

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТВОЛА ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ
ВОЛОЧЕНИЕМ В ГЛАДКОЙ КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ С ОГРАНИЧЕНИЕМ
ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПО ДЛИНЕ**

Розов Ю. Г.

При проектировании и изготовлении стволов стрелкового оружия методами пластической деформации особое внимание уделяется формообразованию внутренней поверхности ствола. Одним из прогрессивных способов получения внутреннего профиля ствола является волочение через гладкую коническую матрицу ствольной заготовки на профильной оправке с ограничением течения металла в осевом направлении. Представлена конечно-элементная модель процесса формообразования канала ствола, позволяющая оценить влияние ограничения течения металла в осевом направлении на формирование профиля при различных рабочих углах матрицы. Результаты проведенного анализа позволили выработать практические рекомендации, которые могут быть полезны при проектировании рассмотренных процессов.

При проектуванні і виготовленні стволів стрілецької зброї методами пластичної деформації особлива увага приділяється формоутворенню внутрішньої поверхні ствола. Одним з прогресивних способів здобуття внутрішнього профілю ствола є волочіння через гладку конічну матрицю ствольної заготовки на профільній оправці з обмеженням течії металу в осьовому напрямі. Представлена кінцево-елементна модель процесу формоутворення каналу ствола, яка дозволяє оцінити вплив обмеження перебігу металу в осьовому напрямі на формування профілю при різних робочих кутах матриці. Результати проведеного аналізу дозволили виробити практичні рекомендації, які можуть бути корисні при проектуванні розглянутих процесів.

During designing and making of barrels of small-arms by the methods of plastic deformation, the special attention is paid to forming of internal surface of barrel. One of progressive methods of receipt of internal profile of barrel is dragging through the smooth conical matrix of barrel blank on the profile mandrel with the limitation of flow of metal in axial direction. The finite element model of process of forming of bore of barrel is presented, that allows to estimate influence of limitation of flow of metal in the axial sending to forming of profile in the different working corners of matrix. The results of the conducted analysis allowed to produce practical recommendations which can be useful at designing of the considered processes.

Розов Ю. Г.

канд. техн. наук, доц. ХНТУ
rozovu@mail.ru

ХНТУ – Херсонский национальный технический университет, г. Херсон.

УДК 621.777

Розов Ю. Г.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТВОЛА ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВОЛОЧЕНИЕМ В ГЛАДКОЙ КОНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПО ДЛИНЕ

Ствол стрелкового оружия – это самая важная и ответственная деталь, непосредственно в которой, за счет тепловой энергии от сгорания порохового заряда, определяются параметры внутренней баллистики: линейная и угловая скорость пули при ее движении в канале ствола, направление и начальная скорость пули в момент ее вылета из ствола. Поэтому ствол требует особой тщательности при проектировании и изготовлении, в особенности при профилировании внутренней полости, так называемого канала ствола. Каналы стволов по своему строению примерно одинаковы и отличаются лишь патронником, количеством и формой нарезов или дорожек (полигонов).

Полигональная нарезка – это нарезка, которая в поперечном сечении ствола имеет форму одной из геометрических фигур. Наибольшее распространение получили стволы с шестиугольной нарезкой (рис. 1). В настоящее время применена в пистолете «Глок», пистолете-пулемете «Эльф» конструкции КБ СТ (Украина), пистолете-пулемете «Каштан» (Российская Федерация) и др.

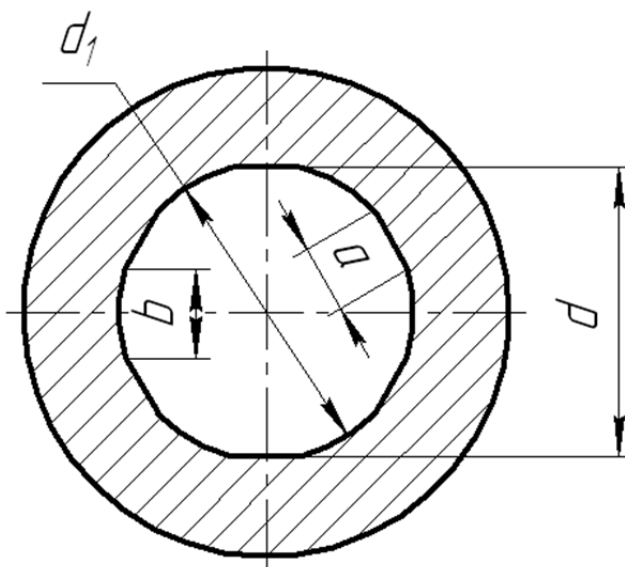


Рис. 1. Схема полигональной нарезки

Получить профиль ствола полигонального типа можно волочением через гладкую коническую матрицу ствольной заготовки на профильной подвижной оправке (рис. 2).

Задача определения тянущего усилия при волочении трубы на подвижной оправке решалась многими исследователями: в Германии – Е. Зибелем, А. Гелеи, в СССР – П. Т. Емельяненко, Л. Е. Альшевским, С. И. Губкиным, И. Л. Перлиным [1, 2, 3 и др.].

Полученные результаты для определения напряжения волочения отличаются по форме из-за принятых при выводе допущений, в частности различий в учете сил трения и упрощений математического характера. Следует отметить, что принимаемые при анализе допущения в одних случаях не соответствуют статическим граничным условиям, в других – геометрическим условиям (принятые в качестве главных плоскости в действительности

не являются таковыми). Кроме того, ввиду принятых в приведенных работах допущений, расчеты пригодны для определения энергосиловых параметров в первом приближении и, как правило, дают завышенные на 10...20 % значения усилия и работы деформации [4].

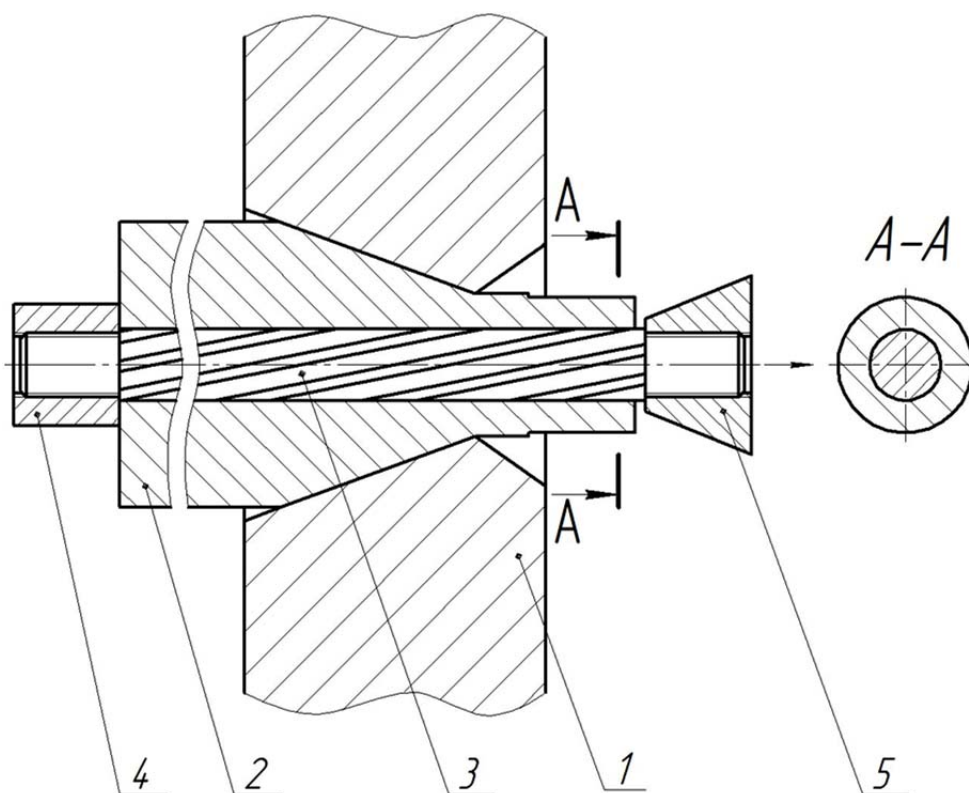


Рис. 2. Схема процесса прессования-волочения через гладкую коническую матрицу:
1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – оправка с профилем; 4 – задний упор; 5 – захват

Современные компьютерные методы моделирования позволяют с высокой точностью определять энергосиловые параметры, анализировать напряженно-деформированное состояние (НДС) процесса и, самое главное, оценить точность изготовления профиля, то есть степень отклонения профиля детали от профиля оправки.

Целью работы является проведение анализа напряжённо-деформированного состояния заготовок при формообразовании внутренней поверхности ствола полигонального профиля волочением в гладкой конической матрице на профильной оправке с ограничением течения деформируемого металла по длине с использованием методов численного моделирования.

В данной работе эти задачи решались с помощью пакета прикладных программ Deform-3D, основанного на использовании метода конечных элементов (МКЭ) [5].

С целью выяснения, как будет влиять на формирование полигональных дорожек ограничение течения металла в осевом направлении, было проведено компьютерное моделирование обжатия ствольной заготовки при волочении в гладкой конической матрице с указанным ограничением. Ограничение осевого перемещения металла достигалось путем закрепления концов заготовки на оправке (рис. 3). Наружный радиус заготовки при этом определялся из условия, чтобы уменьшение площади поперечного сечения по наружному диаметру равнялось уменьшению площади по внутреннему диаметру, необходимого для формирования полигональных дорожек. Следует отметить, что в этом модельном эксперименте длина заготовок была только в пределах, необходимых для достижения установившегося режима волочения.

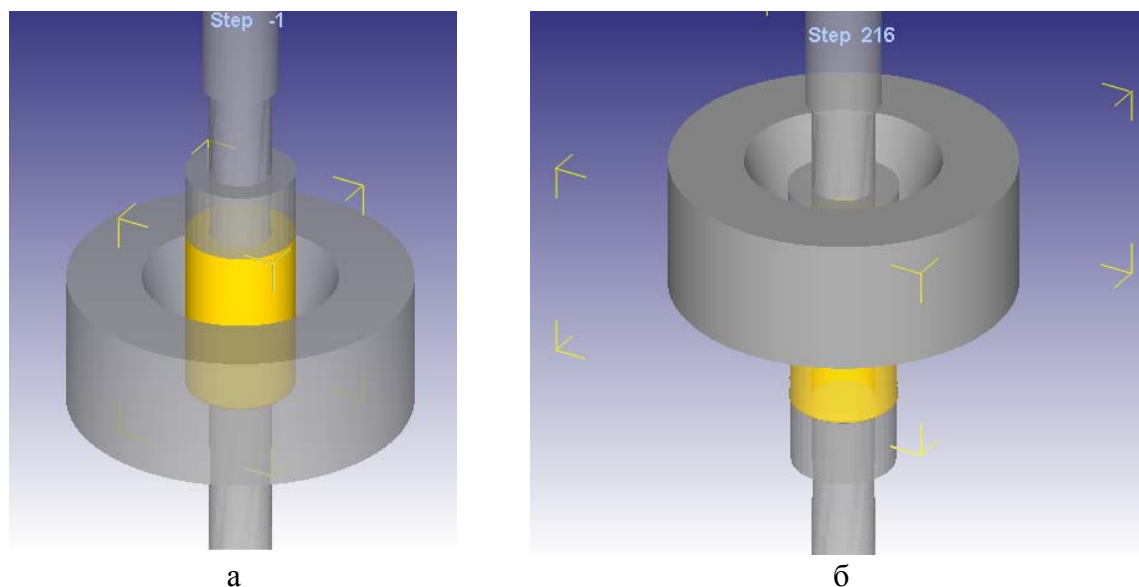


Рис. 3. Профилирование заготовки волочением через гладкую коническую матрицу с ограничением течения металла по длине:

а – начальная стадия; б – конечная стадия

Были приняты следующие исходные данные (рис. 4):

- Материал заготовки – сталь 30ХН2МФА (исходные механические свойства материала указаны выше).
- Наружный диаметр заготовки – 15,8 мм.
- Внутренний диаметр – 9,02 мм.
- Площадь поперечного сечения оправки – 62, 91 мм².
- Диаметр матрицы – 15,2 мм.
- Рабочий угол матрицы – 20°.
- Степень деформации – 0,0009.

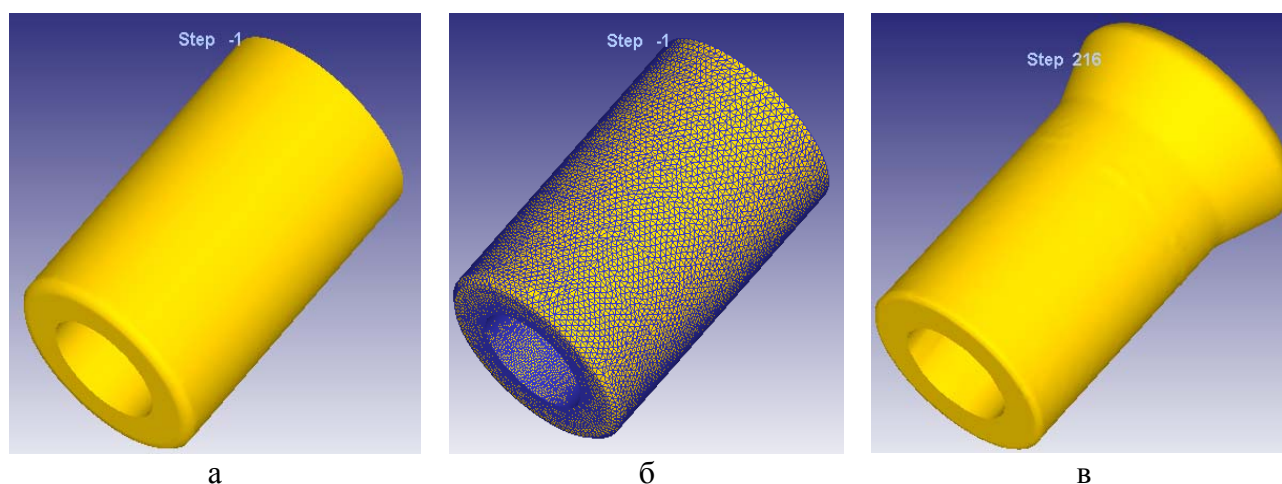


Рис. 4. Исходные заготовки для профилирования волочением через гладкую коническую матрицу с ограничением течения металла по длине:

а – начальная заготовка; б – начальная заготовка с нанесенной сеткой КЭ; в – образец заготовки после обжатия

Изменение минимального расстояния между заготовкой и оправкой в процессе волочения при рабочем угле матрицы 20° показано на рис. 5.

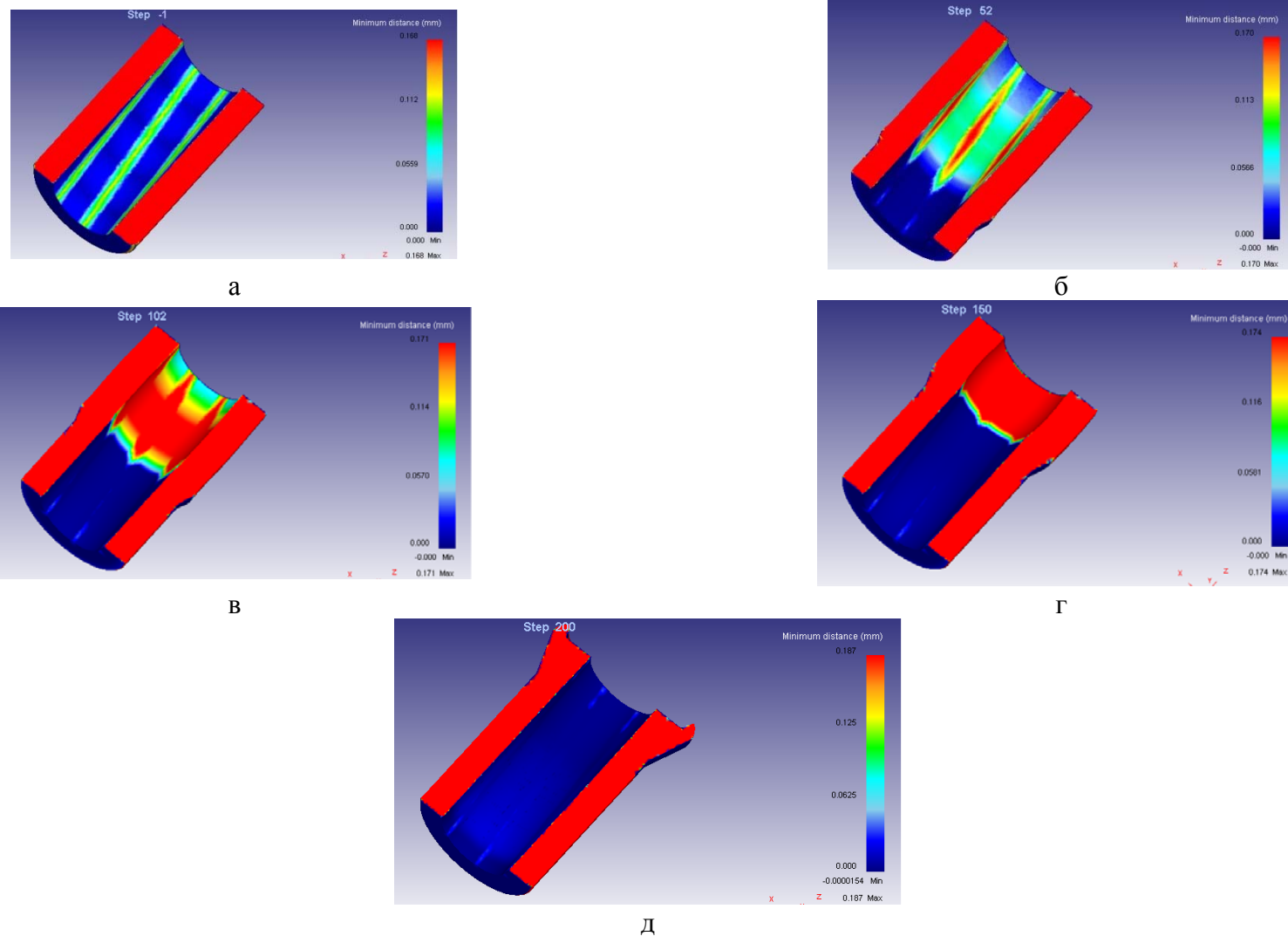


Рис. 5. Изменение максимального расстояния между плоскостью полигона оправки и поверхностью ствольного отверстия в процессе волочения при рабочем угле матрицы 20° :

а – внешний вид заготовки до обжатия; б – заготовка после обжатия на 1/4 длины; в – заготовка после обжатия на 2/4 длины; г – заготовка после обжатия на 3/4 длины; д – заготовка после полного обжатия

Результаты моделирования показали, что в месте деформирования происходит заполнение профиля. Однако даже при степени деформации меньше одного процента перед матрицей происходит выпучивание материала исходной заготовки, что может привести к потере устойчивости длинных заготовок. В конце хода при деформировании избыточного материала наблюдается обратное течение металла, что приводит к смещению заготовки по оправке в ее сформированной части и потере размеров полигональных дорожек.

Технологическое усилие на матрице (зеленая кривая) составляет (рис. 6) примерно 40 кН (увеличивается в конце хода до 125 кН); усилие на верхнем ограничителе (синяя кривая) – около 60 кН (увеличивается в конце хода до 200 кН); желтая кривая – усилие на нижнем ограничителе.

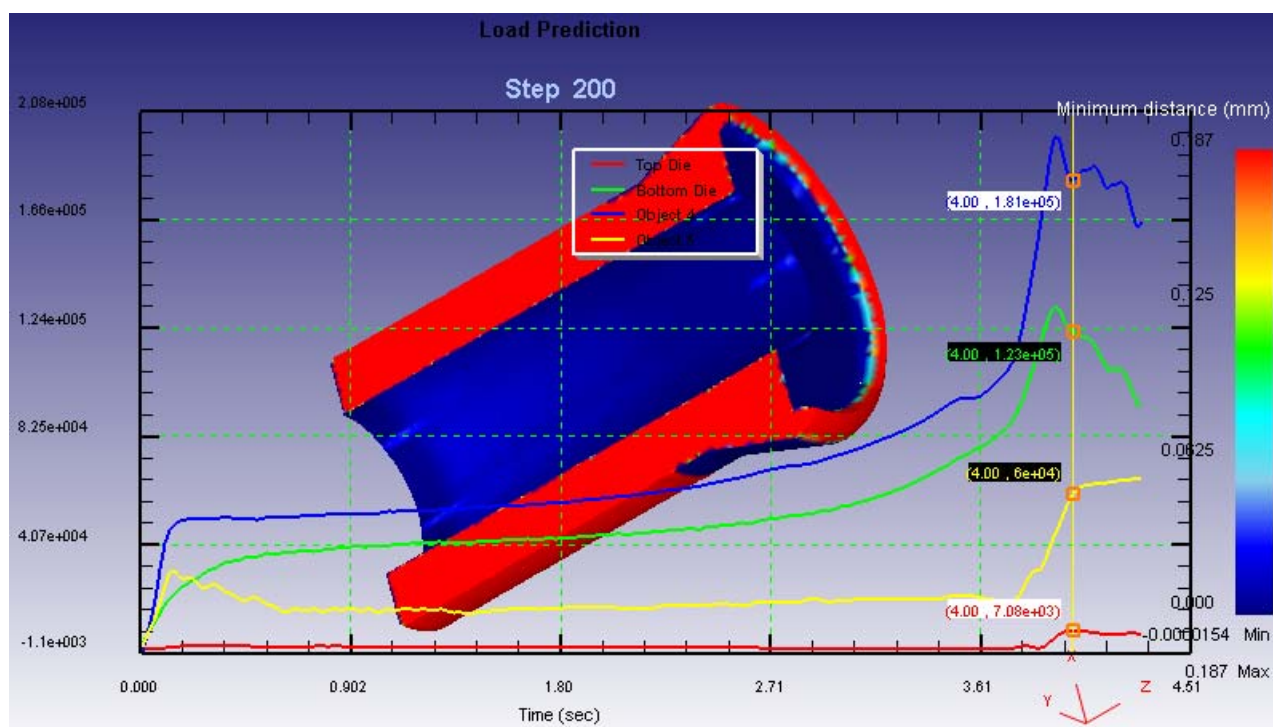


Рис. 6. Усилие прессования-волочения при обжатии в гладкой конической матрице при рабочем угле 20°

Поскольку для варианта прессования-волочения (с ограничением течения металла по длине) при угле матрицы 20° наблюдается высокое усилие процесса, то было проведено еще одно моделирование для угла 10° .

Результаты моделирования показали, что в месте деформирования профиль заполняется гораздо лучше, чем в предыдущем случае (при угле 20°). Однако даже при меньшей степени деформации избежать наплыва материала перед входом в конический участок матрицы не удалось. В конце хода при деформировании избыточного материала наблюдается обратное течение металла, что приводит к заметному увеличению размеров («раздаче») уже деформированной части заготовки (рис. 7).

Технологическое усилие на матрице составило (рис. 8) примерно 40 кН (увеличивается в конце хода до 140 кН); усилие на верхнем ограничителе – около 80 кН (увеличивается в конце хода до 240 кН).

Такое возрастание усилия по сравнению с предыдущим случаем можно объяснить, на наш взгляд, увеличением контактной поверхности и возросшим влиянием сил трения.

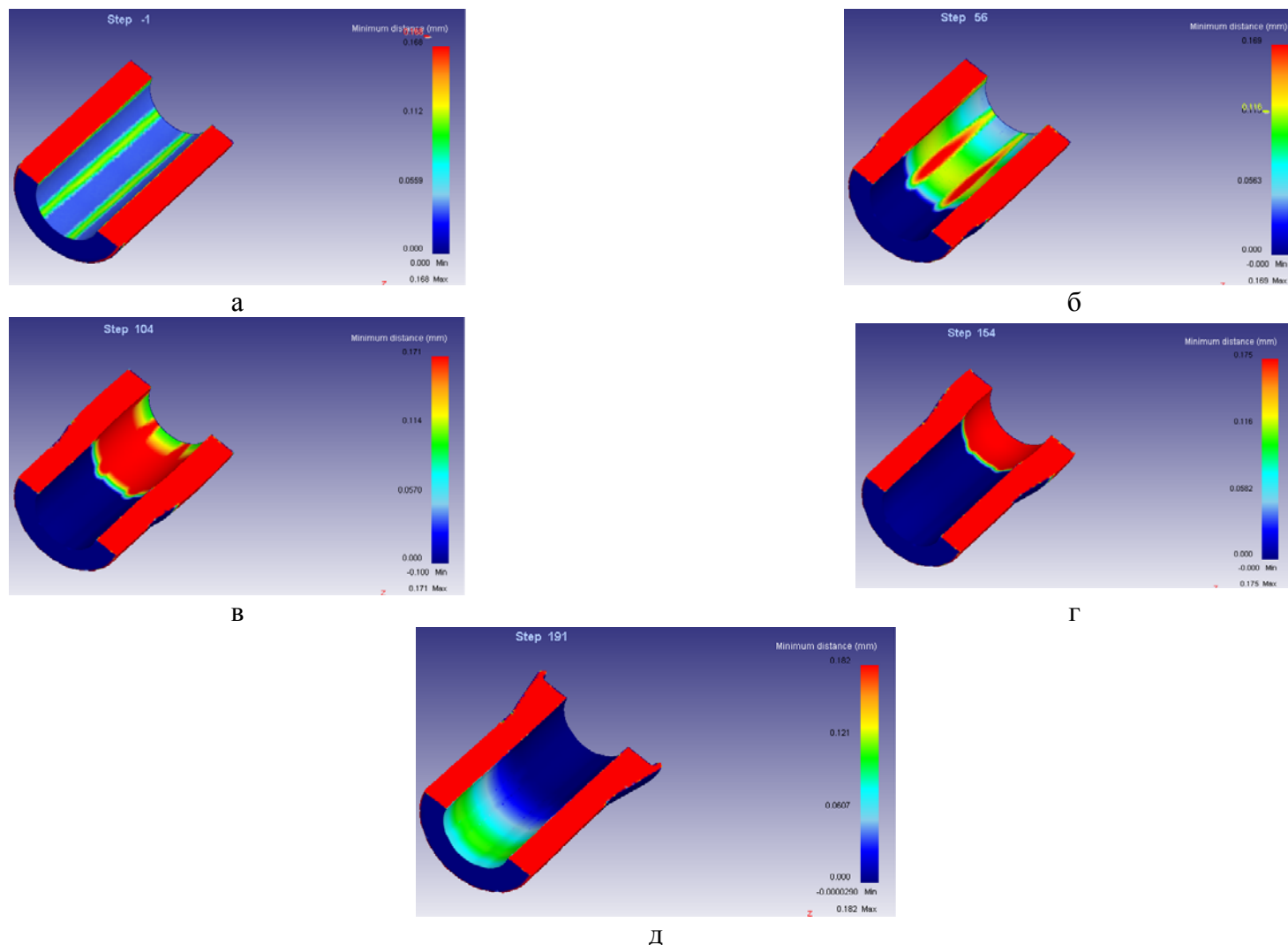


Рис. 7. Изменение максимального расстояния между плоскостью полигона оправки и поверхностью ствольного отверстия в процессе волочения при рабочем угле матрицы 10° :

а – внешний вид заготовки до обжатия; б – заготовка после обжатия на $1/4$ длины; в – заготовка после обжатия на $2/4$ длины; г – заготовка после обжатия на $3/4$ длины; д – заготовка после полного обжатия

Следует отметить, что полученные результаты справедливы и для прессования трубчатой заготовки. И, хотя НДС по такой схеме (с ограничением течения металла по длине) более благоприятно для пластической деформации, на практике ее использование при прессовании проталкиванием весьма проблематично, так как при длине ствола, превышающей некоторое критическое значение, возможна потеря устойчивости ствольной заготовки вместе с оправкой. Поэтому возможность применения указанного метода требует предварительного расчета на продольный изгиб составного стержня «ствол-оправка».

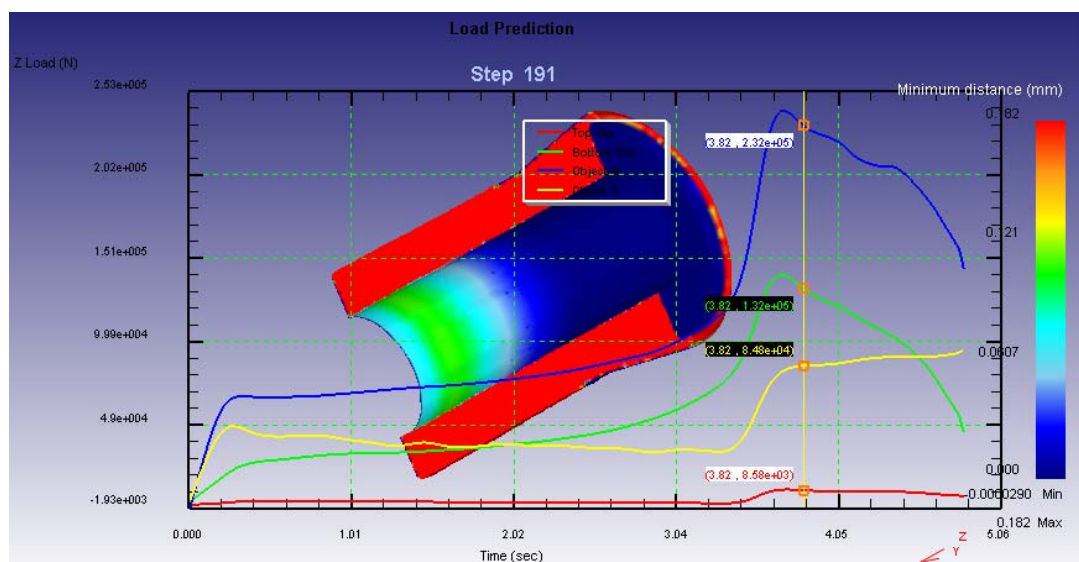


Рис. 8. Усилие прессования-волочения при обжати в гладкой конической матрице при рабочем угле 10°

ВЫВОДЫ

Ограничение течения деформируемого металла в осевом направлении при формообразовании внутренней поверхности ствола полигонального типа волочением в гладкой конической матрице позволяет получить заполнение профиля в месте деформирования.

С уменьшением рабочего угла конической матрицы в месте деформирования улучшается заполнение профиля, однако возрастает технологическое усилие, что, на наш взгляд, продиктовано увеличением контактной поверхности и ростом влияния сил трения.

Формообразование внутренней поверхности ствола полигонального профиля при деформировании заготовки с ограничением течения металла по длине может быть реализовано при волочении в гладкой конической матрице. В то же время такую схему деформирования не рекомендуется применять при прессовании с проталкиванием, так как в этом случае при длине ствола, превышающей некоторое критическое значение, возможна потеря устойчивости ствольной заготовки вместе с оправкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geleji A. *Bildsame Formung der Vtalle in Rechnung und Versuch* / A. Geleji // Akademie Verlag. – Berlin, 1960. – 754 s.
2. Губкин С. И. *Пластическая деформация металлов. Т. III* / С. И. Губкин. – М.: Металлургиздат, 1961. – 360 с.
3. Перлин Л. И. *Теория волочения* / Л. И. Перлин, М. З. Ерманок. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.
4. Данченко В. Н. *Теория процессов обработки металлов давлением* / В. Н. Данченко, В. О. Гринкевич, О. М. Головки. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 369 с.
5. *Deformtm 3D. Version 6.1 User's Manual* Scientific Forming Technologies Corporation, 2008. – 420 s.

Статья поступила в редакцию 22.12.2012 г.