

УДК 621.762

Г.А.Баглюк, д-р техн.наук

НТУ України "Київський політехнічний інститут" г.Київ, Україна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК

В оглядовій роботі наведений аналіз впливу основних технологічних параметрів і конструктивних схем гарячого штампування пористих заготовок на структуру та властивості одержуваних матеріалів, а також енергосилові характеристики процесу. Показано ефективність зсувних схем деформації.

In the review work the analysis of influence the basic technological parameters and hot forging of porous preforms constructive schemes on structure and properties of the produced materials, as well as energy-power process characteristics, is resulted. The efficiency of shift schemes of deformation is shown.

Поскольку большинство эксплуатационных характеристик порошковых материалов, как правило, улучшается с уменьшением пористости, достижение ее минимальных значений является одной из основных задач при реализации большинства процессов порошковой металлургии. Наиболее благоприятные условия предельного уплотнения порошковых материалов достигаются при использовании методов, основанных на горячей обработке давлением пористых порошковых заготовок. Помимо предельной плотности, полученные, этими методами материалы обладают другими специфическими особенностями – наследственной мелкозернистостью, регулируемой химической и структурной неоднородностью, многообразием используемых при их получении компонентов и т.д.

Среди многочисленных вариантов технологии горячей обработки давлением особое место принадлежит методам горячей штамповки пористых заготовок (ГШПЗ) [1, 2].

Уплотнение при горячей штамповке пористых заготовок (ГШПЗ) складывается из значительно более многообразных, протекающих последовательно или взаимно накладывающихся процессов и превращений в обрабатываемом порошковом материале по сравнению с другими способами обработки давлением порошковых материалов. При этом, метод ГШПЗ, имея много общего с другими способами обработки давлением порошковых материалов, имеет целый ряд существенных отличий.

При реализации метода ГШПЗ принято считать, что уплотнение материала должно обеспечивать "практически беспористое его состояние". Однако, существует мнение [3], что это не всегда целесообразно. Так, с точки зрения достижения наиболее высоких механических характеристик, может быть допущена пористость в пределах 2 - 3 % [1]. Даже для изделий, работающих в условиях абразивного износа, минимальный уровень пористости необходим только в поверхностном слое, а внутренние слои могут обладать некоторой пористостью [3]. Таким образом, целью уплотнения при ГШПЗ в оптимальном случае является достижение требуемого распределения пор в объеме заготовки, которые должны иметь заданную конфигурацию и размеры.

Формирование компактного материала из обособленных частиц порошка заключается не только в уменьшении пористости тела и увеличении его контактного сечения. Не менее важную роль играет качество контакта, определяемое наличием металлической связи между поверхностными атомами контактирующих частиц или образованием между ними границ со структурой, соответствующей межкристаллитным границам. Интенсивная пластическая деформация металла в зоне контактных поверхностей частиц приводит к разрушению оксидной пленки и способствует в целом образованию качественного металлического контакта, т.е. сращиванию частиц [2, 4].

Разработка технологии горячей штамповки пористых материалов в каждом конкретном случае в значительной мере основывается на решении одной из центральных проблем технологии - определении оптимальных формы, размеров и пористости заготовок под штамповку, а также схемы деформации [5], т.к. указанные параметры не только определяют технологичность и технико-экономическую эффективность процесса, но и в значительной мере - качество поковки.

В рамках решения указанных задач, в особенности для деталей сложной формы, встает выбор между изготовлением заготовки близкой к форме поковки и ее последующей горячей допрессовки до конечных размеров и плотности, или изготовлением заготовки простой геометрии и реализации при штамповке значительных поперечных деформаций для получения конечной формы поковки. В практике ГШПЗ первый метод нашел значительно более широкое применение, так как при использовании схем штамповки, которые обеспечивают быстрый переход от схемы одноосного сжатия к схеме неравномерного всестороннего сжатия уменьшается вероятность появления трещин на боковой поверхности заготовок [5]. Однако, в этой работе, так же, как и в [6], указывается, что при реализации такой схемы нагружения изделия, полученные допрессовкой при отсутствии ощутимых поперечных деформаций, обычно имеют остаточную пористость около 2 %. Это объясняется тем, что наиболее интенсивно закрытие пор происходит при сдвиговых деформациях, а при обычной горячей допрессовке в закрытом штампе сдвиговые деформации сведены, как правило, к минимуму.

Кроме того, исследования ряда авторов [7, 8] показывают, что в порошковых штамповках имеются зоны затрудненной деформации, аналогичные наблюдаемым при осадке компактных материалов. Это обстоятельство предопределяет наличие неравноплотности в объеме штампуемого изделия.

Таким образом, указанные факторы приводят к выводу о необходимости выбора такой формы заготовки под штамповку, чтобы в процессе штамповки реализовались максимальные сдвиговые деформации. При перераспределении нагретого порошкового материала за счет сдвиговых деформаций интенсивно закрываются поры и разрываются окисные пленки, что обеспечивает получение высокой плотности порошковых поковок при некотором снижении удельных усилий процесса [9-11].

Однако, в соответствии с [6], форма и размеры заготовок должны быть такими, чтобы расширяющиеся поверхности деформируемой заготовки достигали бы боковых стенок штампа до момента образования поверхностных трещин. Таким образом, для

выбора оптимальной формы заготовок необходима оценка технологической пластичности материалов, которые подвергаются деформированию. В качестве критерия деформационной способности материала при штамповке осесимметричных заготовок в закрытом штампе принимают максимальное отношение диаметра матрицы D к начальному диаметру d_o заготовки, при котором на ее боковой поверхности, на конечной стадии осадки не появляются трещины [12]. Важное значение при разработке техпроцесса ГШПЗ имеет знание соотношений между уплотнением и формоизменением заготовки в процессе штамповки для разных материалов, начальных значений пористости и схем деформирования. Уплотнение при горячей осадке более интенсивное на начальной стадии деформации, когда пористость осаживаемой заготовки выше и поперечное течение почти отсутствует [13, 14]. Рассматриваемый эффект представляется положительным с точки зрения технологии штамповки, т.к. на начальном этапе деформации в закрытой матрице это снижает отрицательное действие сил трения о стенки матрицы.

В настоящее время опубликовано ограниченное число работ, посвященных исследованию указанных вопросов, причем исследовались главным образом, только простейшие схемы нагружения – свободная осадка [12, 14, 15], доуплотнение в жесткой цилиндрической матрице [5, 12, 16, 13] и др. Так, авторы [14], исследуя свободную осадку цилиндрических образцов, установили, что по мере уменьшения отношения h_k/d_o осаживаемого образца, где h_k – высота полностью уплотненной заготовки диаметром d_o , радиальная деформация $\Delta d/d_o$ уменьшается, что объясняется влиянием трения контактных поверхностей осаживаемого образца о плоскости бойков, а уплотнение образца при одном и том же значении степени осевой деформации увеличивается.

В работе [17] исследовались процессы заполнения матрицы и уплотнения при горячей штамповке пористых заготовок осадкой в закрытой цилиндрической матрице. Распределение плотности по радиальному сечению заготовки на различных этапах штамповки определяли путем замера твердости в различных точках сечения на отоженных после штамповки заготовках. При штамповке заготовок осадкой в закрытом штампе на начальной стадии происходит радиальное течение материала до касания стенок матрицы с незначительным увеличением плотности. На второй стадии процесса наблюдается рост неравноплотности с образованием "мертвых зон" в нижних углах матрицы в следствии трения материала о стенки матрицы и охлаждения нижнего торца заготовки от холодного нижнего пуансона. После этого происходит окончательное доуплотнение заготовки и выравнивание плотности по сечению.

При горячей штамповке с элементами выдавливания наблюдается более сложная картина деформации [17, 18]. На начальном этапе штамповки, когда материал еще достаточно пористый, происходит, главным образом, его доуплотнение без значительного выдавливания в нижнюю полость штампа. С повышением плотности материала увеличивается интенсивность выдавливания. При этом, в объеме заготовки под выдавливаемым отростком образуется зона повышенной пористости, диаметр которой приблизительно равен диаметру отростка, а ее высота зависит от соотношения диа-

метра заготовки и выдавливаемого отростка: при большом диаметре отростка зона разуплотнения проходит через всю высоту заготовки. На поздней стадии процесса происходит окончательное доуплотнение заготовки с образованием в центре поковки наиболее плотной зоны, что объясняется, по мнению авторов [17] эффектом разницы температур по сечению и адиабатическим разогревом материала в центре вследствие больших сдвиговых деформаций.

Анализ указанных работ подтверждает вывод, сделанный в [19] при теоретическом исследовании процесса экструзии пористого материала, который состоит в том, что на начальной стадии процессов деформирования пористых заготовок, происходит интенсивное их уплотнение без значительного формоизменения. При достижении некоторых критических значений плотности уплотнение заготовки резко замедляется, и деформация осуществляется главным образом за счет изменения формы.

Одной из важных задач при разработке и исследовании процессов горячей штамповки является определение их энергосиловых параметров.

Известно, что процесс горячей пластической деформации металлов сопровождается двумя параллельно протекающими процессами: наклепом частиц материала и их рекристаллизацией. Степень влияния каждого из этих факторов на энергосиловые условия горячей штамповки пористых заготовок определяется их исходной пористостью и температурно-скоростными условиями процесса [20]. В работах [12, 21] приведены сравнительные результаты исследования энергосиловых параметров горячей штамповки при различных начальных значениях пористости и скоростей деформирования на кривошипном прессе и молоте. Во всех случаях работа деформации и усилие при штамповке на молоте больше, чем в случае штамповки на прессе при одинаковых значениях пористости заготовок, и, наоборот, увеличение скорости деформации приводит к уменьшению плотности прессовок при одинаковой работе уплотнения [22]. Это объясняется тем, что при высоких скоростях деформации наблюдается отставание разупрочняющего процесса (рекристаллизации) от упрочняющего (наклепа), т.к. рекристаллизация протекает не мгновенно и не всегда успевает завершиться во время деформации при большой её скорости.

При горячей штамповке на прессе с уменьшением начальной пористости заготовок θ_0 давление уплотнения, необходимое для получения прессовок одинаковой плотности, снижается [21], что может быть объяснено уменьшением степени деформации материала при снижении θ_0 . Уменьшение же степени деформации, в свою очередь, приводит к снижению степени горячего наклепа.

Анализ результатов исследований штамповки пористых заготовок на молоте разных авторов приводит к противоречивым выводам в отношении влияния начальной пористости заготовок на усилие деформации. Так, если в работе [12] усилие деформации (так же как и при штамповке на прессе) растёт с увеличением θ_0 , то авторы [21] указывают на обратный характер зависимости: с уменьшением θ_0 давления возрастают, несмотря на снижение степени деформации и работы уплотнения.

Снижение температуры горячей штамповки уменьшает влияние скорости на плотность прессовок при одинаковой работе уплотнения [22]. Повышение же темпера-

туры, увеличивая пластичность материала и уменьшая его сопротивление деформированию, способствует повышению плотности при аналогичных условиях деформирования.

Наряду с известными теоретическими и экспериментальными исследованиями собственно процессов горячего уплотнения пористых порошковых материалов при штамповке, был проведен обширный комплекс исследований, посвященных изучению влияния параметров ГШПЗ на структуру и свойства получаемых материалов.

Наиболее широкое применение методы ГШПЗ нашли для получения изделий из порошков на основе сплавов железа, при этом получаемые материалы по своим свойствам зачастую не уступают, а в ряде случаев и превосходят компактные материалы аналогичного состава, получаемые обычными металлургическими методами [1, 2, 23, 24].

В работах [25, 26] приведены результаты исследований свойств пористых нержавеющей сталей х23н18 и х25, полученных методом ГШПЗ из предварительно легированных порошков. Анализ полученных результатов показывает, что горячая штамповка без предварительного спекания заготовок или диффузного отжига поковок наиболее часто не позволяет получать плотные изделия с высокими физико-механическими свойствами. Предварительное же спекание или диффузионный отжиг позволяет существенно повысить прочностные, пластические и коррозионные характеристики порошковых сталей.

Существенное влияние на структуру и свойства, а также степень разнотерности порошковых материалов, полученных ГШПЗ, оказывает исходная пористость заготовок и степень деформации частиц материала при штамповке. Так, авторы работы [27], указывая на ухудшение свойств горячештампованных материалов с уменьшением исходной пористости заготовок, связывают это, главным образом, с худшими условиями довосстановления оксидов при нагревании под штамповку в среде водорода для заготовок с более низкой пористостью, а также большей неоднородностью их пластической деформации. При уплотнении заготовок с низкой пористостью (при θ_0 5-9%) структура горячештампованного материала грубозернистая и неоднородная, что значительно снижает его механические свойства [28].

Одной из особенностей микроструктуры горячештампованных порошковых материалов является разнотерность структур центральной и периферийной зон образцов: по мере приближения к центральной части образцов размер зерен увеличивается [29, 30]. Авторы [30] объясняют это тем, что первичная рекристаллизация здесь идет полнее, так как скорость охлаждения намного меньше, чем в периферийной зоне. При этом, с повышением температуры горячей штамповки разнотерность зон уменьшается.

Механические свойства горячештампованных порошковых сталей существенным образом зависят также от гранулометрического состава исходных порошков: наиболее высокий уровень механических свойств наблюдается в сталях, изготовленных из мелких порошков [31].

Исследование влияния конструктивной схемы горячей штамповки на структуру и свойства получаемых материалов [32] показало, что открытая горячая штамповка

неспеченных заготовок, приближенных по форме к готовому изделию, приводит к получению относительно низких механических свойств материала вследствие грубых дефектов структуры. Заметное повышение свойств достигается путем реализации схем нагружения, обеспечивающих интенсивные сдвиговые деформации, в частности – штамповка выдавливанием [32, 33]. В связи с этим довольно актуальными становятся вопросы разработки новых, исследование и совершенствование известных эффективных схем деформирования и конструктивных решений для их реализации. Так, авторы работы [33] предложили метод штамповки заготовок из порошка титана выдавливанием с противодавлением (подпором). Предложенный метод позволяет получать из порошковых материалов изделия сложной формы со свойствами, которые мало отличаются от свойств аналогичных изделий из монолитного титана.

Усовершенствование технологических процессов горячей штамповки пористых заготовок позволило в значительной степени расширить потенциальные области применения этой технологии. Так, если в предыдущие десятилетия метод ГШПЗ ограничивался, главным образом, получением низколегированных сплавов на основе железа [1, 2, 22, 27], меди и ее сплавов [34, 35] и титана [8-11], то в последние годы появилось ряд публикаций, показывающих высокую эффективность горячей штамповки для изготовления изделий из порошковых быстрорежущих сталей [36], износостойких композитов на основе легированной стали с карбидом титана [37, 38] или нержавеющей сталей с добавками карбида хрома и дисульфида молибдена [39], композитов электротехнического назначения системы Cu-Cr [40] и др.

Список литературы

1. Дорофеев Ю.Г., Гасанов Б.Г., Дорофеев В.Ю. и др. Промышленная технология горячего прессования порошковых изделий. - М.: Металлургия, 1990. – 206 с.
2. Hendrickson A. A., Machmeier P. M., Smith D. W. Impact forging of sintered steel preforms // Powder Metallurgy. – 2000. – Vol.43, No.4. – P.327-344.
3. Дорофеев Ю.Г. Особенности уплотнения порошковых материалов при динамическом горячем прессовании // Реологические модели и процессы деформирования пористых порошковых и композиционных материалов. – Киев: Наук. думка, 1985. – С.136-145.
4. Дорофеев Ю.Г., Дорофеев В.Ю., Егоров С.Н. и др. Сращивание на контактных поверхностях при различных технологических вариантах горячей обработки давлением порошковых материалов // Порошковая металлургия. –1986. -№10. – С.31-34.
5. Кун Х.А. Основные принципы штамповки порошковых заготовок // Порошковая металлургия материалов специального назначения. – М.: Металлургия. –1977. -С.143-158.
6. Антес Х.В. Технология изготовления и свойства порошковых поковок // Порошковая металлургия материалов специального назначения. – М.: Металлургия, 1977. -С.159-197.
7. Бокштигель Г. Некоторые технологические вопросы горячей деформации порошковых заготовок // Порошковая металлургия. –Минск: Вышэйшая школа, 1977, Вып.1. – С.75-81.
8. Павлов В.А., Ляшенко А.П. Исследование влияния течения порошкового металла в процессе горячей штамповки на плотность и структуру горячештампованного порошкового титана // Порошковые конструкционные, антифрикционные и фрикционные материалы. –Киев: ИПМ АН УССР, 1983.–С.77-82.
9. Ляшенко А.П., Павлов В.А., Богуслаев В.А. и др. Получение порошковых материалов из титана методом горячей штамповки // Порошковая металлургия. – 1984. - №11. - С.39-44.
10. Павлов В.А., Носенко М.И. Влияние горячей деформации на формирование структуры и свойств порошковых металлов // Там же. –1988. - №2. – С.16-20.
11. Павлов В.А., Носенко М.И. Исследование горячей деформации и уплотнения порошковых металлов // Там же. – 1988. - №1. – С.1-6.
12. Guest T.L., Negm M., Davies R. Metal Flow and Densification in the Die forging of porous preforms // Powder Metallurgy. – 1973. – v.13, No. 32. – P.314-326.

13. Fishmelster N.F., Aren B., Easterling K.E. Deformation and densification of porous preforms in hot forging // Powder Metallurgy. – 1971. – v.14, No. 27. – P.144-163.
14. Дорофеев Ю.Г., Синельщиков В.В. Особенности деформации и трещинообразования нагретых цилиндрических порошковых заготовок // Порошковая металлургия. – 1980. – №1. – С.25÷30
15. Гончаренко Г.Е., Филипович Е.П., Дорошкевич Е.А. Исследование процесса осадки спеченных заготовок // Металлургия. – Вып.8. Минск, 1976. – С.151-155.
16. Павлов В.А., Ляшенко А.П., Богуслаев В.А., Аврунина Г.В. Влияние степени деформации и температуры штамповки на структуру и свойства изделий из порошкового титана // Порошковая металлургия. – 1984. – № 12. – С.90-93.
17. Sjöberg G., Mironov V., Fischmeister H.E. Die-Filling and Densification in Hot Extrusion Forging of Porous Preforms // Powder Metallurgy Int. – 1977. – vol.9, No. 4. – P.160-163.
18. Hung-Kuk Oh, Jeong – Keun Lee. A study of the extrusion of sintered porous metal // J. Mech. Technol. – 1985. – vol.11, No 1. – P.53-69.
19. Друянов Б.Ф., Пирумов А.Р. Исследование процесса экструзии пористого материала // Вестник машиностроения. – 1980. – № 9. – С.61÷62.
20. Баглюк Г.А., Мажарова Г.Е., Позняк Л.А. Развитие работ в области горячей штамповки пористых порошковых заготовок. – Киев: ИПМ АН УССР, 1986. – 27 с.
21. Дорофеев Ю.Г., Костенко А.В., Кособоков И.А. Влияние исходной пористости порошковых заготовок на энергосиловые параметры динамического горячего прессования // Горячее прессование в порошковой металлургии. – Новочеркасск: НПИ, 1981. – С.3-8.
22. Пруцаков В.Т., Ермак А.И. Влияние скорости динамического горячего прессования железного порошка на энергетику процесса, структуру и свойства прессовок // Горячее прессование. – Киев: ИПМ АН УССР, 1973. – С.75-80.
23. Huppmann W.J., Broun G.T. The steel powder – forging process – a general review // Powder Metallurgy. – 1978. – vol.21, N 2. – P.105-112.
24. Skelly H.M. Some mechanical properties of powder forged iron alloy mixtures // Powder Metallurgy. – 1979. – vol.22, No. 2. – P.41-44.
25. Радомысельский И.Д., Напара-Волгина С.Г., Орлова Л.Н. и др. Структура, механические и коррозионные свойства порошковой нержавеющей стали марки Х23Н18 // Порошковая металлургия. – 1983. – № 1. – С.43-49.
26. Нельзина И.В., Заплата Ф.В., Радомысельский И.Д. Свойства порошковой нержавеющей стали Х25, полученной методом горячей штамповки // Порошковая металлургия. – 1984. – № 1. – С.35-39.
27. Дорофеев Ю.Г., Жердицкий Н.Т., Мищенко В.Н., Дмитровский В.Н. Влияние пористости исходной заготовки на свойства и структуру материала после динамического горячего прессования // Порошковая металлургия. – 1974. – № 2. – С.81-86.
28. Гасанов Б.Н., Пруцаков В.Т. Влияние степени деформации частиц металла при ДГП на размер зерна порошкового железа // Горячее прессование в порошковой металлургии. – Новочеркасск: НПИ, 1978. – С.10÷14.
29. Павлов В.А., Живов Л.И., Щербина В.В. и др. Горячая объемная штамповка порошка титана // Порошковая металлургия. – 1973. – № 8. – С.15-19.
30. Попов С.Н., Егоров С.Н., Ермак А.И. Взаимосвязь особенностей микроструктуры с механическими свойствами материала, полученного методом динамического горячего прессования // Горячее прессование. – Киев: ИПМ АН УССР, 1977. – С.106-112.
31. Дорофеев Ю.Г., Жердицкий Н.Т., Цыркин А.Т. Свойства металлокерамических железоуглеродистых сталей // Металлокерамические конструкционные материалы, – Киев: ИПМ АН УССР, 1972. – С.99-102.
32. Живов Л.И., Сыпко А.В., Долгий Н.И. Опыт штамповки изделий из порошка титана // Кузнечно-штамповочное производство. – 1975. – № 3. – С.47.
33. Сыпко А.В., Долгий Н.И., Гаврилов-Крямичев Н.Л. Динамическая штамповка изделий из порошка с противодавлением // Порошковая металлургия. – 1978. – № 7. – С.98-101.
34. Evans R.W., McColvin G.M. Hot-forged copper powder compacts // Powder Metallurgy. – 1976, 19. – №4. – P.202-209.
35. Радомысельский И.Д., Баглюк Г.А., Мажарова Г.Е. Получение и свойства порошковых конструкционных материалов на основе латуни // Порошковая металлургия. – 1984. – №3. – С.56-64.
36. Баглюк Г.А. Горячая штамповка порошковых быстрорежущих сталей // порошковая металлургия. – 2005. – №9/10. – с.16-20.
37. Баглюк Г.А., Мартюхин и.д., Павлыго Т.М. и др. Горячая штамповка карбидосталей // наукові нотатки. – міжвуз. збірн. (за напрямком “інженерна механіка”). – вип. 20. – луцьк, 2007. – с.14-19.

38. Narayanasamy R., Senthilkumar V., Pandey K.S. Some features on hot forging of powder metallurgy sintered high strength 4% titanium carbide composite steel preforms under different stress state conditions // Materials & Design. -2008. –Vol.29, No.7. –P. 1380-1400.

40. Маслюк В.А., Напара-Волгина С.Г., Орлова Л.Н. и др. Горячештампованные износостойкие порошковые материалы на основе нержавеющей сталей аустенитного класса // Порошковая металлургия. -2006. -№1/2. –С.26-35.

41. Хоменко Е.В., Баглюк Г.А., Минакова Р.В. Влияние термической и химико-термомеханической обработки на формирование структуры и свойств композиций си-ст электротехнического назначения //international conference “electrical contacts and electrodes”, 23-28 september, 2007. –kiev, 2007. –с.24-25.

УДК. 621.73

В.Л. Калюжний, д-р техн.наук, доц.

НТУ України „Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ

В НТУУ «КПІ» розробтан спеціалізований пакет програм для определения параметров холодной объемной штамповки изделий требуемой формы и заданными механическими свойствами деформированного металла путем моделирования на базе метода конечных элементов. Рассчитанные параметры и конечная геометрия изделия не требуют доработки экспериментальными работами. Показаны примеры разработки технологических процессов изготовления изделий различными методами холодной объемной штамповки.

In NTUU «KPI» the specialized software package is developed for definition of parameters of cold forming of articles of the demanded shape and the set mechanical properties of the deformed metal by simulation on the basis of a finite element method. The calculated parameters and final geometry of an article do not demand finishing by experimental operations. Examples of processes design of manufacture of articles are displayed by various methods of cold forming.

Вступ. Ресурсозберігаючі процеси холодного об'ємного штампування (ХОШ) дозволяють отримувати точні вироби з великою продуктивністю, високим коефіцієнтом використання металу і якісною поверхнею. Завдяки зміцненню і підвищенню механічних властивостей здеформованого металу при холодній деформації відкриваються можливості заміни марки матеріалу виробів на більш дешеві без зміни службових характеристик виробів. Однак визначення параметрів в процесах ХОШ в теперішній час в основному зводиться до розрахунків силових режимів деформування і базується на виробничому досвіді та експериментальних даних [1-2]. Використання універсальних комерційних пакетів програм для моделювання процесів ХОШ методом скінчених елементів (МСЕ) з різними підходами до опису поведінки металу при холодній формозміні [3-4] показало, що мають місце розбіжності чисельних результатів з експериментом по зусиллю деформування на кінцевих стадіях видавлювання та розподілу інтенсивності деформації в здеформованому металі. Зроблено висновок, що використання пакетів ANSYS, LS-DINA, FastForm, DinaForm, NASTRAN, COSMOS для моделювання процесів холодного об'ємного штампування необхідні висококваліфіковані фахівці в цій області для аналізу результатів розрахунків