

УДК 621.777

Розов Ю. Г.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТВОЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ГИДРОЭКСТРУЗИЕЙ В СРЕДЕ ВЫСОКИХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ

Анализ существующих способов изготовления стрелкового оружия показывает, что наиболее трудоемкой операцией является изготовление стволов стрелкового оружия, поскольку к ним предъявляются высокие требования по точности и шероховатости внутренней поверхности глубоких отверстий – каналов ствола.

Традиционно технология изготовления ствола состоит из следующих операций: получение заготовки, образование канала, изготовление нарезов, изготовление патронника, хромирование канала и патронника, внешняя отделка, правка [1]. Операции изготовления канала ствола и нарезов (или полигонов) являются наиболее ответственными, поскольку от качества изготовления ведущей части ствола (канала и нарезов) зависит меткость выстрелов и живучесть оружия. Чаще канал в заготовке ствола производится по схеме: предварительное сплошное сверление, развертывание, чистовое развертывание. В качестве финишных операций, применяют хонингование или протягивание, а в последнее время – электрохимическую обработку [1].

В традиционных методах изготовления стволов стрелкового оружия, наиболее трудоемкой операцией является глубокое сверление отверстий в ствольной заготовке, когда отношение $l/d > 10...15$ (l – глубина, d – диаметр отверстия). Получение таких заготовок требует специального оборудования, которое в Украине практически отсутствует.

Поэтому возможность получения заготовок для ствола с необходимой точностью и шероховатостью внутренней поверхности из более коротких заготовок с глубиной отверстия $l/d < 10...15$ методами пластической деформации является достаточно актуальной. Достичь этого возможно, например, путем выдавливания трубчатой заготовки на гладкой оправке.

Однако, из-за низкой пластичности ствольной стали 30ХН2ФМА (как и более дешевой стали 50РА), традиционное холодное выдавливание не обеспечит необходимой степени деформации без разрушений. Для повышения пластичности сталей при холодном формообразовании изделий используют схемы выдавливания в условиях напряженно-деформированного состояния всестороннего неравномерного сжатия при деформации в среде высокого гидростатического давления или гидропрессование (гидроэкструзию). Эффективность влияния жидкости под высоким давлением на пластичность при механических испытаниях образцов и в процессах прямого выдавливания показана в работах [2–4].

Гидроэкструзию трубчатых заготовок, таких как стволы, можно осуществлять по разным схемам, применяемых при изготовлении труб [5].

В данной работе рассмотрен перспективный, с нашей точки зрения, метод получения высокоточных трубчатых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами методом гидропрессования на гладкой оправке.

Целью работы является проведение анализа напряженно-деформированного состояния ствольных заготовок при гидроэкструзии в среде высоких гидростатических давлений, а также определение основных параметров процесса с использованием методов численного моделирования.

Схема гидропрессования трубчатых заготовок с подвижной оправкой представлена на рис. 1. Начальное положение, перед выдавливанием, отображено слева, а в процессе – справа от оси симметрии. Бандажированный контейнер 1 установлен на плиту 5. Трубчатая заготовка 6 позиционируется фаской на конической кромке матрицы в контейнере. Далее заливается рабочая жидкость и устанавливается оправка 4. Верхняя коническая часть оправки обеспечивает уплотнение, для исключения протекания жидкости. Сверху оправки устанавливается шток 2 с уплотнением 3.

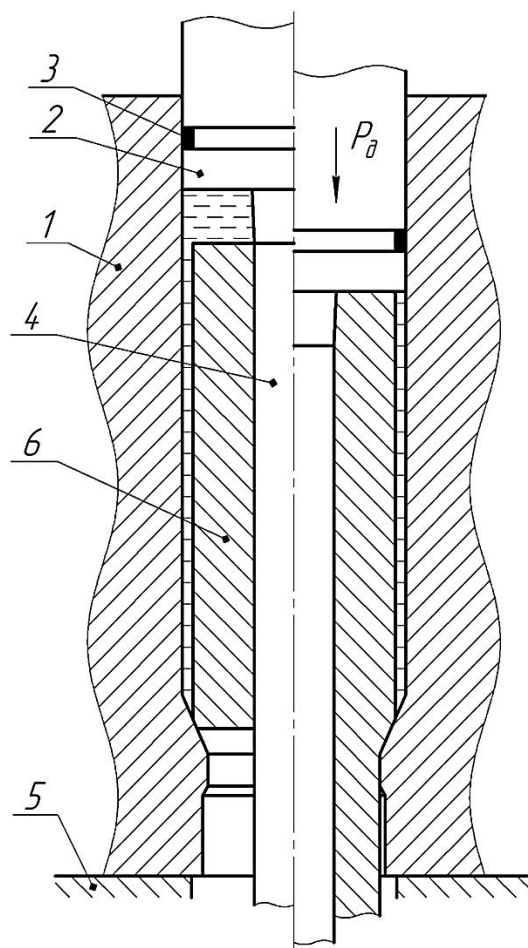


Рис. 1. Схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

К штоку прикладывается усилие P_d . Во время перемещения штока 2 сначала коническая часть оправки перекрывает отверстие заготовки, а далее рабочая жидкость в контейнере 1 сжимается, создавая гидростатическое давление на свободную поверхность заготовки. Заготовка вместе с оправкой проходит через отверстие в матрице, в результате получаем необходимый внутренний диаметр и чистоту поверхности заготовки. Данный способ позволяет, как повысить пластичность самого материала, так и получить необходимые физико-механические свойства деформированного материала.

Анализ гидропрессования трубчатых заготовок из стали 30ХН2МФА на подвижной гладкой оправке, а также расчет параметров для реализации процесса проводили путем компьютерного моделирования методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса Deform [6]. Компьютерное моделирование позволяет определить напряженно-деформированное состояние изготавливаемых деталей, необходимое гидростатическое давление, которое обеспечит необходимую степень деформации в холодном состоянии для стали 30ХН2МФА, конечную геометрию изделия, распределение нормальных напряжений на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а также силовые параметры процесса.

Для моделирования были заданы механические свойства металла в исходном состоянии для стали 30ХН2МФА: модуль Юнга $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$, предел текучести $\sigma_{0,2} = 490$ МПа.

Диаграмму истинных напряжений описывали как функцию:

$$\sigma_S = \sigma_S \left(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}, T \right), \quad (1)$$

где σ_S – интенсивность напряжений;

ε_i – интенсивность деформаций;

$\dot{\varepsilon}$ – скорость деформаций;

T – температура.

Трение учитывали на контактных поверхностях инструмента и задавали коэффициент трения $\mu = 0,08$. Деформирующий инструмент принимали абсолютно жёстким.

Размеры исходной заготовки определялись с учетом допустимой степени деформации для стали 30ХН2МФА по формуле:

$$\psi = \frac{D_0^2 - D_{н.с.}^2}{D_0^2 - d_c^2} \leq [\psi] = 0,57, \quad (2)$$

где D_0 – наружный диаметр исходной заготовки;

$D_{н.с.} = 16$ мм – наружный диаметр ствола;

$d_c = 9,02$ мм – внутренний диаметр ствола ;

$[\psi]$ – предельная степень деформации.

Схема определения площадей сечений исходной заготовки и ствола после гидропрессования показана на рис. 2.

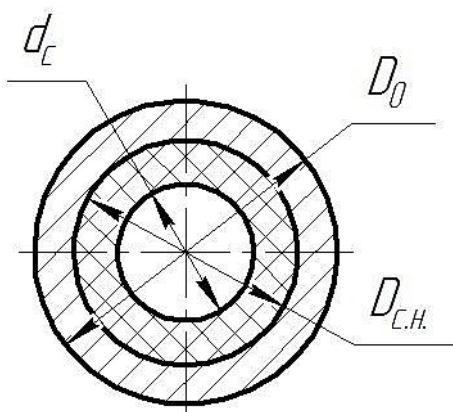


Рис. 2. Схема определения площадей сечений исходной заготовки и ствола после гидропрессования

С учетом этого, а также формулы (2), определяем необходимый наружный диаметр исходной заготовки:

$$D_0 = \sqrt{\frac{D_{н.с.}^2 - \psi d_c^2}{1 - \psi}} = \sqrt{\frac{16^2 - 0,57 \times 9,02^2}{1 - 0,57}} \approx 22 \text{ мм.} \quad (3)$$

Высота заготовки определена из условия постоянства объёма, с учетом припусков на механическую обработку.

Исходя из схемы гидропрессования (см. рис. 1) была составленная расчетная схема процесса. Поскольку данную задачу можно рассматривать как осесимметричную, рассматриваем половину процесса. Расчетная схема приведена на рис. 3. В контейнер 1 установлена заготовка 3, к которой прикладывается нагрузка штоком с оправкой 2. Размеры исходной заготовки и инструмента показаны на рис. 3

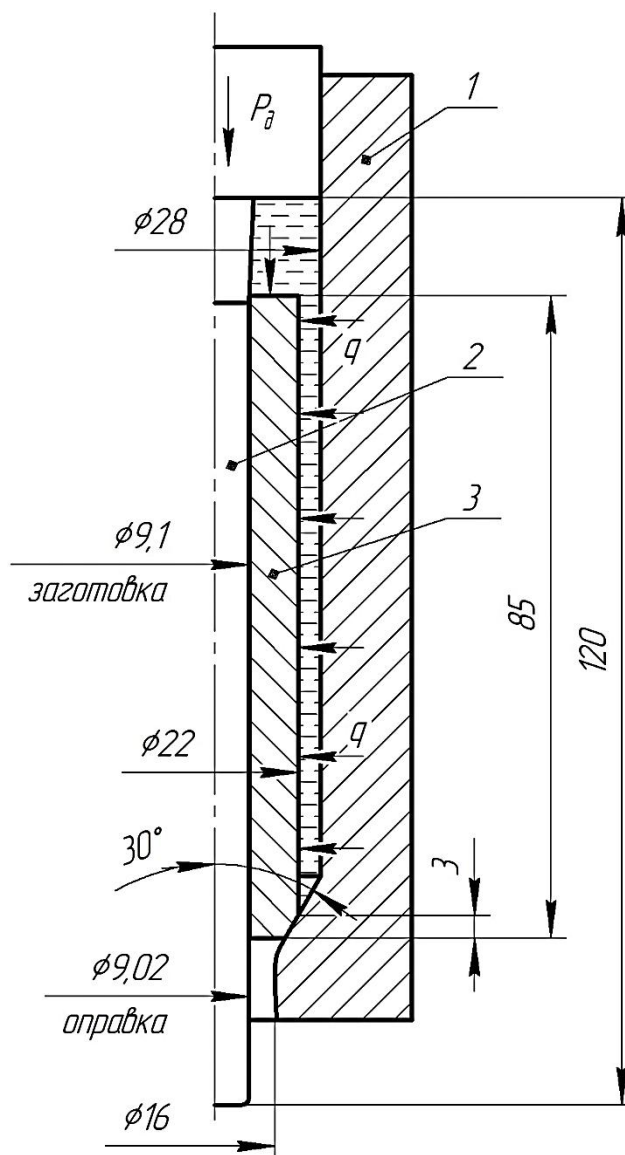


Рис. 3. Расчетная схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

На свободную поверхность заготовки действует распределённое давление, что позволяет приближённо моделировать действие рабочей жидкости. Для сравнения возможности реализации было проведено моделирование при традиционном выдавливании (без действия гидростатического давления) и в условиях действия гидростатического давления 350 МПа и 750 МПа. В случаях действия гидростатического давления учитывали снятия его в момент перехода свободной поверхности на контактную поверхность с инструментом и при выходе заготовке из матрицы.

По результатам компьютерного моделирования было определено напряжённо-деформированное состояние изготавливаемых деталей, необходимое гидростатическое давление, которое обеспечит деформирование в холодном состоянии для стали 30ХН2МФА без разрушений, конечную геометрию изделия, распределение удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а также силовые параметры процесса. Также расчетным путем было определено оптимальную геометрию инструмента (угол матрицы, высоту калибрующего пояска и радиус перехода между ними).

Результаты моделирования показали возможность реализовать процесс при действии значительного гидростатического давления (750 МПа) на свободную поверхность заготовки. При меньшем давлении происходит характерное разрушение еще на начальных этапах деформирования на внешней поверхности заготовки.

Деталь, полученная путем гидроэкструзии на гладкой оправке при гидростатическом давлении 750 МПа, показана на рис. 4. Таким образом, можно формировать необходимую длину ствола, и диаметры, как внешний, так и внутренний, с высокой точностью и чистотой поверхности. Кроме этого одновременно получаем и нужное отверстие под патронник.

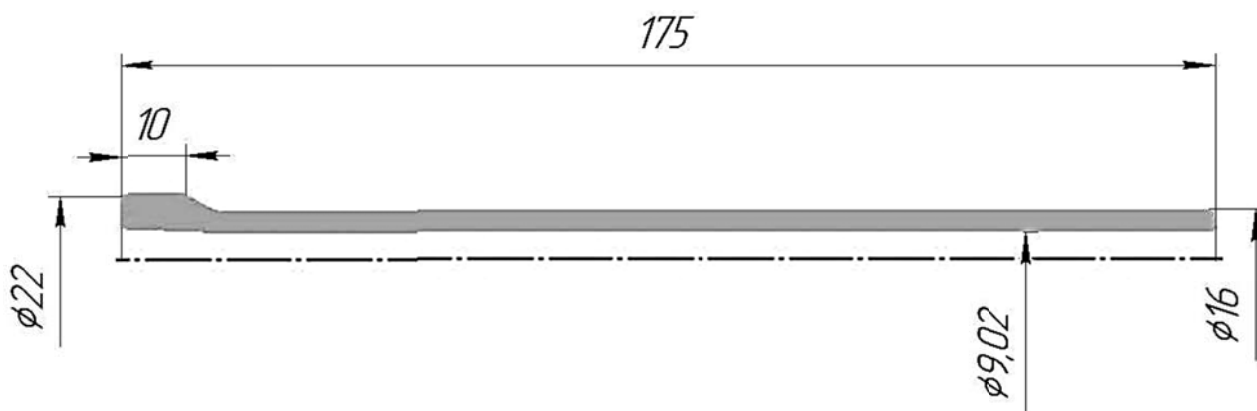


Рис. 4. Деталь, полученная путем гидроэкструзии на гладкой оправке

ВЫВОДЫ

В результате проведения численного моделирования осесимметричной задачи гидропрессования на гладкой оправке были определены необходимые параметры процесса, в том числе, необходимое гидростатическое давление, которое обеспечивает деформирование в холодном состоянии для стали 30ХН2МФА без разрушений. Таким, образом, определенная величина необходимого гидростатического давления составила 750 МПа.

Определено напряжённо-деформированное состояние ствольной заготовки при деформировании, распределение нормальных напряжений на контактирующих поверхностях заготовки с инструментом и максимальное усилие процесса гидроэкструзии, которое составило 340 КН в конце рабочего хода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туктанов А. Г. *Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия*. – М. : Машиностроение, 2007. – 375 с.
2. *Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях* / Б. И. Береснев, Л. Ф. Верецагин, Ю. Н. Рябинин и др. – М. : Изд-во АН УССР, 1960. – 80 с.
3. Пью Х. Л. *Механические свойства материалов под высоким давлением* / под ред. Пью Х.Л. – Том 1. – М. : Мир, 1973. – 296 с.
4. *Деформации металлов жидкостью высокого давления* / Уральский В. И., Плахотин В. С., Шефтель Н. И. и др. – М. : Металлургия, 1976. – 423 с.
5. Белошенко В. А. *Теория и практика гидроэкструзии* / В. А. Белошенко, В. Н. Варюхин, В. З. Спусканюк. – К. : Наукова думка, 2007. – 246 с.
6. *Deform 3D. Version 6.1. User's Manual Scientific Forming Technologies Corporation, 2008. – 420 s.*

Розов Ю. Г. – канд. техн. наук, доц. ХНТУ.

ХНТУ – Херсонский национальный технический университет, г. Херсон.

E-mail: rozovu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.02.2013 г.