

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДОВИХ СИЛ ПІД ЧАС ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В. І. Гурей

Національний університет «Львівська політехніка»;
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, e-mail: vigurey@gmail.com

Фрикційна обробка відноситься до методів поверхневого зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. Після обробки у поверхневих шарах деталей формується зміцнений білий шар з нанокристалічною структурою. Фрикційну обробку циліндричних поверхонь зразків проводили на модернізованому токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20, на якому замість різцетримача був встановлений спеціальний пристрій для автономного приводу інструменту. Як інструмент використовується металевий диск, виготовлений зі сталі 45. Як технологічне середовище у процесі фрикційної обробки використовували мінеральну оливу з полімервмісними додатками. Для дослідження складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, під час фрикційного зміцнення циліндричних поверхонь деталей був розроблений спеціальний динамометр. Нерухомі пружні елементи динамометра кріплять у конусних отворах у задній бабці та шпинделі. Щоб виключити обертання пружного елемента у шпинделі, його кріплять у перехідній втулці через підшипники. Дослідження показали, що режими фрикційної обробки значно впливають на нормальну P_y та тангенціальну складові P_z сили, яка виникає у зоні контактування інструмент-деталь. Так, під час обробки з поздовжньою подачею $S = 0,3$ мм/об. при глибині втискування інструмента у оброблювану поверхню $t = 0,1$ мм збільшення частоти обертання деталі незначно впливає на величину складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь. Зі збільшенням глибини втискування від 0,1 мм до 0,3 мм при частоті обертання деталі $n = 40$ об/хв нормальна складова сили P_y збільшилась від 380 Н до 690 Н, а тангенціальна складова P_z – від 28 Н до 47 Н. У той же час збільшення частоти обертання деталі до 125 об/хв приводить до збільшення нормальної складової P_y від 510 Н до 1160 Н, а тангенціальної складової P_z – від 38 Н до 69 Н.

Ключові слова: фрикційна обробка; нанокристалічна структура; динамометр; складові сили.

Фрикционная обработка относится к методам поверхностного упрочнения с использованием высококонцентрированных источников энергии. После обработки в поверхностных слоях деталей формируется упрочненный белый слой с нанокристаллической структурой. Фрикционную обработку цилиндрических поверхностей образцов проводили на модернизированном токарно-винторезном станке модели 16К20, на котором вместо резцедержателя было установлено специальное устройство для автономного привода инструмента. В качестве инструмента используется металлический диск, изготовленный из стали 45. В качестве технологической среды в процессе фрикционной обработки использовали минеральное масло с полимерсодержащими добавками. Для исследования составляющих силы, возникающей в зоне контакта инструмент-деталь при фрикционном упрочнении цилиндрических поверхностей деталей был разработан специальный динамометр. Неподвижные упругие элементы динамометра крепят в конусных отверстиях в задней бабке и шпинделе. С целью исключения вращения упругого элемента в шпинделе, он крепится в переходной втулке через подшипники. Исследования показали, что режимы фрикционной обработки значительно влияют на нормальную P_y и тангенциальную составляющую P_z силы, возникающей в зоне контакта инструмент-деталь. Так, при обработке с продольной подачей $S = 0,3$ мм/об. при глубине вдавливания инструмента в обрабатываемую поверхность $t = 0,1$ мм увеличение частоты вращения детали незначительно влияет на величину составляющих силы, возникающей в зоне контакта инструмент-деталь. С увеличением глубины вдавливания от 0,1 мм до 0,3 мм при частоте вращения детали $n = 40$ об/мин нормальная составляющая силы P_y увеличилась от 380 Н до 690 Н, а тангенциальная составляющая P_z – от 28 Н до 47 Н. В то же время увеличение частоты вращения детали до 125 об/мин приводит к увеличению нормальной составляющей P_y от 510 Н до 1160 Н, а тангенциальной составляющей P_z – от 38 Н до 69 Н.

Ключевые слова: фрикционная обработка; нанокристаллическая структура; динамометр; составляющие силы.

Friction treatment refers to methods of surface hardening (strengthening) using highly concentrated energy sources. After processing in the surface layers of the parts a hardened (reinforced) white layer with a nanocrystalline structure is formed. Friction treatment of the cylindrical surfaces of the samples was performed on an upgraded lathe (model 16K20), on which instead of a tool-post was installed a special device for autonomous tool drive.

A metal disk made of steel 45 is used as a tool. Mineral oil with active additives containing polymers was used as a technological medium in the process of friction treatment. A special dynamometer was developed to study the components of the force that occurs in the contact area of the tool-part during the frictional hardening of the cylindrical surfaces of the parts. The immovable elastic elements of the dynamometer are fixed on conical holes in the rear headstock and spindle. To make rotation impossible of the elastic element in the spindle, it is mounted in the adapter bushing through the bearings. Studies have shown that the modes of friction treatment significantly affect the normal P_y and the tangential component P_z of the force that occurs in the contact area of the tool-part. The increasing of the part's rotational velocity slightly affects into magnitude of the force components that occurs in the contact area of the tool-part during processing with the longitudinal feed $S = 0.3$ mm/rev and the depth of pressing the tool into the workpiece $t = 0.1$ mm. When increase the depth of pressing the tool into the workpiece from 0.1 to 0.3 mm and part's rotational velocity equal $n = 40$ rpm, the normal force component P_y increased from 380 N to 690 N, and the tangential component P_z – from 28 N to 47 N. And in that the same time increasing the part's rotational velocity to 125 rpm leads to an increase the normal component P_y from 510 N to 1160 N, and the tangential component P_z – from 38 N to 69 N.

Key words: friction treatment; nanocrystalline structure; dynamometer; force components.

Вступ

Експлуатаційні властивості деталей машин залежать від фізико-хімічних характеристик та стану робочих поверхонь виробів, які формуються на фінішних операціях їх виготовлення. Обумовлено це тим, що у поверхневих шарах деталей виникають найбільші напруження за різних схем їх навантаження. Це також відноситься до деталей насосів нафто- і газодобувної галузі. Під дією агресивних корозійних середовищ термодинамічні стани контактуючих поверхонь стають ще більш нерівноважними. Під час виготовлення деталей машин потрібно забезпечити раціональні параметри якості робочих поверхонь та поверхневого шару, зокрема шорсткість, твердість, текстуру, макро- і мікроструктуру матеріалу, величину і знак залишкових напружень та інші. Стан та параметри якості поверхневих шарів деталей у процесі експлуатації, сформованих під час обробки робочих поверхонь, впливають на процеси, які проходять у даних шарах, а також їх експлуатаційні характеристики, умови навантаження та особливості контактних взаємодій.

Технологічні методи поверхневого зміцнення деталей машин суттєво впливають як на параметри стереометрії та мікрогеометрії оброблених поверхонь, так і на механічні та фізико-хімічні властивості поверхневих шарів металу, які визначають їх стан, структурний і фазовий склади [1, 2]. Застосування технологічних методів поверхневого зміцнення забезпечує зменшення інтенсивності зношування контактуючих робочих поверхонь деталей і дозволяє підвищити ресурс роботи виробів [3].

У машинобудуванні широко застосовуються технологічні методи зміцнення поверхневих шарів деталей машин з використанням висококонцентрованих джерел енергії [4, 5]. Під час застосування таких методів на невеликі об'єми металу діють з великими швидкостями високі питомі енергії. Після переміщення джерела

енергії поверхневі шари швидко охолоджуються. До них відносяться такі методи, як лазерна, плазмова, ультразвукова, електронно-променева, іонно-променева, фрикційна та інші обробки. За рахунок інтенсивного нагрівання та охолодження металу поверхневих шарів відбувається зміна їх структурного та фазового станів і формується зміцнений шар. У даному випадку немає границі розділу між основним металом і поверхневим шаром. На формування поверхневих шарів суттєво впливає хімічний склад, а також попередня термічна обробка матеріалу, з якого виготовлені деталі. Під час зміцнення загартованих сталей за допомогою методів з використанням висококонцентрованих джерел енергії у поверхневих шарах металу утворюються дві зони з різною структурою – зона білого шару з підвищеною твердістю та зона темного шару з пониженою твердістю. Значені зони суттєво відрізняються за фізико-механічними і електрохімічними властивостями від основного металу [6].

Фрикційна обробка відноситься до технологічних методів зміцнення поверхонь деталей машин, під час яких використовуються висококонцентровані джерела енергії. Потік теплової енергії високої концентрації у зоні контакту інструмент-деталь виникає у процесі високошвидкісного тертя інструмента-диска до оброблюваної поверхні деталі. У зоні контактування відбувається також зсувне деформування поверхневих шарів металу. Поверхневий шар металу нагрівається до температур, що перевищують температури фазових перетворень (A_{c3}). За рахунок переміщення інструменту вздовж оброблюваної поверхні відбувається високошвидкісне охолодження поверхневого шару металу за рахунок відведення теплоти вглиб металу деталі. У поверхневих шарах оброблюваних поверхонь формується зміцнений білий шар з нанокристалічною структурою [7, 8].

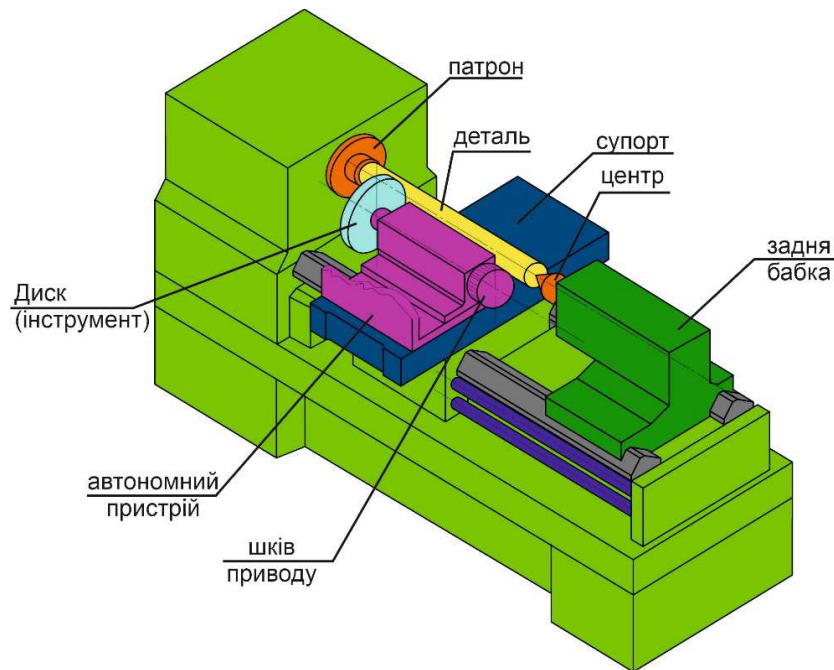


Рисунок 1 – Схема модернізованого токарно-гвинторізного верстата зі спеціальним пристроєм для автономного привода інструменту

Формування зміцненого шару залежить від температурних та силових параметрів, які виникають у зоні контакту інструмент-деталь, використовуюваного технологічного середовища, напрямку і величини зсувного деформування у зоні обробки, хімічного складу, особливо кількості вуглецю, попередньої термічної обробки та інших факторів.

Для визначення параметрів зміцнення, вихідних даних для проведення динамічних та термопружних розрахунків необхідно знати складові сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь у процесі фрикційної обробки циліндричних поверхонь. Для розроблення і проектування обладнання для фрикційного зміцнення поверхонь тіл обертання, модернізації існуючого металообробного обладнання необхідно знати сили, які виникають у процесі оброблення, а також для проведення перевірочних розрахунків підшипникових вузлів шпиндельного вузла верстата і пристрою та визначення його жорсткості.

Мета роботи

На даний час досліджень з визначення складових сил у зоні контакту інструмент-деталь не проводилось, тому метою даної роботи є розроблення конструкції і виготовлення динамометра для реєстрації складових сили та проведення досліджень з визначення складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь під час фрикційного зміцнення циліндричних поверхонь деталей машин.

За кінематикою процесу фрикційна обробка поверхонь тіл обертання подібна до круглого шліфування. Тому для зміцнення можна використовувати круглошліфувальні верстати. На універсальних верстатах, призначених для шліфування круглих поверхонь, швидкість шліфування становить 35-36 м/с. Для забезпечення процесу зміцнення необхідна швидкість понад 60 м/с. Тому необхідно проводити модернізацію вузла головного привода шліфувального круга.

Фрикційне зміцнення циліндричних поверхонь можна проводити на модернізованому токарному верстаті, на якому необхідно встановити спеціальний пристрій з автономним приводом інструменту. В даному дослідженні використовували модернізований токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20 (рис. 1). Розроблено спеціальний пристрій для автономного привода інструменту, який забезпечує швидкість тертя інструмента до оброблюваної поверхні деталі у зоні їх контактування не менше 60 м/с (рис. 2). Пристрій монтується на супорті замість різцетримача верстата. Рухи верстата після встановлення пристрою не змінено. Інструмент виготовлено у вигляді металевого диска, діаметр 250 мм, а ширина робочої частини становить 8-10 мм, робоча частина (периферія інструмента) диска – гладка, матеріал – сталь 45 (нормалізація). Інструмент-диск встановлюється на конус шпинделя пристрою, що дозволяє зменшити його биття. Привод від електричних машин.

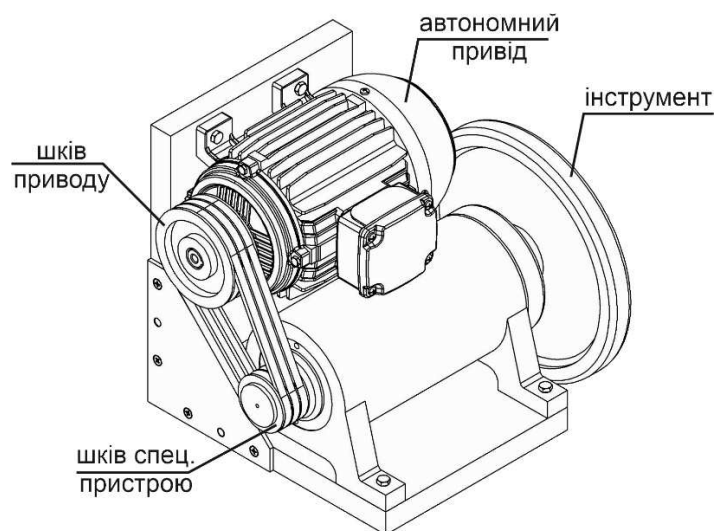


Рисунок 2 – Конструкція розробленого спеціального пристрою для автономного привода інструменту

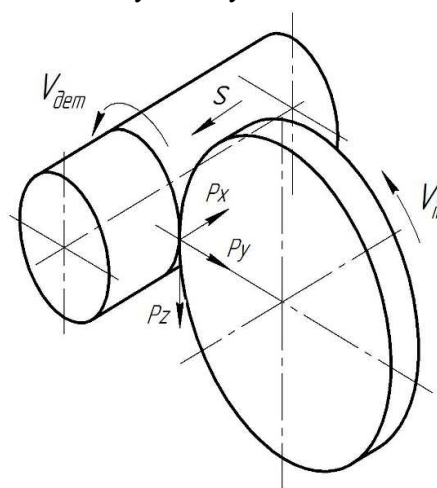
ктродвигуна здійснюється через клинопасову передачу.

Перед тим, як встановити інструмент-диск на конус шпинделя пристрою, його необхідно статично балансувати з використанням пристрою для балансування шліфувальних кругів. Для забезпечення нормальної роботи інструмента з поздовжньою подачею краї робочої частини інструмента заправляли, використовуючи абразивний круг, який закріплювали на оправці в центрах верстата. Після цього доводили його робочої поверхні абразивним і ельборовим брусками з дрібним зерном. Обидві бокові сторони робочої поверхні інструмента заокруглювали з радіусом близько 2 мм для покращання його заходу і виходу у процесі обробки з поздовжньою подачею, а також для зниження параметрів хвилястості та шорсткості оброблюваної поверхні під час обробок. Шорсткість робочої поверхні інструмента-диска не повинна перевищувати $R_a = 0,5$ мкм, радіальне биття – не більше 0,03 мм.

Для покращення параметрів якості зміцнених поверхонь у зону обробки подається технологічне середовище у достатньому об'ємі. Для подачі середовища використовується стандартна система подачі мастильно-охолоджуючої рідини верстата. Як технологічне середовище у процесі фрикційної обробки використовували мінеральну оливу з полімервмісними додатками.

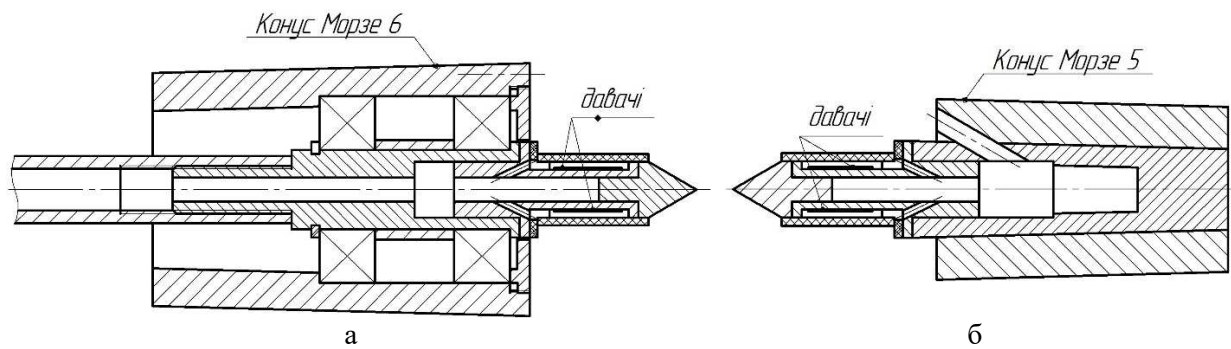
Фрикційна обробка циліндричних поверхонь за кінематикою та принципом роботи, а також за рухами верстату подібна до процесу круглого шліфування. Тому силу взаємодії, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, можна розкласти на три складові [9, 10]: нор-

мальну складову P_y , яка діє за радіусом до центра інструмента-диска і перпендикулярно до осі його обертання; тангенціальну складову P_z , яка діє за дотичною до робочої поверхні інструмента та паралельно відносно оброблюваної поверхні; а також поздовжню складову P_x , яка діє паралельно до осі обертання інструмента стосовно напрямку, який є протилежним щодо руху подачі (рис. 3). Визначення складових сил, які виникають у зоні контакту інструмент-деталь під час обробки проводили за допомогою спеціально розробленого динамометра, який був встановлений у конусних отворах шпиндельного вузла та у задній бабці верстату.



V_{in} – лінійна швидкість обертання на периферії інструмента; S – поздовжня подача інструмента відносно деталі; $V_{дет}$ – лінійна швидкість обертання на зовнішній поверхні деталі

Рисунок 3 – Схема розташування складових сили, яка діє у зоні контакту інструмент-деталь у процесі фрикційної обробки циліндричних поверхонь



а – для кріплення у шпинделі; б – для кріплення у задній бабці

Рисунок 4 – Схеми встановлення пружних елементів динамометрів у перехідні конуси для кріплення на верстаті

Для вимірювання складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, необхідно застосувати динамометр, який має два нерухомі пружні елементи, у центрах яких буде закріплені досліджувані зразок. Використовуючи два нерухомі пружні елементи, які кріплять у двох протилежних частинах верстата (шпиндельний вузол та задня бабка), визначається алгебраїчна сума показів з їх давачів, тоді на величину показів динамометра не впливає точка прикладання зовнішньої сили. Один пружний елемент кріпиться у конічному отворі задньої бабки через перехідні втулки. Цей пружний елемент є нерухомим. Другий пружний елемент динамометра кріпиться у конічному отворі шпиндельного вузла верстата. Для цього демонтується трикулачковий самоцентруючий патрон. Другий пружний елемент, який кріпиться у шпинделі верстата, також має бути нерухомим. Для забезпечення нерухомого положення пружного елемента у рухомому шпинделі, він встановлюється у перехідну втулку через підшипники. До пружного елемента прикріплена труба, яка проходить через отвір у шпинделі, і кріпиться до корпусу верстата. Така конструкція кріплення пружного елемента через трубу до корпусу верстата забезпечує його нерухоме положення у шпинделі і дає можливість регулювати провертання навколо своєї осі. Циліндричний зразок на верстаті закріплюється в центрах, які є на пружних елементах динамометра (рис. 4).

Нерухомі пружні елементи динамометра, встановлені у шпинделі та задній бабці верстата виставляють таким чином, щоб поверхні, на яких наклеєні тензодавачі, були в одних площинах. Площинність плоских поверхонь пружних елементів динамометрів, на яких наклеєні тензодавачі, між собою забезпечували за рахунок повертання динамометра, який кріпився у шпиндельному вузлі верстата. Після встанов-

лення площинності відповідних площин між пружними елементами, тобто між динамометром, який встановлений у задній бабці верстата і динамометром, встановленим у внутрішньому конусі шпинделя верстата, останній динамометр фіксували до корпусу верстата.

Розроблена конструкція динамометра дозволяє реєструвати нормальну P_y та тангенціальну P_z складову сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь. Реєструвати осьову складову P_x сили за даною схемою закріплення зразків на верстаті, коли зразок кріпиться в центрах, проблематично. Зразок притискається центром, який кріпиться у задній бабці, до центра, який закріплені у шпинделі верстата. Сила затискання зразка є різною і не контролюється. У даній конструкції динамометра центри закріплені у пружних елементах, які встановлені у задню бабку та шпиндель верстата. Дослідження з визначення складових сили, які виникають у зоні контакту інструмент-деталь, під час фрикційної обробки плоских поверхонь показали, що осьова складова P_x сили є майже у 10 разів меншою за тангенціальну складову P_z і складає приблизно 4-8 Н. Осьова складова P_x буде набагато меншою за силу затискання під час закріплення зразка, тож визначити її величину буде складно. Тому даною складовою сили нехтуємо.

Під дією сили, яка виникає у зоні контакту інструмента з оброблюваною поверхнею зразка, під час фрикційної обробки деформуються пружності елементи динамометра. Плоскі поверхні пружного елемента динамометра мають різну жорсткість у взаємоперпендикулярних напрямках (жорсткості відносяться як 1:100). Малу жорсткість пружний елемент динамометра має у напрямку, перпендикулярному до її осі, значну жорсткість – у напрямку вздовж її осі. Тоді, складова сили, яка діє на пружний елемент динамометра, сприймається ним лише

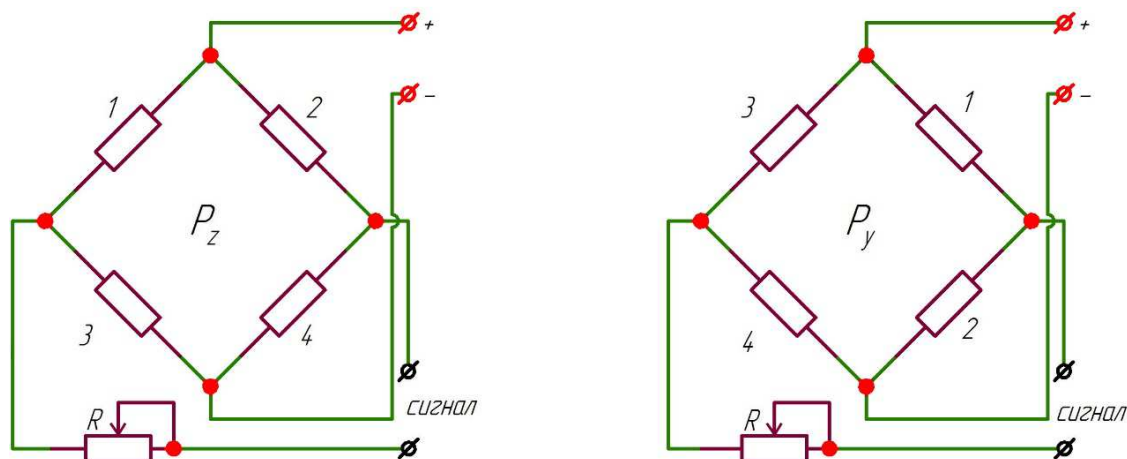


Рисунок 5 – Схеми підключення тензодавачів, розташованих на пружних елементах динамометра для вимірювання нормальної P_y і тангенціальної P_z складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь

в одному напрямку - перпендикулярному до її осі. Пружні елементи були виготовлені зі сталі 60С2 (гартування і середній відпуск). Площа поперечного перерізу пружного елемента динамометра підібрана так, щоб матеріал його працював в області пружних деформацій.

На плоских поверхнях пружних елементів динамометра, які є у взаємоперпендикулярних площинах, строго вздовж їх утворюючих наклеєні тензодавачі марки 5ПКБ-5-100. Тензодавачі під'єднали так, щоб сигнал від вимірювальних схем, був пропорційний алгебраїчним сумах деформації пружних елементів динамометра (рис. 5). Тензодавачі, по два на кожному з пружних елементів динамометра, підключали за мостовою схемою. В одне плече моста під'єднували регульовальні резистори, якими встановлювали «нуль» розбалансування моста перед кожною серією досліджень. Внаслідок деформації пружних елементів динамометра під дією сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь під час фрикційної обробки, змінюються величини опорів на протилежних тензодавачах, наклеєних на пружних елементах динамометра. Так відбувається розбалансування мостів, у які з'єднані тензодавачі. Для вимірювання величини розбалансування моста на одну протилежну пару контактів моста подавали постійну стабілізовану напругу 5В. З іншої протилежної пари контактів знімали сигнали розбалансування опорів тензодавачів. Сигнали розбалансування з тензодавачів, які підключені у відповідні вимірні схеми, підсилювали за допомогою спеціальних стабілізованих підсилювачів для тензодавачів за кожним каналом. Підсилені сигнали передавали на аналого-цифровий перетворювач L-Card E14-140M на кожний відповідний канал. Частота перетво-

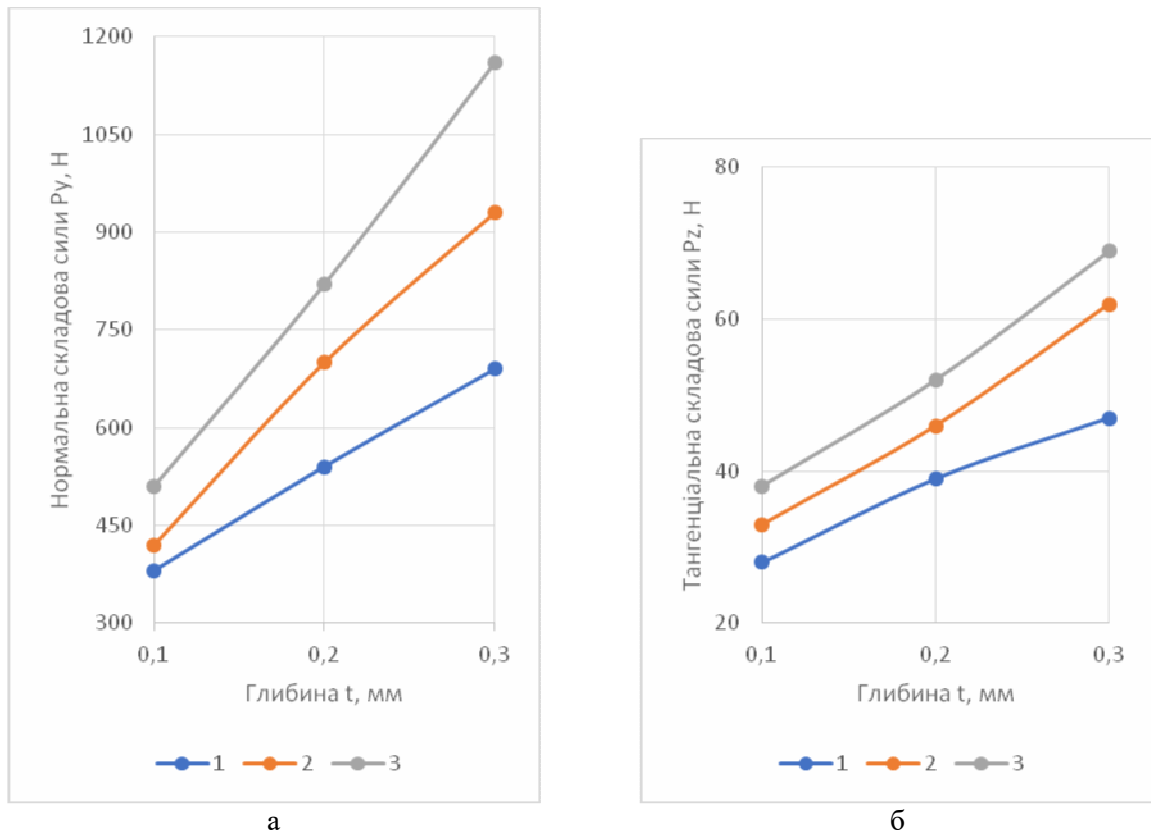
рення аналогового сигналу, який подавався з мостових схем тензодавачів, у цифровий сигнал становила 100 кГц. Отриманий перетворений цифровий сигнал з кожного каналу реєстрували на комп'ютері за допомогою використовуваної прикладної програми «PowerGraph». Для тарування кожного каналу вимірювання динамометром кожної складової сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, використовували вірцевий динамометр типу ДОСМ-3-0,05 (ВО «Точприлад») і проводили за кожним каналом окремо.

Фрикційну обробку циліндричних поверхонь проводили на зразках, виготовлених зі сталі 40ХН після гартування і низького відпуску. Діаметр зразків становив 20 мм, довжина зразків становила 150 мм. Обробку проводили на модернізованому токарно-гвинторізному верстаті моделі 1А62, на якому замість різцетримача було встановлено спеціальний пристрій для автономного приводу інструмента.

Оброблювані зразки закріплювали в нерухомих центрах динамометрів, які були закріплені у внутрішньому конічному отворі шпинделя верстата (конус Морзе 6) та конусному отворі задньої бабки (конус Морзе 5). Крутний момент від обертання шпинделя передавали на оброблюваний зразок за допомогою поводка, який закріплювали на зразку.

Фрикційно-зміцнювальну обробку циліндричних зразків проводили у таких режимах:

- лінійна швидкість на периферійній роботій інструмента-диска - 60 м/с;
- частота обертання деталі - 40 об/хв., 63 об/хв. та 80 об/хв.;
- поздовжня подача інструмента - 0,3 мм/об., 0,6 мм/об. та 0,9 мм/об.



1 – $n_{\text{дем}} = 40$ об/хв; 2 – $n_{\text{дем}} = 63$ об/хв; 3 – $n_{\text{дем}} = 125$ об/хв

Рисунок 6 – Залежність нормальної P_y (а) та тангенціальної P_z (б) складових сили в зоні контакту інструмент-деталь від глибини t втискання при зміцненні сталі 40ХН ($S = 0,3$ мм/об)

Як технологічне середовище під час фрикційної обробки використовували мінеральну оливу з полімервмісними додатками.

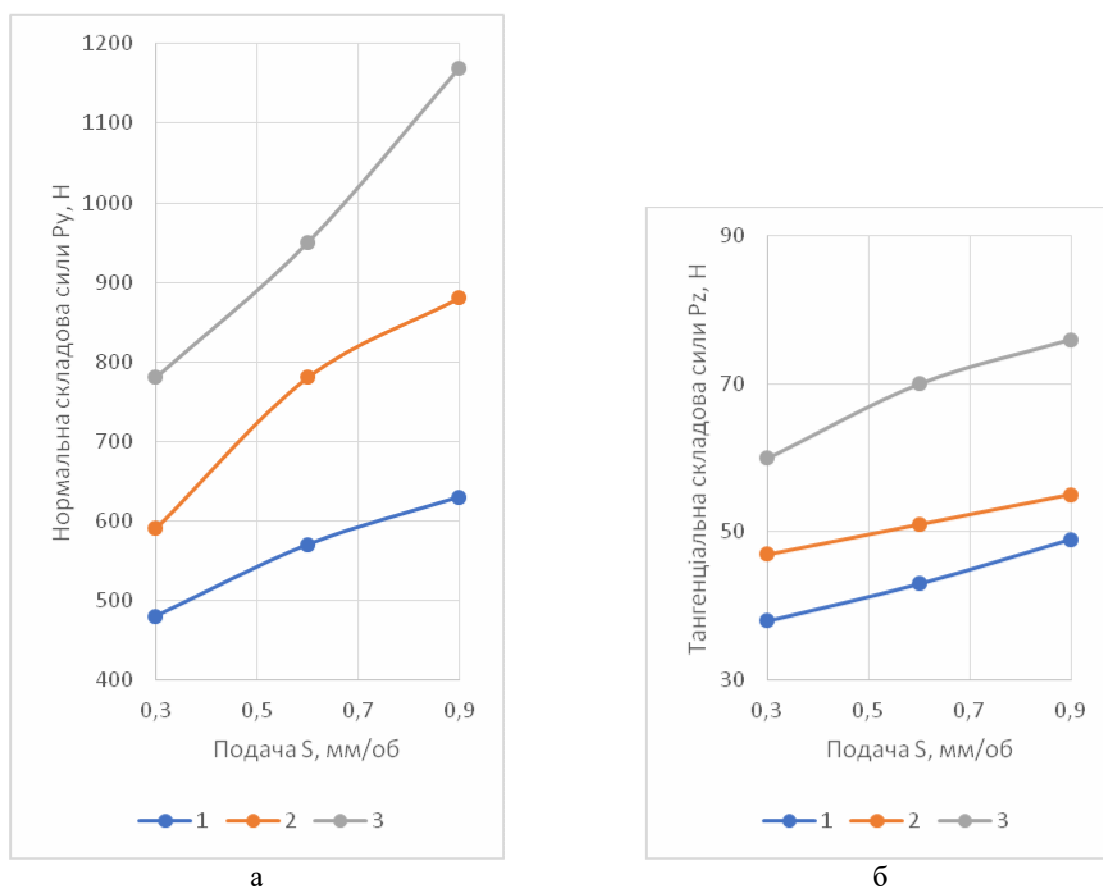
Під час експериментів записували нормальну P_y і тангенціальну P_z складові сили, які виникають у зоні контакту інструмент-деталь під час фрикційної обробки циліндричних зразків.

Проведені експерименти з визначення складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь під час фрикційної обробки циліндричних поверхонь зразків, виготовлених зі сталі 40ХН загартованої і низьковідпущеної, показали, що зі збільшенням глибини t притискання інструменту до оброблюваної поверхні нормальна P_y та тангенціальна P_z складові сили різко зростають (рис. 6).

Під час фрикційної обробки з поздовжньою подачею $S = 0,3$ мм/об. при глибині втискання інструменту у оброблювану поверхню $t = 0,1$ мм збільшення частоти обертання деталі незначно впливає на величину складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь. Так, нормальна складова P_y сили – в межах від 380 Н до 510 Н, а тангенціальна складова P_z складає від 28 Н до 38 Н. Збільшення глибини втискання інструменту до оброблюваної поверхні зразка, а також частоти обертання деталі

призводить до суттєвого збільшення складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь. Зі збільшенням глибини втискання від 0,1 мм до 0,3 мм при частоті обертання деталі $n = 40$ об/хв нормальна складова сили P_y збільшилась від 380 Н до 690 Н, а тангенціальна складова P_z – від 28 Н до 47 Н. У той же час збільшення частоти обертання деталі до 125 об/хв приводить до збільшення нормальної складової P_y від 510 Н до 1160 Н, а тангенціальної складової P_z – від 38 Н до 69 Н.

Збільшувати величину втискання t небажано, оскільки складові P_y та P_z сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, зростають ще інтенсивніше. Пристрій для автономного приводу інструмента розрахований на швидкість обертання інструменту 60-65 м/с. Для збільшення частоти обертання електродвигуна і, відповідно, швидкості обертання інструменту використовували інвентор на відповідну потужність електродвигуна. При тривалій обробці на таких силових параметрах може значно збільшитися температура, до якої нагріваються підшипники шпинделя пристрою, можуть погіршитися умови мащення підшипників. Також буде збільшуватись потужність, необхідна для проведення процесу обробки.



1 – $n_{dem} = 40$ об/хв; $t = 0,2$ мм; 2 – $n_{dem} = 63$ об/хв; $t = 0,2$ мм; 3 – $n_{dem} = 125$ об/хв; $t = 0,3$ мм

Рисунок 7 – Залежність нормальної P_y (а) та тангенціальної P_z (б) складових сили в зоні контакту від поздовжньої подачі S при зміцненні сталі 40ХН

Збільшення величини поздовжньої подачі S інструмента нормальна P_y та тангенціальні P_z складові сили в зоні контакту інструмент-деталь також значно збільшуються (рис. 7).

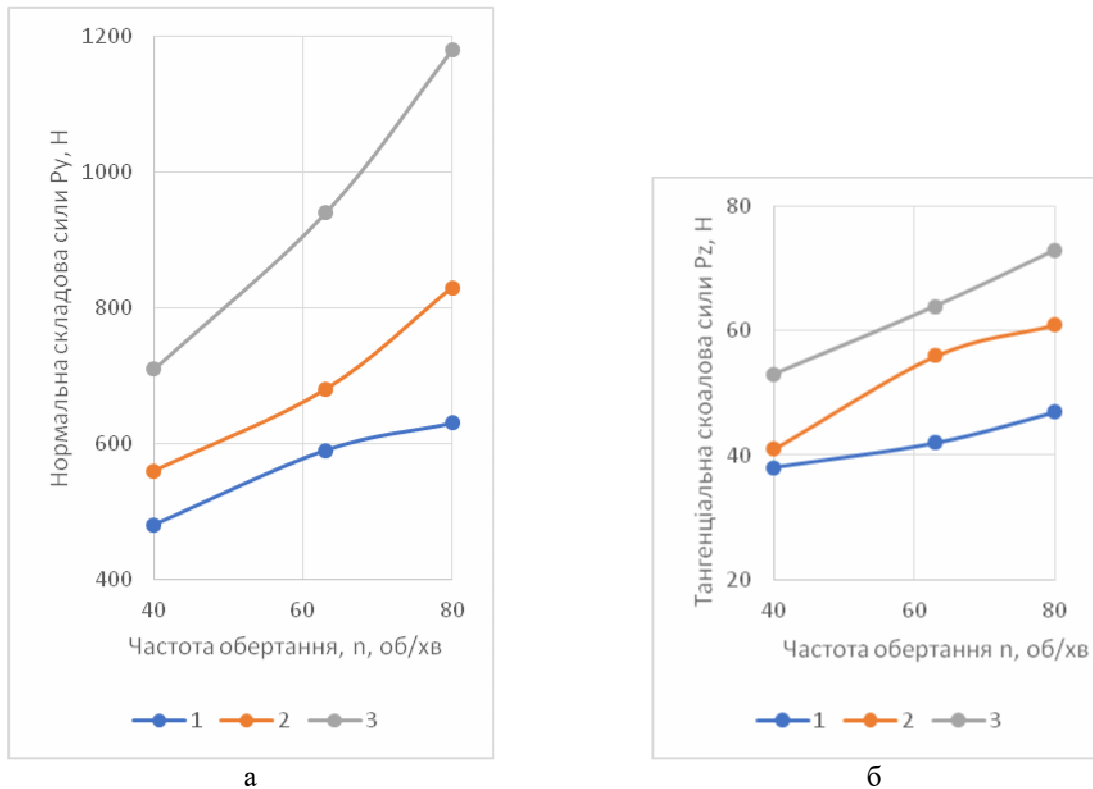
Збільшення величини поздовжньої подачі S значно впливає на складові сили при збільшенні величини частоти обертання деталі n_{dem} та величини втискання t . Так, при частоті обертання деталі $n_{dem} = 40$ об/хв та величині втискання $t = 0,2$ мм при збільшенні величини поздовжньої подачі від $S = 0,3$ мм/об до $0,9$ мм/об нормальна складова P_y сили, яка діє у зоні контакту збільшилась від 480 Н до 630 Н, а тангенціальна складова P_z – від 38 Н до 49 Н. Під час обробки при частоті обертання деталі $n_{dem} = 125$ об/хв та величині втискання $t = 0,3$ мм збільшення величини поздовжньої подачі S приводить до значного більшого зростання складових сили P_y та P_z . Нормальна складова збільшується від $P_y = 780$ Н до 1170 Н, а тангенціальної складова – від $P_z = 60$ Н до 76 Н.

Збільшуючи частоту обертання деталі n_{dem} , отримуємо ще більший вплив параметрів обробки на нормальну P_y та тангенціальну P_z складові сили, яка виникає в зоні контакту інструмент-деталь (рис. 8). Під час обробки з невели-

кими значеннями поздовжньої S подачі та величини втискання t , а саме – $S = 0,3$ мм/об та $t = 0,1$ мм при збільшенні частоти обертання деталі від $n_{dem} = 40$ об/хв до 125 об/хв складові сили несуттєвого зростають – нормальна складова зростає від $P_y = 480$ Н до 710 Н, а тангенціальна складова – від $P_z = 38$ Н до 53 Н.

Прийнявши граничні значення поздовжньої подачі S та величини втискання t , вибрані для даних умов фрикційної обробки сталей ($S = 0,9$ мм/об, $t = 0,3$ мм), збільшуючи частоту обертання деталі від $n_{dem} = 40$ об/хв до 125 об/хв, отримуємо збільшення нормальної складової сили, яка діє у зоні контакту інструмент-деталь, майже удвічі, тобто від $P_y = 710$ Н до 1180 Н відповідно. Зростання тангенціальної складової є дещо меншим і не таким різким, як зростання нормальної складової, і становить від $P_z = 53$ Н до 73 Н.

Збільшення параметрів обробки, а саме глибини втискання інструмента у оброблювану поверхню, поздовжньої подачі інструмента та частоти обертання деталі, приводить до збільшення нормальної і тангенціальної складових сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь.



1 – $S = 0,3$ мм/об; $t = 0,1$ мм; 2 – $S = 0,6$ мм/об; $t = 0,2$ мм; 3 – $S = 0,9$ мм/об; $t = 0,3$ мм

Рисунок 8 – Залежність нормальної P_y (а) та тангенціальної P_z (б) складових сили в зоні контакту від частоти обертання деталі $n_{дет}$ при зміцненні сталі 40ХН

Зміни параметрів обробки мають різний вплив на утворення концентрованого джерела теплової енергії, його інтенсивності та формування зміцненого шару. При збільшенні частоти обертання деталі $n_{дет}$ час, який визначає одиничний контакт зміцнювального інструмента та оброблюваної поверхні деталі скорочується. Відповідно поверхневі шари металу деталі не встигають нагрітися до високих температур і зменшується глибина нагрівання поверхневого шару. З іншого боку, зі збільшенням частоти обертання деталі під час фрикційної обробки нормальна складова P_y сили в зоні контакту різко збільшується, що збільшує навантаження на підшипники шпиндельного вузла верстата та шпиндель привода зміцнювального інструменту. Тангенціальна складова P_z сили, яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, визначає інтенсивність теплового потоку, який виникає у зоні контакту інструмент-деталь, і, відповідно, нагрівання одиничної зони контакту.

Висновки

Встановлено, що режими фрикційної обробки значно впливають на величини складових сили, які діють у зоні контакту інструмент-деталь. При малих значеннях величини втискання інструменту до оброблюваної поверхні по-

здовжня подача та швидкість обертання інструменту мало впливають на складові сили. Зі збільшенням величини втискання інструменту до оброблюваної поверхні вплив поздовжньої подачі та швидкості обертання інструменту значно зростають. Це стосується насамперед нормальної складової сили при збільшенні частоти обертання зразка, тангенціальна складова збільшується також, але інтенсивність збільшення її є меншою.

Література

1. Inzheneriya poverkhni / К. А. Yushchenko, Yu. S. Borysov, V. D. Kuznetsov [etc.]. Kyiv : Naukova dumka, 2007. 558 p.
2. Dearnley P. A. Introduction to Surface Engineering. New York : Cambridge university press, 2017. 497 p. URL: www.cambridge.org/9780521401685
3. Инженерия поверхности деталей / Под ред. А. Г. Сулова. Москва: Машиностроение, 2008. 320 с.
4. Tian L. A Short Review on Mechanical Behavior of Nanocrystalline Materials. *International Journal of Metallurgy and Metal Physics* (2:008). 2017. P. 2–13.

5. Waugh D.G., Lawrence J. Laser Surface Engineering. Processes and Applications. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. 718 p.

6. Zhang Fangyuan, Duan Chunzheng, Sun Wei, Ju Kang Effects of cutting conditions on the microstructure and residual stress of white and dark layers in cutting hardened steel. *Journal of Materials Processing Tech.* (266), 2019. P 599-611.

7. Gurey V., Ihor Hurey The Effect of the Hardened Nanocrystalline Surface Layer on Durability of Guideways. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advanced Manufacturing Processes. Selected Papers from the Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2019) (September 10-13, 2019, Odessa, Ukraine). Odessa, 2020. P. 63–72. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_7.

8. Gurey V. Ihor Hurey Influence of Surface Hardened Nanocrystalline Layers on the Resistance of Contact Fatigue Destruction. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering, 2020, P. 483–491. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_47

9. Kovač P., Gostimirović M. Grinding Force of Cylindrical and Creep-Feed Grinding Modeling. *Open access peer-reviewed chapter.* 2018. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76968>

10. Sutowski P. The effect of process parameters on grinding forces and acoustic emission in machining tool steel 1.2201/NC10. *Journal of Mechanical and Energy Engineering.* 2017. Vol. 1, No. 1(41). P. 37–44. URL: http://www.jmee.tu.koszalin.pl/download_article/jmee_2017_01_037044.pdf

4. Tian L. A Short Review on Mechanical Behavior of Nanocrystalline Materials. *International Journal of Metallurgy and Metal Physics* (2:008). 2017. P. 2–13.

5. Waugh D.G., Lawrence J. Laser Surface Engineering. Processes and Applications. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. 718 p.

6. Zhang Fangyuan, Duan Chunzheng, Sun Wei, Ju Kang Effects of cutting conditions on the microstructure and residual stress of white and dark layers in cutting hardened steel. *Journal of Materials Processing Tech.* (266), 2019. P 599-611.

7. Gurey V., Ihor Hurey The Effect of the Hardened Nanocrystalline Surface Layer on Durability of Guideways. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advanced Manufacturing Processes. Selected Papers from the Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2019), (September 10-13, 2019, Odessa, Ukraine)/ Odessa, 2020. P. 63–72. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_7.

8. Gurey V. Ihor Hurey Influence of Surface Hardened Nanocrystalline Layers on the Resistance of Contact Fatigue Destruction. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering, 2020, P. 483–491. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_47

9. Kovač P., Gostimirović M. Grinding Force of Cylindrical and Creep-Feed Grinding Modeling. Open access peer-reviewed chapter. 2018. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76968>

10. Sutowski P. The effect of process parameters on grinding forces and acoustic emission in machining tool steel 1.2201/NC10. *Journal of Mechanical and Energy Engineering.* Vol. 1, No. 1(41) – 2017. P. 37–44. URL: http://www.jmee.tu.koszalin.pl/download_article/jmee_2017_01_037044.pdf

References

1. Inzheneriya poverkhni / K. A. Yushchenko, Yu. S. Borysov, V. D. Kuznetsov [etc.]. Kyiv : Naukova dumka, 2007. 558 p. [in Ukrainian]

2. Dearnley P. A. Introduction to Surface Engineering. New York : Cambridge university press, 2017. 497 p. URL: www.cambridge.org/9780521401685

3. Inzheneriia poverkhnosti detalei / Pod red. A.G. Suslova. Moscow: Mashinostroenie, 2008. 320 p. [in Russian]