

АВАРИЙНА ТОПЛИННА ЗАЩИТА НА ЦЕНТРОБЕЖНИТЕ САЧМЕНИ СЪЕДИНИТЕЛИ

Венелин Тасев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Статията разглежда възможностите за вграждане в центробежните сачмени съединители на аварийна топлинна защита, която да го предпазва от недопустимо прегряване. Защитата е базирана на залагане в подходящи места на щифтове от леснотопими сплави. Изведени са зависимости, които позволяват аналитичното оразмеряване на защитата.

EMERGENCY THERMAL PROTECTION OF CENTRIFUGAL BALL JOINTS.

Venelin Tasev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The article discusses the possibilities for incorporation of emergency thermal protection into centrifugal ball joints, which protects it from unacceptable overheating. The protection is based on betting low temperature melting pins in appropriate places. Relationships which allow the analytical design of the protection are derived.

УВОД

Възможностите на центробежните сачмени съединители (ЦСС) плавно да ускоряват свързаната към тях работна машина, неизменно е свързано с преобразуване на час от енергията на двигателя в топлинна. Сравнително малките охлаждащи възможности на съединителя и големите количества топлина (1), които се отделят в пусковия процес, загряват значително ЦСС.

Изследванията направени в (1) показват, че различните трикционни параметри, изходните характеристики и условията на допустимо износване в ЦСС се запазват до температури на активните повърхности не по-високи от 140-160° С.

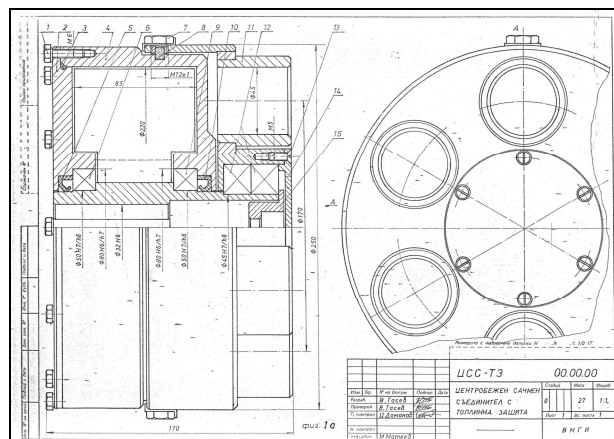
При работа на ЦСС във взриво- и/или пожароопасна среда изискванията на Правилника по ТБ не допускат температури по-високи от 135°С за най-нагрятата точка.

По тези причини безопасната и сигурна работа на ЦСС изисква използването на сигурна и ефективна защита, която включва:

- оперативна топлинна защита, с многократно действие, която действа върху задвижващия двигател;
- аварийна топлинна защита, с еднократно действие, която прекъсва механичната връзка между машината и ЦСС.

За вграждане на аварийна топлинна защита се използват специални конструкции ЦСС, при които кинематичната

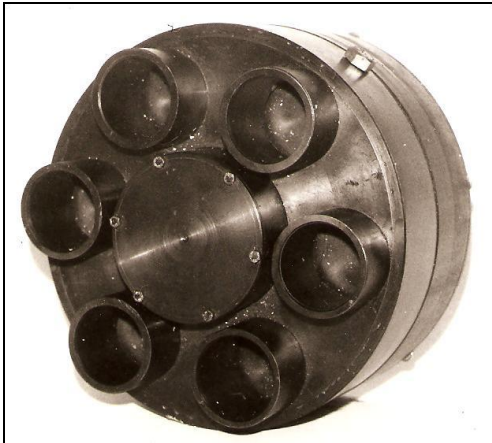
връзка между ЦСС и машината се реализира с помощта на предпазни щифтове, изготвени от леснотопими сплави. Чертежът на ЦСС с вградена аварийна топлинна защита, разработен от автора, е показан на фиг.1.а, а самият съединител на фиг.1. б.



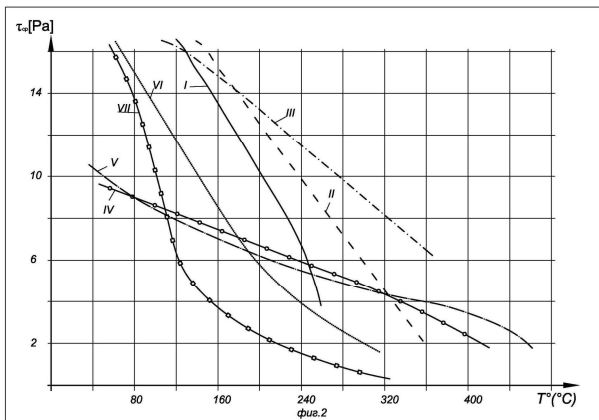
Фиг. 1а

Аварийната топлинна защита се разглежда от М. Матеев [2,3]. Той обстойно изследва редица леснотопими сплави, на които снима механично-топлинните свойства. На Фиг.2 са показани усилията на срязване в зависимост от температурата на предложените в [3], седем вида сплави, условно означени с номер от I до VII. За определяне на вида на сплавта, сечението на щифтовете и техния брой, в [3] се предлага графоаналитичен метод. Там не е изяснена температурата в мястото на срязване на щифта, а температурата в мястото на залягане се определя на базата на

експериментални данни. Тук се прави опит да се отстранят тези неудобства и аналитично определят съответните температури, брой и сечения на щифтовете от леснотопими сплави.



Фиг. 16



Аналитично определяне сечението и броя на щифтовете

Срязващото напрежение в предпазните щифтове, се определя по израза [3]:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2M_{\text{с}}}{D \cdot S_{\text{щ}} \cdot n}, \text{ Pa}; \quad (1)$$

където $\tau_{\text{ср}}$ е срязващо напрежение, N/m^2 ;

D - диаметър на залагане на щифтове, m ;

$S_{\text{щ}}$ - сечението на щифтовете, m^2 ;

n - брой на щифтовете;

$M_{\text{с}}$ - моментът на съединителя, Nm .

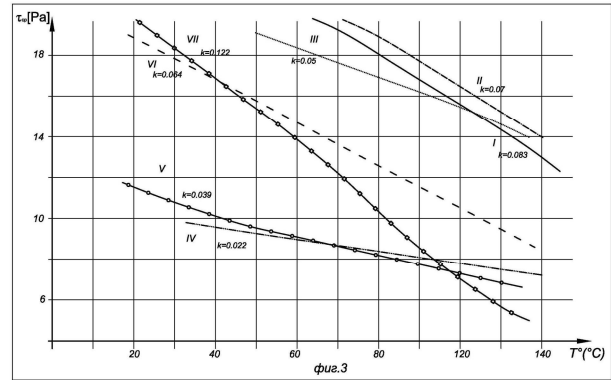
Температурния диапазон, в който работи ЦСС е от 0 до 140°C . Изменението на $\tau_{\text{ср}}$ в зависимост температурата T° в тези граници е показана на фиг.3. Вижда се, че всички криви могат добре да се апроксимират в този диапазон от прави линии, чрез израза:

$$\tau_{\text{ср}} = \tau_{20} - K_i (T_{\text{ср}} - 20^\circ), \text{ Pa}; \quad (2)$$

където τ_{20} е якостта на срязване на щифта при 20°C , Pa ;

K_i - коефициент на наклона на съответната сплав, Pa/K° ;

$T_{\text{ср}}$ - температурата в мястото на срязване на щифта, K° .



В таблица 1 са посочени стойностите $\tau_{\text{ср}}$ и K_i за τ_{20} представените в [3] сплави, изчислени с методите на статистиката.

Таблица 1

№ сплав	I	II	III	IV	V	VI	VII
τ_{20} Pa	23,9	24	20,6	10,1	11,2	18,8	19,6
K_i Pa/ K°	0,0835	0,07	0,05	0,022	0,039	0,064	0,122

След като зависимост (2) се замести в (1) и се реши спрямо S се получава:

$$S_{\text{щ}} = \frac{2M_{\text{с}}}{Dn[\tau_{20} - K_i (T_{\text{ср}} - 20)]}, \text{ m} \quad (3)$$

За оразмеряване на защитата е необходимо да се определи температурата в мястото на срязване на щифта. Тя зависи от два фактора – интензивността на нагриването (топлинния поток) и разпределението на температурата в предпазния щифт.

Топлинен поток през мантията

Стойността на топлинния поток през мантията се определя по два фактора – моментът предаван чрез мантията (Mm) и коефициентът на потокоразпределение между мантията и сачмения пълнеж.

Моментът предаван през мантията се определя от количеството сачмен пълнеж и съотношението между активния радиус R_a и активната широчина l_a на мантията. Съгласно [4] моментът на ЦСС предаван през мантията (Mm) се определя по израза:

$$M_{\text{м}} = 6\omega_{\text{н}}^2 \cdot \rho \cdot f \cdot l_a \cdot R_a^4 \left[\frac{\pi}{9} (1 - K_2^3) - \frac{K_1}{2} (1 - K_2^2) \right], \text{ Nm} \quad (4)$$

където: $\omega_{\text{н}}$ - ъгловата честота на двигателя, rad/s ;

ρ - плътност на пълнежа, kg/m^3 ;

f - коефициента на триене;

$$K_2 = \frac{R_1}{R_a}; K_1 = \frac{b_{\text{л}}}{R_a} \text{ - коефициенти;}$$

R_1 - вътрешния радиус на пълнежа, m ;

$b_{\text{л}}$ - широчината на лопатката, m ;

Изходния въртящ момент M_c представлява сумата от този формиран в мантията и този в страничните капаци M_k :

$$M_c = M_m + M_k, Nm \quad (5)$$

Тук се въвежда коефициентът K' , който представлява отношението на развивания от капацието момент M_k , към този на целия съединител M_c .

$$K' = \frac{M_k}{M_c} \quad (6)$$

При запълване на камерите със сачми, които определят K_i от 0,4 до 0,9, K може да се определи по емпиричния израз:

$$K' = 0,2342 - 0,218K_i \quad (7)$$

При известен изходен въртящ момент M_c и коефициент K' , моментът предаван чрез мантията е:

$$M_m = \frac{M_c}{1+K'}, Nm; \quad (8)$$

Топлинният поток през мантията се определя по израза:

$$q_m = \alpha_{тп} \frac{M_m \omega_H}{S_m}, W/m^2 \quad (9)$$

където $\alpha_{тп}$ е коефициентът на потокоразпределение;

S_m – активната повърхност на мантията, m^2 .

Коефициентът на потокоразпределение може да се определи по предложената от Чичинидзе зависимост:

$$\alpha_{тп} = \left\{ 1 + \frac{h_n \lambda_m}{h_m \lambda_n} \left[\frac{F_{ом}}{F_{оп}} - \frac{F_{ом} - F_{оп}}{3F_{ом}^2} \right] \right\}^{-1} \quad (10)$$

$$\left[\frac{1}{3} \ln \frac{\left(\frac{1}{3} - A \right) \left(\frac{1}{3} - F_{ом} + A \right)}{\left(\frac{1}{3} + A \right) \left(\frac{1}{3} - F_{ом} - A \right)} - A \ln \frac{3F_{ом}}{2} \right]^{-1}$$

$$A = \sqrt{F_{ом}^2 + \frac{1}{9}}$$

където $F_{оп}$ и $F_{ом}$ са съответно критерият на Фурие за пълнежа и мантията;

$$F_{оп} = \frac{a_n \cdot t_n}{h_n}; F_{ом} = \frac{a_m \cdot t_n}{h_m}$$

h_n и h_m - дебелина на пълнежа и мантията, m ;

λ_n и λ_m - топлопроводимостта на пълнежа, W/mK° ;

$$a_n \approx 6,77 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

t_n - времето на нагряване, s .

За ориентировъчни пресмятания може да се приеме $\alpha_{тп} = 0,3 \div 0,4$.

Температура в мястото на залагане на щифта

Температурата в мястото на залагане на щифта при всички случаи се различава от максимално достиганата температура, която за ЦСС това е зоната на реалния трикционен контакт, т.е. вътрешната повърхност на мантията.

Причина за това е:

1. Дълбочината, на която може да се заложи щифта е ограничена от якостни съображения.

2. Мястото където се залагат предпазните щифтове не винаги съвпада с топлинно най-натоварената зона.

Температурата в мантията е най-висока в средата и, намалява към капацието. Когато защитата се залага в края на мантията или в специално направено за целта удължение на последната, то следва да се очакват по-големи температурни разлики.

Изменението на температурата в мантията на ЦСС и в цялата му конструкция във всички режими на работа може да се определи с предложените в [1] числени методи и съответната програма. Това е свързано с известни затруднения, произтичащи от наличието на съответна изчислителна техника и внасянето на значително количество данни. Този начин остава единствен, за определяне на температурата в случаите на залагане на защитата отдалечена от най-нагрятата точка.

При разположение на защита близко до средата на мантията (вж. фиг.1) може да се намери аналитично решение. Изменението на температурата $T(x, t)$ в мантията по нейната дебелина h и във времето (t) се определя по израза [1]:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left[F_{ом} - \frac{x}{h_m} + \frac{x^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos[\mu_n \left(1 - \frac{x}{h} \right)] \exp(-\mu_n^2 F_{ом}) \right]$$

$$\mu_n = \pi_n; A_n = (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2}; F_{ом} = \frac{a_m t}{h_m^2}$$

При $F_{ом} > 0,5$:

$$T(x, t) = T_0 + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left(F_{ом} - \frac{x}{h_m} + \frac{x^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} \right), K^\circ; \quad (11)$$

където q_m е топлинния поток през мантията, W/m^2 ;

h_m - дебелината на мантията, m ;

λ_m - топлопроводимостта на мантията $W/m K^\circ$,

$F_{ом}$ - критерии на Фурие за мантията; $F_{ом} = \frac{q_m}{h_m^2}$

a_m - топлопроводно число, m/s^2 ;

t - текущото време, s ;

x - разстоянието в мантията от активната зона, m

T_0 - началната температура, C°

Направеното до тук изследване даде възможност за определяне на температурата по зависимост (11). За стойности на критерия на Фурие $F \geq 0,5$ и дълбочини на залагане на щифта, температурата се определя по израза:

$$T(\ell, t_g) = T_0 + \frac{q_m h_m}{\lambda_m} \left(\frac{a_m t_g}{h_m^2} - \frac{\ell}{h_m} + \frac{\ell^2}{2h_m^2} + \frac{1}{3} \right), K^\circ; \quad (12)$$

където t_g е времето, за което температурата достига допустимата стойност.

От нея лесно може да се определи времетраенето t_g , за което нагрятата вътрешна повърхност ($x=0$) достига допустимата температура $T_{доп}$.

$$t_g = \frac{\lambda_M h_M}{q_M a_M} (T_{\text{доп}} - T_0) - \frac{h_M^2}{3a_M}, \text{ s} \quad (13)$$

След определяне на времето t_g се пресмята температурата в мястото на залагане на щифта $T_{\text{щ}}$.

$$T_{\text{щ}}(\ell, t_g) = T_0 + \frac{q_M h_M}{\lambda_M} \left(\frac{a_M t_g}{h_M^2} - \frac{\ell}{h_M} + \frac{\ell^2}{2h_M^2} + \frac{1}{3} \right), \text{ K}^\circ; \quad (14)$$

Температура в мястото на срязване на предпазния щифт

Температурата в мястото на срязване на щифта, зависи от: условията на нагряване, контактуване, охлаждаема и топлофизическите параметри на сплавта.

От зависимост (12) се вижда, че изменението на температурата в мястото на залагане предпазния щифт, при посочените условия е линейна функция спрямо времето.

Контактуването на щифта в мантията и водимата част определят сложни гранични условия, при което точното описание на топлообмена се извършва в триразмерен вид, а решението му е възможно само чрез числени методи.

Аналитично решение може да се получи при следните допускания:

1. Нагряването на предпазния щифт се извършва само от челната му страна.
2. Частта от щифта, заложен във водимата част е термоизолирана.

При тези условия измененията на температурата във времето и по дължината на щифта се определя по зависимостта:

$$T(\eta, t) = T_0 + \frac{b \ell_{\text{щ}}}{a_2} \left[F_{O_2} - \frac{1}{B_i} + \frac{\eta}{1} + \frac{\eta^2}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \cos[\mu_n (1 - \eta)] \exp(-\mu_n^2 F_{O_2}) \right], \text{ K}^\circ; \quad (15)$$

$$F_{O_2} = \frac{\alpha_2}{\ell_{\text{щ}}} t; \quad B_i = \frac{\alpha \ell_{\text{щ}}}{\lambda_2}; \quad \lambda = \frac{x}{\ell_{\text{щ}}}$$

$$\text{ctg } \mu_n = \frac{1}{B_i} \mu_n; \quad A_n = (-1)^n \frac{2B_i \sqrt{\mu_n^2 + B_i^2}}{\mu_n (\mu_n^2 + B_i^2 + B_i)}$$

Препоръчана за публикуване от катедра „Механизация на мините“, МЕМФ

където T е температурата на щифта, K° ;

$\ell_{\text{щ}}$ - дължината на щифта, m ;

F_{O_2} - критерият на Фурие за щифта;

B_i - критерият на Био за щифта;

α_2 - топлинна проводимост, между щифта и мантията, $\text{W/m}^2 \text{K}^\circ$;

λ_2 - коефициентът на топлопроводност на щифта, W/m K° ;

b - коефициент на линейно изменение на температурата, K°/s ;

a_2 - топлопроводно число на щифта, m^2/s .

Коефициентът b се определя от зависимост (11)

$$b = q_M \frac{a_M}{\lambda_M h_M}, \text{ K}^\circ / \text{s} \quad (16)$$

В реални условия температурата в мястото на срязване е по-ниска от тази изчислена по зависимост (15).

За това получената по зависимост (15) температура се умножава с коефициент на сигурност $K_c / K_c = 0,8 \div 0,9$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният анализ определя условията на работа на аварийната защита на ЦСС. Изведените зависимости са използвани за оразмеряване на предпазните щифтове на ЦСС 55/1,5. Тези съединители се изработиха за нуждите на „Марбас“ Димитровград (виж фиг.4) за задвижване на лентови транспортёри.

ЛИТЕРАТУРА

- Тасев, В. Възможности за приложение на ЦСС с водещ, шестлопатен ротор в задвижванията на машината от миннодобивния отрасъл. Дисертация., 1990.
- Матеев, М., Цв. Дамянов, В.Тенев. Топлинна защита на съединители ЦСС-Я. Годишник ИТМ, гр.Радомир, 1994.
- Матеев, М. Леснотопими сплави за аварийна топлинна защита на съединителите ЦПСЕ и методика за нейното оразмеряване. Годишник ВМГИ, 1933/34.
- Тасев, В., Цв. Дамянов, М.Матеев. Нов начин за определяне момента на „ЦСС. Годишник на ВМГИ 14, 1986/87.
- Пехович, А.И., В.М. Жидких. Расчеты теплового режима твердых тел. Энергия, 1976.