

ІМІТАЦІЙНЕ РЕОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАКЛЕПУ, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПЕРЕХОДУ ЛЕЗОВОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ

Для ефективного виготовлення виробів машинобудування та забезпечення їх високої якості необхідно впроваджувати функціонально-орієнтований принцип формування технологічних процесів. Стан поверхневого шару характеризується його твердістю, мікроструктурою та величиною залишкових напружень. Пластична деформація, величина наклепу і величина шорсткості обробленої поверхні мають фізичний зв'язок, що необхідно встановити методами імітаційного реологічного моделювання. Це дасть змогу здійснювати оптимальне проектування структури і параметрів технологічного процесу з врахуванням комплексу найбільш значущих чинників процесу різання.

Постановка проблеми. Комплексний підхід до технологічного забезпечення працездатності виробів машинобудування базується на оцінці показників якості деталей в залежності від технологічних факторів і прогнозуванні експлуатаційних властивостей деталей в залежності від їх показників якості. Функціональна здатність виконавчих поверхонь деталей, таких як антифрикційні показники, зносостійкість, контактна жорсткість, корозійна стійкість тощо, забезпечуються показниками геометричної форми, якості поверхневого шару, макрогеометричних властивостей деталей та ін. У виробничій практиці проектування технологічних процесів виготовлення деталей з заданими параметрами якості ґрунтується, як правило, на технологічних принципах, наприклад, послідовного підвищення точності і зниження

шорсткості поверхонь деталей. Проте, для ефективної реалізації технологічного процесу та отримання необхідної якості необхідна істотна корекція технології у виробничих умовах, особливо при виготовленні прецизійних деталей.

Існуючі методи математичного моделювання процесів механічного оброблення використовують, як правило емпіричні залежності, отримані внаслідок узагальнення експериментальних досліджень, що описують загальний вплив технологічних чинників на якість поверхні. Внаслідок складності аналітичного опису просторової або площинної картини термодинамічного та напружено-деформованого стану заготовки в зоні стружкоутворення, вплив цих чинників на профіль та стан обробленої поверхні обмежується впровадженням поправочних коефіцієнтів [1,2,3], що не завжди відображають реальну картину різання і не дають повного уявлення про формоутворення мікро- та макропрофілю цієї поверхні.

Аналіз досліджень стану питання. Стан поверхневого шару характеризується його твердістю, мікроструктурою, величиною та знаком залишкових напружень і глибиною їх залягання. Відомо [4], що висота мікронерівностей профілю сприяє виникненню накопичень технологічних залишкових напружень. Фактори, що впливають на шорсткість обробленої поверхні, також впливають і на її пластичну деформацію. Зокрема, режими різання, зношування інструменту та величина наросту суттєво впливають на шорсткість та на залишкове напруження. Таким чином, пластична деформація, величина наклепу і величина шорсткості обробленої поверхні мають фізичний зв'язок, що необхідно встановити методами імітаційного реологічного моделювання. Це дасть змогу здійснювати оптимальне проектування структури і параметрів технологічного процесу з врахуванням комплексу найбільш значущих чинників процесу різання.

Механічний наклеп та неоднорідність властивостей, обумовлена, в першу чергу, нерівномірним розподілом накопиченої в результаті різання деформації. Деформаційна анізотропія, та пов'язані з цим залишкові макронапруження можуть суттєво знизити міцність виробу тих випадках, коли він

в подальшому не підлягає термічному обробленню. Розрахунок залишкових напружень виконують за теоремою про розвантаження [5,6], згідно якої залишкові напруження після пластичної деформації дорівнюють різниці напружень при пластичній деформації і так званих розвантажувальних напружень, від яких матеріал позбавляється при розвантаженні. Якщо при розвантаженні відбуваються чисто пружні деформації, то можна визначити розвантажувальні напруження методами теорії пружності. У роботі [8] сформульований і доведений варіаційний принцип відносно залишкових напружень, що виникають внаслідок різання, проте він не знайшов практичного використання у технології машинобудування [6].

Мета досліджень полягає у розробленні апарату імітаційного реологічного моделювання та проблемно-орієнтованій інтерпретації результатів дослідження впливу технологічних факторів на величину наклепу поверхневого шару. Це дасть змогу прогнозувати такі важливі кваліметричні характеристики оброблюваних поверхонь деталі як залишкові напруження, корозійна стійкість та інші фізико-технічні властивості.

Виклад основного матеріалу. Наклеп матеріалу поверхневого шару оброблених поверхонь деталей характеризується його мікротвердістю і рентгенографічними показниками (розширенням або розмиттям інтерференційних ліній), що свідчать про дроблення кристалічних блоків, зростання спотворень кристалічної ґратки і розвиток дислокацій. Процес наклепу металу поверхневого шару розвивається під дією сил в зоні різання. При механічному обробленні в зоні різання одночасно діють значні зусилля різання, що створює наклеп, і температура, що викликає розм'якшення металу. В процесі оброблення точінням наклеп поверхневого шару підвищується при збільшенні подачі і глибини різання у зв'язку із зростанням радіусу округлення різального леза і при переході від позитивних передніх кутів різця до негативних [2].

Одній з головних причин появи наклепу при механічному обробленні деталі слід вважати заокруглення леза інструменту. Насправді передня і задня поверхні зубів інструментів

сполучаються не по лінії, а по поверхні, яка в перерізі є дугою кола радіусом r (рис.1). Оскільки площина зсуву CD буде дотичною до кола радіусом r , слід зазначити, що метал нижче лінії FE підминається різальним лезом і в стружку не переходить. Деформований шар після проходження різця визначає глибину наклепу h_3 .

Швидкість різання і подача мають найбільший вплив на деформацію поверхневого шару, оскільки ці параметри режиму різання визначають в основному механотермічну дію на метал. Зі збільшенням швидкості різання підвищуються швидкості деформації і температура нагріву, але зменшуються тривалість дії напружень і час нагріву поверхневого шару заготовки.

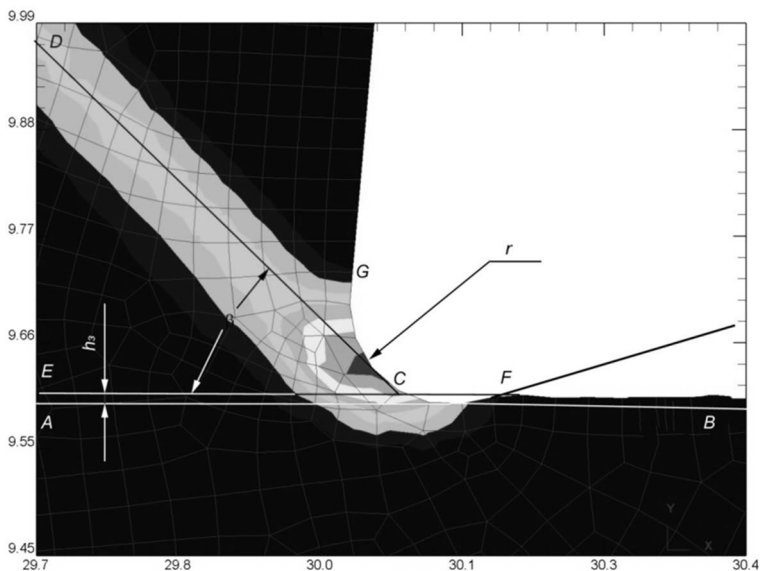


Рис. 1. Реологічна картина формування наклепу обробленої поверхні (моделювання в системі Deform 2D)

Зростаюче нагрівання деформованого металу зі збільшенням швидкості різання підвищує дифузійну рухомість атомів, активізує процеси розм'якшення внаслідок рекристалізації, знижуючи цим інтенсивність деформаційного зміцнення поверхневого шару. Якщо швидкість деформації

перевершує швидкість рекристалізації, спостерігається лише часткове зняття деформаційного зміцнення, попри те, що деформація відбуватиметься при температурі, що перевищує температуру рекристалізації [7]. Проведені автором даної статті реологічні дослідження показують [9], що зі збільшенням швидкості різання посилюється теплова дія на деформований метал поверхневого шару і знижується його зміцнення.

В порівнянні з іншими параметрами режиму різання подача має найбільш сильний вплив на деформаційне зміцнення поверхневого шару. Залежності глибини і міри наклепу від подачі мають екстремальний характер, тобто існує оптимальна подача, при якій наклеп поверхневого шару має найменше значення. Оптимальна подача для жароміцних сплавів $S_0 \sim 0,1 \dots 0,15$ мм/об. Збільшення деформаційного зміцнення при зменшенні подачі за межами оптимальних значень подач пояснюється впливом процесу ковзання різального леза, що створює додаткову деформацію поверхневого шару. Характер цих залежностей визначається силовим навантаженням і температурою нагріву металу в зоні різання. Подача має найважливіший вплив щодо силової дії на поверхневий шар. При точінні, струганні і протягуванні зі збільшенням глибини різання основні параметри деформаційного зміцнення зростають [2].

Передній кут різця також впливає на умови стружкоутворення, які зумовлюють формування поверхневого шару. За даними проф. А. Д. Макарова [2], при точінні сплаву ХН77ТЮР зі зміною переднього кута від $+15$ до -15 глибина наклепу збільшується в 3 рази, що пов'язане з підвищенням опору руху стружки по передній поверхні різця.

Реологічне моделювання технологічного переходу токарного оброблення жароміцного сплаву ХН60Ю (аналог IN 718), визначеної на основі аналізу імітаційної моделі в системі Deform 2D показав зниження характеристик наклепу на 55% у порівнянні з обробленням сталі 45 на режимах різання - подача $S=0,25$ мм; глибина різання $t=1$ мм швидкість різання $V=120$ мм/хв. Зниженню наклепу в цьому випадку можуть сприяти підвищення міцнісних і пониження пластичних властивостей

сплавів і значне зменшення коефіцієнта тертя по задній поверхні різця.

Відомо, що ступінь наклепу визначається як відношення початкової H_0 і новоствореної H твердості оброблюваного матеріалу заготовки до її початкового значення:

$$N = \frac{H - H_0}{H_0}, \quad (1)$$

При точінні жароміцних і жаростійких матеріалів ступінь наклепу може бути підрахований за емпіричним рівнянням проф.Сіліна [2]:

$$N = 40h_z\theta_0^{-0,72}, \quad (2)$$

де h_z — глибина наклепу, що визначається за результатами реологічного моделювання технологічних переходів механічного оброблення, мкм (приклад поданий на рис.1);

θ_0 — температура в зоні різання при роботі твердосплавним інструментом, що також визначається за результатами реологічного моделювання [9].

Пластична деформація і наклеп поверхневого шару металу протікають в протилежно орієнтованих зернах різного складу з різною інтенсивністю; причому феритні зерна деформуються інтенсивніше за перлітні. Це викликає нерівномірне підвищення енергії і різну зміну електродного потенціалу [6]. При точінні більш наклепані феритні зерна та мартенситні домени стають анодами, менш наклепані перлітні зерна — катодами. З тих же причин виявляється різним і спотворення атомних ґраток в різних кристалічних зернах. Механічне оброблення, що викликає наклеп поверхневого шару і зміну шорсткості поверхні, має значний вплив на корозійну стійкість металу. Слід проте відзначити, що створення наклепу деталей супроводжується проникненням корозійних середовищ всередину металу через дефекти поверхні феритом, що пластично деформується. Це може нейтралізувати розвиток корозійних процесів і сприяти зниженню втомної міцності деталей.

Наклеп поверхневого шару у більшості випадках виявляється шкідливим і знижує експлуатаційні якості деталей машин. Це відбувається тому, що після пластичної деформації

металу поверхневого шару при кімнатній температурі збільшується його питомий об'єм і зменшується густина, що сприяє швидкому протіканню дифузійних процесів при високій температурі і тим самим прискорює процеси, що знижують опір металу динамічному руйнуванню. Тривала дія високої температури на наклепаний метал швидко приводить до його інтенсивного розм'якшення, що знижує загальні експлуатаційні властивості деталей. Мікротвердість металу поверхневого шару відповідальної після її експлуатації при високій робочій температурі. Пониження густини наклепаного металу полегшує процес вигорання легуючих елементів жароміцних сплавів, яке призводить до зниження міцності сплавів [6]. Ознакою вигорання легуючих елементів може служити зміна параметра кристалічної ґратки жароміцного сплаву. Зі збільшенням міри і глибини наклепу жароміцних сплавів їх втомна міцність при роботі в середовищі з високою температурою значно знижується. Так, при глибині наклепу 190 мкм, що виникає при чорновому точінні, число циклів до руйнування сплаву при 700°C виявляється приблизно вдвічі нижчою, ніж після електрополірування, що не викликає наклепу. Різними експериментами було показано [6] істотне зменшення межі текучості жароміцного сплаву залежно від глибини наклепу, що виникає при різних видах оброблення.

Висновок. Як показує аналіз наукових досліджень, величина наклепу поверхневого шару, що формується в результаті механічного оброблення, має велике значення на ряд експлуатаційних функцій деталей – зносостійкість, твердість, залишкові напруження, корозійну стійкість. Аналітичні методи прогнозування величини наклепу є дуже складними і залежать від значного об'єму експериментальних досліджень. Тому їх використання у автоматизованій системі технологічної підготовки виробництва вкрай обмежені. Натомість найбільш ефективним апаратом моделювання напружено-деформованого стану поверхонь в результаті їх механічного оброблення є система реологічного моделювання, що базується на використанні програмного продукту Deform 2D (3D).

Література:

1. Резников А. Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А. Резников. – М.: Машиностроение, 1990. -288 с.
2. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. — М.: Машиностроение, 1979. — 152 с
3. Ящерицын П.И. Теория резания /П.И.Ящерицын, Е.Э.Фельдштейн, М.А.Корниевич. – Минск: Новое знание, 2006.- 512 с.
4. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин/ А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320с.
5. Дель Г.Д. Технологическая механика. М.: Машиностроение, 1978.- 174 с.
6. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. - 640 с.
7. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин/А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. — М.: Машиностроение, 1988. —240 с.
8. Вествуд А. Влияние среды на процесс разрушения // Разрушение твердых тел. М.: Металлургия, 1967. С. 344–399.
9. Ступницький В.В. Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин під час їх механічного оброблення у зоні стружкоутворення// Вісник НУ«ЛП» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів».- Львів.- 2012, №730.– С. 125-129