

УДК 621.91

Я. О. Шахбазов, І. М. Грінер, В. А. Сторошук

Українська академія друкарства

МОДЕЛЮВАННЯ ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМОВАНОГО ШАРУ ПРИ МЕХАНІЧНОМУ ОБРОБЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Порушується питання про вплив механічного оброблення на приповерхневий шар деталей машин. Проведено експериментальні дослідження дії способів механічного оброблення на якість і зносостійкість поверхонь деталей.

Пластична деформація, приповерхневий шар, якість, зносостійкість, дислокація, чистове оброблення

Поверхневий шар деталі в умовах експлуатації піддається механічному й тепловому впливу. Втрата деталю свого службового призначення та її руйнування, як правило, починається з поверхні. Це пояснюється тим, що в більшості випадків поверхневі шари металу найбільш напружені і зазнають активної дії зовнішніх середовищ. Тому якість поверхневого шару та його фізико-механічні властивості є найважливішими характеристиками деталі в процесі експлуатації [1].

Сьогодні одним з основних завдань машинобудування є розроблення ефективних технологічних процесів виготовлення деталей, які забезпечують не тільки досягнення високої точності та якості поверхонь при мінімальній витраті, а й збереження первинних показників упродовж всього періоду експлуатації. Одним з негативних факторів, що викликає зниження якості поверхонь деталей машин у процесі експлуатації, є пластично деформований шар, який виникає після механічного оброблення різанням.

Досвід експлуатації машин, приладів, апаратів переконливо свідчить, що їхня надійність визначається станом поверхневого шару деталей і залежить від характеру контакту поверхонь (тертя зі змащенням, граничне тертя, тертя без змащення). За результатами багатьох досліджень, виконаних науковцями Росії, України, Білорусі, зокрема Д. Д. Папшевим, І. В. Кудрявцевим, Ю. Г. Шнейдером, Л. О. Хворостухіним, Ю. І. Бабеюм, Б. І. Костецьким, П. І. Ящеріциним, П. А. Лінчевським, В. К. Старковим, встановлено, що показники якості поверхні істотно визначають зносостійкість, міцність, корозійну стійкість й інші експлуатаційні властивості деталей машин. Тому удосконалення існуючих технологій оброблення і розроблення нових технологій для підвищення якості та зносостійкості деталей машин є нині актуальним завданням.

Аналіз причин і характеру руйнування деталей машин свідчить, що руйнування починається в поверхневому шарі, а опірність руйнуванню визначається сукупністю характеристик якості поверхневого шару деталей машин: мікрогеометрією (шорсткістю поверхні, формою та розташуванням мікронерівностей тощо), зміцненням, структурою і залишковими напруженнями [1, 7, 8].

У роботах [1, 4, 6, 7] вивчено природу формування напруженого стану металу поверхневого шару й наведено класифікацію залишкових напружень. Показано, що при обробленні різальним інструментом спостерігається складний вплив на оброблену поверхню деталі як зусиль обробки, так і температури в зоні різання. Встановлено дію режимів різання на розподіл залишкових напружень і визначено умови, які забезпечують появу в поверхневому шарі напружень стиску, гарантують поліпшення фізико-механічних характеристик поверхневого шару і, таким чином, підвищують зносостійкість деталей.

Встановлено, що з підвищенням швидкості різання при обробленні пластичних матеріалів зростає величина напружень розтягу. При обробленні матеріалів після зміцнення загартуванням знижуються залишкові напруження розтягу при невисоких швидкостях (до 50м/хв) і відбувається їх перетворення в напруження стиску при обробці на великих швидкостях. Вивчення впливу подачі показало, що її збільшення при обробленні малопластичних сталей зменшує величину напружень стиску в поверхневому шарі, а при обробленні пластичних матеріалів збільшення подачі супроводжується зростанням залишкових напружень розтягу.

При розробленні рекомендацій з механічного оброблення потрібно враховувати технологічні вимоги до поверхневого шару оброблюваної деталі. У роботі [1] аналізується стан поверхневого шару в процесі пластичної деформації при різанні, де ґрунтовно і змістовно окреслено особливості формування мікроструктури, механізм стружкоутворення й утворення мікрорельєфу обробленої поверхні. Дослідження із застосуванням методів механіки суцільних середовищ і теорії подібності дозволили розробити теоретичні моделі, які дають можливість урахувати вплив режимів обробки на шорсткість обробленої поверхні, глибину і ступінь наклепу, характер розподілу і рівень залишкових напружень.

Науковцем А. А. Маталінім [4] запропоновано детальну регламентацію фізико-механічного та структурного стану поверхневого шару деталі, яка враховує його можливі зміни в процесі механічної обробки. У рекомендованій класифікації поверхневий шар деталі ідентифікується параметрами з нерівності обробленої поверхні (шорсткість, хвилястість, напрямком нерівностей тощо), ступеня деформації окремих зерен і їх сукупності, наклепу, зміни субструктури і структури, макро- і мікронапружень. Ці параметри взаємопов'язані між собою, оскільки відображають різні сторони одного і того ж стану поверхневого шару обробленої деталі. Наприклад, керувати глибиною і ступенем наклепу неможливо, не змінюючи при цьому рівень і характер розподілу залишкових напружень і т.д. Ці параметри визначають напружений стан поверхневого шару,

в основі формування якого лежать механізми зміцнення і знеміцнення за рахунок утворення та руху дефектів кристалічної будови оброблюваного матеріалу. Властивості поверхневого шару деталі формуються при різанні під дією складного і взаємопов'язаного комплексу кінематичних та фізико-механічних чинників, серед яких важливу роль відіграють пластична деформація і зміцнення, нагрівання оброблюваного матеріалу.

У роботі [5] досліджуються фізичні основи процесу різання лезовим інструментом, важливою частиною якої є фізичні закономірності формування поверхневого шару оброблюваної деталі. Встановлено зв'язок характеристик його субструктурного зміцнення з технологічними умовами різання та впливу зміцнення на експлуатаційні властивості деталі. Описані закономірності носять загальний характер для лезового й абразивного оброблення, оскільки їх основою є субструктурний стан обробленого металу. У праці зазначається, що поверхневий шар, змінений у процесі попереднього оброблення, має глибину, значно більшу за фіксовану розповсюдженими методами контролю – вимірюванням мікротвердості і залишкових напружень, рентгенографічним методом.

Науковцем П. А. Лінчевськом [3] розглядаються нові можливості використання ефекту Баушингера в технології машинобудування при виконанні ряду технологічних операцій для підвищення точності оброблення за рахунок зниження зусиль різання і, відповідно, деформацій технологічної системи при зміні напрямку різання на кінцевих операціях. При обробленні на токарних верстатах це завдання вирішувалося зміною напрямку обертання деталі та положення інструмента порівняно з чорновим. Розроблено рекомендації щодо вибору режимів різання при обробленні чавуну, які не слід використовувати при обробці незагартованих сталей.

У роботі [2] стверджується, що основним параметром впливу на властивості поверхні і приповерхневого шару металів є швидкість різання, від якої залежать швидкість деформації сталі, температура і час дії на метал. Із зростанням швидкості різання збільшується границя текучості металу, підвищується температура і зменшується час її дії на метал приповерхневого шару. Погіршення якості поверхні спостерігається при швидкості різання 12–25 м/хв і залежить від хімічного складу та структури оброблюваної сталі й параметрів різання. Із збільшенням швидкості понад 25–30 м/хв зменшується як повздовжня, так і поперечна шорсткість, а при швидкості різання 80–100 м/хв поверхня матиме таку шорсткість, як і при малих швидкостях.

Науковець С. Є. Нестеровський вивчав вплив параметрів механічного оброблення на фізико-механічні властивості сталі Ст 3. Дослідження показали, що при малих швидкостях (10 м/хв) зерна приповерхневого шару дуже витягаються в сторону напрямку швидкості різання; до того ж спостерігалося схоплення і руйнування охоплюваних ділянок. Із збільшенням швидкості різання до 150–200 м/хв деформація зменшувалася, а при швидкості 200–830 м/хв відбувалося загартовування перлітних зерен на поверхні. При малих швидкостях різання інтенсивність і глибина наклепу була більша, ніж на висо-

ких швидкостях (при 14 м/хв глибина наклепаного шару становила 100 мкм, при 208 м/хв – 38 мкм).

Поставлене нами завдання полягає у вивченні підвищення зносостійкості оброблюваної поверхні за рахунок зменшення величини пластичної деформації при зміні напрямку вектора швидкості різання на чистових (кінцевих) операціях.

При виготовленні деталей поверхневий шар набуває нових властивостей, які відрізняються від властивостей вихідного матеріалу. Сукупність властивостей оброблюваної поверхні і шару матеріалу під нею характеризують якість поверхневого шару або якість оброблення деталі.

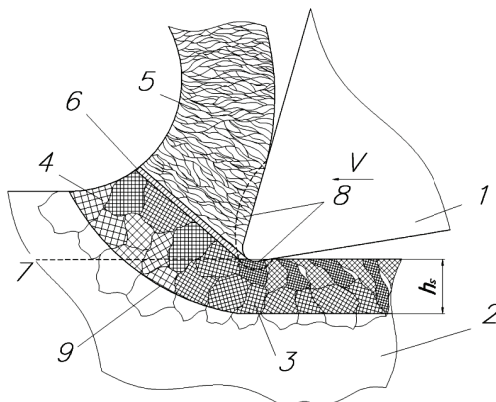
При обробленні деталей точінням спостерігається взаємодія на оброблювану поверхню деталі як сил різання, так і температури в зоні різання. Унаслідок цього в поверхневому шарі деталі виникають дуже складні процеси структурно-фазових змін, пружно-пластична деформація й інші явища.

У процесі обробки металу різанням можливе зміцнення тонких приповерхневих шарів оброблюваної деталі. При обробленні пластичних сталей тиск різця, який спричиняє пластичну деформацію приповерхневого шару, створює на ньому наклеп. На загартованих і низьковідпущених, а також нормалізованих сталях з високим вмістом вуглецю після оброблення різанням можливе утворення приповерхневих шарів іншого фазового складу, ніж основний метал.

При пластичному деформуванні відбуваються зсув у зернах металу, пружне викривлення кристалічної ґратки деяких об'ємів, які прилягають до ліній зсуву, зміна форми і зменшення розмірів зерен, утворення текстури й зміна якості металу. При підвищених температурах деформований шар зумовлює утворення зубчастої конфігурації границь зерен, які впливають на механічні властивості сталі.

Завдання технологічного забезпечення якості та зносостійкості оброблюваних деталей машин з незагартованих сталей точінням вирішується зняттям залишкових напружень і деформованого шару, формуванням оброблюваної поверхні шляхом зміни напрямку оброблення. Це створює можливість виконання другої операції – чистового точіння з видаленням частини зміцненого шару деталей з незагартованих сталей.

Постійне накопичення дефектів кристалічної будови за весь час деформування приводить до якісної зміни характеру дислокаційної структури та її кількісних характеристик – збільшення глибини зміцнення, щільності дислокацій тощо. Зрізуваний шар металу має певну товщину і, отже, накопичення дислокацій та інших дефектів у ньому відбувається значно швидше, ніж у поверхневому шарі під оброблюваною поверхнею. Як наслідок накопичення дефектів кристалічної будови розглядають поступовий перехід від структури орієнтованого розподілу дислокацій у зоні випереджувального зміцнення в текстуру пластичних деформацій шару, що зрізується. На рисунку зображено імітаційну модель еволюції дислокаційної структури в пластично деформованій зоні різання металів, отриманих з фотографій реальної субструктури сталі.



Модель пластично деформованої зони різання металу:

- V – швидкість різання, м/хв; h_s – глибина пластично деформованого шару;
 1 – різальне лезо; 2 – деталь; 3 – зона зміцнення під обробленою поверхнею;
 4 – зона випереджувального зміцнення; 5 – зона великих пластичних деформацій; 6 – лінія зсуву; 7 – поверхня різання;
 8 – зона вторинної деформації; 9 – зовнішня межа деформацій

Властивості поверхневого шару оброблюваної деталі починають формуватися в зоні випереджувального зміцнення перед різальним лезом інструмента. Розвиток дислокаційної структури у вигляді орієнтованої системи смуг ковзання, підвищення щільності дислокацій зі створенням стійких конфігурацій приводять до зміцнення поверхневого шару. Практично до моменту, коли поверхневий шар заготовки вступає в контакт із задньою поверхнею інструмента, уже маємо сформовану його дислокаційну структуру. У результаті тертя і вторинної деформації, супутньої при контактуванні із задньою поверхнею інструмента, незначно збільшуються глибина зміцнення і щільність дислокацій у поверхневому шарі. Кількість дислокацій і їх переміщення визначають величину відносної деформації та її зміну в глибині поверхневого шару.

Тепловий фактор завдяки високій швидкості різання відіграє істотну роль при формуванні властивостей поверхневого шару деталі. Його дія зменшується при охолодженні. Одночасний вплив силового і теплового факторів у процесі різання спричиняє субструктурні зміни поверхневого шару оброблюваної деталі. Фізико-механічний стан поверхневого шару визначає співвідношення інтенсивності та швидкості протікання процесів зміцнення і знеміцнення при різанні.

У результаті проведеного аналізу нами запропоновано метод зняття пластично деформованого шару за рахунок зміни напрямку вектора швидкості різання на чистових (кінцевих) операціях перевстановленням оброблюваної деталі.

Дослідження зносостійкості дослідних зразків проводили на багатопозиційному стенді реверсивного руху ИС-11, спроектованому та виготовленому в Українській академії друкарства для вивчення процесів зносу пар тертя вал-втулка при реверсивному обертовому русі. Стенд дозволяє одночасно вивчати

спрацьованість дванадцяти пар тертя в однакових умовах експерименту. Зносостійкість пар тертя досліджували при питомому тиску 5 МПа та куті реверсу 65° упродовж 10⁶ циклів. Діаметр зразків складав 20 мм, діаметральний зазор знаходився в межах 0,05–0,07 мм. Знос зразків визначали ваговим методом на лабораторній вазі ВЛР–200 (ГОСТ 24104-80) другого класу точності. Отримані результати показали, що зносостійкість зразків, оброблених перевстановленням деталі при чистових операціях, у 1,3–1,4 раза вища. Це підтверджує перспективність використання запропонованого способу при вирішенні технологічних завдань, пов'язаних з підвищенням зносостійкості оброблюваних деталей.

З вищевикладеного випливають наступні висновки. Аналізом літературних джерел встановлено, що дослідження впливу технологічних факторів процесу точіння при зміні напрямку оброблення на експлуатаційні показники деталей машин не проводилися. З огляду на це запропонований метод перевстановлення деталей при чистовому обробленні дозволяє підвищити якість та зносостійкість поверхонь деталей машин. Експериментальні дослідження підтверджують перспективність використання даного методу при вирішенні технологічних завдань.

1.Исаев А.И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металло-врезанием / А.И. Исаев. – М.: Машгиз, 1950. – 358 с. 2. Карпенко Г.В. Упрочнение сталей механической обработкой / Карпенко Г.В., Бабей Ю.И., Карпенко И.В. и др. – К.: Наукова думка, 1966. – 203 с. 3. Линчевский П.А. Совершенствование технологи обработки металло-врезанием и пластическим деформированием с учетом использования эффекта Баушингера / Линчевский П.А., Новожилов С.В., Кудряков М.Б. // Тр. Одес. ун-та. – 2008. – Вып. 2. – С. 73–76. 4. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин / А.А. Маталин. – К.: Техника, 1975. – 142 с. 5. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов / Старков В.К. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с. 6. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодкин Ю.Д. – М.: Машиностроение, 1988. – 239 с. 7. Сулова А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 318 с. 8. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОГО СЛОЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Рассматриваются вопросы влияния механической обработки на приповерхностный слой деталей машин. Проведены экспериментальные исследования влияния способов механической обработки на качество и износостойкость поверхностей деталей.

MODELLING OF PLASTIC DEFORMATION LAYER WHEN THE MECHANICAL PROCESSING MACHINE PARTS

The question of the influence of mechanical treatment on the surface layer of machine parts. Experimental research of influence of mechanical processing methods on the quality and durability of surfaces.

Стаття надійшла 26.04.2013

УДК 621-01

В.Р. Пасіка, Р.В. Пилип*Українська академія друкарства***ЗУБЧАСТИЙ ДИФЕРЕНЦІАЛ
У КРИВОШИПНО-ВАЖІЛЬНОМУ МЕХАНІЗМІ
ЯК ФАКТОР ЗБІЛЬШЕННЯ ХОДУ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ**

Обґрунтовується доцільність застосування диференціального зубчастого контуру в комбінованому кривошипно-важільному механізмі з точки зору впливу на максимальні переміщення вихідної ланки. Показано, що введення диференціального зубчастого контуру дозволяє збільшити хід вихідної ланки приблизно на 50%.

Кривошип, важільний механізм, диференціальний зубчастий механізм, штанцювальний прес

Сьогодні при розробленні та проектуванні нового обладнання потрібен доволі кваліфікований підхід, щоб зробити його конкурентним на ринку. Одними з вимог є мінімальні енерго- та металомісткість. Це враховують при удосконаленні існуючого або створенні принципово нового обладнання. В академії друкарства ведуться роботи [4] зі створення плоскоциліндрових штанцювальних пресів з нерухомою штанцювальною формою, які служать для отримання розгортки картонного пакування. Такі преси спроможні конкурувати з дорогими зарубіжними. Їх можна ефективно використовувати на малих і середніх підприємствах, де ще й досі застосовують переобладнані плоскодрукарські машини, які морально застаріли та вимагають значних енергозатрат.

Прес з нерухомою штанцювальною формою вигідно відрізняється тим, що перекочування циліндра по формі в прямому і зворотному напрямках є робочим. Однак при значних форматах заготовки потрібно забезпечити перекочування циліндра на значні відстані. Зробити це досить складно, до того ж потрібно зберегти достатню жорсткість системи приводу, дотриматися заданого циклу роботи машини. У роботі [5] коротко описуються виконавчі механізми приводу плоскодрукарських пресів і виокремлюється кривошипно-важільний диференціальний механізм [3] (рис. 1) як такий, що має низку переваг над відомими. Цей механізм мусить бути достатньо жорстким, оскільки передає зусилля через зубчасті колеса безпосередньо до циліндра. Основна перевага його полягає в тому, що він забезпечує великі переміщення вихідної ланки і має досить компактні розміри. Цього досягнуто завдяки диференціальному зубчастому контуру, що містить зубчастий сектор, жорстко з'єднаний з коромислом 3, і три зубчастих колеса 5, 6, 8. Якщо відкинути зубчасті колеса, то отримаємо кривошипно-важільний зубчастий механізм, який складається з шарнірного чотириланковика $OABO_1$, кривошипно-повзунного механізму O_1CD , зубчастого колеса 6 та нерухомої зубчастої рейки 7 (рис. 2).