

УДК 621.787.4

А.А. Ткачук, В.Ю. Заблоцький

Луцький національний технічний університет

## **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗМІЦНЕННЯ ТА ОПТИМАЛЬНОЇ ГЛИБИНИ ЗМІЦНЕНОГО ШАРУ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ ППД**

*Розроблено методикау для визначення оптимальної глибини зміцненого шару, що забезпечує максимальну зносостійкість та стійкість втомі деталей, які працюють під впливом циклічних навантажень. Проведено ряд дослідів для підтвердження теоретичного матеріалу.*

На сьогоднішній день вибір оптимальних режимів зміцнення поверхневим пластичним деформуванням (ППД) часто відбувається експериментальним шляхом. Відсутність практично обґрунтованих рекомендацій, які дозволяли б розраховувати режими оброблення пластичним деформуванням з регламентованим рівнем якості поверхневих шарів, значною мірою обмежує область використання даного методу оброблення.

Стійкість втомі залежить від ступеня зміцнення, отже максимально можливу величину стійкості  $\sigma_{-1}$  можна визначити аналітичним методом з урахуванням коефіцієнта зміцнення наклепом  $\beta$  [1].

Якщо напруження від зовнішніх навантажень в деталі змінюються за симетричним циклом, то результуючі сумарні напруження змінюються за асиметричним циклом, з середніми напруженнями  $\sigma_m$ , які рівні залишковим напруженням  $\sigma_{\text{зал}}$  та з амплітудою напружень  $\sigma_a$ , що дорівнює напруженням від зовнішнього навантаження. Тому вплив залишкових напружень на стійкість втомі

пов'язаний з характером діаграм напружень при асиметричному циклі.

Відомо, що межа стійкості матеріалів з низькою твердістю та високою в'язкістю лінійно залежить від твердості, а мікроконцентратори напружень в такому випадку не відіграють ролі. При високих значеннях твердості, пропорційна зміна стійкості внаслідок впливу дефектів кристалічної ґратки порушується [3].

Через те, що дефекти присутні тільки на поверхні або поблизу неї, то й відхилення від лінійної залежності спостерігаються тільки в поверхневих шарах зміцнених ППД. Для зон розміщених під зміцненим шаром, навіть при високих значеннях твердості, зберігається лінійна залежність між межею стійкості та твердістю [2].

Тому для різних шарів металу, зміцнених ППД та розміщених під обробленим шаром справедлива залежність (1) згідно з якою зростання стійкості деталей від наклепу пропорційне зростанню твердості.

$$\frac{\sigma_{-1\text{накл}}}{\sigma_{-1\text{поч}}} = \frac{H\mu_{\text{накл}}}{H\mu_{\text{поч}}} = \eta_3, \quad (1)$$

де  $\sigma_{-1\text{накл}}$  - напруження отримані в результаті оброблення;  $\sigma_{-1\text{поч}}$  - початкові напруження;  $H\mu_{\text{накл}}$  - твердість металу після оброблення;  $H\mu_{\text{поч}}$  - початкова твердість.

Для аналізу впливу твердості, глибини наклепу та залишкових напружень на ефект зміцнення розглянемо графіки (рис. 1) на яких пояснюється ефект зміцнення зразків із сталі ШХ15 ГОСТ 801-78 діаметром 50мм в результаті алмазного вигладжування (рис. 2).

Враховуючи залежність (1) криві зміни твердості по глибині  $l$  дозволяють оцінити зміну меж стійкості у відносних одиницях без урахування впливу залишкових напружень.

Епюри 2 показують розподіл тангенціальних залишкових напружень  $\sigma_T$ , в поверхневому шарі. Криві 2 зміни залишкових напружень по глибині дозволяють оцінити значення меж стійкості за величиною співвідношення  $\sigma_a/\sigma_{-1}$  на діаграмі граничних навантажень.

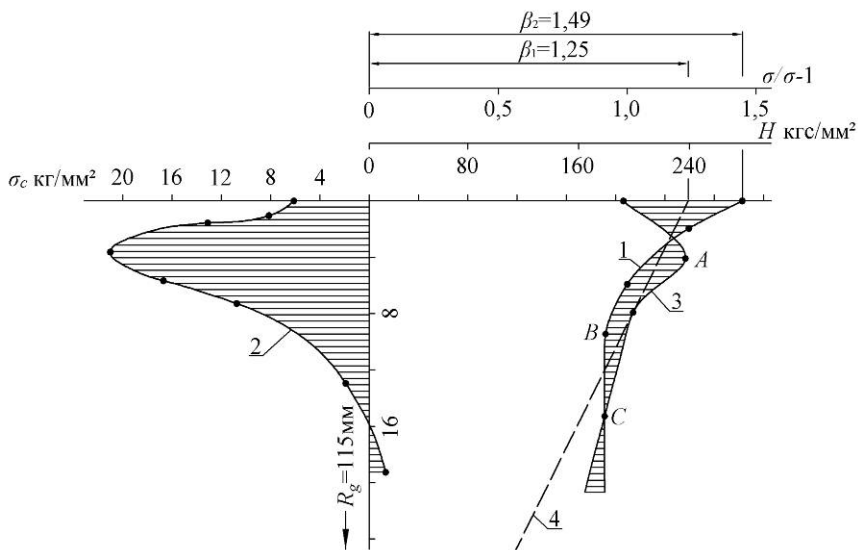


Рис. 1. Графік розподілу твердості та меж стійкості втомі з урахуванням залишкових напружень

В залежності від величини залишкового напруження за кривою 2, яка відповідає відстані від поверхні отримано криві 3, що описують межі стійкості втомі.

Крива 1 характеризує розподіл меж стійкості по перерізу зразків з урахуванням твердості та глибини зміцненого шару, а крива 3 з урахуванням залишкових напружень першого роду.

Крива 1 розміщена праворуч від кривої 3 внаслідок того, що переважаючий вплив має деформаційне зміцнення, а епюра напружень стиску має спад на поверхні зразків оброблених вигладжуванням. В зоні дії

максимальних залишкових напружень крива 1 проходить ліворуч кривої 3 внаслідок того, що залишкові напруження стиску збільшують значення граничних амплітуд. Криві 1 та 3 перетинаються на такій відстані від поверхні (точка С), на якій залишкові стискаючі напруження дорівнюють нулю. В зоні дії залишкових напружень розтягу крива 3 проходить ліворуч кривої 1, оскільки напруження розтягу знижують граничну амплітуду.

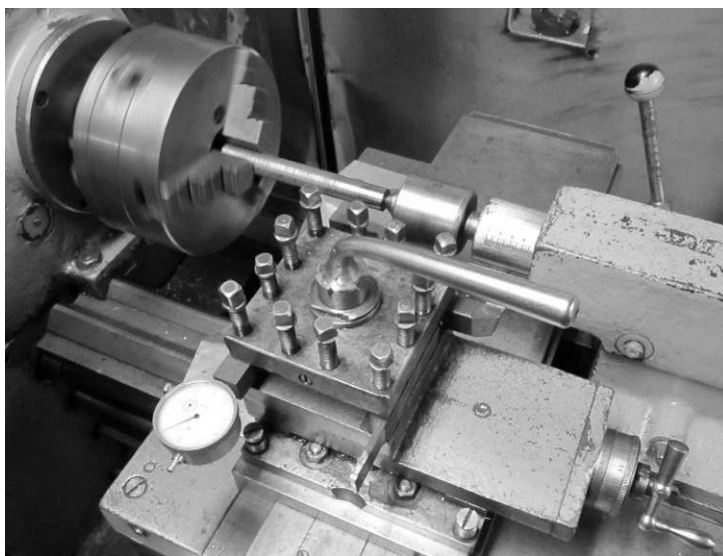


Рис. 2. Операція вигладжування досліджуваних зразків

Враховуючи можливість внутрішнього руйнування в зоні *ABC* деталей зміцнених ППД глибина утворення втомних тріщин залежить не тільки від глибини зміцненого шару, а й від розподілу залишкових напружень в перехідній зоні (зміцнений шар – основа незадіяна обробленням) з твердістю  $H_{\mu_{\text{поч}}}$ . З графіків (рис. 1) видно, що в процесі внутрішнього руйнування від втоми

поверхнева твердість  $H\mu_{\max}$  та величина залишкових напружень біля поверхні не впливають на межу стійкості.

Основну роль при внутрішньому руйнуванні в зоні  $ABC$  відіграють глибина зміцненого шару, градієнт залишкових напружень, та підвищення твердості. Відповідно, основну роль у підвищенні стійкості втомі в внутрішніх шарах металу відіграють залишкові напруження стиску.

Граничну епюру розподілу робочих напружень, що відповідає руйнуванню від втоми показано лінією 4, яка дотична до лінії 3, через те, що руйнування від втоми починається тільки тоді, коли робочі напруження досягнуть величини межі стійкості в будь-якій точці поперечного перерізу. Точки дотику ліній 3 та 4 визначають початок руйнування від втоми. Значення робочого напруження на поверхні (лінія 4) відносно межі стійкості не обробленого зразка (шкала  $\sigma/\sigma_{-1}$ ), визначає ефект зміцнення, що характеризується розрахунковим коефіцієнтом  $\beta_1$ , який дорівнює 1,25. Крива розподілу твердості та меж стійкості зон з урахуванням залишкової напруженості характеризується коефіцієнтом  $\beta_2=1,49$ . Основну роль під час руйнування на поверхні відіграють твердість, глибина зміцненого шару та залишкові напруження стиску. В ході поверхневого руйнування ефект зміцнення зростає зі збільшенням глибини наклепу, а також глибини проникнення залишкових напружень, до тих пір доки збільшення глибини наклепу супроводжується підвищенням твердості на поверхні.

Тому для визначення максимальної величини стійкості деталей можна використовувати коефіцієнт зміцнення  $\eta_3 = H\mu_{\max} / H\mu_{\text{поч}}$ , який описує розподіл твердості та стійкості у відносних одиницях або криву амплітуд напружень з урахуванням залишкової

напруженості. Переважання того чи іншого фактора визначається величиною та характером епюр твердості та залишкових напружень.

Отже при виборі оптимальних режимів вигладжування деталей запропоновано відштовхуватись від наступних критеріїв:

1. зносостійкість деталей – чистове вигладжування;
2. зносостійкість та стійкість втомі – зміцнювально-чистове вигладжування;
3. стійкість втомі – зміцнювальне вигладжування.

Запропоновані матеріали дозволяють розраховувати режими вигладжування, що забезпечують підвищення зносостійкості (при  $\Delta h_2 = 0,78 R_{z_{\text{поч}}}$ ), зносостійкості та стійкості втомі (при  $\Delta h_2 = R_{z_{\text{поч}}}$ ), або тільки стійкості втомі (при  $\Delta h_2 > R_{z_{\text{поч}}}$ ), в залежності від початкових характеристик якості поверхні.

Запропонована методика для визначення оптимальної глибини зміцненого шару забезпечує максимальну стійкість деталей, які працюють під впливом циклічних навантажень, з урахуванням залишкових напружень.

### **Література:**

1. Акимов Г.В. Об упрочнении металлов. ДАН, СССР, том 47, №8.
2. Серенсен С.В. Сопротивление усталости в связи с упрочнением и конструктивными факторами, сб. Повышение усталостной прочности деталей машин поверхностной обработкой, М., Машгиз, 1954;
3. Серенсен С.В., Когаев В.П., Козлов Л.А., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин, М., Машгиз, 1954;