

УДК 621.77.01

Розов Ю. Г.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРОФИЛИРОВАННОЙ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Толстостенные трубчатые изделия с прецизионными элементами внутреннего профиля (6...8 квалитет, при шероховатости 0.16...0.64 мкм) достаточно широко применяются в машиностроении, приборостроении и изделиях специального назначения.

Типовым примером изделий специального назначения могут служить стволы артиллерийского и стрелкового оружия. Технология их изготовления предусматривает две стадии:

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.

Чаще всего канал в заготовке ствола производится по схеме: предварительное сплошное сверление, развёртывание, чистовое развёртывание. В качестве финишных операций, применяют хонингование или протягивание, а в последнее время – электрохимическую обработку [1]. При этом трудоёмкость процесса изготовления резко возрастает.

При изготовлении канала ствола методами, основанными на холодном пластическом деформировании металла, не всегда обеспечивается желаемое качество канала.

Существующие методы профилирования ведущей части стволов не являются универсальными и имеют ряд существенных недостатков, среди которых можно выделить следующие: высокая трудоёмкость (механическая и электрохимическая обработка); необходимость использования сложного дорогостоящего оборудования (шпалерование, радиальная ковка); наличие остаточных напряжений в стволе (дорнование); загрязнение экологии (электрохимическая обработка) и др.

Таким образом, вопрос создания новых нетрадиционных, высокопроизводительных методов изготовления высококачественных стволов стрелкового оружия (СО), основанных на пластическом деформировании металла, в настоящее время остаётся достаточно актуальным.

Целью работы является развитие существующих и создание новых научно обоснованных, обеспечивающих повышение технико-экономических показателей, технологических процессов изготовления длинномерных трубчатых ствольных заготовок и основанных на холодном пластическом деформировании металлов, стволов СО с оптимальным профилем внутренней поверхности ведущей части канала.

Геометрические параметры профиля поперечного сечения ствола с традиционными видами нарезки (прямоугольной, трапециевидной, секторной и др.) хорошо изучены и описаны в литературе [1–3]. Менее известны параметры стволов с профилем полигонального типа, хотя потенциальные возможности стволов с указанным профилем поперечного сечения конструкторам стрелкового и артиллерийского оружия были известны давно, а попытки применить их интенсивно повторялись во второй половине IX–начале XX столетий, прежде всего для морской артиллерии на орудиях крупного калибра (120 мм, 203 мм, 305 мм) [4].

В настоящее время в стрелковом оружии нового поколения конструкторы ведущих оружейных фирм в своих новых моделях отдают предпочтение этому виду профиля поперечного сечения (Heckler-und-Koch, Glock, Česká Zbrojovka, Ковровский механический завод, Ижевский механический завод и др.) [4–6].

Профиль полигонального типа был использован в первой украинской модели пистолета-пулемёта «Эльф», который по своим тактико-техническим параметрам не уступал на то время лучшим зарубежным образцам оружия этого класса [7].

Разработка новых технологических процессов изготовления прецизионных трубчатых изделий методами холодной пластической деформации и проектирование необходимой для этого технологической оснастки не возможны без тщательного анализа напряжённо-деформированного состояния (НДС) в очаге деформации, определения энергосиловых параметров и прочностных расчётов рабочих инструментов.

Ввиду низкой пластичности ствольных сталей (30ХН2МФА, 50Р, 50РА и др.), 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 гидропрессования (гидроэкструзии).

Предложен и рассмотрен перспективный метод получения высокоточных трубчатых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами (например, ствольных заготовок) методом гидропрессования на подвижной гладкой оправке [8–10].

Реализованная 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 устанавливается оправка 4 и заливается рабочая жидкость. Верхняя коническая часть оправки обеспечивает уплотнение для исключения протекания жидкости. Сверху оправки устанавливается шток 2 с уплотнением 3.

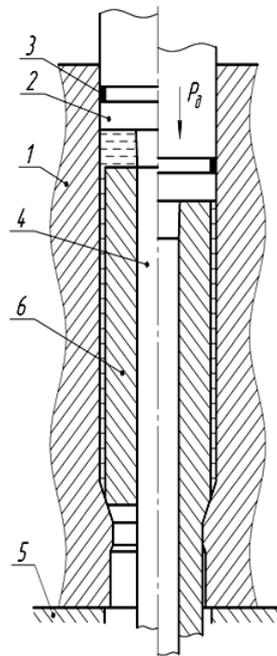


Рис. 1. Схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

К штоку прикладывается усилие P_0 . 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.

Анализ гидропрессования трубчатых заготовок из стали 30ХН2МФА с подвижной гладкой оправкой проводили методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного комплекса DEFORMTM-3D.

По результатам компьютерного моделирования было определено НДС изготавливаемых деталей, необходимое гидростатическое давление, которое обеспечит деформирование в холодном состоянии для сталей 30XH2MФА без разрушений (соответственно – 750 МПа), конечную геометрию изделия, распределение удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а также силовые параметры процесса.

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 [11]. На основании этого было изготовлено штамповое оборудование и реализован процесс гидроэкструзии ствольных заготовок на гладкой подвижной оправке (рис. 2). Сравнение экспериментальных данных с результатами, полученными расчётным путём, показало их совместимость в пределах 10%, что подтвердило адекватность полученных расчётов.



Рис. 2. 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.

Предложены новые технологии изготовления прецизионной толстостенной трубчатой заготовки с внутренними винтовыми канавками на примере изготовления ствола СО с полигональным профилем (рис. 3).

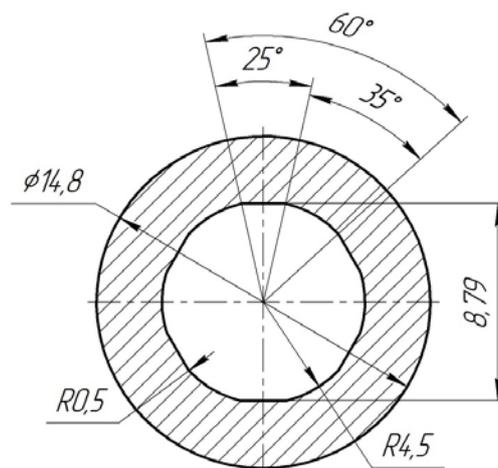


Рис. 3. Поперечное сечение ствола с полигональным профилем

Для формирования полигонального профиля внутренней поверхности ствольной заготовки, полученной методом гидропрессования в условиях неравноосного всестороннего сжатия, в работе использовался метод её обжатия после отжига на профильной оправке:

- неприводными роликами [12] (рис. 4, а);
- в гладкой конической матрице с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему пояску [13] (рис. 4, б).

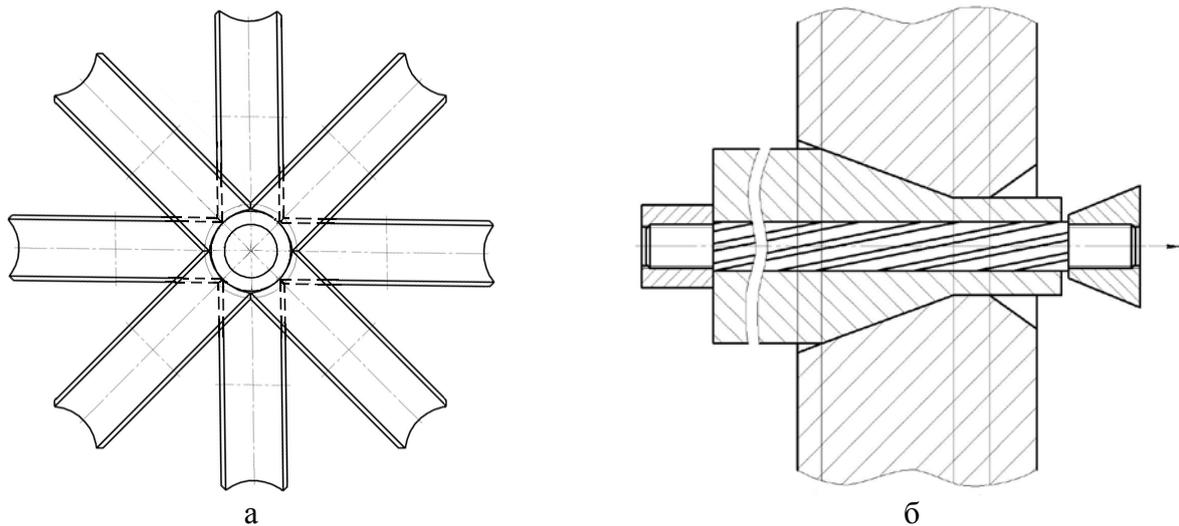


Рис. 4. Схема обжатия ствольной заготовки:
а – неприводными роликами; б – в гладкой конической матрице

Проведены расчёты энергосиловых параметров с использованием метода плоских сечений и получены формулы для определения осевого усилия:

– при обжатии трубчатой заготовки на оправке неприводными роликами:

$$P_{об}^{oc} = \sigma_p S_{дем}. \quad (1)$$

где σ_p – расчётное напряжение в стенках трубы:

$$\sigma_p = \sigma_s \frac{\left[\left(\frac{D_{заг}^2 - D_{дем}^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right) + \frac{D_{дем}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{дем} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дем} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right]}{1 + \left[\left(\frac{D_{заг}^2 - D_{дем}^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right) + \frac{D_{дем}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{дем} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дем} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right]};$$

$S_{дем} = \frac{\pi}{4} (D_{дем}^2 - d_0^2)$ – площадь поперечного сечения заготовки на выходе из роликовой матрицы;

$D_{заг}$ – наружный диаметр трубчатой (ствольной) заготовки;

$D_{дем}$ – наружный диаметр готовой детали (ствола);

d_0 – диаметр оправки;

– при обжатии в конической матрице, с учётом рабочего угла конуса матрицы и сил трения на участке калибровки после выхода заготовки из конической части матрицы:

$$P_{об}^{oc} = (\sigma_p + \sigma_{тр.н.}) S_{дем}. \quad (2)$$

где σ_p – расчётное напряжение в стенках трубы на выходе из матрицы:

$$\sigma_p = \sigma_s \frac{\left[\left[A_\alpha \frac{D_{заг}^2 - D_{дем}^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right] - \mu B_\alpha \frac{D_{дем}(d_0^2 - D_{заг}^2) - D_{заг}(d_0^2 - D_{дем}^2)}{d_0(d_0^2 - D_{заг}^2)} + \frac{D_{дем}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{дем} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дем} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right]}{(1 - \mu g \alpha_M) + \left[\left[A_\alpha \frac{D_{заг}^2 - D_{дем}^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right] - \mu B_\alpha \frac{D_{дем}(d_0^2 - D_{заг}^2) - D_{заг}(d_0^2 - D_{дем}^2)}{d_0(d_0^2 - D_{заг}^2)} + \frac{D_{дем}^2 - d_0^2}{2d_0^2} \ln \frac{(D_{дем} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дем} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right]};$$

$$A_\alpha = \left(1 - \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha}\right); B_\alpha = \frac{(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha};$$

μ – коэффициент трения;

α_M – рабочий угол матрицы;

$\sigma_{\text{тр.п.}}$ – дополнительные напряжения в стенках заготовки, вызванные силами трения на участке калибровки после выхода из конической части матрицы при длине калибрующего пояса $l_{\text{к.п.}}$:

$$\sigma_{\text{тр.п.}} = 2\mu \left(\frac{(\sigma_S - \sigma_R) l_{\text{к.п.}} D_{\text{дем}}}{(D_{\text{дем}}^2 - d_0^2)} \right);$$

σ_R – радиальные напряжения;

σ_S – напряжение текучести;

$S_{\text{дем}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{дем}}^2 - d_0^2)$ – площадь поперечного сечения заготовки на выходе из конической матрицы.

ской матрицы.

Полученные аналитические зависимости имеют удобный для использования в инженерных расчётах вид и учитывают влияние реальных факторов, присущих рассматриваемому технологическому процессу. При обжатии неприводными роликами (формула (1)) осевое усилие деформирования зависит от размеров заготовки и степени деформации.

При обжатии заготовки в гладкой конической матрице (формула (2)), осевое усилие деформирования возрастает при увеличении длины калибрующего пояса $l_{\text{к.п.}}$, уменьшении рабочего угла конуса матрицы α_M , увеличении коэффициента трения μ .

Для изучения процессов профилирования внутренней поверхности ствольной заготовки, полученной обжатием на профильной оправке неприводными роликами и в гладкой конической матрице, определения параметров НДС, энергосиловых параметров, геометрии и размеров деформирующих инструментов использовался пакет прикладных программ DEFORM^{MT}-3D на основе МКЭ.

Результаты анализа показали приемлемость использования предложенных способов для изготовления ствола с профилем полигонального типа.

Проведенные компьютерное моделирование и натурные эксперименты показали эффективность новых технологий изготовления стволов СО с полигональным профилем поперечного сечения (рис. 5).

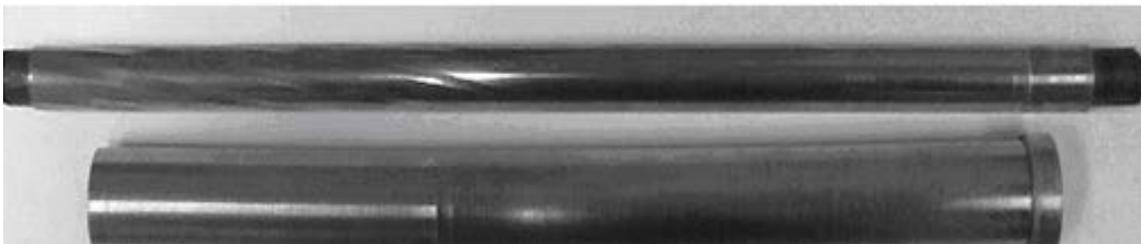


Рис. 5. Профильная оправка и ствол стрелкового оружия, изготовленный методом радиального обжатия

С помощью современных методов расчёта стволов СО была проведена проверка эффективности новых технологий их изготовления [14, 15].

Впервые разработана методика определения НДС стволов СО с нарезной внутренней поверхностью различной формы, находящихся под воздействием внутреннего статического и динамического нагружения, основанная на использовании МКЭ (рис. 6). Данный расчёт был проведен с использованием компьютерной программы ANSYS.

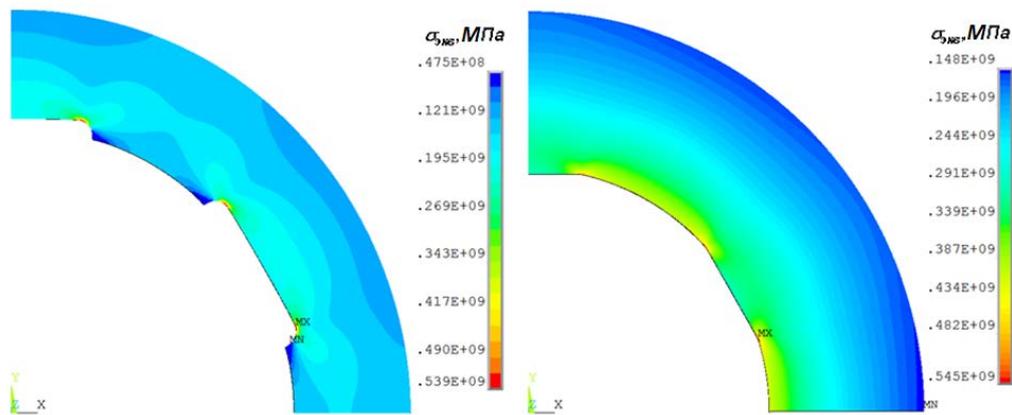


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений по поперечному сечению ствола: а – с прямоугольными нарезками; б – с полигональным профилем

Из рис. 6 видно, что в варианте конструкции ствола с прямоугольными нарезками (рис. 6, а), распределение эквивалентных напряжений имеет сосредоточенную локальную форму концентрических кругов с центром в вершине концентратора, в то время как вариант конструкции с полигональным профилем (рис. 6, б) имеет вид таких же концентрических кругов, однако их центр расположен в непосредственной близости центра поперечного сечения ствола.

Кроме того, у ствола с прямоугольной нарезкой отношение экстремальных значений эквивалентных напряжений $\sigma_{max}/\sigma_{min}$ составляет 11,3 против 3,69 у ствола с полигональным профилем, в связи с чем можно предположить, что в стволе с полигональным профилем распределение напряжений по сечению в радиальном направлении более плавное и равномерное, чем в стволе с прямоугольной нарезкой.

Проведен расчёт параметров НДС ствола и оболочки пули при их взаимодействии в процессе выстрела. Рассматривалось динамическое взаимодействие пули с внутренней профилированной поверхностью ствола пистолета-пулемёта нарезного и полигонального типа (рис. 7). Анализ был проведен с использованием компьютерной программы ANSYS/LS-DYNA.

На рис. 7 показаны кадры компьютерного моделирования динамического взаимодействия пули и канала нарезного и полигонального стволов.

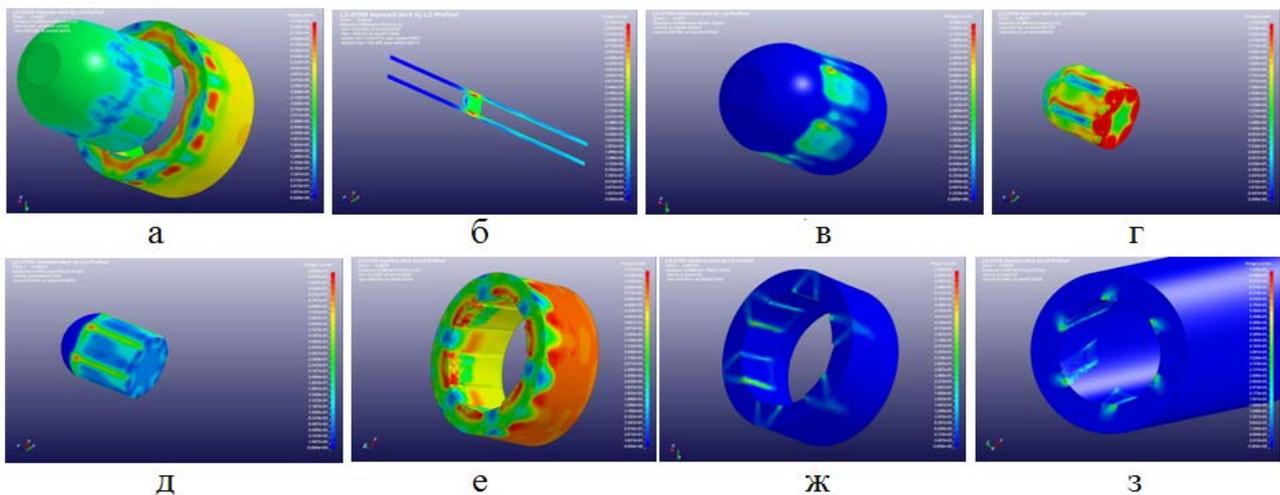


Рис. 7. Кадры компьютерного моделирования динамического взаимодействия пули и канала ствола:

а, б – процесс взаимодействия пули и конической направляющей ствола; в – распределение пластических деформаций в пуле; г, д – распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) в пуле; е – распределение эквивалентных напряжений (по Мизесу) в конической направляющей ствола; ж, з – распределение пластических деформаций в конической направляющей ствола

Кроме того, построены диаграммы:

- изменения осевого ускорения пули в процессе взаимодействия с конической направляющей ствола;
- изменения осевой скорости пули в процессе взаимодействия с конической направляющей ствола;
- изменения осевого перемещения пули в процессе взаимодействия с конической направляющей ствола.

На основании проведенных расчётов показана эффективность эксплуатационных характеристик полигонального профиля ствола стрелкового оружия.

ВЫВОДЫ

1. Впервые разработаны и опробованы новые технологии изготовления стволов СО из труднодеформируемых ствольных сталей методами холодного пластического деформирования (две стадии), исключающие недостатки, присущие традиционным способам получения изделий:

- получение длинномерной трубчатой заготовки гидропрессованием на подвижной гладкой оправке в среде высоких гидростатических давлений (получение ствольной заготовки необходимой длины из короткого полого толстостенного полуфабриката);
- профилирование внутренней полости трубчатой заготовки обжатием ствольной заготовки с профильной подвижной оправкой в гладкой конической матрице и неприводными роликами (изготовление ведущего участка ствола с полигональным профилем поперечного сечения).

2. С целью проверки эффективности новых технологий изготовления стволов СО, разработана уникальная методика определения НДС стволов с нарезной внутренней поверхностью различной формы, находящихся под воздействием внутреннего статического и динамического нагружения. Созданы конечно-элементные модели взаимодействия ствола СО с нарезками различной формы и пули при выстреле. Компьютерное моделирование подтвердило преимущества полигонального профиля, с точки зрения динамики и прочности ствола.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туктанов А. Г. *Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия* / А. Г. Туктанов. – М. : Машиностроение, 2007. – 375 с.
2. Бабак Ф. К. *Основы стрелкового оружия* / Ф. К. Бабак. – СПб. : Изд-во «Полигон», 2003. – 252 с.
3. Крекнин Л. Т. *Производство автоматического оружия* : Ч. 1. / Л. Т. Крекнин. – Ижевск, 2004. – 238 с.
4. *Перспективи використання у артилерії стволів з полігональним профілем* / В. І. Стеблюк, Ю. Г. Розов, Д. Б. Шкарлута, О. В. Холявік // *Проблеми експлуатації і розвитку ракетно-артилерійського озброєння військово-морських сил збройних сил України* : збірник доповідей II наукової конференції. – Севастополь, 5–7 жовтня 2011. – С. 19–22.
5. *Пистолеты-пулемёты ГЛОК-17 и другие (Австрия)* [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.arms.ru/Guns/pistmin/glock.htm>.
6. *АЕК-919К, пистолет-пулемёт «Каиштан»* [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.arms-expo.ru/049056049055124052054054057.html>.
7. Пасечник С. *Пистолет-пулемёт «Эльф-2»* / С. Пасечник // *Охота и оружие*. – 2000. – № 6. – С. 6–7.
8. 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.
9. Розов Ю. Г. *Конечно-элементное моделирование процесса изготовления прецизионных трубчатых изделий из стали 20X17H2 гидропрессованием на гладкой оправке* / Ю. Г. Розов // *Научно-технический прогресс в металлургии* : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, посвящённой 50-летию Карагандинского государственного индустриального университета. – Темиртау, 11–12 октября 2013. – Т. 2. – С. 63–68.
10. Розов Ю. Г. *Аналіз технології виготовлення трубчатих виробів із сталі 20X17H2 гідропресуванням на гладкій оправці* / Ю. Г. Розов, В. В. Піманов, Д. Б. Шкарлута // *Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування*. – 2012. – № 64. – С. 234–238.
11. Розов Ю. Г. *Проектирование оснастки и технологии изготовления ствольных заготовок методом гидроэкструзии на гладкой подвижной оправке* / Ю. Г. Розов // *Обработка материалов давлением* : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 1 (35). – С. 106–109.

12. Розов Ю. Г. Технология изготовления прецизионных трубчатых изделий методом обжатия на профильной оправке прокаткой-волочением неприводными роликами / Ю. Г. Розов // *Современные технологии обработки материалов давлением: моделирование, проектирование, производство: сборник научных трудов.* – № 1 (44). – Москва: Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2013. – С. 24–29.
13. Розов Ю. Г. Конечно-элементная модель волочения трубчатой заготовки на профильной оправке в конической матрице / Ю. Г. Розов // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.* – Магнитогорск, Россия, 2013. – № 3. – С. 47–50.
14. Оценка влияния профиля канала ствола на прочность стрелкового оружия / Ю. Г. Розов, В. И. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // *Артиллерийское и стрелковое вооружение: международный научно-технический журнал.* – 2012. – № 1. – С. 35–39.
15. Динамическое взаимодействие пули и внутренней поверхности ствола с полигональным профилем / Ю. Г. Розов, В. И. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // *Артиллерийское и стрелковое вооружение: международный научно-технический журнал.* – 2012. – № 2. – С. 31–36.

REFERENCES

1. Tuktanov A. G. *Tehnologija proizvodstva strelkovo-pushechnogo i artillerijskogo oruzhija* / A. G. Tuktanov. – M.: Mashinostroenie, 2007. – 375 s.
2. Babak F. K. *Osnovy strelkovogo oruzhija* / F. K. Babak. – SPb.: Izd-vo «Poligon», 2003. – 252 s.
3. Kreknin L. T. *Proizvodstvo avtomaticheskogo oruzhija: Ch.1.* / L. T. Kreknin. – Izhevsk, 2004. – 238 s.
4. *Perspektivi vikoristannja u artillerii stvoliv z poligonal'nim profilem* / V. I. Stebljuk, Ju. G. Rozov, D. B. Shkarluta, O. V. Holjavik // *Problemi ekspluatacii i rozvitku raketno-artilerijs'kogo ozbroennja vijs'kovomors'kih sil zbrojnih sil Ukraini: zbirnik dopovidej II naukovoi konferencii.* – Sevastopol', 5–7 zhovtnja 2011. – S. 19–22.
5. *Pistolety-pulemjoty GLOCK-17 i drugie (Avstrija) [Jelektronnyj resurs]*. – URL: <http://www.arms.ru/Guns/pistmin/glock.htm>.
6. *AEK-919K, pistol-pulemjot «Kashtan» [Jelektronnyj resurs]*. – URL: <http://www.arms-expo.ru/049056049055124052054054057.html>.
7. *Pasechnik S. Pistol-pulemjot «Jel'f-2»* / S. Pasechnik // *Ohota i oruzhie.* – 2000. – № 6. – S. 6–7.
8. *Rozov Ju. G. Issledovanie processa gidrojekstruzii trubchatoj zagotovki na profil'noj opravke metodom komp'juternogo modelirovanija* / Ju. G. Rozov // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem.* – 2013. – № 12. – S. 21–25.
9. *Rozov Ju. G. Konechno-jelementnoe modelirovanie processa izgotovlenija precizionnyh trubchatyh izdelij iz stali 20H17N2 gidroressovaniem na gladkoj opravke* / Ju. G. Rozov // *Nauchno-tehnicheskij progress v metallurgii: sbornik trudov VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii, posvjashhjonnoj 50-letiju Karagandinskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta.* – Temirtau, 11–12 oktjabrja 2013. – T. 2. – S. 63–68.
10. *Rozov Ju. G. Analiz tehnologii vigotvlenija trubchatih virobiv iz stali 20H17N2 gidroressuvannjam na gladkoj opravci* / Ju. G. Rozov, V. V. Pimanov, D. B. Shkarluta // *Visnik NTUU «KPI». Mashinobuduvannja.* – 2012. – № 64. – S. 234–238.
11. *Rozov Ju. G. Proektirovanie osnastki i tehnologii izgotovlenija stvol'nyh zagotovok metodom gidrojekstruzii na gladkoj podvizhnoj opravke* / Ju. G. Rozov // *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk: DGMA, 2013. – № 1 (35). – S. 106–109.
12. *Rozov Ju. G. Tehnologija izgotovlenija precizionnyh trubchatyh izdelij metodom obzhatija na profil'noj opravke prokatkoj-volocheniem neprivodnymi rolkami* / Ju. G. Rozov // *Sovremennye tehnologii obrabotki materialov davleniem: modelirovanie, proektirovanie, proizvodstvo: sbornik nauchnyh trudov.* – № 1 (44). – Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj mashinostroitel'nyj universitet (MAMI), 2013. – S. 24–29.
13. *Rozov Ju. G. Konechno-jelementnaja model' volochenija trubchatoj zagotovki na profil'noj opravke v konicheskoi matrici* / Ju. G. Rozov // *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova.* – Magnitogorsk, Rossiya, 2013. – № 3. – S. 47–50.
14. *Ocenka vlijanija profilja kanala stvola na prochnost' strelkovogo oruzhija* / Ju. G. Rozov, V. I. Stebljuk, Ju. M. Sidorenko, D. B. Shkarluta // *Artillerijskoe i strelkovoje vooruzhenie: mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal.* – 2012. – № 1. – S. 35–39.
15. *Dinamicheskoe vzaimodejstvie puli i vnutrennej poverhnosti stvola s poligonal'nym profilem* / Ju. G. Rozov, V. I. Stebljuk, Ju. M. Sidorenko, D. B. Shkarluta // *Artillerijskoe i strelkovoje vooruzhenie: mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal.* – 2012. – № 2. – S. 31–36.

Розов Ю. Г. – д-р техн. наук, доц. ХНТУ.

ХНТУ – Херсонский национальный технический университет, г. Херсон.

E-mail: rozovu@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.09.2015