

УДК 621.73.016

С.П. Гожій, к.т.н., доц., А.Г. Абиєв, к.т.н., А.В. Кліско, аспірант
НТУ України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЦИКЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ШТАМПУВАННІ ОБКОЧУВАННЯМ

В статті розглянуті питання локального деформування за цикл обробки циліндричних і кільцевих заготовок. Проаналізовано вплив контактної і неконтактної осередків деформації при осадке відносно тонких і високих образців. Висновки підтверджені експериментальними результатами.

In article questions of local deformation for an operation cycle of cylindrical and ring preparations are considered. Influence of the contact and not contact centers of deformation is analyzed at a deposit concerning thin and high samples. The basic conclusions are confirmed experimentally.

Пластичне формоутворення при локальному навантаженні від сферорухомого механізму або штампуванні обкочуванням (ШО) характерне тим, що локалізований осередок деформації під дією активного інструменту цілеспрямовано переміщується по торцевій поверхні деталі і поступово охоплює увесь прилеглий об'єм [1]. В залежності від співвідношень геометричних розмірів при ШО розрізняють дві групи циліндричних заготовок: відносно тонкі, з $d/h \geq 4$ (де: d – радіус заготовки; h – висота заготовки), в яких локалізований осередок пронизує всю висоту деталі; та відносно високі зразки з $1,25 \leq d/h \leq 4$, в яких локалізований осередок охоплює лише прилеглу контактну область по висоті. Треба враховувати, що при деформуванні як тонких, так і високих заготовок окрім локального пластичного осередку мають місце позаконтактні пластичні зони, які специфічні для кожної групи.

Існуючі моделі протікання пластичних деформацій і напруженого стану при ШО [2, 3, 4, 5] збудовані на якісних ефектах процесу дають миттєву характеристику напружено-деформованого стану в контактних і позаконтактних зонах заготовки, що за певних спрощень можна розглядати як двоетапне немонотонне циклове деформування. За умови обертального руху активного інструменту, відповідно, що з такою ж циклічністю буде повторюватись картина навантаження. Тому кожна точка об'єму заготовки буде циклічно потрапляти у відповідні напружено-деформовані зони. Одночасно експериментально встановлено для всіх груп заготовок, що інтенсивне пластичне розпушування матеріалу, яке спостерігається при двоетапному деформуванні, супроводжується уповільненим зростанням твердості [2, 6]. Виникає проблема оцінки реальної послідовності навантаження в залежності від групи деталей та надання рекомендацій для визначення граничних деформацій.

В [2] запропонована інженерна залежність визначення граничних деформацій з умови, що при ШО спостерігається складне багатапне деформування, яке полягає в пластичному зануренні інструменту з утворенням напливу (хвилі) з наступним його втискуванням. При цьому відбувається зміна знаку компонент деформацій та показника η (де: η - коефіцієнт жорсткості напруженого стану) від $\eta = -2...-4$ в центральній частині контактної осередку до $\eta = 0...1$ в прилеглий пластичній зоні. Таке тлумачення відповідає загальним умовам осаджування високого зразка. Але до уваги не береться обставина, що при зануренні активного інструмента небезпечним місцем є не центральна частина контактної осередку деформації, а периферійна, для якої при осаджуванні високого зразка коефіцієнт жорсткості може досягати лише $\eta = -1$.

Мета – аналіз послідовностей навантажень за цикл обкочування, встановлення характерних особливостей впливу НДС відповідної зони на якісні властивості матеріалу та визначення найбільш небезпечних зон з точки зору пошкоджуваності та руйнування.

Можна спрогнозувати декілька варіантів циклового навантаження заготовки, що відтворюються у відповідності до запропонованих моделей. Моделі [2, 4, 5] лінійно залежать від радіусу заготовки, тому при попаданні в ту чи іншу область напружень та деформацій матеріальна точка буде знаходитись в цьому осередку протягом декількох циклів обкочування, який відповідає умовам дії відповідної моделі, яка, в свою чергу, визначається геометричними співвідношеннями заготовки. А при зміні моделі змінюється і послідовність циклового навантаження.

В залежності від початкових і кінцевих співвідношень розмірів заготовки можливі два варіанти циклового навантаження при обробці високої циліндричної заготовки. Із зміною та без зміни геометричних співвідношень.

При осаджуванні високої заготовки без зміни геометричних співвідношень вважаємо, що переважною, є модель запропонована в [2, 5] за якою радіальна течія із контактної зони мінімальна. Сумарні радіальні деформації є результатом переважної тангенціальної течії із контактної осередку та часткової радіальної деформації в периферійній області контактної осередку.

При обробці високої заготовки впливає ще один чинник, який визначає особливості розвитку осередку деформації по висоті. При обробці з постійною швидкістю, яка визначає коефіцієнт λ (де: λ - співвідношення площі контактної поверхні F_k до площі торця F), згідно із моделлю протікання пластичних деформацій для високої заготовки [5], висота осередку деформацій становить $\approx 0,7$ довжини дуги контакту. Тобто призначенням коефіцієнту λ можна визначити і регулювати висоту пластичної зони.

У відповідності до моделі [5] деформацій високої заготовки при розгляді циклового навантаження тіло заготовки можна розділити на недеформовану і деформовану (контактну і поза контактну) області, яка відповідає пластичному осередку з відповідною висотою від дії активного інструменту (див. рис. 1,а).

В деформованій області можна виділити (див. рис. 1,а):

- три зони в радіальному напрямку;
- дві зони по висоті.

На поверхні центральної зони (поз. I рис.1,а), яка межує з точками А-А' постійно діють осеві стискаючі напруження з середнім значенням $\sigma_{ZCP} = 2,6\sigma_s$ та тангенціальні стискаючі напруження σ_ϕ . Епюри середніх напружень зображені на рис. 1,б. Особливістю є те, що напрям σ_ϕ увесь час штампування змінюється відповідно до обертання активного інструменту.

Наступна поверхнева зона від I до II – кільцева і своєю периферією межує по точкам Б, Б'. В ній стискаючі напруження σ_Z виникають між Б-Б. Напруження σ_ϕ для цієї зони також змінюють напрям у відповідності до обертальних рухів і діють за цикл безперервно, але змінюють значення, їх максимальні середні величини між Б-Б (див. епюри на рис. 1,б).

Поверхнева зона III характерна значною амплітудою за цикл σ_Z та σ_ϕ , які змінюються від 0 до максимальних середніх значень в області дії інструменту σ_Z між точками Г-Д, σ_ϕ – між В'-В (див. епюри на рис. 1,б). Вважаємо, напружений стан на торці і на циліндричній поверхні по кромці 1 – однакові. Фактично можлива присутність периферійної пластичної зони, в якій σ_ϕ мають знак розтягування. Її вплив на визначення середнього осевого напруження – незначний, її площа становить 0,1...0,2 від контактної осередку, а $\sigma_{ZCP} = 1,3\sigma_s$.

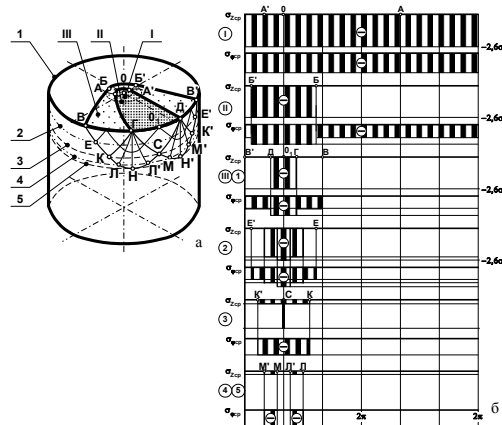


Рис.1. Розбивка високої циліндричної заготовки на зони циклічних навантажень (а) та відповідні епюри циклічності середніх навантажень (б)

Якісна картина попереднього розподілу напружень (зона 2, зокрема по точкам Е'-Е) зберігається до межі 3, яка проходить вздовж точок К'-С-К. При цьому після зниження нижче точки С пластична дія σ_Z вичерпується (див. епюри на рис.1,б).

Остання зона 4 діє до межі 5. В ній має місце подвійне виникнення пластичних зон від дій осевих і тангенціальних напружень, наприклад вздовж точок М'-М, які зникають в точці Н', та Л'-Л, що зникають в Н (див. епюри на рис.1,б).

Обробка високої заготовки із зміною геометричних співвідношень. При обробці високої заготовки із зміною співвідношення геометричних розмірів поступово протікають два механізми: спочатку проходить процес за схемою розглянутою вище, який при досягненні пластичного осередку на всю товщину заготовки переходить в механізм деформування тонкої заготовки.

При осаджуванні тонкої циліндричної заготовки можна виділити п'ять зон в радіальному напрямку. Вважаємо, що напруження по товщині заготовки незмінні.

Кожна зона характеризується циклічністю відповідного напружено-деформованого стану. Зміна зони, яка залежить від радіусу заготовки, призводить до зміни геометричних розмірів зони, виду напружено-деформованого стану, до зміни напрямку дій головних напружень.

У відповідності до моделі [4] при сталому процесі в центральній зоні 1 (див. рис.2,а), яка межує з точками А, Б, А' (поз. 1 рис. 2,б) постійно, протягом всього циклу обкочування, діють тільки напруження розтягування. Епюра середніх напружень σ_ϕ зображені на рис.2,б. Особливістю є те, що напрям σ_ϕ увесь час штампування змінюється з циклічністю обертання активного інструменту.

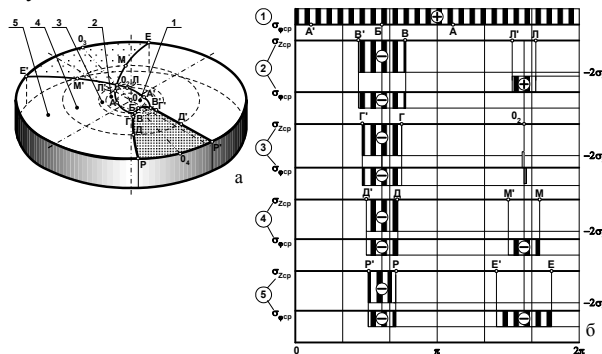


Рис.2. Розбивка тонкої циліндричної заготовки на зони циклічних навантажень (а) та відповідні епюри циклічності середніх навантажень (б)

Зона 2 – кільцева і її периферією є відрізки В'-В, Л'-Л (поз. 2 рис.2,а). В ній стискаючі напруження σ_z виникають між В'-В і дорівнюють $\sigma_{zCP} \approx 2\sigma_s$. Напруження σ_ϕ в цій зоні змінюють знак у відповідності до обертальних рухів, на ділянці В'-В вони стискання, на Л'-Л – розтягування, на ділянках Л'-В' та В'-Л' пластичні деформації відсутні (див. епюри на рис.2,б). В разі, коли розглядати кільцевий шлях трохи меншого діаметру в обидва боки від В'-В прилягають ділянки в яких σ_ϕ - розтягування (зображені пунктиром на рис.2,а).

Зона 3 обмежена кільцем з зовнішнім радіусом, що проходить по точці O_2 (поз. 3 рис.2,а). Умови напруженого стану в контактному осередку відповідають попередній зоні. Позаконтактна зона характерна тим, що в O_2 напруження σ_ϕ згинання позаконтактної зони змінюють знак, оскільки O_2 належить нейтральній лінії. Тобто тангенціальні напруження σ_ϕ в зоні 2 - розтягування, після (в зоні 3) – стискання (див. рис.2,а).

Наступні зони 3, 4 зберігають якісну картину циклічної зміни напруженого стану (поз. 3, 4 рис.2,а). Кількісні зміни стосуються того, що питома довжина контактної частини падає, а позаконтактної – зростає (див. рис.2,б). За зоною 4 можлива присутність периферійної пластичної зони, в якій σ_ϕ мають знак розтягування.

Особливістю обробки тонкої циліндричної заготовки є наявність контактної і позаконтактної зон, які характеризуються різними напруженими станами. За умов певних припущень контактна зона характеризується одноіменним стиснутим плоским напруженим станом, а позаконтактна – лінійним, причому її центральна ділянка – розтягнута, а периферійна - стиснута. Тому при технологічних розрахунках слід розглядати дві різновидності двоетаного деформування тонкої заготовки: перший, при якому відбувається зміна знаку компонент деформацій та показника η (де: η - коефіцієнт жорсткості напруженого стану) від $\eta = -1 \dots -2$ (завдяки впливу сил тертя) в периферійній частині контактного осередку до $\eta = -1$ в стиснутій ділянці позаконтактного осередку; другий, при якому відбувається зміна знаку компонент деформацій та показника η від $\eta = -2 \dots -4$ в центральній частині контактного осередку до $\eta = 1$ в розтягнутій центральній ділянці позаконтактного осередку.

Застосування кільцевої заготовки вимагає розробки свого циклічного механізму навантаження. При осаджуванні тонкої кільцевої заготовки можна виділити внутрішню і зовнішню (поз. 1 та 5 рис.3,а, відповідно) границі, нейтральну лінію (поз. 3) та дві кільцеві зони (поз. 2, 4). Для тонкої заготовки вважаємо, що напруження по товщині заготовки незмінні.

В цьому випадку також має місце зміна виду напруженого стану та напрямку дій головних напружень.

На внутрішній межі 1 (див. рис.3,а), на якій знаходяться ділянка Д'- O_1 -Д в період контакту з інструментом діють осьові напруження стискання σ_z та стискаючі тангенціальні напруження σ_ϕ що забезпечують підпір контактному осередку з боку недеформованої зони. Епюра середніх напружень σ_z та σ_ϕ зображені на рис. 3,б. Значення середніх питомих зусиль на контактній поверхні $\sigma_{zCP} = (1,4 \dots 1,6)\sigma_s$. З протилежного боку на ділянці М'- O_2 -М починається зона дії лінійних напружень розтягування, тому σ_ϕ має знак "+".

Надалі така картина циклічності навантаження зберігається протягом зони 2. Відмінність полягає в тому що дуга контактного осередку майже не змінюється, а дуга позаконтактного осередку зменшується і на діаметрі 3, який відповідає нейтральній лінії (за прийнятих умов - центральній) в точці Б проходить зміна стану з розтягування на стискання (див. рис. 3,б).

Між поз. 3 та 5 проходить ріст дуги дії вздовж якої діють напруження стискання σ_ϕ зони 4 (див. рис. 3,а). На зовнішній межі дуга Е'- O_3 -Е найдовша.

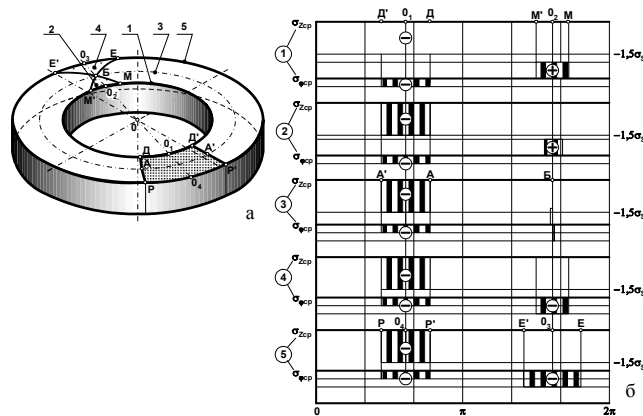


Рис.3. Розбивка тонкої кільцевої заготовки на зони циклічних навантажень (а) та відповідні епюри циклічності середніх навантажень (б)

Як і для циліндричної особливістю обробки тонкої кільцевої заготовки є наявність контактної і позаконтактної зон, які характеризуються різними напруженими станами з зміною розташування головних напружень.

Експериментально встановлена кількість циклів обкочування при осаджуванні до руйнування високих циліндричних зразків (початкове співвідношення $h_0/d_0 = 1,1$) із поширених конструктивних матеріалів та досягнута ступінь висотної деформації (див. рис.4). Ще одним важливим параметром обробки є геометрична характеристика осередку деформації, яку можна задати коефіцієнтом λ . У всіх випадках експерименти проводились з постійною подачею S і, відповідно, змінним коефіцієнтом λ . Кінематичні параметри процесу розраховувались з умови, що при висотній деформації $\varepsilon_z = 50\%$ коефіцієнт $\lambda = 0,1$.

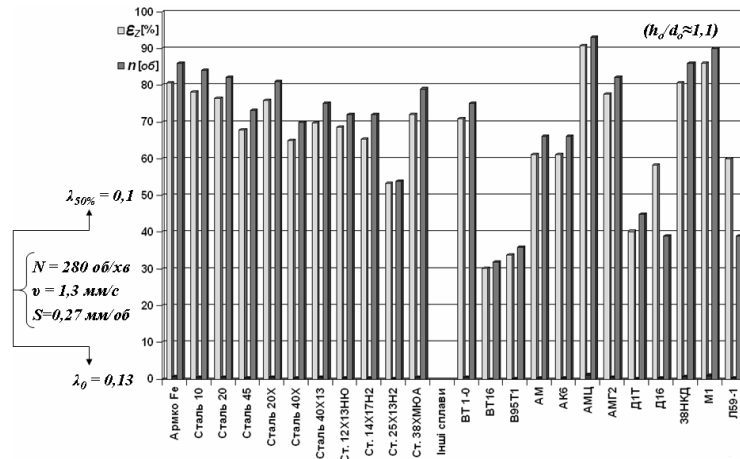


Рис.4. Експериментальні результати межових деформацій при осаджуванні обкочуванням високих зразків

Можна зробити такі висновки. По-перше, циклічне навантаження, коли за цикл обкочування чергуються різні схеми напруженого стану, підвищує значення межових деформацій. По-друге, кількість циклів навантаження повинна бути мінімальною. Оптимальним є варіант, коли по кінцевому значенні коефіцієнту λ враховуються відповідні кінематичні параметри операції, при цьому кількість циклів буде мінімальним. По-третє, значенням коефіцієнту жорсткості η при ШО можна керувати кінематичними параметрами процесу, що визначають геометричні розміри осередку деформації, які залежать від коефіцієнту λ .

Одним з напрямів подальших досліджень є параметричне введення кількості циклів обкочування в залежності для визначення граничних деформацій для всіх груп деталей.

Список літератури

1. Кривда Л.Т. Теорія і практика штампування обкочуванням. Монографія. – Київ. 1998. – 179 с.
2. Матвийчук В.А., Алиев И.С. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов. Монография. – Краматорск: ДГИА, 2009. – 268 с.
3. Кривда Л.Т., Гожий С.П. Построение модели пластических течений при осадке обкатыванием цилиндрической заготовки. // Прогрессивна техніка і технологія машинобудування і зварювального виробництва. Праці Міжнародної конференції, присвяченої 100-річчю механіко-машинобудівного і 50-річчю зварювального факультетів. Том II. К.: НТУУ «КПІ». - 1998. - С. 454-458.
4. Гожий С.П. Розвиток моделі пластичних деформацій при осаджуванні циліндричного зразка обкочуванням. Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия «Машиностроение». – 2008. № 52. с. 359-365.
5. Гожий С.П. Модель деформацій при осаджуванні обкочуванням високого циліндричного зразка. Машинознавство // – 2009. - №7 (145). с. 34-37.
6. Гожий С.П., Демченко Д.С. Моделирование ресурсозберегающего безвзводного процесса изготовления кольцевых заготовок. Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 15-20 сентября 2008 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Т. 1. – 348 с.