

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК В ШТАМПЕ С КОЛЬЦЕВЫМ КОНИЧЕСКИМ КОМПЕНСАТОРОМ

Представлені результати числового моделювання процесу гарячого штампування пористих заготовок в закритому штампі з кільцевим конічним компенсатором. Відмічена істотна відмінність характеру розподілу деформацій і густини по перетину заготовки на різних стадіях процесу. Показано, що максимальні значення як осьової, так і радіальної деформації, а також проміжних значень густини концентруються в зоні, що прилягає до області розташування компенсаційної щілини.

The results of porous preforms hot forging in a closed die with cone-shaped flash gouge numeric simulation are presented. Essential difference in the nature of deformation and density distribution over forged piece cross-section on different stages of the process had been distinguished. It is shown, that that maximum values of both axial and radial deformation, as well as density interjacent values are concentrated in a zone, adjacent to the area of compensation aperture location.

Применение схем штамповки с элементами истечения, т.е. в штампах с компенсационными полостями, куда происходит частичное истечения избытка материала заготовки на завершающей стадии процесса уплотнения, позволяет регулировать распределение плотности в объеме заготовки и получать беспористый материал путем изменения граничных условий деформации в зонах затрудненной деформации [1-3].

Конструкции и расположение компенсаторов могут быть различными, однако необходимо учитывать общее требование, заключающееся в том, что расположение компенсаторов должно обеспечивать заполнение магазина только на конечной стадии деформации поковки (после завершения заполнения полости матрицы), а площадь поперечного сечения компенсационных полостей должна быть существенно меньше площади поперечного сечения полости штампа с целью создания повышенного сопротивления вытеканию металла в облой.

Отмеченные требования были реализованы в разработанной конструкции штампа для горячей штамповки порошковых заготовок [4]. Конструкция штампа предусматривает наличие кольцевого конического компенсатора, обеспечивающего возможность истечения избытка металла на завершающей стадии процесса уплотнения.

Эффективная реализация предложенной схемы штамповки возможна только на основе исследования основных закономерностей течения материала на всех стадиях процесса и последующей оптимизации основных конструктивных параметров инструмента.

Исследование процесса штамповки пористых заготовок в штампе с конусообразным компенсатором выполнено методом компьютерного моделирования. При построении модели использовали соотношения теории пластичности пористых тел [5-9]. Определение полей плотности, напряжений и скоростей деформации проводилось на основе метода конечных элементов [10, 11].

Расчетная схема штамповки приведена на рис. 1. В качестве исходной заготовки принималась полая цилиндрическая прессовка с пористостью 25 %. Исходные граничные условия модели технологического процесса предусматривали наличие на начальном этапе радиального зазора между заготовкой 5 и стенкой матрицы 4, а также заготовкой и иглой 3 штампа. Коэффициент трения между заготовкой и инструментом принимали равным 0,2.

Процесс штамповки проходит в несколько этапов. На первом этапе, вследствие наличия начального зазора между боковой поверхностью заготовки и матрицей, происходит течение материала в направлении от центра, сопровождающееся искажением исходной цилиндрической формы заготовки и уменьшением зазора между боковой поверхностью заготовки и стенкой матрицы (рис. 2, а). Наружная поверхность заготовки приобретает выпуклую форму (рис. 2, б).

Зазор между заготовкой и иглой на начальном этапе деформирования уменьшается незначительно и, только после

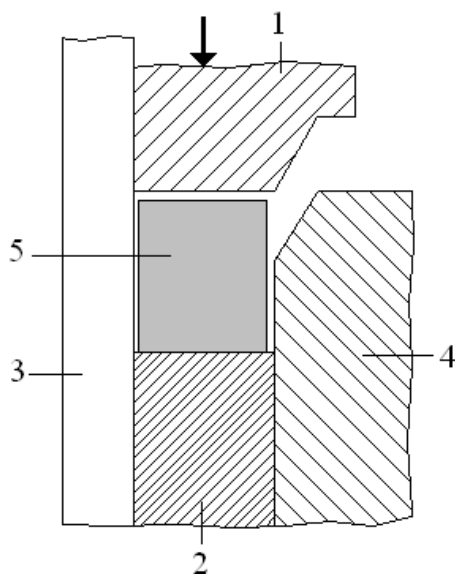


Рис. 1. Расчетная схема процесса штамповки:
1 - верхний пуансон; 2- нижний пуансон; 3 - игла;
4 - матрица; 5 - заготовка

касания заготовкой стенки матрицы, начинается заметное радиальное центростремительное движение материала поковки (рис. 2, б, в). На заключительном этапе деформации происходит заполнение всего объема полости матрицы (рис. 2, в), а начало выдавливания излишка материала заготовки в облой начинается только после полного заполнения объема матрицы и уплотнения заготовки (рис. 2, г).

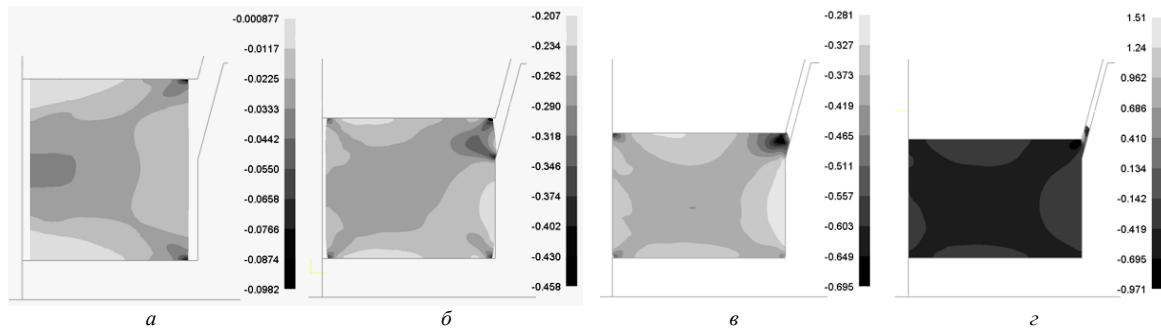


Рис. 2. Распределение осевой деформации по сечению заготовки на разных стадиях деформации

Характер течения металла предопределяет особенности распределения по сечению осевой ε_z (рис. 2) и радиальной ε_r (рис. 3) деформаций на разных этапах процесса. Начальная стадия штамповки характеризуется наличием зоны с повышенным уровнем значений ε_z и ε_r в центральной части осевого сечения заготовки (рис. 2, а и рис. 3, а соответственно).

После касания боковой поверхности заготовки стенки матрицы объем зоны с максимальной осевой деформацией увеличивается с очевидной тенденцией вытягивания в диагональном направлении в сторону компенсационной щели; при этом, максимальные значения ε_z проявляются в области, непосредственно примыкающей к ней. Небольшие по объему вытянутые в диагональном направлении участки с повышенными значениями ε_z проявляются на этом этапе также и в глухих угловых зонах поковки (рис. 2, б, в). На заключительном этапе штамповки величина осевой деформации практически выравнивается по объему поковки, однако в контактной зоне, прилегающей к стенке матрицы, формируется тонкий участок с пониженным значением ε_z (рис. 2, г), образующийся в результате интенсивного течения избытка металла в коническую компенсационную щель в направлении, противоположном направлению движения пуансона.

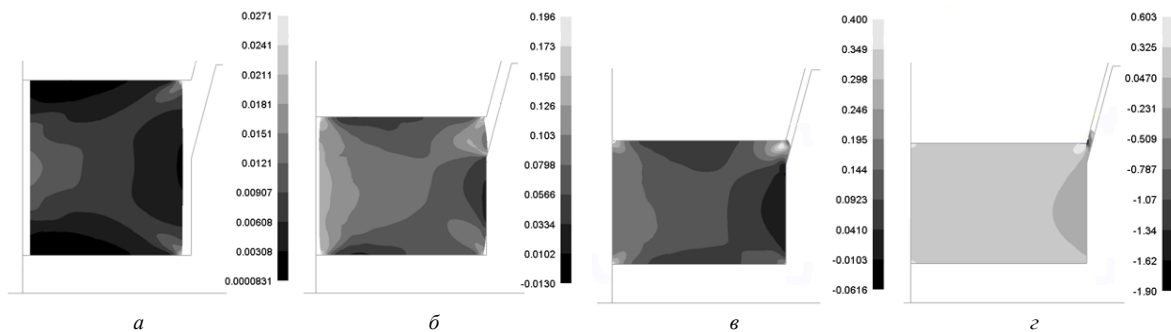


Рис. 3. Распределение радиальной деформации по сечению заготовки на разных стадиях деформации

При анализе эпюр распределения радиальных деформаций на разных этапах штамповки обращает на себя внимание отчетливо выраженный эффект формирования (рис. 3, а) и последующего расширения в радиальном направлении (рис. 3, б, в) конусообразной зоны повышенных значений ε_r , примыкающей к осевому стержню и обращенной вершиной конуса к стенке матрицы.

Аналогичная по форме, однако с противоположным направлением конусности, зона пониженных значений ε_r формируется в области контакта деформируемой поковки со стенкой матрицы, при этом, локальные величины ε_r в этой зоне приобретают даже отрицательное значение (рис. 3, б, в). В зонах, контактирующих с верхним и нижним пуансонами, формируются участки с пониженными значениями радиальной деформации вследствие влияния сил контактного трения. Максимальная величина радиальной деформации, как и осевой деформации, наблюдается в области компенсационной щели.

Исследование особенностей распределения плотности по сечению заготовки на разных этапах деформации показывает, что на первой стадии штамповки, когда реализуется осадка заготовки в матрице с поперечным центробежным течением материала, формируется существенная разнородность по объему, достигающая 5 %, с зоной пониженной плотности в области, примыкающей к боковой поверхности поковки (рис. 4, а, б), образующейся в результате действия на свободных боковых поверхностях поковки растягивающих напряжений вследствие контактного трения по торцевым поверхностям инструмента. Максимальные значения плотности на первых стадиях процесса (до касания заготовкой стенок матрицы) проявляются в области, прилегающей к свободной внутренней поверхности кольцевой поковки.

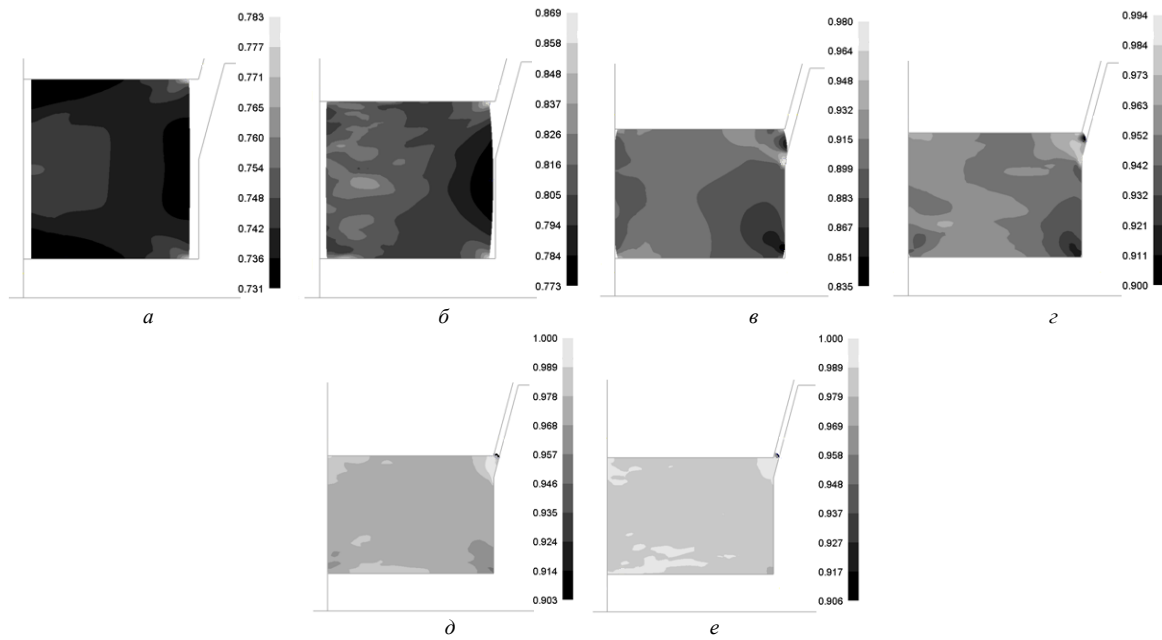


Рис. 4. Распределение относительной плотности по сечению заготовки на разных стадиях деформации

После заполнения полости матрицы характер распределения плотности по объему изменяется – зона максимальной плотности перемещается в верхнюю часть поковки поковки, прилегающей к верхнему пуансону, а максимальная пористость наблюдается в нижнем углу поковки, контактирующем со стенкой матрицы (рис. 4, в), что обусловлено влиянием контактного трения материала поковки о боковую поверхность полости матрицы. На заключительной стадии штамповки заготовка практически полностью доуплотняется (локальная пористость не превышает 1 %) и начинается выдавливание избытка материала заготовки в облойную канавку (рис.4, д, е).

Результаты исследований, полученные методом компьютерного моделирования, были использованы при разработке технологии горячей штамповки пористых заготовок дисковых шпоночных фрез из газораспыленного порошка стали P6M5K5.

Список литературы

1. Павлов В.А., Носенко М.И. Исследование процессов горячей деформации пористых заготовок из порошков титана, меди, алюминия и их оптимизация // Порошковая металлургия. – 1993. – №9/10. – С.23-28.
2. Павлов В.А., Носенко М.И. Влияние деформированного состояния на уплотнение порошковых металлов при горячей штамповке // Порошковая металлургия. -1992. -№2. –С.8-12.
3. Баглюк Г.А. Уплотнение пористого материала при горячей штамповке в закрытом штампе с компенсатором // Порошковая металлургия. – 1998. – № 5/6. – С.14-18.
4. Пат. 29502 (Україна). Штамп для горячої штамповки порошковых заготовок / Баглюк Г.А., Позняк Л.О., Мажарова Г.Ю., Капля С.М. – 15.11.2000. – Бюл. №6.
5. Грин Р.Дж. Теория пластичности пористых тел // Механика, 1973, № 4, с. 109-120
6. Мартынова И.Ф., Штерн М.Б. Уравнение пластичности пористых тел, учитывающие истинные деформации металла основы // Порошковая металлургия. – 1978. – № 1. – С. 23-29
7. Скороход В.В., Тучинский Л.И. К вопросу об энергозатратах на уплотнение пористых тел. – Порошковая металлургия. – 1978. – № 9. – С. 16-21
8. Петросян Г.Л. О теории пластичности пористых тел // Изв. Вузов. Сер. Машиностроение. – 1977. – № 5. – С. 10-14
9. Shima S., Oyane M. Plasticity theory for porous metals // Jut. Y. Mech. Sciences. – 1976. – V.18. – № 6. – P. 285-291
10. Kobayashi Sh., Oh S.-I., Altan T. Metal forming and the finite-element method. – New York, Oxford: Oxford University Press, 1989. – 377 p.
11. Михайлов О.В. Интегрированная система компьютерного моделирования процессов обработки порошковых изделий давлением // Порошковая металлургия.- 1995.- № 9/10. - С. 99-104.