверхні нижче 0,1 мм є необхідною для зменшення втрат на тертя і підвищення втомної міцності поверхонь. Для підвищення ефективності виробництва таких поверхонь необхідно вдосконалювати існуючі інструменти або використовувати дешевші операції із оптимізацією режимів обробки.

Більшість досліджень, спрямованих на вдосконалення фінішних процесів механічної обробки, пов'язані із вихідними параметрами: шорсткістю і твердістю поверхні. Такі дослідження довели ефективність підвищення зносостійкості поверхні за рахунок використання операції розкочування.

Розкочування поверхні роликками є фінішною операцією обробки поверхонь деталей машин, що використовується для покращення її фізичних та механічних властивостей, таких як шорсткість поверхні, стійкість до корозії, коефіцієнт тертя, зносостійкість та втомна міцність. Основний механізм процесу розкочування представлено на рис. 1.1 [25]. Він полягає у перекочуванні ролика поверхнею заготовки. При такому процесі відбувається пластична деформація мікро вершин поверхні в напрямку впадин. Процес розкочування роликками є процесом мікро зміщення матеріалу із використання роликів високої твердості та малої шорсткості поверхні, що подаються до поверхні під високим тиском. Переміщення матеріалу відбувається при перевищенні його границі текучості, що призводить до згладжування поверхні.

При цьому на поверхні деталі виникають залишкові напруження стиску, що призводять до зростання твердості поверхні.

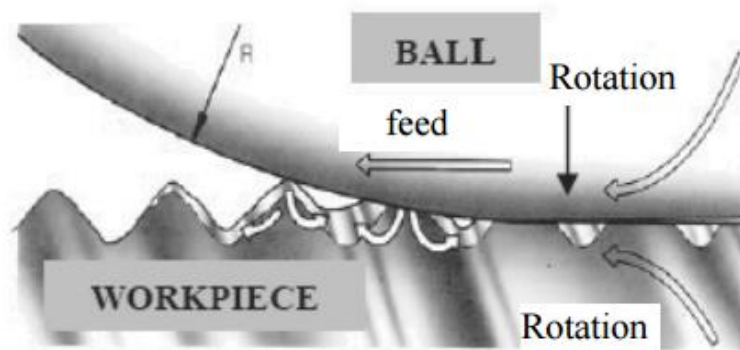


Рисунок 1.1 – Механізм процесу розкочування поверхні [25]

Оскільки зміна діаметра заготовки під час розкочування роликками залежить від матеріалу заготовки, її твердості, величини натягу розкочування для визначення найточнішого початкового діаметра рекомендують проводити експериментальні дослідження із декількома зразками. Розміри обробленої поверхні змінюються на соті міліметра, при цьому шорсткість поверхні може знижуватись до 10 раз. Шорсткість попередньо обробленої поверхні повинна становити за параметром  $Ra$  від 0,8 мкм до 3,2 мкм.

Процес розкочування можна виконувати на універсальних верстатах таких як токарні, токарно-револьверні, свердлильні, верстати ЧПК при стандартних швидкостях і подачах із невеликим крутним моментом. Чим вища початкова шорсткість попередньо обробленої поверхні, тим вищою буде шорсткість поверхні після розкочування. Також шорсткість поверхні може збільшуватись при збільшенні сили розкочування із значними пластичними деформаціями матеріалу [22]. Шорсткість поверхні до та після розкочування представлено на рисунках 1.2 та 1.3.

У роботі [26] розглянуто моделювання гвинтового розкочування отворів, при якому інструмент обертається навколо власної осі та одночасно переміщується по гвинтовій траєкторії відносно осі отвору. Схема такого процесу представлена на рис. 1.4.

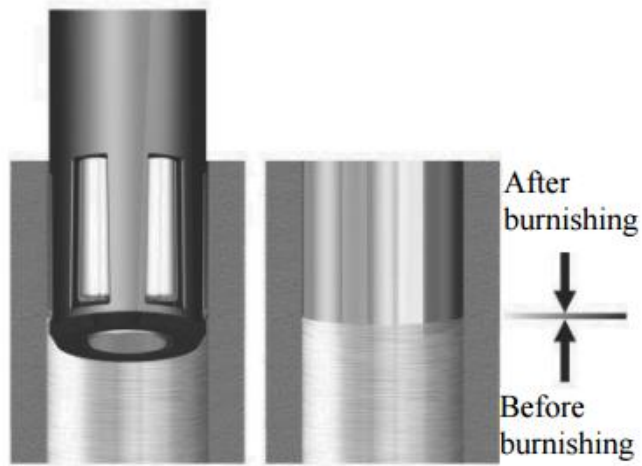
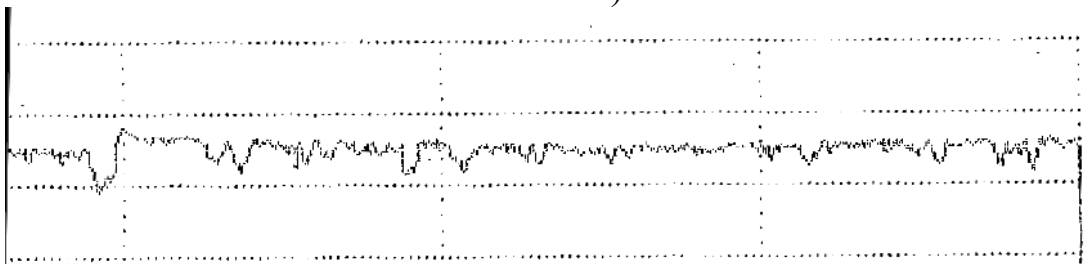


Рисунок 1.2 – Поверхня отвору до та після розкочування [27]



а)



б)

Рисунок 1.3 – Профілографи шорсткості поверхні до а) та після б) розкочування [22]

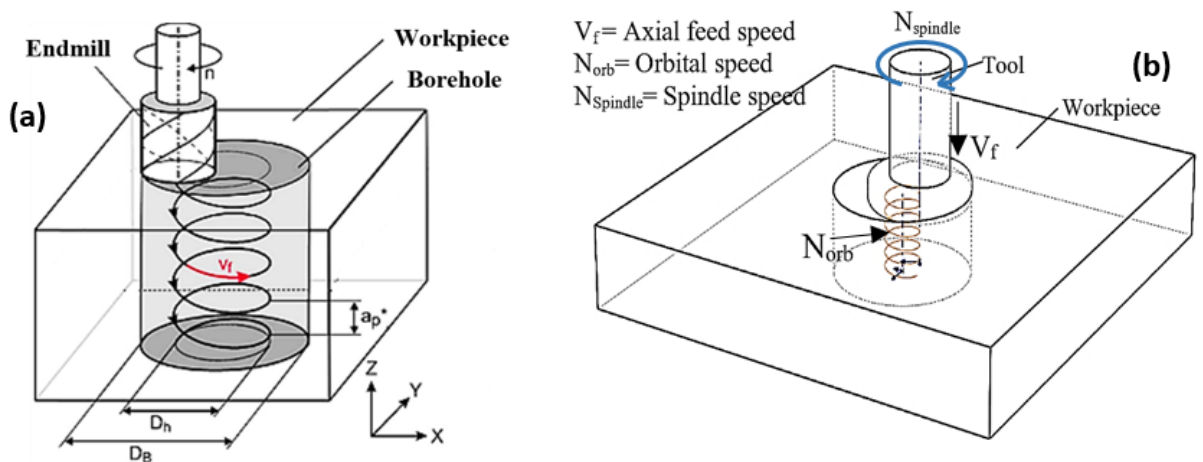


Рисунок 1.4 – Схеми процесів попередньої обробки поверхні фрезеруванням а) з наступним гвинтовим розкочуванням б) [26]

для дослідження процесу розкочування отвору у роботі [26] використано метод кінцевих елементів із різними розмірами сітки елементів в зоні контакту інструменту із поверхнею отвору (дрібна сітка) та в зоні вільної частини заготовки (сітка із більшими елементами) як це показано на рис. 1.5.

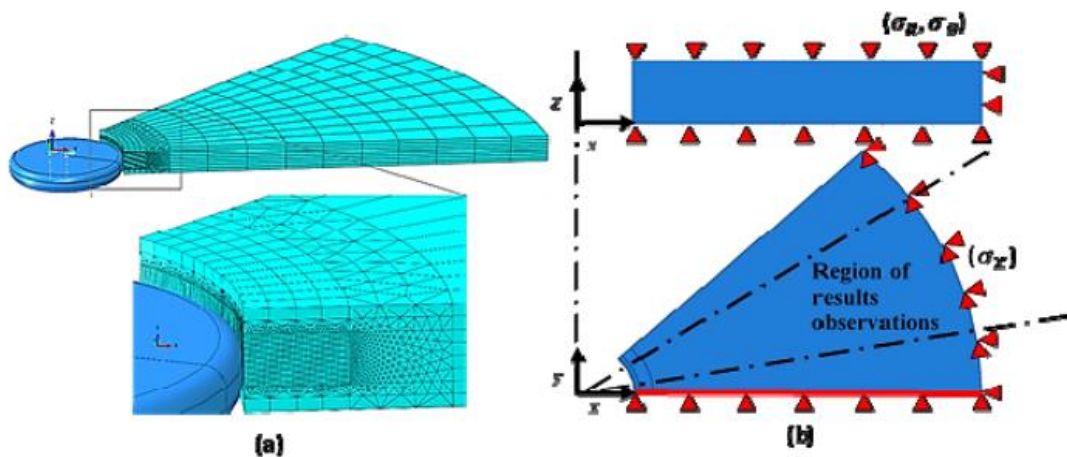


Рисунок 1.5 – Дослідження методом кінцевих елементів процесу розкочування отвору [26]

У роботі [28] розроблено конструкцію інструмента для розкочування отворів, що представлений на рис. 1.6. Основними робочими елементами інструменти є три конічні ролики, один з яких виконано із виступом, що дозволяє забезпечувати додаткову пластичну деформацію поверхневого шару отвору із формуванням підвищених напружень стиску.

Компанією ВТА-Tiefbohrsysteme GmbH [29] розроблено серію інструментів для обробки глибоких отворів (рис. 1.7), що поєднують процеси різання та розкочування отворів радіально розміщеними роликами. Процес різання здійснюється при подачі інструменту крізь отвір, а процес розкочування – при зворотному русі інструменту. Різні напрямки обробки дозволяють розділяти процес різання і розкочування, що дозволяє використовувати оптимальні режими обробки поверхні. Глибина різання знаходиться в межах від 0,05 мм до 0,5 мм на сторону. В результаті розкочування одержується поверхня з шорсткістю  $Ra$  від 0,4 мкм до 0,05 мкм, з



допусками отвору за 8 – 7 квалітетами. Діаметри оброблюваних отворів знаходяться в межах від 40 мм до 401,99 мм.

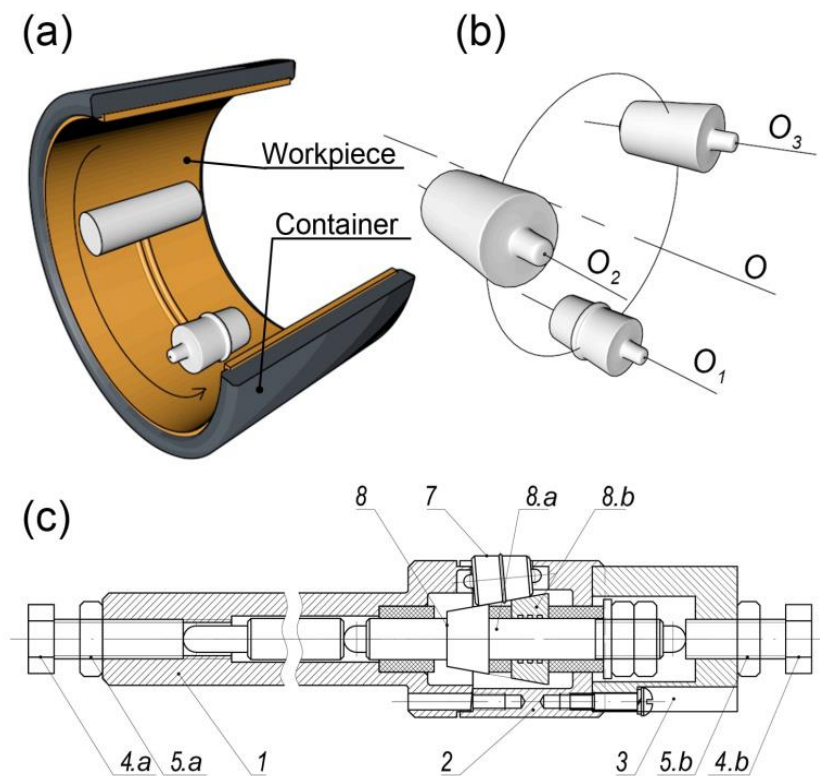


Рисунок 1.6 – Конструкція інструменту для розкочування отворів: а) схема роботи; б) розташування роликів; с) складальне креслення інструмента [28]



Рисунок 1.7 – Інструменти для обробки отворів компанії ВТА-Tiefbohrsysteme GmbH [29]

Компанія YAMASA розробила різноманітні конструкції інструментів для розкочування зовнішніх та внутрішніх поверхонь [30]. На рисунку 1.8 представлено серію інструментів DX. Максимальна швидкість обробки такими інструментами становить 250 м/хв, величина регулювання діаметра обробки від 0,15 мм до 1 мм. Забезпечується високоточним механізмом регулювання до 0,002 мм. Точність обробки отворів 8 – 9 квалітети.

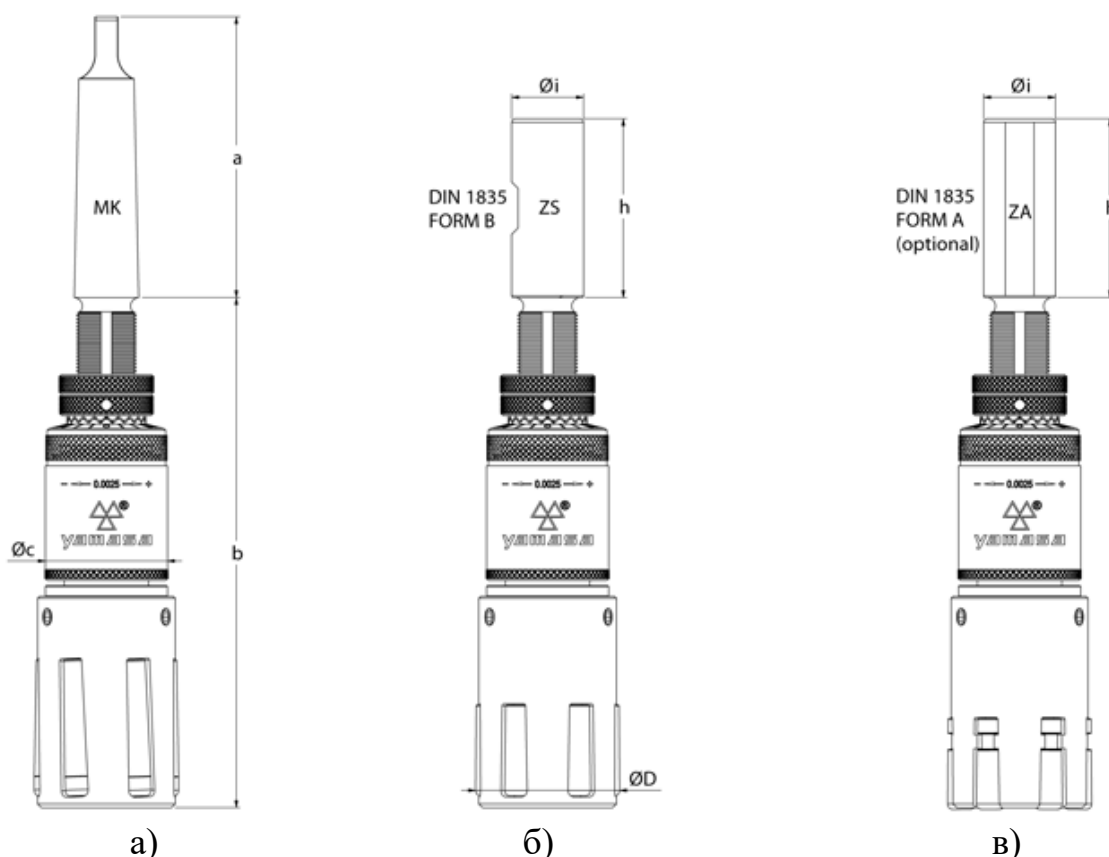
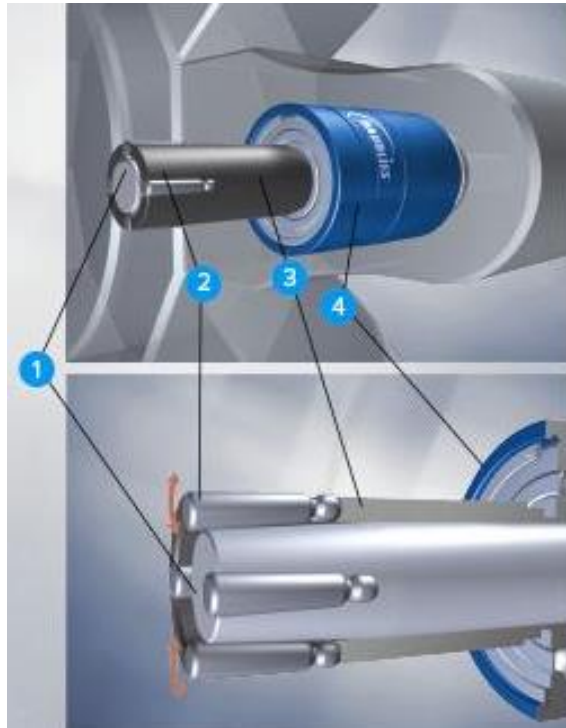


Рисунок 1.8 – Інструменти для розкочування отворів компанії YAMASA [30] серія DX: а) для обробки наскрізних отворів із самозагвинчуванням інструмента; б) для обробки наскрізних отворів і примусовою подачею в) для обробки глухих отворів

Використовуються для обробки деталей із різноманітних сплавів з границею текучості до 1400 МПа та твердістю 42-45 HRC.

На рис. 1.9 представлено конструкції інструментів компанії Baublies AG [31] для розкочування звичайних циліндричних та ступінчастих отворів. Основними конструктивними елементами є конус 1, що закріплений у хвостовику 4, сепаратор 3 із роликками 2, що мають можливість вільного обертання.



а)



б)

Рисунок 1.9 – Інструменти для розкочування отворів компанії Baublies AG [31]: а) для обробки наскрізних та глухих отворів; б) для обробки ступінчастих отворів

## 1.2. Службове призначення деталі

Деталь “Маточина” КС6-09.601 застосовується для кріплення шківів до вала і передачі крутного моменту в головному редукторі трансмісії коренезбиральної машини. Виготовляється із сталі 45-2-б.

До основних поверхонь деталі віднесено такі поверхні: конусна поверхня 50,7Н8 призначена для базування деталі на валі редуктора, 8 отворів Ø13Н13 призначені для кріплення маточини до шківів редуктора і передачі крутного моменту. Шпоночний паз 14Р9 призначений для передачі крутного моменту від вала через шпонку на маточину. Канавка Ø197 служить для встановлення елементів, які запобігають самовідгвинчуванню болтів.

Результати аналізу технічних вимог до деталі представлено в таблиці 1.1.

На рис. 1.10 показано розташування деталі у вузлі.

Таблиця 1.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю			
1	2	3	4			
1;20.	$78 \pm IT14/2$ ; Ra 12.5	Підрізка торців напівчистова.	Штанген глибиномір			
2;19.	$4 \times 45^\circ h14$ ; Ra 12.5	Обточування при поперечній подачі напівчистове.				
18.	$\varnothing 80h9$ ; Ra 3.2	Обточування при повздовжній подачі чистове.	Скоба $\varnothing 80h9$			
4.	$38h14$ ; Ra 12.5	Підрізання торця напівчистове.	Штангенциркуль			
5;6;7.	$17 \pm IT14/2$ ; $3 \pm IT14/2$ ; Ra 12.5	Точіння канавки напівчистове.	Штангенциркуль			
8...15.	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td><math>\oplus</math></td><td>0,15</td><td>A</td></tr></table> $\varnothing 13H13$ , 8 отв. $\varnothing 180 \pm 0,11$	$\oplus$	0,15	A	Свердління послідовно 8отв. без кондуктора.	Пробка 8133-0927 МН2990-61 Штангенциркуль
$\oplus$	0,15	A				
16.	$\varnothing 210h14$ ; Ra 12.5	Зовнішнє точіння напівчистове.	Штангенциркуль			
17.	$54.5h14$ ; Ra 12.5	Підрізка торця напівчистова.	Штангенциркуль			
22.	28.1H12; Ra 6.3; 14P9; Ra 3.2	Протягування шпоночного пазу, однократне.	Калібр 28.1H12; 8154-0079 мм			
21.	$\varnothing 50.7H8$ ; $\triangleleft 1:20$ ; Ra 3.2	Розвертання конусного отвору чистове.	Пробка $\varnothing 50.7H8$ ; $\triangleleft 1:20$ 8321-6009			
3.	$\varnothing 80h14$ ; Ra 12.5	Обточування при повздовжній подачі напівчистове.	Штангенциркуль			
23	R12,5, Ra 12.5	Фрезерування профільною фрезою	Шаблон спеціальний			

### 1.3. Висновки та постановка задач

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що розкочування поверхні роликками є фінішною операцією обробки поверхонь деталей машин, яка використовується для покращення її фізичних та механічних властивостей, таких як шорсткість поверхні, стійкість до корозії, коефіцієнт тертя, зносостійкість та втомна міцність. Основний механізм процесу розкочування полягає у перекочуванні ролика поверхнею заготовки. При такому процесі відбувається пластична деформація мікро вершин поверхні в напрямку впадин. Процес розкочування роликками є процесом мікро зміщення матеріалу із використання роликів високої твердості та малої шорсткості поверхні, що подаються до поверхні під високим тиском. Переміщення матеріалу відбувається при перевищенні його границі текучості, що призводить до згладжування поверхні. При цьому на поверхні деталі виникають залишкові напруження стиску, що призводять до зростання твердості поверхні.

Більшість досліджень, спрямованих на вдосконалення фінішних процесів механічної обробки, пов'язані із вихідними параметрами: шорсткістю і твердістю поверхні. Такі дослідження довели ефективність підвищення зносостійкості поверхні за рахунок використання операції розкочування. Тому подальші дослідження процесу розкочування отворів є актуальними.

У кваліфікаційній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Запропонувати схему процесу розкочування отворів роликками із нахилою під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею.
2. Вивести параметричне рівняння траєкторії руху однієї точки ролика відносно заготовки.
3. Вивести параметричне рівняння кривої, що описує сформований мікрорельєф на поверхні отвору.
4. Представити результати експериментальних досліджень визначення шорсткості поверхні отвору після розкочування роликками у заготовках із сталі 40 залежно від зміни трьох основних факторів: співвідношення радіуса

обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування, подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу маточини КС6-09.601.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1. Дослідження параметрів процесу розкочування отвору роликками

Одним із способів підвищення твердості поверхні циліндричних отворів, створення на їх поверхні регулярних неперервних мікрорельєфів є розкочування отворів роликками із нахилою під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею. Схема такого процесу представлена на рисунку 2.1, де показано заготовку 1 із центральним отвором. Обробка поверхні отвору здійснюється шістьма роликками 2 із нахиленими під кутом зовнішніми циліндричними робочими поверхнями. Ролики 2 з можливістю обертового руху розміщено рівномірно по колу в отворах оправки 3 для розкочування. Хвостовик оправки 3 закріплюється у шпинделі верстата (на рисунку не показано). Радіус розташування вершин роликів 2 дорівнює радіусу оброблюваного отвору.

Під час розкочування отвору заготовки 1 оправці 3 надається обертовий рух від шпинделя верстата з кутовою швидкістю обертання  $\omega_1$ , а також подача  $S$  вздовж вісі оброблюваного отвору. Центр обертання оправки 3 співпадає із центром оброблюваного отвору. Разом із оправкою 3 обертаються шість роликів 2, при цьому вони здійснюють два обертових рухи: перший рух – обертання навколо вісі оправки 3, другий рух - обертання навколо власних осей в напрямку протилежному напрямку обертання оправки 3 із кутовою швидкістю обертання  $\omega_2$ . При контакті роликів 2 із поверхнею отвору здійснюється пружно-пластичне деформування поверхневого шару отвору, внаслідок чого на поверхні формується регулярний неперервний мікрорельєф у вигляді синусоїди а також підвищується твердість обробленого матеріалу.

Ролики 2 виготовляються із загартованих сталей, або із твердих сплавів методом спікання. Основною перевагою даного способу є підвищена продуктивність процесу. Змінюючи частоту обертання та подачу оправки,



радіуси роликів можна одержувати різні мікрорельєфи включаючи перекривання мікрорельєфів.

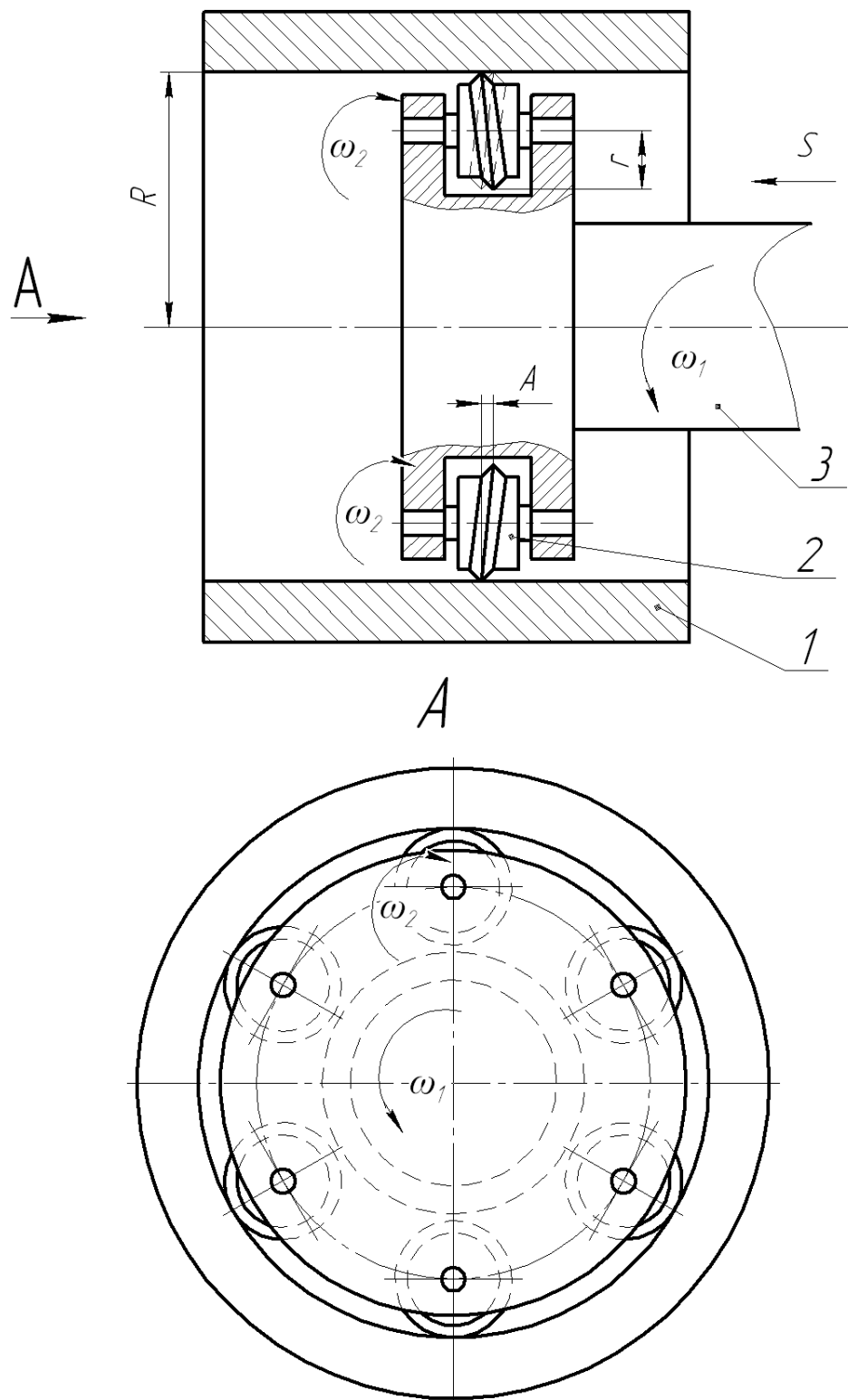


Рисунок 2.1 - Схема процесу розкочування отворів роликми із нахиленою під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею: 1 – заготовка, 2 – ролик, 3 - оправка



1. Обертання ланки 2, що відповідає оправці відносно бази 1, що відповідає нерухомій заготовці.

2. Горизонтальний поступальний прямолінійний рух ланки 3 відносно ланки 2, що відповідає подачі  $S$  оправки.

3. Горизонтальний поступальний прямолінійний рух ланки 4 по нормалі відносно ланки 3, що відповідає зміні радіуса  $R-r$  розташування центра обертання ролика відносно центральної осі заготовки.

4. Горизонтальний зворотно-поступальний прямолінійний рух ланки 5 по нормалі відносно ланки 4, що відповідає коливанню вершини ролика з амплітудою  $A/2$ .

5. Обертання ланки 6, що відповідає обертанню ролику відносно оправки.

Для розрахунку використано такі системи координат:  $Oxyz$  – прикріплена до бази 1,  $O_1x_1y_1z_1$  – прикріплена до ланки 2. У вихідному положенні система координат  $O_1x_1y_1z_1$  співпадає із системою координат  $Oxyz$  ( $Ox_1^0y_1^0z_1^0$ ). До ланки 3 прикріплено систему координат  $O_2x_2y_2z_2$ , до ланки 4 прикріплено систему координат  $O_3x_3y_3z_3$ , до ланки 5 – систему координат  $O_4x_4y_4z_4$ , а до ланки 6 – систему координат  $O_5x_5y_5z_5$ . Для виведення параметричного рівняння траєкторії руху точки ролика використано такі позначення:  $\varphi_1$  - кут повороту оправки (ланки 2),  $S = O_1O_2$  - подача оправки (ланки 3),  $R = O_2O_3$  - зміні радіуса розташування вершини ролика відносно центральної осі заготовки (ланка 4),  $A/2 = O_3O_4$  - амплітуда коливання вершини ролика (ланка 5),  $\varphi_2$  - кут повороту ролика (ланки 6). Координати точки  $B$  у системі координат  $O_5x_5y_5z_5$  можна задати п'ятикоординатним вектором:

$$\vec{r}_{B5} = (x_{B5}; y_{B5}; z_{B5}; 1)^T. \quad (2.1)$$

В системі координат  $Oxyz$  координати точки  $B$  визначаються залежністю:

$$\vec{r}_B = \vec{C} \cdot \vec{r}_{B5}, \quad (2.2)$$

де  $\vec{C}$  - матриця переходу  $4 \times 4$ .

$$\vec{C} = \vec{D}_1 \cdot \vec{D}_2 \cdot \vec{D}_3 \cdot \vec{D}_4 \cdot \vec{D}_5, \quad (2.3)$$

де  $\vec{D}_1, \vec{D}_2, \vec{D}_3, \vec{D}_4, \vec{D}_5$  - матриці, що визначають взаємозв'язок між координатами.

Матриці, що визначають взаємозв'язок між координатами представлено відповідно до розрахункової схеми рис. 2.2 таким чином:

$$\vec{D}_1 = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \vec{D}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & S \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (2.4)$$

$$\vec{D}_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & R-r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \vec{D}_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & A_1/2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\vec{D}_5 = \begin{pmatrix} \cos \varphi_2 & 0 & \sin \varphi_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & 0 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Підставляючи вектор (2.1) та матриці (2.4) у рівняння (2.2), одержано координати точки  $B$  в системі координат  $Oxyz$ :

$$\vec{r}_B = \begin{pmatrix} (-\sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2)r - \sin \varphi_1 \cdot (R - r) \\ (-\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2)r + \cos \varphi_1 \cdot (R - r) \\ S + A_1/2 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2.5)$$

Кути повороту оправки та ролика визначаються за формулами:

$$\varphi_1 = \omega_1 \cdot t; \quad (2.6)$$

$$\varphi_2 = \omega_2 \cdot t,$$

де  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання оправки;

$\omega_2$  – кутова швидкість обертання ролика;

$t$  – час.

Співвідношення між кутовими швидкостями обертання оправки та ролика визначається за формулою:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 R}{r}. \quad (2.7)$$

Подачу оправки визначаємо за формулою:

$$S = \frac{\omega_1 S_1 t}{2\pi}, \quad (2.8)$$

де  $S_1$  - подача оправки на один оберт шпинделя.

Амплітуду коливання вершини ролика визначено із рівняння:

$$A_1/2 = \frac{A}{2} \sin(\omega_2 t), \quad (2.9)$$

$$A_1/2 = \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\omega_1 R}{r} t\right), \quad (2.10)$$

де  $A$  – амплітуда зміщення робочої поверхні ролика.

Рівняння (2.5) із врахуванням рівнянь (2.6 – 2.10) запишемо таким чином:

$$\vec{r}_B = \begin{pmatrix} \left( -\sin(\omega_1 t) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) - \cos(\omega_1 t) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) \right) r - \sin(\omega_1 t) \cdot (R - r) \\ \left( -\sin(\omega_1 t) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) + \cos(\omega_1 t) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) \right) r + \cos(\omega_1 t) \cdot (R - r) \\ \frac{\omega_1 S_1 t}{2\pi} + \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\omega_1 R}{r} t\right) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

На основі параметричного рівняння (2.11) побудовано траєкторії руху точки на робочій поверхні роликів. Зокрема, на рисунку 2.3 представлено траєкторію руху точки ролика на робочій поверхні без нахилу, тобто при  $A=0$ . На рисунку 2.4 представлено траєкторію руху точки ролика на робочій поверхні із нахилом та співвідношенням  $R/r=5$ .

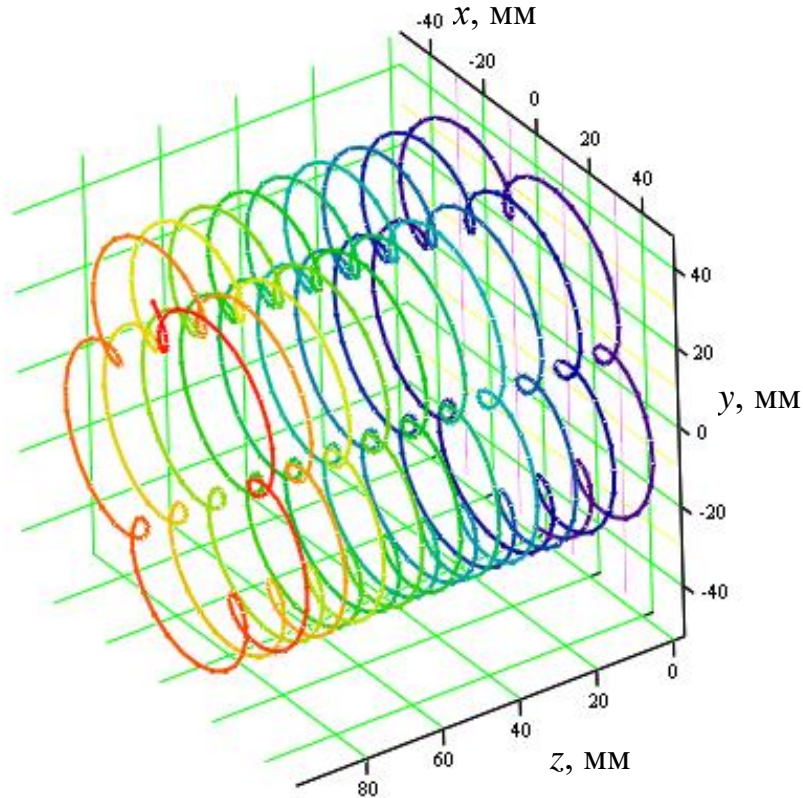


Рисунок 2.3 - Траєкторія руху точки ролика на робочій поверхні без нахилу ( $A=0$ )

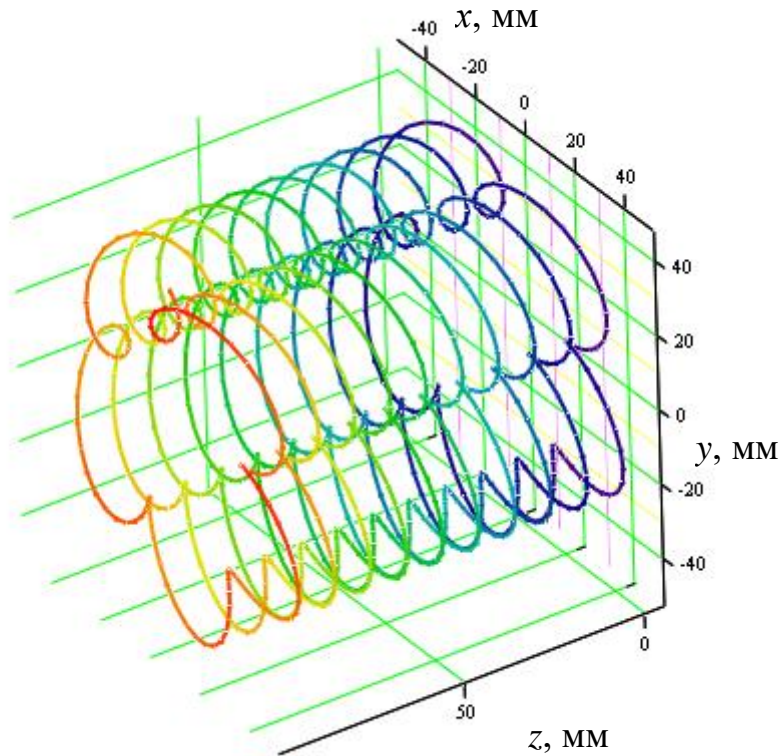


Рисунок 2.4 - Траєкторія руху точки ролика на робочій поверхні із нахилом  $A=4$  та співвідношенням  $R/r=5$

На рисунку 2.5 представлено траєкторію руху точки ролика на робочій поверхні із нахилом та співвідношенням  $R/r=10$ .

У випадку використання на оправці декількох рівномірно розміщених по колу роликів рівняння (2.11) можна записати таким чином:

$$\vec{r}_{Bi} = \begin{pmatrix} \left( -\sin\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) - \cos\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) \right) r - \sin\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \cdot (R-r) \\ \left( -\sin\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) + \cos\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 R t}{r}\right) \right) r + \cos\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \cdot (R-r) \\ \frac{\omega_1 S_1 t}{2\pi} + \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\omega_1 R}{r} t\right) \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2.12)$$

де  $i$  – порядковий номер ролика;

$z$  – кількість роликів на оправці.

На основі параметричного рівняння (2.12) побудовано траєкторії руху двох точок із двох роликів на робочих поверхнях із нахилами (рис. 2.6).

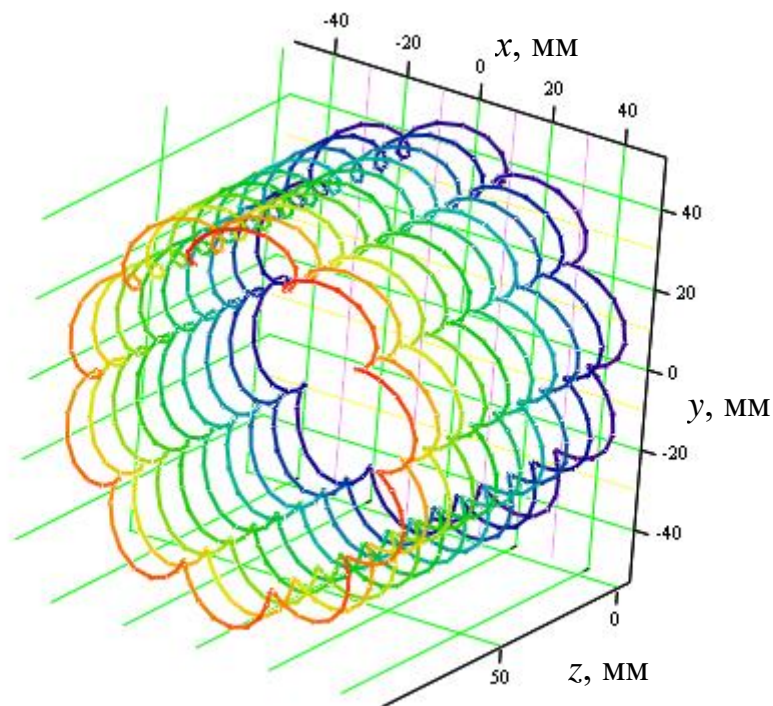


Рисунок 2.5 - Траєкторія руху точки ролика на робочій поверхні із нахилом  $A=4$  та співвідношенням  $R/r=10$

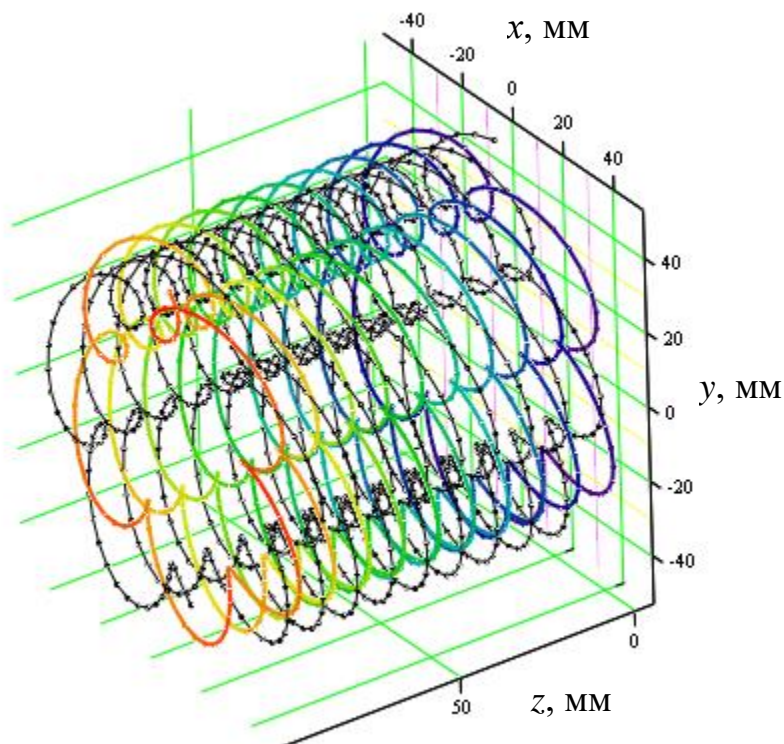


Рисунок 2.6 - Траєкторії руху двох точок із двох роликів на робочих поверхнях із нахилами  $A=4$  та співвідношенням  $R/r=5$



Із рисунків 2.3 – 2.6 встановлено, що вершини представлених кривих траєкторії руху точки на робочій поверхні роликів визначають місця контакту точки ролика із оброблюваною поверхнею отвору заготовки. При збільшенні співвідношенням  $R/r$  зростає кількість таких точок контакту, відповідно і зростає частота сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. Використання декількох роликів підвищує густину формування синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору пропорційно до кількості роликів на оправці.

Із рівняння (2.11) записуємо параметричне рівняння кривої, що описує сформований мікрорельєф на поверхні отвору:

$$\vec{r}_{B2} = \begin{pmatrix} -R \sin(\omega_1 t) \\ +R \cos(\omega_1 t) \\ \frac{\omega_1 S_1 t}{2\pi} + \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\omega_1 R}{r} t\right) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2.13)$$

На основі параметричного рівняння (2.11) побудовано криві сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. Зокрема, на рисунку 2.7 представлено криву сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при співвідношенні  $R/r=12,5$ . На рисунку 2.8 представлено криву сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при співвідношенні  $R/r=6,2$ .

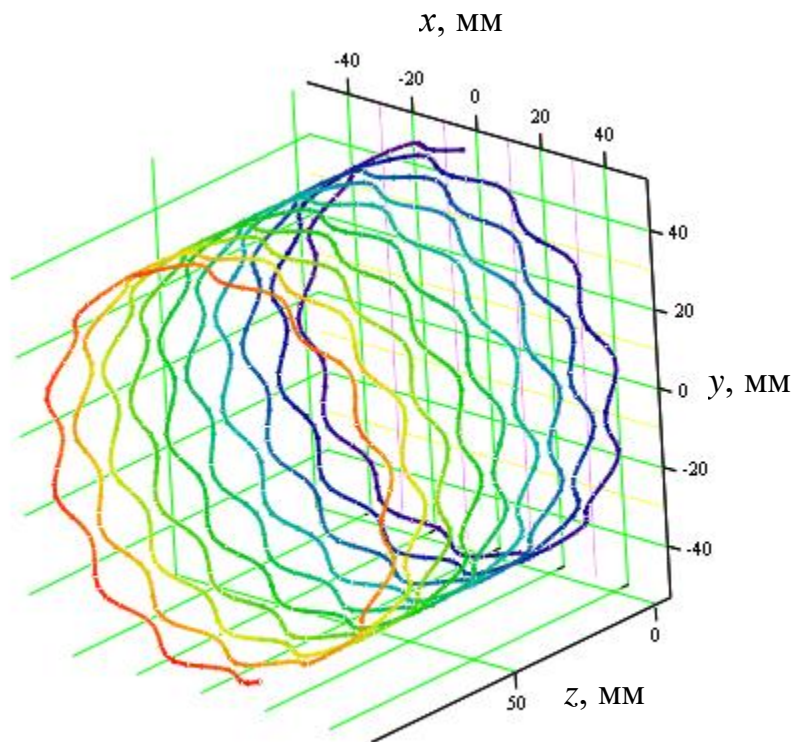


Рисунок 2.7 - Крива сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при співвідношенні  $R/r=12,5$

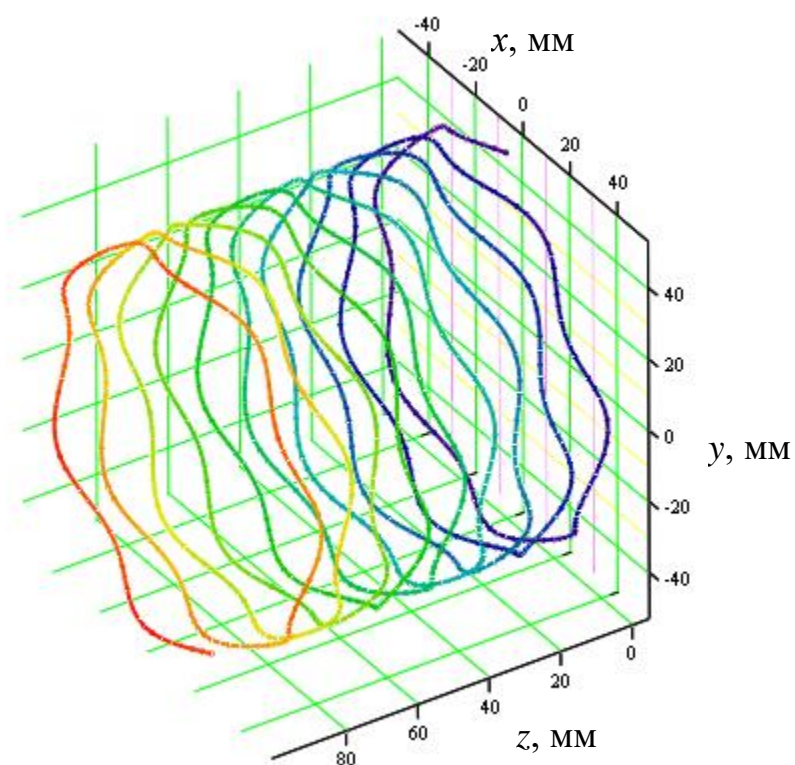


Рисунок 2.8 - Крива сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при співвідношенні  $R/r=6,2$

У випадку використання декількох роликів на оправці параметричне рівняння кривої, що описує сформований мікрорельєф на поверхні отвору запишемо таким чином:

$$\vec{r}_{B2i} = \begin{pmatrix} -R \sin\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \\ +R \cos\left(\omega_1 t + \frac{2\pi(i-1)}{z}\right) \\ \frac{\omega_1 S_1 t}{2\pi} + \frac{A}{2} \sin\left(\frac{\omega_1 R}{r} t\right) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (2.14)$$

На основі параметричного рівняння (2.14) побудовано криві (рисунки 2.9, 2.10, 2.11) сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при застосуванні двох роликів на оправці та різних співвідношень  $R/r$ .

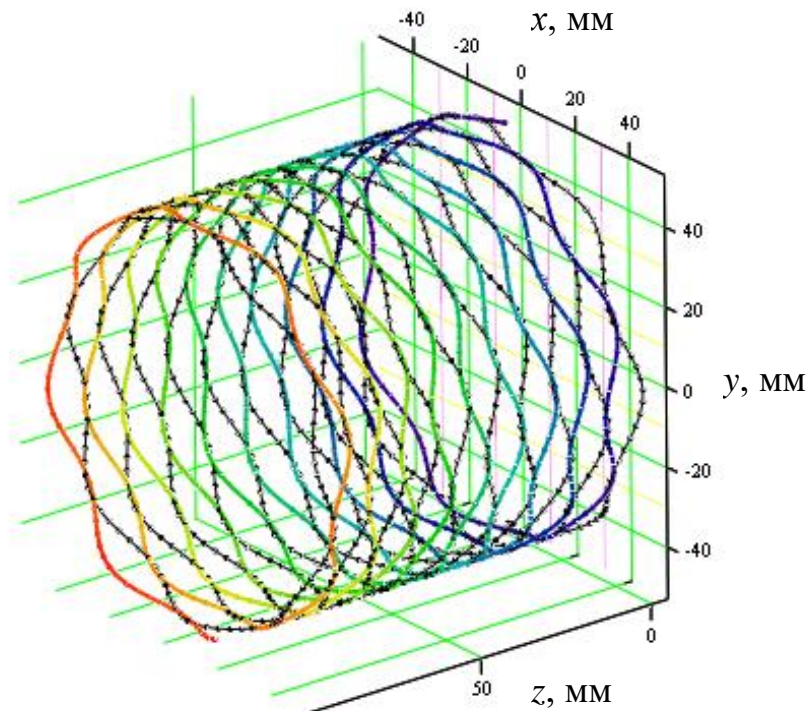


Рисунок 2.9 - Криві сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при застосуванні двох роликів на оправці та співвідношення

$$R/r=7,14$$

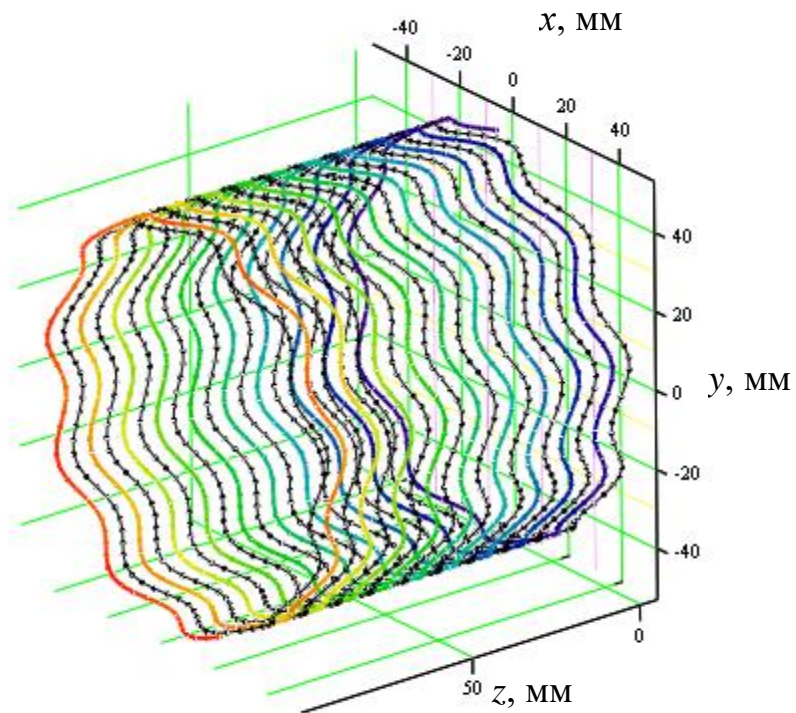


Рисунок 2.10 - Криві сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при застосуванні двох роликів на оправці та співвідношення  $R/r=10$

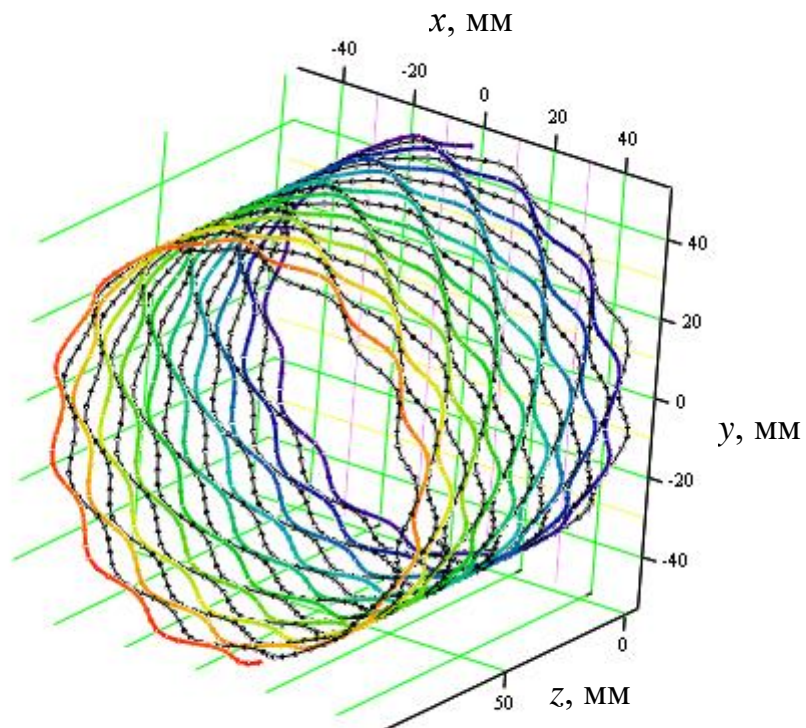


Рисунок 2.11 - Криві сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору при застосуванні двох роликів на оправці та співвідношення  $R/r=12,5$

Із рисунків 2.7 – 2.11 встановлено, що змінюючи співвідношення  $R/r$  можна змінювати частоту сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. При збільшенні співвідношенням  $R/r$  зростає частота сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. При використанні декількох роликів на оправці, змінюючи співвідношення  $R/r$  можна змінювати місця перетину сформованих синусоїдних мікрорельєфів кожним роликом. Наприклад, при співвідношенні  $R/r=10$  (рис. 2.10) сформовані синусоїдні мікрорельєфи двох роликів не перетинаються.

Одержані параметричні рівняння 2.11 - 2.14 разом із відповідним програмним забезпеченням дозволяють прогнозувати загальний вигляд сформованого мікрорельєфу на поверхні отвору після розкочування із застосуванням спеціальної оправки, представленої на рис. 2.1.

## **2.2. Результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами**

У кваліфікаційній роботі представлено результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами.

Дослідження включало такі етапи:

1. Вибір верстата для виконання операції розкочування отвору, заготовок із попередньо сформованими отворами, засобів вимірювання шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами.

2. Проведення експериментальних досліджень для визначення шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами у заготовках із сталі 40 залежно від зміни трьох основних факторів: співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування, подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика.

Для розкочування циліндричних отворів використовувався вертикально-розточний верстат, оправка для розкочування із чотирма роликами для

розкочування із нахиленою робочою поверхнею, ролики розташовувались рівномірно по колу оправки. Заготовка закріплювалась у спеціальному пристрої.

Шорсткість поверхні отвору після розкочування визначали на основі профілограм, виміряних профілографом-профілометром та їх статистичного оброблення. Статистична обробка одержаних результатів проводилась із використанням прикладного програмного забезпечення.

Для встановлення впливу основних змінних конструктивних та технологічних факторів (незалежних факторів  $x_i$ ) на шорсткість (параметр оптимізації  $Ra$ ) поверхні отвору у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами проведено відповідні експериментальні дослідження. Фактори змінювались на трьох рівнях. Попередні експерименти встановили, що основними змінними факторами, які впливають на шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами на оправці є: співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ , подача оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  та амплітуда зміщення робочої поверхні ролика  $A$ , тобто  $R\phi = f(R/r, S_1, A)$ .

Функцію, що описує шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами на оправці  $Ra = f(R/r, S_1, A)$ , представлено у вигляді полінома другого порядку як результат обробки статистичних даних експерименту та визначення коефіцієнтів рівняння регресії. Граничні величини змінних факторів експерименту представлено у таблиці 2.1, до яких віднесено:

- співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ , яке кодували індексом  $x_1$ ;
- подачу оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$ , яку кодували індексом  $x_2$ ;
- амплітуду зміщення робочої поверхні ролика  $A$ , яку кодували індексом  $x_3$ .



Таблиця 2.1 - Граничні величини змінних факторів експерименту при дослідженні шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами на оправці

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур.(кодовані)		
	натур.	код.				
Співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування	$R/r=k$	$x_1$	2,5	10 (+1)	7,5 (0)	5 (-1)
Подача оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата	$S_1$ , мм/об	$x_2$	0,5	2 (+1)	1,5 (0)	1 (-1)
Амплітуда зміщення робочої поверхні ролика	$A$ , мм	$x_3$	0,3	1 (+1)	0,7 (0)	0,4 (-1)

Значення коефіцієнтів рівняння регресії представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коеф.	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
Сталь 40	3,527	-1,09	0,58	0,28	0,025	0	-0,025	-0,192	0,058	0,058

Загальний вигляд рівняння регресії шорсткості поверхні отвору після розкочування роликами на оправці залежно від зміни: співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ , подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$ , тобто  $Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = f(k, S_1, A)$  згідно експериментальних досліджень у кодованих величинах дорівнює:

- під час розкочування циліндричних отворів у заготовках із сталі 40:

$$Ra_{(x_1, x_2, x_3)} = 3,527 - 1,09x_1 + 0,58x_2 + 0,28x_3 + 0,025x_1x_2 - 0,025x_2x_3 - 0,192x_1^2 + 0,058x_2^2 + 0,058x_3^2, \quad (2.15)$$

де  $x_1$  - кодоване значення співвідношення радіуса обробленого отвору до

радіуса ролика для розкочування;  $x_2$  - кодоване значення подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата;  $x_3$  - кодоване значення амплітуди зміщення робочої поверхні ролика.

Виведені коефіцієнти рівняння (2.15) є значущими крім коефіцієнта  $b_{13}$ .

Рівняння регресії (2.15) після перетворень представлено у натуральних величинах:

- під час розкочування циліндричних отворів у заготовках із сталі 40:

$$Ra_{(k,S_1,A)} = 3,608 + 0,0052k + 0,431S_1 + 0,281A + 0,02kS_1 - 0,167S_1A - 0,0307k^2 + 0,232S_1^2 + 0,644A^2. \quad (2.16)$$

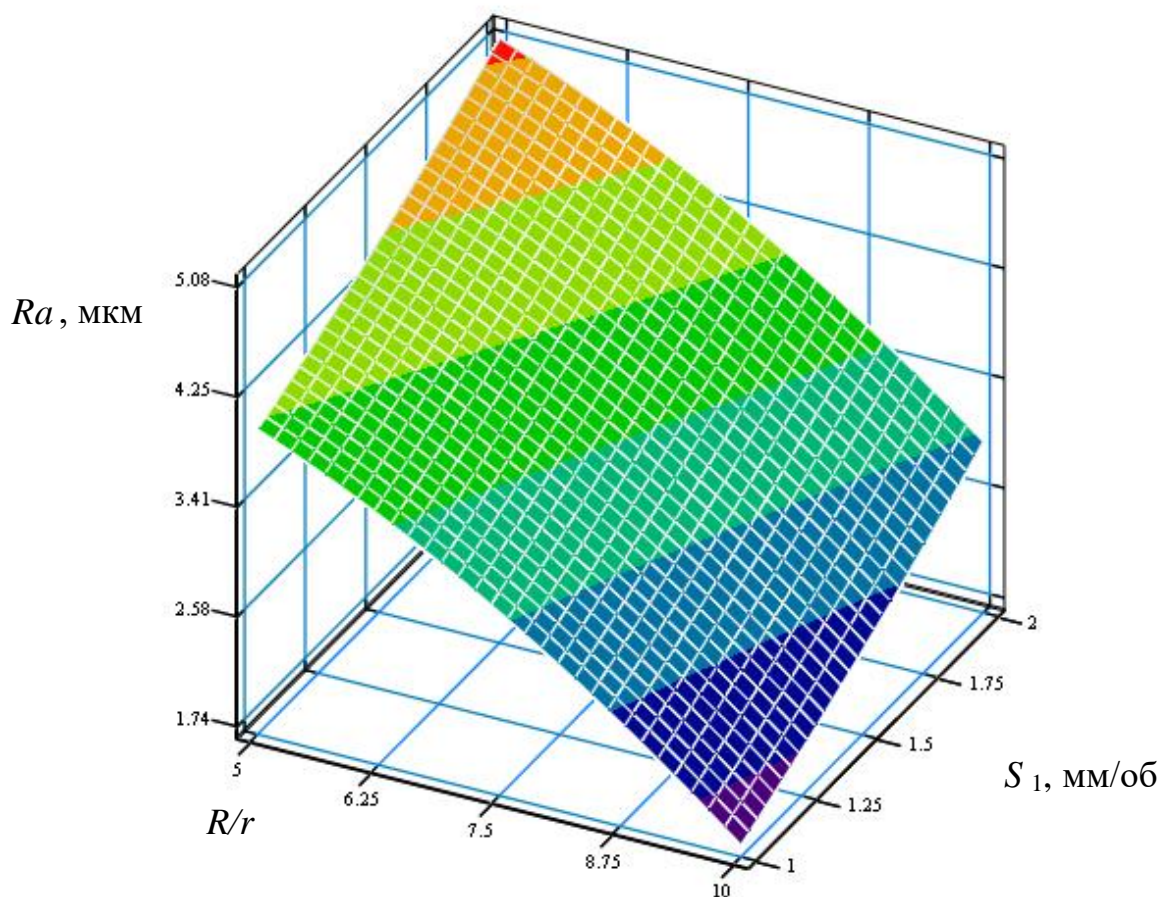
Одержані кодовані та натуральні рівняння регресії (2.15) і (2.16) можна використовувати для прогнозування шорсткості поверхні отвору після розкочування роликками на оправці у таких граничних величинах змінних незалежних факторів:

$$5 \leq k \leq 10 ; 1 \leq S_1 \leq 2 \text{ (мм/об)}; 0,4 \leq A \leq 1,0 \text{ (мм)}.$$

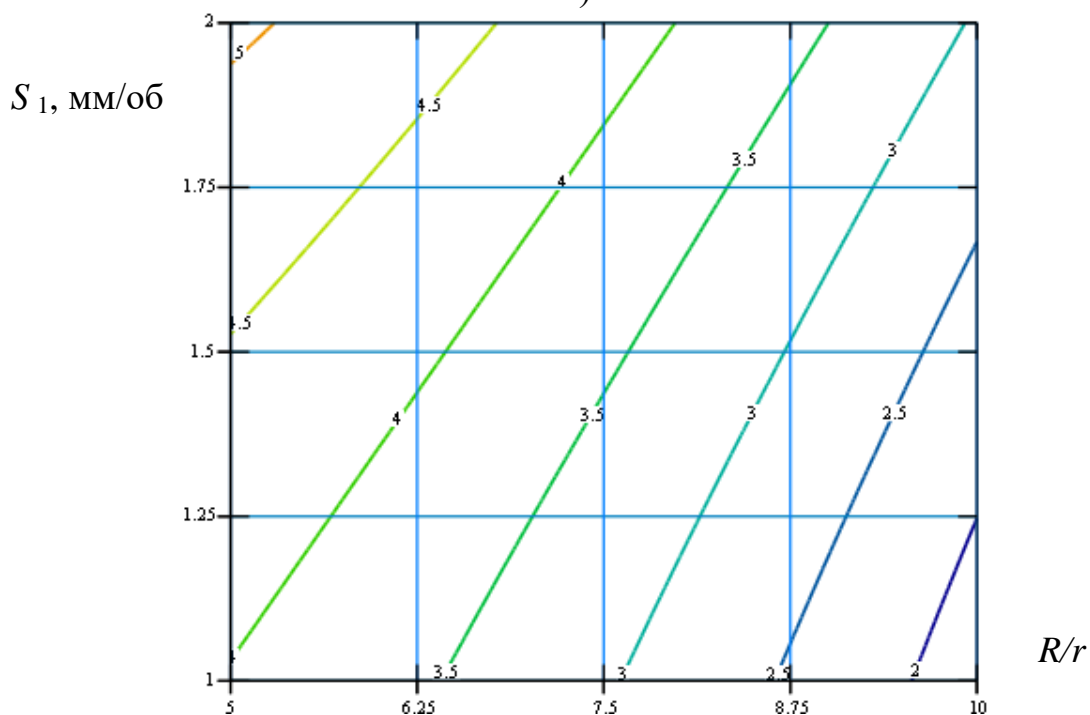
На графіках рисунків 2.12 – 2.17 представлено трьохмірні та двохмірні залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликками на оправці.

Із одержаних рівнянь регресії (2.15), (2.16) та графіків на рисунках 2.12-2.17 зроблено висновки, що найбільший вплив на шорсткість поверхні отвору після розкочування роликками на оправці має співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ , а найменший вплив має амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$ . При збільшенні співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  шорсткість поверхні отвору після розкочування роликками зменшується, а при збільшенні подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  – зростає.



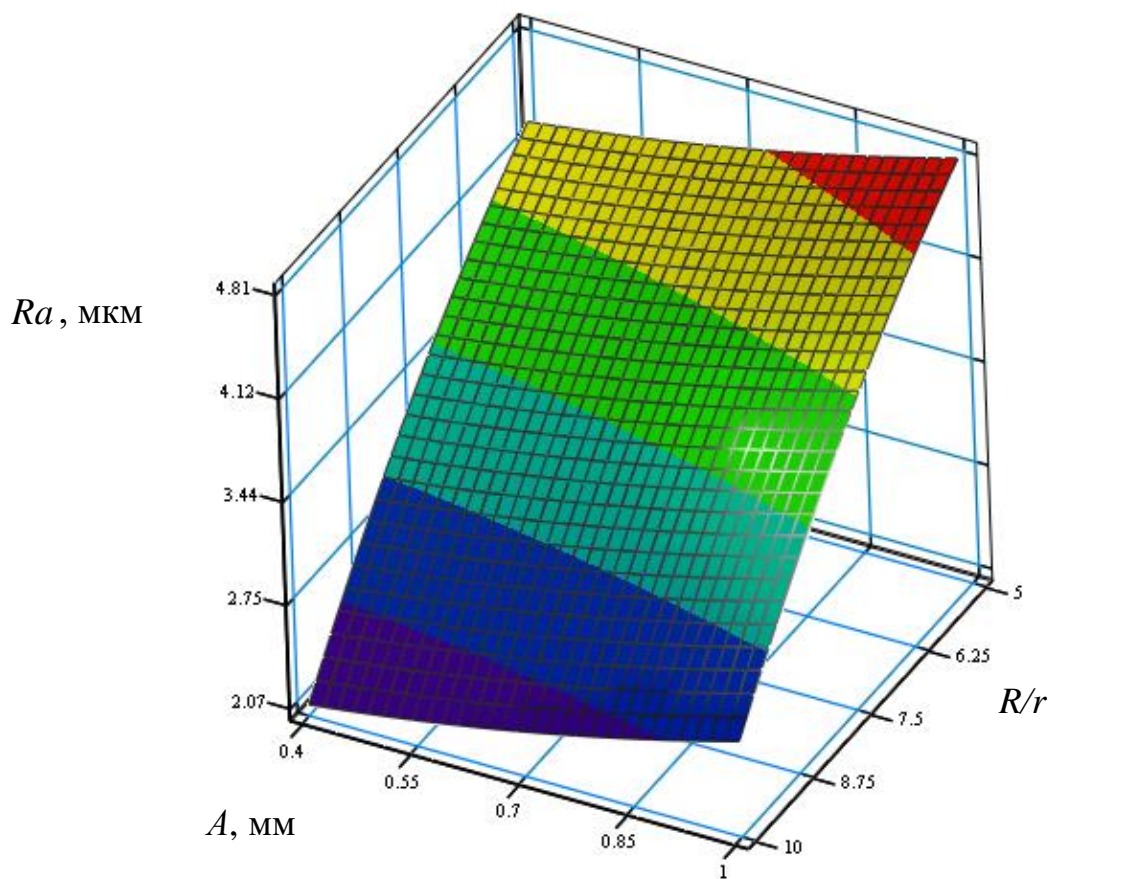


a)

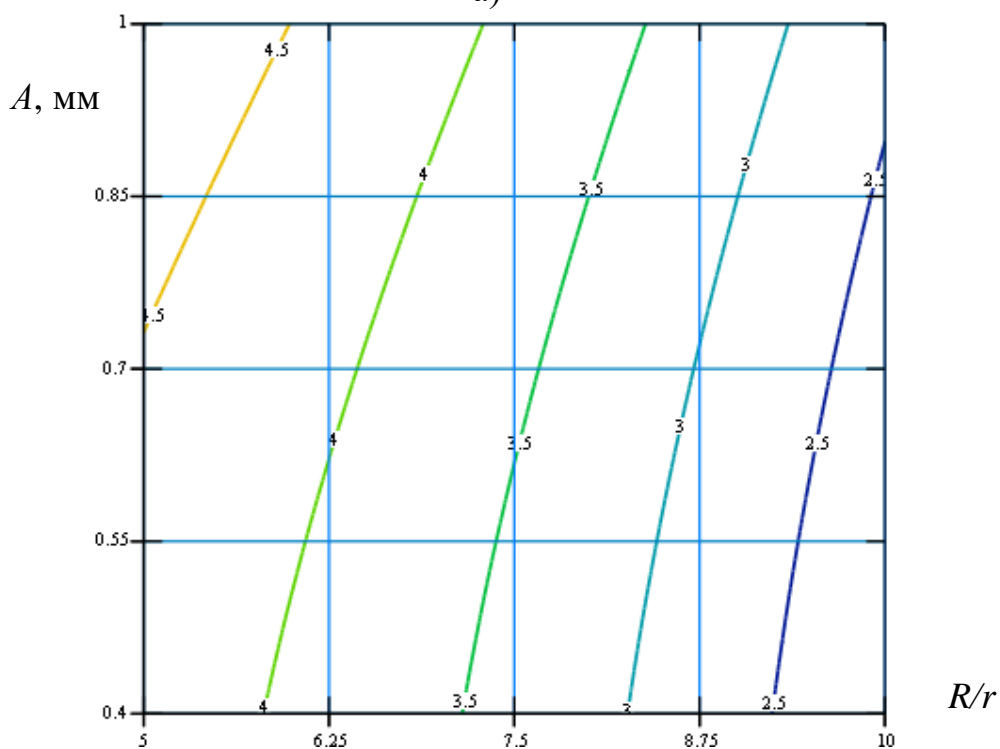


б)

Рисунок 2.12 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликми на оправці від співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  та подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  ( $A=0,7$  мм)

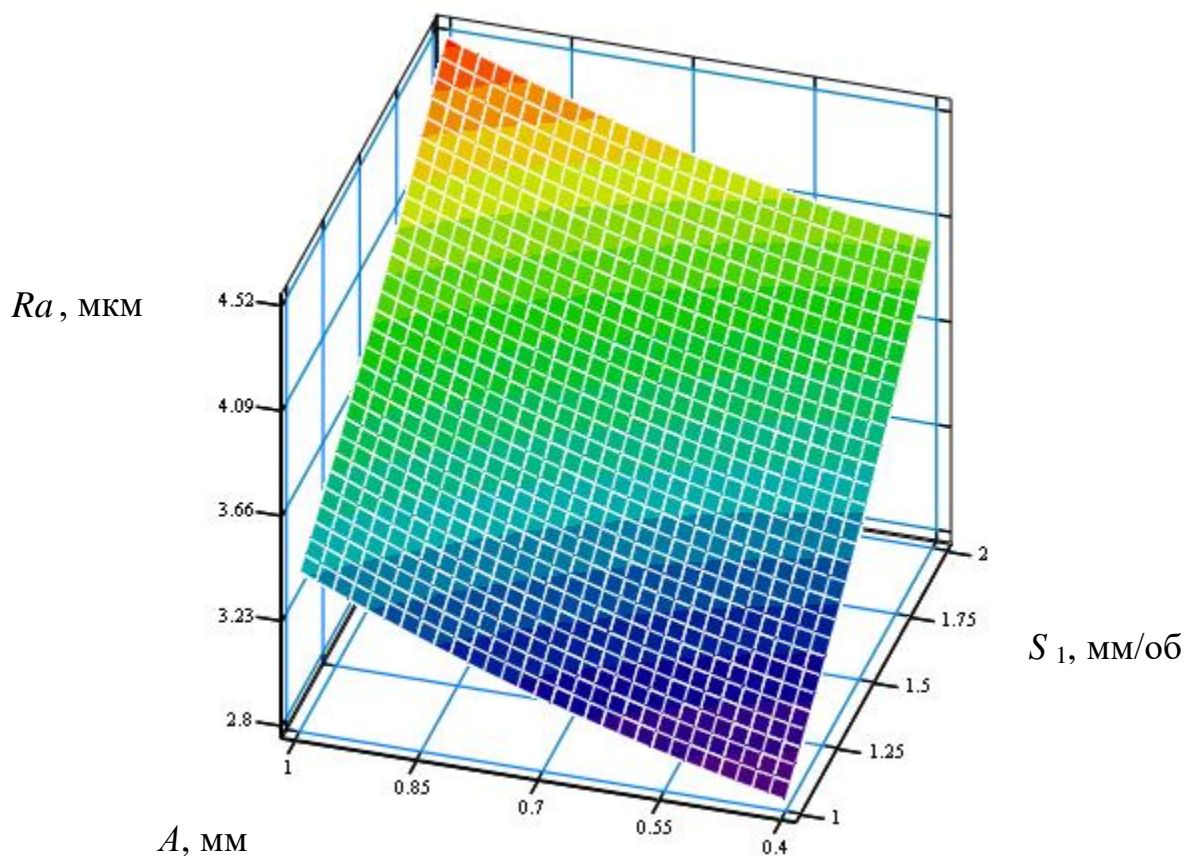


а)

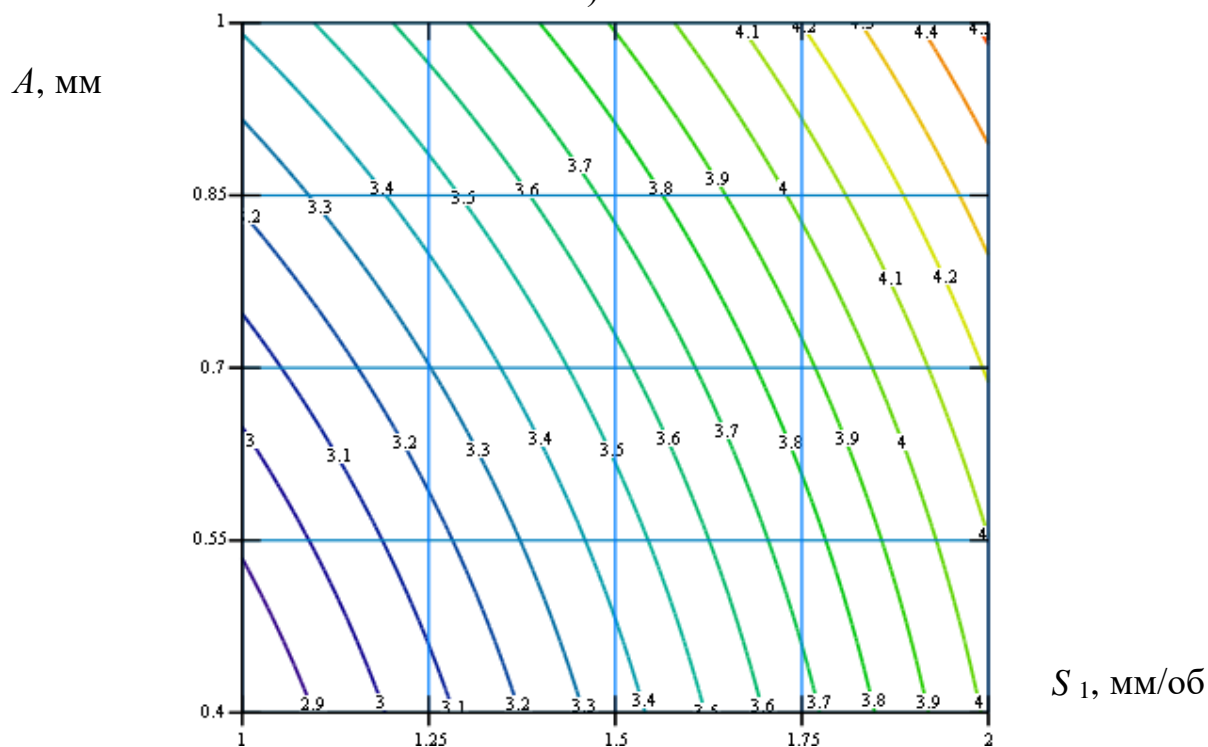


б)

Рисунок 2.13 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликми на оправці від співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  ( $S_1=1,5$  мм/об)



а)



б)

Рисунок 2.14 - Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці від подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  ( $k=7,5$ )

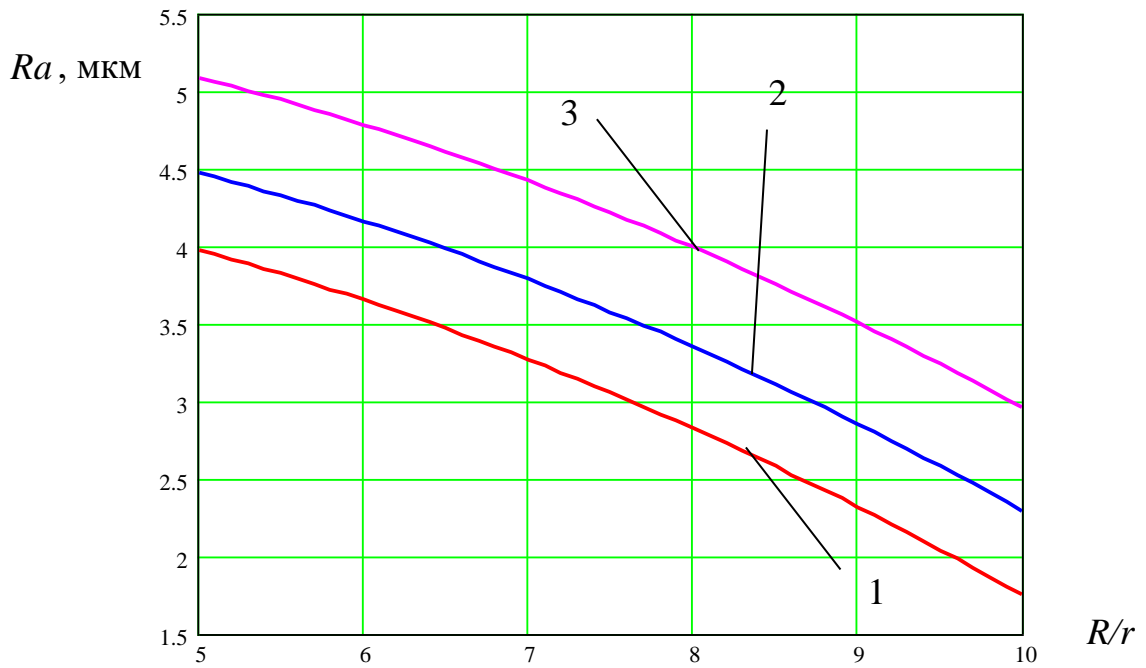


Рисунок 2.15 – Графіки залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці від співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ :

1)  $S_1=1$  мм/об; 2)  $S_1=1,5$  мм/об; 3)  $S_1=2,0$  мм/об

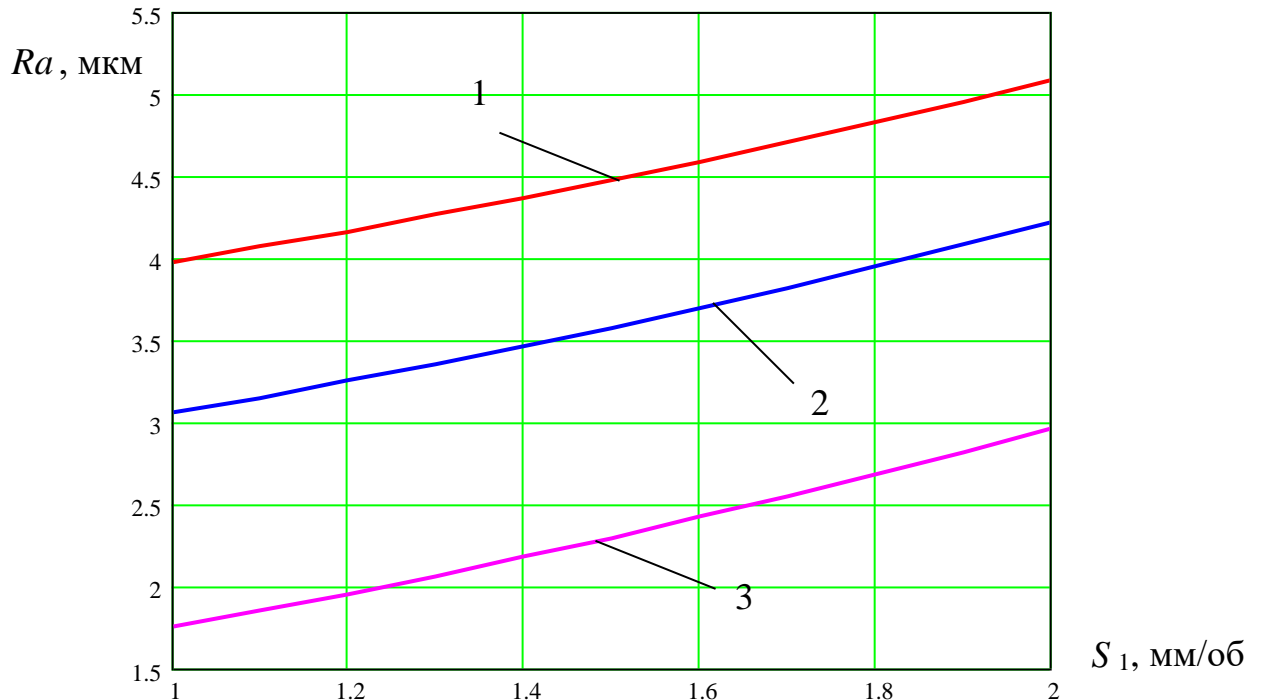


Рисунок 2.16 – Графіки залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці від подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$ :

1)  $k=5$ ; 2)  $k=7,5$ ; 3)  $k=10$

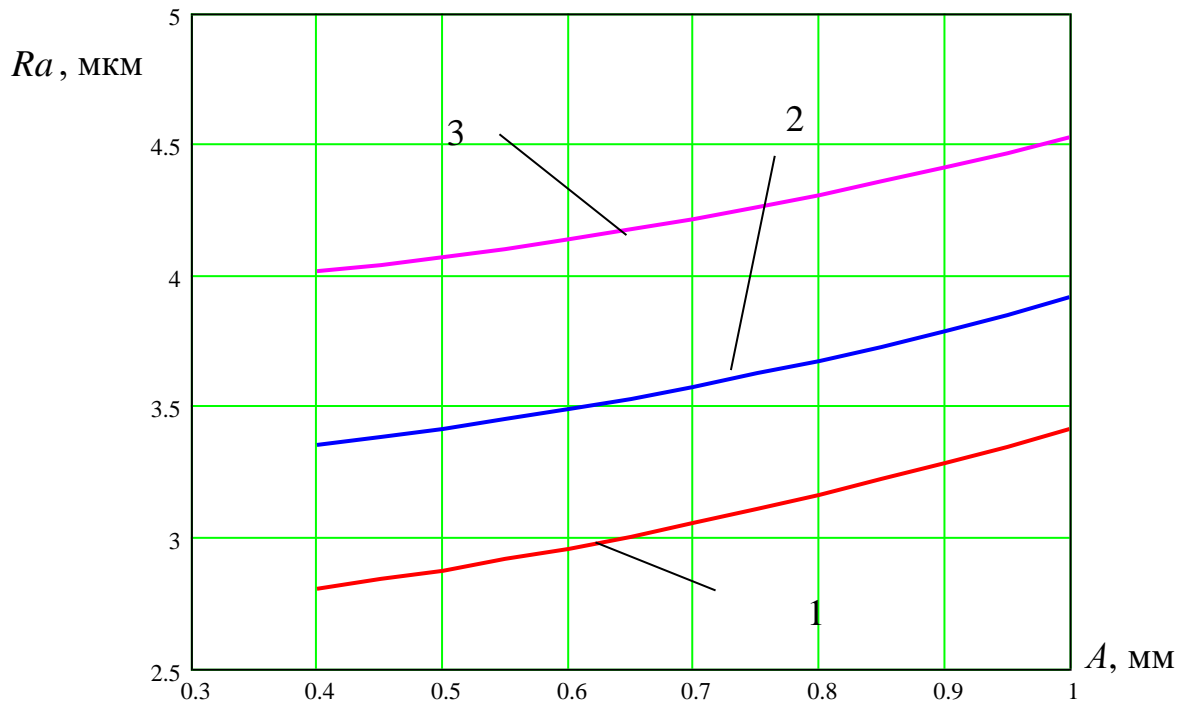


Рисунок 2.17 – Графіки залежності шорсткості поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці від амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$ :

- 1)  $S_1=1$  мм/об; 2)  $S_1=1,5$  мм/об; 3)  $S_1=2,0$  мм/об

Максимальне значення шорсткості  $Ra$  поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці становить 5,4 мкм, а мінімальне - 1,5 мкм. Збільшення співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  від 5 до 10 призводить до зменшення шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,7 рази. Збільшення подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  від 1 мм/об до 2 мм/об призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,32 рази, а збільшення амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  від 0,4 мм до 1,0 мм призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,16 рази.

### 2.3. Висновки

У розділі проведено схему процесу розкочування отворів роликками із нахиленою під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею. Встановлено, що в процесі розкочування отворів роликками із нахиленою під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею відбувається складний рух роликків відносно заготовки, що призводить до формування регулярного неперервного мікрорельєфу у вигляді синусоїди на поверхні отвору. Виведено параметричне рівняння траєкторії руху однієї точки ролика відносно заготовки. Встановлено, що вершини представлених кривих траєкторії руху точки на робочій поверхні роликків визначають місця контакту точки ролика із оброблюваною поверхнею отвору заготовки. При збільшенні співвідношенням  $R/r$  зростає кількість таких точок контакту, відповідно і зростає частота сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. Використання декількох роликків підвищує густину формування синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору пропорційно до кількості роликків на оправці.

Виведено параметричне рівняння кривої, що описує сформований мікрорельєф на поверхні отвору. Встановлено, що змінюючи співвідношення  $R/r$  можна змінювати частоту сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. При збільшенні співвідношенням  $R/r$  зростає частота сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. При використанні декількох роликків на оправці, змінюючи співвідношення  $R/r$  можна змінювати місця перетину сформованих синусоїдних мікрорельєфів кожним роликком.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні отвору після розкочування роликками. Зроблено висновки, найбільший вплив на шорсткість поверхні отвору після розкочування роликками на оправці має співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ , а найменший вплив має амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$ . При збільшенні співвідношення радіуса обробленого



отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  шорсткість поверхні отвору після розкочування роликами зменшується, а при збільшенні подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  – зростає.

Максимальне значення шорсткості  $Ra$  поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці становить 5,4 мкм, а мінімальне - 1,5 мкм. Збільшення співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  від 5 до 10 призводить до зменшення шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,7 рази. Збільшення подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  від 1 мм/об до 2 мм/об призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,32 рази, а збільшення амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  від 0,4 мм до 1,0 мм призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,16 рази.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1. Аналіз технологічності деталі

Визначення показників технологічності маточини КС6-09.601 ґрунтуються на числових даних, приведених в таблиці 1.1.

Розрахунок коефіцієнта точності обробки маточини КС6-09.601:

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}}, \quad (3.1)$$

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{9 \cdot 14 + 1 \cdot 9 + 8 \cdot 13 + 1 \cdot 12 + 1 \cdot 8}{9 + 1 + 8 + 1 + 1} = 12,95;$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{12,95} = 0,923.$$

Якщо  $K_{\text{т.ч.}} = 0,923 > 0,8$ , то маточина КС6-09.601 є технологічною.

Розрахунок коефіцієнта шорсткості поверхонь маточини КС6-09.601:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}}, \quad (3.2)$$

$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{3 \cdot 17 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 1}{17 + 2 + 1} = 3,25,$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3,25} = 0,3.$$

Якщо  $K_{\text{ш}} = 0,3 > 0,16$ , то маточина КС6-09.601 є технологічною.

Розрахунок коефіцієнта уніфікації конструктивних елементів маточини КС6-09.601:

$$K_{\text{у.е.}} = \frac{N_{\text{у.е.}}}{N_{\text{е}}} = \frac{19}{20} = 0,95. \quad (3.3)$$

Якщо  $K_{\text{у.е.}} = 0,95 > 0,6$ , то маточина КС6-09.601 є технологічною.



На основі одержаних розрахунків встановлено, що деталь “Маточина” КС6-09.601 є технологічною і немає потреби щодо зміни її конструкції, технічних вимог, матеріалу.

### 3.2. Вибір способу одержання заготовки

Для виготовлення заготовки маточина КС6-09.601, враховуючи її матеріал, можна використовувати прокат, способи об’ємного пластичного деформування, литва при заміні матеріалу на ливарну сталь. Тому у роботі розглянуто два способи виготовлення заготовки:

- 1) Штамповка на кривошипному гарячостампувальному пресі;
- 2) Литво в кокіль, при заміні матеріалу Сталь 45-2-δ на Сталь 45Л.

Ступінь складності штамповки [7]:

$$C = \frac{M_{\text{ш}}}{M_{\text{ф}}} \quad (3.4)$$

Маса штамповки [7]:

$$M_{\text{шт.р.}} = M_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}}; \quad (3.5)$$

$$M_{\text{шт.р.}} = 5,21 \cdot 1,7 = 8,857 \text{ кг.}$$

Маса описаної фігури:

$$M_{\text{ф}} = V_{\text{ф}} \times r = (V_{\text{д}} \times 1,05) \times r, \quad (3.6)$$

$$V_{\text{д}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 210^2}{4} \cdot 78 = 2700243 \text{ мм}^3 = 2700,243 \text{ см}^3.$$

$$M_{\text{ф}} = (27000,243 \cdot 1,05) \cdot 7,8 = 22,1 \text{ кг.}$$

$$\text{Група складності штамповки: } C = \frac{8,857}{22,1} = 0,4.$$

Масу заготовки визначаємо як добуток об’єму заготовки та густини

матеріалу заготовки:

$$Q = V_3 \cdot \rho. \quad (3.7)$$

Об'єм заготовки, одержаної штампуванням:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 212,8^2}{4} \cdot 80,4 = 2858,04 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 44,3^2}{4} \cdot 80,4 = 123,86 \text{ мм}^3;$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 82,4^2}{4} \cdot 38 = 202,53 \text{ мм}^3.$$

$$V_4 = \frac{3,14 \cdot 83^2}{4} \cdot 23,5 = 127,08 \text{ мм}^3;$$

$$V_5 = \frac{3,14 \cdot 212,8^2}{4} \cdot 38 = 1350,81 \text{ мм}^3;$$

$$V_6 = \frac{3,14 \cdot 212,8^2}{4} \cdot 23,5 = 835,37 \text{ мм}^3;$$

$$V_7 = V_6 - V_4 = 835,37 - 127,08 = 708,29 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = V_5 - V_3 = 1350,81 - 202,53 = 1145,2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 - (V_2 + V_7 + V_8) = 2858,04 - 1977,42 = 880,62 \text{ мм}^3.$$

Розрахунки припусків для маточини КС6-09.601 проведено із використанням відомих методик і табличних даних довідників (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Припуски маточини КС6-09.601

№ п/п	Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
1) Заготовка штамповка					
1.	Ø210h14	Ra 12,5	2,2	1,4 × 2 = 2,8	Ø212,8 <sup>+1,4</sup> <sub>-0,8</sub>
2.	Ø80h14	Ra 12,5	1,6	1,2 × 2 = 2,4	Ø82,4 <sup>+1,1</sup> <sub>-0,5</sub>
3.	Ø80h9	Ra 3,2	1,6	1,5 × 2 = 3,0	Ø83 <sup>+1,1</sup> <sub>-0,5</sub>

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
4.	Ø47,3H8	Ra 3,2	1,6	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\text{Ø}44,3^{+1,1}_{-0,5}$
5.	78h14	Ra 12,5	1,6	$1,2 \times 2 = 2,4$	$80,4^{+1,1}_{-0,5}$
6.	16,5h14	Ra 12,5	1,4	$1,1 \times 2 = 2,2$	$18,7^{+0,9}_{-0,5}$
2) Заготовка – литво в кокіль					
1.	Ø210h14	Ra 12,5	1,4	$2,4 \times 2 = 4,8$	$\text{Ø}214,8 \pm 0,7$
2.	Ø80h14	Ra 12,5	1,1	$2,2 \times 2 = 4,4$	$\text{Ø}84,4 \pm 0,55$
3.	Ø80h9	Ra 3,2	1,1	$3 \times 2 = 6,0$	$\text{Ø}86 \pm 0,55$
4.	Ø47,3H8	Ra 3,2	1,0	$3 \times 2 = 6,0$	$\text{Ø}41,3 \pm 0,5$
5.	78h14	Ra 12,5	1,1	$2,2 \times 2 = 4,4$	$82,4 \pm 0,55$
6.	16,5h14	Ra 12,5	0,8	$1,8 \times 2 = 3,6$	$20,1 \pm 0,4$

Об'єм заготовки, одержаної литвом в кокіль:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 214,8^2}{4} \cdot 82,4 = 2984,45 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = \frac{3,14 \cdot 41,3^2}{4} \cdot 82,4 = 110,33 \text{ мм}^3;$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 84,4^2}{4} \cdot 38 = 212,48 \text{ мм}^3;$$

$$V_4 = \frac{3,14 \cdot 86^2}{4} \cdot 23,5 = 136,43 \text{ мм}^3;$$

$$V_5 = \frac{3,14 \cdot 214,8^2}{4} \cdot 38 = 1376,3 \text{ мм}^3;$$

$$V_6 = \frac{3,14 \cdot 214,8^2}{4} \cdot 23,5 = 851,1 \text{ мм}^3;$$

$$V_7 = V_6 - V_4 = 851,1 - 136,43 = 714,67 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = V_5 - V_3 = 1376,3 - 212,48 = 1163,82 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{заг2}} = V_1 - (V_2 + V_7 + V_8) = 2984,45 - 1988,86 = 995,59 \text{ мм}^3.$$

На основі попередніх розрахунків визначаємо маси заготовок:

– штамповка:

$$Q_1 = 880,62 \cdot 7,8 = 6,8 \text{ кг};$$

– литво в кокіль:

$$Q_2 = 995,59 \cdot 7,8 = 7,7 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.8)$$

– штамповка:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{5,21}{6,8} = 0,76.$$

– литво в кокіль:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{5,21}{7,7} = 0,67.$$

Порівнюючи коефіцієнти використання матеріалу та вартості заготовок для виготовлення вала використовуємо штамповку.

### **3.4. Формування технологічного процесу**

Порівняння двох маршрутів механічної обробки маточини КС6-09.601 із вибором оптимального надано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Порівняння двох маршрутів механічної обробки маточини КС6-09.601

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь			
		Квалітет	Шор-стіксть, мкм	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8
1,20	Торець 78h14	14	12,5	1. Обточування при поперечній подачі напівчистове.			
2,19	Фаска 2×45°	14	12,5	1.Обточування при поперечній подачі напівчистове.	1.Обточування при поздовжній подачі напівчистове		

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Зовнішня циліндри- чна поверхня Ø80h14	14	12,5	1.Обточу- вання при поздовжній подачі напівчистове.			
4	Торець 38h14	14	12,5	1.Обточува- ння при поперечній подачі напівчистове.			
5,6,7	Канавка 17±IT14/2 3 ± IT14/2	14	12,5	1.Обточу- вання при поздовжній подачі чистове.			
8... 15	Отвір Ø13H13, Ø180± 0,11	13	12,5	1. Свердління без кондуктора.	Свердління по кондуктору.		
16	Зовнішня циліндри- чна поверхня Ø210h14	14	12,5	1.Обточува- ння при поздовжній подачі напівчистове.			
17	Торець 54,5 ± IT14/2	14	12,5	1.Обточува- ння при поперечній подачі напівчистове.			
18	Зовнішня циліндри- чна поверхня Ø80h9	9	3,2	1.Обточува- ння при поздовжній подачі чорнове. 2.Обточува- ння при поздовжній подачі напівчистове. 3.Обточува- ння при поздовжній подачі чистове.	Обточува- ння при поздовжній подачі чорнове. 2.Обточува- ння при поздовжній подачі напівчистове 3.Шліфува- ння кругле напівчистове		

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
21	Отвір Ø50,7H8 ▷ 1:20	8	3,2	1.Розточування при поздовжній подачі напівчистове. 2.Розточування при поздовжній подачі напівчистове. 3.Розвертання чистове.	1.Зенкерування чорнове. 2.Розвертання напівчистове 3.Розвертання чистове.	1. Розточування при поздовжній подачі напівчистове. 2. Розточування при поздовжній подачі напівчистове 3. Розточування при поздовжній подачі чистове.	1. Розсвердлювання 2. Розсвердлювання. 3. Розсвердлювання. 4. Розвертання напівчистове 5. Розвертання чистове.
22	Шпонковий паз 14P9; 28,7H12	9	3,2	1.Протягування напівчистове	1. Довбання однократне чистове.		
23	Паз R12,5, Ra 12.5	14	12,5	1Фрезерування профільною фрезою чорнове	1. Довбання однократне напівчистове		

Оптимальний маршрут обробки маточини КС6-09.601.

005. Токарна-напівавтоматна.

1. Точити зовнішню поверхню 16, витримуючи розмір  $\varnothing 210h14_{(-1,150)}$  із поздовжнього супорта; підрізати торець 1 із поперечного супорта, витримуючи розмір  $79,2h14$ одночасно.

2. Точити зовнішню поверхню 3, витримуючи розмір  $\varnothing 80h14_{(-0,74)}$ ;  $L38 \pm IT14/2$ , розсвердлити наскрізний отвір 21, витримуючи розмір  $\varnothing 47,5H12^{(+0,25)}$  із поздовжнього супорта і підрізати торець 4, витримуючи розмір  $38 \pm IT14/2$  із поперечного супорта одночасно.

3. Розсвердлити отвір 21, витримуючи розмір  $\varnothing 48,5H12^{(+0,25)}$ ;  $L52 \pm IT14/2$  із поздовжнього супорта, точити фаску 2, витримуючи розмір  $2 \times 45^\circ$  із

поперечного супорта одночасно.

4. Розсвердлити отвір 21, витримуючи розмір  $\varnothing 49,5H12^{(+0,25)}$ ;  $L26 \pm IT14/2$  із поздовжнього супорта

5. Точити поверхні 5,6,7 канавки, витримуючи розміри  $3 \pm IT14/2$ ;  $\varnothing 197H14^{(+1,150)}$ ;  $\varnothing 163h14_{(-1,0)}$ . із поздовжнього супорта.

6. Розвернути отвір 21, витримуючи розмір  $\varnothing 50,7H10^{(+0,1)}$ ;  $\triangleright 1:20$ ;  $79,2_{(-0,74)}$ . із поздовжнього супорта.

7. Розвернути отвір 21, витримуючи розмір  $\varnothing 50,7H8^{(+0,039)}$ ;  $\triangleright 1:20$ ;  $79,2_{(-0,74)}$ . із поздовжнього супорта.

010. Токарна-напівавтоматна.

1. Точити зовнішню поверхню 18, витримуючи розмір  $\varnothing 81,02h14_{(-0,87)}$ ;  $L23,5 \pm IT14/2$  із поздовжнього супорта, точити фаску 19, витримуючи розмір  $2 \times 45^\circ$  із поперечного супорта, підрізати торець 17, витримуючи розмір  $54,5 \pm IT14/2$  із поперечного супорта одночасно.

2. Точити зовнішню поверхню 18, витримуючи розмір  $\varnothing 80,18h11_{(-0,22)}$  із поздовжнього супорта, підрізати торець 20, витримуючи розмір  $78h14_{(-0,74)}$  із поперечного супорта одночасно.

3. Точити зовнішню поверхню 18, витримуючи розмір  $\varnothing 80h9_{(-0,087)}$ . із поздовжнього супорта.

015. Горизонтально-протяжна.

1. Протягнути шпонковий паз 22, витримуючи розміри  $28,1H12^{(+0,21)}$ ;  $14P9\left(\begin{smallmatrix} -0,018 \\ -0,061 \end{smallmatrix}\right)$ .

020. Вертикально-свердлильна.

1. Свердлити одночасно вісім отворів 8...15, витримуючи розміри  $\varnothing 13H13$ ;  $\varnothing 180 \pm 0,11$ ;  $\angle 45^\circ$  на вертикально-свердлильному верстаті мод. 2H150.

025. Горизонтально-фрезерна.

1. Фрезерувати зовнішній паз 23, витримуючи розміри  $R12,5$ ,  $Ra 12,5$ .



030. Контроль 30%.

### 3.5. Визначення припусків на оброблення

Розрахунки припусків для маточини КС6-09.601 проведено із використанням відомих методик і табличних даних довідників (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Розрахункові припуски

№ з/п	Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мкм	Припуск, мкм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6	7
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 80h14_{(-0,74)}$ , $l=38\text{мм}$						
1	Точіння однократне	14	Ra 12,5	0,74	–	$\varnothing 80_{-0,74}$
2	Заготовка	15 (2 клас точності)	Rz 12,5	1,6	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 82,4^{+1,1}_{-0,5}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 210h14_{(-1,15)}$ , $l=16,5\text{мм}$						
1	Точіння однократне	14	Ra 12,5	1,15	–	$\varnothing 210_{-1,150}$
2	Заготовка	15 (2 клас точності)	Rz 200	2,2	$1,4 \times 2 = 2,8$	$\varnothing 212,8^{+1,4}_{-0,8}$
Торець $78h14_{(-0,74)}$						
2	Точіння напівчистове при поперечній подачі	14	Ra 12,5	0,68	1,2	$78_{-0,74}$
2	Точіння напівчистове при поперечній подачі	14	Ra 12,5	0,68	1,2	$79,2_{-0,74}$
3	Заготовка	15 (2 клас точності)	Rz 200	1,6	$1,2 \times 2 = 2,4$	$80,4^{+1,1}_{-0,5}$

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7
Торець 16,5h14						
1	Точіння напівчистове при поперечній подачі	14	Ra 12,5	0,43	1,1	16,5 <sub>-0,43</sub>
2	Точіння напівчистове при поперечній подачі	14	Ra 12,5	0,43	1,1	17,6 <sub>-0,43</sub>
3	Заготовка	15 (2 клас точності)	Rz 200	1,4	1,1×2=2,2	18,7 <sup>+0,9</sup> <sub>-0,5</sub>
Конусний отвір Ø 50,7H8, ▷1:20, 78h14 <sub>(-0,74)</sub>						
1	Розвертання чистове	8	Ra 3,2	0,039	0,1	Ø50,7 <sup>+0,039</sup>
2	Розвертання чорнове	10	Ra 6,3	0,1	0,3	Ø50,6 <sup>+0,1</sup>
3	Розсвердлювання	12	Ra 12,5	0,25	1,0	Ø49,5 <sup>+0,25</sup>
4	Розсвердлювання	12	Ra 12,5	0,25	1,0	Ø48,5 <sup>+0,25</sup>
5	Розсвердлювання	12	Ra 12,5	0,25	0,6	Ø47,5 <sup>+0,25</sup>
6	Заготовка	15 (2 клас точності)	Rz 200	1,6	1,5×2=3	Ø44,3 <sup>+1,1</sup> <sub>-0,5</sub>

### 3.6. Визначення режимів різання

Режими різання для конкретних операцій, ріжучі та допоміжні інструменти, моделі обладнання представлено в додатках.

Розрахунки режимів різання для операцій обробки маточини КС6-09.601 проведено із використанням відомих методик і табличних даних довідників (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Таблиця режимів різання для операцій обробки маточини  
КС6-09.601

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T <sub>m</sub> , хв	s, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S <sub>m</sub> , мм/хв	T <sub>0</sub> , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>005 Токарна–напівавтоматна</b>										
<b>Перехід 2.</b>										
Точити зовнішню поверхню 16, витримуючи розмір Ø 210h14 <sub>(-1,150)</sub> із поздовжнього супорта. Підрізати торець 1 із поперечного супорта, витримуючи розмір 79,2 <sub>-0,74</sub>	1,4	24,5	1	145	0,49	319	209,7	-	1,1	5,5
<b>Перехід 3.</b>										
Точити зовнішню поверхню 3, витримуючи розмір Ø 80h14 <sub>(-0,74)</sub> ; L38 ± IT14/2. Розсвердлити наскрізний отвір 21, витримуючи розмір Ø 47,5H12 <sub>(+0,25)</sub> із поздовжнього супорта. Підрізати торець 4 із поперечного супорта, витримуючи розмір 38h14 <sub>(-0,62)</sub> .	0,6	148	1	112	0,49	319	47,5	-	1,1	3,4
<b>Перехід 4.</b>										
Розсвердлити отвір 21 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір Ø48,5H12 <sub>(+0,25)</sub> ; L52 ± IT14/2. Точити фаску 2 із поперечного супорта, витримуючи розмір 2×45°.	1	92	1	122	0,49	318	79,9	-	1,1	1,12
<b>Перехід 5.</b>										
Розсвердлити отвір 21 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір Ø49,5H12 <sub>(+0,25)</sub>	1	41	1	136	0,49	319	49,5	-	1,1	1,0

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 6.										
Точити поверхні 5,6,7 канавки із поздовжнього супорта, витримуючи розмір $3 \pm IT14/2$ ; $\varnothing 197H14^{(+1,150)}$ ; $\varnothing 163h14^{(+1,0)}$ .	3	6	1	107	0,49	319	196,8	-	1,1	1,9
Перехід 7.										
Розвернути отвір 21 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір $\varnothing 50,7H10^{(+0,1)}$ ; $\nabla 1:20, 78 \pm IT14/2$ .	0,3	80	1	212	0,49	319	50,7	-	1,1	0,5
Перехід 8.										
Розвернути отвір 21 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір $\varnothing 50,7H8^{(+0,039)}$ ; $\nabla 1:20, 78 \pm IT14/2$ .	0,1	80	1	212	0,49	319	50,7	-	1,1	0,2
010 Токарно-напівавтоматна										
Перехід 2.										
Точити зовнішню поверхню 18 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір $\varnothing 81,02h14^{(-0,87)}$ ; $L23,5 \pm IT14/2$ . Точити фаску 19 із поперечного супорта, витримуючи розмір $2 \times 45^\circ$ . Підрізати торець 17 із поперечного супорта, витримуючи розмір $54,5 \pm IT14/2$ .	1,2	58,5	1	144	0,5	315	74	-	0,49	2,4
Перехід 3.										
Точити зовнішню поверхню 18 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір $\varnothing 80,18h11^{(-0,22)}$ . Підрізати торець 20 із поперечного супорта, витримуючи розмір $78 \pm IT14/2$ .	0,84	40	1	112	0,7	317	57	-	0,49	1,9
Перехід 4.										

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Точити зовнішню поверхню 18 із поздовжнього супорта, витримуючи розмір $\varnothing 80h9_{(-0,087)}$ .	0,18	40	1	107	0,7	315	49	-	0,49	0,8
<b>015 Горизонтально-протяжна</b>										
Протягнути шпоночний паз витримуючи розмір $28,1H12^{(+0,21)}$	2,75	78	1	152	-	-	3	-	0,99	21
<b>020 Вертикально-свердлильна</b>										
Одночасно свердлити вісім отворів 8...15, витримуючи розміри $\varnothing 13H13; \varnothing 180 \pm 0,11$ ;	6,5	22	1	104	0,2	357	14,8	-	0,32	2,6
<b>025 Горизонтально-фрезерна</b>										
Фрезерувати зовнішній паз 23, витримуючи розміри R12,5, Ra 12.5	8	16,5	1	122	0,17	302	47,2	47	0,37	3,4

Розрахунки технічних норм часу виготовлення маточини КС6-09.601 проведено із використанням відомих методик і табличних даних довідників (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Норми часу виготовлення маточини КС6-09.601

№ п/п	Номер та назва операції	T <sub>м</sub> (T <sub>0</sub> ), хв.	Час обслуговування, хв.		T <sub>відп.</sub> хв.	T <sub>шт.</sub> , хв.	T <sub>п.з.</sub> , хв.	П, шт.	T <sub>шт.к</sub> хв.
			T <sub>тех.обсл</sub>	T <sub>орг.обс</sub>					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	005. Токарна напівавтоматна	1,0	0,14	0,06	0,05	1,25	44	911	1,29
2.	010. Токарна напівавтоматна	0,48	0,08	0,02	0,02	0,6	34	911	0,64
3.	015. Горизонтально-протяжна	0,98						911	1,27

### Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.	020. Вертикально-свердлильна	0,31						911	0,4
5.	025. Горизонтально-фрезерна	0,32						911	0,39

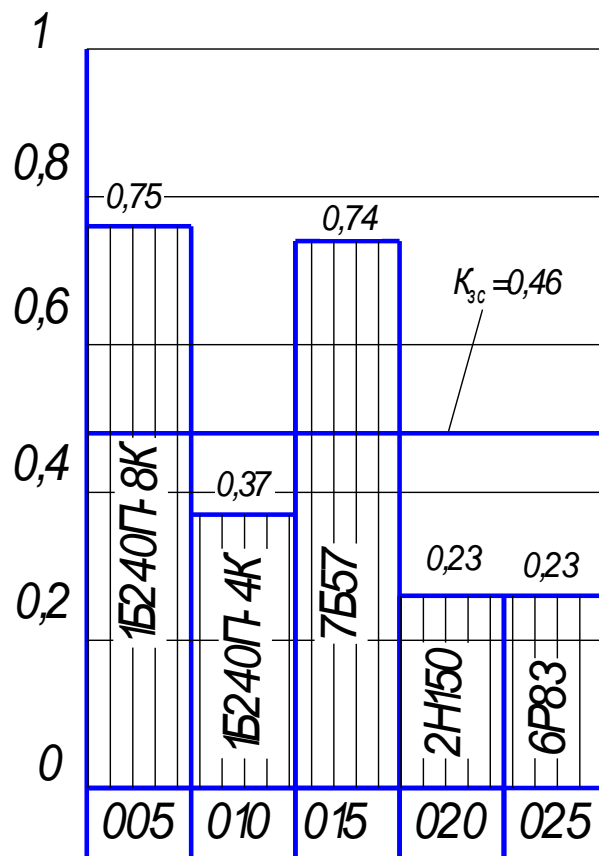


Рисунок 3.3 – Графік завантаження обладнання

### 3.7. Розрахунок пристосування

Для обробки восьми отворів  $\varnothing 13H13$  одночасно при витримуванні міжосьової відстані  $\varnothing 180 \pm 0,22$  або позиційного допуску 0,25 мм у маточині КС6-09.601 на 020 вертикально-свердлильній операції розроблено кондуктор скальчастий і восьмишпindelну свердлильну головку, що представлені у графічній частині із розрахунковою схемою на рис. 3.4. Проведемо розрахунок необхідної сили затиску заготовки для цієї операції.

Заготовка базується в пристосуванні по зовнішній циліндричній поверхні  $\varnothing 80h9$  і торцю.

1. Перевірка багатшпиндельної головки за потужністю верстата:

$$N_{\text{верст}} \geq \frac{N_{\text{гол.сум.}}}{\eta_{\text{верст}}}, \quad (3.9)$$

де  $N_{\text{гол.сум.}}$  – сумарна потужність багатшпиндельної головки;

$\eta_{\text{верст}}$  – коефіцієнт корисної дії верстату,  $\eta_{\text{верст}} = 0,8$ .

Потужність багатшпиндельної головки [20]:

$$N_{\text{гол.сум.}} = \frac{\kappa \cdot N}{\eta_{\text{верст}}}, \quad (3.10)$$

де  $\kappa = 8$  шт.

Потужність різання одного інструменту [20]:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}, \quad (3.11)$$

Момент різання при свердлінні [20]:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p, \quad (3.12)$$

де  $C_M = 0,0345$ ,  $q = 2,0$ ,  $y = 0,8$  [23].

$s = 0,18$  мм/об [20].

Для матеріалу  $\sigma_B \leq 600$  МПа,  $n = 0,75$  [20].

$$K_p = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} = 0,85.$$

Відповідно, момент різання при свердлінні:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 13^2 \cdot 0,18^{0,8} \cdot 0,85 = 11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Частоту обертання шпинделя [20]:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{\text{різ}}}{\pi \cdot D} \quad (3.13)$$

Швидкість різання [20]:

$$V_{\text{різ}} = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (3.14)$$

де  $C_v=7,0$ ;  $q=0,4$ ;  $y=0,7$ ;  $m=0,2$  [20];

$T=45$  хв. [23];

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{tv}$$

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad [20].$$

$\sigma_B=600$  МПа;  $K_{\Gamma}=1,0$ ;  $n_v=0,9$ .

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left( \frac{750}{600} \right)^{0,9} = 1,22.$$

Тоді швидкість різання становитиме:

$$V_{\text{різ}} = \frac{7 \cdot 13^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,18^{0,7}} \cdot 1,22 = 9,6 \text{ м/хв.}$$

Чистота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 9,6}{3,14 \cdot 13} = 250,8 \text{ об/хв.}, \text{ приймаємо } n = 250 \text{ об/хв.}$$

Знаходимо потужність різання одного свердла:

$$N = \frac{11 \cdot 250}{9750} = 0,29 \text{ кВт.}$$

Визначаємо сумарну потужність багатшпиндельної головки:

$$N_{\text{гол. сум.}} = \frac{8 \cdot 0,29}{0,8} = 2,9 \text{ кВт.}$$



Оскільки  $N_{верст} = 4,0 \text{ кВт} > \frac{2,9}{0,8} = 3,6 \text{ кВт}$ , то робимо висновок про те, що

одночасне свердління восьми отворів можливе.

2. Перевірка за сумарною силою подачі.

Сумарна осьова сила не повинна перевищувати максимально допустиму силу подачі [23]:

$$N_{гол. сум} = k \cdot P_0 \leq P_{верст. max} \quad (3.15)$$

Осьову силу різання [20]:

$$P_0 = 10C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p, \quad (3.16)$$

де  $C_p = 68$ ,  $q = 1,0$ ,  $y = 0,7$  ;

$s = 0,18 \text{ мм/об}$ .

$$K_p = K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{600}{750} \right)^{0,75} = 0,85.$$

Тоді,  $P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 13^1 \cdot 0,18^{0,7} \cdot 0,85 = 1262 \text{ Н}$ .

Отже,  $N_{гол. сум} = 8 \cdot 1262 = 10096 \text{ Н} < P_{верст. max} = 15000 \text{ Н}$ .

Обробка на даному верстаті можлива.

3. Перевірка за силою затиску:

$$P_{верст. max} > W. \quad (3.17)$$

Силу затиску деталі [23]:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр} \cdot n}{\frac{1}{3} f \cdot \left( \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)}. \quad (3.18)$$

Коефіцієнт запасу [20]:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (3.19)$$

Отже,  $K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 2,48$ .

Приймаємо  $K=2,5$ .

Тоді сила затиску становить:

$$W = \frac{2,5 \cdot 11 \cdot 8}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \left( \frac{0,21^3 - 0,08^3}{0,21^2 - 0,08^2} \right)} = 12062 \text{ Н.}$$

За величиною вище приведеної сили підбираємо пружини стиску на кондукторі.

$$W=12062 < P_{\text{верст. max}}=15000 \text{ Н.}$$

Отже, заготовка буде надійно закріплена при одночасній обробці восьми отворів  $\varnothing 13\text{H}14$  в маточині КС6-09.601.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1. Можливість виникнення статичної електрики і заходи для боротьби з цим

Величина потенціалів зарядів штучної статичної електрики на ремінних передачах і стрічках конвейерів може досягати 40 кВ, при механічній обробці пластмас і дерева до 30 кВ, при розпиленні фарб до 12 кВ. За відповідних умов відбувається пробій повітряного прошарку, що супроводиться іскровим розрядом (пробивний опір абсолютно сухого повітря складає 3000 кВ/м), що може ініціювати вибух або пожежу.

Основні заходи, що використовуються для захисту від статичної електрики виробничого походження включають методи, що виключають або зменшують інтенсивність генерації зарядів, і методи, що знімають утворені заряди. Інтенсивність генерації зарядів можна зменшити відповідним підбором пар тертя або змішуванням матеріалів таким чином, що в результаті тертя один із змішаних матеріалів створює заряд одного знаку, а інший – протилежного. В даний час створений комбінований матеріал з нейлону і дакрону, що забезпечує захист від статичної електрики за цим принципом.

Зміною технологічного режиму обробки матеріалів також можна добитися зниження кількості зарядів, що генеруються (зменшення швидкостей обробки, швидкостей транспортування і зливу діелектричних рідин, зменшення сил тертя).

При заповненні сипкими речовинами або рідинами (діелектриками) резервуарів на вході в них застосовують ємності релаксацій, частіше всього у вигляді заземленої ділянки трубопроводу збільшеного діаметра, що забезпечує стікання всього заряду статичної електрики в землю.

Заряди утвореної статичної електрики усувають частіше всього шляхом заземлення електропровідних частин виробничого обладнання. Опір такого заземлення повинен бути не більше 100 Ом. При неможливості встановлення пристрою заземлення практикується підвищення відносної вологості повітря в

приміщенні. Також збільшують об'ємну провідність діелектрика, для чого в нього вносять графіт, ацетиленову сажу, алюмінієву пудру, а в рідкі діелектрики – спеціальні добавки. Для ряду машин і агрегатів знайшли застосування нейтралізатори статичної електрики (коронного розряду, радіоізотопні, аеродинамічні і комбіновані). У всіх типах цих пристроїв шляхом іонізації повітря поблизу елемента конструкції, що накопичує заряд статичної електрики, утворюються іони, у тому числі із знаком, протилежним знаку заряду, що і викликає його нейтралізацію.

До засобів індивідуального захисту від статичної електрики відносяться електростатичні халати і спеціальне взуття, підошва якого виконана з шкіри або електропровідної гуми, а також антистатичні браслети.

Значно більшу небезпеку представляє атмосферна статична електрика, ефективним засобом захисту від якого є захист від блискавок. Вона включає комплекс заходів і пристроїв, призначених для забезпечення безпеки людей, запобіганню вибухів, загорянь і руйнувань будівель, споруд, обладнання і матеріалів від вибухів, можливих при дії блискавок.

Для всіх будівель і споруд, не пов'язаних з виробництвом і зберіганням вибухових речовин, а також для ліній електропередач і контактних мереж проектування і виготовлення захисту від блискавок повинне виконуватися згідно «Інструкції по захисту від блискавок будівель і споруд» РД 34.21.122–87.

Для створення зон захисту застосовують одиночний стрижньовий громовідвід; подвійний стрижньовий громовідвід; багатократний стрижньовий громовідвід; одиночний або подвійний тросовий громовідвід. Контроль за засобами забезпечення електробезпеки, і зокрема за відповідністю їх вимогам безпеки, покладений на службу головного енергетика і електриків підрозділів.

## 4.2. Класифікація надзвичайних ситуацій

Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 «Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій» затверджено «Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій». Згідно з цим положенням, за характером походження подій, що зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють 4 класи надзвичайних ситуацій: техногенного, природного, соціально-політичного та військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічних аварій на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації ґрунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру – це ситуації, пов'язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікації, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден,

встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення

зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації військового характеру – це ситуації, пов’язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

Залежно від територіального поширення, обсягів, заподіяних або очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють 4 рівні надзвичайних ситуацій – загальнодержавний, регіональний, місцевий та об’єктовий.

Надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремої області, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), або загрожує перенесенням на територію суміжної області, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше 1 % обсягів видатків відповідного бюджету.

Надзвичайні ситуації місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно-небезпечного об’єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об’єкта. До місцевого рівня також належать всі НС, які виникають на об’єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків

потенційно-небезпечних об'єктів.

Надзвичайна ситуація об'єктового рівня – це надзвичайна ситуація, яка не підпадає під зазначені вище визначення, тобто така, що розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті, її наслідки не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі приведено схему процесу розкочування отворів роликками із нахилоною під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею. Встановлено, що в процесі розкочування отворів роликками із нахилоною під кутом зовнішньою циліндричною робочою поверхнею відбувається складний рух роликів відносно заготовки, що призводить до формування регулярного неперервного мікрорельєфу у вигляді синусоїди на поверхні отвору. Виведено параметричне рівняння траєкторії руху однієї точки ролика відносно заготовки. Встановлено, що вершини представлених кривих траєкторії руху точки на робочій поверхні роликів визначають місця контакту точки ролика із оброблюваною поверхнею отвору заготовки. При збільшенні співвідношенням  $R/r$  зростає кількість таких точок контакту, відповідно і зростає частота сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. Використання декількох роликів підвищує густину формування синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору пропорційно до кількості роликів на оправці.

Виведено параметричне рівняння кривої, що описує сформований мікрорельєф на поверхні отвору. Встановлено, що змінюючи співвідношення  $R/r$  можна змінювати частоту сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. При збільшенні співвідношенням  $R/r$  зростає частота сформованого синусоїдного мікрорельєфу на поверхні отвору. При використанні декількох роликів на оправці, змінюючи співвідношення  $R/r$  можна змінювати місця перетину сформованих синусоїдних мікрорельєфів кожним роликом.

Представлено результати експериментальних досліджень шорсткості поверхні отвору після розкочування роликками. Зроблено висновки, найбільший вплив на шорсткість поверхні отвору після розкочування роликками на оправці має співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$ , а найменший вплив має амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$ . При збільшенні співвідношення радіуса обробленого



отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  шорсткість поверхні отвору після розкочування роликами зменшується, а при збільшенні подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  та амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  – зростає.

Максимальне значення шорсткості  $Ra$  поверхні отворів у заготовках із сталі 40 після розкочування роликами на оправці становить 5,4 мкм, а мінімальне - 1,5 мкм. Збільшення співвідношення радіуса обробленого отвору до радіуса ролика для розкочування  $R/r=k$  від 5 до 10 призводить до зменшення шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,7 рази. Збільшення подачі оправки для розкочування на один оберт шпинделя верстата  $S_1$  від 1 мм/об до 2 мм/об призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,32 рази, а збільшення амплітуди зміщення робочої поверхні ролика  $A$  від 0,4 мм до 1,0 мм призводить до зростання шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  у 1,16 рази.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення маточини КС6-09.601. Проведено розрахунок заготовки, розроблено схеми базування, підібрано інструменти, обладнання, режими різання, спроектовано пристосування.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71,72,73,74,75,76 (в отдельных книгах). М.: Издательство стандартов, 1986. 235 с.
3. Орлова П. Н., Скороходова Е. А. Краткий справочник металлста. М.: Машиностроение, 1986. 456 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Дьячков В. Б. Специальные металлорежущие станки общемашиностроительного применения: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 328 с.
6. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 496 с.
7. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
8. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р. К. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 1986. 656 с.
10. Барановский Ю. В. Режимы резания металлов. М.: Машиностроение, 1972. 258 с.
11. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
12. Горбачевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 288 с.
13. Итин А. М., Родичев Ю. Я. Наладка и эксплуатация токарных многошпиндельных полуавтоматов. М. : Машиностроение, 1977. 136 с.

14. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1966. 650 с.
15. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. М.: Машиностроение, 1965. 461 с.
16. Кухарський О. М. Методичні вказівки на тему “Проектування калібра-пробки, калібра-скоби” для виконання конструкторської частини дипломного проекту. Тернопіль, 2005.
17. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
18. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
19. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення валів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 198 с.
20. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
21. Березицький О.В. Результати експериментальних досліджень розточування перервних поверхонь / О.В. Березицький, А.Є. Дячун, В.Т. Сисюк // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 24-25 листопада 2021 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. С. 31.
22. A. Stoić, I. Lacković, J. Kopač, I. Samardžić, D. Kozak, An investigation of machining efficiency of internal roller burnishing, *Journal of Achievements Materials and Manufacturing Engineering* V. 40 Issue 2 (2010) 188–194.
23. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.

24. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.
25. Tools for roller burnishing, deep rolling, forming, Prospectus, Ecoroll A.G. Werkzeugtechnik, 2000.
26. Landry Kamgaing Souop, Alain Daidié, Yann Landon, Johanna Senatore, Mathieu Ritou. Investigation of Aluminum Alloy Properties During Helical Roller Burnishing Through Finite Element Simulations and Experiments. International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing, Jun 2018, Carthagena, Spain. pp.440-450, ff10.1007/978-3-030-12346-8\_43ff. ffhal-02119950f.
27. Roller Burnishing Technology, Yamasa, <http://www.yamasa.com.tr>, last access 01/09.
28. I. M. Gryadunov, S. Yu. Radchenko, D. O. Dorokhov & P. G. Morrev, Deep Hardening of Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling - Burnishing Process, Modern Applied Science; Vol. 9, No. 9; 2015 251–258.
29. <https://www.bta-tiefbohrsysteme.com/>
30. <https://yamasa.com.tr/>
31. <https://www.baublies.com/tools.html>
32. Hevko I., Diachun A., Lyashuk O., Vovk Y., Hupka A. (2021) Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. In: Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_38).
33. Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning / Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka // Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021. - Springer, Cham., 2021. - p. 385-394.
34. Луців І.В. Розробка алгоритмів створення багатолезового оснащення адаптивного типу для обробки поверхонь обертання / І.В. Луців, Р.Я.Лещук //

Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №26, 2009. С.164 - 171.

35. Луців І.В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2009, Том 14, №4. С.144-149.

36. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.