УДК 621.117

Т. Ф. Архіпова

КРИТЕРІЇ ДЕФОРМОВНОСТІ ТА ЯКІСТЬ ВИРОБІВ, ОТРИМАНИХ ОБРОБКОЮ ТИСКОМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Оцінка деформовності заготовок, розрахунок граничних технологічних параметрів ґрунтується на аналізі критеріїв деформовності. В якості скалярної величини міри пошкоджуваності прийнято критерій деформовностідля характеристики процесів обробки тиском, які супроводжуються монотонним, проте складнім деформуванням. Для оцінки граничних технологічних параметрів в процесах, що супроводжуються немонотонним деформуванням, пошкоджуваність рекомендовано характеризувати тензором другого рангу, а в якості критерію міри пошкоджуваності прийняти інваріанти тензора. В умовах об'ємного напруженого стану враховано вплив швидкості зміни показника напружено стану η. Визначено доцільність застосування критеріїв деформовності для відповідних значень зміни показника η та кривини шляхів деформування.

Ключові слова: *критерії деформовності, процеси обробки тиском, показник напруженого стану, діаграма пластичності, крива течії, немонотонне деформування*

Якість виробів машинобудування та транспорту суттєво пов'язана з технологічною спадковістю. В обробці металів тиском, що супроводжується значними пластичними формозмінами, основну роль відіграє використаний ресурс пластичності, точне визначення якого на стадії проектування технологічних операцій, в кінцевому рахунку забезпечує отримання виробів високої якості. Появі нових методів обробки тиском та матеріалів зі складною реологією передує необхідність розв'язання низки проблем, а саме – втрати стійкості пластичного деформування, руйнування металу в процесі його обробки, надмірне зростання розміру зерна після холодного пластичного деформування та наступної термообробки, критична пористість, яка виникає в процесі деформації порошкових матеріалів та інших проблем, які можуть бути розв'язані лише за умови наукового забезпечення феноменологічної теорії деформовності. Наукове забезпечення феноменологічної теорії базується на застосуванні експериментальних даних про механічні властивості матеріалів.

В теоріях деформовності [1-3] використано уявлення про те, що руйнування настає при досягненні в металі напружень, при яких порушується суцільність. Для незначних значень пластичних деформацій для крихких металів такі теорії забезпечують повну кореляцію. Проте для значних пластичних деформацій, особливо, коли крива течії сягає пологої форми, прогнозування появи граничного стану характеризується певними похибками. У зв'язку з цим критерії, які ґрунтуються на обмеженнях, що накладаються на значення деформацій, заслуговують більш ретельного дослідження для оцінки граничного стану. До них відносять критерії, які відомі з праць О. Мора, М. М. Давіденкова, Я. Фрідмана, С. І. Губкіна, Г. О. Смірнова-Аляєва, В. Л. Колмогорова, Г. Д. Деля, Ю. Г. Калпина, В. М. Міхалевича та ін. для розрахунку використаного за операцію ресурсу пластичності в одно-перехідних процесах обробки тиском в якості міри пошкоджуваності використовують скалярну характеристику граничної деформації. Найбільш простим критерієм, за допомогою якого виконують оцінку значення граничних деформацій, виступає критерій, який можна записати у вигляді:

$$\psi = \frac{\int_0^{t_p} \bar{e}_u d\tau}{e_p(\eta)} \le 1, \qquad (1)$$

де $e_p(\eta)$ – гранична деформація на момент появи перших тріщин, ψ – використаний ресурс пластичності. В критерії (1) величина e_p залежить від температури випробувань, швидкості деформацій та показника напруженого стану η, якому відповідає на момент руйнування металу:

$$\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}, \tag{2}$$

Відповідно до критерія Г. О. Смірнова-Аляєва, показник η впливає на величину e_p. При цьому не враховано ні історію деформування, ні граничну деформацію, при якій відбулося руйнування. Критерій деформовності В. Л. Колмогорова [3] відповідає гіпотезі про пропорційну залежність між накопиченою пошкоджуваністю та приростом деформації у вигляді:

$$\psi = \int_0^{t_p} E(t-\tau)B(\tau)\frac{\dot{e}_u(\tau)}{e_p[(\eta(\tau))]}d\tau \le 1, \tag{3}$$

де $\dot{e}_u$ – інтенсивність швидкості деформації; $B(\tau)$ – величина, що враховує швидкість розвитку тріщин та їх заліковування при холодному деформуванні; $E(t-\tau)$ – коефіцієнт, що враховує самозаліковування дефектів в умовах високих температур.

Практичне використання критерія (3) досить ускладнено, оскільки відсутні дані про значення коефіцієнтів $E(\tau)$ та $B(\tau)$ для відповідних процесів пластичного деформування. Тому ці величини зазвичай приймають рівними одиниці:

$$\psi = \int_0^{e_p^*} \frac{d\bar{e}_u}{\left[e_p(\bar{e}_u)\right]} \le 1, \tag{4}$$

Для простих видів навантаження, критерій (4) зводиться до критерію (1), якщо припустити в критерії (3) величину $B(\tau)$ = 1; а параметр напруженого стану η вважати сталою величиною $\eta_1 = const$. В загальному виді до заданої функції $e_i(\eta)$ та діаграми пластичності можна встановити залежність $e_p(e_i)$, та після виконання інтегрування (4) оцінити деформовність. В роботах В. А. Огороднікова [4] досліджена ця залежність граничної деформації від схеми напруженого стану, історії деформування та градієнта пластичних деформацій. Відповідно до даних робіт Г. Д. Деля [6, 7] критерій деформовності, який враховує нелінійний характер накопичення пошкоджуваності та відмінні шляхи навантаження металу, пропонується у вигляді:

$$\psi = \int_0^{e_u^*} \left(1 + a\,arctg\frac{d\eta}{d\bar{e}_u}\right) \frac{\bar{e}_u^{\,a\,arctg\frac{d\eta}{de_u}}}{\left[e_p(\bar{e}_u)\right]^{1+a\,arctg\frac{d\eta}{de_u}}} d\bar{e}_u \le 1, \tag{5}$$

де a = 0,2 для матеріалів з різним степенем зміцнення.

Застосування критерію (1) для процесів, в яких шлях деформування та швидкість зміни показника $\eta(d\eta/de_u)$ суттєво відмінні, призводить до значної розбіжності експериментальних та теоретичних даних. Критерій (5) забезпечує відповідну кореляцію даних розрахунку та досліду. Розбіжність результатів розрахунку за критеріями (1) та (5) сягає ~ 60% (наприклад, для операцій ротаційного кування валів [4]). На коефіцієнт парної кореляції відповідно до результатів розрахунку граничних деформацій за критеріями (4) і (5) суттєво впливає кривина траєкторії деформування $d\eta/de_u$. Для умови $d\eta/de_u >$ 4 розрахунок за критерієм (5) відповідає експериментальним даним. Критерій деформовності [7-9], в якому враховані вказані вище уявлення, проте гранична формозміна при цьому обмежена величиною накопиченої енергії при пластичному деформуванні матеріалу, має вид:

$$\psi = \int_0^{e_i^*} \frac{\sigma_i de_i}{A_p(\eta)} \le 1, \qquad (6)$$

де ψ – енергетична ступінь використання запасу пластичності; $\sigma_i = Ce_i^n$ –інтенсивність напружень; C та n – константи кривої течії метала; $A_p(\eta)$ – питома робота формозміни на момент руйнування за умови сталого значення показника напруженого стану, тобто енергетичний аналог діаграми пластичності.

Енергетичні критерії за певних умов забезпечують достатню збіжність результатів розрахунку та експерименту. Вони застосовані для оцінки граничного стану пористих матеріалів. Проте неможливо передбачити величину ресурсу пластичності матеріалу (для заданої технологічної операції), відмінної від тої, для якої було виконано дослід, оскільки енергетичний шлях деформування визначається властивостями матеріалу. При використанні енергетичних критеріїв втрачається важлива властивість моделювання процесів для різних металів. За критеріями деформовності стає можливим оцінювання граничної формозміни для різних металів. При цьому достатньо на модельному матеріалі ретельно дослідити напружено-деформований стан [6]. Застосування критерію (5) можливо також для тих напружено-деформованих станів, коли відома об'ємна діаграма пластичності в координатах $e_p(\eta;\chi)$. Для розрахунку окремих процесів обробки металів тиском, в яких має місце об'ємний напружений стан, пропонується критерій у вигляді умови:

$$\psi = \int_0^{e_p^*} \left(1 + 0,2 arctg\left(\frac{d\eta}{de_u} + \frac{d\chi}{de_u}\right)\right) \frac{e_u^{0,2 arctg\left(\frac{d\eta}{de_u}+\frac{d\chi}{de_u}\right)}}{\left[e_p\left(\eta(e_u), \chi(e_u)\right)\right]^{1+0,2 arctg\left(\frac{d\eta}{de_u}+\frac{d\chi}{de_u}\right)}} \le 1, \qquad (7)$$

Критерій (7) дозволяє оцінити використаний ресурс пластичності для процесів об'ємного напруженого стану. Проте практичне застосування його визначається необхідністю мати експериментальні дані, що описують граничну поверхню пластичності [10]. Для таких випадків стає можливим визначення використаного ресурсу пластичності операцій формозміни за допомогою критерія

$$\psi = \int_0^{e_p^*} \left(1 + 0,2 arctg \frac{d\eta}{de_u}\right) \frac{e_u(\eta)^{0,2 arctg \frac{d\eta}{de_u}}}{\left[e_p^*(\eta)\right]^{1+0,2 arctg \frac{d\eta}{de_u}}} \le 1,$$

де $e_u(\eta)$ – шлях деформування елементарних об'ємів металу в процесах обробки тиском, $\frac{d\eta}{de_u}$ – «напрям деформування» в просторі $e_u(\eta)$, $e_p^*(\eta)$ – відповідна ділянка діаграми пластичності, що враховує вплив $I_3(T_\sigma)$ на пластичність. Методика побудови наведена в роботах [11, 12].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Губкин С. И. Диаграмма схем механических состояний / С. И. Губкин. – Изв. АН СССР. ОТН. – 1950. – №8. – С. 1165–1182.
2. Смирнов-Аляев Г. А. Механические основы пластической обработки металлов /Г. А. Смирнов-Аляев. – Л. : Машиностроение, 1978. – 368 с.
3. Колмогоров В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушение / В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1970. – 229 с.
4. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – Головне вид-во «Вища школа», 1983. – 175 с.
5. Комплексы технологий и научное обеспечение производственных процессов пластического формоизменения особо ответственных деталей машиностроения из высокопрочных анизотропных материалов /Е. Ю. Поликарпов [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2008. – №7. – С. 18–22.
6. Огородников В. А. Моделирование процессов обработки давлением на основе гипотезы о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования / В. А. Огородников, А. В. Грушко, И. А. Деревенько //

Обработка металлов давлением: Сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА. – 2012. – №4(34). – С. 46–52. – ISSN 2076–2151.
7. Dell, H.; Gese, H.; Kepler, L.; Werner, H. and Hooputra, H.: Continuous Failure Prediction Model for Nonlinear Load Paths in Successive Stamping and Crash Processes, SAE – Paper 2001 – 01 - 1131, New Sheet Steel Products and Steel Metal Stamping (SP – 1614), SAE 2001 World Congress, Michigan, March 5 – 8, 2001, P. 113–122.
8. Дель Г. Д. Пластичность деформированного металла / Г. Д. Дель// Физика и техника высоких давлений. – 1983. – Вып. II. – С. 28–32.
9. Михалевич В. М. Модели накопления повреждений для тел с начальной и деформационной анизотропией / Известия АН СССР. Металлы.– 1993. –№5–С. 68–72.
10. Ильюшин А. А. Об одной теории длительной пластичности / А. А. Ильюшин // Известия АН СССР. Механика твердого тела. – 1967. – №3. – С. 21–35.
11. Огородников В. А. Карты материалов в процессах обработки материалов давлением / В. А. Огородников, И. А. Деревенько, М. И. Побережный // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2011. – №62. – С. 88–91. – ISSN 0372–6053
12. Огородников В. А. Пластичность металлов при объемном напряженном состоянии / В. А. Огородников, Л. И. Алиева, И. А. Деревенько // Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Машинобудування». – 2012. – №64. – С. 201-207. –ISSN 0372–6053.

Архіпова Тетяна Федорівна, канд. техн. наук, доцент кафедри ОМПМ, м. Вінниця, ВНТУ,: tfarhipova@gmail.com.

CRITERIA OF DEFORMITY AND QUALITY OF PRODUCTS OBTAINED BY PRESSURE TREATMENT

Abstract

Estimation of deformability of blanks, calculation of limiting technological parameters is based on the analysis of criteria of deformation. As a scalar value of the degree of damage, the criterion of deformability is adopted to characterize the processes of pressure treatment, which are accompanied by monotonic, but complex deformation. To assess the limiting technological parameters in the processes accompanied by non-monotonic deformation, it is recommended to characterize the damage by a tensor of the second rank, and to take in variants of the tensor as a criterion for the degree of damage. Under the conditions of the volumetric stress state, the influence of the rate of change of the stress state index η is taken into account. The expediency of application of deformability criteria for the corresponding values of change of index η and curvature of deformation paths is determined.

Keywords*:* deformation criteria, pressure treatment processes, stress state index, plasticity diagram, flow curve, non-monotonic deformation.

Arkhipova Tetiana, Ph. D. (Engineering), Docent of MSPM, town Vinnitsa, VNTU, tfarhipova@gmail.com.