

**І. О. Сивак, д.т.н., професор,
О. В. Сердюк, асистент,
В. Г. Шевчук, студент**

Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ПОВЕРХНЕВІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

Однією із важливих задач при виготовленні деталей є забезпечення високої якості робочих поверхонь і покращення фізико-механічних характеристик поверхневого шару їх матеріалу. Одним із найбільш економічних та ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є зміцнення деталей поверхневим пластичним деформуванням (ППД), яке дозволяє повніше реалізувати потенційні властивості конструкційних матеріалів в реальних деталях складної будови та в деталях з концентраторами напружень [1, 2]. Найбільш поширеним способом ППД є обкочуванням роликком. При цьому можливі різні режими обробки, конструкція ролика та побудова самого процесу обкочування. Зокрема можливе обкочування за один прохід, за кілька проходів в одному напрямі, та за два або кілька проходів в різних напрямках переміщення ролика. При останньому способі виникає немонотонність навантаження при деформуванні поверхневого шару, внаслідок змінного напрямку переміщення ролика і зміни знаків напружень. При пластичній деформації одночасно з процесами зміцнення ідуть процеси пластичного розрихлення. Установлено, що при значеннях величини використаного ресурсу пластичності $\psi > 0,6$ інтенсивність процесів накопичення пошкоджень значно перевищує інтенсивність зміцнення [3, 4]. Тому величина ψ при поверхневому пластичному деформуванні не повинна перевищувати цього значення.

При розгляді процесу пластичної деформації поверхневого шару, зокрема при деформації роликом плоскої поверхні виникає цілий ряд завдань. Однією з них є визначення використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі. Розглянемо пластичний контакт при коченні з ковзанням жорсткого ролика вздовж плоскої поверхні ідеально-пластичного півпростору. При цьому вважаємо, що пластичний стан в зоні контакту є стаціонарним. Початкове рішення для ковзання циліндра по пластичному напівпросторі розглянуто Б. А. Друяновим і Н. М. Міхіним [1], кочення гладкого циліндра досліджувалося Е. А. Маршалом [2], І. Ф. Коллінз розглядав ковзання шорсткого циліндра [3]. В. М. Сегалом запропоновано вирішення задачі [4] при довільному терті між роликом і матеріалом. При цьому досліджувалися зусилля і момент, які діють на циліндр і розподіл контактних напружень по поверхні матеріалу, який обробляється.

Моделювання процесу деформування поверхневого шару при зміцнюючій обробці обкочуванням роликом для визначення остаточних напружень в поверхневому шарі заготовки використовувалось математичне моделювання з допомогою програми LS-DYNA. Програма призначена для розрахунку швидкотекучих, динамічних задач і процесів, що мають значну не лінійність і може використовуватися для вирішення задач обробки тиском. Програма дозволяє змоделювати майже всі процеси обробки металів тиском. При цьому не має обмежень по розмірам і формі заготовок.

В запропонованій моделі розглядалася обкатка сталюого валу (Сталь 45), роликом діаметром 50 мм, з профільним радіусом – 5 мм. Аналіз отриманих результатів показує, що є три ділянки деформування [4]: випередження, а налипання або безпосереднього контакту ролика і деталі, та відставання. Формування всіх ділянок відображено на рисунку 1.

В області пластичної хвилі відбуваються значні деформації при складному

напруженому стані. Показник напруженого стану η в цій області змінюється від 0,71 до 1,6, а параметр Надаї-Лоде μ_σ змінюється від $\mu_\sigma = -0,3$ до $\mu_\sigma = -0,4$.

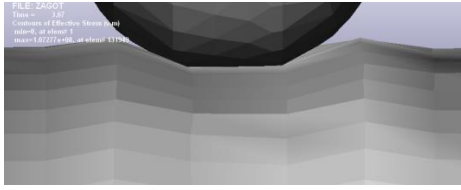


Рисунок 1 – Формування зон при обточуванні роликом

В області контакту деталі і інструмента відбуваються основні деформації. Тут показники $\eta = -0,75 \dots -0,7$, $\mu_\sigma = 0,2 \dots 0,3$, тобто має місце схема всестороннього стиску. При переході частинки з першої в другу ділянку внаслідок інтенсивних

деформацій в умовах гідростатичного стиску можливе заліковування деяких дефектів.

Для збільшення твердості поверхневого шару можна виконувати обточування за два проходи в одну сторону та за два проходи в протилежних напрямках. Отримані залежності показників напруженого стану η і μ_σ від ступеня деформації e_u для таких випадків приведені на рисунку 2. Аналогічні залежності для інтенсивності напружень σ_u приведені на рисунку 3.

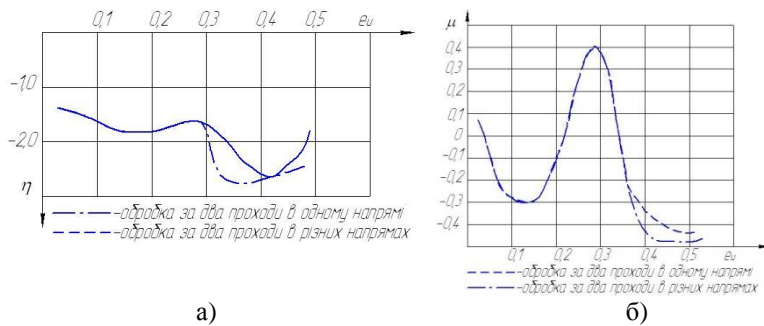


Рисунок 2 – Залежність показника напруженого стану η (а) та параметр Надаї-Лоде μ (б) від ступеня деформації e_u

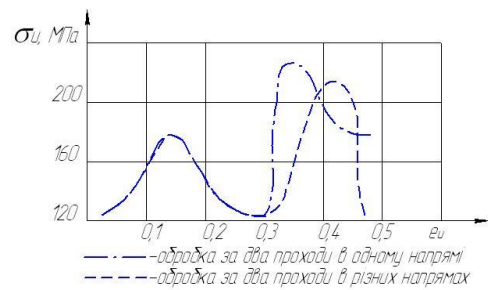


Рисунок 3 – Залежність інтенсивності напружень від ступеня деформації e_u

Як видно із приведених результатів в обох випадках обточування має місце немонотонність навантаження. Це обумовлено тим, що перед роликом та після нього виникає хвиля, в якій мають місце напруження розтягу, тоді як під роликом виникає напружений стан всестороннього стиску. Крім того, при зміні напрямку обточування змінюється знак дотичних напружень, що сприяє частковому заліковуванню мікротріщин і, відповідно, зменшенню величини використаного ресурсу пластичності.

Література

1. Друянов Б. А. О движении цилиндрического индентора по поверхности полупространства // Теория трения и износа. – М. : «Наука», 1965. – С. 96–120.
2. Marshall E. A. Rolling contact with plastic deformation // J. Mechanic and Physical Solids. – 1968. – № 4. – P. 87–91.
3. Collis I. F. Analysis of the rolling of a cylinder an a rigid-perfectly plastic half-space // Int. J. Mech. Sci. – 1972. – № 1. – P. 54–66.
4. Сегал В. М. Технологические задачи теории пластичности (методы исследования) – Минск: «Наука и техника», 1977. – 256 с.
5. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Винница : УНІВЕРСУМ. – Вінниця, 2005. – 204 с.
6. Сердюк О. В. Моделирование процесса деформирования поверхностного слоя при обкатке цилиндрическим роликом / О. В. Сердюк // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – 2012. – № 3(32). – С. 15–18.