

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НАПРЯМНИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ФРИКЦІЙНИМ ЗМІЦНЕННЯМ

© Гурей І.В., Гурей Т.А., 2011

Проведені стендові дослідження показали, що фрикційне зміцнення базових деталей технологічного обладнання (напрямні) підвищує зносостійкість під час тертя з граничним мащенням у 2,5–3,0 рази порівняно з напрямними, виготовленими за заводською технологією.

Bench tests were leading and they show that the friction hardening of basic details technological equipment (flat guides) increase durability under the friction with boundary lubrication in 2.5-3.0 times in comprising with guides which were produced by factory practice.

Постановка проблеми. Довговічність і точність технологічного обладнання визначається передусім зносостійкістю базових деталей, а саме – напрямних. Одним з найефективніших і найекономічніших шляхів підвищення довговічності деталей машин є створення їх на робочих поверхнях якісних зміцнених шарів або покриттів. Підвищення надійності і довговічності деталей машин і технологічного обладнання є основною проблемою машинобудування. Постійне зростання вимог до якості і точності робочих поверхонь змушує скрупульозно досліджувати і використовувати технологічні можливості методів фінішної обробки та зміцнення. Зміцнення тонкого поверхневого шару масивної деталі є прогресивним напрямом у технології машинобудування, оскільки уможливує економити дорогі леговані сталі та сплави.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Довговічність технологічного обладнання визначається насамперед зносостійкістю напрямних базових деталей. Існуючі сьогодні методи зміцнення [1] трудомісткі складні, дорогі, потребують складного обладнання та оснащення, не всі придатні для відновлювальних робіт під час середнього і капітального ремонту. Забезпечити відповідну зносостійкість можна різними методами поверхневого зміцнення, але не усі вони придатні для таких цілей. Враховуючи специфіку роботи деталей технологічного обладнання не усі методи поверхневого зміцнення дають бажаний ефект. Використання різних покриттів є не бажаним, оскільки у процесі експлуатації на нанесених покриттях з'являється сітка тріщин та можливі відколи частинок покриття, що є неприпустимо. Методи хіміко-термічної обробки (цементация, азотування тощо) та гартування СВЧ є трудомісткими, складними, дорогими і нерідко призводять до деформації і жолоблення деталей, що потребує залишати великі припуски на фінішну обробку, утруднює отримання необхідної точності обладнання і значно підвищує трудомісткість механічної обробки [2].

Усунути вказані недоліки і підвищити довговічність напрямних можна досягнути, використовуючи методи поверхневого зміцнення із застосуванням висококонцентрованих потоків енергії, до якого належить і фрикційне зміцнення. За фрикційного зміцнення висококонцентрований потік енергії створюється за рахунок високошвидкісного тертя зміцнювального диска по оброблюваній деталі, при цьому відбувається також одночасне швидкісне зсувне деформування. Швидкість нагрівання досягає $10^5 \dots 10^6$ К/с. Поверхневі шари металу нагріваються до температур, вищих від точки фазових перетворень (A_{c3}), охолодження поверхневого шару відбувається з великими швидкостями за рахунок тепловідведення в глибину деталі. Швидкість охолодження приблизно у 10^3 разів більша, ніж за звичайного гартування. За високошвидкісного охолодження

фіксується стан, за якого із твердого розчину ще не встигають виділитися окремі фази, або це виділення не встигло повністю завершитися. Вміст вуглецю у мартенситі значно більший від концентрації, яка відповідає точці мартенситного перетворення [3]. При цьому у поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу – білий шар. Структура білого шару являє собою високодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і дуже дисперсні карбіди [4].

Формулювання цілей статті. Для підвищення точності і довговічності базових деталей технологічного обладнання необхідно розробити новий технологічний метод їх поверхневого зміцнення. Тому метою цієї роботи було дослідження зносостійкості робочих поверхонь напрямних, виготовлених зі сталі 40X після фрикційного зміцнення.

Виклад основного матеріалу. Напрявні технологічного обладнання, яке використовується для виготовлення виробів електротехнічного застосування, згідно з заводським технологічним процесом напрямні технологічного обладнання виготовляли зі сталі 20X. Щоб забезпечити необхідну довговічність напрямних під час експлуатації, їх після механічної обробки піддавали цементації з подальшою термічною обробкою. Така обробка є довготривалою, трудомісткою і потребує залишати досить великі припуски під кінцеву фінішну обробку – шліфування. Напрявні є деталями малої жорсткості, після хіміко-термічної обробки спостерігається їх жолоблення і необхідно проводити рихтування і правлення. Для підвищення працездатності цих виробів було запропоновано замінити матеріал на сталь 40X з подальшим фрикційним зміцненням робочих поверхонь, які найбільше зношуються у процесі експлуатації. За фрикційного зміцнення відбувається місцеве зміцнення робочих поверхонь. Відбувається підвищення твердості оброблених поверхонь. Висококонцентрований потік енергії, який виникає у зоні контакту інструмент-деталь впливає тільки на робочі поверхні оброблюваної деталі, тому напруження, які виникають у зміцненому шарі, фактично не впливають на напружений стан деталі. Процес фрикційного зміцнення є аналогічним до процесу шліфування, зміцнення поверхонь відбувається за один прохід інструмента.

Фрикційне зміцнення робочих поверхонь напрямних проводили на модернізованому плоскошліфувальному верстаті моделі 3722 (рис. 1). На цьому верстаті модернізували вузол головного приводу – шпindelний вузол. Замінили існуючий двигун головного приводу на новий з більшою частотою обертання (2940 об/хв), бо для фрикційного зміцнення необхідна лінійна швидкість інструмента 60–65 м/с. Згідно з рекомендаціями [5, 6] з модернізації шліфувальних верстатів для забезпечення високошвидкісного шліфування провели перевірковий розрахунок шпindelного вузла верстата. Під час фрикційного зміцнення частота обертання інструмента майже у 2 рази вища, ніж за звичайного шліфування, а також є більшими нормальна P_y та тангенціальна P_z складові сили, які діють на шпindel. Збільшили зазори на 10–12 % від номіналу у підшипнику ковзання на вихідному кінці шпинделя та замінили мастило у шпindelному вузлі на мастило з меншою в'язкістю. Замість абразивного круга з планшайбою встановили металевий інструмент-диск, виготовлений зі сталі 45 у нормалізованому стані діаметром 400 мм та шириною робочої частини 10–12 мм. Зовнішній діаметр і посадкові розміри інструмента вибирали, враховуючи конструктивні особливості верстата.

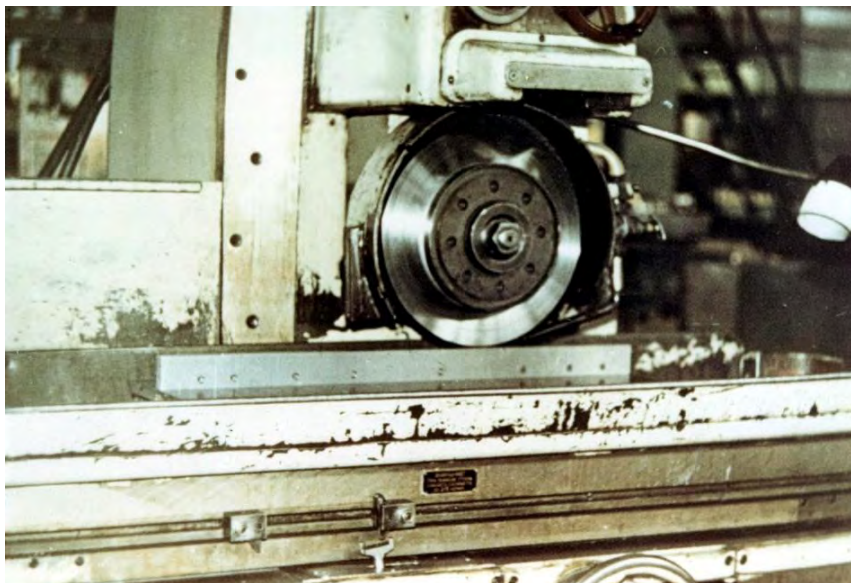
На робочій поверхні інструмента для підвищення зсувного деформування, збільшення товщини зміцненого шару і покращання якості обробленої поверхні були нарізані нахилені різнонапрявлені пази під кутом 45° до осі обертання інструмента. Краї робочої поверхні інструмента заправили по радіусу 2–3 мм для усунення переходів на зміцненій поверхні деталі під час обробки з поперечною подачею і покращання заходу і виходу інструмента. Попередньо інструмент балансували (статично і динамічно), щоб усунути вібрації.

Інструмент-диск встановили безпосередньо на шпindel верстата без планшайби, щоб зменшити можливе биття та навантаження від цього на шпindel. Після встановлення інструмент-диска проводили правку його робочої поверхні абразивним кругом за допомогою спеціального пристосування, яке використовується для правки алмазних кругів. Можна також проточувати

ельборовим різцем на тонких режимах, використовуючи пристосування для правки абразивних кругів. Після правки проводили доведення робочої поверхні і радіусів диска абразивним бруском (M14). Шорсткість робочої поверхні після доведення становила $R_a = 0,32-0,42$ мкм. Радіальне биття диска після доведення не перевищувало 0,02 мм.



а



б

Рис. 1. Загальний вигляд напрямної після фрикційного зміцнення (а) та установки для зміцнення напрямної (б)

Як технологічне середовище у процесі фрикційного зміцнення використовували мінеральне мастило з поверхнево активними полімервмісними добавками. Для подачі технологічного середовища у зону зміцнення використовували систему подачі мастильно-охолоджувальної рідини верстата.

Фрикційне зміцнення є фінішною операцією, на якій формується задана згідно з технічними вимогами на виготовлення деталі точність та шорсткість поверхонь. Деталі, робочі поверхні яких необхідно було зміцнювати, проходили повну механічну і термічну обробку згідно з заводським технологічним процесом, тільки після останньої операції шліфування залишали припуск 0,03–0,05 мм під фрикційне зміцнення, згідно з результатами, отриманими за розв'язком математичної моделі з визначення осадження металу під час зміцнення.

Фрикційне зміцнення робочих поверхонь напрямних проводили за таких режимх: швидкість переміщення стола верстата – 4 м/хв, поперечна подача – 4 мм/дв.хід, вертикальна подача – 0,35 мм. Зміцнення поверхонь проводили за один прохід.

Після фрикційного зміцнення деталі проводили ретельну перевірку геометричних параметрів і якості зміцнених поверхонь. Перевірка показала, що усі розміри та шорсткість поверхонь відповідали кресленням та технічним вимогам на деталі. Відхилення від площинності у поперечному і поздовжньому напрямках, а також по діагоналях не перевищувало 0,014 мм на 100 мм довжини за допустимих за технічними вимогами 0,02 мм, а шорсткість оброблених поверхонь становила $R_a = 0,36-0,52$ мкм, що також є меншою, ніж зазначена на кресленнях. Твердість на оброблених поверхнях визначали за допомогою електроакустичного твердоміра типу HPV-10 фірми «Kraut-Kremer». Шорсткість оброблених поверхонь визначали за допомогою переносного профілеметра-профілеграфа MarSurf M 300 фірми «Mahr».

Товщину зміцненого шару можна визначати неруйнівними методами, але похибка вимірювань може становити близько 50–70 %. Тому для визначення товщини зміцненого шару та

зміни мікротвердості по глибині зміцненого шару проводили паралельно до зміцнення зразків-свідків, виготовлених з такої самої сталі і з такою самою термічною обробкою.

Проведені металографічні дослідження зразків-свідків показали, що після фрикційного зміцнення у поверхневих шарах зразків були сформовані суцільні та якісні білі шари завтовшки 350–390 мкм. Мікротвердість білого шару становила 9,1–9,5 ГПа за твердості основної структури 5–5,3 ГПа.

Складові сили взаємодії, що виникають у процесі фрикційного зміцнення у зоні контакту інструмент-деталь, визначали згідно з розробленою математичною моделлю. Так, нормальна складова сили взаємодії P_y не перевищувала 800 Н, а тангенціальна – $P_z = 50$ Н.

Якнайповніші дані про працездатність як окремих деталей і вузлів, так і верстатів загалом, можна отримати в процесі їх експлуатації у виробничих умовах. Але такі випробування дуже довготривалі і дорогі. У зв'язку з цим широко застосовуються на практиці стендові випробування, які є ближчими до експлуатаційних, ніж лабораторні.

Для перевірки зносостійкості напрямних після фрикційного зміцнення в умовах, близьких до експлуатаційних, був спроектований та виготовлений спеціальний стенд, загальний вигляд якого показаний на рис. 2. Він складається з гідростанції 1, станини 2, гідроциліндра 3, стола 4 і вантажів 5. Усі деталі та вузли для виготовлення стенда використані з основного виробництва технологічного обладнання. За технічними вимогами максимально допустима вага оброблюваних деталей, які використовуються на обладнанні, не перевищує 3,0 кН. Тому питоме навантаження на напрямні під час досліджень становило 0,2 МПа.

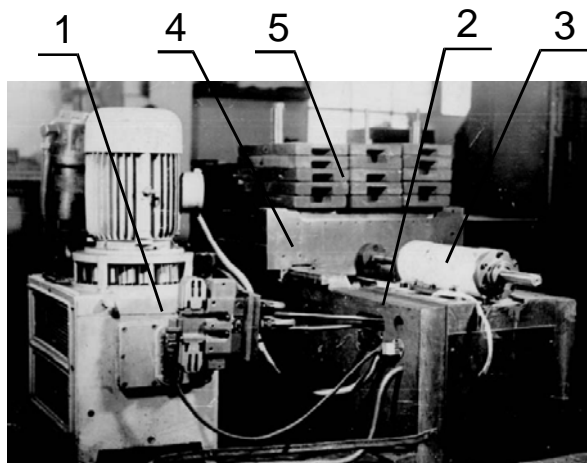


Рис. 2. Стенд для дослідження напрямних технологічного обладнання:
1 – гідростанція; 2 – станина; 3 – гідроциліндр; 4 – стіл; 5 – вантаж

Для вимірювання величини зношування ми застосували такий метод. На кожній напрямній по довжині свердлили по три отвори діаметром 4,8 мм, в які запресовували сталеві кульки з таким розрахунком, щоб вони знаходились на віддалі 0,25–0,3 мм від поверхні (рис. 3). Ці кульки були базою для відліку величини зношування напрямних. За критерій зношування приймали лінійне зношування напрямних під час випробувань. Для замірювання зношування застосовували мікронний індикатор з точністю $\pm 1,0$ мкм і сталеву плиту розміром 20×80×80 мм, основу якої доведено до $R_a = 0,03...0,05$ мкм. Ніжку індикатора вставляли в отвір плити і кріпили гвинтом. Під час вимірювання за допомогою такої плити усувається похибка на хвилястість, оскільки вона займає значно більшу поверхню. Перед вимірюванням плиту з індикатором ставили на скло і виставляли індикатор у нульове положення. Перші заміри проводили до зношування, далі два – через 50 год роботи, наступні – через 100 год, а потім усі решта – через кожні 200 год. Тривалість випробування однієї напрямної становила 1000 год.

Стендові випробування проводили за граничного мащення (мастило індустріальне-30А) за питомого навантаження 0,25 МПа і середньої швидкості ковзання – 0,15 м/с. Умови роботи стенда імітували роботу технологічного обладнання з максимально допустимою вагою оброблюваних деталей.

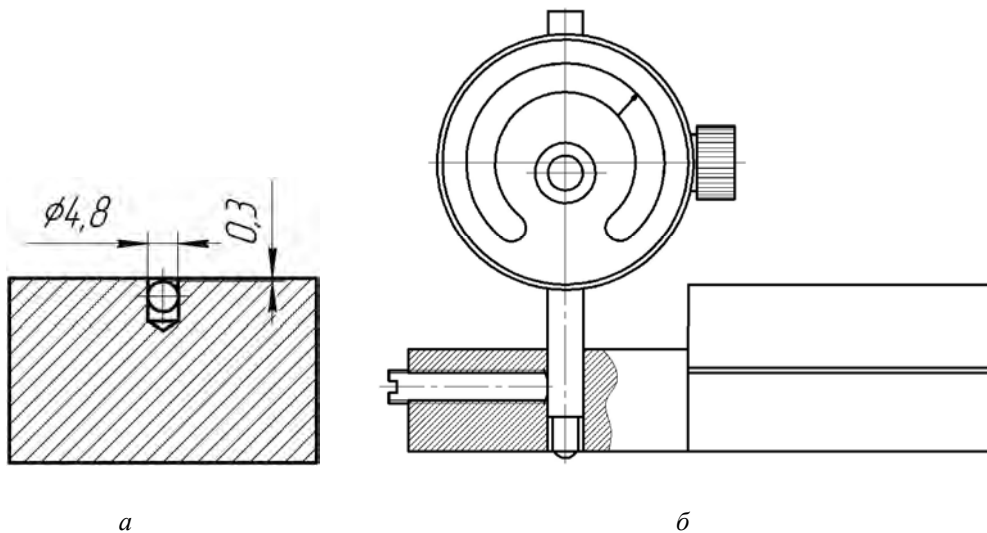


Рис. 3. Схема встановлення кульок у напрямних (а) та пристрій для заміру величини зношування напрямних (б)

Для проведення стендових випробувань використовували пару напрямних, виготовлених за заводською технологією, а також пару напрямних, де одна мала робочу поверхню, зміцнену фрикційною обробкою, а друга – напрямну, яка була не зміцнена, а тільки шліфована. На стенд були встановлені відразу дві пари напрямних, одна пара виготовлена за заводською технологією, а друга – експериментальна, що дає нам однакові умови роботи досліджуваних напрямних. Для достовірності отриманих результатів було проведено дослідження двох пар напрямних.

Проведені стендові випробування показали, що величина зношування експериментальних напрямних, де одна з напрямних мала робочу поверхню зміцнену, зменшилася у 2,5–3,0 рази порівняно з напрямними, виготовленими за заводською технологією (рис. 4). Слід зазначити, що величина зношування шліфованих напрямних, що працювали у парі зі зміцненими напрямними, зменшилася майже у стільки ж разів.

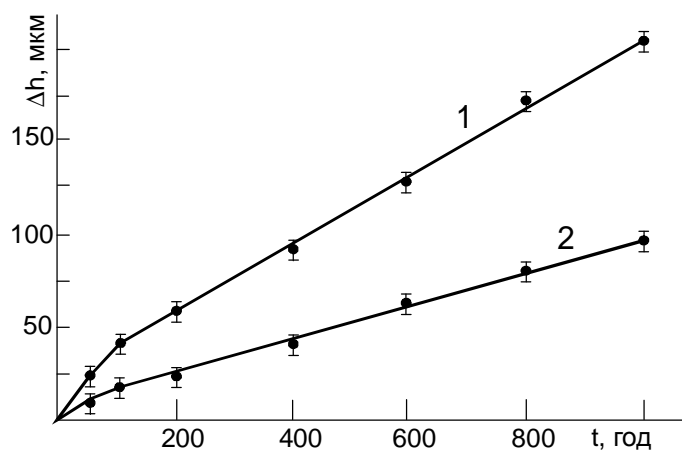


Рис. 4. Кінетика зношування напрямних технологічного обладнання під час стендових випробувань: 1 – напрямна, виготовлена за заводською технологією; 2 – напрямна зі зміцненими робочими поверхнями

Лабораторні дослідження показали, що під час використання обох зміцнених зразків пари тертя ефект підвищення зносостійкості нівелюється або отримується навіть зниження зносостійкості порівняно з незміцненою парою. Для цього провели дослідження на зносостійкість напрямних, у яких обидві мали зміцнені робочі поверхні.

Проведені стендові випробування підтвердили достовірність результатів, отриманих під час лабораторних випробувань, тобто фрикційне зміцнення є ефективним технологічним методом підвищення зносостійкості напрямних базових деталей технологічного обладнання

Висновки. Стендові дослідження, проведені в заводських умовах, показали, що фрикційне зміцнення є простим і ефективним технологічним методом підвищення працездатності технологічного оснащення та деталей машин.

Отже, для підвищення зносостійкості напрямних технологічного оснащення достатньо зміцнювати лише одну з деталей пари тертя, інша повинна бути тільки шліфувана. За зміцнення обох деталей пари тертя ефект зміцнення нівелюється, а у деяких випадках можуть бути отримані негативні результати.

1. Ляшенко Б.А., Клименко С.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработкой и положение в Украине // *Сучасне машинобудування*. – 1999. – № 1. – С. 94 – 104. 2. Митрович В.П., Сахнева Р.И., Егоркина Н.Д. Влияние микроструктуры и твердости чугуна на износ корпусных деталей станков // *Станки и инструменты*. – 1981. – № 9. – С. 21 – 24. 3. Гриднев В.А., Трефилов В.И. Фазовые и структурные превращения и метастабильное состояние в металлах. – К.: *Наук. думка*, 1988. – 264 с. 4. Бабей Ю.И., Бутаков Б.И., Сысоев В.Г. Поверхностное упрочнение металлов – К.: *Наук. думка*, 1995. – 253 с. 5. Пилинский В.И. Производительность, качество и эффективность скоростного шлифования / В.И. Пилинский, И.П. Донец. – М.: *Машиностроение*, 1986. – 80 с. 6. Бреев Б.Т. Модернизация станков для скоростного шлифования / Б.Т. Бреев. – М.: *Машиностроение*, 1982. – 60 с.

УДК 621.833.002

Я.М. Литвиняк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ РАДІАЛЬНО-КОЛОВОГО НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ ВІНЦІВ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

© Литвиняк Я.М., 2011

Викладено методику проектування профілю дискових інструментів, які використовуються у способі радіально-колового нарізання зубців циліндричних зубчастих коліс, що здійснюється за умови безперервного ділення за встановлення згаданого інструмента ексцентрично на інструментальній оправці зубофрезерного верстата. Отримані моделі створюють теоретичні передумови для заміни традиційних методів зубонарізання продуктивнішим та менш дорогим способом.

The article contains a design technique type of disk milling cutters. These instruments utilize a new method for cutting of gear-wheels indents . A method is carried out at the purveyance continuous rotation of gear-wheel. It will allow to replace the traditional methods of cutting cylinder gear-wheels .

Постановка проблеми. Зубчасті передачі, що становлять невід’ємну частину більшості сучасних машин, найчастіше визначають їх якість та надійність, які разом із їхніми техніко-економічними показниками закладаються загалом на етапі виробництва. Своєю чергою, у структурі виробничого процесу, найвагоміша частина належить технологічним процесам виготовлення таких достатньо складних деталей, як зубчасті колеса. Обробка зубчастих коліс здійснюється переважно методом обкату на спеціально призначених для цього універсальних зубофрезерних верстатах або методом копіювання із застосуванням в обох випадках інструментів складної форми. Сучасні напрями удосконалення технологічних операцій зубонарізання спрямовані здебільшого на