

УДК 621.787

І.В. Гурей, д-р техн. наук, проф., **Т.А. Гурей**, канд. техн. наук, асист.
НУ «ЛП», ПЖ, м. Львів, м. Жешув, Україна, Польща

ТОЧНІСТЬ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПІСЛЯ ЇХ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯМ

У статті проведені дослідження які вказують, що режими фрикційного зміцнення неоднозначно впливають на осадку металу оброблюваних поверхонь деталей машин, яка визначає величину припуску під поверхневе зміцнення. Зі збільшенням поздовжньої подачі при фрикційному зміцненні усадка металу зростає, а поперечної подачі, навпаки, – зменшується. Величини осадки металу залежить від структурного стану металу. Найбільша інтенсивність зміни осадки металу спостерігається при зміцненні сталей у нормалізованому стані. При зміцненні сталі у загартованому і низьковідпущеному стані інтенсивність зміни осадки металу є незначною. Фрикційне зміцнення може служити одним з ефективних технологічних методів покращання робочих поверхонь деталей машин.

Ключові слова: фрикційне зміцнення, осадка металу, точність оброблених поверхонь

1. Вступ

Експлуатаційні властивості деталей машин суттєво залежать від якості спряжених поверхонь і його поверхневого шару. Вони визначаються стереометричними (відхиленням профілю, хвилястістю, шорсткістю) і фізико-механічними (мікротвердість, залишкові напруження, товщина, структура) характеристиками та взаємним розташуванням мікронерівностей на спряжених елементах. Ці параметри залежать від технології виготовлення робочих поверхонь деталей, особливо на фінішних операціях, і технології складання. Формування мікрогеометрії поверхні та поверхневого шару відбувається під час протіканні різних фізико-хімічних процесів при застосуванні різних методів обробки та зміцнення [1].

В останній час широко використовуються технологічні методи поверхневого зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. Фрикційне зміцнення відноситься до таких методів поверхневої обробки. Потік енергії створюється на оброблюваній поверхні за рахунок високошвидкісного тертя інструмента-диска по деталі. У зоні контакту інструмент-деталь відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування поверхневого шару. Швидкість нагрівання зони контакту на оброблюваній поверхні досягає $5 \cdot 10^5$ – $3 \cdot 10^6$ К/с. Поверхневий шар металу нагрівається до температур вище точки фазових перетворень (A_{c3}). Час дії потоку енергії на одиничну зону контакту є малим. За рахунок відводу теплоти у глибину металу проходить високошвидкісне охолодження поверхневого шару і формування нанокристалічного білого шару [2].

Дослідження формування зміцненого нанокристалічного шару проводили, в основному, з точки зору матеріалознавства. Досліджували вплив різних параметрів процесу фрикційного зміцнення на формування зміцненого шару, його товщину, твердість, фізико-механічні та хімічні властивості, а також вплив зміцненого нанокристалічного шару на довговічність оброблених поверхонь. У той же час дослідження точності зміцнених поверхонь практично відсутні.

Метою даної роботи було проведення дослідження точності оброблених робочих

поверхонь деталей машин після фрикційного зміцнення.

2. Основний зміст і результати роботи

Процес фрикційного зміцнення робочих поверхонь деталей машин за кінематикою аналогічний до процесу шліфування. Фрикційне зміцнення поверхонь може бути реалізоване на модернізованому серійному металообробному обладнанні. Для зміцнення плоских поверхонь використовуються плоскошліфувальні верстати, для циліндричних поверхонь – круглошліфувальні верстати або токарні верстати з використанням автономного приводу інструменту – фортункою. Замість абразивного інструменту використовується металевий інструмент.

Фрикційне зміцнення плоских поверхонь проводили на модернізованому плоскошліфувальному верстаті моделі *SPC-20a*, на якому збільшена частота обертання інструменту. Зміцнення тіл обертання проводили на спеціальній установці змонтованій на базі універсального токарно-гвинторізного верстата моделі 16K20. Замість різцетримача була встановлена спеціальна фортунка з автономним приводом сталюого інструмента-диска. Усі функціональні рухи верстата були не змінені. У обох випадках використовували інструмент діаметром 240 мм і шириною робочої частини 8-10 мм, виготовлений зі сталі 45 у нормалізованому стані. Лінійна швидкість на периферії інструменту становила 65-70 м/с. Як технологічне середовище в процесі фрикційного зміцнення використовували мінеральне мастило «Індустріальне-20А».

Дослідження точності оброблених поверхонь після фрикційного зміцнення проводили на плоских і циліндричних зразках, виготовлених зі сталей 45 та 40ХН у різному структурному стані.

У процесі фрикційного зміцнення у зоні контакту інструмента і деталі виникають високі температури і напруження. Потік енергії у зоні контакту інструмент-деталь формується за рахунок інтенсивного тертя. Як показали наші дослідження, поверхневий шар металу нагрівається до температур вище 1100 °С, напруження складають 2,2-3,8 ГПа, також виникають інтенсивні зсувні деформації. При цьому відбувається зміна фазового, структурного та напруженого стану металу [3]. На оброблюваній поверхні проходить так звана осадка металу за рахунок можливого оплавлення металу у зоні фрикційного контакту та знімаються виступи нерівності поверхні. Усі ці параметри впливають на точність оброблюваної поверхні. Фрикційне зміцнення використовується як фінішна обробка і тому точності виготовлення поверхонь приділяється особлива увага.

На величину осадки металу суттєво впливають температурно-силові параметри, які виникають у зоні контакту, а вони у свою чергу залежать від режимів фрикційного зміцнення, форми робочої поверхні інструмента, застосовуваного технологічного середовища та фізико-механічних властивостей зміцнюваних деталей машин.

Дослідження на точність обробки проводили після фрикційного зміцнення плоских зразків які показали, що режими фрикційного зміцнення суттєво впливають на величину осадки металу. Так, зі збільшенням вертикальної подачі t величина осадки металу зростає (рис. 1). Найменша величина осадки металу спостерігається при вертикальній подачі 0,15 мм. При збільшенні вертикальної подачі у зоні контакту зростають температурно-силові параметри, зростає температура та питомі навантаження. Так, під час фрикційного зміцнення зі швидкістю переміщення стола верстата 2 м/хв., поперечній подачі 1,5 мм/дв.хід та вертикальній подачі 0,15 мм осадка металу складає 50 мкм. При збільшенні вертикальної подачі до 0,35 мм при решті

незмінних параметрів осадка збільшилась до 80 мкм.

Збільшення вертикальної подачі приводить до збільшення осадки металу. При подальшому збільшенні вертикальної подачі $t > 0,5$ мм величина осадки металу починає різко збільшуватись. Поверхневий шар нагрівається до температур вище 1300-1400 °С. Це приводить до різкого зниження характеристик його міцності і тому частина металу поверхневого шару виносяться з зони контакту. Відповідно зменшується товщина зміцненого шару, а також зростає величина осадки металу. Для даних параметрів фрикційного зміцнення величина вертикальної подачі 0,35 мм є найбільш раціональною.

На величину осадки металу також значно впливають поперечна подача та швидкість переміщення стола верстата. Зі збільшенням поперечної подачі збільшується ширина одиничної зони контакту металу зміцнюваної поверхні, яка тільки вступила в обробку. Відповідно зростають складові сили взаємодії в зоні одиничного контакту інструмент-деталь та знижуються питомі навантаження. Зі збільшенням поперечної подачі осадка металу, в основному, зменшується, але слід відмітити, що при цьому велике значення має швидкість переміщення стола верстату. Зміна поперечної подачі впливає на кількість проходів інструмента по одному і тому ж самому місці оброблюваної поверхні, а це в свою ж чергу на осадку металу. Чим більше інструмент має проходів, тим більша осадка металу.

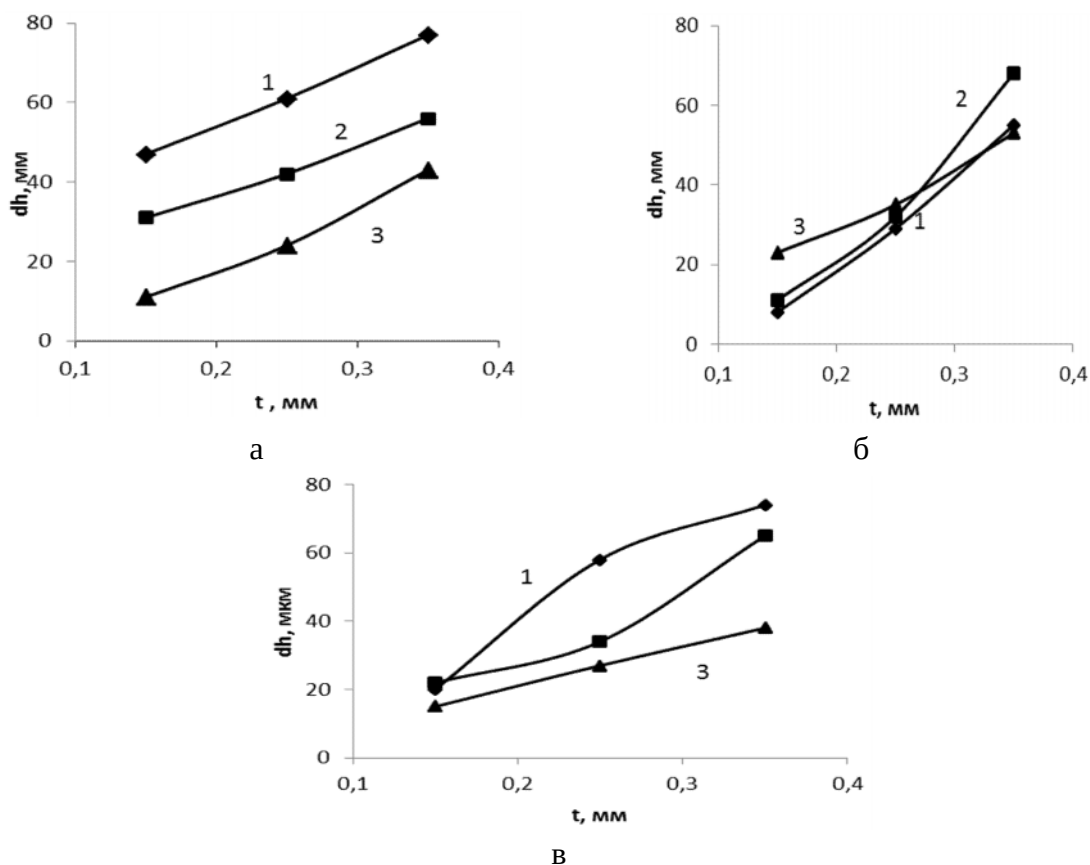


Рис. 1. Залежність осадки зміцненої поверхні від вертикальної подачі t та поперечної подачі s та швидкості переміщення стола верстату v ($s = 1,5$ мм/дв.хід; $s = 3$ мм/дв.хід; $s = 4,5$ мм/дв.хід): а – $v = 2$ м/хв.; б – $v = 4$ м/хв.; в – $v = 6$ м/хв

Швидкість переміщення стола верстата по різному впливає на величину осадки металу. При малих швидкостях переміщення стола верстата осадка металу є найбільшою. Зі збільшенням швидкості переміщення стола осадка металу, в основному, зменшується, досягає мінімуму, а потім знову незначно підвищується.

Зі збільшенням швидкості переміщення стола верстату зменшується час одиничного контакту інструмента та деталі. Хоча швидкість нагріву є дуже високою, метал не встигає прогрітись на велику глибину і тому білий шар має невелику товщину. При малих швидкостях переміщення стола верстату ($v \leq 2$ м/хв.) час одиничного контакту інструмент-деталь зростає, поверхневий шар металу розігрівається до температур близьких до температури плавлення. При таких температурах міцність поверхневого шару різко знижується. Під час фрикційного зміцнення проходить високошвидкісне тертя інструмента по оброблюваній поверхні деталі і коли міцність поверхневого шару різко знижується, то проходить його інтенсивне стирання, що є небажаним явищем, бо значно збільшується осадка металу та погіршується шорсткість обробленої поверхні. Також зменшується товщина зміцненого шару за рахунок того, що частина поверхневого шару металу знімається. При великих швидкостях переміщення стола верстата ($v \geq 6$ м/хв.) часу для нагріву поверхневого шару на велику глибину є недостатньо. Поверхневий шар металу має вищі характеристики міцності, бо є нагрітим до нижчих температур. При великих швидкостях переміщення стола верстату осадка металу є невеликою і якість обробленої поверхні є хорошою, але при цьому ми отримуємо зміцнений шар меншої товщини.

Аналогічні результати по дослідженню точності оброблених поверхонь отримано після фрикційного зміцнення циліндричних поверхонь. При зміцненні циліндричних поверхонь дещо є відмінними режими обробки. На величину осадки металу значно впливає структурний стан вихідного металу, який зміцнюється. Так, при фрикційному зміцненні зразків після нормалізації інтенсивність зростання осадки металу у залежності від величини поздовжньої подачі є вищою, аніж при зміцненні зразків після попереднього гартування і низького відпуску (рис. 2).

На величину осадки металу при зміні величини поперечної подачі суттєво впливає і структурний стан зміцнюваних зразків. Найбільш інтенсивно поперечна

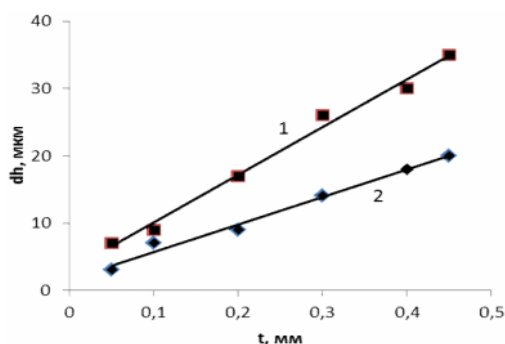


Рис. 2. Залежність осадки металу від поздовжньої подачі t при фрикційному зміцненні сталі 45: 1 – нормалізація; 2 – гартування і низький відпуск

подача впливає на величину осадки металу при фрикційному зміцненні нормалізованих зразків. При зміцненні загартованих і низьковідпущених зразків вплив поперечної подачі на величину осадки металу є незначним.

На формування зміцненого шару, а також температурно-силові параметри, які виникають у зоні контакту впливає співвідношення діаметрів зміцнюваної деталі та інструмента (рис. 3). Зі збільшенням діаметра оброблюваної деталі при постійному розмірі робочої ширини інструмента площа зони їх контакту при зміцненні збільшується. Відповідно зменшуються питомі навантаження та температура нагрівання поверхневого шару.

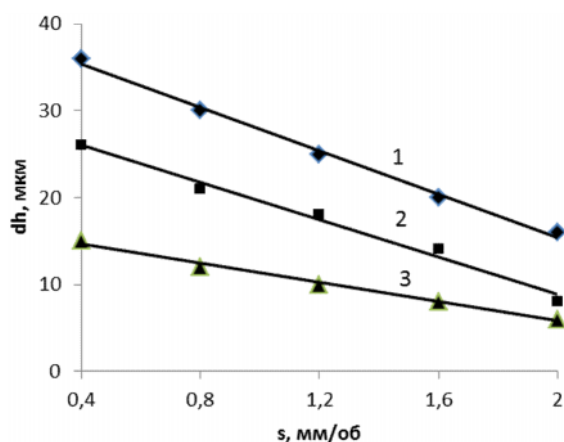


Рис. 3. Залежність осадки металу від поперечної подачі при фрикційному зміцненні сталі 40Х: 1 – нормалізація; 2 – гартування і високий відпуск; 3 – гартування і низький відпуск

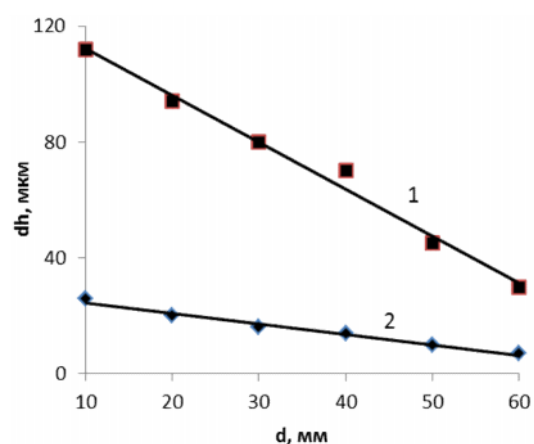


Рис. 4. Залежність осадки металу від діаметра оброблюваної деталі d при фрикційному зміцненні сталі 40Х: 1 – нормалізація; 2 – гартування і низький відпуск

У процесі фрикційного зміцнення поверхонь тіл обертання зміна діаметру обробленої поверхні впливає на площу контакту інструмент-деталь, яка зростає зі збільшенням діаметру оброблюваної поверхні. Відповідно зменшуються питомі навантаження у зоні обробки. Як показали експериментальні дослідження після фрикційного зміцнення загартованих і низько відпущених зразків збільшення діаметра не значно впливає на зменшення осадки металу (рис. 4).

Дослідження показали, що попередня термічна обробка має значний вплив на величину осадки металу при фрикційному зміцненні. Чим вихідний метал деталі, який підлягає фрикційному зміцненню, має вищу твердість і міцність тим менше режими обробки впливають на величину осадки металу і тим менший припуск слід залишати на операцію фрикційного зміцнення. З проведених експериментів слідує, що при зміцненні загартованих і низьковідпущених зразків зі сталі 45 та 40Х на раціональних режимах величина осадки металу не перевищує 30 мкм на діаметр. При зміцненні нормалізованих зразків усадка металу є дещо вищою, але тим не менш не перевищує 0,1 мм. Дані величини осадки металу при зміцненні слід враховувати при призначенні припусків на обробку. При цьому слід відмітити що, точність зміцнених поверхонь відповідає точності, отриманій при фінішних операціях обробки деталей.

3. Заключення.

З проведених досліджень можна зробити висновок, що режими фрикційного зміцнення неоднозначно впливають на осадку металу оброблюваних поверхонь деталей машин, яка визначає величину припуску під поверхневе зміцнення. Зі збільшенням поздовжньої подачі при фрикційному зміцненні усадка металу зростає, а поперечної подачі, навпаки, – зменшується. Величини осадки металу залежить від структурного стану металу. Найбільша інтенсивність зміни осадки металу спостерігається при зміцненні сталених зразків у нормалізованому стані. При зміцненні сталі у загартованому і низьковідпущеному стані інтенсивність зміни осадки металу є незначною. Фрикційне зміцнення може служити одним з ефективних технологічних

методів покращання робочих поверхонь деталей машин.

Список літератури:

1. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Гурей І.В. Вплив технологічних середовищ та матеріалу інструменту на параметри фрикційного зміцнення // Машинознавство - 1998. - № 11/12. – С.30-34.
3. Гурей В. І. Термонапружений стан поверхневого шару деталей машин під час фрикційного зміцнення / В. І. Гурей // Вісник СевНТУ. – Севастополь, 2012. Вип. 128/2012. – С. 47–53.

IV Gurey, TA Gurey

ACCURACY OF TREATED SURFACES AFTER HARDENING OF FRICTION

It is shown that in the surface layers the nanocrystalline hardened layer with a grain size of 80 nm in the process of friction hardening of machine parts are formed.

The rigidity of the technological system, form and dimensions of the working part of the tool and technological environment to formation of the hardened layer (thickness, microhardness, grain size) are influence.

Keywords: friction hardening, sludge metal, precision machined surfaces

И.В. Гурей, Т.А. Гурей

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ ИХ ФРИКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

В статье проведены исследования указывающие, что режимы фрикционного упрочнения неоднозначно влияют на осадку металла обрабатываемых поверхностей деталей машин, которая определяет величину припуска под поверхностное упрочнение. С увеличением продольной подачи при фрикционном упрочнении усадка металла растет, а поперечной подачи, наоборот, - уменьшается. Величины осадки металла зависят от структурного состояния металла. Наибольшая интенсивность изменения осадки металла наблюдается при укреплении стальных образцов в нормализованном состоянии. При упрочнении стали в закаленном и низкоотпущенном состоянии интенсивность изменения осадки металла незначительна. Фрикционное упрочнение может служить одним из эффективных технологических методов улучшения рабочих поверхностей деталей машин.

Ключевые слова: фрикционное упрочнение, осадка металла, точность обработанных поверхностей

Надійшла до редколегії 30.05.2013 р.