

УДК 621.762

Г.А. Баглюк, д.т.н., О.В. Михайлов, к.т.н.  
 Інститут проблем матеріалознавства НАН України

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОЇ ШТАМПОВКИ СПЕЧЕНОЇ КИЛЬЦЕПОДІБНОЇ ЗАГОТОВКИ В НАПІВЗАКРИТОМУ ШТАМПІ

*Методом комп'ютерного моделювання изучены особенности течения материала спеченных порошковых заготовок кольцеобразной формы при штамповке в полузакрытом штампе с внутренним расположением облоя. Рассмотрено влияние начальной пористости заготовок, размера и положения компенсационной щели на величину радиальной деформации материала, распределения пористости и накопленной пластической деформации материала твердой фазы в изделиях. Показано, что характер течения материала и его уплотнение при штамповке изменяется на разных этапах деформирования.*

*Method of computer simulation for investigation of flow particularities of sintered powder material preforms of annular shape at forging in a semiclosed die with internal location of a flash had been applied. Epy Influence of preform initial porosity, size and location of compensation gate on a value of material radial deformation, porosity distribution and accumulated plastic deformation of material solid phase was considered. It is shown, that the nature of material flow and its compaction at forging varies through epy different stages of deformation.*

Розробка технологічних процесів штампування порошкових виробів приводить до необхідності визначення оптимальної форми, розмірів та пористості вихідних заготовок, а також - схеми їх деформування [1, 2].

Як правило, більшість фізико-механічних та експлуатаційних характеристик порошкових матеріалів поліпшується зі зменшенням пористості. У той же час, реалізація схем навантаження, що характеризуються відсутністю відчутних поперечних деформацій (допресовка), не дозволяє одержувати вироби із залишковою пористістю меншою ніж 2 %. Це пояснюється тим, що найбільш інтенсивно закриття пор відбувається при наявності зсувних деформацій [3, 4]. Тому, проектуючи процес штампування порошкових матеріалів, необхідно забезпечити можливість радіального плину матеріалу. У цьому випадку відбувається інтенсивне закриття пор і руйнування оксидних плівок, що дозволяє одержувати високощільні порошкові вироби. Важливо також не допустити появи поверхневих тріщин.

Авторами розроблена технологія одержання методом гарячого штампування в напівзакритому штампі порошкових заготовок роликів привалкової арматури дротого стану 150 (рис. 1), які працюють в умовах підвищених температур, високого абразивного зношування та ударних навантажень.

Для здійснення процесу штампування була спроектована спеціальна конструкція штампа, схема якого наведена на рис. 2. Штамп складається з матриці 1, верхнього пуансона 2, закріпленого на повзуні преса, та нижнього пуансона 3, що опирається на опорну плиту 4, встановлену на робочому столі преса. Верхній і нижній пуансони виконані з осьовими бобишками "а", що мають форму усіченого конуса, таким чином, що їхня загальна довжина на 1-3 мм менше розрахункової висоти поковки.

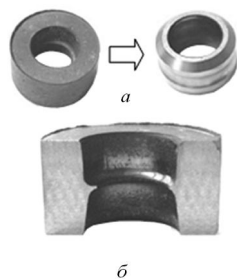


Рис. 1. Рोलик дротого стану: а - поковка та ролік після її механічної обробки;  
 б - радіальний перетин поковки

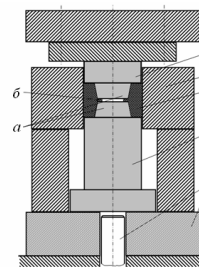


Рис. 2. Схема штампу: 1 - матриця; 2 - верхній пуансон; 3 - нижній пуансон; 4 - опорна плита; 5 - заготовка; 6 - штовхач; "а" - бобишки; "б" - облой

Зменшуваний у процесі осадки зазор між торцевими поверхнями бобишек являє собою ефективний компенсатор надлишку матеріалу заготовки. Внутрішнє розташування компенсатора не створює додаткового опору ущільненню на початкових стадіях штампування, а також сприяє ущільненню матеріалу та заповненню гравюри штампу на завершальному етапі деформації.

При розробці оптимальної технології штампування в напівзакритому штампі виникає цілий ряд проблем. Характер плину матеріалу складний та міняється в процесі деформування. Властивості одержуваних виробів залежать від багатьох факторів. У той же час проведення експериментальних досліджень є трудомістким і дорогим. У зв'язку із цим актуальним є дослідження особливостей плину порошкового матеріалу заготовки в процеси деформування методами комп'ютерного моделювання.

У даній роботі методом комп'ютерного моделювання вивчені особливості плинності матеріалу спечених порошкових заготовок при гарячому штампуванні в напівзакритому штампі. Розглянуто вплив початкової пористості заготовок, розміру та положення компенсаційної щілини на розподіли пористості і накопиченої пластичної деформації матеріалу твердої фази в одержуваних виробках.

Вважалось, що реологічні властивості деформованого матеріалу задовольняють співвідношенням теорії пластичної деформації пористого тіла [5-7]. Рішення відповідних крайових задач виконано на основі методу кінцевих елементів [8, 9].

Кінцеві розміри поковки мали наступні значення: внутрішній діаметр 30 мм, зовнішній діаметр 54 мм, висота 30 мм. Початковий зазор між боковими поверхнями вихідної заготовки та матриці складав 1 мм. Розмір зазору між бобишками приймали рівним 1 мм, 2 мм і 3 мм (у нижньому положенні верхньої половини штампа. Розглядали половину осьового перерізу заготовки (осьова симетрія). Коефіцієнт тертя між заготовкою та інструментом приймали рівним 0,15. Варіювалася початкова пористість заготовок при незмінній масі останніх.

Як показали результати моделювання, характер плинності матеріалу в процесі деформування суттєво міняється. Можна виділити ряд характерних етапів штампування.

На першому етапі відбувається вільне осаджування кільцевої заготовки (внаслідок наявності зазорів між поковкою та інструментом). Матеріал тече в напрямку від центра. Вплив зовнішнього тертя приводить до зміни циліндричності форми заготовки. Зовнішня поверхня приймає опуклу форму, а внутрішня - увігнуту.

Після досягнення контакту з матрицею радіальний плин у напрямку від центра припиняється та відбувається подальше осаджування заготовки з одночасним радіальним плином до центра. Під дією сил тертя спочатку відбувається вирівнювання увігнутої внутрішньої поверхні поковки, після чого вона набуває опуклу форму.

З моменту контакту внутрішньої поверхні поковки з бобишками починається третій етап штампування. Радіальний плин верхньої і нижньої частин заготовки обмежено поверхнями бобишек. У той же час, середня частина заготовки має можливість радіально деформуватися. Поверхня контакту з бобишками в процесі штампування збільшується.

Після того, як бічні поверхні бобишек починають по всій поверхні контактувати з заготовкою, починається заключний етап штампування. На цьому етапі відбувається остаточне ущільнення заготовки з одночасним плином надлишку металу в облою.

Розподіл величини радіальної деформації по об'єму поковки нерівномірний та міняється в процесі штампування (рис. 3). При вільному осаджуванні кільцевої заготовки (перший етап) максимальні величини радіальної деформації спостерігаються у середині внутрішньої поверхні. Біля торців заготовки в області внутрішньої поверхні радіальна деформація мінімальна. Після досягнення контакту з матрицею зони мінімальних значень радіальної деформації розташовані у верхній і нижній частинах заготовки біля зовнішньої поверхні, що контактує з матрицею. Зона максимальних значень розташована в центрі заготовки біля внутрішньої поверхні. На заключному етапі штампування найбільшим радіальним деформаціям піддається метал, що видавлюється в облою.

Ущільнення заготовки на різних етапах штампування має свої особливості. На першому етапі (вільне осаджування) пористість приймає мінімальне значення в середній частині заготовки в області увігнутої внутрішньої поверхні. В області торців спостерігається збільшення пористості від зовнішньої поверхні в напрямку внутрішньої поверхні. Зміна розподілу величини пористості на заключних етапах штампування наведено на рис. 4.

При контакті внутрішньої поверхні поковки з бобишками матеріал інтенсивно ущільнюється в області контакту. Біля зовнішньої поверхні, що контактує з матрицею, максимальне ущільнення матеріалу відбувається в центральній частині заготовки, а мінімальне ущільнення - біля торців.

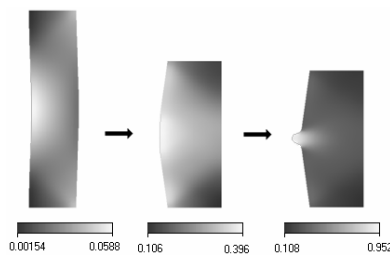


Рис. 3. Розподіл радіальної деформації на послідовних етапах штампування

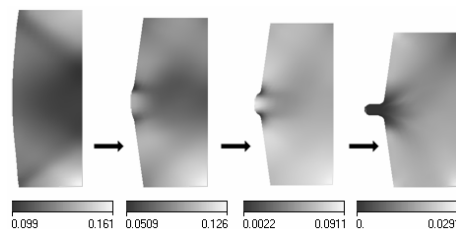


Рис. 4. Розподіл пористості по перетині заготовки на заключних етапах штампування

Зі збільшенням ступеня деформації величина пористості зменшується. Мінімальна пористість - на внутрішній поверхні заготовки біля торцевих поверхонь бобишек. На заключному етапі штампування максимальне ущільнення матеріалу відбувається в області облою. У той же час, на вільній поверхні матеріалу, що видавлюється в облою, спостерігається падіння щільності. На заключній стадії штампування розподіл щільності всередині поковки вирівнюється. Однак, на зовнішній поверхні заготовки величина пористості відрізняється залежно від висоти. У нижній частині вона вище, ніж у верхній частині, що обумовлено впливом зовнішнього тертя.

Розподіл величини накопиченої деформації матеріалу твердої фази подібний до розподілу відносної щільності. На рис. 5 наведений розподіл величини накопиченої деформації на заключних етапах штампування. На зовнішній поверхні заготовки, біля її торців, величина накопиченої деформації мінімальна. Максимальна величина накопиченої деформації твердої фази - в зоні облоя. Зі збільшенням початкової пористості заготовок (при однаковій масі) накопичена деформація матеріалу поковок зростає.

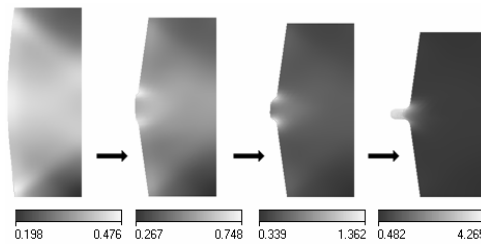


Рис. 5. Розподіл накопиченої деформації твердої фази на заключних етапах штампування

Збільшення товщини компенсаційної щілини полегшує витікання надлишку металу в облой і дозволяє зменшити навантаження на інструмент. Кількість металу, що витікає в облой, зростає, що призводить до зменшення густини одержуваних виробів. Розмір облоя в радіальному напрямку зменшується зі збільшення товщини компенсаційної щілини. При недостатній масі заготовки це може привести до незадовільного ущільнення матеріалу виробу в області в компенсатора.

Розташування компенсатора також впливає на процес ущільнення матеріалу поковки. На рис. 6 наведений розподіл відносної густини для двох конструктивних рішень: розташування компенсатора в середній (а) та верхній (б) частині поковки.

При середньому розташуванні компенсатора розташування зон мінімального ущільнення матеріалу в зовнішньої поверхні поковки в області торців близько до симетричного відносно її серединної горизонтальної поверхні. Однак, наявність зовнішнього тертя призводить до дещо меншого ущільнення нижньої частини заготовки.

Розташування компенсатора у верхній частині поковки призводить до суттєво більш нерівномірного розподілу відносної густини. Нижня частина поковки ущільнюється в меншому ступені.



Рис. 6. Вплив конструкції компенсатора на розподіл відносної щільності:  
а – середнє розташування компенсатора, б – верхнє розташування компенсатора

Таким чином, результати моделювання показали, що характер плинності матеріалу та його ущільнення при штампуванні кільцеподібних пористих заготовок у напівзакритому штампі міняється на різних етапах деформування та залежать як від початкової пористості заготовок, так і розміру компенсаційної щілини та місця розташування компенсатора.

### Список літератури

1. Кун Х.А. Основные принципы штамповки порошковых заготовок // Порошковая металлургия материалов специального назначения. - М.: Металлургия. - 1977. - С.143-158.
2. Баглюк Г.А. Технологические проблемы процессов горячей штамповки пористых заготовок // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія Машинобудування. - №56. - 2009. - С. 93-100.
3. Баглюк Г.А. Повышение эффективности уплотнения пористых заготовок за счет интенсификации сдвиговых деформаций // Реология, структура, властивості порошкових та композиційних матеріалів. Збірник наук. праць. - Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2004. - С. 35-48.
4. Баглюк Г.А. Оптимизация процесів формоутворення при гарячому штампуванні пористих заготовок // Наукові нотатки. Міжвуз. збірник. -Вип.25, ч.ІІ. - Луцьк, 2009. - С. 4-8.
5. Штерн М.Б., Сердюк Г.Г., Максименко Л.А. и др. Феноменологические теории прессования порошков. - Киев: Наук. Думка, 1982. - 140 с.
6. Штерн М.Б. Определяющие уравнения для пластичных пористых тел // Порошковая металлургия. - 1981. - №4 -С. 17-23.
7. Грин Р. Дж. Теория пластичности пористых тел // Механика. - 1973. No. 4. - С.109-120.
8. Михайлов О.В. Интегрированная система компьютерного моделирования процессов обработки порошковых изделий давлением // Порошковая металлургия. - 1995. - № 9/10. - С. 99-104.
9. Shtern M., Mikhailov O. Defects Formation in Die Compaction: Prediction and Numerical Analysis, Proceeding of Powder Metallurgy European Congress, 22 - 24 October, 2001, Nice, France. - Vol.3. - P. 50-57.