

УДК 621.9.022

М.І. Покінтелиця

Севастопольський національний технічний університет

Тел./Факс: +38 (0692) 540667; E-mail: tm@sevntu.com.ua

ТЕРМОФРИКЦІЙНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СПЕЦІАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ ПРИСТОСУВАНЬ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ ВЕРСТАТА

Розроблені спеціальні динамічні пристосування для підвищення якості термофрикційної обробки деталей. Пристосування включає стіл на пружному підвісі. Проведено математичне моделювання термофрикційної обробки деталі на динамічному пристосуванні. Результати моделювання доповнені експериментальними дослідженнями коливальних процесів. Визначені динамічні переміщення деталі при її обробці.

Ключові слова: термофрикційна обробка, динамічні пристосування, диференціальні рівняння, динамічна модель, операторний вигляд, структурна модель, параметри коливальних.

1. Вступ

Термофрикційна обробка (ТФО) деталей підвищує показники якості оброблених поверхонь. Тому дослідження, направлені на вдосконалення процесу ТФО, є актуальними.

ТФО деталей приводить до формування хвилястої обробленої поверхні, тому проблема в загальному вигляді полягає у дослідженні причин і наслідків формування хвилястості та її зв'язку із параметрами технологічної системи верстата.

Проблема також пов'язана із важливими науковими і практичними завданнями розробки прогресивних технологічних процесів обробки деталей на універсальному металообробному обладнанні з ЧПК.

В останніх дослідженнях і публікаціях наведено значну кількість результатів досліджень процесу ТФО деталей. Досліджені режими обробки та показники якості обробленої поверхні [1]. Ряд публікацій присвячено встановленню особливостей робочих процесів [2, 3]. В окремих роботах розглянуті температурні поля в зоні різання [4]. Ряд матеріалів присвячено розробці інструменту, що забезпечує прогресивні методи обробки [5]. Досліджень динамічних процесів, що мають місце при ТФО деталей, в літературних джерелах не виявлено.

Результати досліджень, які викладені в даній статті, направлені на розв'язок невирішеної раніше частини загальної проблеми, що полягає у встановленні параметрів динамічних процесів, які протікають при ТФО деталей.

Метою досліджень є підвищення якості ТФО введенням спеціальних динамічних пристосувань в технологічну систему верстата.

Задачами досліджень поставлено розробку схем динамічних пристосувань, математичне моделювання динамічних процесів та їх порівняння з результатами експериментальних досліджень і розробка рекомендацій по підвищенню якості ТФО деталей.

2. Основний зміст та результати роботи

ТФО здійснюється дисковим інструментом ($D = 130 \dots 180$ мм), який має округлену різальну кромку. В процесі контакту заготовки з диском, який швидко обертається ($V_d = 40 \dots 80$ м/с), відбувається розігрівання металу в контактній зоні до високопласти-

чного стану і його деформація, що супроводжується утворенням зливної хвилястої стружки.

В результаті обробки реалізується оплавлена хвиляста поверхня, амплітуда і період хвиль якої залежать від багатьох факторів і визначаються параметрами динамічної системи верстата. Запропоновано використати спеціальні динамічні пристосування, що дозволяють змінювати динамічні характеристики оброблюваної системи. Спеціальні пристосування служать для закріплення оброблюваної деталі. Правильним вибором пружно-дисипативних властивостей пристосувань забезпечуються необхідні параметри хвилястості обробленої поверхні.

Розроблене типове спеціальне динамічне пристосування являє собою рухомий стіл 1, на якому закріплюється деталь 2 (рис. 1).

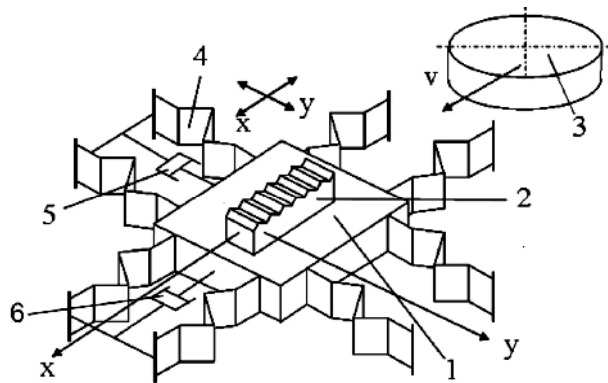


Рис. 1. Принципова схема типового динамічного пристосування для забезпечення вібраційного переміщення деталі при ТФО

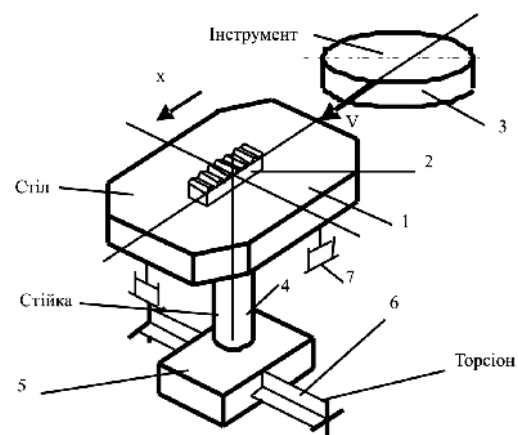


Рис. 2. Варіант пристосування із пружним підвісом у вигляді торсіонів хрестоподібного поперечного перетину

Стіл може переміщуватись в площині, перпендикулярній вісі інструмента 3. В нейтральному положенні стіл утримується плоскими пружинами 4. Для одержання необхідних динамічних характеристик пристрій має демпфери 5 і 6, які забезпечують ефективне затухання коливань стола. Переміщення стола здійснюються у двох взаємно перпендикулярних напрямках x , y , один із яких співпадає із напрямком подачі V . Пристрій повинен забезпечувати необхідну жорсткість динамічної системи в напрямку вісі z . Це досягається спеціальною конструкцією плоских пружин.

Запропоновано ряд конструкцій пристосувань, які забезпечують переміщення деталі під дією сил різання, що виникають в процесі обробки. Базовим вибрано варіант із пружним підвісом у вигляді торсіонів хрестоподібного поперечного перетину.

Пристрій (рис. 2) має стіл 1, на якому закріплюються деталь 2, яка переміщується в напрямку x , що близький до площини інструменту 3. Таким чином, напрямок переміщення деталі близький до напрямку швидкості подачі V . Стол за допомогою стійки 4 з'єднано з основою 5, яка встановлена на двох торсіонах 6. Торсіони мають хрестоподібний переріз, площини якого розташовані у взаємно-перпендикулярних напрямках. При цьому одна із площин торсіонів паралельна напрямку швидкості подачі V . Пристрій має демпфери 7, які забезпечують затухання коливань і знижують їх амплітуду.

Пристрій працює наступним чином. Процес обробки супроводжується виникненням динамічних сил різання, які характеризуються широким частотним спектром. Під

дією випадкових сил різання виникають усталені поперечно кутові коливання стола невеликої амплітуди. При цьому деталь набуває вібраційного руху в напрямку подачі x . Коливання деталі обумовлюють виникнення регулярної хвилястості на обробленій поверхні. Вертикальні переміщення деталі є незначними по причині значної жорсткості в поперечному напрямку хрестоподібних торсіонів.

Дане пристосування має недостатню жорсткість в площині вісі торсіонів. Це негативно впливає на робочий процес різання. Для зниження тангенціальних сил і демпфування коливань в напрямку, перпендикулярному швидкості подачі, розроблено пристрій у вигляді вібраційного столу з двома парами взаємно перпендикулярних торсіонів. Розроблений вібраційний стіл забезпечує поперечно кутове переміщення деталі навколо вісей, одна з яких співпадає із напрямком подачі, а інша – перпендикулярна напрямку подачі. Дані переміщення реалізуються конструктивними методами шляхом застосуванням рухомої платформи 1, встановленої на двох парах торсіонів хрестоподібного поперечного перетину 2 (рис. 3).

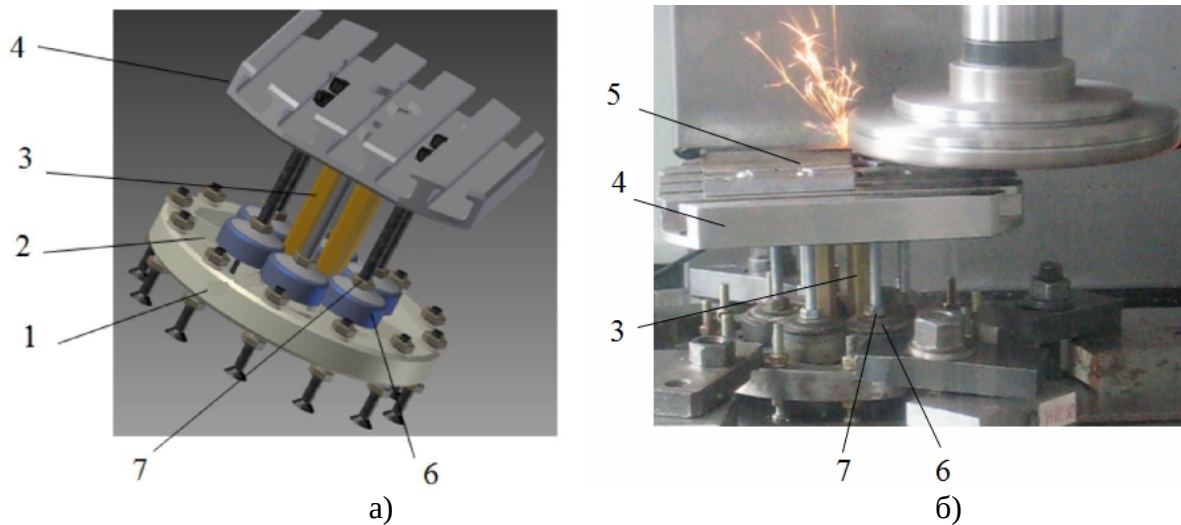


Рис. 3. Твердотільна модель вібраційного стола (а) та обробка деталі на вібраційному столі (б)

На стійці 3 платформи 1 встановлено стіл 4, на якому закріплюється оброблювана деталь 5. Стіл має ряд демпферів 6, які забезпечують затухання коливань і знижують їх амплітуду. Демпфери регулюються гайками 7.

Вібраційний стіл працює наступним чином. Процес обробки супроводжується виникненням динамічних сил різання, які характеризуються широким частотним спектром. Під дією випадкових сил різання виникають усталені поперечно-кутові коливання стола невеликої амплітуди. При цьому деталь набуває вібраційного руху в напрямку подачі та перпендикулярно до неї. Коливання деталі приводить до виникнення регулярної хвилястості на обробленій поверхні деталі. Вертикальні переміщення деталі є незначними по причині значної жорсткості в поперечному напрямку хрестоподібних торсіонів.

З метою ціленаправленого вибору параметрів вібраційних переміщень деталі проведено математичне моделювання переміщень стола при дії на нього випадкових навантажень, обумовлених силами різання. Для малих коливань динамічна модель стола подана у вигляді одномасової системи, яка має дві ступені вільності (рис. 4).

3. Цифрові моделі

Для прийнятої динамічної моделі складена система диференціальних рівнянь, яка враховує нелінійні сили опору та параметричний зв'язок переміщень по різним координатам. Система рівнянь подана у вигляді:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} + h_x \frac{dx}{dt} + f_{hx}(v_x) + c_x x = F_n(t) + f_{px}(y); \\ m \frac{d^2y}{dt^2} + h_y \frac{dy}{dt} + f_{hy}(v_y) + c_y y = F_\tau(t) + f_{py}(x), \end{cases}, \quad (1)$$

де m – еквівалентна маса стола; h_x, h_y – коефіцієнти опору при русі стола в напрямках x і y , відповідно; c_x, c_y – еквівалентні жорсткості динамічної системи стола; $F_n(t), F_\tau(t)$ – проекції випадкової сили різання, яка діє з боку інструменту на стіл; $f_{hx}(v_x), f_{hy}(v_y)$ – нелінійні складові сил опору, які залежать від проекцій швидкості стола v_x та v_y ; $f_{px}(y)$ та $f_{py}(x)$ – функції, які описують взаємний вплив коливань стола в напрямках x і y , відповідно.

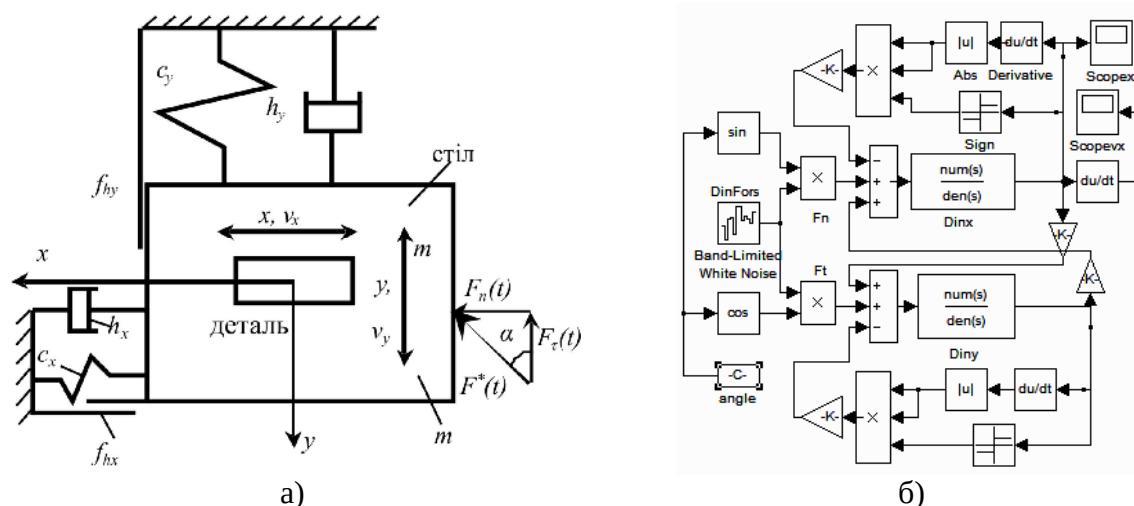


Рис. 4. Подання вібраційного стола у вигляді динамічної системи з нелінійними характеристиками, яка має дві ступені вільності (а) та структурна математична модель стола (б), в якій наявні параметричні зв'язки переміщень по координатам

В результаті проведених досліджень процесу взаємодії розплавленого металу та інструменту встановлено, що нелінійні складові сил опору наближено відповідають квадратичним функціями проекцій швидкостей

$$f_{hx} = b_{hx} v_x^2 \text{sign} v_x, \quad f_{hy} = b_{hy} v_y^2 \text{sign} v_y, \quad (2)$$

де b_{hx}, b_{hy} – постійні коефіцієнти.

В першому наближенні прийнято лінійний параметричний зв'язок між переміщеннями стола та відповідними силовими діями, а саме

$$f_{px} = q_x y, \quad f_{py} = q_y x, \quad (3)$$

де q_x, q_y – постійні коефіцієнти параметричного зв'язку переміщень із відповідними силовими факторами, що діють на стіл перпендикулярно переміщенням.

Прийнято, що сила різання $F^*(t)$ змінюється випадковим чином і являє собою широкополосний випадковий процес, спектральна щільність якого має постійне значення в діапазоні робочих частот коливань динамічної системи.

При цьому зміни кута дії сили є незначними і можна прийняти кут дії вектора сили $\alpha = \text{const}$.

Із врахуванням вказаних припущень система рівнянь (1) подана у вигляді залежностей:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + h_x \frac{dx}{dt} + c_x x = F^*(t) \sin \alpha + q_x y - b_{hx} v_x^2 \text{sign} v_x; \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} + h_y \frac{dy}{dt} + c_y y = F^*(t) \cos \alpha + q_y x - b_{hy} v_y^2 \text{sign} v_y. \end{cases} \quad (4)$$

Одержана система рівнянь (4) приведена до операторного виду шляхом перетворення по Лапласу.

Розв'язок системи в операторах визначає проекції переміщення стола у вигляді залежностей

$$\begin{cases} X(s) = W_x(s) L[F^*(t) \sin \alpha + q_x y - b_{hx} v_x^2 \text{sign} v_x]; \\ Y(s) = W_y(s) L[F^*(t) \cos \alpha + q_y x - b_{hy} v_y^2 \text{sign} v_y], \end{cases} \quad (5)$$

де s – оператор Лапласа; $X(s), Y(s)$ – зображення по Лапласу переміщень стола в напрямках x і y , відповідно; L – символ перетворення Лапласа.

Передавальні функції системи, що входять в (5), мають вигляд:

$$W_x(s) = \frac{1}{ms^2 + h_x s + c_x}; \quad W_y(s) = \frac{1}{ms^2 + h_y s + c_y}. \quad (6)$$

Операторна система рівнянь (5) із врахуванням (6) послужила основою для розробки структурної математичної моделі динамічних переміщень стола (див. рис. 4, б).

Сила різання задана у вигляді широкополосного випадкового процесу («білого шуму»). В якості виходу моделі прийняті проекції на вісь x вібропереміщення x та віброшвидкості v_x стола.

По розробленій моделі виконані розрахунки переміщень деталі при випадкових силах різання. Зокрема, проведено розрахунок віброшвидкості v_x в напрямку x (рис. 5, а).

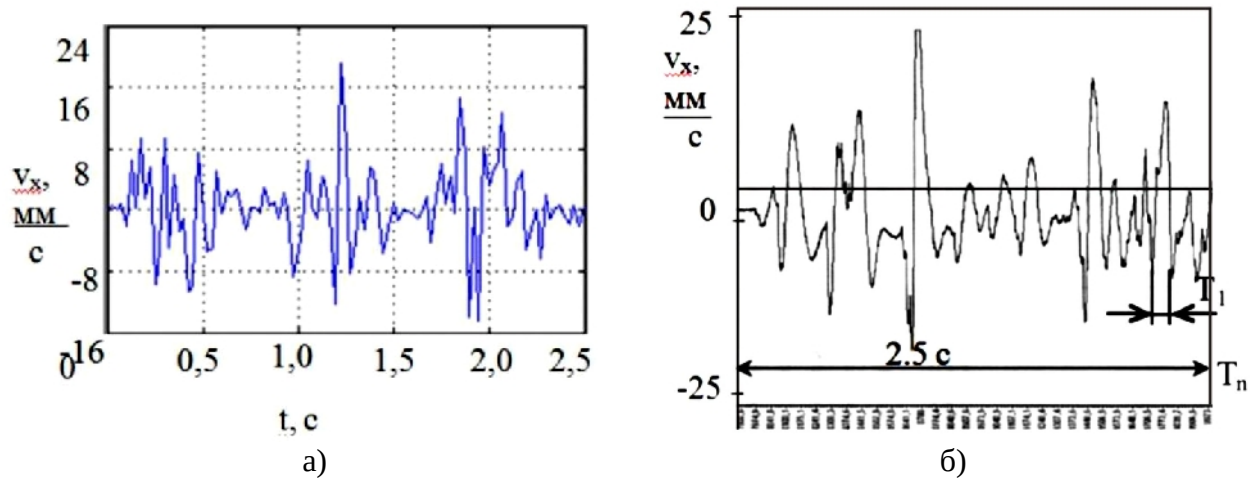


Рис. 5. Результати математичного моделювання віброшвидкості стола в напрямку подачі (а) та експериментально визначена віброшвидкість стола (б)

Результати розрахунків співставленні з експериментальними вимірами вібраційних параметрів стола в процесі обробки. Експериментально виміряна віброшвидкість стола (рис. 5, б) кількісно і якісно відповідає результатам математичного моделювання. Часова реалізація віброшвидкості стола (див. рис. 5, б) відповідає розрахунковим даним. Цим підтверджена адекватність моделі.

Встановлена відповідність розрахункових і експериментальних даних по амплітудним значенням віброшвидкості та по частотному складу вібрацій. Полоса резонансних частот віброшвидкості, яка відповідна головному резонансу, складає 10...16 Гц.

Проведено широкий комплекс експериментальних досліджень вібраційних параметрів переміщення стола під час обробки деталей. Виміри проведені для всього діапазону обробки по довжині деталі.

Встановлено, що параметри коливань мало залежать від розташування інструмента відносно центру стола (рис. 6).

В результаті обробки виміряних віброшвидкостей стола встановлено, що спектр вібрацій стола має базову частоту $\omega_1 = 9...16$ Гц, що відповідає періоду коливань $T_1 = 0,06...0,11$ с.

На записах віброшвидкості (див. рис. 6, а) простежуються ділянки D_1 , D_2 складних коливань у вигляді «биття». Амплітуда коливань на таких ділянках змінюється в 2...4 рази. Має місце періодичне значне зменшення амплітуди коливань (ділянка D_3). Обвідна процесу має періодичні зміни з періодом $T_2 = 1,5...1,8$ с. Обвідна коливального процесу набуває деяких змін.

При знаходженні інструменту в центрі стола зміни обвідної проявляються в змінах її амплітуди при практично незмінному періоді. При знаходженні інструмента на краю стола мають місце більш складні процеси зміни обвідної (див. рис. 6, б). Спостерігається періодичне збільшення періодів обвідної T_3 , T_4 та T_5 , T_6 . Циклічно змінюється амплітудне значення обвідної. При цьому, менший період (T_3 , T_5) відповідає зонам збільшення амплітуди m_1 , m_2 .

Для визначення впливу динамічних параметрів стола на амплітуду віброшвидкості виконані експериментальні виміри віброшвидкості при обробці деталі в центрі стола та на його периферії (рис. 7).

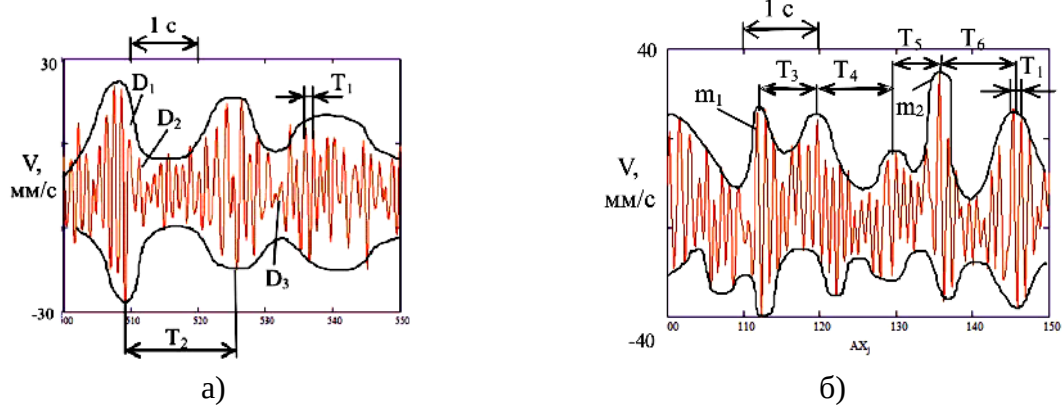


Рис. 6. Експериментально виміряна віброшвидкість стола при знаходженні інструменту в центрі стола (а) та на відстані 50 мм від центра стола (б)

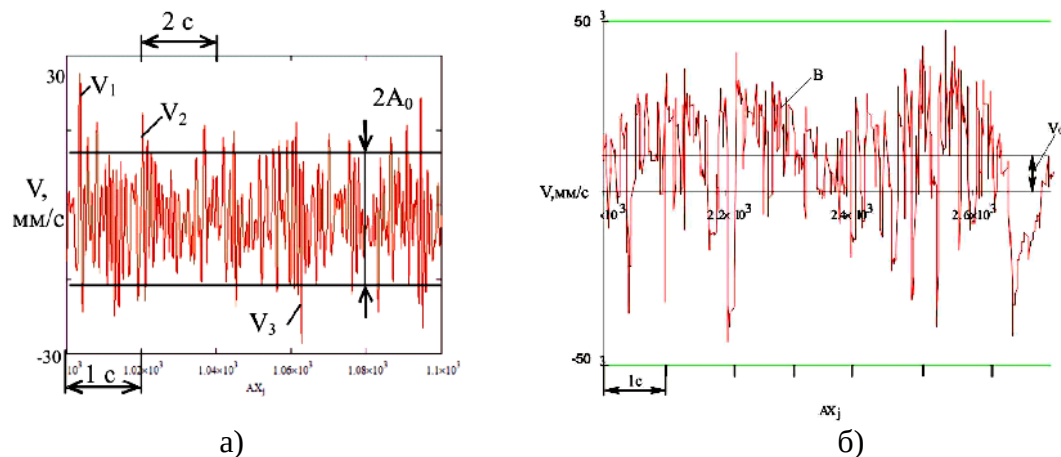


Рис. 7. Протяжні записи віброшвидкості стола при обробці деталі в центрі стола (а) та на його периферії (б)

Встановлено, що амплітуда віброшвидкості змінюється незначним чином при обробці деталі в центрі стола. Амплітуда A_0 обмежує деяку полосу ймовірних змін віброшвидкості. По результатам вимірів ширина полоси складає $2A_0 = 20 \dots 35$ мм/с. Спостерігаються викиди віброшвидкості V_1 , V_2 , V_3 . При цьому амплітуда віброшвидкості підвищується на 30...80%.

При обробці деталі, розташованої на периферії стола, амплітудні значення віброшвидкості зростають (див. рис. 7, б). Спостерігається асиметрія вібрацій у вигляді зміщення середнього значення на величину V_0 . Коливання стають більш хаотичними. Має місце прояв височастотних коливань з частотами 30...60 Гц (проявляються у вигляді короткоперіодичних коливань на ділянці В).

4. Висновки

1. Показано, що динамічні властивості технологічної системи визначають основні геометричні параметри чорнкової обробки поверхні, зокрема хвилястість. Вводячи додаткові динамічні пристосування у вигляді вібраційного стола із регулюванням його жорсткісних і дисипативних параметрів можна цілеспрямовано змінювати показники хвилястості поверхні при чорновій обробці.

2. В результаті теоретичних і експериментальних досліджень процесу ТФО встановлено, що параметри коливань суттєвим чином залежать від місця встановлення деталі на столі. В центрі стола має місце процес усталених коливань з практично постійною амплітудою і базовою частотою в межах 10...16 Гц. На периферії стола коливальний процес набуває асиметричного виду. В спектрі вібрацій проявляються високочастотні складові з частотою 30...60 Гц.

3. Як напрямок подальших досліджень рекомендується дослідити спектральні характеристики вібрацій і визначити їх кореляційні функції та спектральні щільності.

Список літератури:

1. Гик Л.А. Ротационное резание металлов / Л.А. Гик.— Калининград: Кн. изд-во, 1990.—254 с. ISBN 5-85500-162-8.

2. Покинтелица Н.И. Определение параметров вибрации технологической системы при термофрикционной обработке сталей/ Н.И. Покинтелица, В.А. Сидоров // Наук. праці ДонНТУ. Серія: Машинобудування і машинознавство. —Донецьк: ДонНТУ, 2008. —Вип. 5(139). — С. 61-67. ISBN 966-377-018-X.

3. Покинтелица Н.И. Особенности контактного взаимодействия инструмента и заготовки в зоне термофрикционного резания сталей / Н.И. Покинтелица // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. — Краматорськ: ДДМА, 2009. —Вип. №24. —С. 73-77. ISBN 978-966-379-336-8.

4. Покинтелица Н.И. Моделирование температуры в зоне резания при термофрикционной обработке сталей / Н.И. Покинтелица // Вісник СевНТУ. Вип118/2011. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. — Севастополь, 2011. — С.126-133. ISBN 5-7763-4399-2.

5. Зарубицкий Е.У. Исследование конструкций режущих дисков при термофрикционной обработке плоскостей / Е.У. Зарубицкий, Н.И. Покинтелица // Высокие технологии в машиностроении. — Харьков: ХГПУ, 1998. —С. 121-122. ISBN 966-593-049-4.

Надійшла до редколегії 17.04.2012 р.

Н.И. Покинтелица ТЕРМОФРИКЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СТАНКА

Разработаны специальные динамические приспособления для повышения качества термофрикционной обработки деталей. Приспособления имеют вид стола на упругом подвесе. Проведено математическое моделирование термофрикционной обработки детали на динамическом приспособлении. Результаты моделирования дополнены экспериментальными исследованиями колебательных процессов. Определены динамические перемещения детали при ее обработке.

Ключевые слова: термофрикционная обработка, динамические приспособления, дифференциальные уравнения, динамическая модель, операторный вид, структурная модель, параметры колебаний.

N. Pokintelitsa THERMFRICIONAL TREATMENT OF DETAILS WITH APPLICATION SPECIAL DYNAMIC ADAPTATIONS IN TECHNOLOGICAL SYSTEM OF MACHINE-TOOL

The special dynamic adaptations are developed for upgrading of thermofrictional treatment of details. Adaptations have the appearance of table on resilient connections. The mathematical design of thermofrictional treatment of detail is conducted on dynamic adaptation. Design results are complemented by experimental researches of swaying processes. The dynamic moving of detail is certain at its treatment.

Key words: thermofrictional treatment, dynamic adaptations, differential equalizations, dynamic model, statement kind, structural model, parameters of vibrations.