

УДК 621.73.011

І. О. Сивак, д. т. н., проф;

Т. В. Ярошенко, асп.

ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МЕТАЛУ У РАЗІ ВДАВЛЮВАННЯ КУЛЬКИ

Виконано розрахунки напружено-деформованого стану в поверхневому шарі металу у разі вдавлювання кульки в заготовку з різною кривизною поверхні. Отримано залежність ступеня зміцнення та величини використаного ресурсу пластичності від діаметра кульки та кривизни поверхні деталі. Встановлено розміри кульки, з якими значення використаного ресурсу пластичності найбільше.

Вступ

Підвищення якості поверхневого шару можливе на основі удосконалення методів зміцнювальної обробки, а також виявлення закономірностей технологічної спадковості та її впливу на експлуатаційну довговічність деталі, у тому числі, і в умовах прикладання змінних навантажень. Одним із шляхів підвищення якості деталей машин є застосування технологічних процесів поверхневого пластичного деформування для зміцнення поверхневого шару металу. Однак, під час пластичної деформації одночасно з процесами зміцнення ідуть процеси пластичного розрихлення. У цій роботі для кількісної оцінки ступеня зміцнення використано інтенсивність напружень, а для оцінки рівня розрихлення пропонується використовувати величину використаного ресурсу пластичності ψ [1—5]. В роботах [2—5] встановлено, що за $\psi \geq 0,3 \dots 0,4$ в пластично деформованому металі виникають термодинамічні стійкі пошкодження, які в експлуатації деталі, особливо за знакозмінного навантаження, є центрами зародження макротріщин.

Для визначення величини використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі металу необхідна достовірна інформація про напружено-деформований стан та закони його зміни. Така інформація необхідна для оцінки впливу історії навантаження на величини ψ при локальній пластичній деформації.

У цій роботі отримали подальший розвиток методи розрахунку компонент тензорів напружень і деформацій, а також методи визначення величини ψ в осередку деформації у разі вдавлювання кульки.

Основна частина

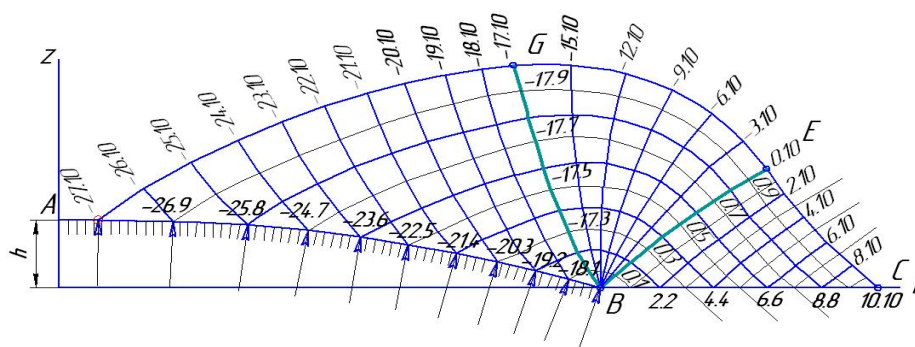


Рис. 1. Лінії ковзання, побудовані для процесу вдавлювання кульки в пластичний півпростір

Розрахунок напружень, які виникають в процесі вдавлювання кульки діаметром $d = 18,26$ мм з глибиною вдавлювання $h = 0,8$ мм в плоску поверхню, виконували методом ліній ковзання (рис. 1) за методикою А. Ю. Ішлінського [6]. Матеріал досліджуваного зразка — сталь — 40Х. Побудовано лінії

ковзання, де в першій області (BCE) розв’язували задачу Коші, в другій (BEG) — Христіановича–Соколовського–Гурса, в третій (BGA) — задачу змішаного типу. Границі області визначалися кривизною поверхні кульки та глибиною вдвлювання.

Компоненти тензора напружень для вісесиметричної задачі вдвлювання кульки в пластичний півпростір визначалися за формулами:

$$\sigma_r = \sigma + k \cdot \sin 2\theta; \tag{1}$$

$$\sigma_z = \sigma - k \cdot \sin 2\theta; \tag{2}$$

$$\tau_{rz} = -k \cdot \cos 2\theta; \tag{3}$$

де σ_r , — радіальне напруження; σ_z , — напруження в напрямі осі z ; τ_{rz} — дотичне напруження; σ — середнє напруження

$\sigma = k \frac{\xi + \eta}{2}$; k — пластична стала середовища, ($k = \frac{\sigma_T}{2}$, для сталі 40X границя текучості дорівнює $\sigma_T = 200$ МПа); θ — кут нахилу дотичної до лінії ковзання.

Кут θ у довільній точці N знаходили за формулою:

$$\theta_N = \frac{\xi_N - \eta_N}{4}; \tag{4}$$

де

$$\xi_N = \xi_L + \frac{\cos \theta_L - \sin \theta_L}{r_L} L_{LN}; \tag{5}$$

$$\eta_N = \eta_M + \frac{\cos \theta_M - \sin \theta_M}{r_M} L_{MN}, \tag{6}$$

а на вільній границі

$$\xi = -\left(\frac{\pi}{2} + 1\right); \tag{7}$$

$$\eta = \frac{\pi}{2} - 1. \tag{8}$$

В пластичній області методом ліній ковзання отримані значення компонент тензора напружень та інтенсивності напружень, які використовували для оцінки достовірності результатів розрахунків, отриманих методом скінчених елементів.

Для того, щоб визначити рівень пошкодженості, застосовано феноменологічну теорію деформованості, в основі якої лежить гіпотеза про залежність пластичності металу від історії навантаження та схеми напруженого стану.

Для оцінки залежності пластичності від схеми напруженого стану за об’ємного напруженого стану використовували показник жорсткості напруженого стану η і параметр Надаї–Лоде μ_σ [7, 8]

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{3\sigma}{\sigma_u}; \tag{9}$$

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \tag{10}$$

які розглядали як функції ступеня деформації:

$$e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_u d\tau; \tag{11}$$

де $I_1(T_\sigma)$ — перший інваріант тензора напружень; $I_2(T_\sigma)$ — другий інваріант девіатора напру-

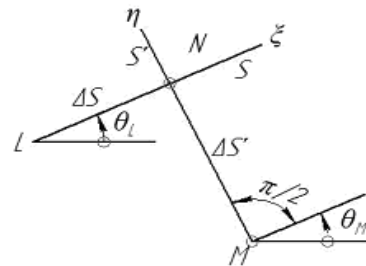


Рис. 2. Методика побудови точок ліній ковзання

жень; $\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$ — середнє напруження; σ_u — інтенсивність напружень; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — головні напруження; $\dot{\epsilon}_u$ — інтенсивність швидкостей деформацій.

Залежність пластичності сталі 40Х від схеми напруженого стану при об’ємному напруженому стані апроксимували виразом [7]:

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 0,38 \exp(0,48\mu_\sigma - 0,58\eta). \quad (12)$$

Величину використаного ресурсу пластичності розраховували за критерієм

$$\psi = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \quad (13)$$

де e_p — гранична пластична деформація; e_u — ступінь деформації.

Розрахунок напружено-деформованого стану виконували методом скінченних елементів з використанням відповідних модулів програми «Ansys-multiphysics». В результаті виконаних розрахунків отримали залежності показників напруженого стану η і μ_σ , інтенсивності напружень σ_u та ступеня деформації e_u від діаметра кульки та глибини вдавлювання для вдавлювання кульки в циліндричну ($d = 30$ мм) і плоску поверхні. Отримані залежності значень $\sigma_u, e_u, \eta, \mu_\sigma$ в поверхневому шарі показані на рис. 3.

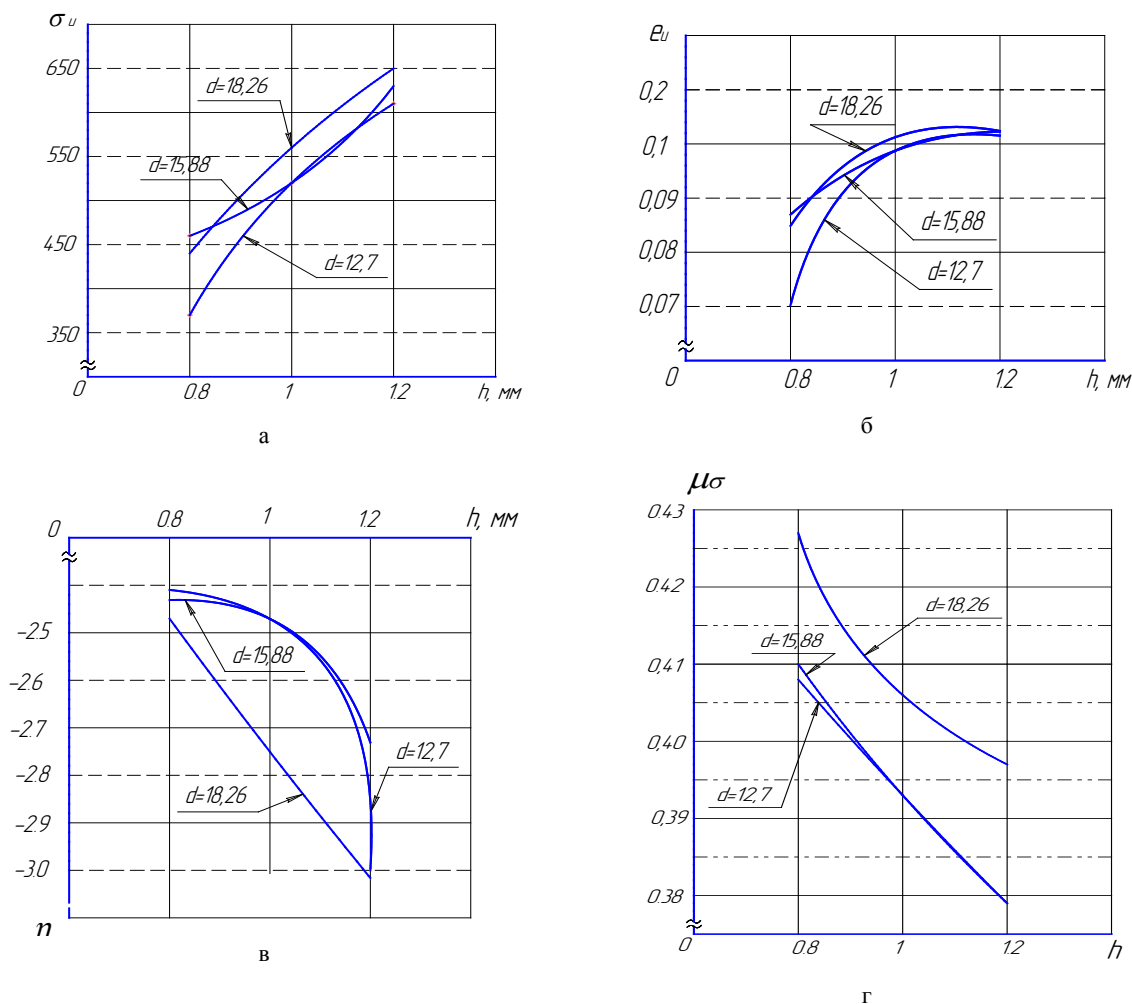
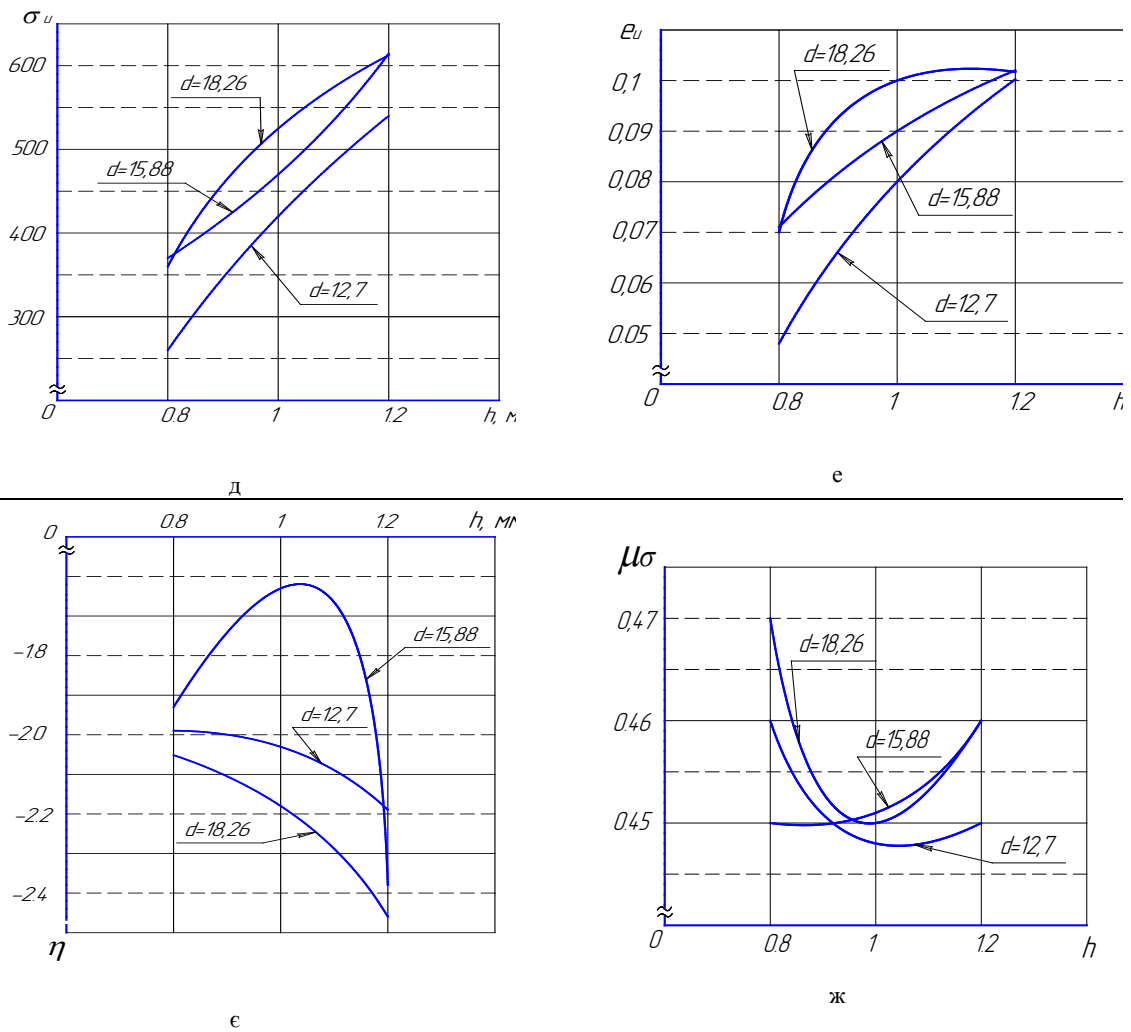


Рис. 3. Залежності характеристик напруженого стану: інтенсивності напруження σ_u (МПа), ступеня деформації e_u , показника жорсткості η , параметра Надаї-Лоде μ_σ , від глибини вдавлювання кульки h (мм) для циліндричної поверхні



Продовження рис. 3. Залежності характеристик напруженого стану: інтенсивності напруження σ_u (МПа), ступеня деформації e_u , показника жорсткості η , параметра Надаї–Лоде μ_σ , від глибини вдавлювання кульки h (мм) для плоскої поверхні

З аналізу отриманих результатів випливає, що зі збільшенням глибини вдавлювання інтенсивність напружень та ступінь деформації зростають, а вплив діаметра кульки на значення σ_u і e_u незначний (див. рис. 3а, б, д, е). Показники напруженого стану η і μ_σ у разі вдавлювання в циліндричну поверхню зменшуються зі збільшенням глибини вдавлювання і для $d=12,7$ мм та $d=15,88$ мм від діаметра кульки практично не залежать (див. рис. 3в, г). У разі вдавлювання в плоску поверхню закономірності зміни показників напруженого стану залежать як від глибини вдавлювання, так і від діаметра кульки (див. рис. 3є, ж).

Результати розрахунку напружено-деформованого стану використані для визначення величини використаного ресурсу пластичності. Значення ψ розраховували за формулою (13). В результаті розрахунків встановлено, що найбільші значення ψ мають місце в точці, яка знаходиться в центрі лунки. Величина використаного ресурсу пластичності в цій точці залежить також від глибини вдавлювання, діаметра кульки та кривизни поверхні, в яку кулька вдавлюється. На рис. 4 показані отримані залежності величини використаного ресурсу пластичності для точки, що знаходиться в центрі лунки, від діаметра ку-

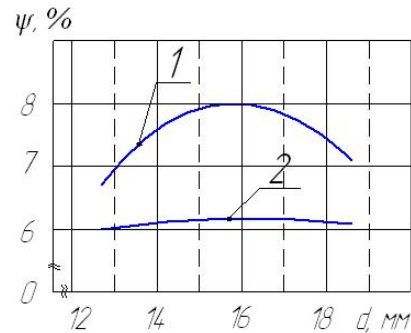


Рис. 4. Залежність використаного ресурсу пластичності металу в точці контакту від діаметра кульки, отримана у разі вдавлювання в деталь плоскої (1) та циліндричної (2) форми

льки з глибиною вдавлювання $h = 1,2$ мм. З аналізу наведених на рис. 4 залежностей випливає, що у разі вдавлювання кульки в циліндричну поверхню значення ψ для досліджуваного діаметра деталі і діаметрів кульки від діаметра кульки практично не залежать, а у разі вдавлювання кульки в плоску поверхню ψ набуває максимального значення, якщо діаметр кульки $d \approx 16$ мм.

Висновки

Виконані розрахунки використаного ресурсу пластичності та установлена залежність його величини від діаметра кульки та глибини вдавлювання в плоску та циліндричну поверхню.

Встановлено, що у разі вдавлювання кульки в циліндричну поверхню величина використаного ресурсу пластичності ψ зростає зі збільшенням діаметра кульки, а у разі вдавлювання в плоску поверхню найбільшого значення ψ набуває для кульки діаметром 15,88 мм. З діаметром кульки $12,7 < d < 15,88$ мм ресурс пластичності зростає, а з $15,88 < d < 18,26$ мм — зменшується.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорияковки и штамповки / Е. П. Унксов, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров и др. ; под ред. Е. П. Унксова, А. Г. Овчинникова. — М. : Машиностроение, 1992. — 720 с. — ISBN 5-217-00846-6.
2. Колмогоров В. Л. Напряжение, деформации, разрушение / В. Л. Колмогоров. — М. : Металлургия, 1970. — 230 с. с ил.
3. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. — К. : УМК ВО, 1989. — 152 с.
4. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень : моногр. / Володимир Маркусович Михалевич. — Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1998. — 195 с. — ISBN 966-7199-20-7.
5. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. — М. : Машиностроение, 1978. — 174 с.
6. Ишлинский А. Ю. Математическая теория пластичности / А. Ю. Ишлинский, Д. О. Ивлев. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 704 с. — ISBN 5-9221-0141-2.
7. Сивак И. О., Сивак Е. И., Сухоруков С. И. Оценка пластичности металлов при холодной пластической деформации // Изв. Тул ГУ. Серия: Механика твёрдого деформируемого тела и обработка металлов давлением. — Тула : Тул ГУ, — 2004. — Вып. 2. — С. 114—121.
8. Сивак И. О. Поверхность предельной пластичности // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. — Краматорськ, 1999. — С. 9—13. — ISBN 966-95591-4-6.

Рекомендована кафедрою технології автоматизації машинобудування

Надійшла до редакції 30.03.10
Рекомендована до друку 15.04.10

Сивак Іван Онуфрійович — завідувач кафедри, **Ярошенко Тетяна Василівна** — аспірантка.
Кафедра технології автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет