

напряжений при радіально-ротационном профілюванні циліндричної заготовки без урахування радіусів закруглення деформуючого інструмента / Р.Г. Пузырь, Е.Н. Сосенушкин, Е.А. Яновская // Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал. М.: МГТУ «Станкин», 2013. – №4 (27). – с. 42–47.

Bibliography (transliterated): 1. Potekushin N.V., Je.Z. Sajfulin “Issledovanie naprjazhenij pri radial'nom profilirovanii zagotovok na pervyh perehodah» V kn.: *Obrabotka metallov davleniem. Sverdlovsk, UPI*. No. 2. 1974. 111–114. Print. 2. Chigirinskij V.V., V.L. Mazur, and S.V. Belikov. *Sovremennoe proizvodstvo koles avtotransportnyh sredstv i sel'skohozjajstvennoj tehniki: [Monografija]. Dnepropetrovsk: RIA «Dnepr-VAL», 2010. Print.* 3. Mos'pan D.V., V.V. Dragobeckij, R.G. Puzyr' “Opredelenie potrebnogo krutjashhego momenta pri radial'no-rotacionnom profilirovanii obod'ev koles». *Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politehničnogo universitetu imeni Mihajla Ostrogradskogo. Kremenchuk: KDPU*, No. 6.53. 2008. chastina 2. 64–66. Print. 4. Guo Y.Q. “Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach». *Comput. Struct.* No. 78. 2000.133–148. Print. 5. Balabin I.V., V.G. Bondar' and L.G. Suhomlinov “Raschet naprjazhennogo sostojanija obod'ev koles.» *Tr. NAMI*. No.189. 1983. 24–43. Print. 6. Timoshenko S. P. and S. Vojnovskij-Kriger. *Plastinki i obolochki* Moscow: Nauka, 1966. 635. Print. 7. Filin A.P. *Jelementy teorii obolochek* Leningrad: Strojizdat, Leningr. otd-nie, 1975. 256. Print. 8. Vol'mir A. S. *Ustojchivost' deformiruemyh system* Moscow: Glavn. red. fiziko-matematičeskoj literatury, 1967. 984. Print. 9. Puzyr' R.G., E.N. Sosenushkin and E.A. Janovskaja “Ustanovlenie polja naprjazhenij pri radial'no-rotacionnom profilirovanii cilindričeskoj zagotovki bez ucheta radiusov zakruglenija deformirujushhego instrumenta» *Moscow: MGTU «Stankin»*. No. 4.27. 2013. 42–47. Print.

Поступила (received) 22.10.2015

УДК 621.777

Ю. Г. РОЗОВ, докт. техн. наук, доц., Херсонский национальный технический университет

ГИДРОЭКСТРУЗИЯ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПОДВИЖНОЙ ГЛАДКОЙ ОПРАВКЕ

В статье предложена новая перспективная технология гидропрессования ствольной заготовки на подвижной гладкой оправке. 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.

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

Введение. 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) внутреннего диаметра d , а их образующие могут быть параллельными оси трубчатого изделия или образовывать винтовую поверхность.

Первый случай характерный для телескопических устройств различного назначения, обеспечивающих прямолинейное перемещение в направлении оси одних частей конструкции относительно 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.

Постановка задачи. 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 (30ХН2МФА, 50Р, 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 на Украине не было.

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

Цель исследования – разработка нового процесса гидропрессования ствольной заготовки на подвижной гладкой оправке.

Постановка задачи. Одной из задач исследования являлось изучение возможности получения заготовок для ствола 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 НДС

всестороннего неравномерного сжатия при деформации в среде высокого гидростатического давления или гидропрессование (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 противодавлением трубчатой заготовки на подвижной гладкой оправке.

Методы исследования. Анализ гидропрессования трубчатых заготовок из ствольной стали 30ХН2МФА проводили с помощью МКЭ с использованием программного комплекса DEFORMTM-3D [6].

Для моделирования процесса были заданы механические свойства металла в исходном состоянии для стали 30ХН2МФА, 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.

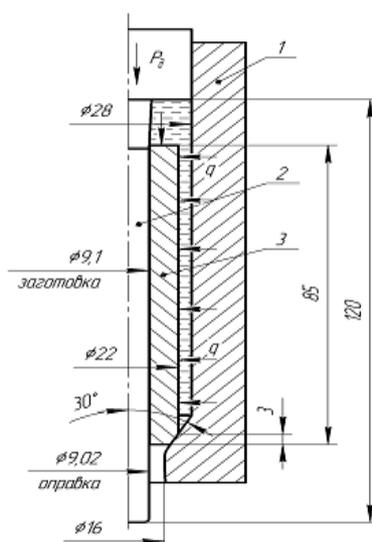


Рис. 1–Расчётная схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

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

Результаты численного моделирования. 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 пояска 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 0,88. Из составляющих компонент деформаций наибольших значений достигли деформации ε_r и ε_z , где максимальные по абсолютной величине, соответственно составили ε_r , – 1,07 и ε_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.

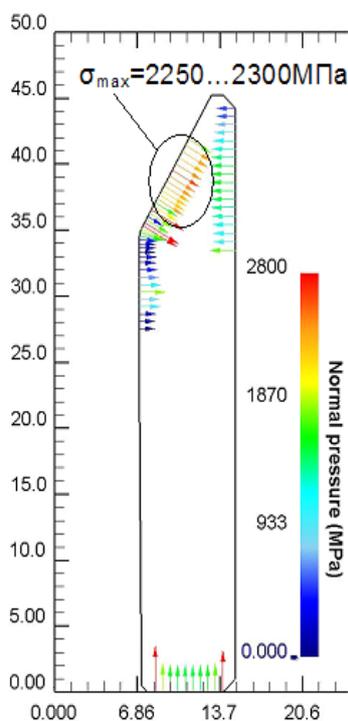


Рис. 2 – Распределение нормальных напряжений на поверхности матрицы

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.

Распределения параметров НДС по объёму нагруженной матрицы представлены на рис. 3. Максимальное значение гидростатического давления составило -1800 МПа в месте перехода конической части матрицы в цилиндрический калибрующий пояс.

Результаты экспериментальных исследований. 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].

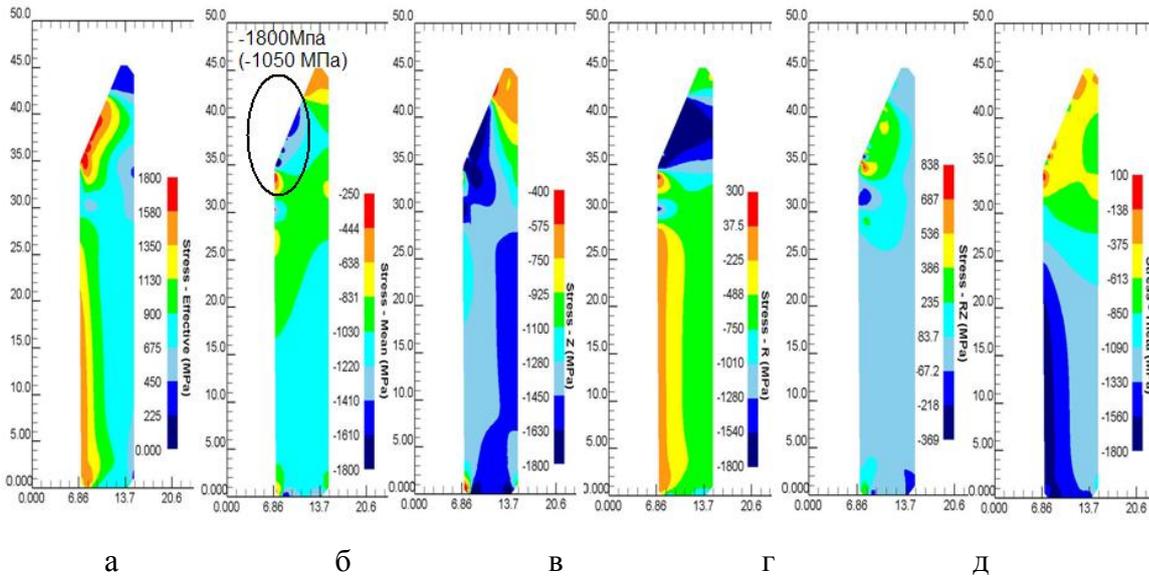


Рис. 3 – Распределение параметров НДС в объёме матрицы в нагруженном состоянии: а – распределение интенсивности напряжений σ_i ; б – распределение гидростатического давления; в – распределение компоненты напряжения σ_z ; г – распределение компоненты напряжения σ_r ; д – распределение компоненты напряжения σ_{rz} ; е – распределение компоненты напряжения σ_θ

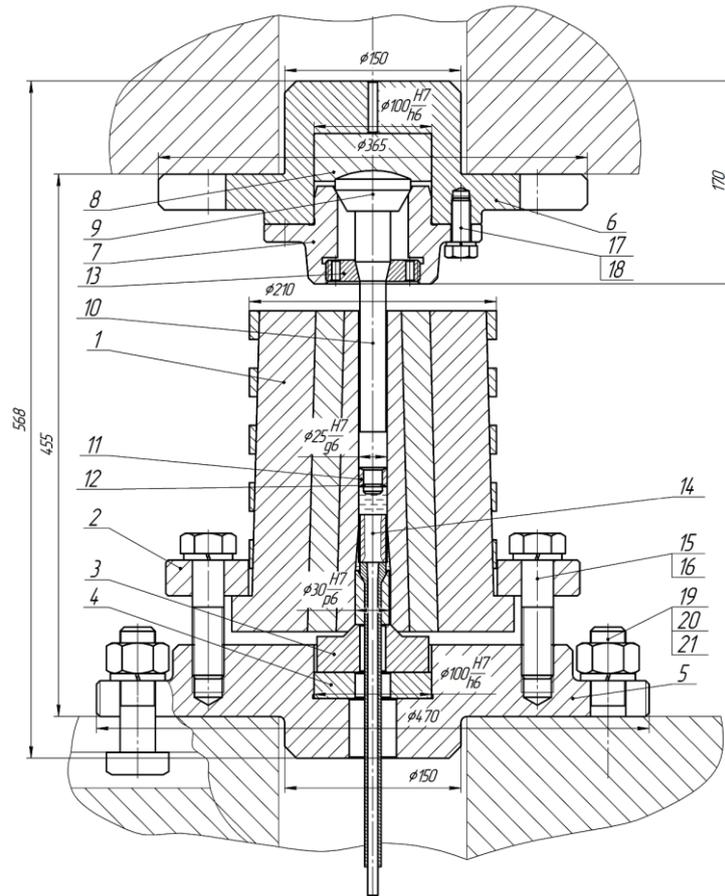


Рис. 4 – Конструкция штампа для гидроэкструзии с подвижной оправкой

Конструкция штампа для гидроэкструзии с подвижной оправкой приведена на рис. 4. Матрица 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).

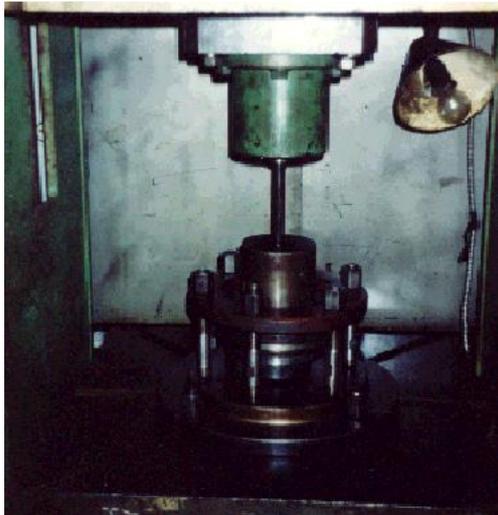
Штамп работает следующим образом. В бандажированный контейнер 1 устанавливается заготовка с предварительными фасками под конус матрицы, вместе с оправкой. Сменным пуансоном 10 предварительно надавливают на пуансон с оправкой 14, чтобы предотвратить последующую течь рабочей жидкости. После этого, в камеру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

Была изготовлена соответствующая штамповая оснастка (рис. 5), которая устанавливалась на гидравлический пресс ДБ2432 усилием 1600 кН.

На рис. 6 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.



а



б



в

Рис. 5 – Производственный штамп: а – установленный на прессе ДБ2432
б – бандажированный контейнер; в – оправка



Рис. 6 – Ствольные заготовки, полученные путём гидроэкструзии на гладкой оправке

Разработанная технология получения ствольных заготовок позволяет снизить себестоимость изготовления изделий и повысить продуктивность производства стволов СО. Это достигается путём исключения из технологического процесса методов получения заготовок на специальном оборудовании.

Выводы:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

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

5. 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.

6. Разработанная технология получения ствольных заготовок из стали 30ХН2МФА позволяет снизить себестоимость изготовления изделий и повысить продуктивность производства стволов СО. Это достигается путём исключения из технологического процесса методов получения заготовок на специальном оборудовании.

Список литературы: 1. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия [Текст] / А. Г. Туктанов. – М. : Машиностроение, 2007. – 375 с. 2. Береснев Б. И. Некоторые вопросы больших пластических деформаций металлов при высоких давлениях [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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.

Bibliography (transliterated): **1.** Tuktanov A. G. Tehnologija proizvodstva strelkovopushhechnogo i artillerijskogo oruzhija. A. G. Tuktanov. Moscow : Mashinostroenie, 2007. Print. **2.** Beresnev B. I. Nekotorye voprosy bol'shikh plasticheskikh deformacij metallov pri vysokih davlenijah. B. I. Beresnev, L. F. Vereshhagin, Ju. N. Rjabinin i dr. Moscow : Izd-vo AN USSR, 1960. Print. **3.** Beloshenko V. A. Teorija i praktika gidrojekstuzii. V. A. Beloshenko, V. N. Varjuhin, V. Z. Spuskanjuk. Kiev : Naukova dumka, 2007. Print. **4.** Beresnev B. I. Vysokie davlenija v sovremennyh tehnologijah obrabotki materialov. B. I. Beresnev, K. I. Ezerskij, E. V. Trushin i dr. Moscow : Nauka, 1988. Print. **5.** Bejgel'zimer Ja. E. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie metalla pri bezopravochnom gidropressovanii tolstostennyh trubnyh zagotovok. Ja. G. Bejgel'zimer, A. V. Spuskanjuk : Fizika i tehnika vysokih davlenij, 1995. No 1. 18–25. Print. **6.** Rozov Ju. G. Issledovanie processa gidrojekstuzii trubchatoj zagotovki na profil'noj opravke metodom komp'juternogo modelirovanija. Ju. G. Rozov. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. 2013. No 12. 21–25. Print. **7.** Rozov Ju. G. Issledovanie naprjazhjonno-deformirovannogo sostojanija deformirujushhego instrumenta pri gidropressovanii trubchatyh zagotovok metodom konechnyh jelementov. Ju. G. Rozov. Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta : inzhenernye nauki. Herson, 2014. No 1 (48). 48–54. Print. **8.** Rozov Ju. G. Proektirovanie osnastki i tehnologii izgotovlenija stvol'nyh zagotovok metodom gidrojekstuzii na gladkoj podvizhnoj opravke. Ju. G. Rozov. Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. Kramatorsk : DGMA, 2013. No 1 (35). 106–109. Print.

Поступила (received) 30.01.2015

УДК 621.777

С. Ф. САБОЛ, канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПІ»;

В. В. ПІМАНОВ, асистент, НТУУ «КПІ»;

Є. М. КОРОБКА, студент, НТУУ «КПІ», Київ

КОМБІНОВАНЕ ХОЛОДНЕ ВИДАВЛЮВАННЯ КОНІЧНОЇ ПОРОЖНИСТОЇ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИРОБУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Запропоновано схему комбінованого видавлювання конічної порожнистої заготовки. За допомогою методу скінчених елементів (МСЕ) в програмному комплексі DEFORM-3D проведено теоретичний аналіз процесу. Визначено залежність зусилля процесу від переміщення пуансону, отримано розподіл нормальних напружень на матриці, пуансоні та виштовхувачі штампю. Приведено розподіл

© С. Ф. Сабол, В. В. Піманов, Є. М. Коробка, 2015