

УДК 621.77.043

## МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ПРЕСУВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТОЇ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ

Лавріненков А. Д., Злочевська Н.К., Шупіченко А.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація.** Для отримання дрібнозернистої структури матеріалу оцінювались наступні схеми пресування: гвинтового уширяючого пресування (ГУП), полігональне пресування (ПП) та багатокутове пресування (БП). Встановлено, що при схемі ПП ефективна пластична деформація матеріалу відбувається біля поверхні заготовки. Глибина розповсюдження деформації складає 1,5-2,5 мм. При схемі ГУП можна говорити про пластичну деформацію матеріалу заготовки по всьому поперечному перерізу заготовки. Найменша пластична деформація відповідає середині заготовки. Глибина розповсюдження пластичної деформації 6-9 мм. Для максимального пропрацювання матеріалу заготовки з метою отримання подрібненої мікроструктури, пресування потрібно робити за два проходи і більше. Порівнюючи схеми пресування по величині пластичної деформації встановлено, що найбільш ефективною є схема багатокутового пресування, потім гвинтового уширяючого пресування. Найменш ефективною схемою пресування є схема полігонального пресування.

**Ключові слова:** гвинтове уширяюче пресування; полігональне пресування; багатокутове пресування; деформації зсуву; пластична деформація; пропрацювання структури.

Перспективність підвищення механічних властивостей металів легуванням в останні роки знижується. Так, за останні 40-50 років питома міцність конструкційних алюмінієвих сплавів збільшилася в 1,5 - 2 рази, а за прогнозом на найближчі роки, може збільшитись тільки на 8 - 20% [1]. При цьому значення питомого модуля пружності практично не змінюється. Така тенденція зберігається і для інших сплавів. Тому в середині минулого століття активно почали розвиватися альтернативні напрями підвищення механічних властивостей металів і сплавів шляхом формування дрібнокристалічної структури пластичним деформуванням, а також створення та використання структурно-неоднорідних матеріалів (СНМ).

Теоретично і експериментально обґрунтовано, що розвиток деформацій зсуву при реалізації технологічних схем деформацією простого зсуву при рівноканальному кутовому пресуванні [2, 3] або деформацією кручення при гвинтовому пресуванні під високим гідростатичним тиском [4, 5] однозначно пов'язаний з подрібненням елементів структури і підвищенням механічних властивостей міцності на 25 - 40% при збереженні показників пластичності.

Застосування конструкційних матеріалів, зміцнених фазовими складовими твердих евтектик – квазікомпозиційні матеріали також підвищують механічні характеристики. Особливий інтерес в авіадвигунобудуванні представляють евтектично зміцнені матеріали системи «титановий сплав - бориди титану» (Ti- TiB<sub>n</sub>). Наприклад, матеріал на основі титанового сплаву ВТ 22 забезпечує підвищення границі міцності до 20% та границі витривалості до 10 %. Такі «квазікомпозиційні» структурно - неоднорідні матеріали мають хороші перспективи використання для виготовлення лопаток компресора газотурбінних двигунів (ГТД), заготовки для яких у промислових умовах отримують пресуванням [6].

В залежності від схеми пресування величина пластичної деформації матеріалу буде різною. Відповідно і пророблення структури матеріалу заготовки буде різною, що у реальному процесі буде впливати на мікроструктуру заготовки. Для моделювання були вибрані наступні схеми пресування: гвинтового уширяючого пресування (ГУП), полігональне пресування (ПП) та багатокутове пресування (БП) (рис. 1). На рис. 1 зображені поперечні перерізи ділянок матрицю де відбуваються інтенсивні пластичні деформації. Моделювання проводилось методом скінчених елементів (МКЕ) в програмі QForm. Параметри моделювання занесені до таблиці.

В натурному експерименті проводилось гвинтове пресування заготовки із матеріалу системи «титановий сплав - бориди титану» на основі титанового сплаву ВТ22. Для моделювання було вибрано титановий сплав ВТ22 без крихкої евтектики ТiВ<sub>n</sub>. Задачею моделювання є визначення схеми пресування при якій відбувається максимальне пророблення структури матеріалу. Процес не є ізотермічним, так як нагріти штампове оснащення до 920 °С досить проблематично. Також при таких температурах ресурс роботи матриці для пресування є малим.

В результаті моделювання схеми ГУП (рис. 1, а) було встановлено, що якщо процес відбувається на гідравлічному пресі, відбувається значне охолодження заготовки в наслідок тривалого контакту заготовки із стінкою матриці. Тому для реалізації процесу було вибрано гвинтовий прес-молот зусиллям 250т. Встановлено, що пресуванні заготовок на молоті, охолодження відбувається не значне, на деяких ділянках (що відповідають інтенсивним пластичним деформаціям) відбувається розігрів на 20-40 °С. В цілому в залежності від схеми пресування температура заготовки знаходиться в межах 880-950 °С.

Таблиця

Параметри процесу моделювання

Параметр процесу	Значення
Тип операції	Деформування із урахуванням теплових процесів
Тип задачі	3D
Матеріал заготовки	ВТ-22
Температура заготовки, С0	920
Обладнання	Гвинтовий прес-молот зусиллям 250 т
Змащення	Мінеральне змащення + графіт
Температура інструменту (пуансон, матриця), С0	300
Теплообмін із заготовкою	враховується, простий
Кількість заготовок (окрім кутового пресування)	дві (друга виступає в якості протитиску)

Задачею моделювання було встановлення ступеня заповнення каналу матриці. Для кращого заповнення каналу матриці пресування заготовок відбувається безперервно (попередня заготовка виконує роль протитиска). Найбільш повне заповнення відбувається при схемі ГУП. Процент заповнення складає 90-95%.

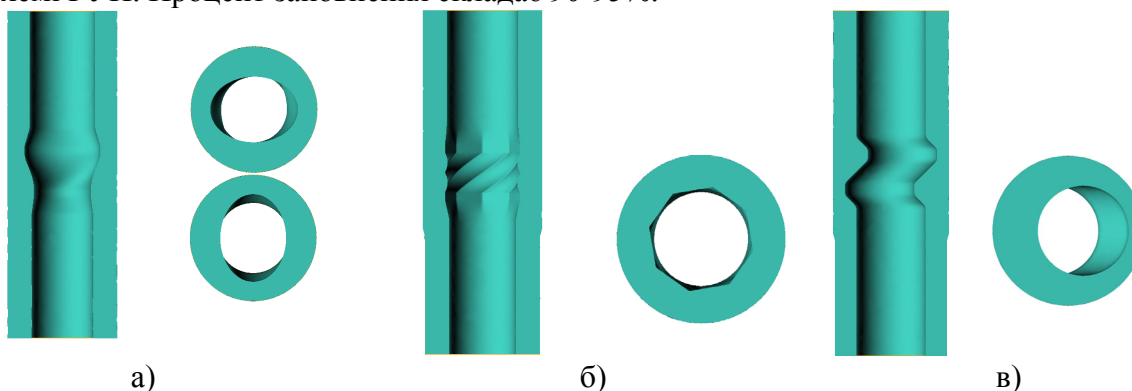


Рис. 1. Схеми пресування а) – ГУП; б) – ПП; в) – БП

При схемі ПП заповнення каналу матриці склало 50-60%. При схемі БП реалізувати схему безперервного пресування не вдалось. Пластичне деформування відбувається на першому кутовому переході. Для заповнення другого кутового переходу потрібно прикладати протитиск гідроциліндром, так як попередня заготовка не створює необхідне зусилля. З огляду на це найбільш ефективною схемою пресування є саме ГУП.

По результатам моделювання (рис. 2) можна говорити, що схема пресування при якій відбувається пластична деформація максимального об'єму метала відповідає схемі ГУП.

Встановлено, що при схемі ПП ефективна пластична деформація матеріалу відбувається біля поверхня заготовки. Глибина розповсюдження деформації складає 1,5-2,5 мм. При схемі ГУП можна говорити про пластичну деформацію матеріалу заготовки по всьому поперечному перерізу заготовки. Найменша пластична деформація відповідає середині заготовки. Глибина розповсюдження пластичної деформації 6-9 мм.

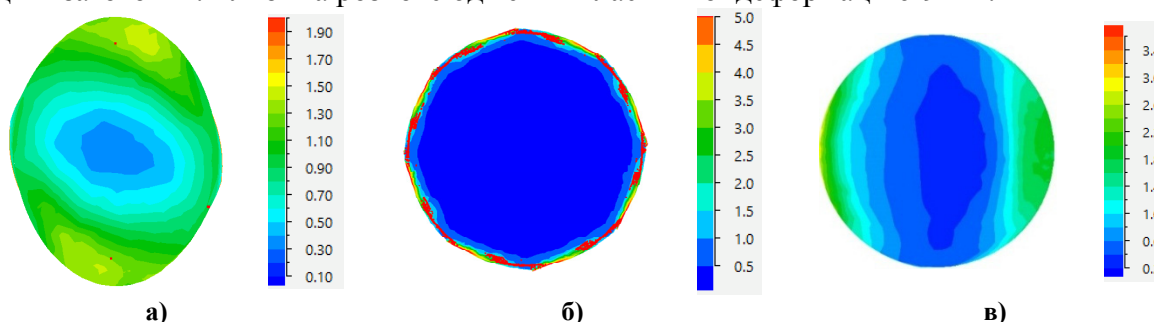


Рис. 2. Розподіл ефективної пластичної деформації  $e_{ef}^p$  в осередку деформування:  
а – УГП; б – ПП; в – БП

Але із-за особливостей каналу матриці, інтенсивна пластична деформація при схемі ГУП (зміна поперечного перерізу матриці коло-еліпс-еліпс(поворот  $90^0$ С)-коло) пропрацювання матеріалу відбуваються з двох сторін заготовки, і під кутом, що відповідає куту зміни поперечного перерізу матриці (рис. 3). Для максимального пропрацювання матеріалу заготовки з метою отримання подрібненої мікроструктури, пресування потрібно робити за два проходи. Також для того, щоб не відбулося повторного деформування тих самих ділянок заготовки, на вході в матрицю заготовку потрібно повертати на  $90^0$  по відношенню до першого проходу заготовки. При дотриманні цієї умови пропрацювання матеріалу заготовки при пресуванні за схемою ГУП буде максимальне. Цієї ж умови потрібно дотримуватись і при пресуванні за схемою БП (рис. 1, в). По схемі ГУП глибина пластичної деформації складає 3-6 мм. Але якщо реалізувати повне заповнення матеріалом двох кутових переходів матриці, то і глибина пластичної деформації матеріалу і величина будуть збільшено. Якщо порівнювати схеми пресування по величині пластичної деформації то найбільш ефективною є схема багатокутового пресування, потім гвинтового уширяючого пресування. Найменш ефективною схемою пресування є схема полігонального пресування.

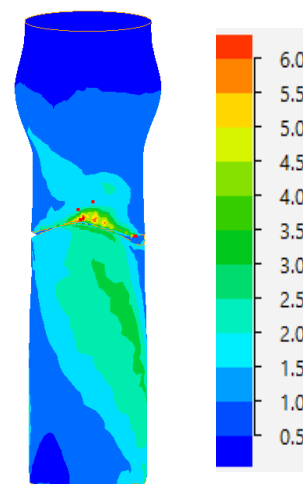


Рис. 3. Пластична деформація заготовки по схемі УГП

#### Список літератури:

1. Фриляндер И. Н. Свойства композиционных материалов и эффективность их применения Композиционные материалы - М.: Наука. 1981. - с. 5-11.
2. The innovation potential of bulk nanostructured materials / R.Z. Valiev, M.J. Zehetbauer, Y. Estrin at al. // Advanced Engineering Materials. – 2007. = V. 9. - № 7. – P. 527-533.
3. The effect of grain refinement by warm equal-channel-angular extrusion on room temperature in magnesium alloy ZK60 / R. Lapavok, P.F. Thomson, B. Cottam // Jour. of Mat. Sc. – 2005. = V. 40.– P. 1699-1708.
4. High pressure effects in severe plastic deformation / V.N. Varykhin, Y. Beygelzimer, V.M. Efros at al.// Физика и техника высоких давлений.- 2004.- том 14, №4, С. 9 - 18.
5. Бейгельзимер Я.Е. Полунепрерывная винтовая экструзия / Я.Е. Бейгельзимер, Д.В. Приленко, С.Г. Сынков // Физика и техника высоких давлений.-2007.- том №17, №2, с. 100-104.
6. Титов В.А. Особенности комплексного процесса изготовления заготовок лопаток из эвтектически упрочненных титановых сплавов / В.А. Титов, Н.К. Злочевская, А.Я. Качан, И.Г. Савчинский, П.С. Вишневикий // Металлург. – 2014. - № 2. - С. 87-92.