

УДК 621.777

Розов Ю. Г.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ПРЕССОВАНИЯ-ВОЛОЧЕНИЯ СТВОЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ С ОПРАВКОЙ ЧЕРЕЗ ГЛАДКУЮ КОНИЧЕСКУЮ МАТРИЦУ

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.

Внутренняя полость ствола называется каналом 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 (см. рис. 1, а–г).

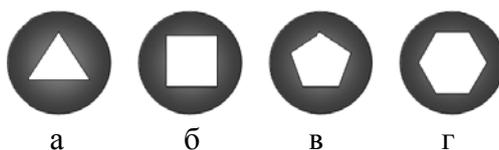


Рис. 1. Виды полигональной нарезки стволов:

а – треугольная; б – квадратная; в – пятиугольная; г – шестиугольная

Наибольшее распространение получили стволы с шестиугольной нарезкой (рис. 2). В настоящее время применена в пистолете «Глок», пистолете-пулемете «Эльф» конструкции КБ СТ (Украина) [1], пистолете-пулемете «Каштан» (Российская Федерация) и др.

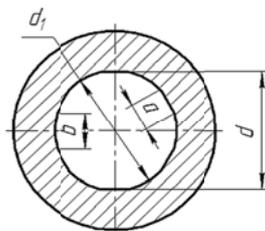


Рис. 2. Схема полигональной нарезки

Потенциальные преимущества данного типа профиля канала ствола перед нарезным конструкторам стрелкового оружия были почти очевидны. В частности полигональный профиль:

1. Не уменьшает площадь поперечного сечения ствола и, тем самым, увеличивает его прочность и живучесть;
2. Снижает концентрацию напряжений в стволе и, при тех же размерах, дает возможность увеличивать максимальное давление;
3. Уменьшает сопротивление движению снаряда, как на стадии форсирования, так и при перемещении его каналом ствола;
4. Обеспечивает лучшую обтюрацию продуктов горения заряда и улучшает использование энергии пороховых газов;
5. Снижает силы трения на поверхностях контакта снаряда и ствола;
6. Облегчает эксплуатацию ствола и увеличивает его живучесть.

Благодаря этому, при тех же параметрах ствола и заряда, увеличивается начальная скорость снаряда и, как следствие, возрастает дальность и точность выстрела.

Получить профиль ствола полигонального типа можно путем прессования (проталкивания) или волочения через гладкую коническую матрицу ствольной заготовки на профильной подвижной оправке (рис. 3).

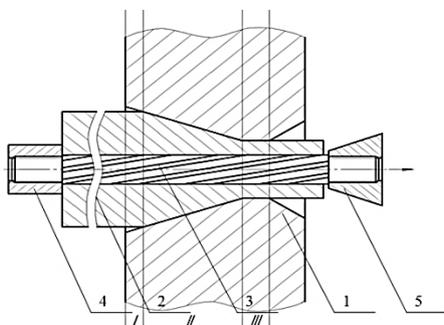


Рис. 3. Схема процесса прессования-волочения через гладкую коническую матрицу:
I – участок редуцирования; II – участок утонения; III – участок калибровки;
1 – матрица; 2 – заготовка; 3 – оправка с профилем; 4 – задний упор; 5 – захват

Процесс прессования (проталкивания) имеет то преимущество, что отпадает необходимость в подготовке переднего конца заготовки под захватное устройство для волочения. Недостаток заключается в том, что 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».

Волочение на профильной подвижной оправке имеет много общего с волочением труб на подвижной оправке. Учитывая, что поперечное сечение профилированной оправки, в силу ранее рассмотренных причин, незначительно отличается от цилиндрической формы, будем рассматривать процесс как волочение цилиндрической трубы на подвижной оправке.

Обычно при волочении труб на оправке рассматривают три участка очага деформации (рис. 3): участок редуцирования I (внеконтактное уменьшение диаметра заготовки), участок утонения II и участок калибровки III.

В случае изготовления ствола с профилем полигонального типа на подвижной оправке, первый участок очага деформации отсутствует и следует рассмотреть процесс деформации на двух оставшихся.

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 [2, 3, 4]. Интересный анализ процесса волочения на профильной оправке приведен в работе [5].

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).

Целью работы является получение удобных для использования аналитических зависимостей для определения напряжений и энергосиловых параметров процесса волочения-прессования ствольной заготовки с профилем полигонального типа на оправке через гладкую коническую матрицу.

Рассмотрим дифференциальные уравнения равновесия, и их решения, процесса прессования-волочения ствола, приняв за основу метод плоских сечений.

Примем схему «проталкивания» заготовки задним концом оправки (рис. 4).

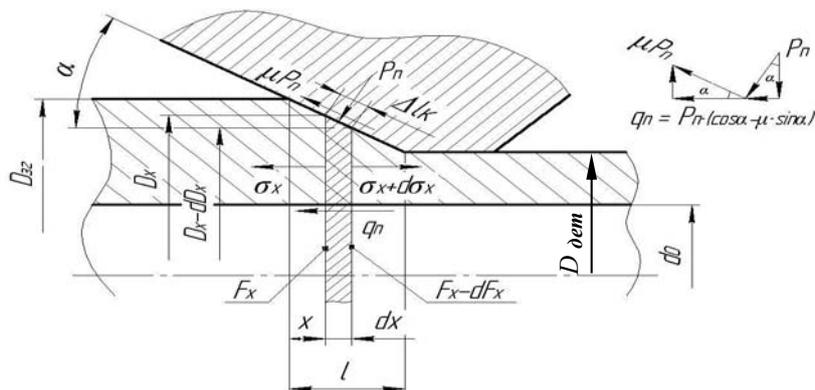


Рис. 4. Расчетная схема сил, действующих в процессе волочения-прессования

Как следует из рис. 4:

$$F_x = \frac{\pi}{4}(D_x^2 - d_0^2); dF_x = \frac{\pi}{2}D_x dD_x; \Delta F_x = F_x - dF_x; dx = \frac{dD_x}{2 \operatorname{tg} \alpha}. \quad (1)$$

Тогда уравнение равновесия (сумма проекций сил на продольную ось Ox), с учетом приведенных выше выражений и коэффициента трения μ , выразится:

$$-\sigma_x F_x + (\sigma_x + d\sigma_x)(F_x - dF_x) - P_n \sin \alpha F_{\text{ср.кон.}} - \mu P_n \cos \alpha F_{\text{ср.кон.}} - \mu q_n \pi d_0 dx = 0. \quad (2)$$

Согласно рис. 4 определим площадь срезанного конуса $F_{\text{ср.кон.}}$:

$$F_{\text{ср.кон.}} = \pi \frac{dD_x}{2 \sin \alpha} \left(\frac{2D_x - dD_x}{2} \right) = \frac{\pi}{2} \frac{1}{\sin \alpha} D_x dD_x. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), с учетом выражения (3), выполнив необходимые преобразования, получим:

$$\sigma_x = P_n \left[\left(A_\alpha \frac{D_x^2 - d_0^2}{d_0^2 - D_{\text{заг.}}^2} \right) - \mu B_\alpha \left(\frac{D_{\text{заг.}}(d_0^2 - D_x^2) - D_x(d_0^2 - D_{\text{заг.}}^2)}{(d_0^2 - D_{\text{заг.}}^2)(d_0^2 - D_x^2)} + \frac{1}{2} \frac{(D_x^2 - d_0^2)}{d_0^2} \ln \frac{(D_x - d_0)(D_{\text{заг.}} + d_0)}{(D_x + d_0)(D_{\text{заг.}} - d_0)} \right) \right], \quad (4)$$

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

Напряжения в стенке трубы получим, приняв во внимание, что при $x = l$ (на правой границе очага деформации, перед входом в калибрующий пояс), $D_x = D_{\text{дет.}}$

$$\sigma_x = P_n \left[\left(A_\alpha \frac{D_{\text{дет.}}^2 - d_0^2}{d_0^2 - D_{\text{заг.}}^2} \right) - \mu B_\alpha \left(\frac{D_{\text{заг.}}(d_0^2 - D_{\text{дет.}}^2) - D_{\text{дет.}}(d_0^2 - D_{\text{заг.}}^2)}{(d_0^2 - D_{\text{заг.}}^2)(d_0^2 - D_x^2)} + \frac{1}{2} \frac{(D_{\text{дет.}}^2 - d_0^2)}{d_0^2} \ln \frac{(D_{\text{дет.}} - d_0)(D_{\text{заг.}} + d_0)}{(D_{\text{дет.}} + d_0)(D_{\text{заг.}} - d_0)} \right) \right]. \quad (5)$$

В методе плоских сечений радиальные σ_R и осевые σ_X напряжения принимают главными и предполагают, что они постоянные по радиусу.

Условие пластичности, с учетом того, что $(\sigma_R; \sigma_X) < 0$, запишется следующим образом:

$$\sigma_R + \sigma_X = \sigma_3 + \sigma_1 = \sigma_S, \tag{6}$$

где σ_S – напряжение текучести материала заготовки.

Из уравнения (6) следует:

$$\sigma_3 = \sigma_R = \sigma_S - \sigma_1. \tag{7}$$

Учитывая допущение о постоянстве главных напряжений по радиусу, находим:

$$P_n = \sigma_3 = \sigma_S - \sigma_1$$

или более точно:

$$P_n(1 - \mu tg \alpha) = \sigma_S - \sigma_X. \tag{8}$$

Следовательно:

$$P_n = \frac{\sigma_S - \sigma_X}{1 - \mu tg \alpha}. \tag{9}$$

Подставив значение P_n в выражение для σ_X и учитывая силы трения на калибрующем пояске, получим расчетное напряжение в стенках трубы на выходе из волокна:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_S \left[\left(A_\alpha \cdot \frac{D_{дет}^2 - d_0^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right) - \mu B_\alpha \left(\frac{D_{заг}(d_0^2 - D_{дет}^2) - D_{дет}(d_0^2 - D_{дет}^2)}{(d_0^2 - D_{заг}^2)(d_0^2 - D_x^2)} + \frac{1}{2} \frac{(D_{дет}^2 - d_0^2)}{d_0^2} \ln \frac{(D_{дет} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дет} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right) \right]}{(1 - \mu tg \alpha) + \left[\left(A_\alpha \frac{D_{дет}^2 - d_0^2}{d_0^2 - D_{заг}^2} \right) - \mu B_\alpha \left(\frac{D_{заг}(d_0^2 - D_{дет}^2) - D_{дет}(d_0^2 - D_{дет}^2)}{(d_0^2 - D_{заг}^2)(d_0^2 - D_x^2)} + \frac{1}{2} \frac{(D_{дет}^2 - d_0^2)}{d_0^2} \ln \frac{(D_{дет} - d_0)(D_{заг} + d_0)}{(D_{дет} + d_0)(D_{заг} - d_0)} \right) \right]}. \tag{10}$$

Учитывая тот факт, что при волочении угол волокна $\alpha < 20^\circ$, а коэффициент трения $\mu < 0,1$ (а, следовательно, $\mu tg \alpha < 0,036$, что значительно меньше 1), то $1 - \mu tg \alpha \approx 1$. Поэтому можно принять $P_n \approx \sigma_S - \sigma_X$, что и принимают обычно при определении σ_X .

Дополнительные напряжения в стенках заготовки, которые вызваны силами трения на участке калибровки после выхода из конической части матрицы, приближенно можно определить из следующих соображений: на границе конического и калибрующего участков матрицы выполняется условие пластичности $\sigma_3 + \sigma_1 = \sigma_S$ или, в силу принятых допущений

в методе плоских сечений, $\sigma_R + P_n = \sigma_S$. Последнее выражение можно записать как $P_n = \sigma_S - \sigma_R = q_n'$, что является максимально возможным напряжением на контактной поверхности калибрующего пояска. На выходе из калибрующего пояска контактное напряжение q_n' можно принять равным нулю. Поэтому среднее контактное напряжение на поверхности калибрующего пояска определяется как:

$$q_n' = \frac{P_n}{2} = \frac{\sigma_S - \sigma_R}{2}. \quad (11)$$

Сила трения при длине калибрующего пояска $l_{к.п.}$ и наружном диаметре детали $D_{дет}$ равна:

$$F_{тр} = \mu q_n' l_{к.п.} \pi D_{дет}. \quad (12)$$

Тогда дополнительные напряжения в стенках детали на выходе из калибрующего пояска будут равны:

$$\sigma_{тр.п.} = \frac{F_{тр}}{S_{дет}} = \frac{\left(\mu \frac{\sigma_S - \sigma_R}{2} l_{к.п.} \pi D_{дет} \right)}{\frac{\pi}{4} (D_{дет}^2 - d_0^2)} = 2\mu \left(\frac{(\sigma_S - \sigma_R) l_{к.п.} D_{дет}}{(D_{дет}^2 - d_0^2)} \right). \quad (13)$$

Прибавив это выражение к выражению для σ_p (10), получим формулу для определения полного напряжения в стенке детали при волочении.

Усилие волочения определяем по формуле:

$$P_B = (\sigma_p + \sigma_{тр.п.}) S_{дет}. \quad (14)$$

Следует отметить, что такое же усилие потребуется для проталкивания заготовки с оправкой через гладкую коническую матрицу.

ВЫВОДЫ

Используя метод плоских сечений, решена задача по определению усилия прессования-волочения ствольной заготовки с внутренним профилем полигонального типа на подвижной оправке через гладкую коническую матрицу. Полученные аналитические зависимости имеют удобный для использования в инженерных расчетах вид и учитывают влияние реальных факторов, присущих рассматриваемому технологическому процессу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасечник С. Пистолет – пулемет «Эльф-2» / С. Пасечник // Охота и оружие. – 2000. – № 6. – С. 6–7.
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. Белов М. П. Исследование процесс сов прессования и волочения биметаллических изделий / М. П. Белов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2004. – № 1. – С. 11–14.
5. Каргин Б. В. Исследование волочения труб с внутренним спиральным рифлением на короткой вращающейся оправке / Б. В. Каргин, В. Р. Каргин, Т. С. Пасиушенко // Заготовительные производства в машиностроении. – 2009. – № 2. – С. 14–19.