

Ю. Г. Розов /д. т. н./

Херсонский национальный технический университет

О. М. Кузьмина /к. т. н./

Национальная металлургическая академия Украины

Перспективная технология гидропрессования ствольной заготовки на подвижной гладкой оправке

Традиционная технология изготовления ствольных длинномерных заготовок производится по схеме: предварительное сплошное глубокое сверление, развёртывание, чистовое развёртывание, в качестве финишных операций применяют хонингование или протягивание, а в последнее время – электрохимическую обработку. При этом трудоёмкость процесса изготовления резко возрастает.

Предложена новая перспективная технология гидропрессования ствольной заготовки на подвижной гладкой оправке.

Анализ гидропрессования трубчатых заготовок из стали 30XH2MFA проводили методом конечных элементов с использованием программного комплекса DEFORMTM-3D, в результате чего были определены основные параметры процесса. Исходя из полученных данных компьютерного моделирования, разработан технологический процесс и спроектирована оснастка для изготовления ствольной заготовки путём гидроэкструзии в условиях высоких гидростатических давлений.

Разработанная технология получения длинномерных ствольных заготовок позволяет снизить себестоимость изготовления изделий и повысить продуктивность производства стволов стрелкового оружия за счёт исключения из технологического процесса методов получения заготовок на специальном оборудовании. (Ил. 5. Библиогр.: 8 назв.).

Ключевые слова: технология, гидропрессование, оправка, ствол, ствольная заготовка, моделирование, пресс, штамповая оснастка, матрица

The traditional manufacturing technology of making barreled long-length blanks is made by scheme: preliminary solid deep drilling, reaming, smooth reaming as a finishing operation, honing or drawing, and recently – electrochemical processing. The labour intensiveness of the process increases dramatically.

It is proposed the new advanced hydraulic forging technology of the barreled blank on the moving smooth mandrel.

The analysis of hydraulic forging the tubular steel blanks 30HN2MFA was carried out by using the finite element method with bundled software DEFORMTM-3D, as a result the principal process parameters were defined. Based on the findings of computer modelling, there was developed the engineering process and was designed the tooling for the manufacturing of barreled blank by hydrostatic extrusion under the high hydrostatic pressure.

The worked out long-length barreled blanks technology enable to cut the manufacturing cost and to increase the production efficiency of small arms barrels, due to the exclusion the methods of receiving the blanks on job-dedicated machinery.

Key words: technology, hydraulic forging, mandrel, barrel, barreled blank, desing, press, die tooling, mould

Толстостенные трубчатые изделия ($s > 0,1R_{cp}$, где: s – толщина стенки, R_{cp} – радиус срединной поверхности трубчатой заготовки) с прецизионными элементами внутреннего профиля (6...8 квалитет, при шероховатости 0,16...0,32 мкм) достаточно широко применяются в машиностроении, приборостроении и изделиях специального назначения.

Максимальная глубина (высота) профильных элементов обычно не превышает (0,015...0,02 мкм) внутреннего диаметра d , а их образующие могут быть параллельными оси трубчатого изделия или образовывать винтовую поверхность.

Первый случай характерен для телескопических устройств различного назначения, обеспечивающих прямолинейное перемещение в направлении оси одних частей конструкции отно-

сительно других (например, шлицевые соединения или телескопические направляющие роботов и манипуляторов), а второй – для устройств, в которых осевое перемещение сопровождается вращением вокруг оси.

Типовым примером последнего могут служить изделия специального назначения, такие как стволы артиллерийского и стрелкового оружия (СО).

Технология их изготовления предусматривает две стадии [1]:

1. Получение глубокого отверстия с указанными геометрическими параметрами внутренней поверхности.

2. Получение на внутренней поверхности профильных элементов.

Каждая из них требует нескольких операций и специального оборудования.

Большой научный и практический интерес представляет совершенствование процессов изготовления оружейных стволов по следующим основным причинам:

- в качестве материалов для изготовления стволов используются в основном конструкционные легированные высококачественные стали (30XH2MФА, 50P, 50РА, 30ХРА), т. е. малопластичные материалы;

- необходимость получения исходной длинномерной толстостенной трубчатой заготовки с глубоким отверстием необходимой точности при шероховатости поверхности 0,16...0,32 мкм;

- канал оружейного ствола имеет высокую точность размеров и достаточно сложную геометрическую форму профильных элементов (нарезов или полигонов), образующих винтовую поверхность;

- эксплуатационные качества (баллистические характеристики) огнестрельного оружия напрямую зависят от качества внутреннего профиля оружейного нарезного ствола.

Поэтому ствол СО требует особой тщательности при проектировании и изготовлении.

Основные трудности при создании трубчатой толстостенной длинномерной заготовки ($l/d \geq 10$, где l – глубина отверстия, d – диаметр отверстия), так называемой «ствольной заготовки», методом сверления глубоких отверстий заключаются:

- в сложных условиях подвода смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания и отвода стружки;

- в вводе осей отверстий;

- в погрешностях размера и формы отверстий в радиальном и продольном сечениях.

Следует отметить, что изготовление гладкого канала в сплошной цилиндрической заготовке сверлением требует специальных высокоточных станков, производства которых в Украине не было.

Таким образом, при сверлении длинной заготовки значительная часть металла превращается в стружку, также необходимо использование специального уникального оборудования, инструмента (специальных сверл) и особых режимов резания. Кроме того, одной операции глубокого сверления для получения качественного прецизионного отверстия недостаточно, и требуются дополнительные отделочные операции, вследствие чего трудоёмкость процесса изготовления резко возрастает.

Целью работы является разработка и исследование процесса гидропрессования ствольной заготовки на подвижной гладкой оправке.

Одной из задач исследования являлось изучение возможности получения заготовок для ство-

ла с необходимой точностью и шероховатостью внутренней поверхности из более коротких заготовок с глубиной отверстия $l/d < 10$. Достичь этого возможно путём выдавливания трубчатой заготовки на оправке.

Однако из-за низкой пластичности ствольных сталей традиционное холодное выдавливание не обеспечивает необходимой степени деформации без разрушений. Поэтому для повышения пластичности сталей при холодном формообразовании изделий используют схемы выдавливания в условиях напряженно-деформированного состояния (НДС) всестороннего неравномерного сжатия при деформации в среде высокого гидростатического давления или гидропрессования (гидроэкструзию) [2–5]. Данный способ позволяет как повысить пластичность самого материала, так и получить необходимые физико-механические свойства деформированного материала.

В результате анализа предложен и рассмотрен перспективный метод получения высокоточных трубчатых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами (например, ствольных заготовок) методом гидропрессования с дифференцированным противодействием трубчатой заготовки на подвижной гладкой оправке.

Анализ гидропрессования трубчатых заготовок из ствольной стали 30XH2MФА проводили с помощью МКЭ с использованием программного комплекса DEFORMTM-3D [6].

Для моделирования процесса были заданы механические свойства металла в исходном состоянии для стали 30XH2MФА, коэффициент трения на контактных поверхностях инструмента, исходные размеры заготовки и др.

Согласно выбранной схеме гидропрессования, учитывая, что данная задача является осесимметричной, была составлена расчётная схема процесса (рис. 1).

В контейнер (1) устанавливается заготовка (3), к которой прикладывается нагрузка штоком с оправкой (2).

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. В случаях действия гидростатического давления учитывали снятия его в момент перехода свободной поверхности на контактную поверхность с инструментом и при выходе заготовки из матрицы.

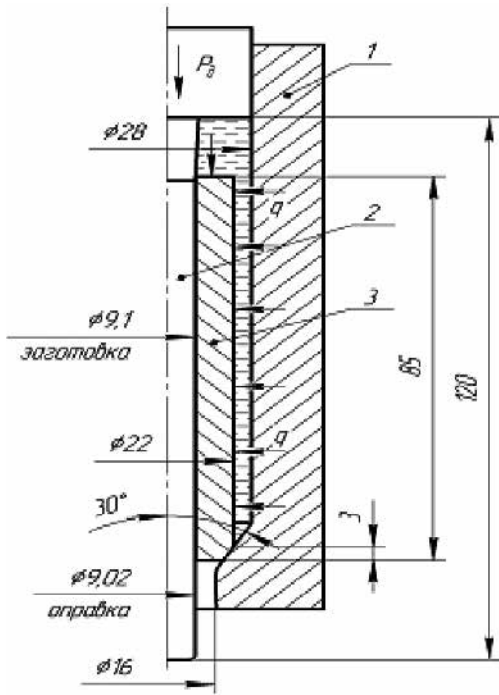


Рис. 1. Расчётная схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

По результатам компьютерного моделирования было определено НДС изготавливаемых деталей, необходимое гидростатическое давление, которое обеспечит деформирование в холодном состоянии для стали 30ХН2МФА без разрушений (величина необходимого гидростатического давления составила 750 МПа), конечную геометрию изделия, распределение удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а также силовые параметры процесса. Кроме того, расчётным путём была определена рациональная геометрия инструмента (угол матрицы, высота калибрующего пояса и радиус перехода между ними).

Максимальное значение интенсивности деформаций ϵ_i составило 1,3 на контактной поверхности, в самой же стенке трубчатой заготовки, после прессования, распределение ϵ_i равномерное, и максимальное значение ϵ составило 0,88. Из составляющих компонент деформаций наибольших значений достигли деформации ϵ_r и ϵ_z , где максимальные по абсолютной величине, соответственно, составили $\epsilon_r - 1,07$ и $\epsilon_z - 1,1$.

Из составляющих компонент напряжений наибольших значений (по абсолютной величине) достигли тангенциальные напряжения $\sigma_\theta = -2300$ МПа.

Максимальные значения нормальных напряжений на инструменте достигли 1600...2250 МПа на конической поверхности матрицы. На оправке - от 1000 МПа до 1800 МПа. Максимальное значение усилия выдавливания составило 630 кН.

Получение прецизионных трубчатых заготовок гидропрессованием с подвижной гладкой оправкой поставило вопрос о прочности и надёжности матрицы в этом процессе.

Для решения этого вопроса (до экспериментальной проверки) было проведено исследование методом компьютерного моделирования НДС матрицы в процессе гидропрессования при воздействии гидростатического давления, обеспечивающего пластичность заготовки из стали 30ХН2МФА. Для расчёта матрицы использовался программный комплекс DEFORM.

Результаты расчёта позволили сделать вывод о достаточной прочности и надёжности матрицы при получении прецизионных трубчатых заготовок гидропрессованием с подвижной гладкой оправкой [7].

На рис. 2 показано распределение нормальных напряжений на поверхности матрицы. Максимальное значение нормального напряжения составило 2250...2300 МПа.

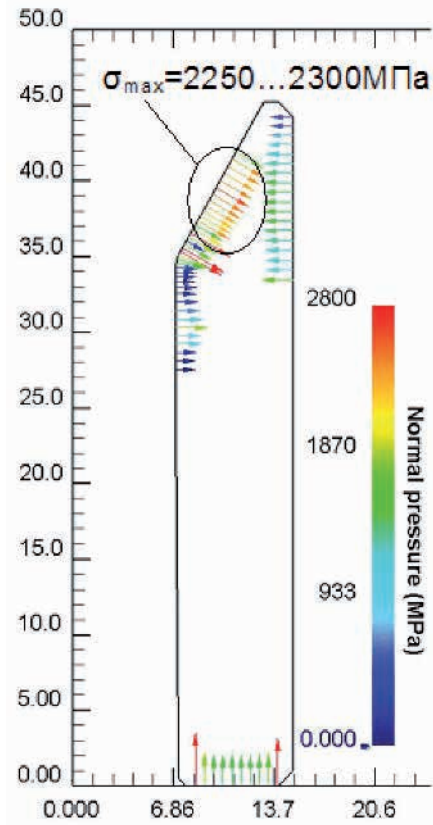


Рис. 2. Распределение нормальных напряжений на поверхности матрицы

Исходя из полученных данных компьютерного моделирования, был разработан технологический процесс получения ствольной заготовки и спроектирована оснастка для её изготовления путём гидроэкструзии в условиях высоких гидростатических давлений [8].

Конструкция штампа для гидроэкструзии с подвижной оправкой приведена на рис. 3. Ма-

трица с бандажированным контейнером (1), который установлен на направляющем конусе (3), зафиксированном в проточке нижней плиты (5) вместе с подкладным кольцом (4). Сам контейнер (1) крепится прижимным кольцом (2) с помощью болтов (15) с шайбами (16). В рабочей камере контейнера (1) вместе с заготовкой устанавливается пуансон с оправкой (14).

В верхней плите (6) установлена подкладная плита (8) с пятой (9), на которую опирается пуансон-шток (10), фиксируемый гайкой (13), вкрученной в корпус (7), который, в свою очередь, крепится болтами (17) с шайбами (18) к верхней плите (6). Для крепления нижней плиты (5) на прессе используются болтовые соединения: болт (19), гайка (20), шайба (21).

Штамп работает следующим образом. В бандажированный контейнер (1) устанавливается заготовка с предварительными фасками под конус матрицы вместе с оправкой. Сменным пуансоном (10) предварительно надавливают на пуансон с оправкой (14), чтобы предотвратить последующую течь рабочей жидкости. После этого в камеру контейнера заливается рабочая жидкость необходимого объема. Далее устанавливают пуансон (10) с уплотнителем (11), который зафиксирован кольцом (12).

Во время рабочего хода происходит сжатие рабочей жидкости до необходимого давления, которое приводит в движение пуансон с оправкой (14). При этом давление действует на свободную поверхность заготовки, которое создаёт

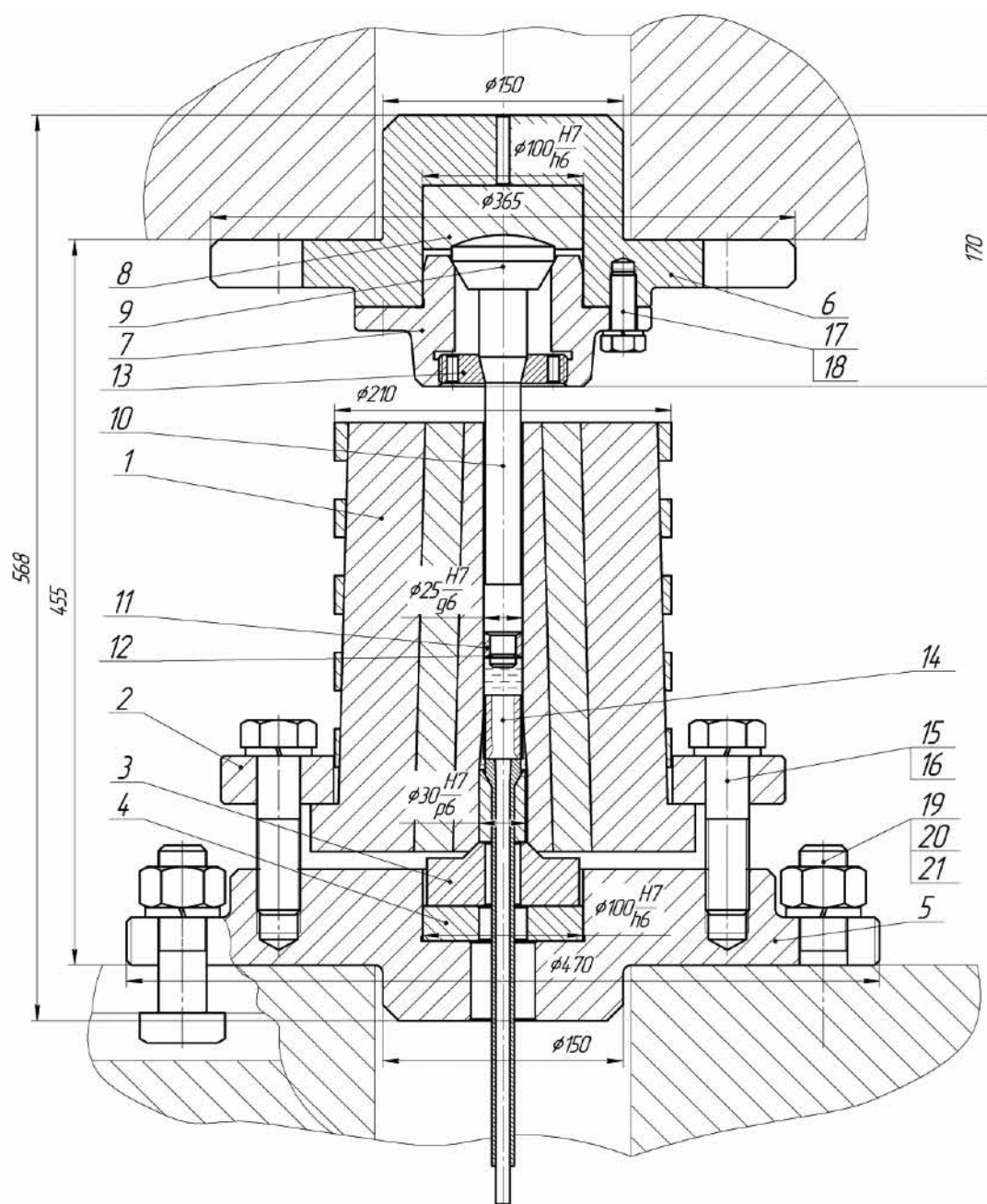


Рис. 3. Конструкция штампа для гидроэкструзии с подвижной оправкой

ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

в заготовке дополнительное напряжённое состояние. Заготовка проходит через матрицу вместе с оправкой, что позволяет получить точный размер внутренней поверхности отверстия на выходе из матрицы.

Была изготовлена соответствующая штамповая оснастка (рис. 4), которая устанавливалась на гидравлический пресс ДБ2432 усилием 1600 кН.

На рис. 5 показаны ствольные заготовки из стали 30ХН2МФА, полученные методом гидроэкструзии на гладкой подвижной оправке через коническую матрицу.

Гидропрессование осуществлялось без выхода заготовки из матрицы (не на всю длину), в результате чего образуется участок утолщения под механическую обработку под патронник и участок пульного входа.

Сравнивая экспериментальные данные с результатами, полученными расчётным путём, следует отметить, что разница составила менее

10 %, что подтверждает адекватность полученных расчётов.

Разработанная технология получения ствольных заготовок до сих пор не использовалась в Украине. Способ позволяет снизить себестоимость изготовления изделий, в том числе за счет повышения производительности и ухода от использования дорогого инструмента. Из технологической цепочки исключается обработка заготовки на уникальном оборудовании – станках глубокого сверления, никогда не изготавливавшихся и не использовавшихся в Украине, стоимость одного сверла для которых исчисляется в сотнях евро. Предварительные расчеты показали, что штучное время на весь процесс получения полуфабриката по разработанной технологии относительно существующей технологии (в т. ч. с учётом операций сверления и обработки торцевых поверхностей) снижается более чем в 4 раза.

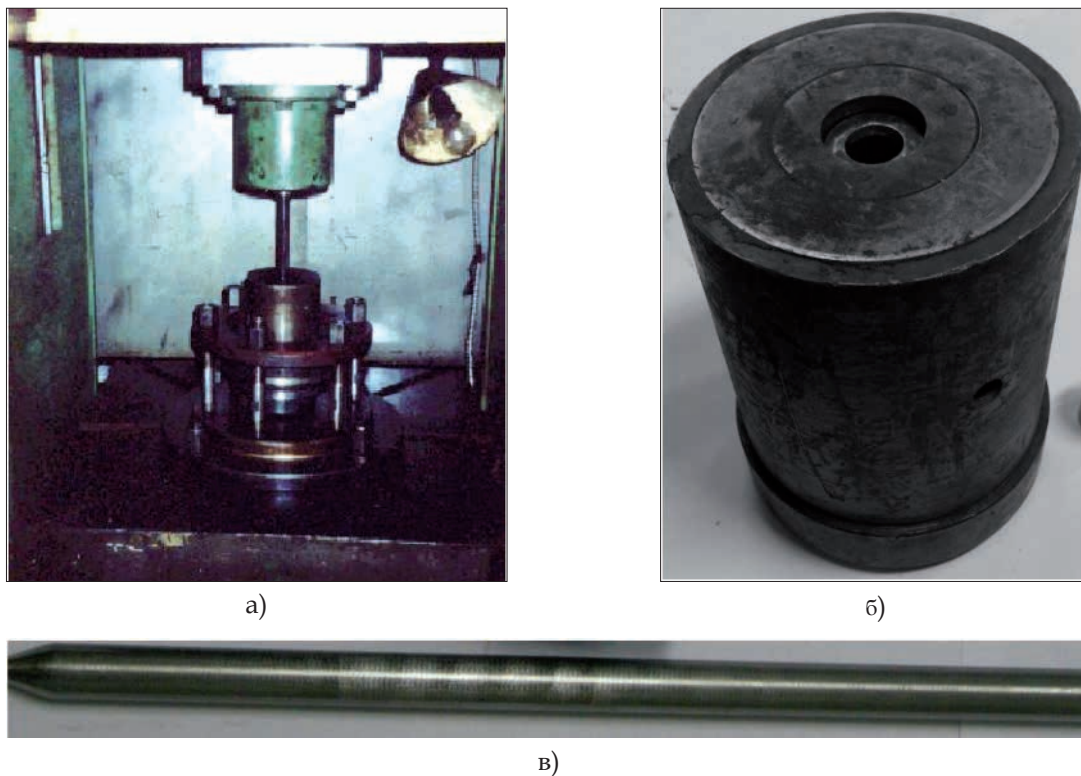


Рис. 4. Производственный штамп на прессе ДБ2432 (а) и его составляющие детали: б – бандажированный контейнер; в – оправка



Рис. 5. Ствольные заготовки, полученные путём гидроэкструзии на гладкой оправке

Выводы

1. Предложен способ получения ствольной заготовки путем гидропрессования на подвижной гладкой оправке. Ранее такой способ производства ствольных заготовок не применялся; он позволит существенно снизить себестоимость изготовления СО и существенно увеличить производительность технологического процесса относительно базовой технологии с применением глубокого сверления.

2. 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, определённая величина необходимого гидростатического давления составила 750 МПа.

3. Определено НДС трубчатой заготовки при деформировании, распределение нормальных напряжений на контактирующих поверхностях заготовки с инструментом и максимальное усилие процесса гидроэкструзии, которое составило 630 кН в конце рабочего хода.

4. Результаты исследования методом компьютерного моделирования НДС матрицы в процессе гидропрессования при воздействии гидростатического давления, обеспечивающего пластичность заготовки из стали 30ХН2МФА (750 МПа), подтвердили достаточную прочность и надёжность деформирующего инструмента.

5. Используя полученные результаты компьютерного моделирования, было спроектировано и изготовлено штамповое оборудование для реализации процесса гидроэкструзии ствольной заготовки на гладкой подвижной оправке.

6. Результаты натурных экспериментов подтвердили адекватность полученных расчётов и эффективность предложенного метода изготовления высокоточных длинномерных трубчатых изделий из малопластичных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами гидропрессованием на гладкой оправке.

7. Разработанная технология получения ствольных заготовок из стали 30ХН2МФА позволяет снизить себестоимость изготовления изде-

лий и повысить продуктивность производства стволов СО. Это достигается путём исключения из технологического процесса методов получения заготовок на специальном оборудовании.

Библиографический список

1. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия / А. Г. Туктанов. – М.: Машиностроение, 2007. – 375 с.

2. Береснев Б. И. Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях / Б. И. Береснев, Л. Ф. Верещагин, Ю. Н. Рябинин [и др.]. – М.: Изд-во АН УССР, 1960. – 80 с.

3. Белошенко В. А. Теория и практика гидроэкструзии / В. А. Белошенко, В. Н. Варюхин, В. З. Спусканюк. – К.: Наукова думка, 2007. – 246 с.

4. Береснев Б. И. Высокие давления в современных технологиях обработки материалов / Б. И. Береснев, К. И. Езерский, Е. В. Трушин и др. – М.: Наука, 1988. – 245 с.

5. Бейгельзимер Я. Е. Напряженно-деформированное состояние металла при безоправочном гидропрессовании толстостенных трубных заготовок / Я. Г. Бейгельзимер, А. В. Спусканюк // Физика и техника высоких давлений, 1995. – № 1. – С. 18–25.

6. Розов Ю. Г. Исследование процесса гидроэкструзии трубчатой заготовки на профильной оправке методом компьютерного моделирования / Ю. Г. Розов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2013. – № 12. – С. 21–25.

7. Розов Ю. Г. Исследование напряжённо-деформированного состояния деформирующего инструмента при гидропрессовании трубчатых заготовок методом конечных элементов / Ю. Г. Розов // Вестник Херсонского национального технического университета: инженерные науки. – Херсон, 2014. – № 1 (48). – С. 48–54.

8. Розов Ю. Г. Проектирование оснастки и технологии изготовления ствольных заготовок методом гидроэкструзии на гладкой подвижной оправке / Ю. Г. Розов // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 1 (35). – С. 106–109.

Поступила 30.09.2015

