

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL
COMPLEXES IN VARIOUS
INDUSTRIES

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ
КОМПЛЕКСІВ У РІЗНИХ ГАЛУЗЯХ
ВИРОБНИЦТВА

UDC 621.77.01

Rozov Y., DThSc.

Kherson National Technical University / Ukraine

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR MANUFACTURING OF
PRECISION TUBULAR PRODUCTS WITH A SHAPE INNER SURFACE

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРОФИЛИРОВАННОЙ ВНУТРЕННЕЙ
ПОВЕРХНОСТЬЮ

Abstract: In this work, the method of manufacturing of long-measuring tubular blank (barrel blank) from a short blank by hydrostatic extrusion on the smooth moving mandrel under the high-pressure is proposed and realized. It is proposed the new techniques of receiving precision thick-walled tubular blank with inside helical grooves by example of the manufacturing of the rifled barrel with polygonal shape:

- double-line process, based on crimping of the barrel blank on the shape mandrel by idle rollers;
- pressing-wire drawing of the barrel blank with the shape mandrel through the smooth conic mould with the blank fixation (centering) on parallel land with no restrictions and with one-sided metal flow along the length.

For the first time the method of determining MD of the barrels of small arms with a rifled inner surface of different form, under the influence of internal static and dynamic loading, based on the use of FEM is developed.

Keywords: computer simulation, finite element method, mandrel, hydrostatic extrusion, hydrostatic pressure, crimping, wire drawing, conic mould, longitudinal stability, strength.

INTRODUCTION

Thick-walled tubular products with the precision elements of the inner shape (6 ... 8 workmanship, with a roughness 0,16 ... 0,64 mmm) are widely used in mechanical engineering, instrument engineering and special-purpose products.

By typical example of special-purpose products can be barrels of artillery and small arms. Their manufacturing technique provides two stages:

1. The production of a deep hole with the specified geometrical parameters of an inner surface.

Аннотация: В данной работе предложен и реализован способ получения длинномерной трубчатой заготовки (ствольной заготовки) из короткой заготовки методом гидроэкструзии на подвижной гладкой оправке в среде высокого гидростатического давления. Предложены новые технологии получения прецизионной толстостенной трубчатой заготовки с внутренними винтовыми канавками на примере изготовления нарезного ствола с полигональным профилем:

- двухпроходный процесс, основанный на обжатии ствольной заготовки на профильной оправке неприводными роликами;
- прессование-волочение ствольной заготовки с профильной оправкой через гладкую коническую матрицу с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему поясу без ограничения, с одно- и двусторонним ограничением течения металла по длине.

Впервые разработана, основанная на использовании МКЭ, методика определения НДС стволов стрелкового оружия с нарезной внутренней поверхностью разной формы, находящихся под действием внутренней статической и динамической нагрузки.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, метод конечных элементов, оправка, гидроэкструзия, гидростатическое давление, обжатие, волочение, коническая матрица, продольная стойкость, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

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

2. The production of the shape elements on an inner surface.

Each of them requires several operations and special equipment.

Most often the bore in the blank of the barrel is made according to the scheme: preliminary continuous drilling, reaming, finishing reaming. As finishing operations, it is applied a honing or drawing, and recently – electrochemical processing [1].

PROBLEM STATEMENT

The great scientific and practical interest is the improvement of the manufacturing processes of arm barrels using the method of plastic deformation of the following principal causes:

- as materials for the barrels manufacturing generally are used structural alloyed high-quality steels, such as 30HN2FMA, 50RA et al., that are low-ductility materials;
- the necessity of the receiving of primary long-measuring thick-walled tubular blank with the deep hole of accuracy requirement with a surface roughness of 0.16 ... 0.64 mmm;
- the bore of the arm barrel has high dimensional accuracy and a rather complicated geometry of shape elements, generating a helical surface;
- service performance (ballistic characteristics) of firearms directly depends on the quality of the inner shape of arm rifled barrel.

However, by the manufacturing of the bore of the barrel using the traditional methods, based on cold plastic forming of the metal (radial forging, mandrelling) it is not always provided the desired quality of the bore.

Hereby, the question of making of new non-traditional, highly productive methods of manufacturing of high-quality barrels of small arms (SA), based on the plastic forming of the metal, currently remains sufficient relevant.

The aim of the work is the development of the existing and the making of new science-based, providing the improvement of engineering-and-economical performance, manufacturing processes of long-measuring tubular barrel blanks and barrel of SA with the optimal shape of inner surface of the driving part of the bore, based on the cold plastic forming of metals.

MAIN ARTICLE

The development of new manufacturing processes of precision tubular products by the methods of the cold plastic forming and the design required for this production tooling are not possible without a thorough analysis of the mode of

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].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

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

- в качестве материалов для изготовления стволов используются в основном конструкционные легированные высококачественные стали, такие как 30ХН2ФМА, 50РА и др., т.е. малопластичные материалы;
- необходимость получения исходной длинномерной толстостенной трубчатой заготовки с глубоким отверстием необходимой точности при шероховатости поверхности 0,16...0,64 мкм;
- канал оружейного ствола имеет высокую точность размеров и достаточно сложную геометрическую форму профильных элементов, образующих винтовую поверхность;
- эксплуатационные качества (баллистические характеристики) огнестрельного оружия напрямую зависят от качества внутреннего профиля оружейного нарезного ствола.

Однако при изготовлении канала ствола традиционными методами, основанными на холодном пластическом деформировании металла (радиальная ковка, дорнирование), не всегда обеспечивается желаемое качество канала.

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 стволов СО с оптимальным профилем внутренней поверхности ведущей части канала, основанных на холодном пластическом деформировании металлов.

ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Разработка новых технологических процессов изготовления прецизионных трубчатых изделий методами холодной пластической деформации и проектирование необходимой для этого технологической оснастки не возможны без тщательного

deformation (MD) in the deformation site, an energy-power characterization and strengthening calculation of operating tools.

Because of the low-ductility barrel steels, the traditional cold extrusion does not provide the necessary degree of the forming without fracture. Therefore, to improve the steel ductility by cold shaping of products it is used the scheme of extrusion in MD conditions of uniform irregular compression by the forming under the high hydrostatic pressure or hydraulic forging (hydrostatic extrusion).

It is proposed and considered the promising technique of receiving of high-precision tubular products with high performance characteristics (for example, of the barrel blanks) by the method of hydrostatic extrusion with differentiated backpressure of the tubular blank on a smooth moving mandrel [2-4].

The realized scheme of the hydraulic forging of tubular blanks with moving mandrel is shown in Fig. 1.

анализа напряжённно-деформированного состояния (НДС) в очаге деформации, определения энергосиловых параметров и прочностных расчётов рабочих инструментов.

Ввиду 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).

Предложен и рассмотрен перспективный метод получения высокоточных трубчатых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами (например, ствольных заготовок) методом гидроэкструзии с дифференцированным противодействием трубчатой заготовки на подвижной гладкой оправке [2-4].

Реализованная схема гидропрессования трубчатых заготовок с подвижной оправкой представлена на рис. 1.

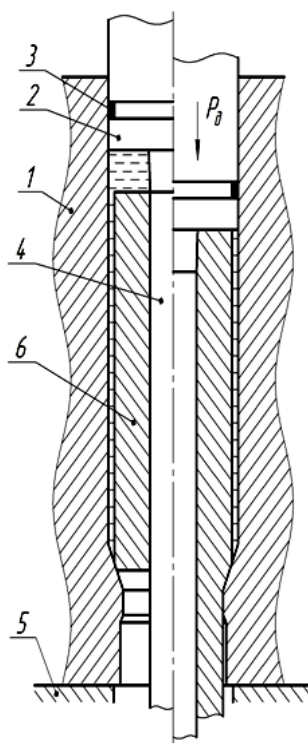


Fig. 1 – Scheme of hydraulic forging of tubular blanks on mandrel / *Схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке*

The initial position before the extrusion is imaged on the left and in the process – on the right of the symmetry axis.

The banded container 1 is mounted on the plate 5. The tubular blank 6 is positioned by bevel on the conical edge of the mould in the container. Then it is set the mandrel 4 and is filled with hydraulic fluid. The upper conical part of the mandrel provides a sealing to avoid fluid leakage. On top of the mandrel it is set the rod 2 with the sealing 3.

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. Дальше 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.

To the rod it is applied the force P_0 . During the movement of the rod 2, firstly conical part of the mandrel overlaps the aperture of the blank, and then the hydraulic fluid in the container 1 is compressed, making a hydrostatic pressure on the free surface of the blank. The blank with the mandrel passes through the hole in the mould, as a result the desired inner diameter and surface smoothness of the blank are got.

The analysis of tubular blanks hydraulic forging from the steel 30HN2MFA with moving smooth mandrel was carried out by the finite element method (FEM) using the software package DEFORMTM-3D.

According to the results of computer modeling, it was determined MD of manufactured components, necessary hydrostatic pressure, which will provide the forming in the cold state for steel 30HN2MFA without fracture (750 MPa), the final product geometry, the specific force distribution on the blank surface in contact with the tool and the force process parameters.

In addition before the experimental check, it was investigated by method of computer simulation MD of mould during hydraulic forging under the influence of hydrostatic pressure that provides the plasticity of steel blank 30HN2MFA [5]. To calculate the mould it was used the software package DEFORM.

Proceeding from the computer simulation data it was developed the manufacturing process of the barrel performing and was designed the equipment for its manufacturing by hydrostatic extrusion under the high hydrostatic pressure [6]. On this ground, it was made the forming equipment and was realized the hydrostatic extrusion process of barrel blanks on the smooth moving mandrel.

In the Fig. 2 are shown the steel barrel blanks 30HN2MFA obtained by hydrostatic extrusion method on the smooth moving mandrel through the conical mould.

The hydraulic forging was carried out without the departing of the blank from the mould (not full-length), as a result it is formed a thickening part for the machining for the chamber and an entrance of the bullet.

By the comparing the experimental data with the results obtained by calculation, it should be noted that the difference was less than 10%, that confirms the adequacy of the obtained calculation.

The developed manufacturing technique of barrel blanks makes it possible to reduce the manufacturing cost of products and to increase the productivity of the barrels of SA manufacturing. This is achieved by process of elimination the blanks on special equipment techniques from the manufacturing process.

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 стали 30ХН2МФА без разрушений (750 МПа), конечную геометрию изделия, распределение удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а также силовые параметры процесса.

Кроме того, до экспериментальной проверки, было проведено исследование методом компьютерного моделирования НДС матрицы в процессе гидропрессования при воздействии гидростатического давления, обеспечивающего пластичность заготовки из стали 30ХН2МФА [5]. Для расчёта матрицы использовался программный комплекс DEFORM.

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 [6]. На основании этого была изготовлена штамповая оснастка, которая устанавливалась на гидравлический пресс ДБ2432 усилием 1600 кН, и был реализован процесс гидроэкструзии ствольных заготовок на гладкой подвижной оправке.

На рис. 2 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 пильного 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 позволяет снизить себестоимость изготовления изделий и повысить продуктивность производства стволов СО. Это достигается путём исключения из технологического процесса методов получения заготовок на специальном оборудовании.



Fig. 2 – Barrel blanks obtained by hydrostatic extrusion method on the smooth mandrel / *Ствольные заготовки, полученные путём гидрострузии на гладкой оправке*

The barrel manufacturing with polygonal cross-sectional shape, that does not require special equipment, is possible by the barrel blank crimping on the shape moving mandrel:

- by idle rollers;
- in the smooth conical mould.

It is proposed the new obtaining techniques (Fig. 3) of precision thick-walled tubular blank with the inner helical grooves by the example of the barrel of SA manufacturing with the polygonal shape:

- double-line process based on the barrel blank crimping on the shape mandrel by idle rollers (Fig. 3, a) [7];
- the barrel blank crimping with shape mandrel in the smooth conical mould with parallel land fixation (centering) of the blank with no restrictions and with one-sided metal flow along the length (Fig. 3, b). [8]

The shape mandrel mode and measurement satisfied the inner surface of the rifled barrel of Ukrainian submachine gun "Elf", created in engineering department of special equipment [2], with screw tracks with 250 mm in increments.

The barrel section with the polygonal shape is shown in Fig. 4.

Изготовление ствола с профилем поперечного сечения полигонального типа, не требующего специального оборудования, возможно обжатием ствольной заготовки на профильной подвижной оправке:

- неприводными роликами;
- в гладкой конической матрице.

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

- двухпроходной процесс, основанный на обжатии ствольной заготовки по профильной оправке неприводными роликами (рис. 3, а) [7];
- обжатие ствольной заготовки с профильной оправкой в гладкой конической матрице с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему пояску без ограничения и с односторонним ограничением течения металла по длине (рис. 3, б) [8].

Форма и размеры профильной оправки соответствовали внутренней поверхности нарезного ствола украинского пистолета-пулемёта «Эльф», созданного в конструкторском бюро специальной техники (КБ СТ) [2], с винтовыми дорожками с шагом 250 мм.

Сечение ствола с полигональным профилем показано на рис. 4.

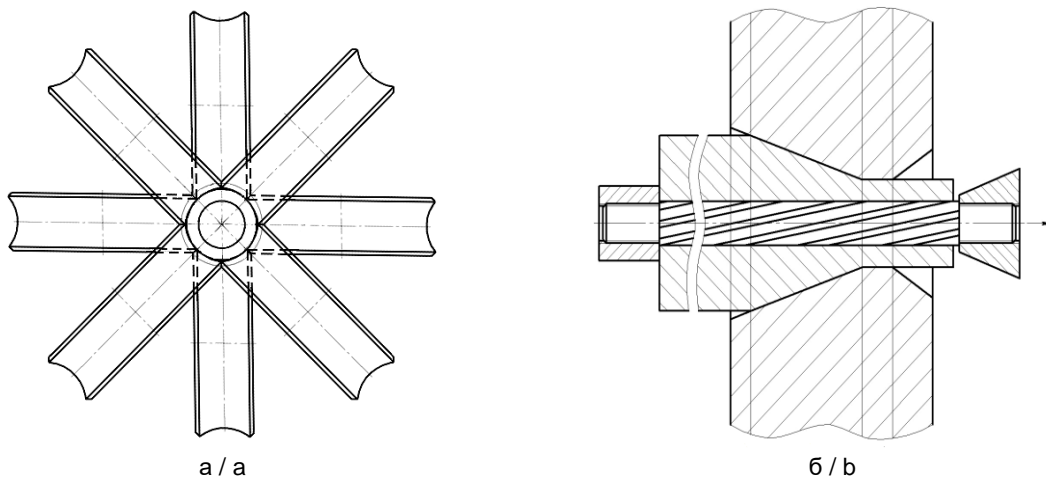


Fig. 3 – Scheme of the barrel blank crimping: a – between the rollers; b – in the conical mould / *Схема обжатия ствольной заготовки: а - между роликами; б - в конической матрице*

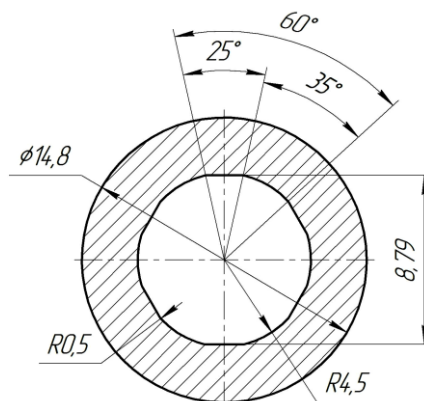


Fig. 4 – Cross-section of the barrel with polygonal shape / Поперечное сечение ствола с полигональным профилем

To form a polygonal profile of the inner surface of the barrel blank obtained by hydraulic forging under not equiaxed uniform compression, it was used in the work its crimping method after the annealing on the shape mandrel in the idle rollers. With four rollers it was made drawing die, through which the barrel blank with shape mandrel was pushed.

This process is carried out in two passes, as due to the inevitable clearance between the rollers so-called "outlets" in a single pass it is obtained the barrel blanks faceting, to eliminate that is required the additional second pass with pre-turning of the semi-finished product after the first passage at 45° (Fig. 3, a).

To study the process of the shaping the inner surface of the barrel blank, obtained by crimping on the mandrel with idle rollers, the characterization of MD, the efforts on the rollers and torques, that are necessary for the design of technological equipment it was used the software package DEFORM^{MT}-3D on basis of FEM.

Also, it is carried out the computer simulation of the barrel manufacturing process with the polygon shape by pushing-drawing of the barrel blank with the shape mandrel through the smooth conical mould (Fig. 3, b), with the help of the application software DEFORM-3D, based on the using of FEM. The simulation was carried put to crimp in the conical mould with different operating angles with parallel land fixation (centering) of the blank with no restrictions (30HN2MFA steel), with one- (steel 30HN2MFA and steel 10) and two-sided (steel 30HN2MFA) restrictions metal flow along the length.

The results showed the using acceptability of the proposed method for barrel manufacturing with polygonal shape by pushing-drawing of the barrel blank with the shape mandrel through the smooth conical mould with no restrictions steel flow along the length and with one-sided restriction. The best value of the operating angle of the conical mould during the tubular blank crimping in specified processes, is 10° .

The carried out computer simulations and natural experiments have shown the effectiveness

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 в неприводных роликах (валках). Четырьмя роликами создавалась волока (замкнутый калибр), через которую проталкивалась ствольная заготовка с профильной оправкой.

Данный процесс осуществляется за два прохода, так как ввиду неизбежного наличия зазора между роликами (валками), так называемых, «выпусков» при однократном проходе получается огранка ствольной заготовки, для устранения которой требуется дополнительный второй проход с предварительным поворотом полуфабриката после первого прохода на 45° (рис. 3, а).

Для изучения процесса профилирования внутренней поверхности ствольной заготовки, полученной обжатием по оправке неприводными роликами (валками), определения параметров НДС, усилий на ролики (валки) и крутящих моментов, знание которых необходимо для проектирования технологического устройства, использовался пакет прикладных программ DEFORM^{MT}-3D на основе МКЭ.

Также проведено компьютерное моделирование процесса изготовления ствола с профилем полигонального типа проталкиванием-волочением ствольной заготовки с профильной оправкой через гладкую коническую матрицу (рис. 3, б), с помощью пакета прикладных программ DEFORM-3D, основанного на использовании МКЭ. Моделирование проводилось для обжатия в конической матрице с различными рабочими углами с фиксацией (центрированием) заготовки по калибрующему пояску без ограничения (сталь 30ХН2МФА), с одно- (сталь 30ХН2МФА и сталь 10) и двухсторонним (сталь 30ХН2МФА) ограничением течения металла по длине.

Результаты анализа показали приемлемость использования предложенного способа для изготовления ствола с профилем полигонального типа проталкиванием-волочением ствольной заготовки с профильной оправкой через гладкую коническую матрицу без ограничения течения металла по длине заготовки и с односторонним ограничением. Найдено оптимальное значение рабочего угла конической

of the new manufacturing techniques of the barrels of SA with the polygonal cross-section shape. (Fig. 5).

матрицы при обжатии трубчатой заготовки в указанных процессах, которое составило 10^0 .

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



Fig. 5 – Shape mandrel and barrel of small arms, made by radial crimping method / Профильная оправка и ствол стрелкового оружия, изготовленный методом радиального обжатия

A significant feature of the new techniques compared to traditional one – is the recovery feature of the inner shape of the product, outworn during its operation.

With the help of modern methods of calculating barrels of SA has been done test of the effectiveness of the new techniques of their manufacturing [9, 10].

For the first time it was developed a method of determining MD of barrels of SA with a rifled inner surface of various modes under the influence of internal static and dynamic loading, based on the use of FEM (Fig. 6). This calculation was performed using the computer program ANSYS.

As the Fig. 6 indicates that in the embodiment of the barrel with rectangular riflings (Fig. 6, a), the reduced stress distribution has concentrated local form of concentric circles with the center at the top of the concentrator, while the embodiment of the barrel with polygonal shape (Fig. 6, b) has the same form of concentric circles, however, their center is located in the immediate vicinity of the center of the cross-section of the barrel.

In addition, the barrel with a rectangular riffling has the extreme values ratio of reduced stresses $\sigma_{max}/\sigma_{min}$ for 11.3 versus 3.69 of the barrel with the polygonal shape, and therefore, we can assume that in the barrel with polygonal shape the stress distribution over the cross-section in the radial direction is smoother and more uniform than in the barrel with the rectangular riffling.

Важная особенность новых технологий по сравнению с традиционными – возможность восстановления внутреннего профиля изделия, изношенного в процессе его эксплуатации.

С помощью современных методов расчёта стволов СО была проведена проверка эффективности новых технологий их изготовления [9, 10].

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.

Из рис. 6 видно, что в варианте конструкции ствола с прямоугольными нарезами (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.

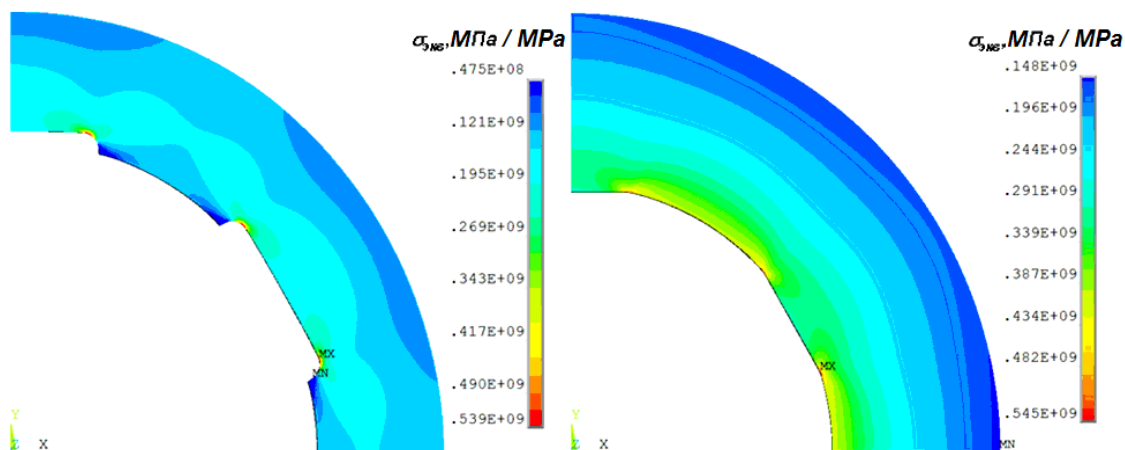


Fig. 6 – Reduced stress distribution over the cross-section of the barrel: a – with rectangular riflings; b – with polygonal shape / *Распределение эквивалентных напряжений по поперечному сечению ствола: а – с прямоугольными нарезами; б – с полигональным профилем*

It is analyzed MD of the barrel and the bullet casing at their interaction in the shooting. It was examined the dynamic interaction of the bullet with the inner shape surface of the barrel of the polygonal and rifled submachine gun (Fig. 7). The analysis was performed using the computer program ANSYS / LS-DYNA.

Fig. 7 shows frames of computer simulation of dynamic interaction between the bullet and the bore of the polygonal and rifled barrels.

Furthermore, there are diagrams of:

- changes in the axial acceleration of the bullet in the interaction with the barrel conical guide;
- changes in the axial velocity of the bullet in the interaction with the barrel conical guide;

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 проведен с использованием компьютерной программы ANSYS/LS-DYNA.

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

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;

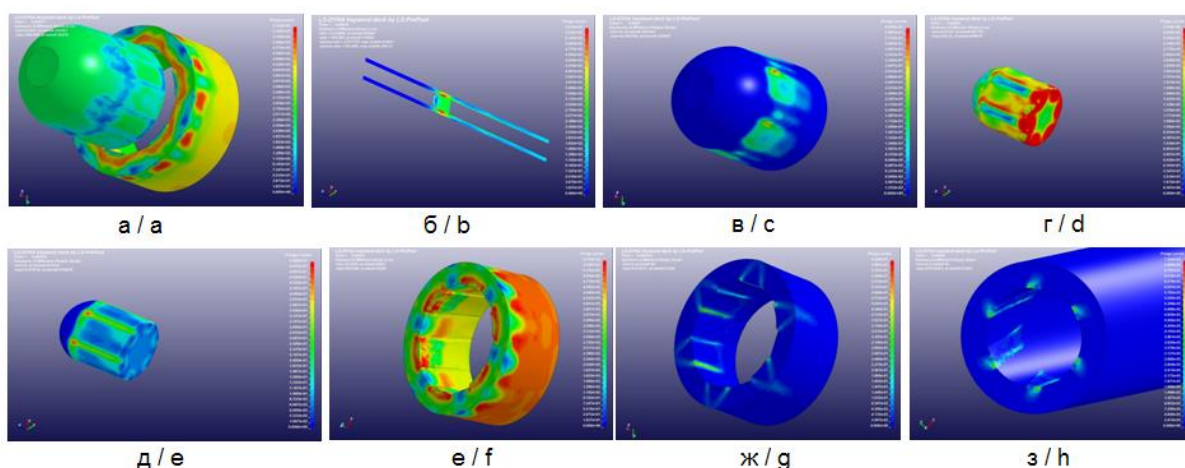


Fig. 7 – Frames of the computer simulation of the dynamic interaction between the bullet and the bore of the barrel: a, b - the process of interaction between the bullet and the barrel conical guide; c - the plastic forming distribution in the bullet; d, e - the reduced stress distribution (according to Mises) in the bullet; f - the reduced stress distribution (according to Mises) in the barrel conical guide; g, h - the plastic forming distribution in the barrel conical guide / *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*

- changes in the axial advance of the bullet in the interaction with the barrel conical guide.

On the basis of calculations, it is shown the effectiveness of the performance specifications of the polygonal shape of the barrel of the small arms.

CONCLUSIONS

1. The new structure of the manufacturing processes of tubular products of structural alloy steels with the shape on the inner surface by the example of barrels of small arms manufacturing, based on hydraulic forging of long-length semi-finished product (the first stage) with the following radial crimping on the shape mandrel (the second stage) is developed. The new structure makes it possible to reduce the manufacturing cost of products and to increase the productivity of the manufacturing, due to exclusion from the manufacturing process the technique methods of blanks on the special equipment. The feature of the new techniques compared to traditional - is the recovery feature of the inner shape of the product, outworn during its operation.

2. On the ground of the performed analysis of longitudinal stability of the compound rod consisting of a cylindrical bar (mandrel) inserted inside a cylindrical tube (barrel blank), for the first time it is identified the critical value of the axial force (pushing force), the length of the compound rod and the favorable crimping scheme in the conical mould and with idle rollers, from the standpoint of the loss prevention of the axial (longitudinal) stability of the barrel blank with the mandrel. The accuracy of the obtained analytical dependences is confirmed experimentally.

3. With the purpose of efficiency auditing of the new manufacturing techniques of barrels of SA, it was developed the unique method of determining MD of the barrels with the rifled inner surface of different shape under the influence of internal static and dynamic loading. It is made the finite element models of interaction between the barrel of SA with the riflings of different shapes and bullet when fired. The computer simulation confirmed the advantages of the polygonal shape, in terms of dynamics and barrel strength.

REFERENCES

- [1]. Tuktanov A. G. The manufacturing technique of small arms and cannon and artillery weapon / A. G. Tuktanov — Moscow : Mechanical engineering, 2007. - 375 p.
- [2]. Rozov Y. G. Finite element modulation of the manufacturing process of the barrel blanks by hydrostatic extrusion under the high hydrostatic pressures / Y. G. Rozov // Material forming

- 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. Разработана новая структура технологических процессов изготовления трубчатых изделий из конструкционных легированных сталей с профилем на внутренней поверхности, на примере изготовления стволов стрелкового оружия, основанная на гидропрессовании длинномерного полуфабриката (первая стадия) с последующим радиальным обжатием на профильной оправке (вторая стадия). Новая структура позволяет снизить себестоимость изготовления изделий и повысить продуктивность производства, за счёт исключения из технологического процесса методов получения заготовок на специальном оборудовании. Особенность новых технологий по сравнению с традиционными – возможность восстановления внутреннего профиля изделия, изношенного в процессе его эксплуатации.

2. На основании проведенного анализа продольной устойчивости составного бруса, состоящего из цилиндрического стержня (оправка), вставленного внутрь цилиндрической трубы (ствольная заготовка), впервые определены критические значения осевой силы (силы проталкивания), длины составного бруса и благоприятные схемы обжатия в конической матрице и неприводными роликами, с точки зрения предотвращения потери осевой (продольной) устойчивости ствольной заготовки вместе с оправкой. Достоверность полученных аналитических зависимостей подтверждена экспериментально.

3. 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

- [1]. Туктанов А. Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия / А. Г. Туктанов. – М. : Машиностроение, 2007. – 375 с.
- [2]. Розов Ю. Г. Конечно-элементное моделирование процесса изготовления ствольных заготовок гидроэкструзией в среде высоких гидростатических давлений / Ю. Г. Розов // Обработка материалов давлением : сб. науч. труд. – Краматорск : ДГМА,

- processes : proceeding. – Kramatorsk : Donbass State Engineering Academy, 2013. – no. 1 (34) – pp.18 – 22.
- [3]. Rozov Y. G. Finite element modulation of the manufacturing process of precision tubular products of steel 20H17N2 by hydraulic forging on a smooth mandrel / Y. G. Rozov // Scientific and technological advance in the metallurgy : proceedings of the VII International theoretical and practical conference, dedicated to the 50th anniversary of Karaganda State Industrial University, October 11–12, 2013, Temirtau. – V. 2. – pp. 63 – 68.
- [4]. Rozov Y. G. Analysis of manufacturing technique of tubular products of steel 20H17N2 by hydraulic forging on a smooth mandrel / Y. G. Rozov, V. V. Pimanov, D. B. Shkarluta // Visnyk NTUU "KPI". Mechanical engineering. – 2012. – no. 64, pp. 234 – 238.
- [5]. Rozov Y. G. A study of mode of deformation of the deforming tool during hydraulic forging of tubular blanks by finite element method / Y.G. Rozov // Vestnik of Kherson National Technical University : Engineering Science. – Kherson, 2014. – no. 1 (48). – pp. 48 – 54.
- [6]. Rozov Y. G. Equipment designing and manufacturing techniques of barrel blanks by hydrostatic extrusion method on a smooth moving mandrel / Y.G. Rozov // Material forming processes : proceeding. – Kramatorsk : Donbass State Engineering Academy, 2013. – no. 2 (35). – pp. 106 – 109.
- [7]. Steblyuk V. I. Mode of deformation of blank at inner profiling by wire drawing with idle rollers / V. I. Steblyuk, M. V. Orliuk, Y. G. Rozov, D. B. Shkarluta // Breakthrough equipment and technology – 2011 : report III of International theoretical and practical conference, June 20–24, 2011, Kyiv – Sevastopol, Ukraine.
- [8]. Rozov Y. G. Finite element model of wire drawing of the tubular blank on a shape mandrel in a conical mould / Y. G. Rozov // Vestnik Magnitogorsk State Technical University G. I. Nosov. – Magnitogorsk, Russia, 2013. – no. 3.
- [9]. Rozov Y. G. Influence shape rating of the bore of the barrel on the strength of SA / Y. G. Rozov, V. I. Steblyuk, Y. M. Sidorenko, D. B. Shkarluta // Artillery and small arms. International Science and Technology magazine. – 2012. – no. 1. – pp. 35 – 39.
- [10]. Rozov Y. G. The dynamic interaction between the bullet and the inner surface of the barrel with polygonal shape / Y. G. Rozov, V. I. Steblyuk, Y. M. Sidorenko, D. B. Shkarluta // Artillery and small arms. International Science and Technology magazine. – 2012. – no. 2. –pp. 31 – 36.
2013. – № 1 (34) – 2013. – С.18 – 22.
- [3]. Розов Ю.Г. Конечно-элементное моделирование процесса изготовления прецизионных трубчатых изделий из стали 20Х17Н2 гидропрессованием на гладкой оправке / Ю. Г. Розов // Научно-технический прогресс в металлургии: сб. труд. VII Международной научно-практической конференции, посвящённой 50-летию Карагандинского государственного индустриального университета, 11–12 окт. 2013 г., Темиртау. – Т. 2. – С. 63 – 68.
- [4]. Розов Ю. Г. Аналіз технології виготовлення трубчатих виробів із сталі 20Х17Н2 гідропресуванням на гладкій оправці / Ю. Г. Розов, В. В. Піманов, Д. Б. Шкарлута // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2012. – № 64. – С. 234 – 238.
- [5]. 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.
- [6]. Розов Ю. Г. Проектирование оснастки и технологии изготовления ствольных заготовок методом гидроэкструзии на гладкой подвижной оправке / Ю. Г. Розов // Обработка материалов давлением: сб. науч. труд. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 2 (35). – С.106 – 109.
- [7]. Стеблюк В. І. Напружено-деформований стан заготовки при внутрішньому профілюванні волочинням неприводними роликками / В. І. Стеблюк, М. В. Орлюк, Ю. Г. Розов, Д. Б. Шкарлута // Прогресивна техніка і технологія – 2011 : доповідь XII Міжнародної науково-практичної конференції, 20–24 черв. 2011р., Київ – Севастополь, Україна.
- [8]. 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.
- [9]. Розов Ю. Г. Оценка влияния профиля канала ствола на прочность СО / 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.
- [10]. Розов Ю. Г. 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.