

УДК 629.33

Данильченко Л.М. - канд. техн. наук, доцент; Паньків В.Р.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАНИЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ФОРМОЗМІНИ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ГАРЯЧОМУ ДЕФОРМУВАННІ

Danylchenko L. - Ph.D., Assoc. Prof.; Pankiv V.

THEORETICAL STUDIES LIMITS OF FORMING SHEET MATERIALS DURING HOT DEFORMATION

Теоретичний аналіз процесів повільного гарячого деформування анізотропних матеріалів в умовах їх повзучого перебігу доцільно розглядати за умови відсутності пружних складових деформації.

Рівняння стану з урахуванням руйнування, які описують поведінку матеріалу, що підкоряється енергетичній теорії повзучості і руйнуванню має вигляд:

$$\xi_e^c = \frac{B(\sigma_e / \sigma_{eo})^n}{(1 - \omega_A^c)^m}; \quad \omega_A^c = \frac{\sigma_e \xi_e^c}{A_{ep}^c};$$

а застосувавши до групи матеріалів, які підпорядковуються кінетичним рівнянням повзучості, то:

$$\xi_e^c = B \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_{eo}} \right)^n \cdot \frac{1}{(1 - \omega_A^c)^m}; \quad \omega_e^c = \frac{\xi_e^c}{\varepsilon_{e22}^c};$$

де B, n, m - константи матеріалу, які залежать від температури деформування; ξ_e^c, σ_e - величини еквівалентної швидкості деформації і напруження при повзучому перебігу матеріалу, $A_{ep}^c, \varepsilon_{e22}^c$ - питома робота руйнування і гранична еквівалентна деформація при повзучому перебігу матеріалу; ω_e^c, ω_A^c - пошкоджуваність матеріалу при повзучій деформації згідно деформаційної і енергетичної моделям руйнування відповідно.

Компоненти швидкостей деформації згідно з законом перебігу

$$\xi_{ij} = \lambda \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}};$$

де λ - коефіцієнт пропорційності; $f(\sigma_{ij})$ - потенціал швидкостей деформації анізотропного матеріалу при короткочасній повзучості; σ_{ij} - компоненти тензора напружень.

Граничні можливості формозміни у процесах оброблення металів тиском, що протікають при різних температурно-швидкісних режимах деформування, часто оцінюються на базі феноменологічних моделей руйнування.

Залежно від умов експлуатації або подальшого оброблення листового матеріалу рівень пошкоджуваності не повинен перевищувати 1, тобто $\omega < 1$.

При справедливості деформаційного критерію деформування залежності для визначення граничної еквівалентної деформації ε_{ep}^c при повзучому перебігу матеріалу мають вигляд:

$$\varepsilon_{ep}^c = D(b_o + b_1 \cos \alpha + b_2 \cos \beta + b_3 \cos \gamma),$$

де D, b_o, b_1, b_2, b_3 - експериментальні константи матеріалу; α, β, γ - кути орієнтації головної осі напружень σ_1 відносно головних осей анізотропії x, y, z відповідно.

При розгляді критерію руйнування в енергетичній постановці гранична величина питомої роботи руйнування при повзучому перебігу матеріалу може бути розрахована за аналогічними формулами із заміною буквених коефіцієнтів D , b_i на відповідні їм коефіцієнти D' , b'_i , а ε_{exp}^c - на A_{2p}^c .

Для оцінки граничних можливостей виготовлення гвинтових деталей виконано теоретичні дослідження процесу гарячого формоутворення листової заготовки радіусом R_o і товщиною h_o повільним деформуванням в режимі повзучої плинності матеріалу під дією тиску $p = p_o + a_p t^{n_p}$, де p_o, a_p, n_p - константи навантаження.

Матеріал заготовки приймається ізотропним із коефіцієнтом анізотропії R , напружений стан - плоским, тобто напруження, перпендикулярне площині стрічки, дорівнює нулю ($\sigma_z = 0$). В силу симетрії механічних властивостей матеріалу щодо осі заготовки і характеру дії зовнішніх сил меридіональні, окружні та нормальні до серединної поверхні заготовки напруження і швидкості деформацій є головними. У будь-якому меридіональному перетині реалізується радіальний перебіг матеріалу по відношенню до нового центру на кожному етапі деформування.

Вплив параметрів закону навантаження a_p, n_p , еквівалентної швидкості деформації ξ_{e1} , анізотропії механічних властивостей і геометричних розмірів заготовки на граничні можливості формозміни пов'язаний з руйнуванням заготовки при досягненні рівня накопичених мікропошкоджень $\omega_e = 1$ або $\omega_A = 1$.

Розрахунки виконано для сплаву сталь 08 кп при температурі $T = 860^\circ \text{C}$, поведінка якого описується енергетичною теорією повзучості та пошкоджуваності, і для Ст3 при температурі $T = 950^\circ \text{C}$, поведінка якого підкоряється кінетичній теорії повзучості і пошкоджуваності.

Аналіз результатів розрахунків показує, що руйнування заготовки при ізотермічному деформуванні відбувається в околі деталі, де має місце максимальне зменшення товщини заготовки.

Залежності зміни часу руйнування t_* від висоти $H_*' = H_* / R_o$ і товщини в околі заготовки $h_*' = h_* / h_o$ в момент руйнування, визначених за величиною накопичених мікропошкоджень при $\omega_A^c = 1$ від величини постійної еквівалентної швидкості деформації в околі заготовки ξ_{e1} і коефіцієнта анізотропії, для подальшого аналізу зручно представляти графічно (тут H_*, h_* - висота і товщина в околі заготовки, які відповідають моменту руйнування).

Результати розрахунку і аналіз отриманих залежностей показують, що збільшення параметрів закону навантаження і величини постійної еквівалентної швидкості деформації в околі заготовки ξ_{e1} приводить до зменшення часу руйнування і відносної висоти заготовки, а також до збільшення відносної товщини в околі заготовки.

Встановлено, що коефіцієнт нормальної анізотропії R істотно впливає на величину часу руйнування і відносні величини H_*, h_* . Із зростанням коефіцієнта анізотропії R відносна величина h_* різко збільшується, а час руйнування t_* і відносна висота заготовки H_* різко зменшуються.

Неврахування анізотропії механічних властивостей заготовки при аналізі процесу ізотермічної формозміни листового матеріалу дає похибку в оцінці часу руйнування близько 35% , а відносної висоти і товщини в околі заготовки в момент руйнування - 15%.