

УДК 621.762.4

Канд. техн. наук М. І. Носенко, д-р техн. наук В. О. Павлов

Національний технічний університет, м. Запоріжжя

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ГАРЯЧОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОРИСТИХ ЗАГОТОВОК З ПОРОШКІВ ТИТАНУ, МІДІ, АЛЮМІНІЮ ПРИ ОТРИМАННІ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

При різних схемах напружено-здеформованого стану визначено оптимальні технологічні параметри й умови гарячої деформації пористих заготовок з порошків титану, міді й алюмінію. Вони забезпечують виготовлення безпористого матеріалу з найкращим комплексом властивостей міцності та пластичності на рівні литого zdeформованого металу та вище.

Ключові слова: гаряча деформація, оптимізація, порошкова заготовка, інтенсивність деформацій зсуву, щільність, структура, механічні властивості.

Технологія процесів гарячої деформації є одним з перспективних напрямів у галузі конструкційних матеріалів та виробів із заданим рівнем механічних та експлуатаційних властивостей. Тому дослідження і встановлення параметрів термомеханічного режиму, закономірностей формування структури та механічних властивостей при виробництві деталей є важливою науковою та практичною проблемою.

Метою роботи є дослідження процесів гарячої деформації пористих заготовок з порошків титану, міді, алюмінію та оптимізація їх параметрів.

Вплив гарячої деформації на структуру та властивості порошкових металів (титан ПТЕС-1, ПТЕК-1, ТГ-ТВ, мідь ПМС-1, алюміній ПА-2) досліджували в умовах всебічного рівномірного (штампування в закритому штампі) та нерівномірного (штампування з елементами витікання та видавлювання) стиску. Заготовки різної щільності ($\theta_0 = 70 - 90 \%$) отримували холодним двохстороннім пресуванням. Гарячу деформацію здійснювали на кривошипному пресі КА2330. Процеси осцилографували. Для аналізу закономірностей деформації використовували метод координатних сіток, які наносили на меридіональний переріз заготовок. Інтенсивність деформацій зсуву Γ_i та деформацію зсуву γ_{rZ} визначали відповідно методиці [1].

Рівень кінцевої щільності в об'ємі формованої заготовки залежить від інтенсивності деформацій зсуву, котра для даних металів є величиною постійною і залежить від щільності заготовок, схеми і ступеня деформації. При штампуванні у закритому штампі найбільш zdeформованою та ущільненою є центральна частина заготовки, а пори концентруються в приконтактних зонах утрудненої деформації. Середня відносна щільність виробів складає 98,0–98,5 %. Схе-

ма напружень на заключній стадії процесу максимально наближується до всебічного рівномірного стиску, що перешкоджає зростанню величини Γ_i та відповідній їй кінцевій щільності. Штампування з елементами витікання та видавлювання протікають за схемою всебічного нерівномірного стиску, що забезпечує подальше зростання інтенсивності деформацій зсуву та ступеня ущільнення ($\theta_0 = 99,8 - 100 \%$). Безпористий стан металу при деформації заготовок різної щільності досягається при визначених значеннях Γ_i (таблиця 1).

Таблиця 1 – Величина інтенсивності деформацій зсуву, що забезпечує отримання безпористого металу

| Щільність заготовок $\theta_0, \%$ | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|
| $\Gamma_i(\theta_0)$ | 2,93 | 2,82 | 2,71 | 2,59 | 2,47 |

Задані величини Γ_i та максимальна кінцева щільність виробів забезпечується при встановлених оптимальних параметрах деформації (рис. 1): температура 900–950 °С для титану та міді; 500–550 °С – алюмінію; ступінь деформації на першій стадії процесу (осадка) – на рівні технологічної пластичності [2], а саме $\epsilon_0 = 35 - 52 \%$ (ПТЕС-1, ПТЕК-1), 45–56 % (ПМС-1), 42–54 % (ПА-2) – при закритому штампуванні; коефіцієнт витікання $K_{\text{вум}} = 9$ (титан), 7 (мідь), 5,5 (алюміній) – при штампуванні з елементами витікання; коефіцієнт витяжки $\mu = 14$ (титан), 9 (мідь), 6 (алюміній) – при видавлюванні.

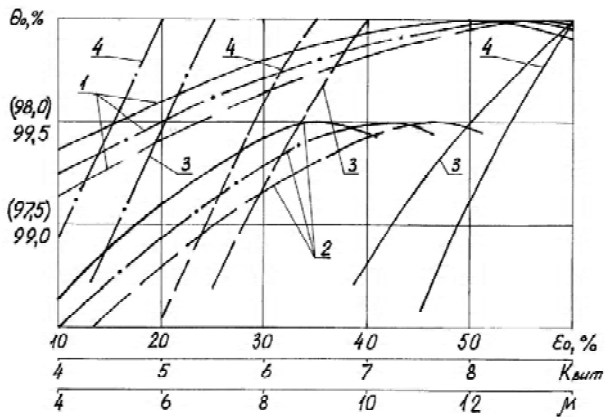


Рис. 1.

Для досягнення однакової кінцевої щільності металу процеси деформації за схемою всебічного рівномірного стиску, порівняно з нерівномірним, протікають при більшому тиску (рис. 2). Штампування в закритому штампі з максимально допустимою деформацією при осадці на рівні технологічної пластичності за схемою всебічного нерівномірного стис-

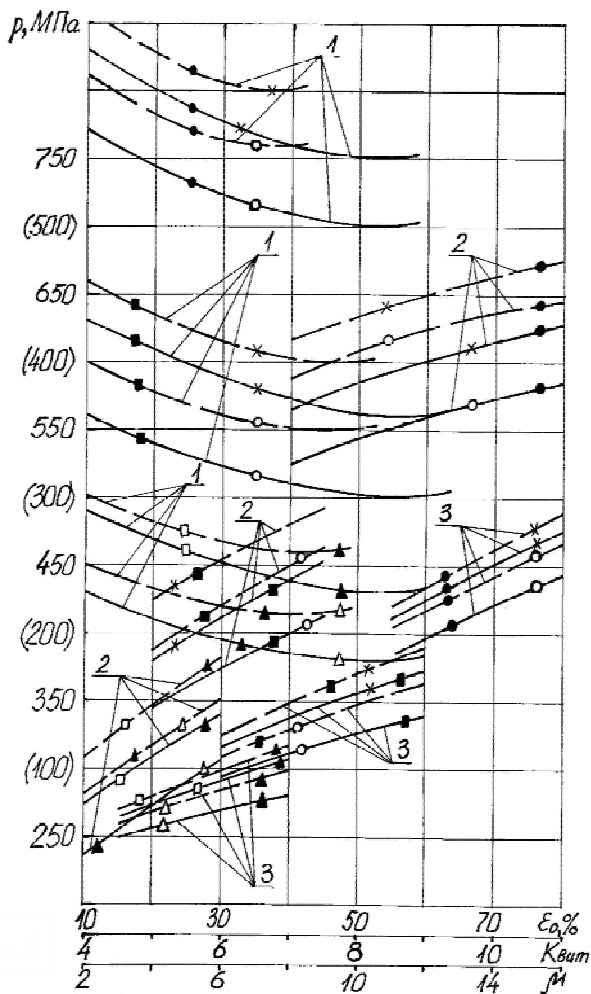


Рис. 2.

ку, порівняно з рівномірним, протікає при мінімальному тиску. Подальше зменшення тиску забезпечується при штампуванні з елементами витікання та при видавлюванні. Максимальну щільність матеріалів при встановлених оптимальних деформації і температурі забезпечує тиск 700–800 МПа (титан), 500–600 МПа (мідь) і 380–460 МПа (алюміній) – при штампуванні в закритому штампі, 560–650 МПа (титан), 400–480 МПа (мідь) і 290–365 МПа (алюміній) – при штампуванні з елементами витікання, 220–260 МПа (титан), 120–160 МПа (мідь) і 70–95 МПа (алюміній) – при видавлюванні.

Встановлено, що щільність, яка досягається – не єдиний критерій, що визначає формування структури і властивостей металу. В залежності від схеми напружено-деформованого стану при однаковій кінцевій щільності порошкового металу змінюються характеристики викривлення пігулки координатної сітки, мікроструктура, пластичні властивості і, особливо, ударна в'язкість (КСУ). Досягнення визначеного рівня Γ_i і відповідної щільності відбувається без (або з малими значеннями) деформації зсуву γ_{rz} – при всебічному рівномірному стиску, із зростанням γ_{rz} – при всебічному нерівномірному стиску (рис. 3). Аналіз фрактограм зламів зразків після деформації показав, що при всебічному рівномірному стиску на границях зерен утворюються скупчення оксидних плівок. Кількість ділянок крихкого міжзеренного зламу в зразках зменшується при переході від рівномірного до нерівномірного стиску, який сприяє більш регулярному розподілу оксидних плівок в об'ємі металу із зростанням кількості зон їх розриву та підсиленню дифузії

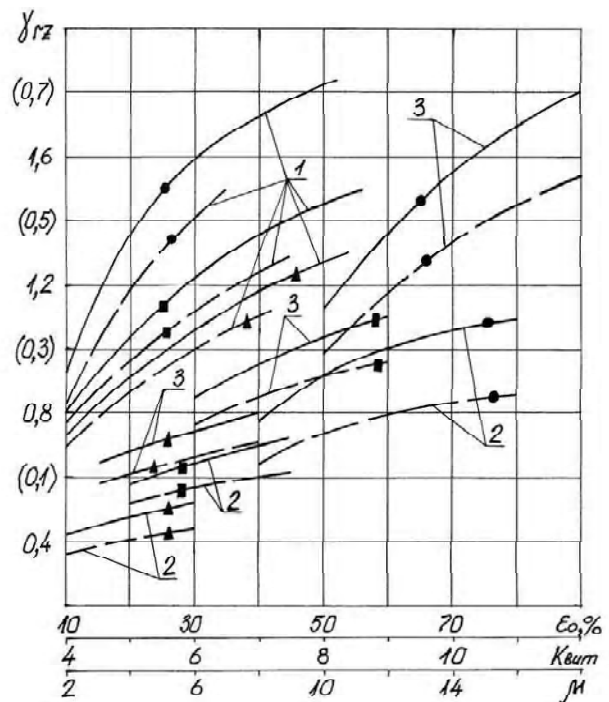


Рис. 3.

у процесі деформації. При цьому рівень пластичних властивостей і ударної в'язкості змінюється в широкому діапазоні, наприклад,

$\delta = 28 - 42\%$, $\psi = 40 - 57\%$, $KCU = 750 - 1900 \text{ кДж/м}^2$ для порошкового титану ПТЕС-1, ПТЕК-1. Більш високі пластичні властивості, особливо ударну в'язкість порошкового титану, при рівні міцності $\sigma_B = 400 - 440 \text{ МПа}$, забезпечує всемірний нерівномірний стиск (видавлювання і штамповка з елементами витікання): $\delta = 40 - 42\%$ і $32 - 35\%$, $\psi = 54 - 57\%$ і $42 - 47\%$, $KCU = 1750 - 1900 \text{ кДж/м}^2$ і $1200 - 1330 \text{ кДж/м}^2$ відповідно, або сполучення всебічного рівномірного з наступним нерівномірним стиском (штампування в закритому штампі та видавлювання): $\delta = 32 - 36\%$, $\psi = 44 - 48\%$,

$KCU = 1400 - 1540 \text{ кДж/м}^2$ порівняно з рівномірним (штампування в закритому штампі): $\delta = 28 - 32\%$, $\psi = 40 - 45\%$,

$KCU = 750 - 850 \text{ кДж/м}^2$. Ударна в'язкість – важли-

віший показник при встановленні відповідності властивостей виробів умовам експлуатації. Вона визначається рівнем деформації зсуву (рис. 4, 5).

Враховуючи, що незалежно від схеми або ряду схем деформації при однакових $\Gamma_i(\gamma_{rz})$ отримані ідентичні щільність, структура і рівень властивостей матеріалів, оптимальною деформацією, що визначає параметри побудови технологічної схеми виготовлення виробів з необхідними властивостями, прийнята $\Gamma_i(\gamma_{rz})$. Деформація $\Gamma_i(\gamma_{rz}) \geq \Gamma_i(\theta)(\gamma_{rz} \geq \gamma_{rz}(X))$ забезпечує отримання безпористого матеріалу з найкращим комплексом властивостей міцності і пластичності на рівні литого здеформованого металу і вище нього. Значення $\gamma_{rz}(X)$, які визначають вплив схеми деформації та виду матеріалу на величину деформації зсуву, наведено в таблиці 2.

Отже, в результаті проведених досліджень визначено оптимальні параметри термомеханічного режиму та умови гарячої деформації пористих заготовок з порошків титану, міді й алюмінію при різних схемах напружено-здеформованого стану.

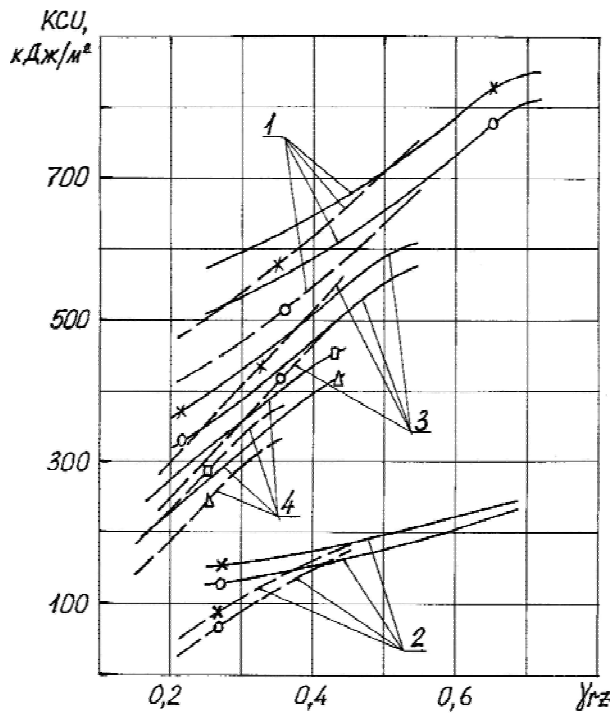


Рис. 4.

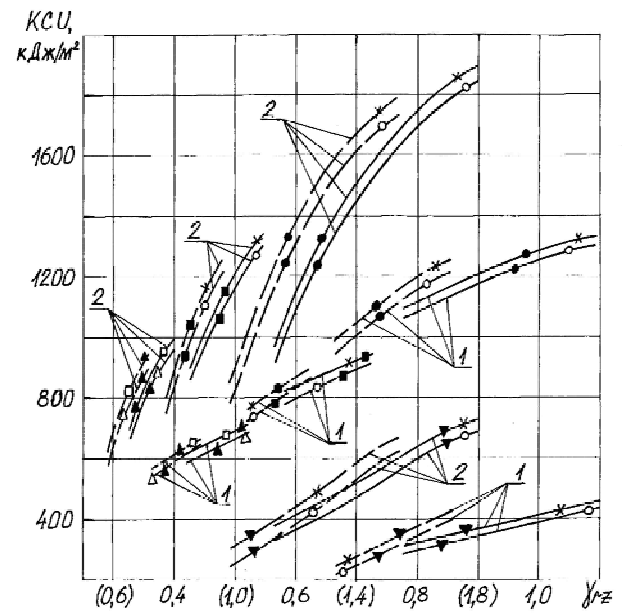


Рис. 5.

Таблиця 2 – Величина деформації зсуву, що забезпечує максимальний рівень механічних властивостей порошкового металу

| Схема деформації | $\gamma_{rz}(X)$ | | |
|------------------------------------|------------------|------|----------|
| | титан | мідь | алюміній |
| Штампування в закритому штампі | 0,72 | 0,55 | 0,45 |
| Штампування з елементами витікання | 1,10 | 0,72 | 0,52 |
| Видавлювання | 1,80 | 1,10 | 0,80 |