УДК 629.33

Данильченко Л.М. - канд. техн. наук, доцент; Бобрик В.В.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ОПІР ДЕФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ГАРЯЧОГО ДЕФОРМУВАННЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

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

DETERMINING FACTORS IMPACT RESISTANCE STRAIN DURING HOT DEFORMATION SHEET MATERIALS

Опір деформації залежить від природи деформованого матеріалу, температури, ступеня і швидкості деформування та характеру напруженого стану. Дослідним шляхом можна отримати значення опору деформації при суворо визначених умовах. Для всіх інших умов доцільно вводити емпіричні коефіцієнти. У найзагальнішому вигляді опір деформації визначається за формулою:

$$\sigma_S = \sigma_T \cdot n_t \cdot n_v \cdot n_\varepsilon \cdot n_{mep} \cdot n^{/};$$

де σ_T - межа плинності матеріалу, тобто опір деформації при фіксованих умовах (так, для гарячого деформування базовими є такі параметри: t = 1000° С, ω=10 с$^{-1}$, ε = 0,1); $n_t, n_v, n_\varepsilon, n_{mep}, n^{/}$ - коефіцієнти, які враховують вплив температури, швидкості й ступеня деформації, контактного тертя та інших чинників (зовнішніх зон, натягу тощо), коефіцієнти є емпіричними і беруться в основному з довідників.

Вплив природних властивостей металу. Різним сплавам притаманні різні значення опору деформації, що пов'язано з їх хімічним складом, будовою атомів і кристалів. Податливість металу деформуючим зусиллям оцінюється межею плинності.

Вплив температури. Для всіх матеріалів опір деформації при нагріванні зменшується, приймаючи мінімальне значення, близьке до $T_{пл}$, проте зменшення відбувається не монотонно. Це пояснюється переходом металу в нову кристалічну модифікацію (при t = 700-900° С), тобто відбувається рекристалізація металу.

Аналітична залежність опору деформування від температури має вигляд:

$$\sigma_S = M \cdot e^{=mT};$$

де T – абсолютна температура,
M і m – коефіцієнти, які залежать від природи металу. Для практичних розрахунків приймають M = 412,4 і m = 34,4 10^{-4}.

Характер зміни опору деформації від температури залежить від хімічного складу сплаву. Легуючі домішки підвищують опір деформації, особливо при високих температурах. Для розрахунків під час гарячого деформування листових матеріалів доцільно використовувати формулу:

$$\sigma_S = (14 - 0{,}01 \cdot t) \cdot (1{,}4 + C + Mn + 0{,}3 \cdot Cr);$$

де t – температура, ^{o}С;
C, Mn, C – відповідно вміст вуглецю, марганцю і хрому, %.

Вплив наклепу (ступеня деформації) і швидкості деформації. При низьких температурах за рахунок наклепу опір деформації може збільшуватися у 3-4 рази. Найсуттєвіше цей вплив позначається на перших стадіях оброблення, до отримання сумарної деформації в 40-50 %. Залежність між опором деформації і ступенем деформації зображують кривими деформації. Для практичних розрахунків приймають, що під час холодного оброблення металів тиском опір деформації не залежить від швидкості деформації.

В процесі гарячого деформування вплив наклепу тісно пов'язаний із впливом швидкості деформації. У цьому випадку одночасно відбуваються процеси, які діють на опір деформації в протилежних напрямках: зміцнення (наклеп) і роззміцнення (рекристалізація). Обидва процеси відбуваються в часі з різною швидкістю. Чим вище швидкість деформації (а значить і швидкість утворення наклепу), тим менше повнота перебігу рекристалізації, а значить , вище опір деформації.

Для визначення цієї залежності існує безліч емпіричних формул. Зокрема, для холодного деформування з метою визначення опору деформації можна використати формулу:

$$\sigma_S = \sigma_T + K \cdot \varepsilon_\Sigma^n;$$

де σ_T – межа плинності матеріалу (базове значення опору деформації),

K, n – емпіричні коефіцієнти (залежать від марки сплаву),

ε_Σ^n – сумарна ступінь деформації.

Для визначення опору деформації при гарячому обробленні тиском запропоновано наступну формулу:

$$\sigma_S = a \cdot \varepsilon^k \cdot \omega^l \cdot e^{-mT};$$

де ε – ступінь деформації,

ω – швидкість деформації,

T – температура (^{o}C),

a, k, l, m – коефіцієнти, які залежать від марки сталі.

Формула дійсна для ε = 0,05-0,40; ω = 0,1-100 с$^{-1}$.

Вплив контактного тертя. Сили тертя заважають зміні розмірів листової заготовки. В результаті їх дії схема одноосьового стиску перетворюється в схему всебічного стиснення. Розкладемо повний опір деформації на дві складові: $\sigma_S = k + q$, де *k* - характеризує властивості матеріалу з урахуванням наклепу, швидкості і температури деформації, а *q* - характеризує вплив тертя. Тоді *q* = *C*/*h*, де *C* – коефіцієнт, який враховує форму поперечного перерізу, а *h* - товщина заготовки. Звідси випливає, що при великій товщині вплив тертя на опір деформації незначний і ним можна знехтувати, а при наближенні товщини до нуля $q \to \infty$.

Наприклад, при навиванні смуг малої товщини для зниження опору деформації доцільно зменшити коефіцієнт контактного тертя шляхом ретельного оброблення поверхні формоутворюючого спорядження і застосування мастил, або штучно збільшуючи товщину заготовки, навиваючи кілька складених разом смуг.

Вплив характеру напруженого стану на пластичність листового матеріалу. Зростання ролі напружень стиску в загальній схемі напруженого стану збільшує пластичність. В умовах різко вираженого всебічного стиснення можна деформувати навіть дуже крихкі матеріали. Схема всебічного стиснення є найбільш сприятливою для прояву пластичних властивостей, так як при цьому ускладнюється міжзеренне деформування і вся деформація протікає за рахунок внутрішньозеренної.

Зростання ролі напружень розтягу призводить до зниження пластичності. В умовах всебічного розтягу з малою різницею головних напружень, коли дотичні напруження малі для початку пластичної деформації, навіть найпластичніші матеріали крихко руйнуються.

Оцінити пластичність можна через σ_{cp}. Якщо σ_{cp} збільшується, то і пластичність зростає, і навпаки. Дослідження показали, що змінюючи напружений стан, можна всі тверді тіла зробити пластичними або крихкими. Тому пластичність слід вважати не властивістю, а особливим станом матеріалу.