

## МЕТОД ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА СРЯЗАН УПЛЪТНИТЕЛЕН ПРЪСТЕН ЗА МИНОХВЪРГАЧНИ СИСТЕМИ С ГЛАДКО ТЯЛО

Валентин Иванов

*Институт за перспективни изследвания за отбраната – ВА „Г. С. Раковски“*  
e-mail: [vivanof@abv.bg](mailto:vivanof@abv.bg)

**Ключови думи:** проектиране, уплътнителен пръстен, мина.

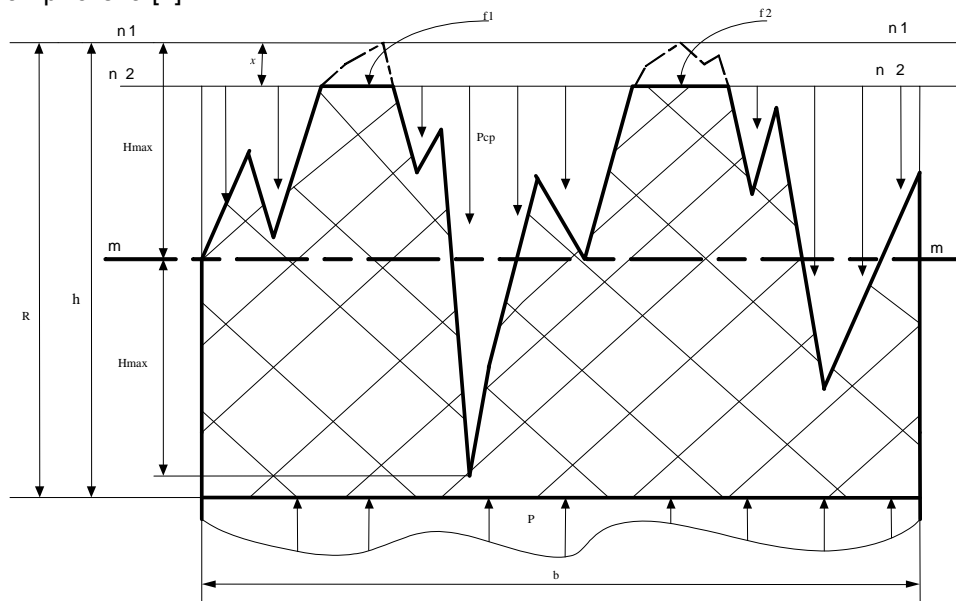
**Резюме:** Представен е метод за проектиране на срязан уплътнителен пръстен с правоъгълно напречно сечение. Определени са ограничителни условия спрямо радиалната му геометрия и е извършен избор на материал. Изведени са зависимости, характеризиращи наличието на припокриване между краищата на пръстена в срязания участък.

Основание за предлагания метод е обстоятелството, че от достъпната литература не се познати способности за проектиране на уплътнителни пръстени към мини за гладкостенни минохвъргачки. Неговата цел е разработване на уплътнителен елемент към корпуса на мината при ограничителни условия, гарантиращи процеса на зареждане и якостните характеристики за корпуса на боеприпаса.

Изискването, което се предявява към уплътнителния елемент, е неговата конструкция да осигурява добра технологичност при производството, компактност, лесен монтаж и ниска себестойност.

### 1. Определяне на съотношението между фактичестката и номинална площи в уплътняваната повърхност.

На Фиг 1 е представена микротопографията в контактните повърхности “пръстен-тяло” и “пръстен-мина”, илюстрираща механизма на уплътняване в границите на класа на грапавост за материала на пръстена [4].



**Фиг. 1.** Схема на микротопографията при натоварен пръстен

Доказано е, че характерът на разпределението на грапавините се подчинява на нормалния закон на Гаус [4]. Знаейки нормалното отклонение ( $u$ ), е възможно табличното определяне на

вероятностната грешка ( $t_v$ ), след което за изчисляването на средната теоретична хлабина е в сила формулата:

$$\delta = \frac{t_v H_{\max}}{u}, m.$$

Тогава при определяне съотношението между фактическата и номинална площи в уплътняваната повърхност е валиден изразът [4]:

$$n = \frac{A_F}{A_N} = \frac{\int_{\delta_i}^{H_{\max}} f(x) dx}{\int_{-H_{\max}}^{+H_{\max}} f(x) dx} = \frac{H^2 - \delta_t^2}{2H},$$

където:  $A_F, A_N$  - фактическа и номинална площи,  $m^2$ ;  $H$  - височина на грапавините,  $m$ .

## 2. Височина на напречното сечение на пръстена.

Ограничителните условия при определяне височината на напречното сечение при пръстена са якостно и конструктивно.

### 2.1. Якостно ограничение.

Чрез якостното ограничение се постига запазване на минимално допустимия външен радиус за корпуса на мината по централизиращото удебеление, гарантиращ необходимата здравина, съобразно налягането в канала на тялото. Препоръчително е неговото определяне да се извършва чрез използването на „Трета якостна теория“, предвид обстоятелството, че тя дава най-близки резултати до експериментално установените стойности по познатата формула [1]:

$$r_0 \geq \sqrt{\frac{0,5\sigma_{02}r_n^2}{0,5\sigma_{02} - p_{pac}}}, m,$$

където:  $r_n$  – вътрешен радиус на корпуса на мината,  $m$ ;  $\sigma_{02}$  – условна граница за провлачване на материала за корпуса на мината,  $Pa$ ;  $p_{pac}$  - разчетно налягане в тялото на минахвъргачката,  $Pa$ .

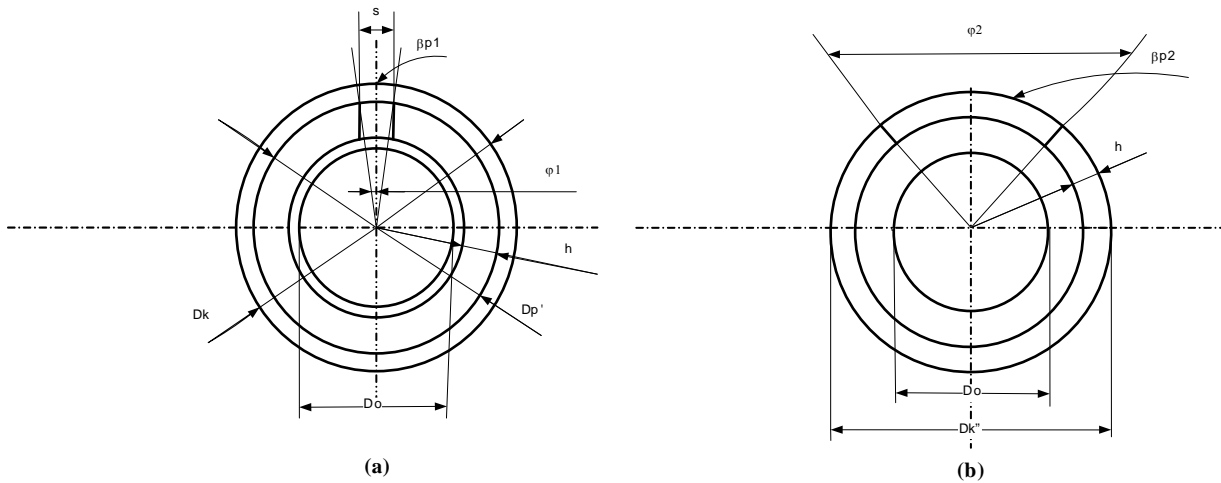
### 2.2. Конструктивно ограничение.

Конструктивното ограничение се налага от изискването за запазване радиалната хлабина между тялото и мината при зареждане и има вида:  $D_p' \leq D_m$ , където:  $D_p'$  – външен диаметър на пръстена в свободно състояние,  $m$ ;  $D_m$  – диаметър на мината по централизиращото удебеление,  $m$ . Предвид това, за максимално допустимата височина на напречното сечение при пръстена е в сила неравенството:

$$h \leq \frac{D_m - 2r_0}{2}, m.$$

## 3. Радиална геометрия на пръстена.

Радиалната геометрия на пръстена се определя съобразно посочените ограничителни условия и е показана в най-общ вид на Фиг. 2.



**Фиг. 2.** Радиалната геометрия на уплътнителен пръстен в свободно (а) и деформирано състояние (б)

За пресмятане на геометрията се предлага следния алгоритъм, в който диаметралните размери са съобразени със съответните конструктивни допуски:

$$(1) H_{\max} = \frac{R_{z_{\max}}}{2}, m;$$

$$(2) \delta_t = \delta_m = \delta_s = \frac{t_v H_{\max}}{u}, m;$$

$$(3) D_{k_{\max}} = D_k + 0, m;$$

$$(4) D_{k_{\min}} = D_k - 0,06, m;$$

$$(5) D_{m_{\max}} = D_m - 0,6, m;$$

$$(6) D_{m_{\min}} = D_m - 0,725, m;$$

$$(7) D_{p'} = D_{m_{\min}}, m;$$

$$(8) D_{p''} = D_{p'} - 2h, m;$$

$$(9) H = \frac{D_{m_{\min}} - D_{p''}}{2} + 0,0005, m;$$

$$(10) r_p = \frac{D_{p'}}{2}, m;$$

$$(11) D_0 = D_{p'} - 2H, m;$$

$$(12) \varphi_1 = 2 \arcsin \frac{s_0}{r_p}, \text{ deg re}$$

$$(13) \delta_{p_1} = \frac{\varphi_1^0 \pi r_p}{180}, m;$$

$$(14) l_t = \pi D_{p'} - \delta_{p_1}, m;$$

$$(15) l_m = \pi D_{p''} - \delta_{p_1}, m;$$

$$(16) l_k = \pi D_{k_{\max}}, m;$$

$$(17) \delta_{p_2} = l_k - l_m, m;$$

$$(18) \delta_p = \delta_{p_2} - \delta_{p_1}, m;$$

$$(19) D_k'' = D_{k_{\max}}, m;$$

$$(20) r_k'' = \frac{D_k''}{2}, m;$$

$$(21) \varphi_2 = \frac{\delta_{p_2} 180^0}{\pi r_k''}, \text{ deg re};$$

$$(22) D_k' = D_{k_{\max}} - 2h, m;$$

$$(23) r_k' = \frac{D_k'}{2}, m;$$

$$(24) r_m = \frac{D_{m_{\min}}}{2}, m;$$

$$(25) r_{cp} = \frac{r_k' + r_k''}{2}, m;$$

$$(26) D_{cp} = 2r_{cp}, m;$$

$$(27) l_{cp} = \pi D_{cp}, m;$$

$$(28) D_0 = D_{p'} - 2H, m, .$$

където:  $H_{\max}$  - максимална височина на грапавините,  $m$ ;  $\delta_t, \delta_m, \delta_s$  - хлабини на уплътнението с тялото, мината и в среза,  $m$ ;  $D_{k_{\max}}$  - максимален вътрешен диаметър на тялото,  $m$ ;  $D_{k_{\min}}$  - минимален вътрешен диаметър на тялото,  $m$ ;  $D_{m_{\max}}$  - максимален диаметър на мината по водещия пояс,  $m$ ;  $D_{m_{\min}}$  - минимален диаметър на мината по водещия пояс,  $m$ ;  $\delta_{\max}$  - максимална радиална хлабина между тялото и водещия пояс на мината при концентричен просвет,  $m$ ;  $\delta_{\min}$  - минимална радиална хлабина между тялото и водещия пояс на мината при концентричен просвет,  $m$ ;  $\Delta_{\max}$  - максимална хлабина между тялото и водещия пояс на мината при ексцентрицитет,  $m$ ;  $\Delta_{\min}$  - минимална хлабина между тялото и водещия пояс на мината при ексцентрицитет,  $m$ ;  $D_p'$  - външен диаметър на пръстена в свободно състояние,  $m$ ;  $D_p''$  - вътрешен диаметър на пръстена в свободно състояние,  $m$ ;  $H$  - височина на канала за пръстена,  $m$ ;  $r_p$  - външен радиус на пръстена в свободно състояние,  $m$ ;  $D_0$  - вътрешен диаметър на канавката,  $m$ ;  $\varphi_1$  - централен ъгъл между краищата на пръстена в свободно състояние,  $degree$ ;  $\delta_{p_1}$  - дължина на дъгата от срязания участък по външния диаметър на пръстена в свободно състояние,  $m$ ;  $l_t$  - дължина на пръстена по външния диаметър,  $m$ ;  $l_m$  - дължина на пръстена по вътрешния диаметър,  $m$ ;  $l_k$  - дължина на канала на тялото по максималния вътрешен диаметър,  $m$ ;  $\delta_{p_2}$  - дължина на дъгата между краищата на пръстена по максималния вътрешен диаметър на тялото,  $m$ ;  $\delta_p$  - преместване на краищата до контакт с тялото,  $m$ ;  $D_k''$  - външен диаметър на деформирания пръстен,  $m$ ;  $r_k''$  - радиус на деформирания пръстен по външния диаметър,  $m$ ;  $\varphi_2$  - централен ъгъл между краищата на пръстена в деформирано състояние,  $degree$ ;  $D_k'$  - вътрешен диаметър на деформирания пръстен,  $m$ ;  $r_k'$  - радиус на деформирания пръстен по вътрешния диаметър,  $m$ ;  $r_m$  - минимален радиус на мината по водещия пояс,  $m$ ;  $r_{cp}$  - среден радиус на деформирания пръстен,  $m$ ;  $D_{cp}$  - среден диаметър на деформирания пръстен,  $m$ ;  $l_{cp}$  - дължина на деформирания пръстен по средния диаметър,  $m$ ;  $D_0$  - вътрешен диаметър на канавката,  $m$ .

#### 4. Избор на материал за пръстена.

Определяща физико-механична характеристика за материала на уплътнителния елемент е якостта на натиск. Налягането в уплътняваната повърхност може да се определи по формулата [4]:

$$p_{cp} = \frac{2}{3} \frac{(p^3 - p_a^3)}{p^2 - p_a^2}, MPa,$$

където:  $p, p_a$  - налягане преди и след уплътнението,  $MPa$ .

От друга страна е известно че:  $\sigma_{-B} = p' = \frac{W}{A_F}$  [5, 9].

След изразяване на резултатното натоварване чрез съотношението "n" в познатата зависимост  $W = pA_N - p_{cp}(A_N - A_F)$  и заместване в израза за  $\sigma_{-B}$  за необходимото напрежение на

натиск за материала на пръстена се получава:  $\sigma_{-B} = \frac{p - p_{cp} + np_{cp}}{n}, MPa$ . За определяне

границата на провлачване може да се използва равенството  $\sigma_s = \frac{\sigma_{-B}}{c}, MPa$  [5], където:  $c = c_1 c_2 c_3$  -

коэффициент на сигурност за материала, отчитащ: неточностите при натоварването на пръстена ( $c_1$ ), нееднородност на материала ( $c_2$ ), важност на детайла в конструкцията ( $c_3$ ).

## 5. Определяне широчината на напречното сечение на пръстена и площите по неговата конфигурация.

Оформянето на срязания участък при пръстена е въпрос на технологично и конструктивно решение. Неговата конфигурация определя сложността при изработване и степента на уплътняване в мястото на среза. Познати са няколко основни профила: „прав“, „скосен“ и „стъпаловиден“ [7]. За най-ефективно може да се приеме скосеното оформяне, позволяващо достатъчно добро припокриване на краищата, необходимата деформация на пръстена до контакт с тялото и степен на уплътняване. Такъв избор определя клинов вид на среза, който е елемент при силовия анализ на натоварването върху пръстена.

При пресметната радиална геометрия и височина на напречното сечение на пръстена, площта му към зарядната камера се изчислява чрез равенството:  $F_5 = hl_t, m^2$ . След избран материал, профил на срязания участък и определено натоварване върху пръстена (в резултат от решената задача за вътрешната балистика на изстрела), широчината на напречното му сечение може да се пресметне по формулата:

$$b = \frac{pF_5 \operatorname{tg} \alpha}{l_t(p - p_{cp} + np_{cp}) - p_{cp}h - pl_m + p_{cp}l_t}, m,$$

където:  $p$  – налягане преди уплътнението,  $MPa$ ;  $p_{cp}$  – налягане в уплътняваната повърхност,  $MPa$ ;  $h$  – височина на напречното сечение на пръстена,  $m$ ;  $l_t$  – дължина на пръстена по външния диаметър,  $m$ ;  $l_m$  – дължина на пръстена по вътрешния диаметър,  $m$ .

Дължината на срязания участък при скосен профил има вида:

$$l_s = \frac{b}{\sin \alpha}.$$

За определяне на площите от конфигурацията на пръстена се предлагат следните равенства:

$$F_1 = bl_t, m^2;$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (D_{m_{\min}}^2 - D_k^2), m^2;$$

$$F_3 = bl_m, m^2;$$

$$F_4 = \frac{hb}{\sin \alpha}, m^2;$$

$$F_6 = hl_t, m^2,$$

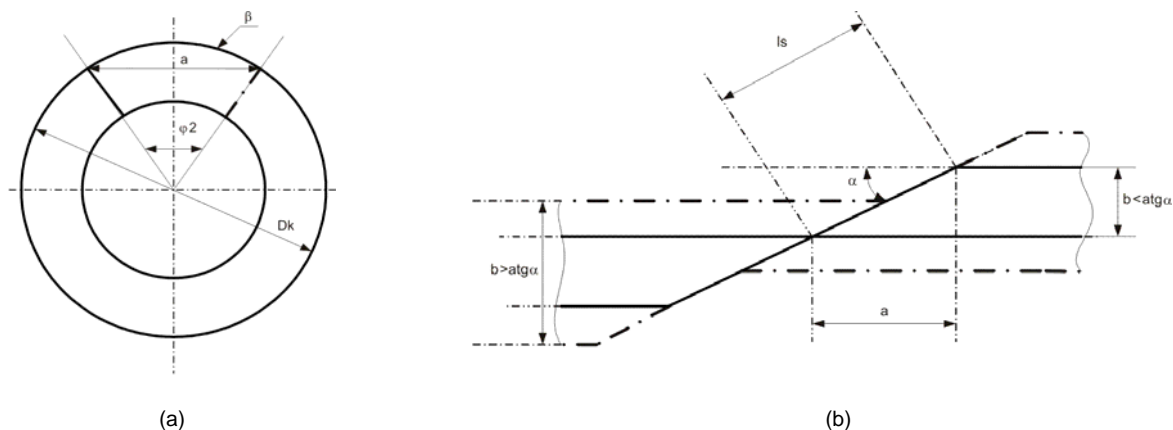
където:  $F_1$  – площ по външния диаметър (контакт с тялото),  $m^2$ ;  $F_2$  – минимална площ с челото на канавката,  $m^2$ ;  $F_3$  – площ по вътрешния диаметър (дъното на канавката),  $m^2$ ;  $F_4$  – площ на срязания участък,  $m^2$ ;  $F_5$  – площ към зарядната камера,  $m^2$ ;  $F_6$  – площ към дулния срез,  $m^2$ .

## 6. Зависимост между широчината на напречното сечение, ъгъла на среза и преместването на краищата на пръстена до контакт с тялото.

Знаейки радиалната дължина на канала на тялото и геометрията на пръстена, може да се определи взаимното преместване на краищата на пръстена до контакт с тялото чрез следните

равенства:  $C_k = \pi D_k, m$ ;  $C_p = \pi D_p', m$ ;  $\delta_{p_2} = C_k - C_p, m$ ;  $\varphi_2 = \frac{\delta_{p_2} 360^0}{2\pi \left(\frac{D_k}{2}\right)}, \operatorname{deg} re$ ;

$a = D_k \sin \frac{\varphi_2}{2}, m$ , където:  $C_k$  - радиална дължина на канала на тялото,  $m$ ;  $C_p$  - дължина на пръстена по външния диаметър в свободно състояние,  $m$ ;  $\delta_{p_2}$  - дължина на дъгата по секторната част на тялото,  $m$ ;  $\varphi_2$  - централен ъгъл спрямо " $\delta_{p_2}$ ", *degree*;  $a$  - взаимно преместване на краищата на пръстена,  $m$ .



**Фиг. 3.** Схема за припокриване краищата на пръстена – радиален профил (a) и срязан участък (b)

Изхождайки от тригонометричната зависимост между широчина на напречното сечение и ъгъла на среза могат да се определят условията за наличие или липса на припокриване (Фиг. 3), както следва:

- $b \leq atg\alpha$  - няма припокриване;
- $b \geq atg\alpha$  - наличие на припокриване.

#### Извод

Предлаганият метод дава възможност за проектиране на уплътнителни пръстени за гладкостенни минохвъргачки, независимо от калибъра на стрелковата система.

#### Литература

1. К о р о л е в В. В. Теория проектирования артиллерийских снарядов и мин, ВТС 1970г.
2. К и с ъ о в И. Д. Наръчник на инженера, Техника, 1960г.
3. К о р н Г., К о р н Т. Справочник по математике, Наука, 1977г.
4. Н о в и к о в И. И. Бессмазочные поршневые уплотнения в компресорах
5. Х р и с т о в Д. Д. Пресмятане и конструиране на машинни елементи, Техника, 1980 г.
6. Б а е в И. В. Теория и расчет артиллерийских орудий, МО, 1980г.
7. С ъ б е в С. Г. Уплътнение, Техника, 1969