

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 корпусу 15.707.04 з
дослідженням параметрів процесу шліфування плоских поверхонь

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

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Домарецький І.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дячун А.Є.

(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
2022

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 15.707.04 з дослідженням параметрів процесу шліфування плоских поверхонь”.

У кваліфікаційній роботі представлено дослідження динамічних навантажень та коливань конструктивних елементів процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні., представлено схему динамічної моделі процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні заготовки на шліфувальному верстаті.

Виведено та розв’язано систему диференціальних рівнянь, що описують динаміку шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні заготовки. Розв’язки представлено у вигляді графіків.

Проведено експериментальні дослідження процесу шліфування плоскої поверхні. Визначено залежність потужності шліфування від зміни діаметра шліфувального круга.

Побудовано криві залежності потужності шліфування, радіальної та тангенціальної сил різання при експериментальних дослідження звичайних шліфувальних кругів та кругів із канавками, де енергосилові параметри представлено як функцію глибини різання.

Визначено залежності шорсткості поверхні від глибини різання при шліфуванні і використанні звичайного шліфувального круга та шліфувального круга з канавками.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 15.707.04.

ЗМІСТ

Вступ

1 Аналітична частина

1.1. Аналіз стану питання

1.2. Висновки та постановка завдань

2 Науково-дослідна частина

2.1. Дослідження динаміки шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні

2.2. Експериментальні дослідження процесу шліфування плоскої поверхні

2.3. Висновки

3 Технологічно-конструкторська частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Перелік посилань

Додатки

ВСТУП

Шліфування є процесом механічної обробки, при якому відбувається зрізування матеріалу у вигляді дрібної стружки внаслідок дії твердих абразивних частинок непостійної форми. Зношення шліфувального круга впливає як на ефективність процесу шліфування так і на якість шліфованої поверхні. Цикл зношування шліфувального круга є надзвичайно складним процесом, що залежить від багатьох факторів, таких як: початкові параметри шліфувального круга, матеріал заготовки, режими процесу шліфування, кількості мастильно-охолоджуючого технологічного середовища, що використовується. Зношення шліфувального круга призводить до погіршення його поверхні, до пошкодження поверхні заготовки і втрати точності обробки. Тому для відновлення поверхні шліфувального круга виникає необхідність у застосуванні операції правлення круга з утворенням на його поверхні гострих та точних ріжучих кромки. Зростання питомої енергії при шліфуванні є наслідком підвищеного ковзання між абразивними зернами та заготовкою.

Шліфувальні круги із канавками та отворами для охолодження володіють перевагами при шліфуванні металевих матеріалів, допомагають уникнути перевантаження шліфувальних кругів та забезпечують ефективнішу подачу мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

Тому подальші дослідження параметрів процесу шліфування плоских поверхонь із застосуванням шліфувальних кругів із канавками на зовнішній циліндричній поверхні є актуальними.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 15.707.04.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Шліфування – це процес механічної обробки, при якому відбувається зрізування матеріалу у вигляді дрібної стружки внаслідок дії твердих абразивних частинок непостійної форми [16]. Такі абразивні частинки з'єднані між собою у формі шліфувального круга, що працює при дуже високій лінійній швидкості різання. Головними компонентами процесу шліфування є шліфувальний круг, режими різання та мастильно-охолоджуюче технологічне середовище.

Як показано на рис. 1.1 шліфувальний круг це трьохкомпонентна система, що складається із значної кількості малих твердих, неметалічних, абразивних зерен, що з'єднані між собою зв'язкою та пористості. Мікрознімок, що одержаний за допомогою скануючого електронного мікроскопа, типового шліфувального круга представлено на рис. 1.2, де чітко показано абразивні зернини, матеріал зв'язки та пористість (пустоти). Матеріал зв'язки – це клей, що утримує абразивні зерна разом, абразивні зерна відповідають за зрізання матеріалу, пустоти забезпечують усунення стружки та подачу мастильно-охолоджуючого технологічного середовища у зону шліфування.

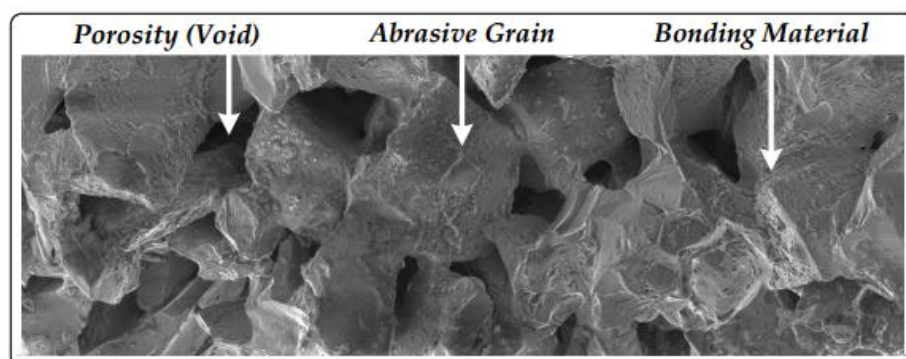


Рисунок 1.1 - Мікрознімок, що одержаний за допомогою скануючого електронного мікроскопа, типового шліфувального круга [19].

Зношення шліфувального круга впливає як на ефективність процесу шліфування так і на якість шліфованої поверхні [22]. Цикл зношування шліфувального круга є надзвичайно складним процесом, що залежить від багатьох факторів, таких як: початкові параметри шліфувального круга, матеріал заготовки, режими процесу шліфування, кількості мастильно-охолоджуючого технологічного середовища, що використовується. Зношення шліфувального круга можна поділити на три види [23, 25]: руйнування зв'язки, руйнування зерен та зношування внаслідок тертя, що зображено на рис. 1.2.

При руйнуванні зв'язки абразивні зерна вибиваються із зв'язки. При руйнуванні зерна створюються нові загострені ріжучі кромки, що називається процесом само загострення. Руйнування зв'язки та руйнування зерен виникає у випадку, коли сили різання перевищують граничну міцність абразивних зерен або зв'язки. Обидва механізми зношування створюють непостійну поверхню шліфувального круга, що призводить до погіршення якості поверхні заготовки. Зношення внаслідок тертя є поступовим процесом затуплення початкових гострих зерен, що призводить до збільшення площин зношування через стирання до поверхні заготовки. Такий тип зношування призводить до зростання сил шліфування і, як наслідок, температур шліфування.

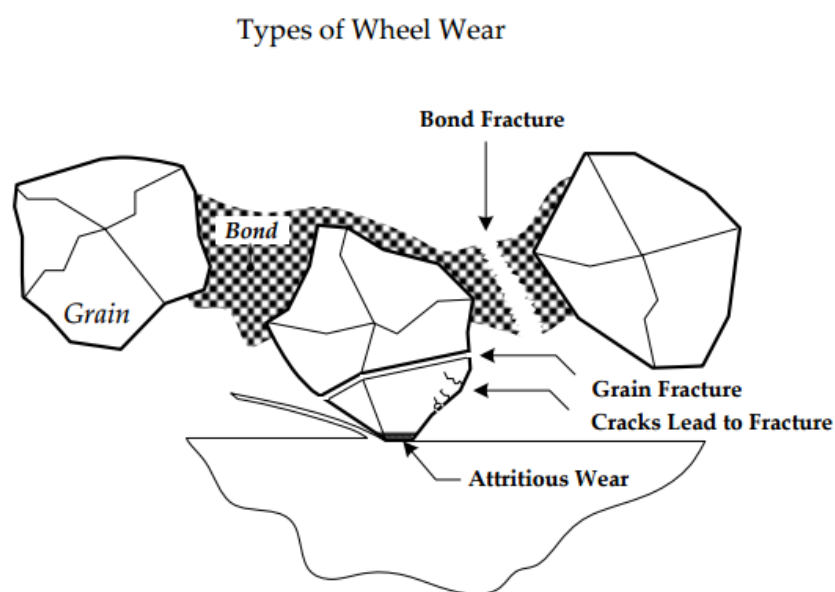


Рисунок 1.2 – Механізми зношування шліфувального круга [23, 25]

Зношення шліфувального круга призводить до погіршення його поверхні, до пошкодження поверхні заготовки і втрати точності обробки. Тому для відновлення поверхні шліфувального круга виникає необхідність у застосуванні операції правлення круга з утворенням на його поверхні гострих та точних ріжучих кромek. На основі аналізу геометрії різання шліфуванням можна одержати інформацію про траєкторію різання та контактну взаємодію між шліфувальним кругом та заготовкою. На рисунку 1.3 представлено основні параметри процесу шліфування. Із рисунка можна побачити, що абразивний круг діаметром d_s обертається із лінійною швидкістю v_s на зовнішньому діаметрі, зрізає шар металу із заготовки глибиною a_e , при цьому заготовка переміщується із лінійною швидкістю v_w [26]. Ширина контакту між абразивним кругом та заготовку протягом процесу шліфування дорівнює b_w . Крива, що визначає контакт між шліфувальним кругом та заготовкою відома як дуга контакту l_c і визначається за формулою [26]:

$$l_c = \sqrt{a_e \cdot d_s} . \quad (1.1)$$

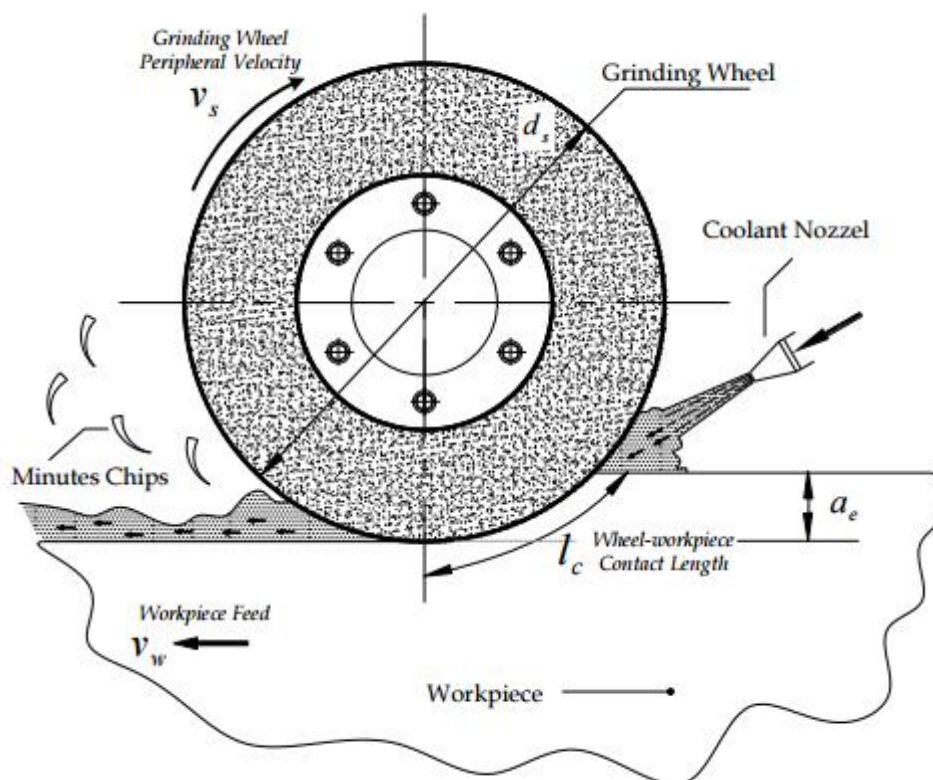


Рисунок 1.3 - Основні параметри процесу шліфування [19]

На рисунку 1.4,а представлено типові геометричні та силові параметри процесу шліфування. На рис. 1.4,б представлено траєкторію переміщення абразивного зерна вздовж заготовки та формування стружки.

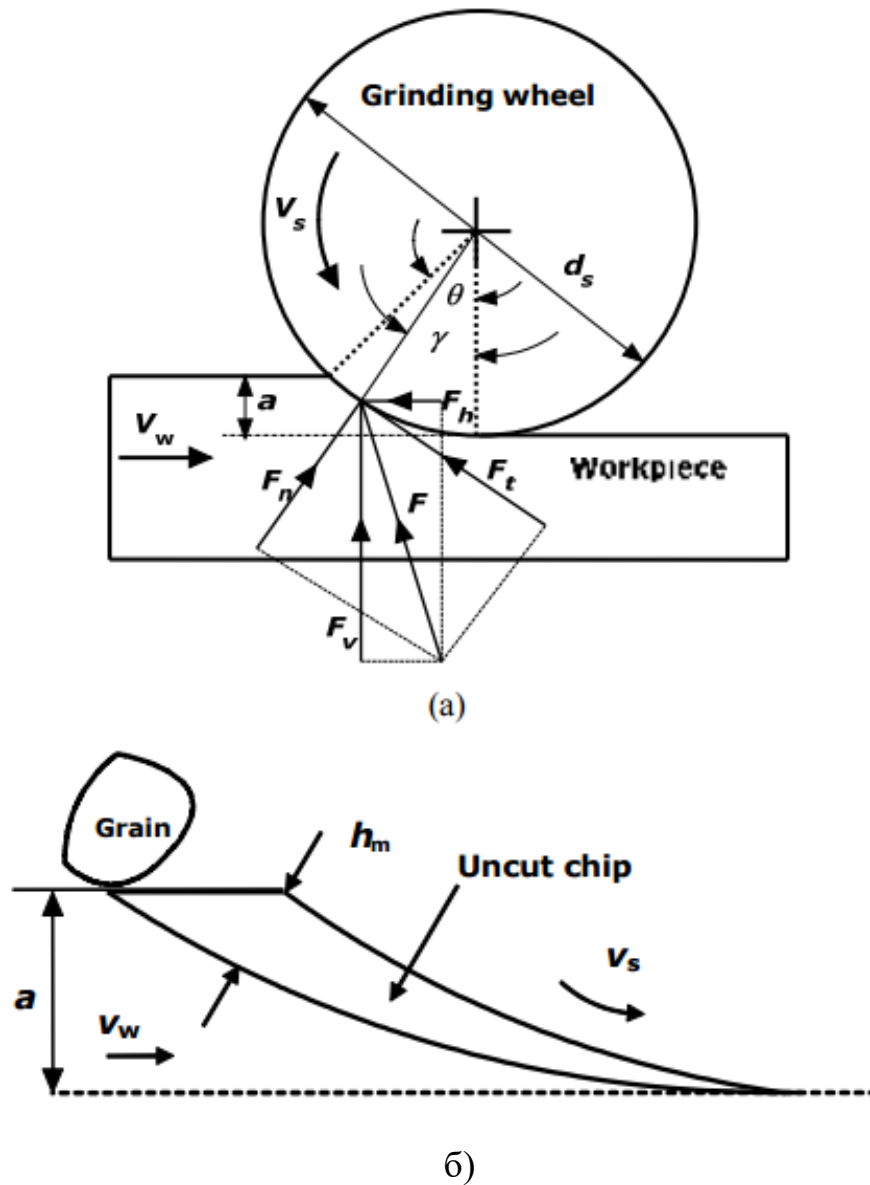


Рисунок 1.4 - Типові геометричні та силові параметри процесу шліфування а), формування стружки б) [29]

Область, що сформована між шліфувальним кругом та заготовкою визначається як зона контакту. Дуга між шліфувальним кругом та заготовкою визначена як дуга контакту l_c . На рисунку 1.4 представлено параметри шліфування, при яких шліфувальний круг обертається проти годинникової

стрілки та проводить зрізування з вершини до низу дуги контакту. Для звичайних процесів шліфування глибина різання є малою величиною і знаходиться в межах від 0 до 0,5 мм. Однак, шліфування також застосовується для оброблення складних профілів при підвищених глибинах різання за малої кількості переходів або навіть одного переходу, що одержується при малій швидкості переміщення заготовки. Такий процес називають силовим шліфуванням, а глибина різання знаходиться в межах від 1 до 10 мм. Такі великі глибини різання визначають необхідність особливого застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ для уникнення термального пошкодження заготовки. Детальне пояснення кінематики, тепло відведення та охолодження процесу силового шліфування представлено у літературі [30].

У роботі [31] досліджено характеристики поведінки абразивного зерна та механізму його зношування, використовуючи тести високошвидкісного шкрябання. Автори проводили експерименти із шліфувальними кругами, на поверхні яких закріплювали окремі одиничні зерна із корунду. Після аналізу структури здряпування визначено, що одна зернини створює декілька виробничих здряпувань і свідчить про те, що одна зернина має більше ніж одну ріжучу кромку. На рисунку 1.5 представлено топографію зернини, що використовувалась у їхніх експериментах.

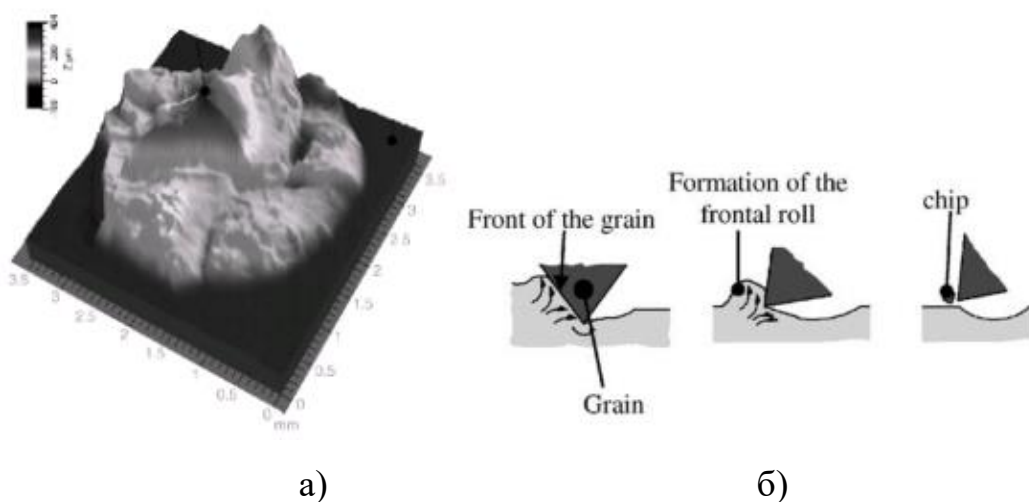


Рисунок 1.5 – Топографія зернини абразиву а), схема формування стружки б)
[31]

Автори також визначили, що теоретична глибина здряпування набагато більша за експериментальну глибину. Базуючись на цьому вони висунули гіпотезу, що перед ріжучою кромкою зерна виникає пружна деформація матеріалу заготовки. При виникненні вищих механічних напружень, частина матеріалу заготовки огортає зернину в боковому та вертикальному напрямках, що призводить до формування стружки як показано на рис. 1.5 б.

На рисунку 1.6 представлено залежність тангенціальної сили різання від довжини шкрябання, при високошвидкісному тесті шкрябання. Можна побачити, що сила різання зростає при збільшенні довжини різання до 3 мм, а потім спадає.

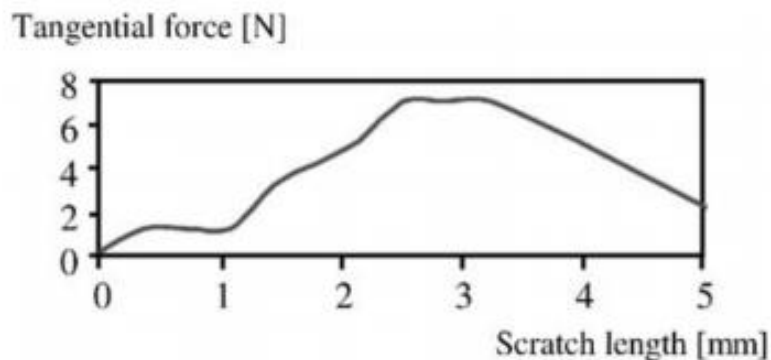


Рисунок 1.6 – Залежність тангенціальної сили різання від довжини шкрябання, при високошвидкісному тесті шкрябання [31]

У роботі [32] визначено, що зростання питомої енергії при шліфуванні є наслідком підвищеного ковзання між абразивними зернами та заготовкою. Автор виділяє три окремі стадії взаємодії абразивної зернини із заготовкою: ковзання, текучість та різання (рис. 1.7). Ковзання виникає при малих глибинах різання коли товщина зрізу знаходиться в межах $0 \leq h \leq \delta_r$. Ця стадія складається із пружної деформації та створення тепла внаслідок тертя між зерниною та заготовкою. При цьому не відбувається знаття матеріалу, а енергія витрачається даремно [30].

При більших глибинах різання, коли товщина зрізу зростає до меж $\delta_r \leq h \leq \delta_p$, виникає стадія текучості, що призводить до пластичної деформації

матеріалу на поверхні заготовки. Матеріал заготовки видавлюється перед абразивним зерном з формуванням краю текучості, що додається боковим переміщенням матеріалу в процесі руху зерна. Стадія текучості також неефективна, оскільки не відбувається зняття матеріалу із заготовки. Стадія різання виникає при більших глибинах різання, коли товщина зрізу знаходиться в межах $\delta_p \leq h \leq \delta_c$, що призводить до зняття матеріалу заготовки. Ця стадія розглядається ефективною, оскільки є лише малі втрати енергії на пружні деформації.

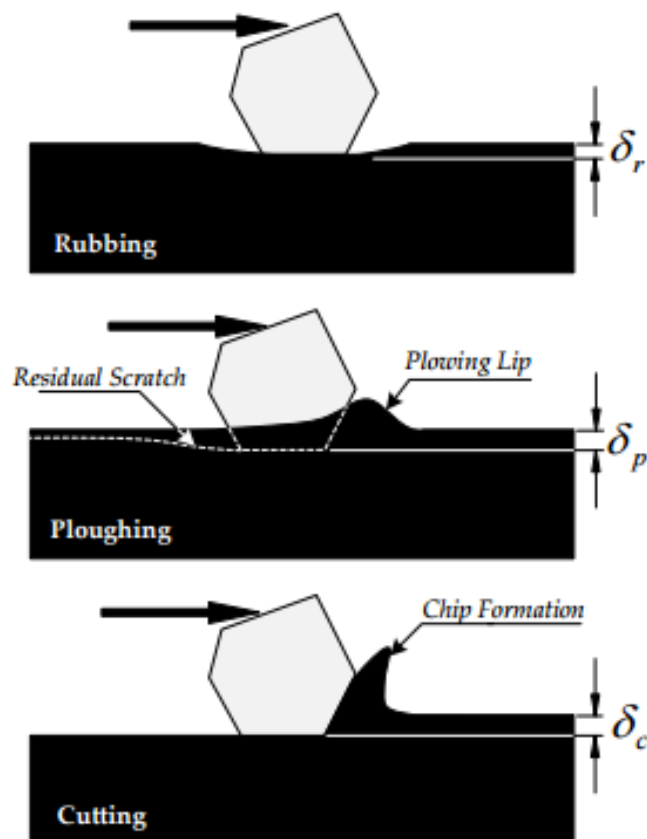


Рисунок 1.7 – Три окремі стадії взаємодії абразивної зернини із заготовкою: ковзання, текучість та різання [32]

Основні типи шліфувальних кругів із сформованими на поверхні канавками представлено на рис. 1.8.

У роботі [33] представлено конструкцію шліфувального круга із канавками та отворами для охолодження на робочій поверхні круга, що зображено на рис.

1.9. Автори стверджують, що питома площа зношування активних абразивних зерен на передній та задній кромці кожного сегменту (рис. 1.9,б) була відповідно 0,70% та 0,95%.

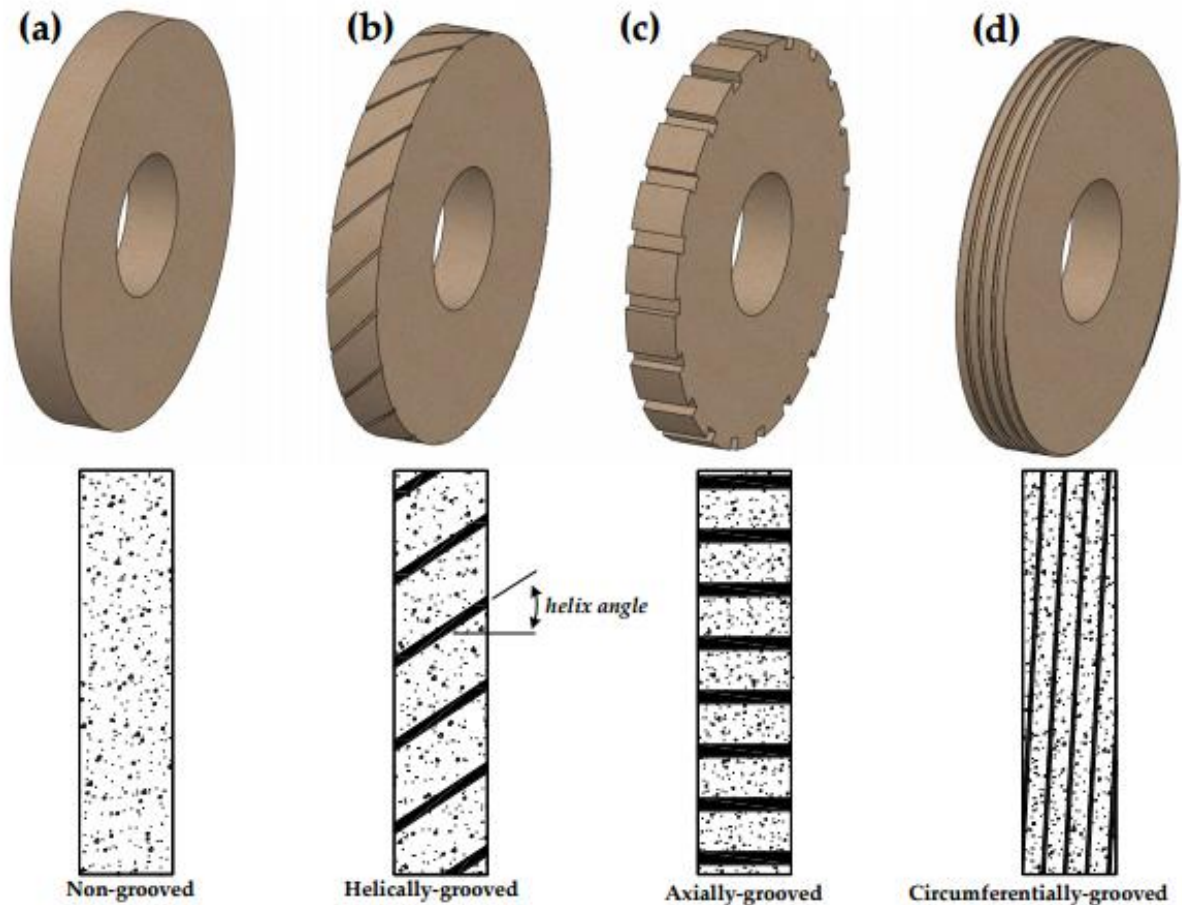


Рисунок 1.8 – Основні типи шліфувальних кругів із сформованими на поверхні канавками [19]

Висунуто припущення, що зерна на передній кромці отримують мікро тріщини на їхніх вершинах. Зерна на задній кромці піддаються ковзанню, тому площини зношування формуються швидше. Також встановлено, що шліфувальні круги із канавками та отворами для охолодження володіють перевагами при шліфуванні металевих матеріалів, допомагають уникнути перевантаження шліфувальних кругів та забезпечують ефективнішу подачу мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

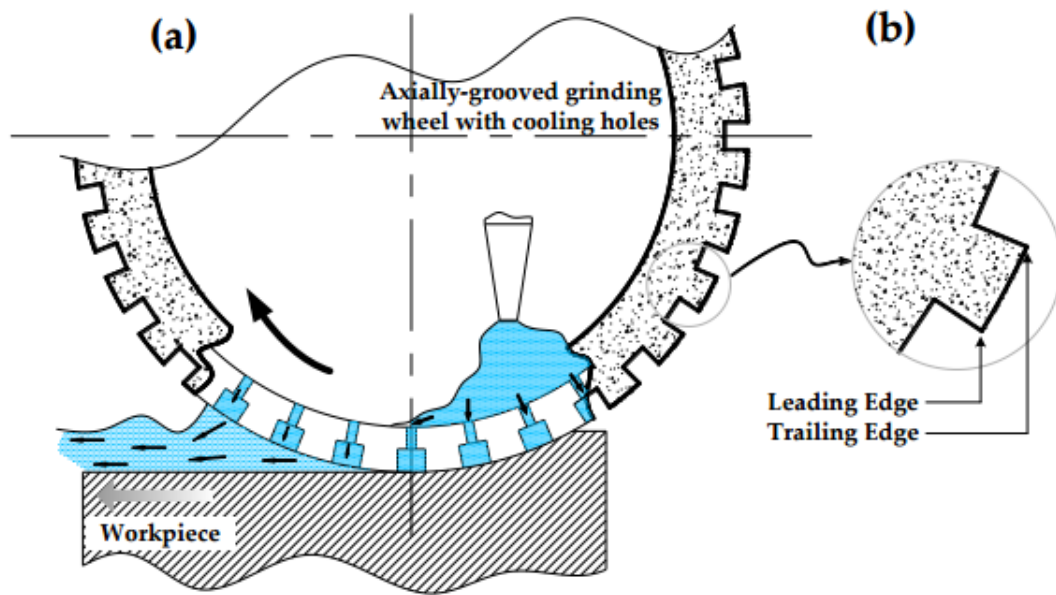


Рисунок 1.9 – Конструкція шліфувального круга із канавками та отворами для охолодження на робочій поверхні круга [33]

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу процесу шліфування встановлено, що це процес механічної обробки, при якому відбувається зрізування матеріалу у вигляді дрібної стружки внаслідок дії твердих абразивних частинок непостійної форми. Шліфувальний круг це трьохкомпонентна система, що складається із значної кількості малих твердих, неметалічних, абразивних зерен, що з'єднані між собою зв'язкою та пористості. Зношення шліфувального круга впливає як на ефективність процесу шліфування так і на якість шліфованої поверхні. Цикл зношення шліфувального круга є надзвичайно складним процесом, що залежить від багатьох факторів, таких як: початкові параметри шліфувального круга, матеріал заготовки, режими процесу шліфування, кількості мастильно-охолоджуючого технологічного середовища, що використовується. Зношення шліфувального круга можна поділити на три види: руйнування зв'язки, руйнування зерен та зношення внаслідок тертя.

Зношення шліфувального круга призводить до погіршення його поверхні,

до пошкодження поверхні заготовки і втрати точності обробки. Тому для відновлення поверхні шліфувального круга виникає необхідність у застосуванні операції правлення круга з утворенням на його поверхні гострих та точних ріжучих кромek.

Зростання питомої енергії при шліфуванні є наслідком підвищеного ковзання між абразивними зернами та заготовкою. Можна виділити три окремі стадії взаємодії абразивної зернини із заготовкою: ковзання, текучість та різання.

Також встановлено, що шліфувальні круги із канавками та отворами для охолодження володіють перевагами при шліфуванні металевих матеріалів, допомагають уникнути перевантаження шліфувальних кругів та забезпечують ефективнішу подачу мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ.

У кваліфікаційній роботі вирішуються такі завдання:

1. Провести дослідження динамічних навантажень та коливань конструктивних елементів процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні.

2. Представити схему динамічної моделі процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні заготовки на шліфувальному верстаті.

3. Вивести та розв'язати систему диференціальних рівнянь, що описують динаміку шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні заготовки.

4. Провести експериментальні дослідження процесу шліфування плоскої поверхні. Визначити залежність потужності шліфування від зміни діаметра шліфувального круга.

5. Побудувати криві залежності потужності шліфування, радіальної та тангенціальної сил різання при експериментальних дослідження звичайних шліфувальних кругів та кругів із канавками, де енергосилові параметри представити як функцію глибини різання.

6. Визначити залежності шорсткості поверхні від глибини різання при шліфуванні і використанні звичайного шліфувального круга та шліфувального круга з канавками.

7. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 15.707.04.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження динаміки шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні

Дослідження динамічних навантажень та коливань конструктивних елементів процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні можна вирішити в межах інженерного завдання на основі формування системи диференціальних рівнянь з координатами переміщень елементів та їх розв'язку чисельними методами. При цьому для спрощення динамічної моделі, а відповідно і розрахунків виникає необхідність у відкиданні другорядних факторів і наближення системи до ідеальної. Похибки при таких розрахунках можна компенсувати за рахунок застосування коефіцієнта запасу.

На рисунку 2.1 представлено спрощену схему динамічної моделі процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні заготовки на шліфувальному верстаті. Шліфувальний круг закріплено у шпинделі, а заготовку із електромагнітною плитою закріплено на столі верстата. Оскільки на периферії шліфувального круга виконано періодичні канавки, розміщені під кутом до осі обертання круга, то в процесі шліфування заготовки відбувається періодична взаємодія абразивного матеріалу шліфувального круга та поверхні заготовки. Така взаємодія із значною швидкістю обертання круга призводить до виникнення динамічних навантажень у приведеній системі, а відповідно і до виникнення коливань конструктивних елементів. При значних коливаннях погіршується якість оброблених поверхонь, підвищується шорсткість оброблення та зростає ймовірність пригоряння. Тому виникає необхідність в дослідженні динаміки шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні для прогнозування можливості виникнення надлишкових деформацій елементів системи.

До динамічної моделі рисунку 2.1 включено шліфувальний круг із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні,

заготовку із плоскою поверхнею, що піддається шліфуванню, яка закріплена у пристрої з електромагнітною плитою, стіл плоскошліфувального верстата, шпиндель та приводний механізм верстата.

Кожен із цих вище вказаних елементів представлено у вигляді зосереджених мас. Зв'язки між елементами мають пружний характер із елементами демпфування. Жорсткості елементів є постійними і не залежать від величини деформацій. Контактні деформації елементів не враховані.

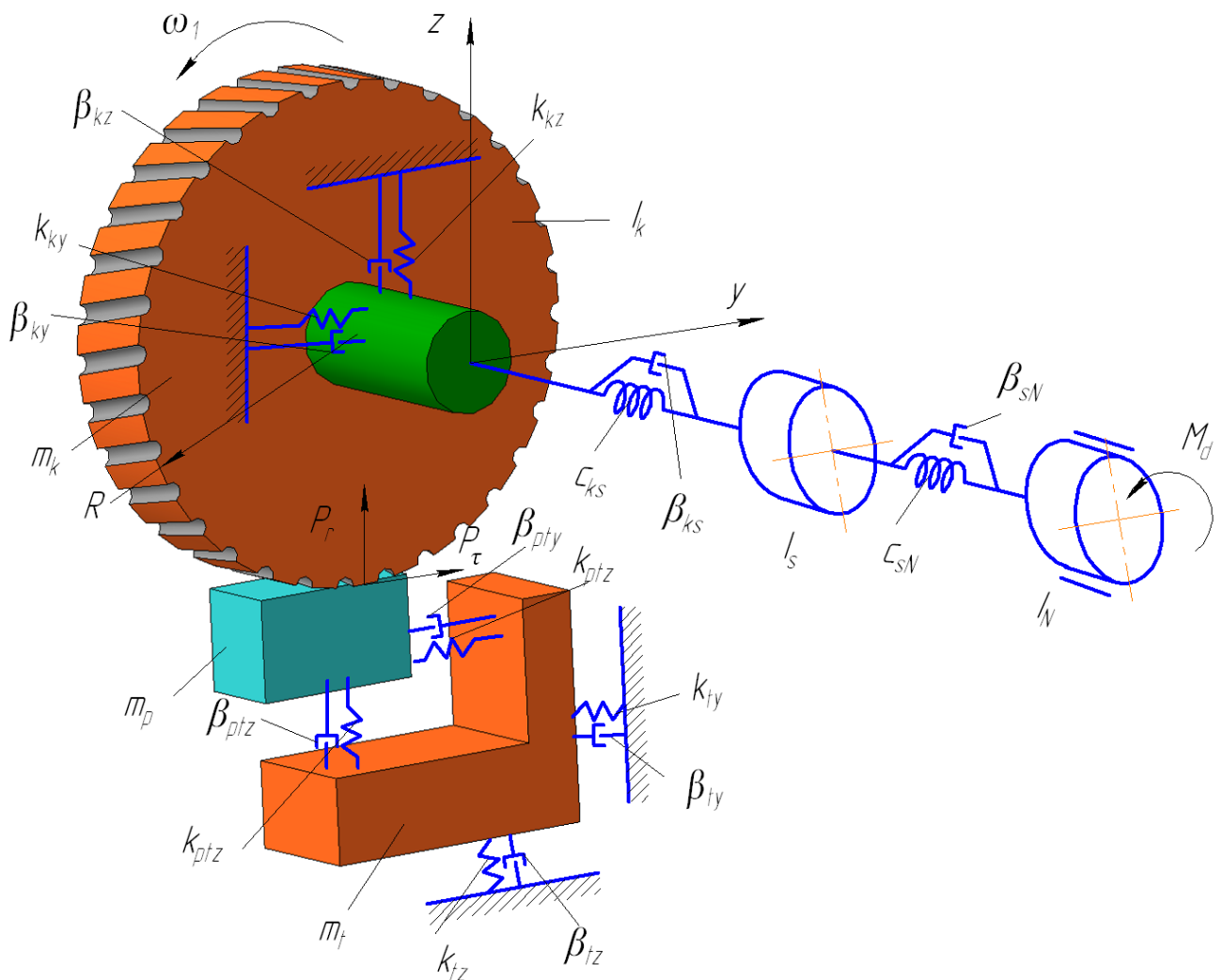


Рисунок 2.1 - Схема динамічної моделі процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні заготовки на шліфувальному верстаті

На рисунку 2.1 умовно позначено такі параметри динамічної моделі: I_k –

момент інерції шліфувального круга із канавками; I_s – момент інерції шпинделя плоскошліфувального верстата; I_N – приведений момент інерції приводного механізму верстата, m_k – маса шліфувального круга із канавками, m_p – маса заготовки із електромагнітною плитою; m_t – маса стола плоскошліфувального верстата. Жорсткості елементів (рис. 2.1): C_{ks} – приведена жорсткість шліфувального круга із канавками, C_{sN} – приведена жорсткість шпинделя плоскошліфувального верстата, k_{kz} , k_{ky} – приведені лінійні жорсткості шліфувального круга із канавками у прийнятій системі координат на осі z та y відповідно, k_{ptz} , k_{pty} – приведені лінійні жорсткості заготовки із електромагнітною плитою у прийнятій системі координат на осі z та y відповідно, k_{tz} , k_{ty} – приведені лінійні жорсткості стола плоскошліфувального верстата у прийнятій системі координат на осі z та y відповідно. Жорсткості інших конструктивних елементів плоскошліфувального верстата не враховані, оскільки вони на порядок вищі ніж жорсткості вказаних елементів.

Коефіцієнт демпфування елементів (рис. 2.1): коефіцієнт демпфування шліфувального круга із канавками, β_{sN} – коефіцієнт демпфування шпинделя плоскошліфувального верстата, β_{kz} , β_{ky} – коефіцієнти демпфування шліфувального круга із канавками у прийнятій системі координат на осі z та y відповідно, β_{ptz} , β_{pty} – коефіцієнти демпфування заготовки із електромагнітною плитою у прийнятій системі координат на осі z та y відповідно, β_{tz} , β_{ty} – коефіцієнти демпфування стола плоскошліфувального верстата у прийнятій системі координат на осі z та y відповідно.

На шліфувальний круг із канавками (I_k , m_k) і відповідно на заготовку із електромагнітною плитою (m_p) діють періодичні радіальна P_r та тангенціальна P_t складові сили різання. Співвідношення між якими P_r/P_t визначається на основі результатів експериментальних досліджень та емпіричних залежностей. Також при черговому врізанні циліндричної частини шліфувального круга, розташованої між канавками, виникає ударна взаємодія між заготовкою та кругом.

Для опису сили удару P_y між циліндричною частиною шліфувального круга та заготовкою використано безрозмірну алгебрологічну функцію [27]:

$$F_n(t) = \left(\frac{t_y}{2} - \left| \frac{t_y}{2} - (t - t_n) \right| \right) \cdot k_1, \quad (2.1)$$

де t_y - тривалість удару між заготовкою та кругом;

t_n - n -й момент часу зіткнення заготовки із кругом;

k_1 - допоміжний коефіцієнт.

Для опису декількох послідовних ударів використано залежність [27]:

$$P_{yn}(t) = \frac{F_n(t) + P_y - |F_n(t) - P_y| + |F_n(t) + P_y - |F_n(t) - P_y||}{4}. \quad (2.2)$$

Аналогічний підхід використано для опису періодичної дії радіальної P_r та тангенціальної P_τ складових сили різання [28]:

$$P_m(t) = \frac{F_n(t) + P_r - |F_n(t) - P_r| + |F_n(t) + P_r - |F_n(t) - P_r||}{4}. \quad (2.3)$$

$$P_{\tau i}(t) = \frac{F_n(t) + P_\tau - |F_n(t) - P_\tau| + |F_n(t) + P_\tau - |F_n(t) - P_\tau||}{4}. \quad (2.4)$$

Функції, що описують періодичність взаємодії шліфувального круга та заготовки [28]:

$$P_r(t) = \sum_{n=1}^m P_m(t); \quad (2.5)$$

$$P_\tau(t) = \sum_{n=1}^m P_{\tau i}(t). \quad (2.6)$$

Кут повороту шліфувального круга, при взаємодії абразиву із заготовкою:

$$\alpha = 2\pi - \frac{zb}{R}, \quad (2.7)$$

де R – зовнішній радіус шліфувального круга, мм;

z - кількість канавок на шліфувальному крузі;

b – ширина канавки, мм.

Час повороту шліфувального круга, при взаємодії абразиву із заготовкою:

$$t_K = \frac{2\pi}{\omega_1} - \frac{zb}{R\omega_1}, \quad (2.8)$$

де ω_1 - частота обертання шліфувального круга.

Час між ударами кромки шліфувального круга із заготовкою:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z\omega_1}. \quad (2.9)$$

Узагальнені координати: кути повороту φ_k , φ_s , φ_N та лінійні переміщення описаних вище елементів системи в напрямках осей y та z : y_k , y_s , y_N , z_k , z_s , z_N .

Кінетична енергія системи рис. 2.1:

$$T = \frac{I_k \cdot \dot{\varphi}_k^2}{2} + \frac{I_s \cdot \dot{\varphi}_s^2}{2} + \frac{I_N \cdot \dot{\varphi}_N^2}{2} + \frac{m_k \cdot \dot{z}_k^2}{2} + \frac{m_t \cdot \dot{z}_t^2}{2} + \frac{m_p \cdot \dot{z}_p^2}{2} + \frac{m_k \cdot \dot{y}_k^2}{2} + \frac{m_t \cdot \dot{y}_t^2}{2} + \frac{m_p \cdot \dot{y}_p^2}{2}. \quad (2.10)$$

Потенціальна енергія системи рис. 2.1:

$$\Pi = \frac{C_{ks} \cdot (\varphi_s - \varphi_k)^2}{2} + \frac{C_{sN} \cdot (\varphi_N - \varphi_s)^2}{2} + \frac{k_{kz} \cdot z_k^2}{2} + \frac{k_{ptz} \cdot (z_t - z_p)^2}{2} + \frac{k_{tz} \cdot z_t^2}{2} + \frac{k_{ky} \cdot y_k^2}{2} + \frac{k_{pty} \cdot (y_t - y_p)^2}{2} + \frac{k_{ty} \cdot y_t^2}{2}. \quad (2.11)$$

Функція розсіювання системи рис. 2.1:

$$\Phi = \frac{\beta_{ks\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_s - \dot{\varphi}_k)^2}{2} + \frac{\beta_{pt\varphi} \cdot (\dot{\varphi}_t - \dot{\varphi}_p)^2}{2} + \frac{\beta_{kz} \cdot \dot{z}_k^2}{2} + \frac{\beta_{ptz} \cdot (\dot{z}_t - \dot{z}_p)^2}{2} + \frac{\beta_{tz} \cdot \dot{z}_t^2}{2} + \frac{\beta_{ky} \cdot \dot{y}_k^2}{2} + \frac{\beta_{pty} \cdot (\dot{y}_t - \dot{y}_p)^2}{2} + \frac{\beta_{ty} \cdot \dot{y}_t^2}{2}. \quad (2.12)$$

Рівняння Лагранжа другого роду [27]:

- для крутих коливань

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = P_{r\Sigma}(t)R; \quad (2.13)$$

- для лінійних коливань:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial z_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{z}_n} = P_{r\Sigma}(t), \quad (2.14)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{y}_n} = P_{r\Sigma}(t). \quad (2.15)$$

На основі рівнянь Лагранжа другого роду виведено систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} I_k \cdot \frac{d^2 \varphi_k}{dt^2} + C_{ks} \cdot (\varphi_k - \varphi_s) + \beta_{ks\varphi} \left(\frac{d\varphi_k}{dt} - \frac{d\varphi_s}{dt} \right) &= P_{r\Sigma}(t)R + P_y(t)R; \\ I_s \cdot \frac{d^2 \varphi_s}{dt^2} + C_{ks} \cdot (\varphi_s - \varphi_k) + \beta_{ks\varphi} \left(\frac{d\varphi_s}{dt} - \frac{d\varphi_k}{dt} \right) + C_{sN} \cdot (\varphi_s - \varphi_N) + \beta_{sN\varphi} \left(\frac{d\varphi_s}{dt} - \frac{d\varphi_N}{dt} \right) &= 0; \\ I_N \cdot \frac{d^2 \varphi_N}{dt^2} + C_{sN} \cdot (\varphi_N - \varphi_s) + \beta_{sN\varphi} \left(\frac{d\varphi_N}{dt} - \frac{d\varphi_s}{dt} \right) &= M_d; \\ m_k \cdot \frac{d^2 z_k}{dt^2} + k_{kz} z_k + \beta_{kz} \frac{dz_k}{dt} &= P_{r\Sigma}(t) + P_y(t); \\ m_p \cdot \frac{d^2 z_p}{dt^2} + k_{ptz} (z_p - z_t) + \beta_{ptz} \left(\frac{dz_p}{dt} - \frac{dz_t}{dt} \right) &= P_{r\Sigma}(t) + P_y(t); \\ m_t \cdot \frac{d^2 z_t}{dt^2} + k_{ptz} (z_t - z_p) + \beta_{ptz} \left(\frac{dz_t}{dt} - \frac{dz_p}{dt} \right) + k_{tz} z_t + \beta_{tz} \frac{dz_p}{dt} &= 0; \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$m_k \cdot \frac{d^2 y_k}{dt^2} + k_{kz} y_k + \beta_{kz} \frac{dy_k}{dt} = P_{\tau\Sigma}(t) + P_y(t);$$

$$m_p \cdot \frac{d^2 y_p}{dt^2} + k_{ptz} (y_p - y_t) + \beta_{ptz} \left(\frac{dy_p}{dt} - \frac{dy_t}{dt} \right) = P_{\tau\Sigma}(t) + P_y(t);$$

$$m_t \cdot \frac{d^2 y_t}{dt^2} + k_{ptz} (y_t - y_p) + \beta_{ptz} \left(\frac{dy_t}{dt} - \frac{dy_p}{dt} \right) + k_{tz} y_t + \beta_{tz} \frac{dy_p}{dt} = 0.$$

де M_d – крутний момент приводного механізму плоскошліфувального верстата.

Початкові умови для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.16):

$$\varphi_k(0) = 0, \varphi_s(0) = 0, \varphi_N(0) = 0, z_k(0) = 0,$$

$$z_p(0) = 0, z_s(0) = 0, y_k(0) = 0, y_p(0) = 0, y_s(0) = 0,$$

$$\frac{d\varphi_k}{dt}(0) = 0, \frac{d\varphi_s}{dt}(0) = 0; \frac{d\varphi_N}{dt}(0) = 0, \frac{dz_k}{dt}(0) = 0, \frac{dz_p}{dt}(0) = 0, \frac{dz_t}{dt}(0) = 0,$$

$$\frac{dy_k}{dt}(0) = 0, \frac{dy_p}{dt}(0) = 0, \frac{dy_t}{dt}(0) = 0. \quad (2.17)$$

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.16) використано чисельний метод Рунге-Кутта із застосуванням прикладного програмного забезпечення. Розв'язок представлено у вигляді графічних залежностей зміни: кута (рис. 2.2) та швидкості (рис. 2.3) деформації шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні в часі; лінійної деформації (рис. 2.4) та швидкості (рис. 2.5) деформації заготовки із електромагнітною плитою в напрямку осі z в часі; лінійної деформації (рис. 2.6) та швидкості (рис. 2.7) деформації стола плоскошліфувального верстата в напрямку осі z в часі.

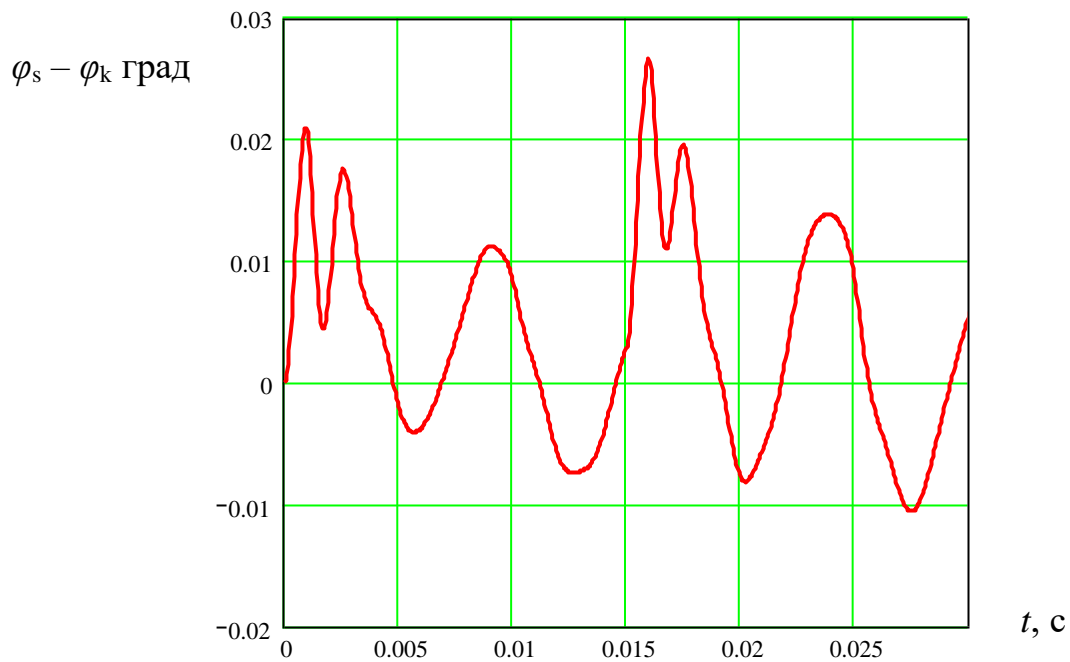


Рисунок 2.2 - Графік зміни кута деформації шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні в часі

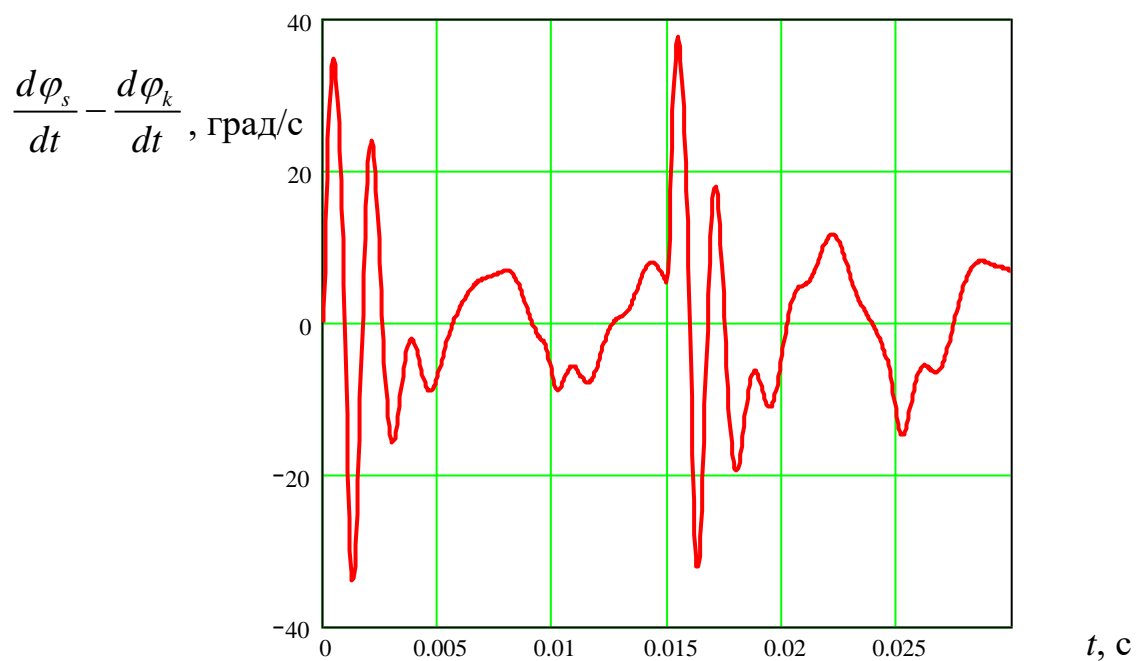


Рисунок 2.3 - Графік зміни швидкості кута деформації шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні в часі

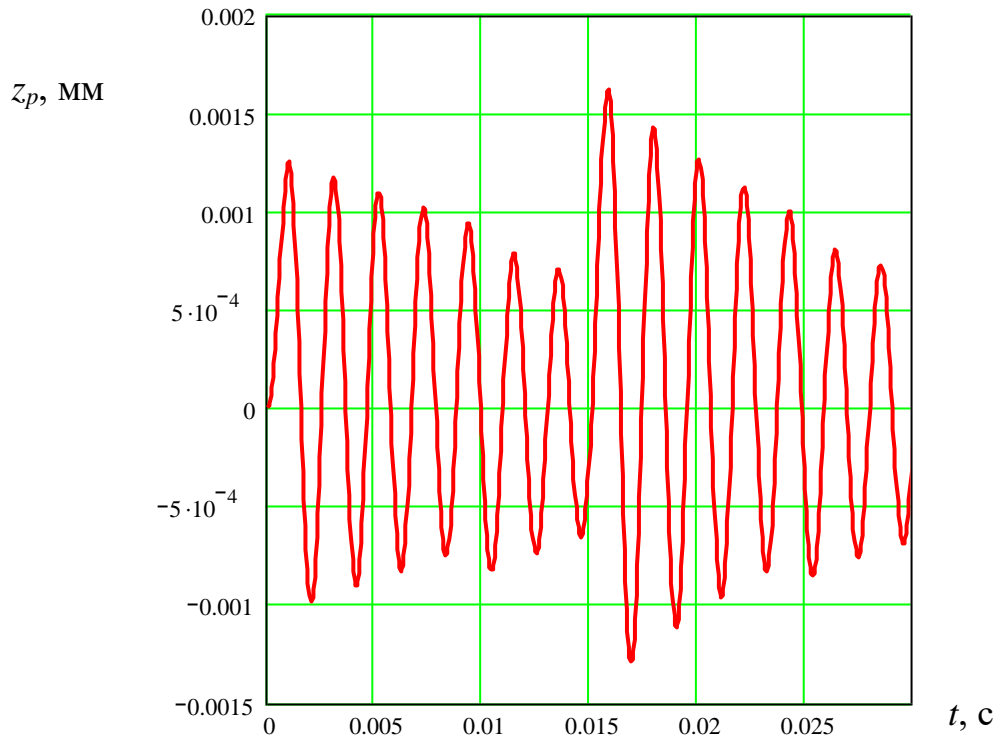


Рисунок 2.4 - Графік зміни лінійної деформації заготовки із електромагнітною плитою в напрямку осі z в часі

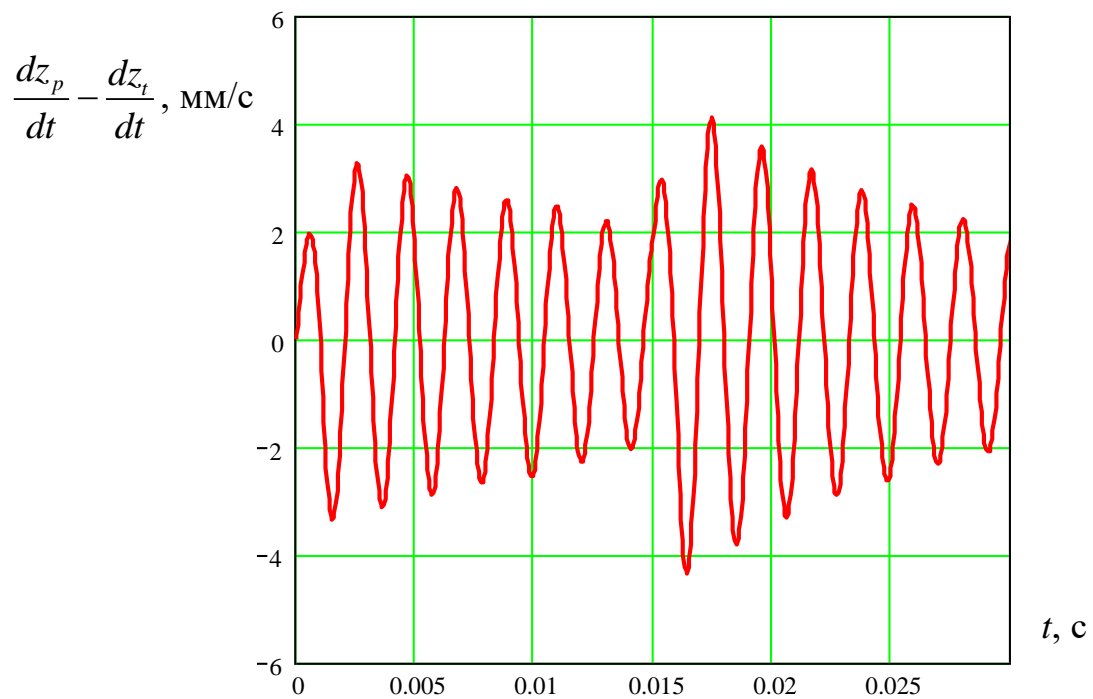


Рисунок 2.5 - Графік зміни лінійної швидкості деформації заготовки із електромагнітною плитою в напрямку осі z в часі

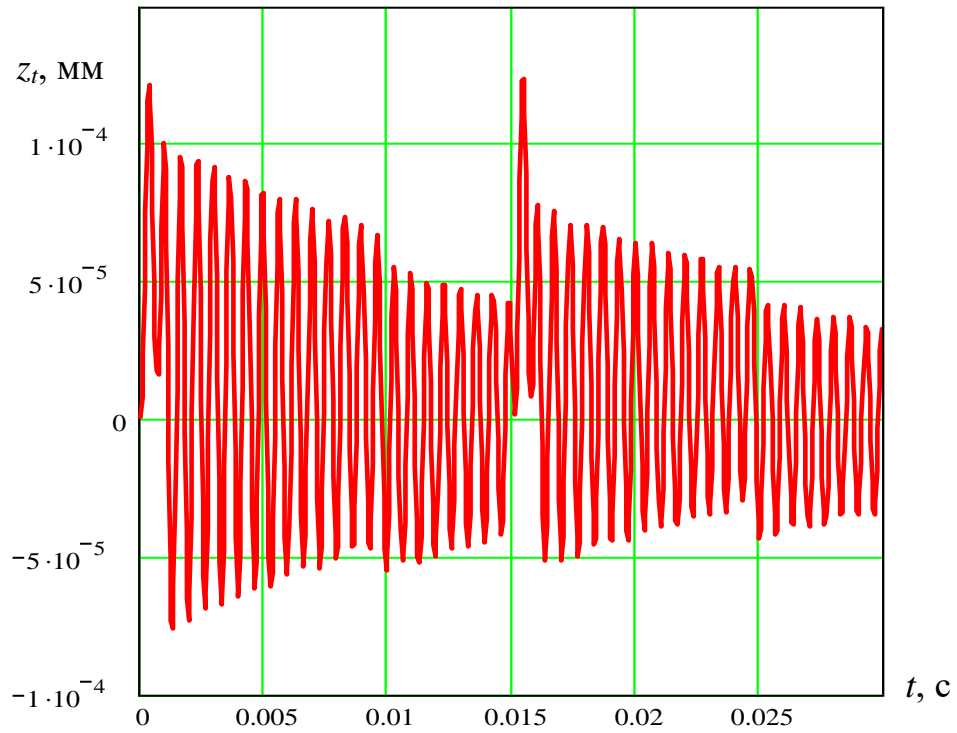


Рисунок 2.6 - Графік зміни лінійної деформації стола плоскошліфувального верстата в напрямку осі z в часі

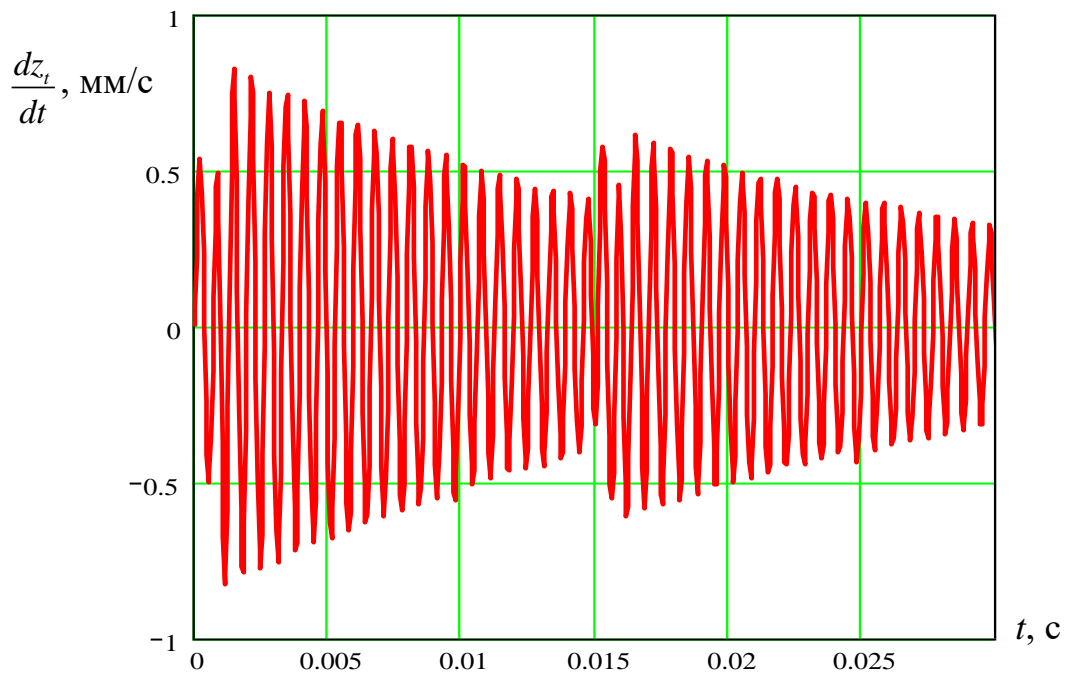


Рисунок 2.7 - Графік зміни швидкості лінійної деформації стола плоскошліфувального верстата в напрямку осі z в часі

На основі графіків рисунків 2.2 – 2.7 встановлено, що найбільші деформації та швидкості деформацій шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні, заготовки із електромагнітною плитою та стола плоскошліфувального верстата в часі при плоскому шліфуванні зростають в моменти виникнення ударів, при чому в момент другого удару ці деформації є більшими ніж у момент першого удару. Після ударів відбувається затухання коливань елементів системи. Зокрема, на графіку рис. 2.2 в момент першого удару кут деформації шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні становив 0,02 град., в момент другого удару - 0,025 град, при цьому швидкість деформації досягала 38 град/с (рис. 2.3). На графіку рис. 2.4 в момент першого удару лінійна деформація заготовки із електромагнітною плитою становила 0,0012 мм., в момент другого удару - 0,0017 мм, при цьому швидкість деформації досягала 4 мм/с (рис. 2.5). На графіку рис. 2.6 в момент першого та другого ударів лінійна деформація стола плоскошліфувального верстата була однаковою і становила 0,00015 мм, при цьому швидкість деформації досягала 0,8 мм/с (рис. 2.7). Одержані деформації знаходяться в межах допустимих величин.

2.2. Експериментальні дослідження процесу шліфування плоскої поверхні

В межах кваліфікаційної роботи проведено ряд експериментів. При першому експерименті визначали залежність потужності шліфування від зміни діаметра шліфувального круга. Причиною проведення цього експерименту було те, що коли відбувалось формування канавки на шліфувальному крузі а також її усунення, зменшувався діаметр шліфувального круга. При другому експерименті перевірялась повторюваність вимірних результатів процесу шліфування з метою визначення контрольованості подачі мастильно-

охолоджуючої рідини та інших параметрів процесу шліфування.

Шліфувальний круг виготовлений на основі оксиду алюмінію Al_2O_3 , матеріал заготовки сталь 45. Глибина різання, величина подачі та швидкість шліфування були постійними величинами для всіх повторювань експерименту і приймали значення 1,2мм, 1,5 мм/с та 20 м/с відповідно. Вимірювання потужності шліфування здійснювалось за допомогою частотного перетворювача та прикладного програмного забезпечення.

З метою проведення експериментів для різних діаметрів шліфувальних кругів, проводилось зменшення радіуса шліфувального круга на 5 мм при кожному експерименті, використовуючи алмазний односточковий інструмент для правлення, використовуючи режими процесу правлення: глибина правлення 0,01 мм, лінійна швидкість шліфувального круга 20 м/с.

На рис. 2.8 представлено залежність потужності шліфування від діаметра шліфувального круга. Із якого можна побачити, що спожита потужність знижується при зниженні діаметра шліфувального круга.

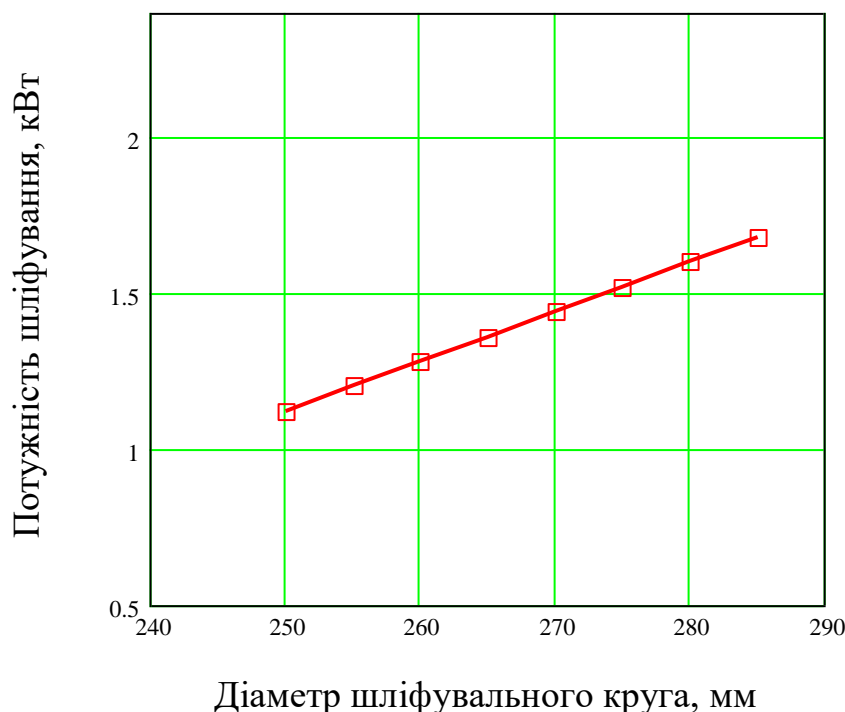


Рисунок 2.8 – Графік залежності потужності шліфування від діаметра шліфувального круга

Максимальні зміни спожитої потужності досягали приблизно 32%, коли діаметр шліфувального круга зменшився на 35 мм.

Також із цього рисунка видно, що результати мають прямолінійне співвідношення. Середньоквадратичне відхилення становило 0,92. Така тенденція одержана через лінійне зниження контактної площі між заготовкою та шліфувальним кругом при зменшенні діаметра шліфувального круга. Важливішим є те, що результати експерименту є доказовим свідченням для експериментів при застосуванні шліфувальних кругів із канавками (при яких зменшується діаметр шліфувального круга на величину, яка є меншою ніж у проведених дослідженнях).

Траєкторія шліфування здійснювалась під кутом, тому при переміщенні шліфувального круга вздовж заготовки відбувалось зростання глибини різання. Це дозволяло одержати точні значення величини критичної глибини різання, коли відбувалось припалювання заготовки. Початкова глибина різання дорівнювала 1 мм. Швидкість різання та подача заготовки залишались незмінними для усіх експериментів і дорівнювали 20 м/с та 1,4 мм/с відповідно. Продуктивність подачі мастильно-охолоджуючої рідини складала 40 літрів/хв.

Протягом процесу шліфування вздовж заготовки відбувалось вимірювання потужності різання. Різде зростання потужності різання свідчило про припалювання поверхні заготовки.

На рис. 2.9 показано криві залежності потужності шліфування при експериментальних дослідження звичайних шліфувальних кругів та кругів із канавками, де потужність на шпинделі верстата представлено як функцію глибини різання. Із цього рисунка можна побачити, що при збільшенні глибини різання відбувається зростання потужності різання.

Також на рис. 2.9 можна побачити, що звичайний шліфувальний круг досягав максимальної глибини різання 1,4 мм, що була граничною глибиною різання, при якій відбувалось термічне пошкодження заготовки. При використанні шліфувального круга з канавкою максимальна глибина різання

досягала величини 2,4 мм. При цьому потужність на шпинделі зменшувалась на 48% порівняно із випадком при застосуванні звичайного шліфувального круга.

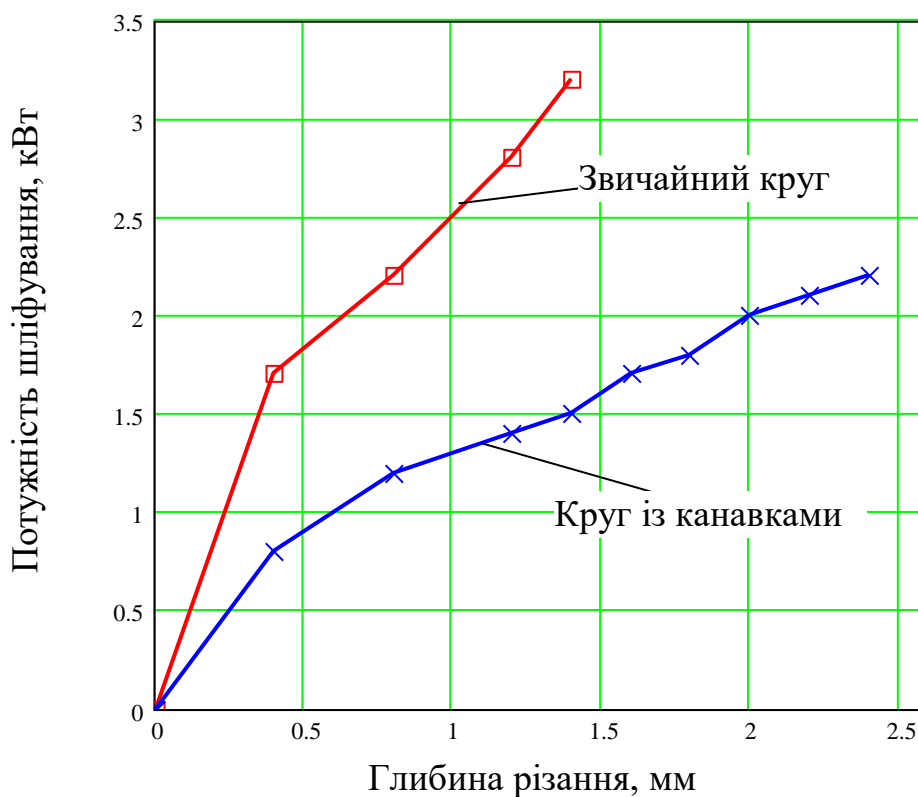


Рисунок 2.9 – Графік залежності потужності шліфування від глибини різання

Подібні тенденції також спостерігались при вимірюванні тангенціальної та радіальної сил різання при шліфуванні, що зображено на рис. 2.10 та 2.11. Зниження потужності на шпинделі та сил різання при використанні шліфувального круга із канавками порівняно із звичайним шліфувальним кругом ймовірно є через комбінацію двох факторів: по-перше, при використанні шліфувального круга із канавкою відбувається збільшення подачі мастильно-охолоджуючої рідини в зону контакту між заготовкою та шліфувальним кругом, що покращує процес різання, по-друге, утворення канавок на шліфувальному крузі може збільшити відстань між активними ріжучими абразивними зернами на поверхні круга, як наслідок зростає товщина стружки та підвищується продуктивність процесу.

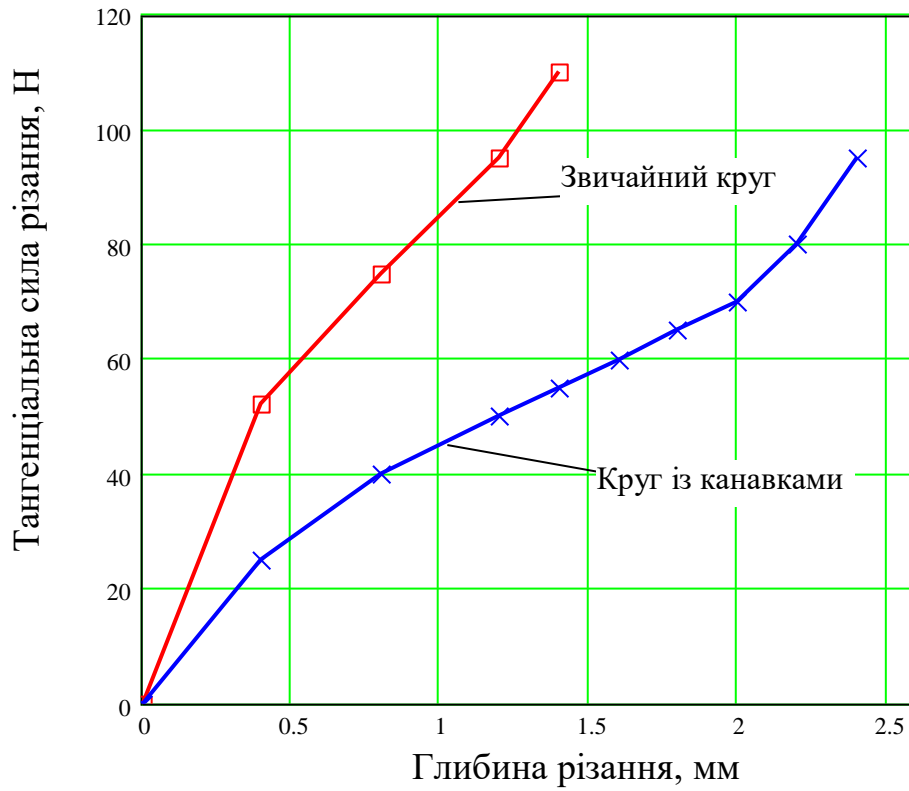


Рисунок 2.10 – Графік залежності тангенціальної сили шліфування від глибини різання

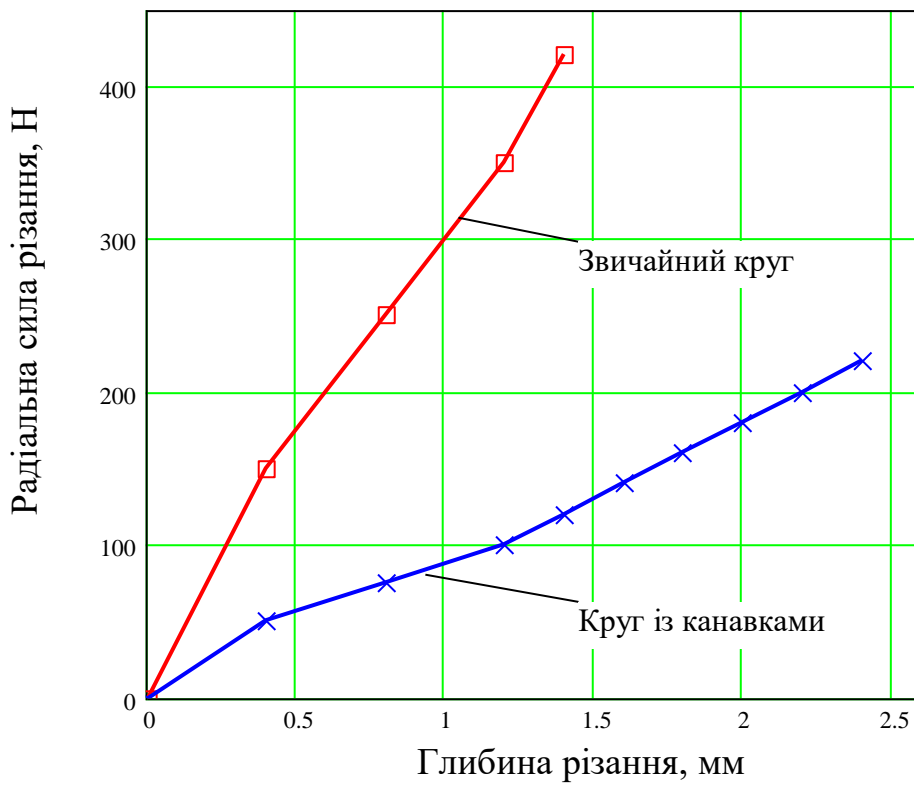


Рисунок 2.11 – Графік залежності радіальної сили шліфування від глибини різання

На рис. 2.12 представлено графік залежності шорсткості поверхні від глибини різання при шліфуванні і використанні звичайного шліфувального круга та шліфувального круга з канавками.

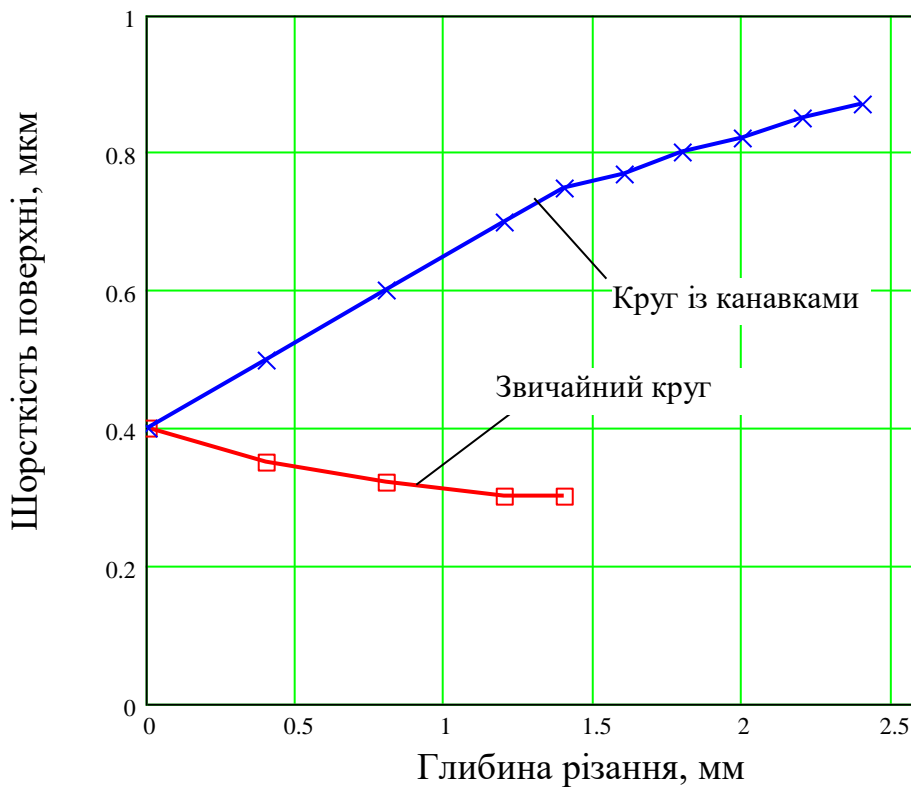


Рисунок 2.12 – Графік залежності шорсткості поверхні від глибини різання при шліфуванні

Із рисунка бачимо, що при застосуванні шліфувального круга з канавками одержується вища поверхнева шорсткість. Зростання поверхневої шорсткості свідчить, що формування канавок на робочій поверхні круга створює гострішу ріжучу поверхню – це спостереження відповідає гіпотезі, що формування канавки на шліфувальному крузі може збільшувати відстань між активними ріжучими абразивними зернами. Проте слід відмітити, що результуюче зростання поверхневої шорсткості знаходиться нижче 1,6 мкм, що відповідає середній шорсткості поверхні при шліфуванні.

2.3. Висновки

У розділі проведено дослідження динамічних навантажень та коливань конструктивних елементів процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні. Завдання вирішено на основі формування системи диференціальних рівнянь з координатами переміщень елементів та їх розв'язку чисельними методами. При цьому для спрощення динамічної моделі, а відповідно і розрахунків виникла необхідність у відкиданні другорядних факторів і наближення системи до ідеальної.

На основі графіків розв'язку системи диференціальних рівнянь встановлено, що найбільші деформації та швидкості деформацій шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні, заготовки із електромагнітною плитою та стола плоскошліфувального верстата в часі при плоскому шліфуванні зростають в моменти виникнення ударів, при чому в момент другого удару ці деформації є більшими ніж у момент першого удару. Після ударів відбувається затухання коливань елементів системи. В момент першого удару кут деформації шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні становив 0,02 град., в момент другого удару - 0,025 град, при цьому швидкість деформації досягала 38 град/с. В момент першого удару лінійна деформація заготовки із електромагнітною плитою становила 0,0012 мм., в момент другого удару - 0,0017 мм, при цьому швидкість деформації досягала 4 мм/с. В момент першого та другого ударів лінійна деформація стола плоскошліфувального верстата була однаковою і становила 0,00015 мм, при цьому швидкість деформації досягала 0,8 мм/с. Одержані деформації знаходяться в межах допустимих величин.

Представлено результати експериментальних досліджень енергосилових параметрів процесу шліфування плоскої поверхні звичайним кругом та кругом із канавками. Встановлено, що спожита потужність знижується при зниженні діаметра шліфувального круга. Максимальні зміни спожитої потужності

досягали приблизно 32%, коли діаметр шліфувального круга зменшився на 35 мм. Результати мають прямолінійне співвідношення. Середньоквадратичне відхилення становило 0,92. Така тенденція одержана через лінійне зниження контактної площі між заготовкою та шліфувальним кругом при зменшенні діаметра шліфувального круга. Різке зростання потужності різання свідчило про припалювання поверхні заготовки.

Звичайний шліфувальний круг досягав максимальної глибини різання 1,4 мм, що була граничною глибиною різання, при якій відбувалось термічне пошкодження заготовки. При використанні шліфувального круга з канавкою максимальна глибина різання досягала величини 2,4 мм. При цьому потужність на шпинделі зменшувалась на 48% порівняно із випадком при застосуванні звичайного шліфувального круга.

При застосуванні шліфувального круга з канавками одержується вища поверхнева шорсткість. Проте слід відмітити, що результуюче зростання поверхневої шорсткості знаходиться нижче 1,6 мкм, що відповідає середній шорсткості поверхні при шліфуванні.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 15.707.04 є базовим елементом промислових світильників.

Основними поверхнями деталі є: внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236H9^{(+0,115)}$; Ra2,5 – призначена для встановлення корпусу; зовнішня різьова поверхня M120×2-8g; Ra6,3 – для загвинчування корпусу, до якого кріпляться розсіювач та захисна сітка; торцева поверхня 137h14_(-1,0); Ra12,5 – для забезпечення щільного контакту з корпусами та правильного взаємного розміщення елементів світильника; різевий отвір M6-7H; Ra6,3 – отвір для загвинчування запобіжного гвинта, що попередить самовідгвинчування.

Аналіз технічних вимог представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1,5	Торцева поверхня 139h14 _(-1,0)	14	Ra12,5
2	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 250h12_{(-0,46)}$; l=2,5	12	Ra12,5
3	Торцева поверхня 5h14 _(-0,3)	14	Ra12,5
4	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 242h12_{(-0,46)}$; l=2,5	12	Ra12,5
6	Внутрішня фаска 1×45°	14	Ra12,5
7	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236H9^{(+0,115)}$; l=5	9	Ra2,5
8	Внутрішня торцева поверхня 5±0,1	14	Ra12,5
9	Зовнішня зарізева канавка b=4,5h14 _(-0,3) ; $\varnothing 117h14_{(-0,87)}$	14	Ra12,5
10	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 119,8h12_{(-0,29)}$ під різь M120×2-8g	12	Ra6,3

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
11	Зовнішня різева поверхня M120×2-8g; l=19	12	Ra6,3
12	Зовнішня фаска 45°±1°	14	Ra12,5
13	Зовнішня циліндрична поверхня Ø115h14(-0,87); l=5±0,1	14	Ra12,5
14	Зовнішня фаска 1×45°	14	Ra12,5
15-17	Три глухих отвори Ø4,95H12(+0,12); l=19; Ø96±0,1 під різь M6-7H	12	Ra12,5
18-20	Три внутрішні фаски 1×45°	14	Ra12,5
21-23	Три різевих отвори M6-7H; l=14	12	Ra6,3
24-25	Два наскрізні отвори Ø5H14(+0,3); l=2,5; Ø31±0,3	14	Ra12,5
26-27	Два наскрізні отвори Ø4H14(+0,3); l=2,5; Ø22±0,1	14	Ra12,5
28-30	Три наскрізні отвори Ø6H14(+0,3); l=2,5; Ø210±0,1	14	Ra12,5
31	Отвір глухий Ø4,95H12(+0,12); l=18,5 під різь M6-7H	14	Ra12,5
32	Внутрішня фаска 1×45°	14	Ra12,5
33	Різевий отвір M6-7H; l=9	12	Ra6,3
34	Отвір глухий Ø4,95H12(+0,12); l=7 під різь M6-7H	14	Ra12,5
35	Внутрішня фаска 1×45°	14	Ra12,5
36	Різевий отвір M6-7H; l=5	12	Ra6,3

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Корпус 15.707.04 виготовляється із сплаву АК12, тому для вибору способу виготовлення заготовки розглянуто два варіанти:

- 1) литво під тиском;
- 2) литво у піщані форми.

Масу заготовки визначено за формулою:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

$q = 1,2$ кг – маса деталі;

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.2)$$

У таблиці 3.2. представлено дані про припуски оброблюваних поверхонь корпусу.

Ескізи варіантів заготовок представлено на рис. 3.1, 3.2.

Визначаємо об'єми припусків для двох варіантів виготовлення заготовки:

- литво під тиском

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (245,2^2 - 231,2^2) \cdot 1,2}{4} = 6282,76 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (253,2^2 - 245,2^2) \cdot 3,7}{4} = 11580,82 \text{ мм}^3;$$

Таблиця 3.2 – Припуски корпусу 15.707.04

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
1) литво під тиском				
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 236\text{H}9^{(+0,115)}$; $l=5$	Ra2,5	1,4	$2,4 \times 2 = 4,8$	$\varnothing 231,2 \pm 0,7$
Торцева поверхня $139\text{h}14_{(-1,0)}$	Ra12,5	1,2	$1,2 \times 2 = 2,4$	$141,4 \pm 0,6$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 119,8\text{h}12_{(-0,29)}$ під різь M120×2-8g	Ra6,3	1,2	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 122,2 \pm 0,6$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 250\text{h}12_{(-0,46)}$; $l=2,5$	Ra12,5	1,4	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 253,2 \pm 0,7$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 242\text{h}12_{(-0,46)}$; $l=2,5$	Ra12,5	1,4	$1,6 \times 2 = 3,2$	$\varnothing 245,2 \pm 0,7$

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4	5
Внутрішня та зовнішня торцеві поверхні 5±0,1	Ra12,5	0,56	0,9	4,1±0,28 на кресленні вказується 5,3±0,28
2) литво у піщані форми				
Внутрішня циліндрична поверхня Ø236H9(+0,115); l=5	Ra2,5	5,6	5,0 × 2 = 10,0	Ø226±2,8
Торцева поверхня 139h14(-1,0)	Ra12,5	5,0	5,0 × 2 = 10,0	149±2,5
Зовнішня циліндрична поверхня Ø119,8h12(-0,29) під різь M120×2-8g	Ra6,3	5,0	5,0 × 2 = 10,0	Ø129,8±2,5
Зовнішня циліндрична поверхня Ø250h12(-0,46); l=2,5	Ra12,5	5,6	6,0 × 2 = 12,0	Ø262±2,8

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (250^2 - 245,2^2) \cdot 28}{4} = 2239,1 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (122,2^2 - 119,8^2) \cdot 30,4}{4} = 13860,2 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (119,8^2 - 84^2) \cdot 1,2}{4} = 6872,87 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2,5}{4} = 98,125 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 2^2 \cdot 2,5}{4} = 15,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 19}{4} = 1118,63 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 7}{4} = 137,4 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 18,5}{4} = 274,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = \frac{\pi \cdot (236^2 - 231,2) \cdot 5}{4} = 8802,05 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр11}} = \frac{\pi \cdot (231,2^2 - 226^2) \cdot 0,9}{4} = 1679,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}_i};$$

$$V_{\text{пр}} = 6282,76 + 11580,82 + 2239,1 + 13860,2 + 6872,87 + 98,1256 + \\ + 15,7 + 1118,63 + 137,4 + 274,75 + 8802,05 + 1679,7 = 52962,07 \text{ мм}^3 = 52,96 \text{ см}^3.$$

- литво у піщані форми:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (262^2 - 226^2) \cdot 5}{4} = 68954,4 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (262^2 - 242^2) \cdot 5}{4} = 39564 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (262^2 - 250^2) \cdot 2,5}{4} = 12057,6 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (236^2 - 226^2) \cdot 5}{4} = 18133,5 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot (129,8^2 - 119,8^2) \cdot 34,2}{4} = 67010,12 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2,5}{4} = 98,125 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 2^2 \cdot 2,5}{4} = 15,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = 3 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 19}{4} = 1118,63 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 7}{4} = 137,4 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр9}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 18,5}{4} = 274,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр10}} = \frac{\pi \cdot (119,8^2 - 84^2) \cdot 5}{4} = 28636,96 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр11}} = \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 2,5}{4} = 196,25 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}_i};$$

$$V_{\text{пр}} = 68954,4 + 39564 + 12057,6 + 18133,5 + 67010,12 + 98,125 + \\ + 15,7 + 1118,63 + 137,4 + 274,75 + 28636,96 + 196,25 = 236197,435 \text{ мм}^3 = 236,2 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

– литво під тиском:

$$m_{\text{пр1}} = 52,96 \cdot 2,6 = 137,696 \text{ г} = 0,14 \text{ кг}.$$

– литво у піщані форми:

$$m_{\text{пр2}} = 236,2 \cdot 2,6 = 614,12 \text{ г} = 0,614 \text{ кг}.$$

Визначаємо маси заготовок:

– литво під тиском:

$$Q_1 = 1,2 + 0,14 = 1,34 \text{ кг}.$$

– литво у піщані форми:

$$Q_2 = 1,2 + 0,614 = 1,814 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.3)$$

– литво під тиском:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,2}{1,34} = 0,89.$$

– литво у піщані форми:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,2}{1,814} = 0,66.$$

За результатами розрахунків для розроблення технологічного процесу вибрано спосіб виготовлення заготовки – литво під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

Для формування технологічного процесу виготовлення корпусу 15.707.04 сформовано таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Варіанти технологічного процесу виготовлення корпусу 15.707.04

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1,5	Торцева поверхня 139h14 _(-1,0)	14	Ra12,5	Напівчистове точіння поперечною подачею	–
2	Зовнішня циліндрична поверхня Ø250h12 _(-0,46) ; l=2,5	12	Ra12,5	Точіння напівчистове при поздовжній подачі	–
3	Торцева поверхня 5h14 _(-0,3)	14	Ra12,5	Напівчистове точіння поперечною подачею	–
4	Зовнішня циліндрична поверхня Ø242h12 _(-0,46) ; l=2,5	12	Ra12,5	Точіння напівчистове при поздовжній подачі	–
6	Внутрішня фаска 1×45°	14	Ra12,5	Розточування напівчистове	–
7	Внутрішня циліндрична поверхня Ø236H9 ^(+0,115) ; l=5	9	Ra2,5	Напівчистове розточування Чистове розточування	–

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
8	Внутрішня торцева поверхня $5\pm 0,1$	14	Ra12,5	Розточування напівчистове поперечною подачею	—
9	Зовнішня зарізева канавка $b=4,5h14_{(-0,3)}$; $\varnothing 117h14_{(-0,87)}$	14	Ra12,5	Точіння напівчистове методом копіювання спеціальним різцем поперечною подачею	—
10	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 119,8h12_{(-0,29)}$ під різь M120×2-8g	12	Ra6,3	Точіння напівчистове при поздовжній подачі	—
11	Зовнішня різева поверхня M120×2-8g; $l=19$	12	Ra6,3	Нарізання різі різцем	—
12	Зовнішня фаска $45^\circ\pm 1^\circ$	14	Ra12,5	Точіння напівчистове при поздовжній подачі	—
13	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 115h14_{(-0,87)}$; $l=5\pm 0,1$	14	Ra12,5	Точіння напівчистове при поздовжній подачі	—
14	Зовнішня фаска $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Точіння напівчистове при поздовжній подачі	—
15-17	Три глухих отвори $\varnothing 4,95H12^{(+0,12)}$; $l=19$; $\varnothing 96\pm 0,1$ під різь M6-7H	12	Ra12,5	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
18-20	Три внутрішні фаски $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Свердління комбінованим свердлом	Зенкування
21-23	Три різевих отвори M6-7H; $l=14$	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—
24-25	Два наскрізні отвори $\varnothing 5H14^{(+0,3)}$; $l=2,5$; $\varnothing 31\pm 0,3$	14	Ra12,5	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору

Закінчення таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6
26-27	Два наскрізні отвори $\varnothing 4H14^{(+0,3)}$; $l=2,5$; $\varnothing 22\pm 0,1$	14	Ra12,5	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
28-30	Три наскрізні отвори $\varnothing 6H14^{(+0,3)}$; $l=2,5$; $\varnothing 210\pm 0,1$	14	Ra12,5	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
31	Отвір глухий $\varnothing 4,95H12^{(+0,12)}$; $l=18,5$ під різь М6-7Н	14	Ra12,5	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
32	Внутрішня фаска $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Свердління комбінованим свердлом	Зенкування
33	Різовий отвір М6-7Н; $l=9$	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—
34	Отвір глухий $\varnothing 4,95H12^{(+0,12)}$; $l=7$ під різь М6-7Н	14	Ra12,5	Центрування Свердління	Свердління по кондуктору
35	Внутрішня фаска $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Свердління комбінованим свердлом	Зенкування
36	Різовий отвір М6-7Н; $l=5$	12	Ra6,3	Нарізання різі мітчиком	—

В результаті обробки даних таблиці 3.4 одержано операційну технологію обробки корпусу 15.707.04.

005. Токарна з ЧПК

2. Підрізати остаточно торець 5, витримуючи розмір $140,2_{-1,0}$; точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 4, витримуючи розмір $\varnothing 242_{-0,46}$; підрізати остаточно торець 3, витримуючи розмір $5\pm 0,1$; точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 2, витримуючи розмір $\varnothing 250_{-0,46}$ послідовно по програмі.

3. Розточити остаточно фаску 6 та попередньо отвір 7 з остаточною підрізанням внутрішнього торця 8, витримуючи розміри $1\times 45^\circ$; $\varnothing 235,53^{+0,29}$; $5\pm 0,1$ послідовно по програмі.

4. Розточити остаточно отвір 7, витримуючи розмір $\varnothing 236^{+0,115}$ на токарному верстаті з ЧПК мод. 16K20Ф3.

6. Перевірити розміри: $140,2_{-1,0}$; $\varnothing 242_{-0,46}$; $5 \pm 0,1$; $\varnothing 250_{-0,46}$; $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 236^{+0,115}$. Контроль 30%.

010 Токарна з ЧПК

2. Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розмір $139_{-1,0}$.

3. Точити остаточно канавку 9, витримуючи розміри $b=4,5_{-0,3}$; $\varnothing 117_{-0,87}$.

4. Точити остаточно зовнішню фаску 14, витримуючи розмір $3,14 \times 45^\circ$; зовнішню циліндричну поверхню 11, витримуючи розмір $\varnothing 119,8_{-0,29}$ послідовно по програмі.

5. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 13, фаску 12, витримуючи розміри $\varnothing 115_{-0,87}$; $l=5 \pm 0,1$; $45^\circ \pm 1^\circ$ послідовно по програмі.

6. Нарізати зовнішню різь 11, витримуючи розміри $M120 \times 2-8g$; $l=19$ по програмі.

8. Перевірити розміри: $139_{-1,0}$; $b=4,5_{-0,3}$; $\varnothing 117_{-0,87}$; $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 115_{-0,87}$; $l=5 \pm 0,1$; $45^\circ \pm 1^\circ$; $M120 \times 2-8g$; $l=19$. Контроль 30%.

015. Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати отвори 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, витримуючи розміри $\varnothing 1^{+0,1}$; $\varnothing 2,2^{+0,1}$; $1,3^{+0,1}$; $0,97^{+0,06}$ послідовно по програмі.

2. Свердлити два отвори 24, 25, витримуючи розміри $\varnothing 5^{+0,3}$; $l=2,5$; $\varnothing 31 \pm 0,3$ послідовно по програмі.

3. Свердлити два отвори 26, 27, витримуючи розміри $\varnothing 4^{+0,3}$; $l=2,5$; $\varnothing 22 \pm 0,1$ послідовно по програмі.

4. Свердлити три отвори 28, 29, 30, витримуючи розміри $\varnothing 6^{+0,3}$; $l=2,5$; $\varnothing 210 \pm 0,1$ послідовно по програмі.

5. Свердлити отвір 31 з одночасним формуванням фаски 32, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $l=18,5$; $1 \times 45^\circ$ послідовно по програмі.

6. Нарізати різь 33, витримуючи розміри $M6-7H$; $l=9$ на свердлильному верстаті з ЧПК мод. 2P135Ф2.

7. Перевірити розміри: $\varnothing 5H14^{(+0,3)}$; $l=2,5$; $\varnothing 31\pm 0,3$; $\varnothing 4^{+0,3}$; $l=2,5$; $\varnothing 22\pm 0,1$; $\varnothing 6^{+0,3}$; $l=2,5$; $\varnothing 210\pm 0,1$; $l=18,5$; $1\times 45^\circ$; М6-7Н; $l=9$. Контроль 30%.

020. Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати три отвори 15,16,17, витримуючи розміри $\varnothing 1^{+0,1}$; $\varnothing 2,2^{+0,1}$; $1,3^{+0,1}$; $0,97^{+0,06}$ послідовно по програмі.

2. Свердлити три отвори 15,16,17 з одночасним формуванням фасок 18,19,20, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $l=19$; $\varnothing 96\pm 0,1$; $1\times 45^\circ$ послідовно по програмі.

3. Нарізати різь 21, 22, 23, витримуючи розміри М6-7Н; $l=14$ послідовно по програмі на свердлильному верстаті з ЧПК мод. 2P135Ф2.

4. Перевірити розміри: $1\times 45^\circ$; М6-7Н; $l=14$

Операція 025. Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати отвір 34, витримуючи розміри $\varnothing 1^{+0,1}$; $\varnothing 2,2^{+0,1}$; $1,3^{+0,1}$; $0,97^{+0,06}$.

2. Свердлити отвір 34 з одночасним формуванням фаски 35, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $l=7$; $1\times 45^\circ$.

3. Нарізання різі 36, витримуючи розміри М6-7Н; $l=5$ на свердлильному верстаті з ЧПК мод. 2P135Ф2.

4. Розкріпити деталь, зняти.

5. Перевірити розміри: $1\times 45^\circ$; М6-7Н; $l=5$.

030. Контроль.

3.5. Визначення припусків на оброблення

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 139h14 _(-1,0)					
Напівчистове точіння	14	Ra12,5	1,0	1,2	139 _{-1,0}
Напівчистове точіння	14	Ra12,5	1,0	1,2	140,2 _{-1,0}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,2	1,2 × 2 = 2,4	141,4±0,6
Зовнішня циліндрична поверхня Ø119,8h12 _(-0,29) під різь М120×2-8g					
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	0,29	1,2 × 2 = 2,4	Ø119,8 _{-0,29}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,2	–	Ø122,2±0,6
Зовнішня циліндрична поверхня Ø250h12 _(-0,46) ; l=2,5					
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	0,46	1,6 × 2 = 3,2	Ø250 _{-0,46}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,4	–	Ø253,2±0,7
Зовнішня торцева поверхня 5±0,1					
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	0,2	0,9	5±0,1
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,56	–	4,1±0,28
Внутрішня торцева поверхня 5±0,1					
Розточування напівчистове	14	Ra12,5	0,2	0,9	5±0,1
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,56	–	4,1±0,28
Зовнішня циліндрична поверхня Ø242h12 _(-0,46)					
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	0,46	1,6 × 2 = 3,2	Ø242 _{-0,46}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,4	–	Ø245,2±0,7
Зовнішня циліндрична поверхня Ø115h14 _(-0,87)					

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	0,87	$2,4 \times 2 = 4,8$	$\varnothing 115_{-0,87}$
Заготовка	попередньо оброблена	Ra12,5	0,29		$\varnothing 119,8_{-0,29}$

3.6. Визначення режимів різання

Результати оформлено у вигляді таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Режими різання механічної обробки корпусу 15.707.04

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _m , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _m , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарна з ЧПК										
Перехід 2										
Підрізати остаточно торець 5, витримуючи розмір $140,2_{-1,0}$; точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 4, витримуючи розмір $\varnothing 242_{-0,46}$; підрізати остаточно торець 3, витримуючи розмір $5 \pm 0,1$; точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 2, витримуючи розмір $\varnothing 250_{-0,46}$ послідовно по програмі										
1,2	10	1	64	0,776	354	273,3	276,8	0,041	3,4	
1,6	5	1	64	0,31	562	425,5	167	0,031	3,6	
1,6	7	1	64	0,31	562	439,6	167	0,421	3,6	
Перехід 3										
Розточити остаточно фаску 6 та попередньо отвір 7 з остаточною підрізанням внутрішнього торця 8, витримуючи розміри $1 \times 45^\circ$; $\varnothing 235,53^{+0,29}$; $5 \pm 0,1$ послідовно по програмі										
1,865	13,65	1	46	0,2	561	414,17	114	0,121	2,8	

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 4 Розточити остаточно отвір 7, витримуючи розмір $\varnothing 236^{+0,115}$	0,235	29,4	1	61	0,081	901	668	71	0,41	0,15
010 Токарна з ЧПК										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 1, витримуючи розмір $139_{-1,0}$	1,2	23,1	1	61	0,77	561	215	436,6	0,052	3,4
Перехід 3										
Точити остаточно канавку 9, витримуючи розміри $b=4,5_{-0,3}$; $\varnothing 117_{-0,87}$	3,38	6	1	46	0,12	450	165,3	46	0,14	3,6
Перехід 4										
Точити остаточно зовнішню фаску 14, витримуючи розмір $3,14 \times 45^\circ$; зовнішню циліндричну поверхню 11, витримуючи розмір $\varnothing 119,8_{-0,29}$ послідовно по програмі	3,14 1,2	40	1	61	0,32	711	267	214	0,19	3,2
Перехід 5 Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 13, фаску 12, витримуючи розміри $\varnothing 115_{-0,87}$; $l=5 \pm 0,1$; $45^\circ \pm 1^\circ$ послідовно по програмі	2,4	12,5	1	61	0,3	712	256,5	214	0,061	3,4
Перехід 6 Нарізати зовнішню різь 11, витримуючи розміри $M120 \times 2-8g$; $l=19$ по програмі	1,08	28	5	61	2	451	176,7	901	0,157	0,86
015 Свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Центрувати отвори 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, витримуючи розміри $\varnothing 1^{+0,1}$; $\varnothing 2,2^{+0,1}$; $1,3^{+0,1}$; $0,97^{+0,06}$ послідовно по програмі	0,5	4,27	8	16	0,086	1401	4,45	114	0,306	0,2

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Свердли три отвори 15,16,17 з одночасним формуванням фасок 18,19,20, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $l=19$; $\varnothing 96 \pm 0,1$; $1 \times 45^\circ$ послідовно по програмі	2,5	22	3	21	0,16	1502	23,5	224	0,31	0,85
Перехід 4										
Нарізати різь 21, 22, 23, витримуючи розміри М6-7Н; $l=14$ послідовно по програмі	0,54	35	3	21	1,1	561	10,56	561	0,18	0,06
025 Свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Центрувати отвір 34, витримуючи розміри $\varnothing 1^{+0,1}$; $\varnothing 2,2^{+0,1}$; $1,3^{+0,1}$; $0,97^{+0,06}$	0,5	4,27	1	16	0,07	1401	4,45	114	0,04	0,2
Перехід 3 Свердли отвір 34 з одночасним формуванням фаски 35, витримуючи розміри $\varnothing 4,95^{+0,12}$; $l=7$; $1 \times 45^\circ$	2,5	10	1	21	0,16	1501	23,7	226	0,045	0,85
Перехід 4 Нарізаня різі 36 витримуючи розміри М6-7Н; $l=5$	0,54	15	1	21	1,1	561	10,56	561	0,03	0,06

Результати розрахунку технічних норм часу на механічну обробку корпусу 15.707.04 оформлено у вигляді таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Норми часу на механічну обробку корпусу 15.707.04

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д хв			T _{оп} , хв	T _ц , хв	Час обслуговування, T _{об} , хв			T _{шт.} , хв.	T _{п.з.} , хв.	п, шт	T _{шт.к.} , хв
		T _{у.}	T _{пер.}	T _{внм.}			T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}				
005 Токарна з ЧПК	1,022											635	2,35
010 Токарна з ЧПК	0,589	0,2	0,5	0,456	2,156	1,0	0,151			2,48	28,65		2,53
015 Свердлильна з ЧПК	0,694												1,2
020 Свердлильна з ЧПК	0,6												1,032
025 Свердлильна з ЧПК	0,114												0,2

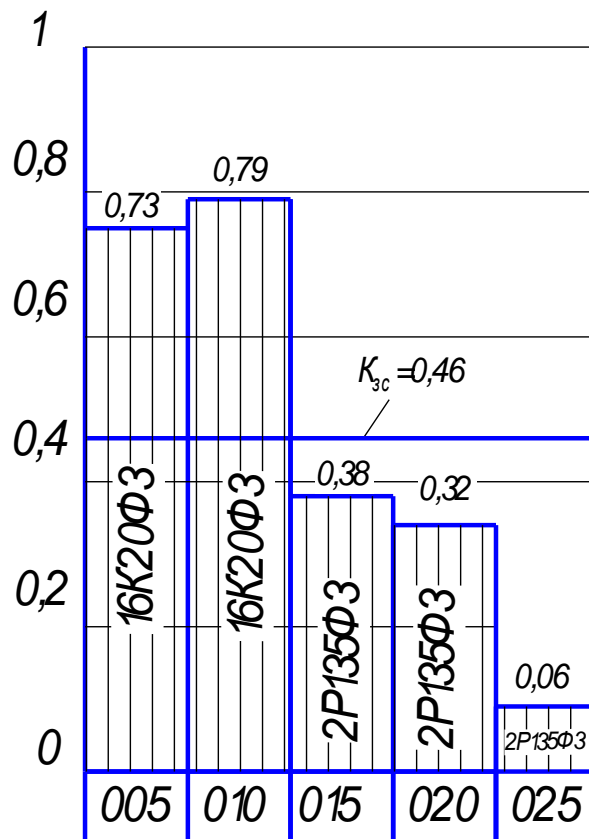


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

3.7. Розрахунок пристосування

Для обробки корпусу 15.707.04 на 010 токарній з ЧПК операції розроблено спеціальний патрон із елементами базування та затиску. Базування деталі здійснюється по внутрішній циліндричній поверхні $\varnothing 236$ мм та по торцю 5мм на базу поз. 14. Затиск деталі здійснюється по зовнішній торцевій поверхні. (пристрій представлено у графічній частині кваліфікаційної роботи).

Похибку базування визначено за розрахунковою схемою рис. 3.4.

Визначаємо максимальний зазор:

$$D_{\max.д.} = 236 + 0,115 = 236,115 \text{ мм.}$$

$$d_{\min.п.} = 236 + (-0,096) = 235,904 \text{ мм.}$$

$$S_{\max.} = 236,115 - 235,904 = 0,211 \text{ мм.}$$

Тоді, похибка базування буде складати: $\Delta \varepsilon_{бр.} = 0,211 \text{ мм.}$

Визначення сили затиску заготовки проведено для чорнового проточування поверхні $\varnothing 119,8_{-0,29}$ на 010 токарній з ЧПК операції.

Розрахункову схему патрона представлено на рисунку 3.5.

Рівняння рівноваги моменту різання і суми моментів тертя із врахування коефіцієнта запасу:

$$KM_{різ} = \sum M_{тр}, \quad (3.7)$$

Момент різання:

$$M_{різ} = P_z \cdot r, \quad (3.8)$$

де P_z – тангенціальна сила різання;

$r=59,9$ мм – радіус обробки заготовки.

Момент тертя [24]:

$$\sum M_{\text{тр}} = Q \cdot R \cdot f_1 + \frac{2Qf_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (3.9)$$

де $R_1=118\text{мм}$; $R_2=121\text{мм}$; $R=120\text{мм}$.

Із рівнянь 3.9 та (3.7) одержано:

$$Q = \frac{K \cdot P_z \cdot r}{f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^2 - R_1^2)}}. \quad (3.10)$$

$K = 2,6$.

Тангенціальна сила різання [20]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (3.11)$$

де $C_p = 40$, $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0$;

$t = 1,2 \text{ мм}$;

$S = 0,3 \text{ мм/об}$;

$V = 267 \text{ м/хв}$;

$K_p = 1,0$.

Після розрахунків одержано силу різання:

$$P_z = 10 \cdot 40 \cdot 1,2^{1,0} \cdot 0,3^{0,75} \cdot 267^0 \cdot 1 = 194,57 \text{ Н.}$$

Відповідно необхідна сила затиску:

$$Q = \frac{2,6 \cdot 194,57 \cdot 59,9}{0,2 \cdot 120 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{121^3 - 118^3}{3 \cdot (121^2 - 118^2)}} = 632,6 \text{ Н.}$$

На штоці пневмоциліндра верстата і на прихватах створюється зусилля $W = 2690,2 \text{ Н}$, що є більшим за величину Q , відповідно забезпечується затиск заготовки на 010 токарній з ЧПК операції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Основні правила техніки безпеки під час роботи на шліфувальних і заточних верстатах

1. Правила безпеки під час роботи на шліфувальних і заточних верстатах включають наступне:

1.1. До самостійної роботи на шліфувальних і заточних верстатах з сухими абразивними кругами допускаються особи, що пройшли медичний огляд, а також навчання і інструктаж з правил експлуатації і техніки безпеки, здали іспити і одержали відповідні посвідчення.

1.2. При переході на роботу з використанням нового устаткування робітник зобов'язаний ознайомитися з конструкцією, методами безпечної роботи і пройти позаплановий інструктаж по охороні праці .

1.3. Робітники повинні працювати в спецодязі, спецвзутті, а також використовувати при необхідності інші засоби індивідуального захисту (захисні окуляри тощо). Одяг повинен бути застебнутий на всі гудзики. Крім того, необхідно працювати в головному уборі, що повністю закриває волосся. Працювати на верстатах у взутті легкого типу (сандалях, босоніжках, тапочках і т . д .) забороняється.

1.4. Робітники - верстатники зобов'язані тримати в справності і чистоті устаткування, інструмент і робоче місце, а роботу виконувати, стоячи на дерев'яних ґратах (трапах).

1.5. Складувати матеріали і готову продукцію на стелажах і інших пристосуваннях в спеціально відведених місцях . Забороняється розміщувати матеріали і вироби в проходах і проїздах, на підлозі поблизу робочого місця.

1.8. Механічні передачі металоріжучих верстатів і інші частини верстатів, що обертаються і рухаються, повинні мати огороження. Оброблювані вироби, виступаючі за габарити верстатів, повинні бути захищені стійкими запобіжними пристосуваннями.

1.9. На робочому місці слід зберігати тільки ті інструменти і пристосування, заготовки і готові вироби, які необхідні для виконання роботи в

дану зміну .

1.10. Робоче місце верстатника повинне додатково освітлюватися джерелом місцевого освітлення, що забезпечує хорошу видимість в зоні роботи. Працюючи при штучному освітленні, необхідно опускати рефлектор (відбивач) з лампою нижче за рівень очей .

2. Вимоги безпеки перед початком роботи:

2.1. Перевірити наявність і справність огороження в небезпечних місцях, а також заземлення (занулення) верстатів.

2.2. Перевірити наявність необхідного інструменту, пристосувань, їх справність .

2.3. Перевірити верстат на холостому ході, при цьому переконатися в справності органів управління : електричних кнопочних пристроїв, гальм, фіксації важелів включення і перемикачів, що виключає можливість мимовільного перемикачів з холостого ходу на робочий.

2.4. Переконатися в тому, що системи мащення і охолодження працюють безперебійно.

2.5. Установка абразивних кругів на верстатах повинна проводитись тільки налагоджувальниками, що пройшли спеціальний інструктаж.

2.6. Перед установкою круг ретельно оглядається на відсутність тріщин . Користуватися кругами, що мають тріщини або вибоїни, забороняється.

2.7. Круги абразивні повинні мати штамп або наклейку про випробовування, порядковий номер круга, підпис особи, відповідальної за випробовування. Використання кругів без відмітки про випробовування забороняється. Дані про випробовування кожного круга записуються в журнал випробовувань круга.

2.8. Біля кожного заточного верстата вивішують табличку з вказівкою особи, відповідальної за експлуатацію верстата.

2.9. Біля кожного верстата вивішують табличку з вказуванням допустимої кругової швидкості кругів і частоти обертання шпинделя.

2.10. Кріплення круга при установці на шпиндель дозволяється проводити тільки за допомогою двох затискних фланців однакового діаметра . Діаметр затискних фланців повинен бути не меншим за 1/3 діаметра круга.

2.11. Між фланцями і кругом з обох боків необхідно встановлювати прокладки з еластичного матеріалу (щільного картону, гуми тощо) товщиною від 0,1 до 1 мм залежно від діаметра круга.

2.12. Затягування гайок шпинделя проводиться тільки гайковими ключами. Застосування зубила і молотка для затягування гайок забороняється .

2.13. Перекочування випробовуваних кругів по підлозі забороняється .

2.14. Абразивний круг, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі, що обертаються, захищають захисними кожухами.

2.15. При заточуванні інструменту не стояти проти круга, що обертається. Стояти дозволяється поза площиною обертання круга (каменя).

2.16. При роботі на верстаті підводити деталь необхідно плавно, не допускати ударів деталі об круг .

2.17. При виявленні биття круга необхідно зупинити верстат і встановити несправність .

2.18. Робота бічними (торцями) поверхнями кругів допускається тільки в тому випадку, якщо ці круги спеціально призначені для даного виду робіт.

2.19. При заточуванні інструмент надійно тримати в руках, щоб не допустити заклинювання.

2.20. Під час роботи на заточних верстатах не допускається:

2.20.1. Зачищати круг і торкатися його руками ;

2.20.2. Користуватися несправними і невипробовуваними кругами ;

2.20.3. Відкривати захисні кожухи круга, вала, шпинделя, шківів, ременя;

2.20.4. Надівати, знімати і переводити ремені ;

2.21. Час випробовування кругів на випробовувальному стенді повинен бути наступним :

- для кругів діаметром до 400 мм - не менше 2 хвилин ;

- при роботі з кругом діаметром більше 400 мм - не менше 5 хвилин .

4.2. Проведення робіт на машинобудівному підприємстві у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу

Сутність рятувальних та інших невідкладних робіт — це усунення безпосередньої загрози життю та здоров'ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або значне зменшення матеріальних збитків. Рятувальні та інші невідкладні роботи включають також усунення пошкоджень, які заважають проведенню рятувальних робіт, створення умов для наступного проведення відновлювальних робіт.

Рятувальні й інші невідкладні роботи у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу, є однією з найголовніших задач цивільної оборони. Мета проведення рятувальних робіт – порятунок людей і надання медичної допомоги постраждалим, ліквідація аварій.

До рятувальних робіт відносяться:

- розвідка маршруту руху сил, визначення обсягу та ступеня руйнувань, розмірів зон зараження, швидкості і напрямку розповсюдження зараженої хмари чи пожежі;
- локалізація та гасіння пожеж на маршруті руху сил та ділянках робіт;
- визначення об'єктів і населених пунктів, яким безпосередньо загрожує небезпека;
- визначення потрібного угруповання сил і засобів запобігання і локалізації небезпеки;
- пошук уражених та звільнення їх з-під завалів, пошкоджених та палаючих будинків, із загазованих та задимлених приміщень;
- розкриття завалених захисних споруд та рятування з них людей;
- надання потерпілим першої допомоги та евакуація їх (при необхідності) у лікувальні заклади;
- вивіз або вивід населення із небезпечних місць у безпечні райони;
- організація комендантської служби, охорона матеріальних цінностей і громадського порядку;

- відновлення життєздатності населених пунктів і об'єктів;
- пошук, розпізнавання і поховання загиблих;
- санітарна обробка уражених;
- соціально-психологічна реабілітація населення.

До невідкладних робіт відносяться:

- прокладання колонних шляхів та улаштування проїздів (проходів) у завалах та на зараженій території;
- локалізація аварій на водопровідних, енергетичних, газових і технологічних мережах;
- ремонт та тимчасове відновлення роботи комунально-енергетичних систем і мереж зв'язку для забезпечення рятувальних робіт;
- зміцнення або руйнування конструкцій, які загрожують обвалом і безпечному веденню робіт;

Рятувальні та інші невідкладні роботи здійснюються у три етапи. На першому етапі вирішуються завдання:

- щодо екстреного захисту населення;
- з запобігання розвитку чи зменшення впливу наслідків;
- з підготовки до виконання рятувальних робіт.

Основними заходами щодо екстреного захисту населення є:

- оповіщення про небезпеку;
- використання засобів захисту;
- додержання режимів поведінки;
- евакуація з небезпечних у безпечні райони;
- здійснення санітарно-гігієнічної, протиепідемічної профілактики і надання медичної допомоги;
- локалізація аварій;
- зупинка чи зміна технологічного процесу виробництва;
- попередження (запобігання) і гасіння пожеж,

На другому етапі проводяться:

- пошук потерпілих;

- витягання потерпілих з-під завалів, з палаючих будинків, пошкоджених транспортних засобів;
- евакуація людей із зони лиха, аварії, осередку ураження;
- надання медичної допомоги;
- санітарна обробка людей;
- знезараження одягу, майна, техніки, території;
- проведення інших невідкладних робіт, що сприяють і забезпечують здійснення рятувальних робіт.

На третьому етапі вирішуються завдання щодо забезпечення життєдіяльності населення у районах, які потерпіли від наслідків надзвичайних ситуацій:

- відновлення чи будівництво житла;
- відновлення енерго-, тепло-, водо-, газопостачання, ліній зв'язку;
- організація медичного обслуговування;
- забезпечення продовольством і предметами першої необхідності;
- знезараження харчів, води, фуражу, техніки, майна, території;
- соціально-психологічна реабілітація;
- відшкодування збитків;
- знезараження майна, території, техніки.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження динамічних навантажень та коливань конструктивних елементів процесу шліфування переривчастим шліфувальним кругом плоскої поверхні. Завдання вирішено на основі формування системи диференціальних рівнянь з координатами переміщень елементів та їх розв'язку чисельними методами. При цьому для спрощення динамічної моделі, а відповідно і розрахунків виникла необхідність у відкиданні другорядних факторів і наближення системи до ідеальної.

На основі графіків розв'язку системи диференціальних рівнянь встановлено, що найбільші деформації та швидкості деформацій шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні, заготовки із електромагнітною плитою та стола плоскошліфувального верстата в часі при плоскому шліфуванні зростають в моменти виникнення ударів, при чому в момент другого удару ці деформації є більшими ніж у момент першого удару. Після ударів відбувається затухання коливань елементів системи. В момент першого удару кут деформації шліфувального круга із періодично розміщеними канавками на його зовнішній циліндричній поверхні становив 0,02 град., в момент другого удару - 0,025 град, при цьому швидкість деформації досягала 38 град/с. В момент першого удару лінійна деформація заготовки із електромагнітною плитою становила 0,0012 мм., в момент другого удару - 0,0017 мм, при цьому швидкість деформації досягала 4 мм/с. В момент першого та другого ударів лінійна деформація стола плоскошліфувального верстата була однаковою і становила 0,00015 мм, при цьому швидкість деформації досягала 0,8 мм/с. Одержані деформації знаходяться в межах допустимих величин.

Представлено результати експериментальних досліджень енергосилових параметрів процесу шліфування плоскої поверхні звичайним кругом та кругом із канавками. Встановлено, що спожита потужність знижується при зниженні діаметра шліфувального круга. Максимальні зміни спожитої потужності

досягали приблизно 32%, коли діаметр шліфувального круга зменшився на 35 мм. Результати мають прямолінійне співвідношення. Середньоквадратичне відхилення становило 0,92. Така тенденція одержана через лінійне зниження контактної площі між заготовкою та шліфувальним кругом при зменшенні діаметра шліфувального круга. Різке зростання потужності різання свідчило про припалювання поверхні заготовки.

Звичайний шліфувальний круг досягав максимальної глибини різання 1,4 мм, що була граничною глибиною різання, при якій відбувалось термічне пошкодження заготовки. При використанні шліфувального круга з канавкою максимальна глибина різання досягала величини 2,4 мм. При цьому потужність на шпинделі зменшувалась на 48% порівняно із випадком при застосуванні звичайного шліфувального круга.

При застосуванні шліфувального круга з канавками одержується вища поверхнева шорсткість. Проте слід відмітити, що результуюче зростання поверхневої шорсткості знаходиться нижче 1,6 мкм, що відповідає середній шорсткості поверхні при шліфуванні.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпусу 15.707.04.

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. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 148 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. 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.

16. Schneider, George Jr. (2002), Cutting Tool Application, Nokomis, FL: Nelson Pub.

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. Al-Mokhtar Omran Mohamed. Investigation of circumferentially-grooved grinding wheels for creep-feed grinding. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, 2014, 176 p.

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. Дослідження деформації гвинтового елемента затискного пристрою / О.Б. Дериш, І.П. Домарецький, О.О. Тимощук // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 7-8 грудня 2022 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. С. 22.

22. Chen, H., Rowe, W. B., Mills, B., and Allanson, D. R. (1998), Analysis and Simulation of the Grinding Process – Part IV: Effects of Wheel Wear, International Journal of Machine Tools and Manufacturing, v. 38, n 1-2, pp. 41-49.

23. Malkin, S. and Cook, N. H. (1971), The Wear of Grinding Wheels – Part 1: Attritious Wear, Transactions of ASME: Journal of Engineering for Industry, 93, pp. 1120-1128.

24. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

25. Malkin, S. and Cook, N. H. (1971), The Wear of Grinding Wheels – Part 2: Fracture Wear, Transactions of ASME: Journal of Engineering for Industry, 93, pp. 1120- 1133.
26. Malkin, Stephan (1989) Grinding Technology and Applications of Machining with Abrasives. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers..
27. Третьяков О.Л. Обґрунтування параметрів виготовлення гвинтових робочих органів екструдерів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / О.Л. Третьяков. – Тернопіль, 2019. – 208 с.
28. 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.
29. Madhusudhanan Srinivasaraghavanю Experimental and Theoretical Investigation of Force Distribution in the Grinding Contact Zone A Thesis Submitted to McGill University in Partial Fulfillment of the Requirements of the Degree of Master of Engineering. Department of Mechanical Engineering McGill University, Montreal, QC, Canada, 2009, 117 p.
30. Malkin, S., Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives, Dearborn, Michigan, Society of Manufacturing Engineers, 1989.
31. Hamdi, H., Dursapt, M., and Zahouani, H., Characterization of Abrasive Grain’s Behavior and Wear Mechanisms, Wear, 2003, 254, p. 1294.
32. Desa, O., and Bahadur, S., Material Removal and Subsurface Damage Studies in Dry and Lubricated Single-Point Scratch Tests on Alumina and Silicon Nitride, Wear 1999, 225–229, p. 1264.
33. Suto, T., Waida, T., Noguchi, H., and Inoue, H. (1990), High Performance Creep Feed Grinding of Difficult-to-Machine Materials with New-Type Wheels, Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, v. 24, n 1, pp. 39-44.
34. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process / Andriy Diachun, Vasyl Vasylykiv, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovaty, Andriy Kuras // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2021. – № 1(101) – С. 68–78.

35. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами / О.Л. Ляшук, А.Є. Дячун, В.М. Клендій, О.Л. Третьяков // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2018. – №. 1 (66). - С. 38-43.

36. Дячун А.Є. Дослідження методом 3d сканування шорсткості гвинтових поверхонь після процесу ударного зміцнення / А.Є. Дячун, В.О. Дзюра, В.М. Клендій, О.Л. Третьяков // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. – Луцьк, 2017. – №38. - С. 66-74.