

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

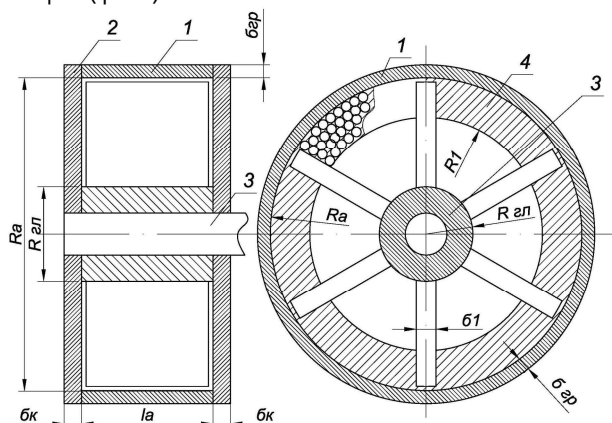
Venelin Tasev

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.

чината 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 – ω_n , rad/s;
3. Време за ускоряване на работната машина – t_n , s
4. Брой на включенията та машината – n_v .

При определяне на основните геометрични размери се използват следните коефициенти:

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

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

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

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

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

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:

$$M_c = \frac{2\pi}{3} k_k R_a^4 \omega_n^2 f \cdot \rho \cdot \psi_n (1 - k_2^3), \text{ Nm} \quad (1)$$

Където ω_n е номиналната ъглова скорост, rad/s;

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

ρ – плътност на стоманата, kg/m³; $\rho \approx 7800$ kg/m³;

ψ_n – коефициент на плътността на сачмения пълнеж.

От (1) се определя активния радиус:

$$R_a = \sqrt[5]{\frac{M_c}{\frac{2\pi}{3} k_k k_5 \cdot \omega_n^2 f \cdot \rho \cdot \psi_n (1 - k_2^3)}}, \text{ m} \quad (2)$$

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;

δ_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 ℓ_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-тежкият 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 удовлетворителен 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;
 β – 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):

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

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

След заместване и преобразуване за среднообемната температура се получава:

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

От тук се определя необходимия активен радиус:

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

Активната ширина се определя по израза:

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

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^2 ;
 α - 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 α 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:

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

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

Заклучение

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

$$n_p = \frac{1.1 k_5 R_k}{\sqrt{3} r_c}, \text{ бр.} \quad (30)$$

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

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

Определя се коефициентът k_2

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

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

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

Проверява се моментът, развиван от съединителя:

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

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.*

APPLYING THE CORRELATION THEORY IN DETERMINING THE INTERDEPENDENCE BETWEEN INSIDE TRANSPORTATION COST AND AUTOMATION LEVEL OF PRODUCTION EQUIPMENT

Dragan Zhivkovich¹, Vyara Pozhidaeva², Milan Veljich³, Zvonko Sajfert⁴,

¹High technical school Belgrade, Serbia,

²University of Mining & Geology "St. Ivan Rilski" Bulgaria,

³Faculty of mechanical engineering, Belgrade, Serbia,

⁴Technical Faculty "Mihajlo Pupin, Zrenjanin, Serbia,

Abstract: By analyzing the operation of transport system it was concluded that certain dependence exists between the inside transport and the automation level of production equipment being superintended by observed transport device. The results obtained in one our metalworking factory, in which were analyzed parameters of transport systems in dependence on automation level of production equipment were presented in the work. The obtained results show the existence of certain dependence between certain parameters of inside transport and automation level of production equipment but only in this part where automation is founded on joining of certain production operations. Applying the correlation theory defines the interdependence of the automation level of production equipment and inside transport costs.

Key words: *inside transport, automation level, production equipment, queuing theory, Correlation theory*

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЗАВИСИМОСТТА МЕЖДУ РАЗХОДИТЕ ЗА ВЪТРЕШЕН ТРАНСПОРТ В ПРОИЗВОДСТВЕНО ПРЕДПРИЯТИЕ И СТЕПЕНТА НА АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ОБОРУДВАНЕТО ЗА ПРОИЗВОДСТВО, ЧРЕЗ ТЕОРИЯ НА СЪОТВЕТСТВИЕТО.

Драган Живкович¹, Вяра Пожидаева², Милан Велич³, Звонко Сайферт⁴,

¹Висше техническо училище, Белград, Сърбия, ²Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", България,

³Факултет по машинно инженерство, Белград, Сърбия,

⁴Технически факултет "Михайло Пупин", Зренянин, Сърбия.

Резюме: Чрез анализ на дейността на заводска транспортна система, е установена зависимост между вътрешния транспорт и нивото на автоматизация на производственото оборудване. В работата са представени резултатите от направения с помощта на теорията на съответствието анализ в едно металообработващо предприятие. Получените резултати показват наличието на зависимост между определени параметри на вътрешнозаводския транспорт и степента на автоматизация на производственото оборудване. Прилагането на теорията съответствието определя взаимната зависимост на нивото на автоматизация на производственото оборудване и разходите за вътрешен транспорт.

Ключови думи: *вътрешно заводски транспорт, ниво на автоматизация, производство на оборудване, корелационна теория*

I. INTRODUCTION

Automation level of the production equipment and inside transport are two variable values, which are very often met in the production practice and even the economy of the production process very often depends on their correct defining. Starting from the hypothesis that between the automation level of the production equipment and inside transport exist one relation it is necessary to be determined the shape and direction of their correlation as well as the strength of their interdependence. It is of the great practical importance to be determined an analytic connection between automation level of the production equipment and inside transport so that the values of one characteristic can be evaluated on the base of another characteristic. By applying the correlation theory it is possible to determine a desired link between the automation level of production equipment and inside transport.

II. SOME PREVIOUS EXPERIENCE

Optimization of the automation level is an interesting question for everyone who is in industrial engineering, projecting of production and transportation systems, selection and optimization of production and transportation equipment or production economics. Optimization of production equipment as a function of internal transport is a narrower field. Here the problem of optimization automation level of production equipment is analyzed regarding inside transport and the path of material in the production process.

The automation level of production equipment and the influence which the level of automation of production equipment has on the production process has been reviewed in the following papers of [1], [2], [3]

Professor Groover [2] divides production equipment into ten levels:

1. Specialization of operations,

