

ВПЛИВ ОБ'ЄМНОСТІ СХЕМИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ НА ОЦІНКУ ВИКОРИСТАНОГО РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ ПРИ ХОЛОДНОМУ ПЛАСТИЧНОМУ ДЕФОРМУВАННІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі уточнено розрахунок використаного ресурсу пластичності при холодному формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах. При розрахунку використаного ресурсу пластичності враховано вплив об'ємності схеми напруженого стану.

Отримані в роботі результати можуть бути використані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

Ключові слова: використаний ресурс пластичності, граничне формозмінення, шліцьові поверхні, холодне пластичне деформування, напружений стан.

В даній роботі досліджується процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором, в якому найважливішим параметром, що відповідає за якість виробів, прийнято використаний ресурс пластичності, тому метою роботи є уточнення розрахунку використаного ресурсу пластичності в технологічних процесах, що супроводжуються об'ємною схемою напруженого стану.

Формування внутрішніх шліцьових поверхонь в глухих отворах холодним пластичним деформуванням забезпечує якість готових виробів, що використовуються в гідротрансмісії тихохідних машин.

За результатами досліджень отриманими в роботах [1, 2]: вивчено механіку процесу формування шліцьової поверхні; сформовано технологічний паспорт матеріалу (сталь 20Х), з якого виготовляються деталі з внутрішньою шліцьовою поверхнею; використовуючи методику запропоновану в роботі [3] розраховано і досліджено напружено-деформований стан в різних областях формуемого виробу з метою оцінки використаного ресурсу пластичності; визначено, що найсприятливішою, з точки зору деформування заготовки без руйнування та використаного ресурсу пластичності (ψ), є комбінована схема навантаження ($\psi = 0,3$ – поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні; $\psi = 0,31$ – поблизу зуба шліцьової поверхні).

Із результатів розрахунків напружено-деформованого стану [2] випливає, що найбільш небезпечними областями, з точки зору руйнування, є області поблизу центральної частини впадини шліцьової поверхні – точки 1, 2, та поблизу зуба шліцьової поверхні $\theta = 30^\circ$.

На діаграмі пластичності, в координатах граничний ступінь накопиченої інтенсивності деформації до моменту руйнування e_p , показник напруженого стану η , для областей, найбільш близьких до руйнування, побудували шляхи деформування характерних точок 1, 2 (рис. 1).

Використаний ресурс пластичності ψ розраховували за критерієм (1) запропонованим Г. Д. Делем,

В. А. Огородніковим і В. Г. Нахайчуком

$$\psi = \int_0^{e_p} n \frac{e_u^{n-1}}{e_p(\eta)^n} de_u, \quad (1)$$

де $n = 1 + a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}$; e_u – інтенсивність деформацій; $e_p(\eta)$ – діаграма пластичності.

Для оцінки деформуєміст заготовок потрібно мати інформацію про напружено-деформований стан протягом усього процесу формозмінення, цим зумовлена необхідність поетапного формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором, з можливістю зняття заготовки для дослідження після проходження через 2, 4, 6, 7 волюки.

В зв'язку з тим, що при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором реалізується об'ємний напружений стан, необхідно врахувати третій інваріант тензора напружень $I_3(T_\sigma)$.

Використовуючи методику запропоновану В. А. Огородніковим [5] для врахування впливу $I_3(T_\sigma)$ на величину граничної деформації, розраховали показник напруженого стану за критерієм (2)

$$\chi = \frac{\sqrt{I_3(T_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}}{\sigma_u} \quad (2)$$

де $I_1(T_\sigma)$ – перший інваріант тензора напружень; $I_2(D_\sigma)$ – другий інваріант девіатора напружень;

σ_u – інтенсивність напружень.

Для різних значень показника η ($-2 \leq \eta \leq 0$), визначили $f(\eta)$ за функціональною залежністю наведеною в роботі [4]. Із виразу

$$f(\eta) = \frac{\chi}{\Delta\eta - \eta} \quad (3)$$

визначили $\Delta\eta$. Величина $\Delta\eta$ визначає “зміщення” вздовж вісі η кривої $e_p^* = f(\eta)$, що побудована при $I_3(T_\sigma) \neq 0$ відносно кривої $e_p = f(\eta)$, побудованої при $I_3(T_\sigma) = 0$.

Таким чином, нами було введено поправку на діаграмі пластичності пов'язану з впливом показника χ (рис. 1).

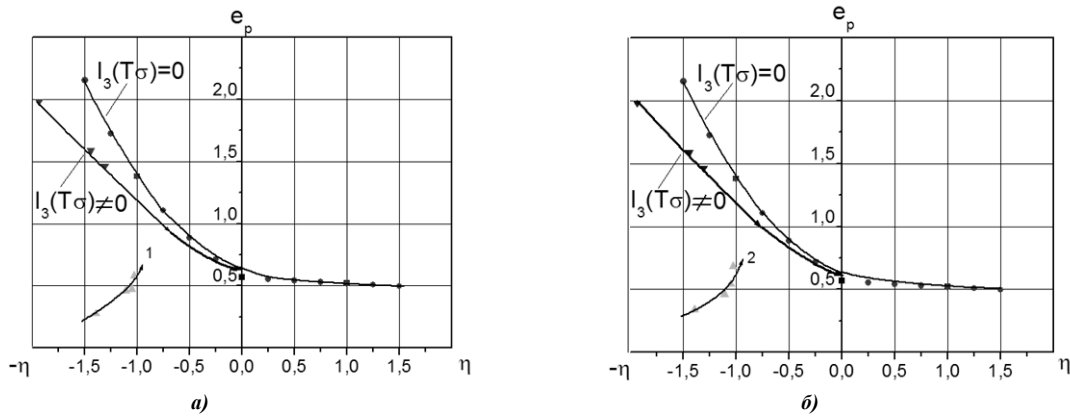


Рис. 1 – Діаграма пластичності сталі 20X з урахуванням показника χ і шляхи деформування частинок матеріалу в небезпечних областях при формуванні внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором
а) т. 1; б) т. 2

Отримані результати по діаграмі пластичності сталі 20X з урахуванням показника χ використовували для розрахунку використаного ресурсу пластичності за критерієм (4)

$$\psi = \int_0^{e_u^*} (1+f) \frac{e_u^f de_u}{e_p^* [\eta(e_u)]^{1+f}}, \quad (4)$$

де $f = 0.2 \arctg \left(\frac{d\eta}{de_u} + \frac{d\chi}{de_u} \right)$.

Висновки

1. На основі аналізу напружено-деформованого стану уточнено розрахунок використаного ресурсу пластичності в процесі формування внутрішніх шліцьових поверхонь з глухим отвором. Використаний ресурс пластичності оцінено з урахуванням показників напруженого стану, що включають в себе три інваріанти тензора і девіатора напружень. Показано, що врахування третього інваріанта тензора напружень ($I_3(T_\sigma)$) при оцінці використаного ресурсу пластичності призводить до пониження граничної до руйнування

деформації, а відповідно до збільшення використаного ресурсу пластичності. Інформація про використаний ресурс пластичності дозволила рекомендувати, для підвищення продуктивності даного процесу, зменшення використаного ресурсу пластичності та збільшення величини коефіцієнту заповнюваності шліцьового профілю, проводити проміжний відпал та перейти до схеми деформування з обмеженою осьюовою течією металу.

2. Отримані в роботі результати з метою оцінки використаного ресурсу пластичності можуть бути застосовані для оцінки граничного формозмінення в подібних технологічних процесах для виробів, що виготовляються із інших марок сталей шляхом моделювання відповідних процесів. Це твердження засноване на гіпотезі широко підтверженій в роботах [4, 5]. Сутність цієї гіпотези полягає в тому, що шляхи деформування частинок матеріалу в координатах η (e_i) практично не залежать від властивостей матеріалу, а відповідно з'являється можливість моделювання подібних технологічних процесів з побудовою діаграм пластичності інших матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириця І. Ю. Процес формування внутрішніх шліцьових поверхонь у глухих отворах методом холодного пластичного деформування / І. Ю. Кириця // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 1. – С. 34–37.
2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металла при холодном формообразовании внутренних шлицевых поверхностей / В.А. Огородников, И. Ю. Кирица // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА. – 2020. – №1(50) – С. 136-146.
3. Огородников В. А. Напряженно-деформированное состояние при формировании внутреннего шлицевого профиля методом обжатия на оправке / В. А. Огородников, И. Г. Савчинский, О. В. Нахайчук // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 12. – С. 31–33.
4. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. – Киев: Вища школа. Головное изд – во, 1983. – 175 с.
5. Огородников В. А. Моделирование напряженного состояния в процессах объемного формоизменения на основании гипотезы о подобии путей деформирования / В. А. Огородников, М. А. Рвачев, В. Д. Покрас, О. Л. Гайдамак // Кузнечно-штамповочное производство. – 1991. – № 11. – С. 2–4.

Кириця Інна Юрївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів та прикладної механіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: kyrytsya@vntu.edu.ua, тел. +380679843705.

INFLUENCE OF VOLUME STRESS SCHEME ON THE ASSESSMENT OF USED PLASTICITY RESOURCE IN COLD PLASTIC DEFORMATION

Abstract

Process of forming internal spline surfaces in blind holes by the cold plastic deformation method is investigated. Based on the analysis of stress-strain state, the used resource of plasticity is estimated and areas are closest to destruction are defined: near the central part of the tooth space of spline surface and near the tooth of spline surface.

The calculation of the used resource of plasticity at cold forming internal spline surfaces in blind holes is refined in this work. At calculation of the used resource of plasticity takes into account influence of volumetric scheme of the stress state. The used resource of plasticity is estimated taking into account indicators of the stress state, which includes three stress tensor invariants and stress deviator. It is shown, that accounting for the third invariant of the stress tensor at assessment of the used resource of plasticity leads to a lowering limiting to fracture deformation, and accordingly to the increasing of the used resource of plasticity.

The obtained results can be applied to evaluate the limiting deformation in such processes, involving a volumetric scheme of the stress state.

Keywords: *used resource of plasticity, limiting deformation, spline surfaces, cold plastic deformation, the stress state.*

Kyrytsya Inna Y. – PhD, Assistant Professor of Materials Resistance and Applied Mechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kyrytsya@vntu.edu.ua, tel. +380679843705.