

**В.Л.Калюжный, д-р техн.наук, доц., О.В.Калюжный, канд.техн.наук, асист.,
В.В.Пиманов, студ.**
НТУ Украины „Киевский политехнический институт” г.Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЖИМА ЗАГОТОВОК СО СТУПЕНЧАТОЙ ПОЛОСТЬЮ

Методом скінчених елементів проведено моделювання процесу холодного обжиму заготовки з ступінчатою порожниною з високовуглецевої сталі. Враховані всі фактори, які впливають на формозміну з вихідного стану заготовки до отримання кінцевих розмірів виробу. Визначені зусилля обжиму, розподілення питомих зусиль на інструменті. Виявлено напружено-деформований стан і ступінь використання ресурсу пластичності по всьому об'єму zdeформованої заготовки. Установлена можливість отримання виробів заданих розмірів і прогнозування механічних властивостей у стінці після холодної деформації.

By the method of final elements was computed modelling of process of cold block pressing of part blank with a step cavity from high-carbon steel. All factors which influence on forming from an initial condition of part blank before reception of the final sizes of a product are considered. Efforts of cold block pressing and distribution of specific efforts to the tool are defined. The deflected mode and degree of use of a resource of plasticity on all volume of strained part blank is revealed. Possibility of reception of products of the set sizes and forecasting of mechanical properties in a wall after cold deformation is established.

Введение. Процессы обжима полых, трубчатых заготовок в холодном состоянии широко распространенные операции при изготовлении различных изделий. Однако технологические процессы обжима в настоящее время проектируются на базе производственного опыта и экспериментальных данных. Это связано с тем, что существующие аналитические зависимости по определению технологических параметров не учитывают ряд существенных факторов, которые влияют на процесс формоизменение металла при обжиме. Так анализ процесса обжима методом совместного решения дифференциальных уравнений с приближенным условием пластичности не учитывает утолщение части заготовки, которая обжимается [1], и позволяет только приближенно определить усилие деформирования. Существующие данные, полученные моделированием методом конечных элементов (МКЭ) [2], не учитывают разгрузку металла после пластической деформации и не позволяют определить конечные размеры изделий после обжима. Поэтому необходима доработка технологии обжима дорогостоящими, трудоемкими экспериментальными работами.

Цель работы и постановка задачи. Путем математического моделирования на базе МКЭ необходимо было определить технологические параметры получения обжимом изделий из высокоуглеродистой стали с заданными размерами и необходимыми свойствами сдеформированного металла. Свойства стали после отжига: модуль Юнга $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона 0,3, предел текучести $\sigma_{0,2}=375$ МПа.

Реальные результаты могут быть получены, когда математическая модель будет максимально точно описывать фактический процесс деформирования металла при обжиме. Схема процесса обжима детали со ступенчатой полостью приведена на рис. 1.

Слева от оси симметрии показано исходное состояние, справа – после обжима. Исходная заготовка 1 со ступенчатой полостью может быть получена по следующей технологии с учетом того, что сталь имеет высокое сопротивление деформированию при формоизменении в холодном состоянии. Исходные цилиндрические заготовки с учетом производительности необходимо получать резкой сдвигом прутков в штампе. Затем выполняют операции отжига заготовок, очистку и травление, нанесение смазки.

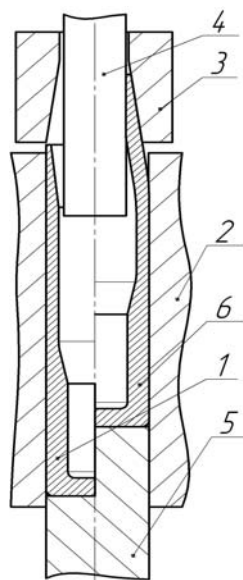


Рис. 1. Схема процесса обжима

Далее идут переходы холодного формоизменения: калибровка, обратное выдавливание стакана с полостью постоянного диаметра, вытяжка с утонением стакана ступенчатым пуансоном, причем толщина стенки в верхней части стакана после вытяжки определена с учетом получения в дальнейшем заданных размеров изделия после обжима. Перед обжимом нужна операция отжига.

Заготовка после отжига 1 устанавливается в обойму 2 на толкатель 5. В полость заготовки вводится оправка 4. При движении толкателя 5 вверх верхняя часть заготовки обжимается в матрице 3 и деформируется между матрицей и оправкой.

Для моделирования процесса обжима использован специализированный пакет прикладных программ (СППП), разработанный авторами на кафедре механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов НТУУ «КПИ». СППП предназначен для моделирования

МКЭ холодной пластической деформации в операциях объемной и листовой штамповки и определения параметров технологических процессов получения осесимметричных изделий с заданными размерами и необходимыми свойствами металла после формоизменения [3]. Моделирование обжима осуществлялось поэтапным приложением нагружения на нижний торец заготовки (см. рис. 1) с исходного состояния заготовки до получения конечной заданной геометрии изделия. Это связано с необходимостью определения потери устойчивости стенки и расчета степени использования ресурса пластичности при холодном формоизменении. Использован подход начальных напряжений для определения малых и больших упруго-пластических деформаций в МКЭ, позволяющий определять конечное формоизменение с учетом разгрузки после деформирования. Учтено трение на контактирующих поверхностях, упрочнение высокоуглеродистой стали по степенной аппроксимации диаграммы истинных напряжений, возможность разрушения стали при формоизменении по критерию В.А. Огородникова и аппроксимации диаграммы пластичности зависимостью Г.Д. Деля [4]. Структура разработанного СППП приведена на рис. 2.

Математическое моделирование. Расчетная схема обжима приведена на рис. 2. Половина исходной заготовки со ступенчатой полостью 1 (рис. 3) была разделена на восьмиузловые изопараметрические конечные элементы. Заготовка размещена в обойме 2, 3- матрица для обжима, 4- оправка.



Рис. 2. Структура СППП

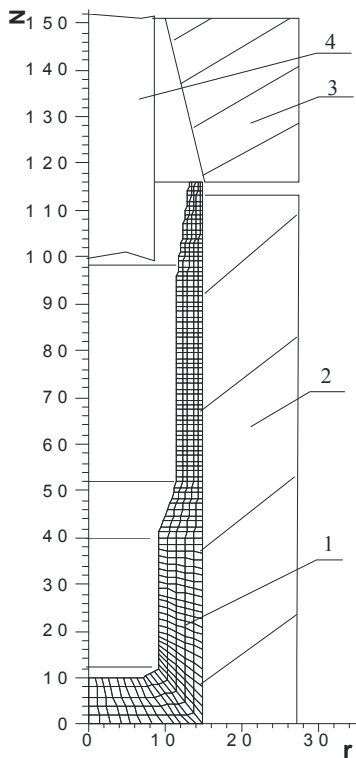


Рис 3. Расчетная схема обжима (размеры в миллиметрах)

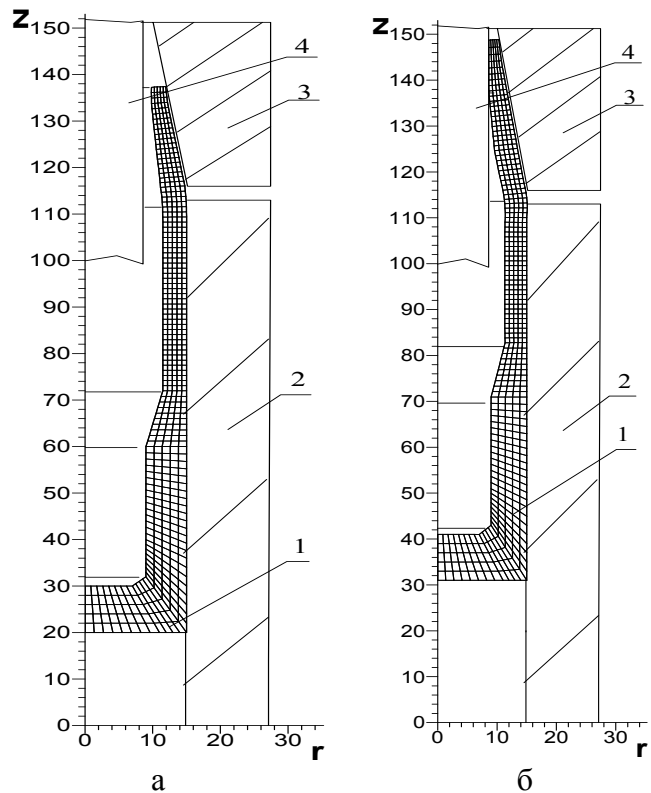


Рис. 4. Сдеформированная заготовка на промежуточной и конечной стадиях обжима: а) перемещение толкателя 20 мм; перемещение толкателя 31 мм

Инструмент считался абсолютно жестким. Поэтапное нагружение осуществлялось в виде смещения в направлении оси z узлов конечных элементов нижнего торца заготовки. На рис. 4 показана сформированная заготовка на промежуточной стадии (а) и конечной стадии (б) обжима. При данных соотношениях размеров матрицы и оправки потеря устойчивости стенки заготовки в обойме и на матрице при обжиге не происходит. Таким образом, определены заданные конечные размеры изделия после обжима.

Зависимость усилия обжима от перемещения толкателя приведена на рис. 5. Сначала усилие растет медленно, пока стенка заготовки деформируется только по матрице. При достижении торцом стенки оправки усилие интенсивно увеличивается и достигает максимального значения в конце обжима.

Удельные усилия на деформирующем инструменте были определены по распределению относительных нормальных напряжений на контактирующих поверхностях заготовки и инструмента. Распределение относительных осевых напряжений $\sigma_z/\sigma_{0,2}$ ($\sigma_{0,2}$ – предел текучести высокоуглеродистой стали) в узлах конечных элементов на поверхности заготовки, которая контактирует с толкателем, показан на рис. 6. Минимальное значение напряжений по абсолютной величине (0,36) на оси толкателя. С увеличением радиуса толкателя относительные напряжения увеличиваются и достигают максимума (0,92) на краю торца заготовки и толкателя. Величина максимального удельного усилия – 346 МПа для вбора материала толкателя и расчетов его на прочность.

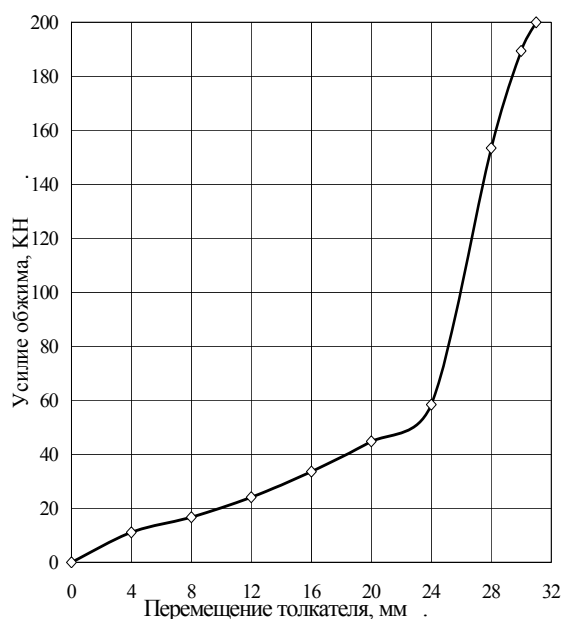


Рис. 5. Зависимость усилия обжима от перемещения толкателя

На рис. 7 приведены распределения относительных радиальных $\sigma_r/\sigma_{0,2}$ и тангенциальных $\sigma_\theta/\sigma_{0,2}$ напряжений на поверхности заготовки, которая контактирует с матрицей для обжима. Характер распределения по высоте матрицы одинаковый: вначале конической поверхности матрицы относительные радиальные и тангенциальные напряжения достигают значений - 2,39 и -2,67 соответственно. Далее с

уменьшением диаметра конической поверхности матрицы напряжения радиальные практически не изменяются, а тангенциальные незначительно увеличиваются. Интенсивный рост обоих компонент относительных напряжений имеет место в месте деформирования стенки между матрицей и оправкой. Максимальные достигнутые значения по абсолютной величине: $\sigma_{\theta}/\sigma_{0,2} = 3,91$ и $\sigma_{\theta}/\sigma_{0,2} = 4,1$. Таким образом, количество бандажей для обжимной матрицы определяется величиной распирающего удельного усилия 1500 МПа.

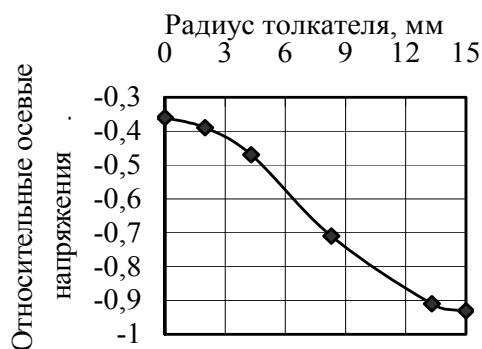


Рис. 6. Распределение относительных осевых напряжений $\sigma_z/\sigma_{0,2}$ на поверхности заготовки, которая контактирует с толкателем

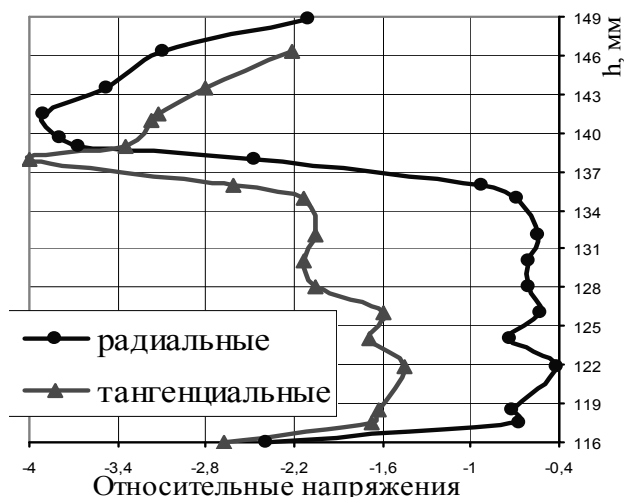


Рис. 7. Распределение относительных радиальных $\sigma_r/\sigma_{0,2}$ и тангенциальных $\sigma_{\theta}/\sigma_{0,2}$ напряжений на поверхности заготовки, которая контактирует с матрицей

Распределение относительных радиальных $\sigma_r/\sigma_{0,2}$, тангенциальных $\sigma_{\theta}/\sigma_{0,2}$ и интенсивности $\sigma_i/\sigma_{0,2}$ напряжений в сформированной части стенки заготовки приведено на рис. 8. Так значения сжимающих относительных тангенциальных напряжений больше относительных радиальных. Важное значение для прогнозирования свойств в стенке изделия после обжима имеет распределение $\sigma_i/\sigma_{0,2}$. Оно показывает упрочнение высокоуглеродистой стали после холодной деформации. Так верхняя часть стенки после обжима упрочняется в 1,52-1,65 раза по сравнению с исходным состоянием металла. Нижняя часть стенки имеет $\sigma_i/\sigma_{0,2}=1,11-1,25$. Для рассматриваемой марки стали с $\sigma_{0,2}=375$ МПа прогнозируется предел текучести в указанных местах 570-619 МПа и 416-470-МПа. На рис. 8 показано распределение осевых ε_z , тангенциальных деформаций ε_{θ} и степени использования ресурса пластичности ψ после обжима. В стенке изделия возникают растягивающие деформации ε_z . Тангенциальные деформации ε_{θ} - сжимающие. При данных соотношениях размеров оправки и матрицы при обжиге возникает такое напряженно-деформированное состояние, которое обеспечивает, максимальное значение степени использования ресурса пластичности стали после деформации на треть. Последнее также дает возможность прогнозировать свойства в стенке по относительному сужению и удлинению.

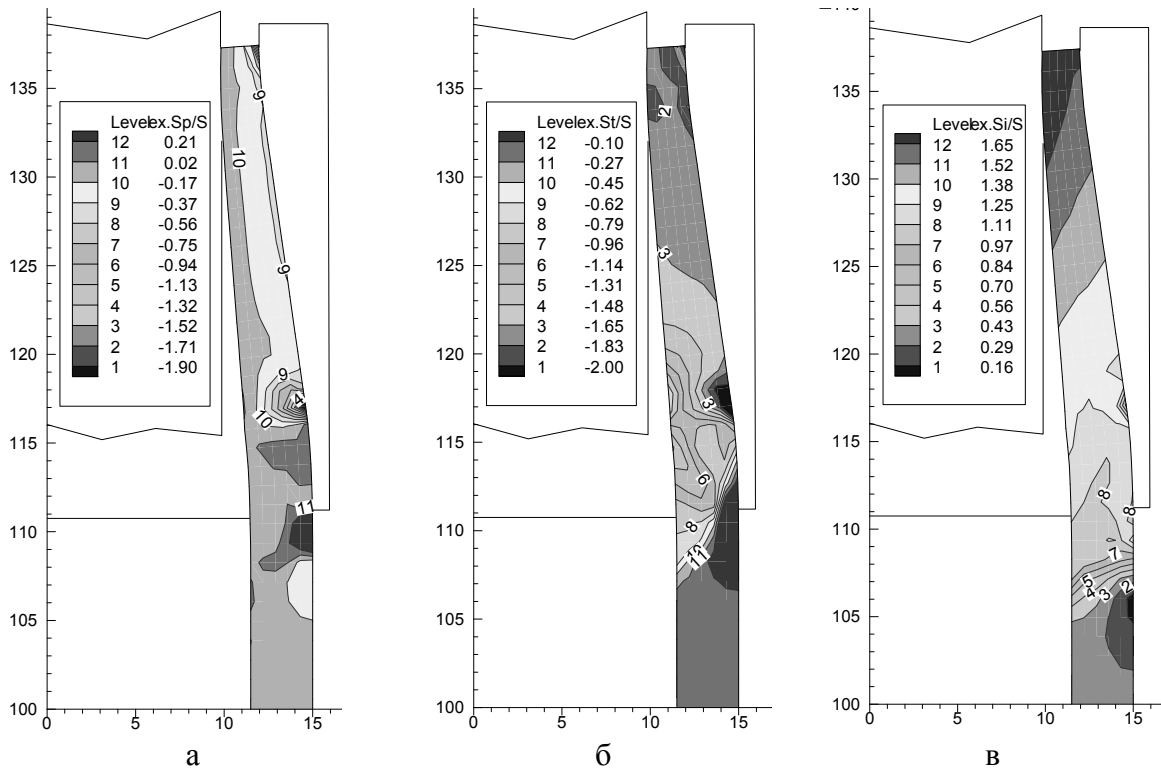


Рис. 8. Распределение относительных радиальных (а), тангенциальных (б) и интенсивности (в) напряжений по объему сформированной части заготовки (размеры в миллиметрах)

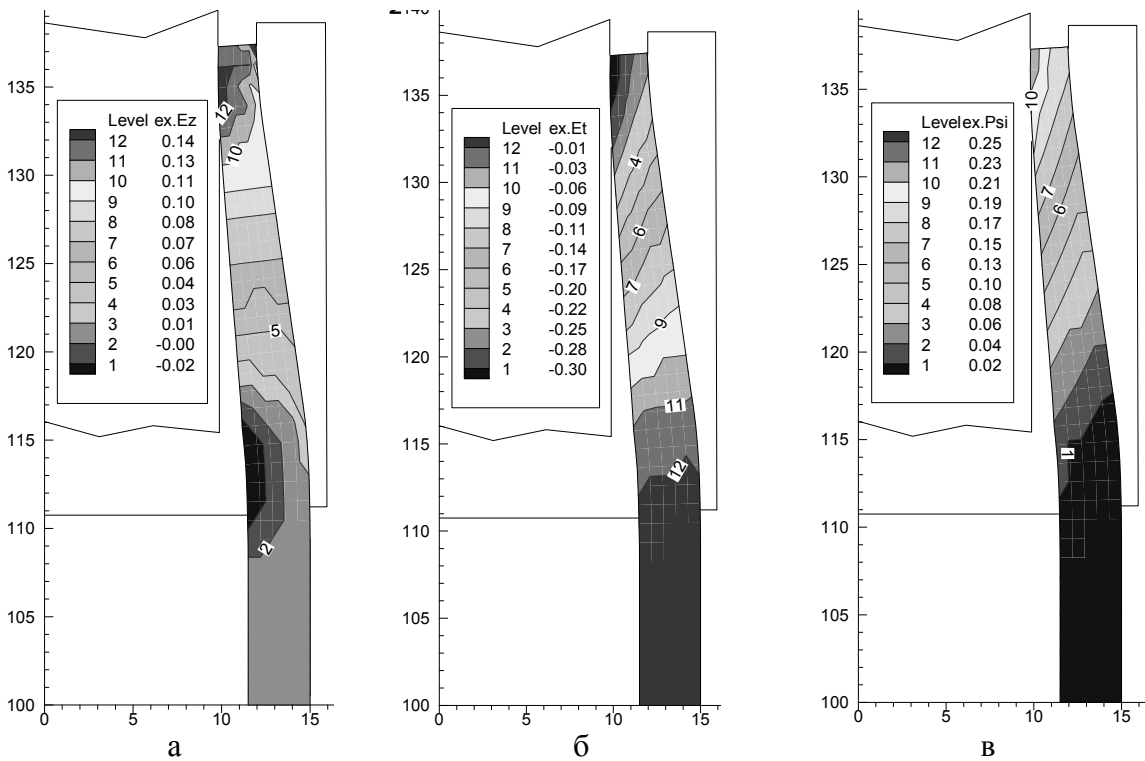


Рис. 9. Распределение осевых (а), тангенциальных деформаций (б) и степени использования ресурса пластичности (в) после обжима (размеры в миллиметрах)

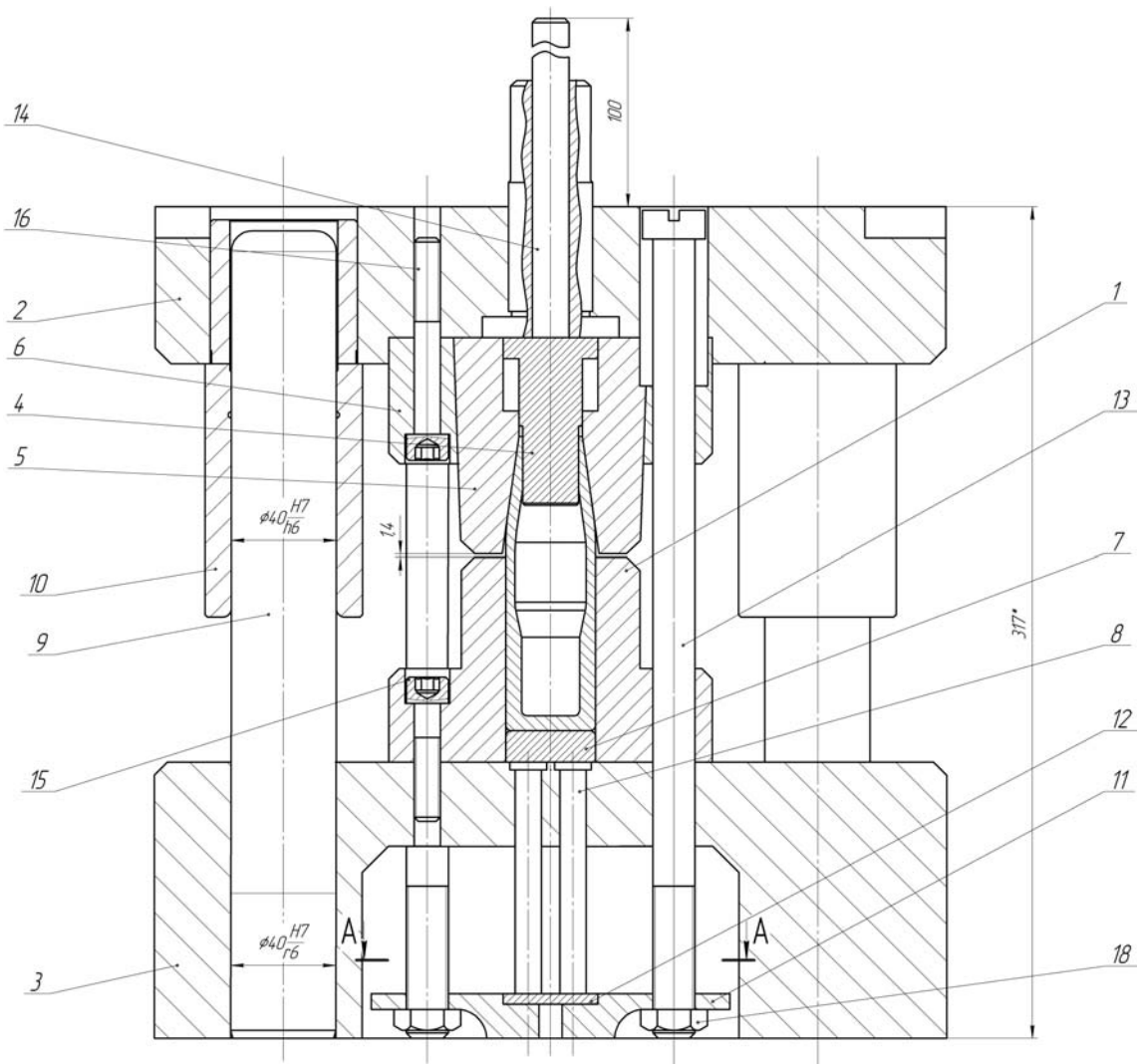


Рис. 9. Компоновка общего вида штампа:
 обойма, 2- верхняя плита, 3- нижняя плита, 4- оправка, 5-матрица, 6- бандаж, 7-
 опора, 8- толкатель, 9- колонка, 10- втулка, 11- коромысло, 12- подкладка, 13 –тяга,
 14-толкатель, 15- винт, 16- винт, 17- штифт, 18- гайка.

Для примера, на рис. 9 показана компоновка общего вида штампа для получения обжимом изделия из заготовки со ступенчатой полостью. Принцип работы штампа заключается в том что, заготовка (полуфабрикат) устанавливается в обойму 1 на опору 7. Обойма зафиксирована и закреплена на нижней плите 3 винтами 15. На верхней плите 2 размещена, зафиксирована и закреплена винтами 16 матрица 5 с бандажом 6. В матрицу 5 установлена оправка 4. Верхняя и нижняя плиты направляются колонками 9 и втулками 10. Во время рабочего хода пресса осуществляется движение верхней плиты 2 вниз и матрица 5 с оправкой 4 деформирует заготовку. После обжима при ходе верхней плиты 2 вверх происходит выталкивание изделия из обоймы 1 коромыслом 11 с помощью тяг 13, до которых коромысло с подкладкой закреплено гайками 18. Тяги связаны с верхней плитой 2 и бандажом 6. Коромысло через подкладку воздействует на два толкателя 8 и опору 7 и выталкивает изделие из матрицы 1. Если изделие после обжима останется в матрице 5, то удаление происходит оправкой 4, которая приводится в движение толкателем 14 от выталкивателя пресса.

Выводы.

1. Методом конечных элементов проведено математическое моделирование процесса обжима в холодном состоянии заготовки со ступенчатой полостью из высокоуглеродистой стали с высоким сопротивлением деформированию.

2. Расчетным путем определены технологические параметры получения изделия с заданными размерами и необходимыми физико-механическими свойствами в стенке после обжима.

3. Определено усилие деформирования, распределение удельных усилий на деформирующем инструменте для выбора оборудования и проектирования штамповой оснастки.

4. Определены с учетом разгрузки после пластической деформации конечные размеры изделия. Выявленное напряженно-деформированное состояние по всему объему изделия позволило спрогнозировать механические свойства в стенке изделия после обжима.

5. По результатам моделирования спроектирован штамп для обжима заготовок со ступенчатой полостью. Штамп устанавливается на кривошипном прессе.

Список литературы

1. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки – М: Машиностроение, 1977. – 278 с.
2. Пасько А.Н., Кухарь В.Д., Сизова И.А. Свободный обжим трубчатых заготовок // Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. Сб. научн. тр. -Ч.2., Тула, 2003. С.62-65.
3. Калюжный В.Л. Узагальнена теорія аналізу процесів холодного видавлювання. Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение, вып. 44.-Киев. –2003. – С. 78-82
4. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.

УДК 664.8/9 – 52

Е.Н.Давиденко асп.

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, г.Севастополь, Украина

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КОНСЕРВОВ

У даній статті аналізується технологічного процес виробництва консервів з метою побудови ефективної системи управління.

In this article technological process of production of can foods is analysed with the purpose of construction of the effective control system.

Построение максимально эффективной системы управления дискретного производства, невозможно представить без проведенного глубокого всестороннего анализа объекта управления. Анализ объекта управления позволяет объективно выявить участки системы, отвечающие за качество, и рассмотреть возможность автоматизации данных участков с целью увеличения объемов производства за счет