

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

РОМАНЧЕНКО ПАВЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 621.922

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ
АБРАЗИВНИХ КРУГІВ РУЧНИХ ШЛІФУВАЛЬНИХ МАШИН
ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЇХ ВІБРАЦІЙ**

Спеціальність 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на Державному підприємстві «Український науково-технічний центр металургійної промисловості «Енергосталь» (ДП «УкрНТЦ «Енергосталь») Міністерства економічного розвитку і торгівлі України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Сталінський Дмитро Віталійович,
Державне підприємство «Український науково-технічний центр металургійної промисловості «Енергосталь»,
м. Харків,
генеральний директор

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кальченко Володимир Віталійович,
Чернігівський національний технологічний університет,
проректор з науково-педагогічної роботи

доктор технічних наук, професор
Федорович Володимир Олексійович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри інтегрованих технологій
машинобудування ім. М.Ф. Семка

Захист відбудеться «20» квітня 2017 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61001, Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61001, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «17» березня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Н.В. Зубкова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Обдирне шліфування за допомогою ручних шліфувальних машин (РШМ) широко застосовується в різних галузях промисловості для виконання технологічних операцій зачистки прокату, поковок, литва, зачистки зварних швів на вузлах і конструкціях, зняття задирок та виконання інших технологічних операцій.

Для ручного обдирного шліфування найбільш поширено використовуються пневматичні РШМ прямої дії з абразивними кругами прямого профілю діаметрами 63-150мм на бакелітовій зв'язці. У виробничих умовах вібраційна характеристика роботи РШМ в 2-5 разів перевищує чинні норми на локальні вібрації, що впливають на оператора. Основою причиною вібрацій РШМ на їх робочій частоті обертання є неурівноваженість мас абразивного круга, яка обумовлена неоднорідністю структури інструмента, наявністю похибок його геометричної форми та похибки встановлення абразивного круга на шпindel РШМ.

Останнім часом розроблені та знайшли застосування у промисловості технології виготовлення абразивного інструмента, що забезпечують рівномірну структуру абразивних кругів. Це і прогресивні способи приготування та рецептури формувальних мас для виготовлення абразивного інструмента, і технології та оснащення для вкладання формувальної маси в пресформу, способи пресування та бакелізації заготівель абразивних кругів. Однак забезпечення лише однорідності структури абразивних кругів без досягнення належної точності їх геометричної форми недостатньо для гарантованого дотримання вимог до вібраційних характеристик РШМ.

Отже, розробка технологічних рішень для гарантованого досягнення геометричної точності виготовлення абразивних кругів, необхідної для дотримання вимог до вібраційних характеристик ручних машин, є актуальною науково-практичною задачею, яка визначила напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на Державному підприємстві «Український науково-технічний центр металургійної промисловості «Енергосталь» у рамках завдань держбюджетної НДР Міністерства промислової політики України «Розробка та впровадження у виробництво нових енерго- та ресурсозберігаючих промислових технологій виготовлення абразивного інструменту рівня кращих світових зразків», в якій здобувач був відповідальним виконавцем, та госпрозрахункової роботи «Будівництво металургійного виробництва гарячекатаного рулонного прокату ТОВ «Красносулінський металургійний комбінат». Проектна документація» (ТОВ «ІТЦ «Росенергосталь», м. Білгород, Росія), в якій здобувач був виконавцем окремих розділів технологічної частини проектної документації на створення виробництва абразивного інструмента.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в забезпеченні зниження вібрацій у процесах механічної обробки до рівня, що відповідає вимогам до вібраційних характеристик ручних шліфувальних машин, шляхом підвищення геометричної точності виготовлення абразивних кругів.

Для досягнення зазначеної мети поставлено наступні задачі:

- отримати формули розрахунку зміщення центра мас абразивного круга прямого профілю залежно від величин погрішностей його геометричної форми;
- встановити закономірності формування точності геометричних параметрів абразивного круга прямого профілю при його пресуванні та виконати теоретичний аналіз формування зміщення центра мас абразивного круга від вісі його обертання з урахуванням похибки установки круга на шпиндель РШМ;
- виконати експериментальні дослідження вібрацій РШМ за різних умов її роботи для використання отриманих результатів в розробці адекватної математичної моделі динамічних процесів в системі «Абразивний круг – РШМ – оператор» («К–М–О»);
- встановити і візуалізувати зв'язок між рівнем вібрацій РШМ в місцях контакту з руками оператора та зміщенням центра мас абразивного круга, обумовленим ексцентричністю зовнішньої поверхні круга та непаралельністю торців круга з урахуванням похибки його встановлення на шпиндель РШМ;
- виконати аналіз результатів чисельного моделювання вібрацій РШМ при нормованих значеннях дисбалансу абразивних кругів та при нормованих і фактично можливих похибках геометричної форми абразивних кругів та похибки їх установки на шпиндель РШМ;
- розробити технологічні рішення щодо підвищення геометричної точності виготовлення абразивних кругів шляхом вдосконалення конструкції, способу виготовлення пресформи та способу пресування в ній заготівлі абразивного круга.

Об'єкт дослідження – технологічний процес і оснащення для виготовлення абразивних кругів прямого профілю для РШМ.

Предмет дослідження – закономірності формування погрішностей геометричної форми абразивного круга при його виготовленні, взаємозв'язок рівня вібрацій РШМ з точністю геометричної форми абразивних кругів та точністю їх установки на шпиндель РШМ.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії точності механічної обробки, теоретичної механіки, теорії ймовірності та математичної статистики. Розробку математичних моделей динамічних процесів в системі «К–М–О» виконано на основі методів імітаційного моделювання з візуалізацією в пакеті «VisSim». Експериментальні дослідження вібрацій РШМ виконано з застосуванням серійного вимірювача вібрацій ІВПА-07 зі смуговим аналізатором та розробленого приладу для вимірювання частоти обертання абразивного круга. Для візуалізації результатів вимірювання на ПК використано методи програмної візуалізації сигналів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше встановлено залежність зміщення центру мас абразивного круга прямого профілю від похибок параметрів його геометричної форми, а саме від ексцентричності зовнішньої поверхні абразивного круга відносно вісі його посадочного отвору і непаралельності торців круга. Встановлено, що в діапазоні значень менш ніж 0,5 мм ексцентричність зовнішньої поверхні абразивного круга в межах допустимої похибки можна прийняти за обумовлене нею зміщення центру мас абразивного круга.

2. Вперше виконано розмірний аналіз пресформи для виготовлення абразивного круга прямого профілю. Визначено, що ексцентричність посадочного отвору в абразивному крузі підкоряється закону розподілу Релея. Отримано закони розподілу непаралельності торців абразивного круга, яка визначається кутом перекосу верхньої плити пресформи відносно нижньої за різних варіантах його обмеження між деталями пресформи. Встановлено найбільш вірогідний (з рівнем надійності 0,8) варіант формування непаралельності торців абразивного круга прямого профілю та визначено його параметри як системи двох випадкових величин.

3. Вперше розроблено математичні моделі динамічних процесів в системі «К–М–О» для «холостого» (х.х.) та «робочого» (р.х.) режимів роботи РШМ, які верифіковані результатами експериментальних досліджень. В розроблених моделях закладено можливості варіювання силовими та кінематичними джерелами вібрацій з урахуванням взаємного напрямку векторів цих джерел та враховано динаміку обертального руху ротора пневмодвигуна і динаміку формування сили різання.

4. Вперше встановлено імітаційним моделюванням, що при роботі РШМ нормований дисбаланс абразивних кругів не забезпечує дотримання вимог до вібраційних характеристик ручних машин.

Практичне значення отриманих результатів для технології ручного шліфування полягає у розробці перспективної технології виготовлення абразивних кругів прямого профілю з металевою втулкою по посадочному отвору. Конструкція пресформи для виготовлення заготівель абразивних кругів і спосіб виготовлення запропонованої пресформи захищені патентами України і Російської Федерації (патенти України № 88766 та № 89199, патенти Російської Федерації № 2013157178 та № 2013157176).

Розроблена технологія дозволяє в 1,5–3 рази зменшити рівень вібрацій РШМ порівняно з його значеннями при експлуатації кругів, виготовлених за традиційною технологією пресування, і забезпечити тим самим гарантоване дотримання вимог до вібраційних характеристик ручних машин за рахунок значного підвищення точності формування геометричних параметрів абразивного круга і забезпечення істотного зниження похибки його установки на шпиндель РШМ.

Запропонована конструкція пресформи і спосіб пресування заготівель абразивних кругів з металевою втулкою по посадочному отвору істотно знижує знос керн пресформи (відсутній контакт з абразивною масою), який, як доведено в роботі, визначає величину непаралельності торців круга, що забезпечує стабільно високу геометричну точність заготівель кругів в об'ємі виготовленої партії та збільшує термін служби пресформи.

Запропонований спосіб виготовлення розробленої пресформи забезпечує співвісність керн відносно отвору в кільці, що дозволяє істотно зменшити ексцентриситет зовнішньої поверхні абразивного круга відносно вісі його обертання (вісі шпинделя РШМ).

Результати роботи впроваджені в умовах ТОВ НТВК «Енергосталь» (м. Дергачі, Харківська обл.) при освоєнні розробленої в дисертаційній роботі технології виготовлення абразивних кругів підвищеної точності з металевою втулкою по посадочному отвору. Розроблені типові технологічні інструкції

пресування заготівель абразивних кругів прямого профілю діаметром 63–150 мм з металевою втулкою по посадочному отвору та конструкторська документація на відповідні пресформи впроваджено в технологічній частині проектної документації «Будівництво металургійного виробництва гарячекатаного рулонного прокату ТОВ «Красносулінський металургійний комбінат. Абразивне виробництво».

Особистий внесок здобувача. Основні положення, наукові і практичні результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримано здобувачем особисто. Серед них: обґрунтування концепції зменшення рівня вібрацій РШМ шляхом підвищення точності виготовлення абразивних кругів та зменшення погрішності їх встановлення на шпиндель РШМ, встановлення закономірностей формування зміщення центра мас абразивних кругів при їх виготовленні, обґрунтування програми експериментальних досліджень вібрацій РШМ, розробка математичних моделей динамічної системи «К–М–О», аналіз отриманих результатів досліджень і розробка на їх основі технологічних рішень щодо підвищення точності виготовлення абразивних кругів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: XI Міжнародній науково-технічній конференції «Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (Крим, с. Щолкіне, 2003 р.); XX Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2012 р.); 19-й Міжнародній науково-практичній конференції «Фізичні і комп'ютерні технології» (м. Харків, 2014 р.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 13 наукових публікаціях, з них: 5 статей у наукових фахових виданнях України (1 – у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus), 2 патенти України і 2 патенти Російської Федерації на винаходи, 3 – у збірках наукових праць міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 223 сторінки, в тому числі 47 рисунків по тексту; 10 рисунків на 10 окремих сторінках; 33 таблиці по тексту; 4 таблиці розміщено на 4 окремих сторінках; список використаних джерел із 82 найменувань на 9 сторінках, 6 додатків на 49 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У першому розділі проведено аналітичний аналіз технологічних процесів виготовлення абразивних кругів на бакелітовій зв'язці з питань, пов'язаних з підвищенням точності їх геометричної форми та зменшенням рівня вібрацій РШМ у процесах механічної обробки. Відзначено, що основною причиною вібрацій РШМ є неурівноваженість мас абразивних кругів в наслідок їх нерівномірній щільності,

наявності похибок геометричної форми кругів та похибок їх встановлення на шпиндель РШМ.

Сучасні технології виготовлення абразивного інструменту на бакелітовій зв'язці дозволяють отримати достатньо однорідну його структуру, що підтверджено результатами досліджень внутрішньої будови абразивних кругів, які свого часу були виконані під керівництвом д.т.н., проф. Сталінського Д.В. Але без гарантованого забезпечення відповідної точності геометричних параметрів абразивних кругів та точності їх установки на шпиндель РШМ дотримання вимог до вібраційних характеристик ручних машин у процесах механічної обробки неможливе.

Точність геометричної форми абразивного круга визначається конструкцією та геометричними параметрами пресформи. Схема типової пресформи для виготовлення абразивного круга прямого профілю наведена на рис.1.

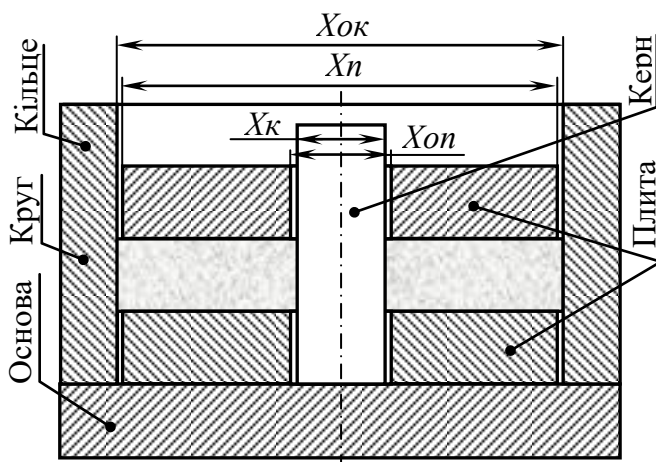


Рисунок 1 – Схема пресформи для виготовлення абразивних кругів прямого профілю

абразивних кругів прямого профілю на бакелітовій зв'язці не дозволяють при придатному терміні використання пресового оснащення, гарантовано забезпечити необхідну точність круга, що обумовлено інтенсивним зносом формотворних деталей пресформи при контакті з абразивною масою та рядом інших технологічних і конструктивних чинників. Інтенсивний знос керна пресформи також є причиною нестабільності розміру посадочного отвору абразивного круга і похибки його встановлення на шпиндель РШМ. Існуючі технології механічної розточки

або заливки посадочного отвору легкоплавкими матеріалами не гарантують бажаного результату і є економічно недоцільними.

Аналіз науково-технічних джерел інформації з виготовлення абразивного інструменту вказує на перспективність отримання взаємозв'язку між точністю геометричних параметрів абразивних кругів, їх дисбалансом та вібраційною характеристикою роботи РШМ.

Експериментально надто складно встановити зв'язок між всіма джерелами збурюючих впливів на РШМ, які призводять до вібрацій, з рівнем цих вібрацій. Тому цей зв'язок доречно встановлювати моделюванням.

Існуючі математичні моделі динамічних процесів в системі «Абразивний круг – РШМ» значно спрощують РШМ і тому не можуть бути використані для об'єктивної оцінки динамічних процесів при ручному шліфуванні. Доцільно провести аналіз дії рук оператора та впливу багатьох чинників, що збурюють вібрації, таких як внутрішні джерела коливань РШМ, коливання сили різання та ін. Тому є перспективним подальше вдосконалення математичної моделі динамічних процесів в системі «К–М–О» шляхом забезпечення можливості варіювання силовими та кінематичними джерелами вібрацій з урахуванням взаємного напрямку

векторів цих джерел та враховуючи динаміку обертального руху ротора пневмодвигуна і динаміку формування сили різання. При моделюванні рук оператора можуть бути використані дані, отримані у роботі Васильєва Ю.М. і Борисова А.Т.

З'ясовано, що перспективним є аналіз взаємозв'язку геометричної точності абразивних кругів і існуючої практики у їх виробництві, виконання якого дозволить розробити технологічні та конструкторські рішення щодо дотримання вимог до вібраційних характеристик роботи РШМ.

На основі проведеного аналізу розвитку технології виготовлення абразивних кругів для РШМ сформульовано основні задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої в роботі мети.

У другому розділі на основі методів статистики теоретичної механіки отримано аналітичні залежності зміщення центра мас абразивного круга прямого профілю від ексцентричності e вісі його обертання і непаралельності його торців, позначену як b . При цьому ексцентричність

$$\vec{e} = \vec{e}_k + \vec{e}_{\text{шп}}, \quad (1)$$

де $\vec{e}_k$ – ексцентричність вісі отвору круга відносно вісі зовнішньої поверхні круга; $\vec{e}_{\text{шп}}$ – ексцентричність зміщення вісі круга відносно вісі шпинделя РШМ.

Застосовуючи формулу розрахунку координати центра ваги X_c плоскої однорідної фігури $X_c = \frac{\int_S x dS}{S}$, де S – площа фігури, отримано формулу зміщення $X_c(e)$ як функції ексцентричності e отвору у крузі від його зовнішньої поверхні

$$X_c(e) = \frac{\frac{R^3}{3} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \varphi}{\sin^3 \varphi} \sin^3 \left(\varphi + \arcsin \left(\frac{e}{R} \sin \varphi \right) \right) d\varphi}{\frac{R^2}{2} \int_0^{2\pi} \frac{1}{\sin^2 \varphi} \sin^2 \left(\varphi + \arcsin \left(\frac{e}{R} \sin \varphi \right) \right) d\varphi - \pi r^2}, \quad (2)$$

де R, r – радіуси зовнішньої та внутрішньої поверхні абразивного круга.

Аналіз залежності (2) в пакеті Mathcad з залученням чисельного інтегрування показує, що із зростанням e , $X_c(e)$ зростає, але у діапазоні $e \leq 0,45$ різниця між e и $X_c(e)$ незначна, що дозволяє у подальшому прийняти $e_k \approx X_c(e_k)$.

Зміщення центра мас круга від непаралельності його торців оцінюється величиною b , тобто перепадом висоти круга в його діаметральному перерізі. Використовуючи формулу розрахунку координати центра мас об'ємної фігури $X_c = \frac{\int_v x dV}{V}$, де v – об'єм фігури, і вирішуючи її в циліндричних координатах, отримана формула розрахунку $X_c(b)$, як функція непаралельності b

$$X_c(b) = \frac{b(R^2 + r^2)}{8R(b/2 + C)}, \quad (3)$$

де C – висота абразивного круга.

Аналіз (3) показує лінійне зростання X_c від b і нелінійне від C . Завдяки проведеного аналізу визначена ступінь впливу величин погрішностей геометричної форми абразивного круга на неурівноваженість його мас. Встановлено, що нормовані значення погрішностей геометричної форми абразивних кругів прямого профілю для РШМ забезпечують дотримання вимог до дисбалансу абразивних кругів.

У третьому розділі встановлено закономірності формування зміщення центра ваги абразивного круга прямого профілю від вісі його обертання залежно від конструкції та геометричних параметрів пресформи при його виготовленні за існуючою технологією з урахуванням погрішності установки круга на шпиндель РШМ.

Ексцентричність e_k визначається зміщенням керн відносно отвору у кільці. Це зміщення розраховується на основі розмірного аналізу пресформи та технології її збирання, котра полягає в наступному. На основі пресформи крізь отвір по її вісі болтом кріпиться керн, а потім болтами на основі кріпиться кільце. Болти кріплення кільця затягуються остаточно тоді, коли на керн вільно одягаються плити без заїдання у зазорі кільця з керном. Таким чином e_k визначається зазорами z_1 – керн–плита, z_2 – плита–кільце та переміщенням кільця по поверхні основи у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Прийняв розміри поверхонь, що утворюють зазори z_1 і z_2 нормально розподіленими в межах їх допусків та, отримав відповідно нормальні розподіли зазорів z_1 та z_2 , визначено, що ексцентричність e_k підкорюється закону розподілення Релея

$$f(e_k) = \frac{e_k}{\sigma_z^2} e^{-\frac{e_k^2}{2\sigma_z^2}}, \quad (4)$$

де $\sigma_z = \sqrt{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2}$.

Так, для нової пресформи з діаметром отвору у кільці $149^{+0,1}$ і діаметром керн $32,6_{-0,087}^{-0,025}$ при довірчому діапазоні розсіювання ексцентриситету $\pm 3,44\sigma_z$ отримано максимально можливе значення $e_{k\max} = 0,0956$ мм.

Зміщення вісі круга, тобто вісі його посадочного отвору, відносно вісі шпинделя визначається конструкцією кріплення круга на шпинделі і розмірами деталей кріплення та посадочної поверхні круга. Розрахунком отримано, що для нової пресформи традиційної конструкції для абразивного круга $\varnothing 150$ мм $e_{\min\max} = 0,304$ мм, а сумарний максимально можливий ексцентриситет $e_{\max} = 0,3996$ мм. Максимально можливі значення ексцентричності круга $e_{\max}$ розраховано для усієї гами абразивних кругів прямого профілю для РШМ і наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Максимальні значення ексцентричності круга $e_{\max}$

Круг типу ПП	150x25x32	125x25x32	100x20x20	80x20x20	63x20x20
$e_{\max}$, мм	0,3996	0,3996	0,383	0,374	0,374

Можлива непаралельність торців кругів при їх пресуванні визначається параметром b і є результатом перекосу верхньої плити пресформи відносно нижньої плити, як наведено на рис. 2. Перекіс може відбуватися на величину, котру дозволяють зазори в з'єднаннях «кern–плита» та «плита–кільце».

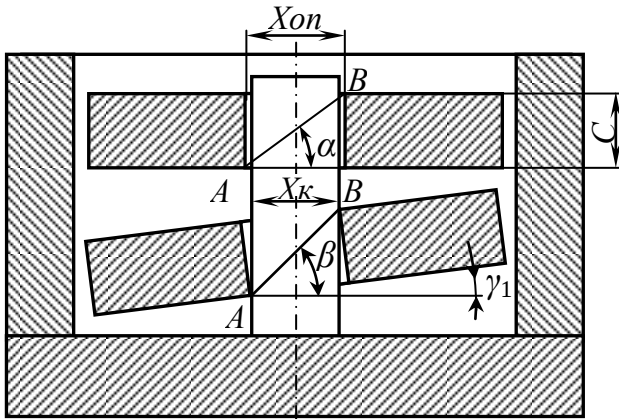


Рисунок 2 – Схема перекосу плити пресформи

Це обмежування назвали «заклинюванням». Таким чином, перекіс верхньої плити може бути обмежений «заклинюванням» її на керні, або «заклинюванням» в кільці, або «заклинюванням» між кільцем та керном.

На рис. 2 наведено випадок «заклинювання» плити на керні. Величина перекосу верхньої плити оцінюється кутом

$$\gamma_1 = \arccos \frac{X_\kappa}{\sqrt{C^2 + X_{on}}} - \arccos \frac{X_{on}}{\sqrt{C^2 + X_{on}^2}}. \quad (5)$$

Величини X_κ , X_{on} є випадковими, а C – постійна, тому що її розкид у межах поля допуску не завдає помітного впливу на кут γ . Оскільки при виготовленні пресформи механічна обробка зовнішнього діаметра керна і отвору в плиті пресформи здійснюються окремо, прийнято, що розміри X_κ та X_{on} є нормально розподіленими, і для них отримано розподіл системи двох незалежних випадкових величин

$$f(X_\kappa, X_{on}) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_\kappa \cdot \sigma_{on}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{(X_\kappa - m_\kappa)^2}{\sigma_\kappa^2} + \frac{(X_{on} - m_{on})^2}{\sigma_{on}^2} \right]}. \quad (6)$$

При довірчій ймовірності 0,95 достовірний діапазон розсіювання γ_1 визначається, як $M\gamma_1 \pm 2\sigma_{\gamma_1}$. Для абразивного круга ПП 150x25x32 розраховано наступні параметри розподілу γ_1 : математичне очікування $m_{\gamma_1} = 3,472 \times 10^{-3}$ рад, середнє квадратичне відхилення $\sigma_{\gamma_1} = 8,333 \times 10^{-4}$ рад та максимально можливе значення $\gamma_{1 \max} = 5,139 \times 10^{-3}$ рад.

Аналогічно отримано щільність розподілу кута перекосу верхньої плити γ_2 при «заклинюванні» її в отворі кільця.

При третьому варіанті «заклинювання» верхньої плити між поверхнею отвору у кільці і керном кут перекосу γ_3 визначається виразом:

$$\gamma_3 = \arccos \left[\left(\frac{X_\Pi - X_{оп}}{2} \right) / d \right] - \arccos \left[\left(\frac{X_{ок} - X_\kappa}{2} \right) / d \right], \quad d = \sqrt{\left(\frac{X_\Pi - X_{оп}}{2} \right)^2 + C^2}. \quad (7)$$

Кут γ_3 є функцією 4-х випадкових величин X_Π , $X_{оп}$, $X_{ок}$, X_κ . Тому отримання закону розподілу $f(\gamma_3)$ значно складніше і його обчислення передбачає послідовне

визначення щільності розподілу параметрів за виразом (7), користуючись формулами визначення розподілів як функції випадкової величини, різниці випадкових величин та частки від ділення випадкових величин. За виконанням 12 таких кроків була визначена щільність розподілу кута $\gamma_3 - f(\gamma_3)$.

Встановлено, що розподіли кута перекосу γ_i при усіх варіантах заклинювання підкорюються нормальному розподілу. Параметри кута перекосу верхньої плити пресформи при виготовленні кругів Ø150 мм наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри кута перекосу γ за різними варіантами заклинювання плити

Параметри кута перекосу	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
M_γ , рад	$3,47228 \cdot 10^{-3}$	$5,821 \cdot 10^{-3}$	$4,6854 \cdot 10^{-3}$
σ_γ , рад	$8,333 \cdot 10^{-4}$	$1,333 \cdot 10^{-3}$	$4,08455 \cdot 10^{-3}$
$\gamma_{\max}$, рад	$5,139 \cdot 10^{-3}$	$8,48 \cdot 10^{-3}$	0,01285

Також виконано розрахунок ймовірності заклинювання за варіантами 2 і 3 в порівнянні з варіантом 1. Ймовірність заклинювання $P_2(\gamma)$ за варіантом 2 в порівнянні з варіантом 1 визначається як добуток ймовірностей відповідно виразу

$$P_2(\gamma) = \int_{\gamma_{2\min}}^{\gamma} f(\gamma_2) d\gamma_2 \cdot \int_{\gamma}^{\gamma_{1\max}} f(\gamma_1) d\gamma_1, \quad (8)$$

а ймовірність заклинювання $P_3(\gamma)$ за варіантом 3 у порівнянні з варіантом 1 відповідно виразу

$$P_3(\gamma) = \int_{\gamma_{3\min}}^{\gamma} f(\gamma_3) \cdot d\gamma_3 \cdot \int_{\gamma}^{\gamma_{1\max}} f(\gamma_1) d\gamma_1. \quad (9)$$

Результати розрахунку показали, що $P_2(\gamma)$ не перевищує 0,015, а $P_3(\gamma) \leq 0,22$.

Таким чином, визначено, що у подальшому можливо розраховувати перекис верхньої плити, обмежуючись «заклинюванням» за варіантом 1, тобто на керні, як найбільш імовірному. Такий висновок підтверджено розрахунками для всієї гами кругів.

У четвертому розділі наведена методика, апаратура та результати експериментальних досліджень вібрацій РШМ ІП2014П з роторним пневмодвигуном.

Вимірювання вібрацій за налаштованою частотою обертання шпинделя виконано при х.х. і р.х. РШМ у напрямі уздовж передпліччя руки оператора, як в напрямі дії найбільших вібрацій.

Для проведення експериментів розроблено установку, що дозволяє вимірювати рівень вібрацій, частоту обертання, обробляти результати та надавати їх у графічній та цифровій формах. Принципіальна схема установки наведена на рис. 4.

Оцінка рівня вібрацій здійснювалась за допомогою серійного вимірювача вібрацій ІВПА-07 розробки Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного (м. Харків). Це прилад, що вимірює середнє квадратичне значення

(СКЗ) віброшвидкості. Для реєстрації результатів вимірювань, прилад ІВПА-07 був скомпонований з персональним комп'ютером.

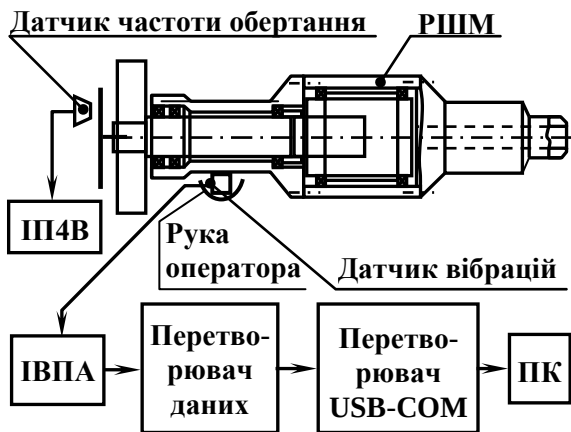


Рисунок 4 – Установка для проведення експериментів

Частота обертання абразивного круга настраювалась розходом стислого повітря, яке подавалося до РШМ ІП2014П, та реєструвалась і відображувалась на розробленому пристрої ІП4В. В якості датчика цього пристрою використовувалась оптична пара, котра посилає оптичний сигнал та приймає його відображення від торця полімерного диску пофарбованого навпіл у чорний колір – поглинаючий, та навпіл у білий, що відображує промінь світла. Таким чином формувався ступінчатий сигнал за оберт круга і прибор ІП4В реєстрував

кількість обертів за секунду. Датчик вібрацій утримувався у лівій руці оператора і притискався до лівої рукояті РШМ.

Для визначення впливу неврівноваженого круга на рівень вібрацій РШМ, спочатку проведено вимірювання вібрацій при роботі в режимі х.х. без круга. Результати вимірювань СКЗ віброшвидкості на лівій рукоятці дорівнюють $V_{ckl} = 20$ мм/с. Рівень вібрацій достатньо високий, близько до 25 мм/с, тобто до значення, обмеженого вимогами до вібраційних характеристик ручних машин. Це вказує на інтенсивне «внутрішнє» джерело вібрацій РШМ, яким є неврівноважений ротор пневмодвигуна.

Для визначення впливу на загальній рівень вібрацій РШМ дисбалансу круга та взаємного положення його вектору з вектором внутрішнього джерела вібрацій РШМ, на шпиндель встановлювався імітатор у вигляді сталюого диска. На цей диск можливо було встановлювати у різних кутових положеннях вагу, що створює необхідний дисбаланс.

Вага, що імітує допустимий дисбаланс Δ розраховується відповідно до ГОСТ 23182-78: $\Delta = 0,004m_k$, де m_k – маса круга. Для круга ПП150х25х32 $\Delta = 4,5$ гр на радіусі круга.

Вплив взаємного положення векторів дисбалансу круга та ротора пневмодвигуна встановлювався кріпленням ваги на імітаторі круга під різними кутами у межах $(0 \div 2\pi)$ рад. Вимірюваннями встановлено, що V_{ckl} при цьому змінюється у межах 6 мм/с, від 35 мм/с до 41 мм/с.

Вимірювання вібрацій у режимі х.х. з серійним абразивним кругом, випадково відібраним з партії кругів, навели, що V_{ckl} знаходиться у межах $(45 \div 65)$ мм/с, що значно у $(1,6 \div 2,5)$ разів більше ніж допустиме значення 25 мм/с.

Останні досліді здійснювались при р.х., тобто при шліфуванні сталюого зразка, закріпленого на пружному динамометрі. Результати вимірювання V_{ckl} наведено на рис. 5 і знаходяться у межах $(35-65)$ мм/с. При цьому частота обертання круга була у межах $(70-75)$ об/с, тобто меншою від частоти настройки у 85 об/с.

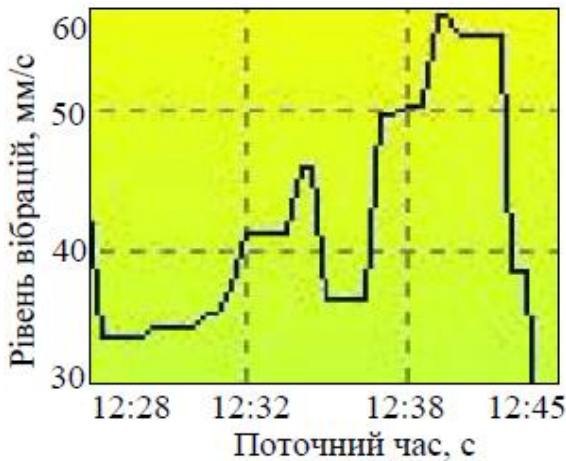


Рисунок 5 – ВХ РШМ при роботі у режимі р.х. з абразивним кругом серійного виробництва

У п'ятому розділі наведено розробку математичної моделі динамічних процесів в системі «К–М–О», її аналіз та дослідження на моделі вібрацій РШМ в режимах х.х. та р.х. з кругами, виготовленими за існуючою на виробництві технологією. На рис. 6 приведено дискретну плоску графічну модель системи «К–М–О».

РШМ на цьому рисунку представляє собою абсолютно жорстку конструкцію масою m_1 , зосередженою у точці O – центрі її ваги. Руки оператора моделюються масами m_2 , m_3 для лівої та правої рук, які пружностями C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , та демпферами з коефіцієнтами в'язкого демпфування b_1 , b_2 , b_3 , b_4 приєднуються до рукояток РШМ та тіла оператора.

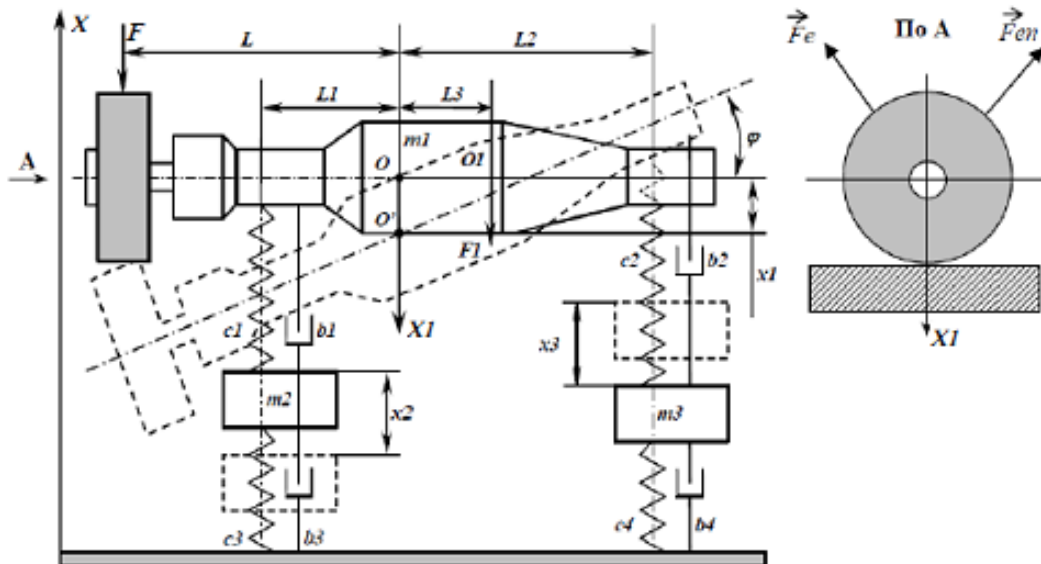


Рисунок 6 – Графічна модель динамічної системи «Абразивний круг – РШМ – Оператор»

В режимі х.х. РШМ на круг діє сумарна відцентрова сила $\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_{en}$, де $\vec{F}_e$ – вектор відцентрової сили від ексцентричності центра ваги круга відносно вісі його обертання; $\vec{F}_{en}$ – вектор відцентрової сили від непаралельності торців круга.

Крім сили F на РШМ діє «внутрішнє» джерело вібрацій – F_1 – відцентрова сила нерівноваженого ротора пневмодвигуна, яка прикладена в точці O_1 .

Оскільки дія вібрацій на руки оператора передається пружинами та демпферами, то вібрації розглядаються в напрямках цих зв'язків рук оператора з РШМ, тобто в напрямку вісі X . Переміщення у динаміці РШМ як єдиного цілого описується координатою X_1 – переміщенням центра ваги РШМ та кутом повороту φ навколо вісі РШМ, які утворюються під впливом сил F та F_1 та їх моментів $F \cdot L$, $F_1 \cdot L_3$. Переміщення рук оператора, тобто мас m_2 та m_3 описується координатами X_2 та X_3 , відповідно. При обертанні круга та ротора пневмодвигуна відцентрові сили F_e , F_{en} , F_1 проєцируються на вісь X у вигляді гармонік:

$$F_e = X_e \cdot m_{kp} \cdot \omega^2 \cos \omega t; F_{en} = X_n \cdot m_{kp} \cdot \omega^2 \cos(\omega t + \alpha); F_1 = X_{pom} \cdot m_{pom} \cdot \omega^2 \cos(\omega t + \beta), \quad (10)$$

де m_{pom} , X_{pom} – маса та ексцентричність центра ваги ротора пневмодвигуна. Напрямки сил F_e , F_{en} та F_1 задаються кутами α та β .

Побудову диференціальних рівнянь руху елементів системи «К–М–О» виконано за допомогою рівнянь Лагранжа 2-го роду і в результаті цього отримано систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} I \cdot \ddot{\varphi} + b_1 \cdot l_1 \cdot \dot{q}_1 - b_2 \cdot l_2 \cdot \dot{q}_2 + C_1 \cdot l_1 \cdot q_1 - C_2 \cdot l_2 \cdot q_2 &= F_c \cdot l - F_1 \cdot l_3; \\ m_1 \cdot \ddot{x}_1 + b_1 \cdot \dot{q}_1 + b_2 \cdot \dot{q}_2 + C_1 \cdot q_1 + C_2 \cdot q_2 &= F_c + F_1; \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 - b_1 \cdot \dot{q}_1 + b_3 \cdot \dot{x}_2 - C_1 \cdot q_1 + C_3 \cdot x_2 &= 0; \\ m_3 \cdot \ddot{x}_3 + b_2 \cdot \dot{q}_2 + b_4 \cdot \dot{x}_3 + C_2 \cdot q_2 + C_4 \cdot x_3 &= 0. \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Параметри q_1 , q_2 мають чіткий фізичний смисл – пружно-дисипативний зв'язок лівої та правої рук оператора з РШМ.

Значення C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 та маси m_2 , m_3 прийняті відповідно досліджень Васильйова Ю.М. та Борисова А.Г. Інші дані l_1 , l_2 , l_3 , m , I визначаються конструкцією РШМ для відповідного типорозміру абразивного круга: для абразивного круга ПП150×25×32 це РШМ моделі ПП2014П.

Рішення диференціальних рівнянь за відповідними початковими умовами здійснено в пакеті VisSim методом зменшення похідних. Для компактного представлення всієї програми моделювання обчислення q_1 , q_2 , а також кожного з рівнянь системи (11), зібрано в окремі Compaund блоки зі своїми найменуваннями. Крім цього, у загальній блок-схемі моделі «К–М–О» є Compaund блок вхідних даних «Initial data» з моделями сил F_e , F_{en} , F_1 , $F = F_e + F_{en}$. Результати моделювання оцінювались СКЗ віброшвидкості на лівій V_{ckl} та на правій V_{ckr} рукоятках РШМ.

Єдиний невизначений параметр моделі $X_{rot} = r$ визначався, виходячи з результатів експериментального дослідження вібрацій РШМ ПП2014П на х.х. без абразивного круга. Імітаційну модель динамічних процесів в системі «К–М–О» скориговано за експериментальними даними та встановлено, що $X_{rot} = 0,0002$ м.

Для зрівняння експериментальних даних та результатів моделювання у блок «Initial data» додано розрахунок відцентрової сили згідно формули обчислювання допустимого дисбалансу круга за ГОСТ 23182–78 $F = 0,004 \cdot m_{kp} \omega^2 \cos(\omega t + \beta)$. Результати моделювання при зміні кута β від 0 до 2π дають діапазон V_{ckl} від 28 мм/с до 43,5 мм/с. Порівнюючи його з діапазоном $V_{ckl} = (35 \div 41)$ мм/с, отриманим експериментально, бачимо, що середні їх значення відрізняються на 6%. Якщо прийняти цю різницю як припустиму похибку моделі, то розроблену модель динамічних процесів в системі «К–М–О» можна вважати адекватною.

В довідкових джерелах інформації приводяться СКЗ віброшвидкості на х.х. без абразивного круга для різних моделей РШМ. Ці значення не перевищують 6 мм/с. У експериментальних дослідженнях роботи РШМ 2014П без круга $V_{ckl} = 20$ мм/с, тобто у три рази більш ніж 6 мм/с, що вказує на неякісне її виготовлення, тобто з великою ексцентричністю r ротора, яка, як визначено

дорівнює 0,2 мм. Прийняв $r = 0,06$ мм, тобто у три рази меншим 0,2 мм і виконав чисельне моделювання, отримано діапазон $V_{ckl} = (30 \div 34,7)$ мм/с, що вище допустимого значення в 25 мм/с.

Таким чином відзначено, що допустиме значення дисбалансу по ГОСТ 23182–78 не гарантує виконання вимог до вібраційних характеристик ручних машин.

Очевидно, що для їх виконання потрібно забезпечити зменшення дисбалансу круга шляхом підвищення точності його формування при виготовленні. Для досягнення цілі, що поставлена, виконано оцінку V_{ckl} для РШМ 2014 П за максимальними значеннями ексцентричності круга на вісі шпинделя $X_{e\max} = 0,3996$ мм та непаралельності торців $X_{n\max} = 0,298$ мм. Отримано, що при $r = 0,06$ мм, $V_{ckl} = (38 \div 43)$ мм/с, а при $r = 0,2$ мм, $V_{ckl} = (33 \div 49)$ мм/с.

В імітаційній моделі динамічних процесів в системі «К–М–О» в режимі р.х. РШМ замість блока «Initial data» введено два блока «Outer forcer» та «Constant data». У блоці «Outer forcer» здійснюється моделювання складових сили шліфування, визначених за лінеарізованою експериментальною залежністю, та моделювання кутової швидкості шпинделя РШМ за динамічною моделлю приводу обертання

$$\left. \begin{aligned} I\dot{\omega} &= M_{\delta} - M_c \\ M_{\delta} \cdot k &= \omega_0 - \omega \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

де I – момент інерції всіх деталей, що обертаються, приведений до шпинделя РШМ, кг·м²; $M_c = F_{piz} \cdot R_{kp}$ – момент опору (момент сили різання); R_{kp} – радіус круга.

За максимальними значеннями X_e та X_n з $r = 0,06$ мм та зміною кутів α та β у межах від 0 до 2π отримано діапазон $V_{ckl} = (24 \div 56)$ мм/с. При цьому кутова швидкість пневмодвигуна РШМ після його розгону у режимі х.х. до 534 рад/с при переході на р.х. зменшується до 435 рад/с. Глибина шліфування при зусиллі притиску 50 Н коливається у діапазоні $(0 \div 0,18)$ мм, а окружна сила різання F_{piz} коливається у діапазоні $(0 \div 65)$ Н. Таким чином має місце той же пульсуючий характер шліфування, що спостерігався експериментально.

Практичний інтерес при р.х. представляє аналіз впливу режимів шліфування (зусилля притиску P_y і швидкості подовжнього подання S) на вібраційну характеристику роботи РШМ.

Встановлено, що при збільшенні зусилля притиску з 20 Н до 50 Н, рівень вібрацій РШМ зменшується більш ніж в 1,5 разів. Подальше підвищення зусилля притиску суттєво не зменшує рівень вібрацій РШМ і призводить до підвищеної стомлюваності оператора. Тому всі моделювання вібрацій РШМ при р.х. здійснювались для зусилля притиску 50 Н.

Зміна швидкості подовжнього подання не здійснює помітного впливу на рівень вібрації РШМ.

Моделювання вібрацій у режимах х.х. та р.х. виконано для всієї гами розмірів кругів для РШМ за максимально можливими значеннями похибок їх геометричної форми та встановлення на шпиндель відповідної РШМ. Встановлено, що на всіх режимах роботи РШМ з кругами, виготовленими в пресформі традиційної

конструкції, V_{ckl} може в 1,5–3 рази перевищувати вимоги до вібраційних характеристик ручних машин.

У шостому розділі розроблено технологічні та конструкторські рішення щодо підвищення точності виготовлення абразивних кругів прямого профілю для РШМ та представлено їх аналіз.

Запропоновано перспективний спосіб пресування заготовель абразивних кругів з металевою втулкою по посадочному отвору, при реалізації якого відсутній контакт керн пресформи з абразивною масою, тобто керн практично не зношується. Конструкцію пресформи для розробленого способу пресування приведено на рис.7, на якому: 1 – кільце; 2 – основа; 3 – болт; 4 – отвір для випресовування заготовки круга (3 шт.); 5 – керн; 6 – плита нижня; 7 – плита верхня; 8 – шийка керн; 9 – гайка; 10 – центрові отвори; 11 – втулка; 12 – компенсаційна втулка; 13 – виточка під компенсаційну втулку; 14 – отвір для випресовування компенсаційної втулки; 15, 16, 17 – технологічні канавки.

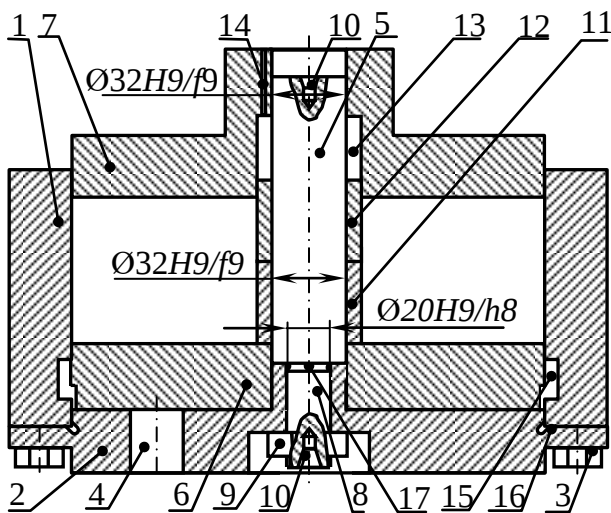


Рисунок 7 – Пресформа для пресування абразивного круга із металевою втулкою

Після пресування круг випресовується із пресформи разом зі втулкою 11 і у подальшому експлуатується разом з нею.

Запропонована конструкція пресформи та спосіб її виготовлення (патенти України № 88766 та № 89199, патенти Російської Федерації № 2013157178 та № 2013157176) відкривають певні технологічні можливості для підвищення точності формування абразивного круга. Змінена конструкція керн, встановленого по ковзаючій посадці в отвір основи, дозволяє виконувати фінішну обробку внутрішньої поверхні кільця 1 після зборки його з основою та керном з базуванням у центрах керн, що забезпечує співвісність керн з кільцем, та, як наслідок,

співвісність зовнішньої та внутрішньої поверхонь круга. Це принципова відмінність запропонованої технології виготовлення пресформи від існуючої технології, при якій співвісність кільця з керном залежить від точності складання пресформи. Практична відсутність зносу керн також забезпечує стабільний зазор в сполученні «керн-верхня плита» і, як наслідок, стабільність максимально можливої непаралельності торців круга, яка, як було встановлено, визначається «заклинюванням» на керні. Максимально можлива величина непаралельності торців круга залежить від типу посадки в сполученні «керн-верхня плита» та висоти базової поверхні отвору в верхній плиті.

Гарантоване дотримання вимог до вібраційних характеристик РШМ при роботі з абразивними кругами діаметром 150 та 125 мм досягається при посадці в сполученні «керн – металева втулка» H9/f9 і посадці в сполученні «керн – верхня плита» H9/h8 та висоті базової поверхні в отворі верхньої плити 30 мм. При цьому СКЗ віброшвидкості РШМ при роботі з кругами ПП150×25×32 знаходяться в

діапазоні (14,7 ÷ 20,9) мм/с в режимі х.х. та (15,8 ÷ 22,5) мм/с в режимі р.х. при допустимому рівні 25 мм/с.

Вібрації РШМ ІП2002 з кругами ПП100х20х20 та РШМ ІП2009А з кругами ПП63х20х20 при вищенаведених параметрах пресформ можуть іноді трохи перевищувати допустимі значення у 18 мм/с та 12 мм/с при максимально можливих похибках геометричної форми абразивних кругів. Для гарантованого дотримання вимог до вібраційних характеристик ручних машин при роботі РШМ з кругами діаметром 63-100 мм запропоновано зменшити допуск на отвір металевої втулки, що формує посадочний отвір круга, з *IT9* на *IT8* та виключити проміжні деталі (фланці) для встановлення круга на шпиндель РШМ.

Таким чином, розроблена технологія виготовлення абразивних кругів прямого профілю гарантовано забезпечує дотримання вимог до вібраційних характеристик роботи РШМ.

У додатках приведено методики розрахунку зміщення центра мас та похибок геометричної форми абразивних кругів прямого профілю. Описано обладнання та прилади для проведення експериментальних досліджень вібрацій РШМ. Наведено акти про практичне використання і впровадження у виробництво результатів дисертаційної роботи та розрахунок економічного ефекту від використання абразивних кругів, виготовлених за технологією, що розроблена.

Дотримання в умовах промислових підприємств вимог до вібраційних характеристик РШМ при використанні абразивних кругів, виготовлених по технології, що запропонована, забезпечить отримання щорічного економічного ефекту у розмірі близько 600 тис. грн. на одну тисячу використаних кругів.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу гарантованого зменшення рівня вібрацій РШМ до рівня вимог до вібраційних характеристик ручних машин шляхом вдосконалення технології виготовлення абразивних кругів прямого профілю.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Аналітично отримано формули розрахунку зміщення центра ваги абразивного круга прямого профілю від ексцентричності отвору у крузі $X_c(e)$ та непаралельності торців круга $X_c(b)$, що дозволило оцінити взаємозв'язок між точністю виготовлення абразивного круга та його дисбалансом.

2. Теоретично встановлено закономірності формування похибок геометричної форми (зміщення центра мас) абразивного круга при його пресуванні. Визначена ймовірність можливих величин ексцентричності положення кругів на шпинделі РШМ та непаралельності торців кругів при їх пресуванні за технологією, що існує. Доведено, що найбільш ймовірним є формування непаралельності торців абразивного круга при «заклинюванні» верхньої плити на керні пресформи.

3. Експериментально встановлено параметри внутрішнього джерела вібрацій неурівноваженого ротора пневмодвигуна РШМ. Оцінено вплив взаємного напрямку векторів дисбалансу круга та ротору пневмодвигуна. З'ясовано, що диск-імітатор круга з допустимим дисбалансом відповідно ГОСТ 23182-78 призводить до вібрацій,

вищих, ніж допустимі. Встановлено, що середній рівень вібрацій РШМ у режимах х.х. та р.х. з одним і тим же кругом, в середньому, майже однаковий, при р.х. РШМ помітно зменшує частоту обертів круга в порівнянні з режимом х.х.

4. Розроблено графічні, структурні та математичні моделі динамічних процесів в системі «К–М–О» для визначення вібрацій РШМ в місцях контакту з руками оператора у режимах х.х. і р.х. з візуалізацією результатів моделювання. Адекватність розроблених моделей підтверджено результатами експериментальних досліджень.

5. Дослідженнями на розроблених моделях встановлено, що при використанні абразивних кругів, виготовлених за технологією, що існує, вібрації РШМ в режимах х.х. та р.х. в 1,5–3 рази можуть перевищувати вимоги до вібраційних характеристик ручних машин.

6. Встановлено чисельним моделюванням динамічних процесів в системі «К–М–О», що допустимий дисбаланс абразивних кругів відповідно ГОСТ 23182–78, не гарантує виконання вимог до вібраційних характеристик ручних машин згідно з ГОСТ 17770–86.

7. Розроблено спосіб виготовлення абразивного круга з металевою втулкою по його посадочному отвору і відповідна конструкція та спосіб виготовлення пресформи, які забезпечили суттєве підвищення точності абразивних кругів з одночасним значним збільшенням терміну служби деталей пресформи завдяки уникнення контакту керна пресформи з абразивною масою. Конструкція розробленої пресформи та спосіб її виготовлення захищено патентами України та Російської Федерації.

В результаті аналізу закономірностей формування точності геометричних параметрів абразивних кругів при їх виготовленні по технології, що запропонована, визначено параметри розробленої пресформи, які необхідні для гарантованого дотримання вимог до вібраційних характеристик роботи РШМ.

Позитивні результати промислового освоєння в умовах ТОВ НТБК «Енергосталь» (м. Дергачі Харківській обл.) запропонованої технології довели її високу технічну доцільність. Розроблені технологічні і конструкторські рішення також впроваджено при виконанні ПД «УкрНТЦ «Енергосталь» роботи «Будівництво металургійного виробництва гарячекатаного рулонного прокату ТОВ «Красносулінський металургійний комбінат». Проектна документація з метою забезпечення підприємства абразивним інструментом власного виробництва.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ЯКІ ОПУБЛІКОВАНО ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Романченко П.В. Неуравновешенность масс абразивных кругов и погрешности их геометрической формы [Текст] / Д.В. Сталинский, П.В. Романченко, Ю.А. Сизый // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – Вип. 1(14). – С. 86-97. *Здобувачем отримані формули розрахунку зміщення центру мас абразивного круга прямого профілю залежно від величин похибок його геометричної форми; визначені особливості формування неурівноваженості мас абразивних кругів при різних способах їх пресування.*

2. Романченко П.В. Вибрации ручной шлифовальной машины при рабочем и холостом ходе [Текст] / Д.В. Сталинский, П.В. Романченко, Ю.А. Сизый // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 40. – С. 3–8. *Здобувачем вдосконалена математична модель динамічних процесів в системі «К-М-О» для х.х. РШМ з забезпеченням можливості варіювати основними чинниками, що збурюють вібрації та синтезована математична модель динамічних процесів в системі «К-М-О» для р.х. РШМ.*

3. Романченко П.В. Разработка предложений по повышению точности изготовления шлифовальных кругов для ручных шлифовальных машин [Текст] / Ю.А. Сизый, Д.В. Сталинский, П.В. Романченко, С.Е. Слипенко // Високі технології в машинобудуванні. – Харків, НТУ «ХПІ». – 2014. – Вип. 1 (24). – С. 163–168. *Здобувачем запропонована конструкція і технологія виготовлення пресформи для пресування заготовель абразивних кругів прямого профілю з металевою втулкою по посадочному отвору.*

4. Романченко П.В. Моделирование вибраций ручной шлифовальной машины ИП2014П [Текст] / Д.В. Сталинский, Ю.А. Сизый, П.В. Романченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1/7 (73). – С.13–19. *Здобувачем вдосконалені математичні моделі КОМ для х.х. і р.х. РШМ з урахуванням динаміки обертального руху ротора пневмодвигуна і динаміки формування сили різання.*

5. Романченко П.В. Исследование смещения центра тяжести шлифовального круга, обусловленное погрешностями его формы [Текст] / Ю.А. Сизый, Д.В. Сталинский, П.В. Романченко // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 4 (1113). – С. 20–22. *Здобувачем, на основі аналітично отриманих формул, встановлена неузгодженість між вимогами до точності виготовлення абразивних кругів для РШМ і вимогами до їх дисбалансу.*

6. Пат. 88766 Украина, МПК В24D18/00. Прес-форма для виготовлення шліфувальних кругів [Текст] / Сталинский Д.В., Романченко П.В., Сизый Ю.А.; заявитель и патентообладатель ГП «УкрНТЦ «Енергосталь». – № u201313674; заявл. 25.11.13; опубл. 25.03.14, Бюл. № 6. – 6 с.: ил. *Здобувачем запропонована конструкція пресформи для виготовлення абразивних кругів.*

7. Пат. 89199 Украина, МПК В24D18/00. Спосіб виготовлення прес-форми для виготовлення шліфувальних кругів [Текст] / Сталинский Д.В., Романченко П.В., Сизый Ю.А.; заявитель и патентообладатель ГП «УкрНТЦ «Енергосталь». – № u201313626; заявл. 25.11.13; опубл. 25.11.13, Бюл. № 6. – 6 с.: ил. *Здобувачем запропоновано спосіб виготовлення пресформи запропонованої конструкції.*

8. Заявка 2013157178 Российская Федерация, МПК В24D18/00, В30В15/02. Пресс-форма для изготовления шлифовальных кругов [Текст] / Сталинский Д.В., Романченко П.В., Сизый Ю.А. ; заявитель и патентообладатель ГП «УкрНТЦ «Енергосталь». – № 2013157178 ; заявл. 23.12.13 ; опубл. 27.06.15, Бюл. № 18. – 1 с. *Здобувачем запропонована конструкція пресформи для виготовлення абразивних кругів.*

9. Заявка 2013157176 Российская Федерация, МПК В24D18/00, В30В15/02. Способ изготовления пресс-формы для изготовления шлифовальных кругов [Текст] / Сталинский Д.В., Романченко П.В., Сизый Ю.А. ; заявитель и патентообладатель

ГП «УкрНТЦ «Енергосталь». – № 2013157176 ; заявл. 23.12.13 ; опубл. 27.06.15, Бюл. № 18.– 1 с. *Здобувачем запропоновано спосіб виготовлення пресформи запропонованої конструкції.*

10. Романченко П.В. Влияние неуравновешенности масс абразивных кругов на вибрационную характеристику работы ручных шлифовальных машин [Текст] /Д.В. Сталинский, Ю.А. Сизый, Л.Г. Яровая, П.В. Романченко // Екологія та виробництво. – 2002. – № -3. – С. 53–58. *Здобувачем розроблена математична модель КМО для х.х. РШМ. Встановлена невідповідність між вимогами до дисбалансу абразивних кругів та вимогами до вібрацій РШМ. Запропоновано новий підхід до визначення похибок геометричної форми абразивних кругів при їх виготовленні.*

11. Романченко П.В. Влияние точности изготовления и эксплуатационных свойств абразивного инструмента на условия работы операторов ручных шлифовальных машин [Текст] / Д.В. Сталинский, Л.Г. Яровая, П.В. Романченко // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: зб. науч. ст. XI Международной научно-технической конференции: в 2-х т. / УкрГНТЦ «Енергосталь». – Харьков: «Курсор», 2003. – Т1. – С.89–97. *Здобувачем запропоновані напрямки зменшення вібрацій РШМ, представлені результати моделювання вібрацій при х.х. РШМ і результати розмірного аналізу пресформ традиційної конструкції.*

12. Романченко П.В. Разработка предложений по уменьшению неуравновешенности шлифовальных кругов для ручных шлифовальных машин и проверка их на математических моделях [Текст] / Д.В. Сталинский, П.В. Романченко, Ю.А. Сизый, А.И. Кравченко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, здоров'я: Тези доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції, ЧІ (15–17 травня 2012р., Харків). – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 80. *Здобувачем представлені пропозиції щодо зменшення неурівноваженості мас абразивних кругів для РШМ.*

13. Романченко П.В. Экспериментальные исследования вибрационной характеристики ручных шлифовальных машин: тр. 19-й международной научно-практической конференции [Текст] / Д.В. Сталинский, Ю.А. Сизый, П.В. Романченко, Ю.Н. Любимый // Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ГП ХМЗ «ФЕД». – 2014. – С. 21–29. *Здобувачем виконані експериментальні дослідження вібрацій РШМ при різних режимах роботи та проведено їх аналіз; виявлено істотний вплив внутрішнього джерела вібрацій (неурівноваженість ротора пневмодвигуна) на вібраційну характеристику роботи РШМ.*

АНОТАЦІЇ

Романченко П.В. Вдосконалення технології виготовлення абразивних кругів ручних шліфувальних машин для зменшення їх вібрацій. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01. процеси механічної обробки, верстати та інструменти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016.

Дисертацію присвячено рішення актуальної задачі зменшення рівня вібрацій РШМ при абразивній обробці металопродукції до рівня вимог щодо вібраційних характеристик ручних машин, шляхом підвищення точності виготовлення абразивних кругів.

Для оцінки потрібного рівня точності абразивних кругів виконано аналіз її формування відносно таких параметрів як ексцентричність положення круга на шпинделі РШМ та непаралельність торців круга. Для встановлення відцентрових сил, які збуджують коливання РШМ, отримано формули для визначення зміщення центра ваги абразивного круга від його ексцентричності та непаралельності торців.

Рівень вібрацій в місцях контакту рук оператора з РШМ визначено за допомогою оригінальних математичних моделей динамічної системи «Абразивний круг – РШМ – оператор», які були розроблені для різних режимів роботи РШМ.

На основі аналізу отриманих закономірностей формування точності абразивних кругів розроблено оригінальні технологічні та конструкторські рішення, які дозволили зменшити рівень вібрацій РШМ до рівня вимог щодо вібраційних характеристик ручних машин.

Ключові слова: шліфування, технологія виготовлення інструмента, абразивний круг, неурівноваженість круга ексцентричність, непаралельність торців, ручна шліфувальна машина, пресформа.

Романченко П.В. Совершенствование технологии изготовления абразивных кругов ручных шлифовальных машин для уменьшения их вибраций. На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01. процессы механической обработки, станки и инструменты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной задачи уменьшения уровня вибраций РШМ при абразивной обработке металлопродукции до уровня требований к вибрационным характеристикам ручных машин. Основной причиной вибраций РШМ является неуравновешенность масс вращающегося абразивного круга. При условии обеспечения однородной структуры абразивного инструмента, неуравновешенность масс абразивных кругов является следствием погрешностей их геометрической формы и формируется в процессе их прессования.

Существующая технология и оснастка гарантировано не обеспечивают требуемый уровень точности абразивных кругов вследствие интенсивного износа формообразующих деталей прессформы при контакте с абразивной массой и ряда других конструктивных и технологических причин.

В результате установления и анализа закономерностей формирования погрешностей формы абразивных кругов предложен новый подход к обеспечению точности изготовления абразивных кругов, необходимой для гарантированного достижения требований к вибрационным характеристикам работы РШМ. Определены возможные величины эксцентричности положения абразивного круга на шпинделе РШМ и непараллельности торцов круга. Для определения центробежных сил, возбуждающих колебания РШМ, получены формулы смещения

центра тяжести абразивного круга от его эксцентricности и непараллельности торцов.

Уровень вибраций на рукоятках РШМ оценивался на имитационной модели динамической системы «Абразивный круг – РШМ – оператор», построенной на оригинальной математической модели в виде системы дифференциальных уравнений, которая также учитывает динамику вращательного движения ротора пневмодвигателя РШМ и динамику изменения силы резания. Адекватность модели подтверждена экспериментальными исследованиями.

Предложены оригинальные решения конструкции и технологии изготовления прессформы и технологии изготовления абразивного круга прямого профиля в разработанной прессформе, позволившие гарантировано обеспечить требуемую точность изготовления абразивных кругов и снизить уровень вибраций РШМ до уровня тренировок к вибрационным характеристикам ручных машин.

Ключевые слова: шлифование, технология изготовления инструмента, абразивный круг, неуравновешенность круга, эксцентricность, непараллельность торцов, ручная шлифовальная машина, прессформа.

Romanchenko P.V. Upgrading technology for abrasive disks manufacture for manual grinding machines to decrease their vibrations. Manuscript.

Thesis for academic degree of Ph.D. for specialty 05.03.01 mechanical processing, machines and tools” - National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2016.

Thesis gives the solution of actual problem concerning decreasing vibration level of manual grinding machines during abrasive processing of metal products up to level of requirements for vibration characteristics of manual machines, by increasing accuracy of abrasive disk manufacture.

To define needed level of abrasive disk accuracy, its forming in regard to eccentricity position of disk on spindle of manual grinding machines and ends' non-parallelism of disk was analyzed. Formulas for definition of displacement of abrasive disk mass center from its eccentricity and ends' non-parallelism were obtained to determine centrifugal forces which excite vibrations of manual grinding machines.

The vibration level in places, where operator's hands touch manual grinding machines, was defined using original mathematical models of dynamical system "Abrasive disk – manual grinding machines – operator", which are developed for different modes of manual grinding machines.

Based on analysis of obtained principles of abrasive disk accuracy forming, original process and design solutions, which allowed to decrease vibration level of manual grinding machines up to level of requirements for vibration characteristics of manual machines, were developed.

Keywords: grinding, tool manufacture technology, abrasive disk, disk imbalance, eccentricity, ends' non-parallelism, manual grinding machine, mould.

Підписано до друку 26.01.2017 р.
Формат $60 \times 84^{1/16}$. Папір офсетний Гарнітура Times New Roman.
Друк ксерографічний. Ум. авт. арк. 1,3.
Наклад 100 прим.

Надруковано ФОП Шаповаллова Т.М.
Свідоцтво про внесення до Єдиного Державного реєстру
№ 24800170000093635 від 08.11.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Дарвіна, 20. Тел. (057) 717-58-38