

В.А. БУРКО, ст. преп., ПГТУ, г. Мариуполь

В.В. КУХАРЬ, канд. техн. наук, доц., ПГТУ, г. Мариуполь

С.А. КОРОТКИЙ, канд. техн. наук, ст. преп., ДГМА, г. Краматорск

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И СИЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКЕ ПОКОВОК ПЛАСТИН

На основе конечно-элементного анализа выполнены наблюдения за изменением интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций при трёхпереходной штамповке типовой поковки пластины с проведением предварительного фасонирования заготовки осадкой выпуклыми продолговатыми плитами. Выполнен сравнительный анализ силовых параметров при деформировании на профилирующем, предварительном и окончательном переходе штамповки.

Ключевые слова: штамповка, профилирование, выпуклые плиты, напряжения, деформации, сила

На основі скінчено-елементного аналізу виконане відстеження зміни інтенсивності напружень та інтенсивності деформацій при трьохперехідному штампуванні типової поковки пластини із проведенням попереднього фасонування заготовки осаджуванням випуклими подовженими плитами. Виконаний порівняльний аналіз силових параметрів при деформуванні на профілюючому, попередньому та завершальному переході штампування.

Ключові слова: штампування, профілювання, випуклі плити, напруження, деформації, сила

On the basis of finite-element analysis executed looking after the change of intensities of tensions and intensities of deformations at the three-transitional forging of typical forging-part of plate with the leadthrough of the preliminary shaping of billet at upsetting by convex oblong flags. The comparative analysis of force parameters is executed at deformation on the profiling, preliminary and final transition of die-forging.

Keywords: stamping, profiling, convex flags, tensions, deformations, force

1. Введение. Количество переходов штамповки поволоков зависит от сложности их конфигурации, при этом исходной заготовкой для объемной штамповки чаще всего служит прокат различного сортамента по размерам и профилям (выделяют прокат нормальной и повышенной точности). Однопереходная штамповка из заготовок круглого или квадратного поперечного сечения возможна только при получении поволоков простой конфигурации. Чтобы отштамповать изделие с наличием отрезков, перепадами поперечного сечения и т.п. без дефектов, сократить расход основного материала, уменьшить износ штампов и снизить нагрузку на узлы основного оборудования, целесообразно выполнение подготовительно-заготовительных или профилирующих операций.

Штамповка из профильного проката, изготовление которого требует направление заказов на металлургические предприятия или установку дополнительного оборудования в виде ковочных вальцов, станов поперечно-клиновой прокатки и т.п., оправдывает себя только при массовых программах производства и исключает гибкость перенастройки производственных линий. Возможности же проведения предварительного профилирования в штампах

кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП), достаточно распространенных в цехах заводов машиностроения, ограничены кинематическими особенностями исполнительных механизмов и габаритами штампового пространства по количеству ручьевых вставок с необходимыми гравюрами. Из-за этого существуют группы поковок, штамповку которых на КГШП вынужденно проводят без предварительного профилирования с повышенным отходом металла. К таким изделиям относят поковки типа пластин и пластин с наличием отростков, усовершенствование штамповки которых путем разработки рациональных профилирующих операций в штампах КГШП требует оценки характера течения металла, силовых режимов и напряженно-деформированного состояния на штамповочных переходах.

2. Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций. Предварительное фасонирование заготовок распространено при штамповке на паровоздушных молотах. На кривошипных же прессах, согласно ряду классификаций [1, 2], возможна штамповка поковок с отростками, фланцами, развилинами, с изогнутой осью и др. При этом поковки типа пластин зачастую не находят своей классификационной принадлежности, их считают малотехнологичными для условий штамповки на КГШП. Так в известной классификации Е.И. Семенова [2], на основе которой проводят назначение переходов штамповки, поковки типа пластин и пластин с отростками не упомянуты. Однако производство поковок данного типа на кривошипных прессах имеет место. Например, в условиях ЗАО «Азовэлектросталь» (г. Мариуполь), поковки пластин и пластин с отростками для производства деталей поглощающих аппаратов вагонов и полувагонов штампуют на КГШП 40 МН.

В классификации [3], составленной в виде вербального описания типа поковок, предпочтительного вида формообразования и применяющихся при штамповке на КГШП ручьев, указано, что изделия прямоугольной или близкой к ней формы целесообразно штамповать способами осадки. При штамповке перпендикулярно оси поковок пластин с наличием незначительных отростков рационально проектировать штампы, обеспечивающие элементы выдавливания. При штамповке деталей осадкой, согласно с классификацией [4], выделяют круглые и прямоугольные в плане изделия. Несмотря на относительную простоту деформирующего инструмента и высокую его стойкость при формоизменении осадкой, методы проектирования соответствующих многопереходных процессов штамповки развиты недостаточно.

Как известно, осадка заготовок выпуклыми продолговатыми плитами, включенная в концепцию бесштампового профилирования [5], является рациональным способом подготовки заготовок при штамповке поковок типа пластин на прессовом оборудовании. Реализация перспективных и малозатратных способов приближения формы заготовки к конфигурации поковки связана с расширением области применения способов деформирования, изучением закономерностей формоизменения заготовок и анализом влияния профилирования на силовые режимы и напряженно-деформированное состояние (НДС) металла на последующих формоизменяющих операциях.

В работах [6, 7] рассмотрены вопросы формоизменения и анализа неравномерности деформации при получении профилированных заготовок осадкой выпуклыми продолговатыми плитами. Для исследования характера течения металла, энергосиловых параметров и НДС на всех переходах штамповки из профилированной заготовки выбран метод конечно-элементного анализа с конкретизацией задачи на новом технологическом процессе штамповки поковки «Пластина» производства ЗАО «Азовэлектросталь».

3. Цель работы. Целью настоящей работы является конечно-элементный анализ формоизменения, напряженно-деформированного состояния и силовых параметров на переходах штамповки заданной поковки пластины, включающих профилирование заготовки осадкой выпуклыми продолговатыми плитами, предварительное и окончательное формообразование.

4. Изложение основного материала. Конечно-элементный анализ НДС и силовых параметров штамповки.

4.1. Математическая модель и условия конечно-элементного моделирования. Для выполнения моделирования использовали итерационный решатель ABAQUS 6.5, при этом технологические переходы получения поковки «Пластина» были выбраны по предварительным расчетам. При многостадийном рассмотрении данной технологии поля интенсивностей напряжений и деформаций, полученные на конечной стадии моделирования одного перехода, используются как начальные значения для моделирования следующего перехода. Ввиду сложной геометрической формы детали задачу решали в пространственной постановке. Заготовку моделировали как деформируемое упрочняемое тело, а модели деформирующих инструментов (выпуклых плит, гравюр предварительного и окончательного ручьев) представляли в виде жестких недеформируемых тел. Свойства материала заготовки (стали 38ХС) при температуре горячей деформации $t = 1100$ °С задавали исходя из справочных данных. При моделировании были учтены условия контактного взаимодействия между соприкасающимися поверхностями при выполнении граничных условий: взаимодействующие поверхности не проникают друг в друга, коэффициент граничного трения задан равным $\mu = 0,2$ в соответствии с законом Амонтона-Кулона, допускается возможность возникновения зазоров между контактирующими поверхностями в процессе деформирования заготовки.

Кинематически процесс деформирования заготовки представляли следующим образом. На первой стадии расчета модели предварительного и окончательного ручьев фиксировали, а для моделей выпуклых плит определяли перемещение во встречном направлении таким образом, чтобы обеспечить осадку заготовки между ними на 50 % от её начальной высоты. После этого модели выпуклых плит фиксировали, а требуемое перемещение определяли для моделей предварительного и окончательного ручьев на второй и третьей стадиях расчета соответственно, имитируя технологические переходы процесса.

4.2. Получение профилированной заготовки. Проводили моделирование осадки цилиндрической заготовки $\varnothing 92 \times 97$ мм выпуклыми продолговатыми плитами радиусом $R = 50$ мм ($R/D_0 = 0,556$) до степени деформации $\varepsilon = 0,5$ (рис. 1). Определяли поля интенсивностей напряжений (σ_i) и интенсивностей

деформаций (e_i) по центральным осям сечений А-А и Б-Б. На рис. 2 приведен пример визуализации распределения интенсивностей напряжений σ_i (по Мизесу) по объему заготовки на различных стадиях осадки. В начале контакта плит с торцами заготовки в месте касания образуются зоны концентрации напряжений, влияющие на НДС всего объема металла. С возрастанием степени деформации осадки происходит раздача материала в направлении, перпендикулярном оси продолговатых плит и течение металла распространяется на всю торцевую поверхность, проникает внутрь и интенсифицируется в центральной части деформируемой заготовки.

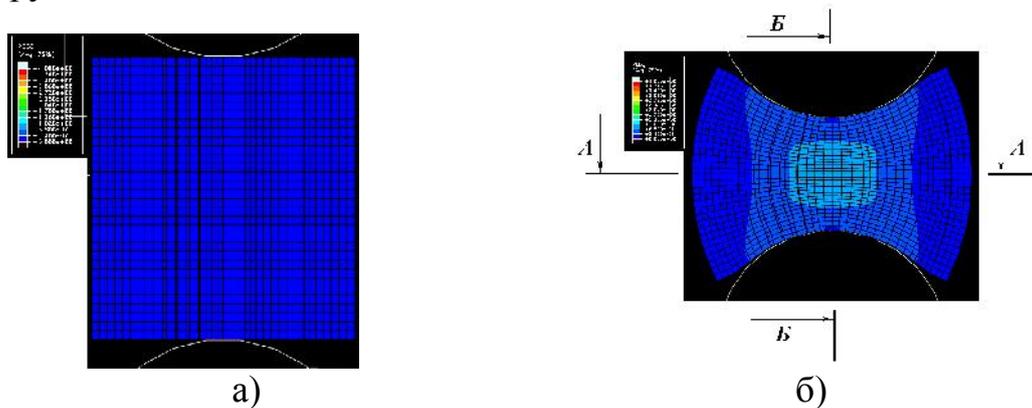


Рис. 1. Конечно-элементная модель заготовки при профилировании осадкой выпуклыми продолговатыми плитами:
а – исходная заготовка; б – заготовка после осадки

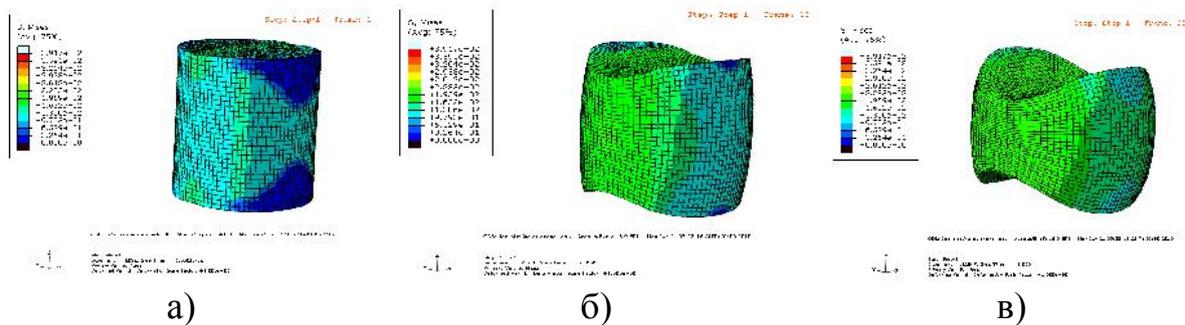


Рис. 2. Распределение интенсивностей напряжений на стадиях профилирующей осадки заготовки:
а – $\varepsilon = 0,0025$ (0,25 %); б – $\varepsilon = 0,25$ (25 %); в – $\varepsilon = 0,5$ (50 %)

Построение графических зависимостей для анализа параметров НДС заготовки проводили для конечной стадии осадки (рис. 3). Наибольшие значения интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций наблюдаются в серединной части профилированной заготовки под стрелой выпуклости плит, где материальные точки инструмента совершают максимальный путь деформирования.

В сечении А-А значения σ_i достигают 226 МПа, однако с приближением к периферийным частям размера D_3 величины σ_i снижаются до 141 МПа (рис. 3,а). Соответственно, максимальные значения интенсивности деформации в центральной части заготовки достигают $e_i = 0,91$, однако с приближением к образующим величины e_i резко уменьшаются до 0,07 (рис. 3,б). Сосредоточение

относительно больших деформаций со значениями $e_i > 0,5$ находится на расстоянии, не превышающем 30 мм от вертикальной оси заготовки.

В сечении Б-Б распределение интенсивностей напряжений и деформаций по высоте заготовки также сосредоточено в серединной части, что, кроме всего прочего, следует связывать с влиянием сил трения. С углублением от контактной поверхности в центральные зоны заготовки на 4 мм наблюдается увеличение σ_i со 198 МПа до 211 МПа (рис. 3,в), соответственно происходит увеличение e_i с 0,35 до 0,52 (рис. 3,г). Интенсивная проработка внутренних слоев металла наблюдается по всей высоте профилированной заготовки с наибольшим сосредоточением в зоне, не превышающей 15 мм от осевой линии, где происходит некоторое снижение значений σ_i с 226 МПа до 215 МПа при уменьшении e_i с 0,9 до 0,7 соответственно (см. рис. 3,в,г).

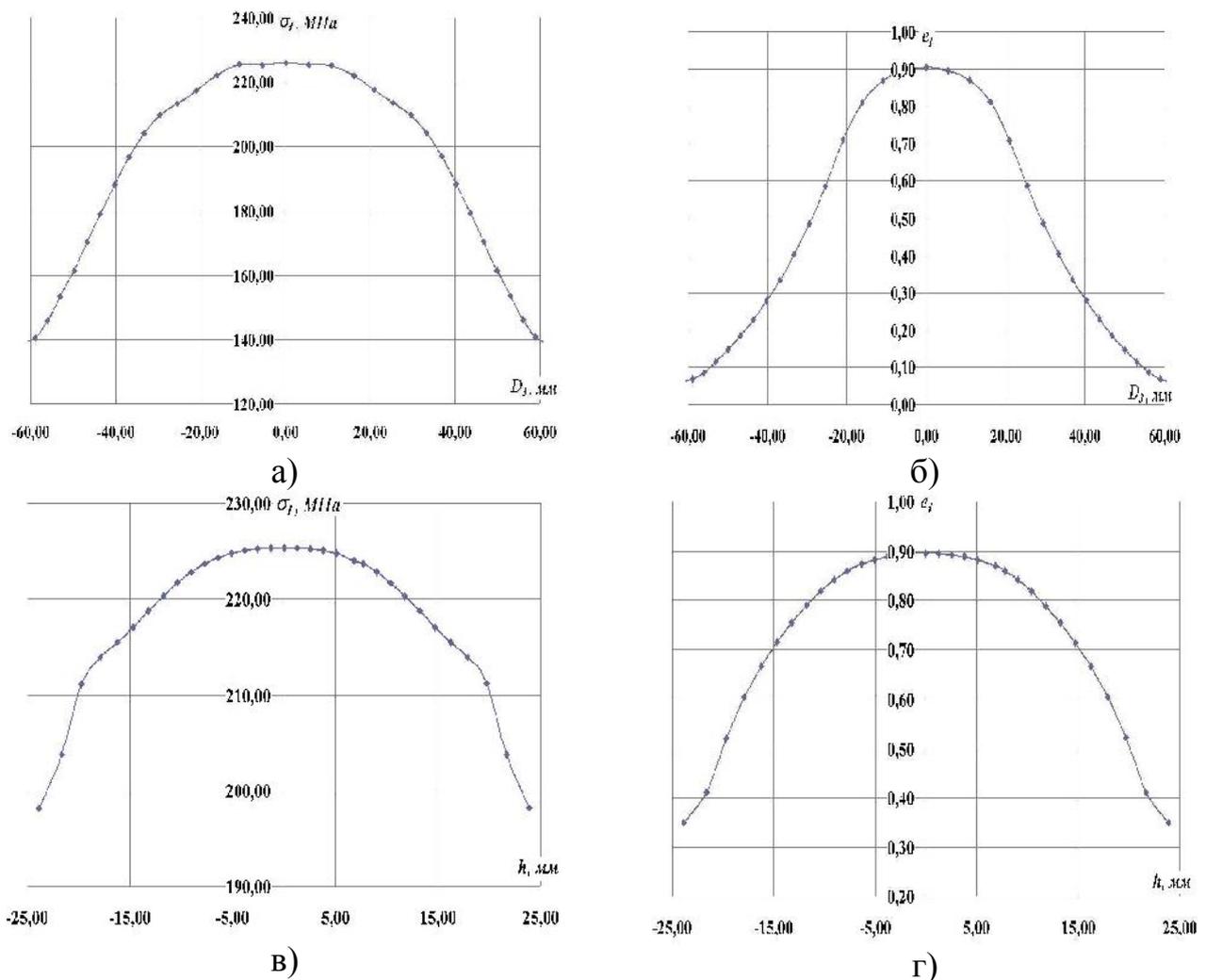


Рис. 3. Распределение параметров НДС в профилированной заготовке ($\varepsilon = 0,5$): а – интенсивность напряжений в сечении А-А; б - интенсивность деформаций в сечении А-А; в – интенсивность напряжений в сечении Б-Б; г – интенсивность деформаций в сечении Б-Б

Отметим, что такая картина течения металла при осадке заготовки выпуклыми продолговатыми плитами может быть благоприятной для закрытия

внутренних дефектов в центральной зоне заготовки при применении плит данной формы в технологияхковки.

4.3 Штамповка в предварительном ручье. При укладке профилированной заготовки в предварительный ручей должны быть обеспечены условия её легкого центрирования, для чего используют естественные углубления или выступы, определяемые формой инструмента и заготовки. В зависимости от конфигурации поковки отrostки могут быть расположены вдоль или поперек плоскости разъема штампов. Стадии деформирования профилированной заготовки в гравюре предварительного ручья показаны на рис. 4, при этом размещение заготовки осуществляется с центрированием одного из торцевых выступов по углублению гравюры штампа, предназначенного для формирования утолщения для бокового отrostка. Объем металла, находящийся во втором торцевом выступе, служит для формирования полотна пластины.

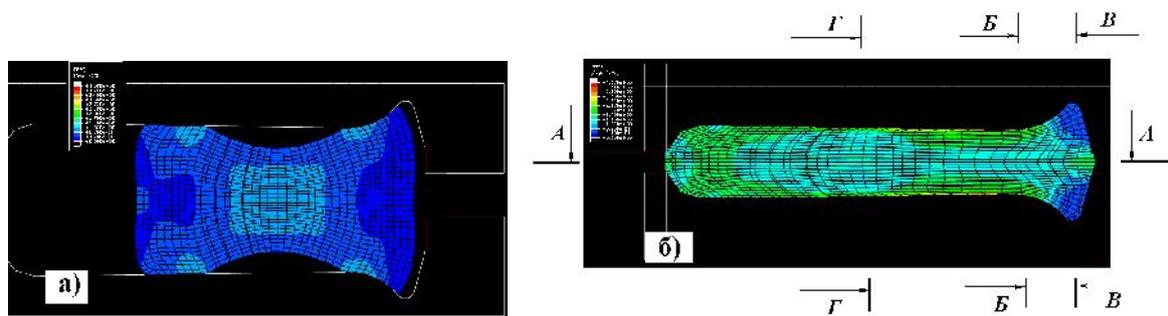
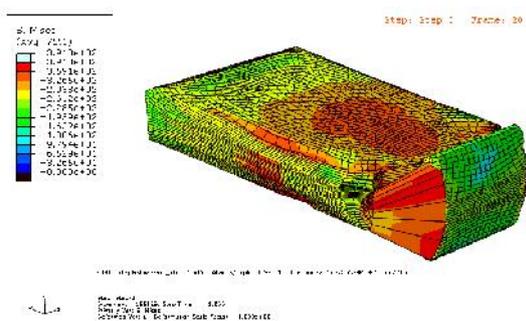


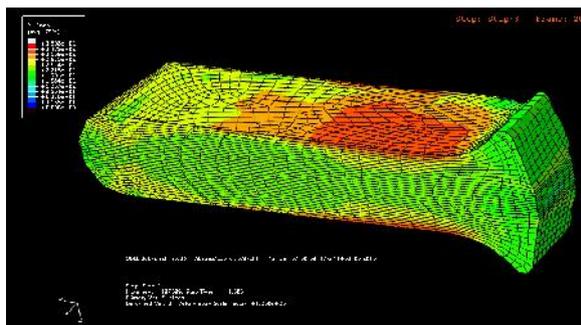
Рис. 4. Конечно-элементная модель заготовки при деформировании в предварительном ручье: а – промежуточная стадия; б – конечная стадия и исследуемые сечения полуфабриката

Поля интенсивностей напряжений и деформаций в полуфабрикате пластины после штамповки в предварительном ручье находили для сечений А-А, Б-Б, В-В и Г-Г (см. рис. 4,б). Из полученной картины распределений ϵ_i на окончательной стадии штамповки в предварительном ручье (рис. 4,б) видно, что наименее деформированными участками являются крайние зоны утолщения под формирование отrostка. Между ними, в зазоре между верхней и нижней половинами штампа, наблюдается интенсивное течение металла. Наиболее деформированными зонами являются участки, которые соответствовали вогнутостям, образованным вдавливанием выпуклых продолговатых плит на предыдущей операции.

Распределение интенсивностей напряжений (по Мизесу) в штампованном полуфабрикате показано на рис. 5. Максимальные интенсивности напряжений (порядка 360 МПа) зарегистрированы в переходной зоне на боковой поверхности отrostка, здесь наблюдаются значительные искажения сетки конечных элементов из-за нерегламентированной её вытяжки. Интенсивности напряжений порядка 326–359 МПа образуются в поверхностных контактных слоях штампованного полуфабриката в месте наименьшей толщины полотна, что связано с захватыванием части объема металла торцевого выступа, который служит основой для формирования отrostка, и, соответственно, максимальной деформацией осадки на данном участке.



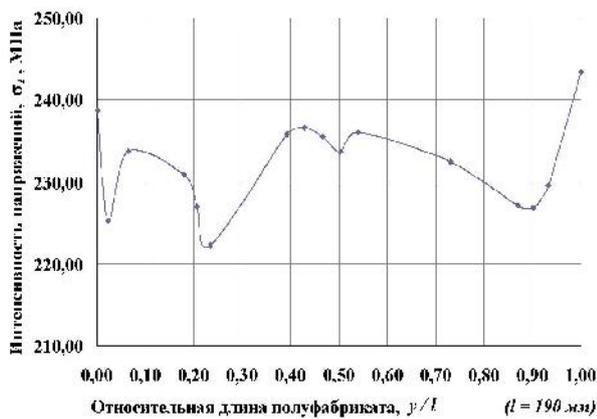
а)



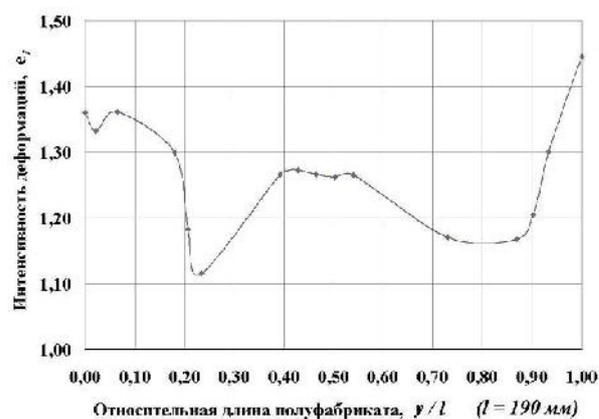
б)

Рис. 5. Распределение интенсивностей напряжений при штамповке в предварительном ручье (а) и продольный разрез полуфабриката (б)

С отдалением от поверхностных слоев в данном месте происходит падение значений σ_i , и на расстоянии 7 мм от поверхности поковки они достигают величин 220–250 МПа. Характеристики НДС по сечениям А-А, Б-Б, В-В и Г-Г (по рис. 4) полуфабриката отражены на графиках рис. 6–9.

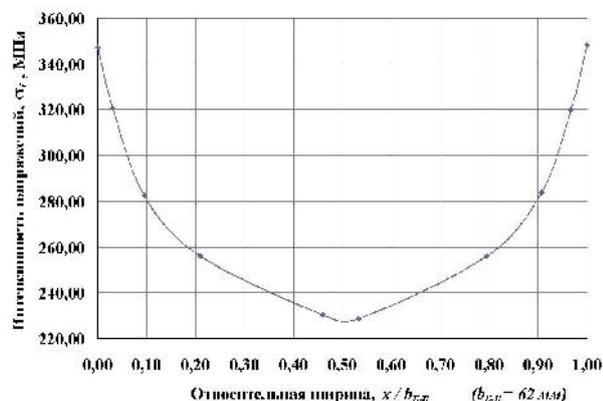


а)

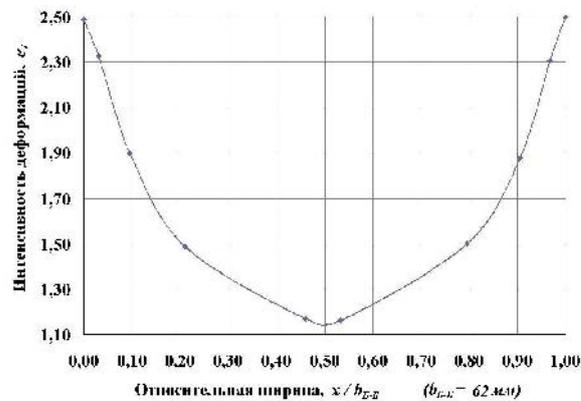


б)

Рис. 6. Параметры НДС заготовки в продольном сечении А-А на окончательной стадии предварительной штамповки: а – распределение интенсивностей напряжений; б – распределение интенсивностей деформаций

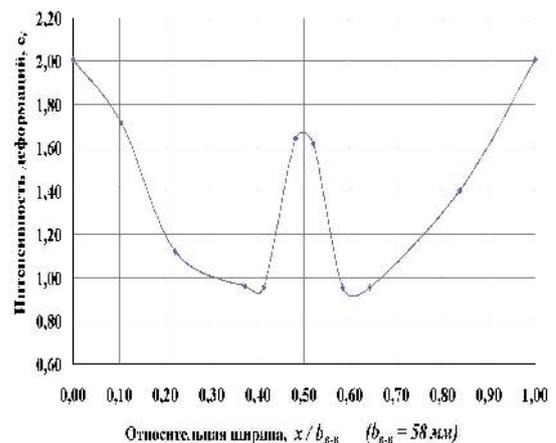
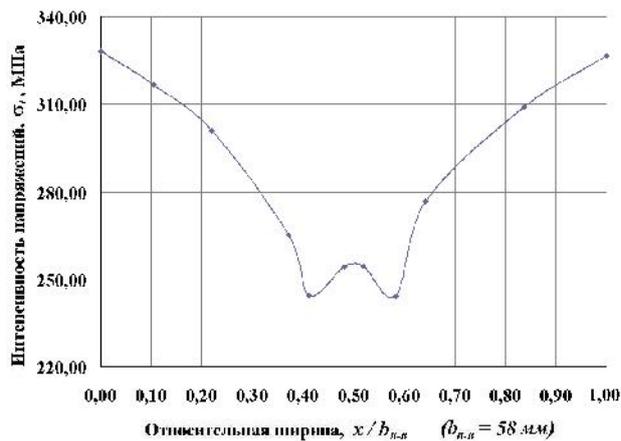


а)



б)

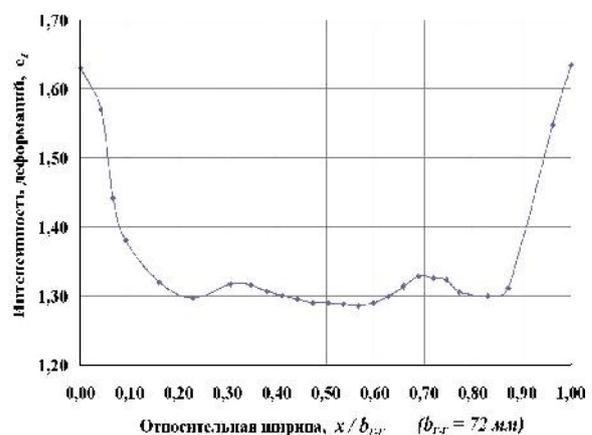
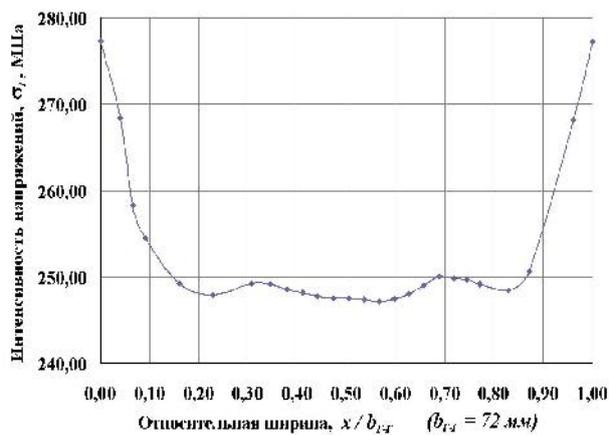
Рис. 7. Параметры НДС в переходном сечении Б-Б на окончательной стадии предварительной штамповки: а – распределение интенсивностей напряжений; б – распределение интенсивностей деформаций



а)

б)

Рис. 8. Параметры НДС в сечении В-В по отrostку поковки на окончательной стадии предварительной штамповки: а – распределение интенсивностей напряжений; б – распределение интенсивностей деформаций



а)

б)

Рис. 9. Параметры НДС в сечении Г-Г полотна поковки на окончательной стадии предварительной штамповки: а – распределение интенсивностей напряжений; б – распределение интенсивностей деформаций

Так на крайних участках сечения А-А, где образуется начальный пояс облоя, наблюдается скачкообразное увеличение значений σ_t до величины 238,5 МПа, а со стороны утолщения под отrostок до 244 МПа (рис. 6,а). Распределение σ_i по длине, кроме краевых пиков, имеет максимумы на расстоянии 18 мм, 80 мм и 103 мм от крайнего волокна полотна полуфабриката. Значения интенсивностей напряжений на максимумах не превышают 237 МПа. Аналогичная картина распределения максимумов ϵ_i в сечении А-А (рис. 6,б). При этом пиковые значения ϵ_i для левого и правого краевых волокон соответствуют 1,36 и 1,45 по логарифмической шкале; максимумы ϵ_i по середине длины полуфабриката не превышают значения $\epsilon_i = 1,28$ (см. рис. 6,б). Минимумы σ_i , находящиеся на расстоянии 3 мм и 171 мм от крайнего левого волокна полотна поковки, характеризуются значениями 225,5 МПа и 228 МПа соответственно. Отметим, что в правой части полуфабриката происходит большее обжатие металла

профилированной заготовки с формированием пояска предварительного облоя. Наименьшее значение величин интенсивностей напряжений ($\sigma_i = 222$ МПа) и интенсивностей деформаций ($e_i = 1,115$) соответствует расстоянию 44 мм от левого волокна полотна, сформированного в предварительном ручье, что отвечает переходной зоне между участком течения металла в серединной части полуфабриката и участком интенсивного деформирования торцевого выступа с течением вдоль гравюры предварительного ручья.

Распределения интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций в сечении Б-Б, расположенном между предварительным полотном и утолщением под отросток, имеют U-образный характер и приведены на рис. 7. Крайние волокна полуфабриката существенно искажаются в зоне образования облоя, т.е. в месте отростка и переходной зоны. Интенсивность напряжений в крайних волокнах достигает 348 МПа, но с приближением к центральной части сечения величина σ_i снижается до 228 МПа (рис. 7,а). Происходит падение e_i от значений 2,5 по краям до 1,13 в центральных волокнах (рис. 7,б). От зоны начала образования облоя до расстояния 6–7 мм от края сечения Б-Б полуфабриката происходит резкое падение σ_i и e_i до величин порядка 280 МПа и 1,9 соответственно.

В крайних волокнах поперечного сечения В-В, которое проведено через сформированное утолщение под отросток, величины интенсивностей напряжений и интенсивностей деформаций приобретают значения $\sigma_i = 329$ МПа и $e_i = 2,0$ с дальнейшим их снижением при удалении от края до $\sigma_i = 246$ МПа и $e_i = 0,95$ соответственно (рис. 8). Однако в центральной зоне шириной 11 мм наблюдается некоторый подъем на обоих графиках до величин $\sigma_i = 257$ МПа и $e_i = 0,95$, что связано с захватом металла при истечении в зазор между верхней и нижней половиной штампов.

Распределение параметров НДС вдоль поперечного сечения Г-Г, проведенного поперек предварительно сформованного полотна полуфабриката, также можно отнести к U-образному типу с максимумами значений σ_i и e_i в крайних волокнах и минимума в центре сечения. Падение σ_i и e_i происходит от края до расстояния 14 мм вглубь сечения от величин 278 МПа до 248,5 МПа и от 1,64 до 1,3 соответственно (рис. 9). Зона в центральной части полотна полуфабриката протяженностью около 44 мм характеризуется относительной стабильностью значений σ_i (колебания от 247 МПа до 250 МПа) и e_i (колебания от 1,28 до 1,33).

4.4. Штамповка в окончательном ручье. После укладки полуфабриката в окончательный ручей проводят завершающую штамповку. Поковка имеет общую длину $l = 240$ мм, содержит полотно и отросток с ширинами $b_{Б-Б} = 150$ мм и $b_{В-В} = 60$ мм. Максимальные значения σ_i наблюдаются в крайних зонах, где происходит существенное перемешивание волокон и сетка конечных элементов претерпевает значительные искажения. В облое по сечению А-А со стороны полотна величины σ_i на 8–10 МПа больше (рис. 11,а), чем со стороны отростка поковки, из-за более жесткого подпора, связанного с формой ручья.

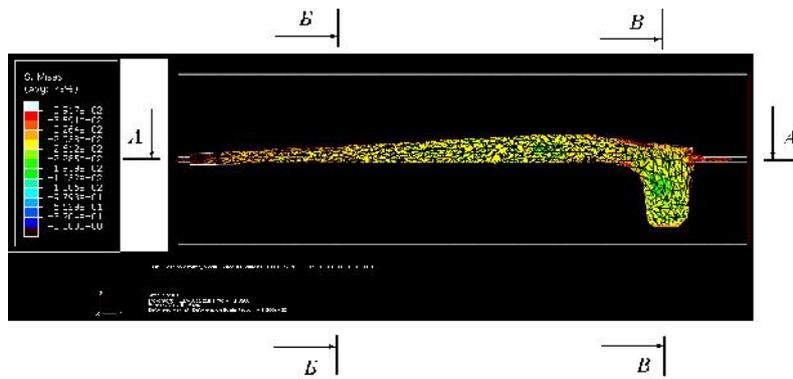
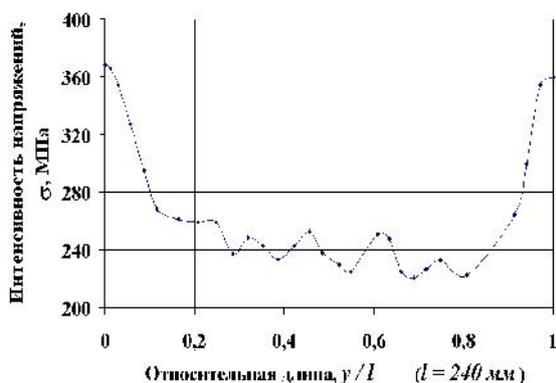


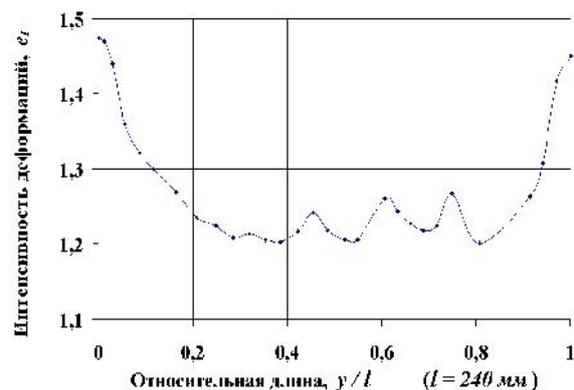
Рис. 10. Распределение интенсивностей напряжений при деформировании поковки пластины в окончательном ручье

С удалением от крайних волокон к середине длины полотна поковки происходит снижение величин σ_i на 30–35 %. (рис. 11,а) и уменьшение значений e_i на 17–20 % (рис. 11,б), что связано с меньшей проработкой металла в более высоких частях полотна поковки. Вдоль длины полотна наблюдаются волнообразные колебания графиков с несколькими неявными минимумами и максимумами в пределах $\sigma_i = 231–249$ МПа и $e_i = 1,2–1,27$ (рис. 11,а и рис. 11,б).

Форма кривых распределения σ_i и e_i в отрезке поковки близка к U-образной, т.е. графики характеризуются максимальными значениями параметров НДС в крайних и минимальными – в средних волокнах отрезка (рис. 11,в,г). Аналогично предыдущему сечению, в центральной зоне отрезка поковки (сечение В-В) значения σ_i на 27–30 %, а величины e_i на 40–45 % меньше, чем в зоне обля (см. рис. 11,в,г). Наиболее резкое падение величин интенсивностей напряжений происходит на участке расстоянием 21 мм от крайних волокон. С дальнейшим приближением к центральным волокнам наблюдается зона стабилизации колебаний σ_i протяженностью 18 мм. График изменения интенсивностей деформаций характеризуется меньшей протяженностью (9–10 мм) зоны колебаний e_i в пределах 1,82–1,85.



а)



б)

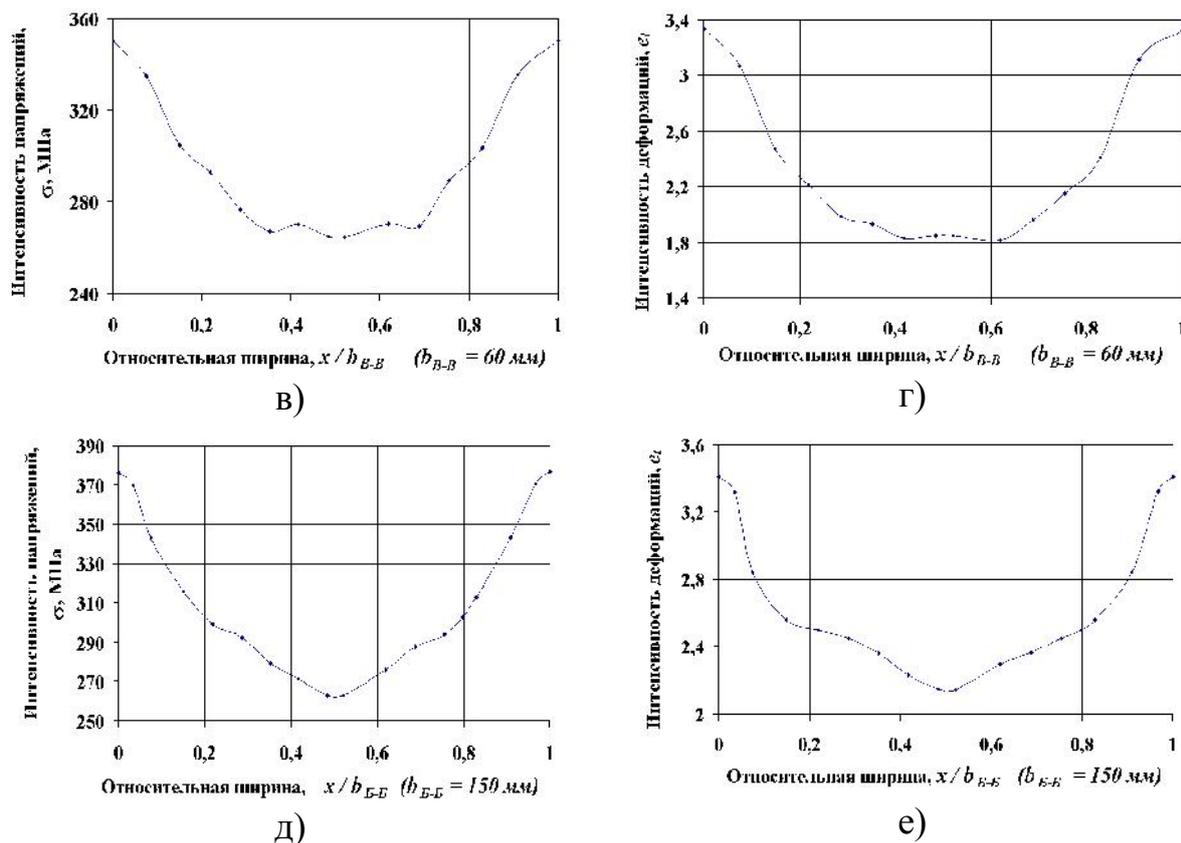


Рис. 11. Распределение параметров НДС в поковке пластины: а, б – интенсивность напряжений и интенсивность деформаций в продольном сечении А-А соответственно; в, г – интенсивность напряжений и интенсивность деформаций в поперечном сечении В-В соответственно; д, е – интенсивность напряжений и интенсивность деформаций в сечении Б-Б соответственно

Распределение σ_i и e_i в поперечном сечении Б-Б, проведенном через плотно поковки пластины, свидетельствует об интенсивном боковом течении металла от центра к периферии, что характерно для процессов осадки полосы. Максимальные значения параметров НДС также наблюдаются в крайних волокнах, а минимальные – в центральной части полотна (рис. 11,д,е). На расстоянии около 30 мм от крайних волокон падение величин σ_i и e_i становится более пологим.

Очевидно, что изменение параметров НДС по объему поковки от стадии профилирования заготовки выпуклыми продолговатыми плитами до стадии окончательной штамповки характеризуется постоянным ростом значений интенсивностей напряжений и деформаций.

4.5. Силовые режимы на переходах штамповки. Сила (P) деформирования на технологических переходах возрастает не только на протяжении рабочего хода, но и от перехода к переходу (рис. 12). Осадка выпуклыми продолговатыми плитами осуществляется свободно (безручьевое формоизменение), и деформирование в пределах рабочего хода от 10 мм до 40 мм ($\epsilon = 9\text{--}38\%$) характеризуется постоянным углом наклона данного участка кривой $P(1)$, что свидетельствует о стационарной стадии осадки. Максимальное усилие,

определенное при моделировании, составило $P(1) = 794$ кН (рис. 12) с торможением интенсивности роста в конце осадки (ход 48,5 мм) из-за обтекания металлом заготовки выпуклых бойков с формированием торцевых выступов.

Силу $P(2)$ деформирования в предварительном ручье определяли с учетом накопленной деформации и упрочнения металла заготовки на предыдущем переходе (рис. 12). В начале деформирования заготовки происходит смятие торцевых выступов, поэтому на протяжении первых 30 мм рабочего хода сила штамповки возрастает не значительно (до 1800 кН). На стадии осадки пластины с увеличением площади контакта и течением металла вдоль гравюры штампа происходит резкий рост силы штамповки, которая в интервале рабочего хода с 40 мм до 58,5 мм изменяется от 3180 кН до 12482,7 кН соответственно.

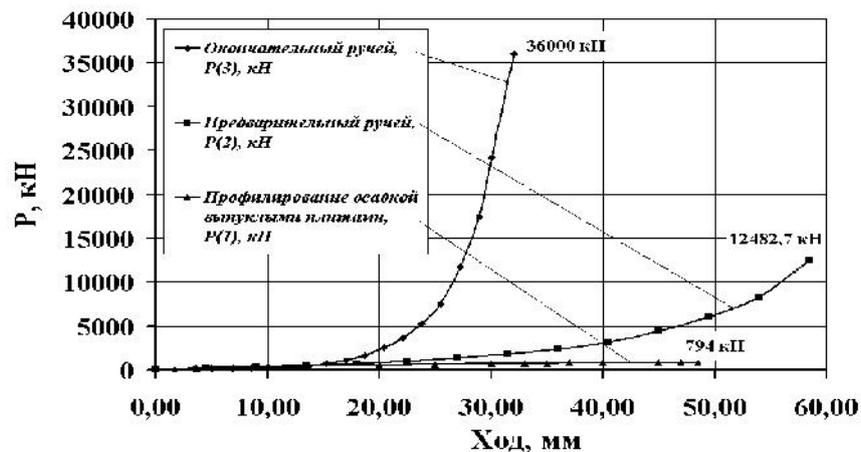


Рис. 12. Силовые параметры на переходах штамповки

На начальном этапе деформирования в окончательном ручье происходит осадка полуфабриката, и до 25 мм рабочего хода наблюдается увеличение силы $P(3)$ до 7000 кН. На протяжении последующих 13 мм рабочего хода происходит резкий рост усилия, которое в конце операции составляет 35600 кН (см. рис. 12), что в 45 раз больше силы профилирования. Это связано с упрочнением материала поковки при деформировании, а также заполнением ручья на конечной стадии штамповки и подпором облоя, осадка которого по периметру резко повышает силовые затраты.

Выводы. Выполненный анализ показал, что максимальные величины интенсивностей напряжений и деформаций при штамповке соответствуют облою, который будет удален при обрезке. Установлено, что сила деформирования на профилирующей операции в 45 раз меньше, чем сила окончательной штамповки. Следовательно, в случае совмещения профилирования и штамповки за один ход пресса проекторный запас КГШП превышен не будет при реализации перспектив освоения технологии на автоматизированных комплексах.

Список литературы: 1. Акаро И.Л. Классификация поковок и технологических переходов горячей штамповки / И.Л. Акаро // Кузнечно-штамповочное пр-во. – 1980. – № 1. – С. 8–11. 2. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка / под ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1986. – 592 с. 3. Иванюк А.В. Классификация поковок, штампуемых на кривошипных горячештамповочных прессах / А.В. Иванюк // Вестник машиностроения. – 1988. – № 1. – С. 45–48. 4. Кондратенко В.Г. Классификация деталей,

получаемых осадкой / В.Г. Кондратенко, В.Н. Гречищев // Вестник машиностроения. – 1988. – № 5. – С. 54–58. 5. Гринкевич В.А. Бесштамповое профилирование на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях / В.А. Гринкевич, В.В. Кухарь, К.К. Диамантопуло // Кузнечно-штамповочное пр-во – Обработка материалов давлением. – 2010. – №5. – С.19–23. 6. Кухарь В.В. Моделирование формоизменения металла при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами / В.В. Кухарь, С.А. Короткий, В.А. Бурко // Вісник Хмельницького національного університету.– Хмельницький: ХНУ, 2008.– № 5. – С. 204–208. 7. Кухарь В.В. Экспериментальные исследования формоизменения цилиндрических заготовок при осадке выпуклыми продолговатыми плитами / В.В. Кухарь, В.А. Бурко // Металлургические процессы и оборудование. – 2008. – № 4(14). – С. 35–39.

УДК 621.762

БАГЛЮК Г.А., докт. техн. наук, старший научный сотрудник, зам. директора ИПМ НАН Украины, г. Киев

ХОМЕНКО А.И., кан. техн. наук, старший научный сотрудник, ИПМ НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА "ТЕНЗОР"

Рассмотрены вопросы автоматизации исследования пластической деформации материалов визиопластическим методом с помощью аппаратно-программного комплекса "ТЕНЗОР". Показаны особенности реализации метода применительно к порошковым материалам. Ключевые слова: пластическая деформация, визиопластический метод, аппаратно-программный комплекс.

Розглянуто питання автоматизації дослідження пластичної деформації матеріалів визиопластичним методом за допомогою апаратно-програмного комплексу "ТЕНЗОР". Показано особливості реалізації методу стосовно до порошкових матеріалів. Ключові слова: пластична деформація, визиопластичний метод, апаратно-програмний комплекс.

Some aspects of materials plastic deformation automated exploration by visioplastic method using TENSOR hardware and software complex are examined. Distinctive features of method implementation are discussed.

Keywords: plastic deformation, visioplastic method, hardware and software complex.

Визиопластический метод (метод сеток) - экспериментально-аналитический метод, позволяющий исследовать как низко- так и высокоскоростные процессы обработки материалов давлением [1]. Его применение требует тщательной подготовки образцов, исключительной аккуратности при нанесении расчетных сеток, высокого качества фиксации результатов на каждом этапе деформации и высокой точности измерений, в противном случае результат может оказаться непредсказуемым. Все это в сочетании с большим объемом расчетов делает указанный метод не слишком популярным среди исследователей, особенно среди специалистов по порошковой металлургии. Видимо, одной из основных