

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИТЕ ГЕОМЕТРИЧНИ РАЗМЕРИ НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ С ВОДЕЩ ШЕСТЛОПАТЕН РОТОР

**Венелин Тасев**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, nrbmo94@gmail.com

**РЕЗЮМЕ** В статията се разглеждат възможностите за определяне основните геометрични размери на центробежните сачмени съединители в зависимост от изходните параметри на съединителя, неговата маса и тегло, условия на протичане на пусковия процес, нагряване на отделните елементи, якостни качества на използваните материали. Изведени са зависимости удобни за конструиране на центробежните сачмени съединители.

### DETERMINATION OF FUNDAMENTAL GEOMETRICAL DIMENSIONS OF CENTRIFUGAL BALL JOINTS WITH SIX PADDLE LEADING ROTOR

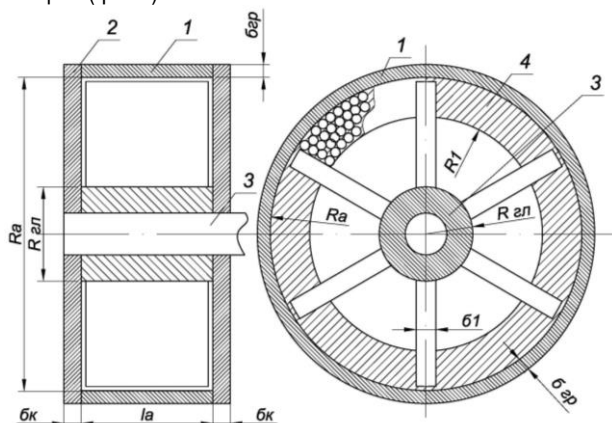
**Venelin Tasev**

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, nrbmo94@gmail.com

**ABSTRACT.** The article discusses the possibilities for calculating the basic geometric dimensions of the centrifugal ball joints depending on output parameters of the clutch, its mass and weight, terms and conditions of the starting process, heating of the components, strength of used materials. Relationships derived are suitable for designing centrifugal ball joints.

### Въведение

Центробежните сачмени съединители (ЦСС) са фрикционни механизми със свободно насипан сачмен пълнеж и водещ шестлопатен ротор. Фрикционните сили се формират на границата на контакта на сачмите с вътрешните повърхнини на ЦСС. Тези повърхнини са вътрешната цилиндрична повърхност на ЦСС и частта от страничните капаци покрити със сачми. Тези повърхнини се наричат активни, а техните размери основни геометрични размери на ЦСС (фиг.1)



Фиг. 1

Основни геометрични размери на центробежните сачмени съединители (ЦСС) са неговият активен радиус  $R_a$  и активната широчина  $l_a$ . Активният радиус е този, вътрешната цилиндрична повърхност. Активна широчина е широчината на цилиндричната повърхност. Това са размерите, които определят размера на изходния въртящ момент и от които зависи напрегнатото и топлинно състояние на ЦСС.

Правилно конструиран и оразмерен съединител трябва да отговаря на редица изисквания, като – сигурност, дълготрайност, малогабаритност, ниска цена, стабилни характеристики и др.

За оразмеряването на ЦСС са необходими следните изходни данни:

1. Изходен въртящ момент –  $M_c, Nm$
2. Номинална честота на въртене -  $\omega_n, rad/s$ ;
3. Време за ускоряване на работната машина –  $t_n, s$
4. Брой на включванията та машината -  $n_v$ .

При определяне на основните геометрични размери се използват следните коефициенти:

$$k_1 = \frac{b_a}{R_a}, \text{ където } b_a - \text{дебелината на лопатката};$$

$$k_2 = \frac{R_1}{R_a}, \text{ където } R_1 \text{ е радиусът на свободната повърхност на сачмения пълнеж (фиг. 1);}$$

$$k_5 = \frac{l_a}{R_a},$$

$$\beta = \frac{r_{ж}}{r_c}, \text{ където } r_{ж} \text{ е радиусът на жлеба, в който се движат сачмите, } m;$$

$$r_c - \text{радиусът на сачмите, } m;$$

$K_k$  – коефициент, отчитащ момента създаван от капаците на ЦСС.

Водещ параметър, за определяне на основните геометрични размери на ЦСС, е изходния въртящ момент  $M_c$ . В много случаи се поставят и допълни условия, които също оказват влияние върху размерите на ЦСС. Това са изискванията за:

- минимални тегло и цена;
- технологичност;
- брой на включванията за определен период.

В зависимост от преобладаващите изисквания към ЦСС в статията се предлагат различни методики за оптимално определяне на основните геометрични размери.

## Изложение

### Класически метод

Методът се основава на предварително определяне на размерите на ЦСС, след което се извършват необходимите проверки за якостни и топлинни натоварвания.

Моментът развиван от ЦСС се определя (Тасев, В 1994) от зависимостта:

$$M_c = \frac{2\pi}{3} k_k R_a^4 \omega_n^2 f \rho \psi_n (1 - K_2^3), \text{ Nm} \quad (1)$$

Където  $\omega_n$  е номиналната ъглова скорост, rad/s;

$f$  – коефициентът на триене между активните повърхности  $f=0.03 \div 0.04$ ;

$\rho$  – плътност на стоманата, kg/m<sup>3</sup>;  $\rho \approx 7800$  kg/m<sup>3</sup>;

$\psi_n$  – коефициент на плътността на сачмения пълнеж.

От (1) се определя активния радиус:

$$R_a = \sqrt[5]{\frac{M_c}{\frac{2\pi}{3} k_k k_5 \omega_n^2 f \rho \psi_n (1 - K_2^3)}}, \text{ m} \quad (2)$$

Коефициентът  $K_5$  се избира в границите от 1.2 до 0.6, като по-големите стойности са за по-бързооборотните съединители.

Коефициентът  $K_k$  – отчитащ моментът предаван чрез страничните капази се определя по формулата:

$$K_k = 0.67 - 0.13(K_1 K_5) \quad (3)$$

Стойността на  $K_1$  предварително се приема от 0.05 до 0.1.

Коефициентът  $K_2$  отчита напълването на камерите със сачми, като се приема в границите от 0.7 до 0.5, като по-големите стойности са за по-бързооборотните ЦСС.

След пресмятане на  $R_a$  се определя и активната ширина:

$$\ell_a = K_5 R_a \quad (4)$$

### Метод на минимално тегло

За големите ЦСС с предавана мощност над 500 kW, при ниски обороти, теглото и цената имат първостепенно значение. Изследванията на автора са показали, че с нарастването на активния радиус  $R_a$  и респективно намаляване на ширината на ЦСС теглото намалява.

Радиусът при който ЦСС има минимално тегло се определя по зависимостта [4]:

$$R_{a \min} = \sqrt[4]{\frac{3A + C + D}{B}}, \text{ m} \quad (5)$$

където:

$$A = \frac{3M_c \delta_{гр}}{\omega^2 \psi f (1 - K_2^3)} \quad (6)$$

$$B = 2\pi r \delta_k \quad (7)$$

$$C = \frac{3M_c [K_4 \pi + 6K_1 (1 - K_4)]}{2\pi \omega^2 f (1 - K_2^3)} \quad (8)$$

$$D = \frac{3M_c (1 - K_2^2)}{2\omega^2 \psi f (1 - K_2^3)} \quad (9)$$

$\delta_{гр}$  – дебелина на гривната ,m;

$\delta_k$  – дебелина на капака ,m;

$$K_4 = \frac{R_{гп}}{R_a} \approx 0.4 \div 0.45;$$

$\psi = 0.55$ ;

Стойността на коефициента  $K_2$  като начало се приема 0.5

Дебелината на капаците и гривната при това пресмятане се приемат за равни и се определя по имперична зависимост:

$$\delta_k = \delta_m = 0.01 + 0.05 P_H 10^{-6}; \text{ m} \quad (10)$$

След като се определи активния радиус  $R_a$  се пресмята активната ширина  $\ell_a$  на ЦСС:

$$\ell_a = \frac{3M_c}{2\pi r \psi K_k \omega^2 f R_a^4 (1 - K_2^3)}, \text{ m} \quad (11)$$

### Метод на по-добра технологичност

Най-тежният за изработване и най-отговорният детайл в ЦСС е ризата по-която се трият сачмите. Тя се термообработва. В нея се изработват хлебовете с определени размери, зададени точност и грапавост.

За да може детайлът да се обработва на универсални машини, се поставя условието твърдостта на термообработката да не надвишава 35 HRC. Лабораторните изследвания и опитът в експлоатацията е показал, че ЦСС с та-

кава термообработка имат задоволителен ресурс при контактни налягания  $p_k$  по-малки от 300 МПа. В този случай за определящо основните геометрични размери се явява контактното налягане.

Изследванията на автора (Тасев, В. 1989 г.) са показали, че максималното контактното налягане в условията на работа на ЦСС се определя по зависимостта:

$$p_k = 0.214(\beta - 1)^{0.184} \sqrt[3]{\frac{M_c E^2}{R_a^2 \ell_a f K_k}}, \text{Pa}; \quad (12)$$

където:  $E$  е модулът на еластичност на стоманата, Pa;  
 $\beta$  – заема стойност от 1.05 до 1.005.

За активния радиус и активната ширина съответно се получава:

$$R_a = 0.214(\beta - 1)^{0.184} \frac{1}{p_k} \sqrt[3]{\frac{M_c E^2}{f K_k K_5}}, \text{m}; \quad (14)$$

$$\ell_a = k_5 \cdot R_a, \text{ m} \quad (14a)$$

При така определените основни геометрични размери, трябва да се провери стойността на максималното контактното налягане  $p_o$  (Тасев, В. 1989 г.):

$$p_o = 0,214(\beta - 1)^{0.184} \sqrt[3]{\frac{M_c \cdot E^2}{R_a^2 \cdot \ell_a \cdot f \cdot k_k}}, \text{ Pa} \quad (15)$$

където  $E$  – модулът на еластичност;  
 $\beta = 1,05 \div 1,005$ .

#### Метод за голям ресурс

Увеличаването на ресурса при ЦСС се търси основно по два начина:

- увеличаване на твърдостта на вътрешната риза;
- намаляване на контактното налягане.

Максималната твърдост на ризата може да бъде 50 HRC. Използването на по-висока твърдост на ризата крие риск от разрушаването на ризата. Контактното налягане е желателно да бъде по-малко от 300 МПа. Пресмятането на основните геометрични размери е като в предишния метод. Тук е желателно жлебовете в ризата да се изработят с необходимата прецизност и на ротора да се поставят сегменти, които да ограничават достъпа на сачмите със страничните капаци.

#### Метод на топлинното натопване

В пусковия процес, в ЦСС се отделя топлинна, която го нагрява. Нормална работа на ЦСС е възможна до определени стойности на среднообемната им температура  $T_{cp}$ , която не надхвърля 180 °C (Тасев В. 1990 г.).

В зависимост от изискванията на задвижването и технологичния процес машините към които е куплиран ЦСС могат условно да бъдат разделени на две групи:

- машини с тежък пуск, които се включват сравнително рядко;
- машини с чести включвания, с повече от едно на час.

В първия случай температурата в ЦСС се определя изключително от неговата маса и отделената в пуската топлина, като отделянето на топлина в околното пространство се пренебрегва (Тасев В. 1990):

$$T_{cp} = T_o + \frac{W_n}{\sum_i m_i c_i}, \text{K} \quad (16)$$

където:  $W_n$  е отделената в пусковия процес топлина, J;

$m_i$  и  $c_i$  – са съответно масите и специфичната им топлоемкост, kg и J/kgK°;

Отделената в пусковия процес топлина зависи от параметрите на динамичната система и е подробно изследвана от автора. За различни начини на изменение на статичния съпротивителен момент са изведени съответните зависимости (Тасев В. 1990 г.). С първо приближение тук ще се приеме, че статични съпротивителен момент остава постоянен в целия пусков период.

В този случай отделената топлина може да се представи със зависимостта:

$$W_n = \frac{1}{2} t_n M_c \omega, \text{J}; \quad (17)$$

където  $t_n$  е времетраенето на пусковия процес

Масата на съединителя, като начално пресмятане, може да се представи (Тасев, В 1994):

$$m_c = \pi r \ell_a R_a^2 \left[ \psi_c + \psi_n \left( 1 + K_2^2 \right) \right], \text{kg}; \quad (18)$$

където:  $\psi_c$  е плътността на ЦСС,  $\psi_c = 0.8 \div 1.1$

След заместване и преобразуване за среднообемната температура се получава:

$$T_{cp} = \frac{t_n \omega^3}{3c} \frac{R_a^2 \cdot f \cdot \psi_n \left( 1 - k_2^3 \right)}{\psi_c + \psi_n \left( 1 - k_2^2 \right)}, \text{K}^\circ \quad (19)$$

От тук се определя необходимия активен радиус:

$$R_a = \sqrt[3]{\frac{3T_{доп} c \left[ \psi_c + \psi_n \left( 1 - K_2^2 \right) \right]}{t_n \omega^3 f \cdot \psi_n \left( 1 - k_2^3 \right)}}, \text{m} \quad (20)$$

Активната ширина се определя по израза:

$$\ell_a = \frac{3M_c}{2\pi r \psi_n \omega^2 f R_a^4 \left( 1 - K_2^3 \right)}, \text{m} \quad (21)$$

При машини с чести включения среднообемната температура се определя от топлинния баланс на ЦСС по зависимост (Тасев В. 1990 г.):

$$T_{cp} = T_o + \frac{W_n}{\sum m_i c_i} \exp\left(-\frac{S\alpha}{\sum mc} t_{охл}\right), K^o \quad (22)$$

където: S е външната повърхност на ЦСС, m<sup>2</sup>;  
 $\alpha$  - коефициент на външно топлоотдаване  
 $t_{охл}$  - времето за охлаждане, s;

За условията на работа на ЦСС (Тасев В. 1990 г.):

$$T_{cp} \approx T_o + \frac{W_n}{\alpha S} t_{охл}, K^o \quad (23)$$

откъдето необходимото време за охлаждане между отделните пускове:

$$t_{охл} = \frac{W_n}{\alpha S T_{доп}}, s; \quad (24)$$

Външната повърхност на ЦСС с първо приближение може да се приеме, че е равна:

$$S = 2\pi R_a^2 + 2\pi R_a \ell_a = 2\pi R_a^2 (1 + K_5), m^2; \quad (25)$$

Коефициентът на външно топлоотдаване  $\alpha$  се определя империчен израз (Тасев В. 1990 г.):

$$\alpha = 1.854 \sqrt{\frac{T}{R_a}}, \frac{W}{m^2 K}; \quad (26)$$

След съответните замествания на 1, 17, 25 и 26 и преобразуване за  $t_{охл}$  се получава:

$$t_{охл} = \frac{0.09}{\left(\frac{1}{K_5} + 1\right) T^{1.25}} t_n \omega^3 R_a^{3.25} f_{\rho} \psi_n (1 - K_2^3), s; \quad (27)$$

откъдето необходимият радиус при зададено време за охлаждане и допустима температура се получава:

$$R_a = \left[ \frac{11 \cdot 1 t_{охл} T_{доп}^{1.25} \left(1 + \frac{1}{K_5}\right)}{t_n \omega^3 f_{\rho} \psi_n (1 - K_2^3)} \right]^{1/3.25}, m \quad (28)$$

$$\ell_a = \frac{3M_c}{2\pi \rho \psi_n \omega^2 f R_a^4 (1 - K_2^3)}, m \quad (29)$$

## Заклучение

След окончателното приемане на  $R_a$  се приема и окончателната активна широчина  $\ell_a$ , която се определя от шахматното подреждане на сачмите; като първо се определя броя на редовете:

$$n_p = \frac{1,1 \cdot k_5 \cdot R_k}{\sqrt{3} r_c}, \text{ бр.} \quad (30)$$

където  $r_c$  е радиусът на сачмите  $r_c = \frac{R_a}{20 \div 40}$ .

$$\ell_a = 2r_c + \sqrt{3} \cdot r_c (n_p - 1), m \quad (31)$$

Определя се коефициентът  $k_2$

$$k_2 = \sqrt[3]{1 - \frac{3M_c}{2\pi \cdot k_k \cdot \rho \cdot \psi_n \cdot \ell_a \cdot R_a^4}} \quad (32)$$

и количеството сачми във всяка камера  $q_{кам}$ :

$$q_{кам} = \frac{\pi}{6} \rho \cdot \psi_n \ell_a \cdot R_a^2 \left[ (1 - k_2^2) - k_1 (1 - k_c) \right], kg \quad (33)$$

Проверява се моментът, развиван от съединителя:

$$M_c = 6\omega_n^2 \cdot \rho \cdot \psi_n \cdot f \cdot \ell_a \cdot R_a^4 \cdot k_k \left[ \frac{\pi}{9} (1 - k_2^3) - \frac{k_1}{2} (1 - k_2^2) \right], Nm \quad (34)$$

И контактното налягане

$$p_o = 1,75 \cdot 10^{-2} (\beta - 1)^{0,185} (\omega_n R_a)^{0,667} (1 - k_2^3), Pa \quad (35)$$

Полученият момент  $M_c$  трябва да бъде равен на зададените. Ако се получи отклонение трябва да се промени  $k_2$  и изчисленията да се повтарят. Контактното налягане трябва да бъде по-малко от 500 МПа. Ако това не е спазено се налага да се увеличи  $R_a$  и да се извършат нови пресмятания. Предложената методика за определяне на основните геометрични размери на ЦСС е използвана за конструиране на редица съединители.

## Литература

- Тасев, В. 1994. Олекотяване на центробежните сачмени съединители. С., *Годишник на МГУ Т.40 св. III.*
- Тасев, В. 1989. Някои въпроси по оразмеряване на центробежни сачмени съединители С., *Годишник ВМГИ, св. IV.*
- Тасев В. 1990. Възможности за приложение на центробежните сачмени съединители с водещ шестлопатен ротор в задвижванията на минно добивния отрасъл. Дисертационен труд, ВМГИ,
- Тасев, В. Тасев, Л. 2010. Определяне на допустимата работна температура в центробежен сачмен съединител С. *Годишник МГУ том. 53.*