

ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

В.А. Колиенко, Е.В. Шелиманова

Рассмотрены вопросы взаимозаменяемости искусственных газов и природного газа. Исследованы основные горючие характеристики смеси генераторного газу воздушной газификации и природного газа. Определена оптимальная доля природного газу в горючей смеси.

Ключевые слова: взаимозаменяемость, искусственные газы, сжигание смеси газы, генераторный газ

FEATURES OF COMBUSTIBLE GASES BURNING WITH VARIABLE COMBUSTION PROCESS

V. Kolyenko, O. Shelimanova

In the article the interchangeability problems of artificial gases and natural gas are considered. Main combustible characteristics of a combustible gas mixture made of producer gas of air gasification and natural gas are analyzed. The optimal part of natural gas in the fuel mixture is determined.

Keywords: interchangeability, artificial gases, gas mixture combustion, producer gas

УДК 621.3.066.5/6:636

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОПЛАВЛЕННЯ КОНТАКТІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ, ЩО ВИГОТОВЛЕНІ З ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

*В.В. Коробський, кандидат технічних наук
І.М. Виноградов, студент магістратури
e-mail: kor-vlad-2002@mail.ru*

Наведено результати розрахунків глибини проплавлення контакт-деталей електромагнітних пускачів для найпоширеніших контактних матеріалів при однократній комутації струму. Струміві навантаження вибрано для пускачів 1 та 2 величини. Формулу для визначення глибини проплавлення отримано при рішенні рівняння теплопровідності з урахуванням граничних умов II роду.

Ключові слова: глибина проплавлення, контакт, електромагнітний пускач, температура, теплопровідність, контактний матеріал

Вся електрична енергія W , яка виділяється в комутуючих пристроях при комутації, перетворюється в теплову Q . Частина її (Q_1) витрачається на нагрівання маси металу контакт-деталі нерухомої та рухомої до температури плавлення і частково на плавлення металу на робочій поверхні контакт-деталі; інша частина (Q_2) - на нагрівання маси розплавленого металу до температури кипіння і на випаровування частини металу. З іншої сторони, ця енергія W має дві складові: одну – прямо пропорційну часу горіння дуги t_0 і яка обумовлюється активним навантаженням кола - W_R , та другу – постійну - W_L , яка дорівнює енергії магнітного поля, накопиченої в індуктивностях електричного кола і витрачається в комутуючих пристроях при комутації.

Мета досліджень – визначення величини ерозії та глибини проплавлення контакт-деталей електромагнітних пускачів при однократній комутації струму з урахуванням теплофізичних характеристик і розрахункових температур плавлення та кипіння контактних матеріалів.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження для контакт-деталей пускачів проводилися за методикою, яка викладена в [1]. Струмові навантаження

вибрано, виходячи із номінальних робочих струмів: 4; 6,3; 10 А.

Теплофізичні характеристики і температури плавлення та кипіння визначено для реальних контактних матеріалів (див. таблицю).

Математичні розрахунки проводилися з використанням програми «MathCAD 7 Professional».

При вивченні шліфа поздовжнього перерізу електродів контактних матеріалів використовувався мікроскоп МИМ-7.

Результати досліджень. Розглядаючи теплові та електромагнітні процеси для одного полюса пускача, можна записати [2]:

$$\begin{aligned} W &= Q = Q_1 + Q_2 = W_R + W_L = \\ &= P_{cep} \cdot t_0 + W_L = U_0 I_0 t_0 \omega_R + U_0 I_0 t_0 \omega_L = U_0 I_0 t_0 \cdot \omega, \end{aligned} \quad (1)$$

де $P_{cep} = \frac{1}{6} U_0 I_0 \left(1 + 2 \frac{U_1}{U_0} \right)$ – середня потужність у контакт-деталях,

яка визначається активною складовою навантаження R_0 , Вт; U_0 – напруга мережі (джерела живлення), В; I_0 – струм навантаження, А; U_1 – спад напруги на опорі контакту кола, В; ω_R – коефіцієнт, який показує відношення напруг U_1 і U_0 ; ω_L – коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження кола; ω – коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження кола і показує частку енергії магнітного поля W_L , яка витрачається власне в контакт-деталях при їх розмиканні [4].

За формою більшість контакт-деталей пускачів виготовляються круглого перерізу з плоскою або сферичною робочою поверхнею. Тому, при однократній комутації контакт-деталей будемо вважати, що тепловіддача здійснюється з протилежного боку робочої поверхні (з боку прикріплення до контактотримача) в навколишнє середовище, а з бічних

поверхонь тепловіддача відсутня і, що тепло до контакт-деталі надходить імпульсами протягом часу t_0 , крізь всю його робочу площу поверхнею S . Тепло надходить перпендикулярно до поверхні і теплопровідність у всіх напрямках – однакова. Тривалість імпульсів тепла Q_1 дорівнює часу горіння електричної дуги між електродами t_0 (\approx часу однократного замикання або розмикання контакт-деталей). Кількість тепла Q_1 – це тепло, необхідне для нагрівання контакт-деталі до температури плавлення.

Граничні умови:

– $T(x,0)=0$ (перепад температур контакт-деталі і навколишнього середовища в початковий момент дорівнює нулю);

– $T(l, t)=0$ (температура точок протилежного боку деталі при $x=l$ також дорівнює температурі середовища і є сталою величиною).

Рівняння теплопровідності в цьому випадку таке, що ізотермічні поверхні є концентричними сферами і температура контакт-деталі залежить тільки від координати x і часу t [2], тобто:

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{2}{x} \cdot \frac{dT}{dx} \right), \quad (2)$$

де T – температура точок об'єму контакт-деталі, яка нагрівається, К;
 a – коефіцієнт температуропровідності контактного матеріалу, m^2/c .

У випадку дії плоского джерела тепла розв'язком рівняння (2) є вираз:

$$T = \frac{G}{2\sqrt{\pi at}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4at}}, \quad (3)$$

де G – сила імпульсного джерела тепла, яке розміщено в площині розмикання контакт-деталей безпосередньо на поверхні при $x=0$ (густина теплового потоку, який надходить до однієї контакт-деталі), $m \cdot K$; x – координата точки, температура якої в момент t дорівнює T .

Розв'язок рівняння теплопровідності (3) такий:

$$e^{-\frac{h_i^2}{4at}} = \frac{T_{i \text{ розр}} \cdot 2\sqrt{\pi at_0}}{G}, \quad (4)$$

де h_i – глибина зони плавлення або кипіння, або випаровування, координата точок, температура яких досягає $T_{i \text{ розр}}$ до кінця часу горіння дуги t_0 .

У цьому випадку визначення глибини проплавлення h зводиться до розв'язку трансцендентного рівняння, використовуючи формулу (1):

$$e^{-\frac{h^2}{4at}} = \frac{W}{4\sqrt{\pi at_0} \cdot \gamma f_0 T_{\text{розр}}}. \quad (5)$$

Після математичних перетворень виразу (5), глибина проплавлення буде:

$$e^{\frac{h^2}{4at}} = \frac{W}{4\sqrt{\pi at_0} \cdot \gamma c f_0 T_{\text{розр}}} , \quad (6)$$

де $b = \sqrt{\pi \lambda \gamma c}$ – коефіцієнт, який визначається тільки теплофізичними характеристиками контактного матеріалу.

(7)

Коефіцієнт b для екологічно безпечних контактних матеріалів за нашими розрахунками становить:

$$b = (50-67)10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}^{\frac{1}{2}}} . \quad (8)$$

Коефіцієнт температуропровідності для реальних контактних матеріалів (мідь, срібло, СрН-90) становить $a=(1,164...1,689) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Глибина проплавлення за даними випробуваних зразків контактних матеріалів становить: $h \approx (0,01...0,1) \text{ мм} = (1,0...10) 10^{-5} \text{ м}$.

Тому, підставляючи наведені числові значення до виразу $e^{\frac{h^2}{4at_0}}$,

можна обчислити величину $e^{\frac{h^2}{4at_0}}$, яка при реальних числових співвідношеннях мало відрізняється від одиниці. В подальшому глибина проплавлення однієї контакт-деталі визначається за формулою:

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{U_0 I_0 \omega \sqrt{t_0}}{\psi b T_{\text{розр}}}} . \quad (9)$$

Числові значення глибини проплавлення для різних контактних матеріалів при різних величинах струму наведено в таблиці.

Різниця розрахункових ($h_1=7,673 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ при $t_0=30 \text{ мс}$) та експериментальних даних становить 4,1 %. Таким чином, враховуючи, що розрахунок теплового режиму електродів зроблено один раз, збіг результатів розрахунку з експериментальними даними задовільний.

У той же час потрібно врахувати, що розрахунок здійснено для матеріалу, який має гетерогенну структуру. При переході від електродів гетерогенної структури до гомогенної картина може змінюватися; тому при розрахунках потрібно робити акцент на факторі гетерогенності.

Висновки

1. При деяких припущеннях тепловиділення в процесі комутації електричного струму в пусках результати розрахунку теплового режиму електродів та глибини проплавлення досить добре збігаються з експериментальними даними глибини проплавлення (відрізняються на 4...5 %).

2. Глибина проплавлення визначається теплофізичними характеристиками контактного матеріалу, розрахунковою температурою розплавлення, кипіння, випаровування контактного матеріалу.

3. Величина ерозії прямо пропорційна величині комутованого струму 4; 6,3; 10А.

**Результати розрахунків глибини зон плавлення h_1
і кипіння h_2 , контакт-деталей у пусках ПМЛ
при однократній комутації струму для різних матеріалів**

Контактний матеріал	Температура	Струм А	Глибини зон h_1 і h_2 , м				
			Час горіння дуги, мс				
			$t_0=10$	$t_0=20$	$t_0=30$	$t_0=40$	$t_0=50$
Ag (100 %)	$T_{1розр}$	I=4	5.545e-5	5.678e-5	5.930e-5	6.181e-5	6.415e-5
		I=6,3	6.958e-5	7.126e-5	7.442e-5	7.757e-5	8.051e-5
		I=10	8.767e-5	8.977e-5	9.376e-5	9.773e-5	1.014e-4
	$T_{2розр}$	I=4	1.998e-5	2.046e-5	2.137e-5	2.227e-5	2.312e-5
		I=6,3	2.513e-5	2.573e-5	2.687e-5	2.801e-5	2.907e-5
		I=10	3.438e-5	3.52e-5	3.677e-5	3.832e-5	3.978e-5
CrH-90	$T_{1розр}$	I=4	5.457e-5	5.588e-5	5.836e-5	6.084e-5	6.314e-5
		I=6,3	6.849e-5	7.013e-5	7.324e-5	7.635e-5	7.924e-5
		I=10	8.629e-5	8.836e-5	9.228e-5	9.619e-5	9.984e-5
	$T_{2розр}$	I=4	1.955e-5	2.002e-5	2.091e-5	2.18e-5	2.262e-5
		I=6,3	2.454e-5	2.513e-5	2.624e-5	2.735e-5	2.839e-5
		I=10	3.092e-5	3.166e-5	3.306e-5	3.446e-5	3.577e-5
CrM-0,2+M1	$T_{1розр}$	I=4	5.821e-5	5.96e-5	6.225e-5	6.489e-5	6.735e-5
		I=6,3	7.305e-5	7.48e-5	7.812e-5	8.143e-5	8.452e-5
		I=10	9.207e-5	9.428e-5	9.846e-5	1.026e-4	1.065e-4
	$T_{2розр}$	I=4	2.113e-5	2.164e-5	2.26e-5	2.355e-5	2.445e-5
		I=6,3	2.652e-5	2.715e-5	2.836e-5	2.956e-5	3.068e-5
		I=10	3.341e-5	3.421e-5	3.573e-5	3.724e-5	3.866e-5
Cu (100 %)	$T_{1розр}$	I=4	4.694e-5	4.807e-5	5.020e-5	5.233e-5	5.431e-5
		I=6,3	5.891e-5	6.032e-5	6.300e-5	6.567e-5	6.816e-5
		I=10	7.422e-5	7.600e-5	7.937e-5	8.274e-5	8.587e-5
	$T_{2розр}$	I=4	1.788e-5	1.831e-5	1.913e-5	1.994e-5	2.069e-5
		I=6,3	2.244e-5	2.298e-5	2.4e-5	2.502e-5	2.597e-5
		I=10	2.828e-5	2.896e-5	3.024e-5	3.152e-5	3.272e-5
83 %Cu+10 %Mo+ 5 %MoO ₃ +3 %C+ 1,0 %Ni	$T_{1розр}$	I=4	4.538e-5	4.647e-5	4.853e-5	5.059e-5	5.250e-5
		I=6,3	5.695e-5	5.832e-5	6.090e-5	6.349e-5	6.589e-5
		I=10	7.175e-5	7.347e-5	7.673e-5	7.998e-5	8.302e-5
	$T_{2розр}$	I=4	1.451e-5	1.486e-5	1.552e-5	1.617e-5	1.679e-5
		I=6,3	1.821e-5	1.864e-5	1.947e-5	2.030e-5	2.107e-5
		I=10	2.294e-5	2.349e-5	2.453e-5	2.557e-5	2.654e-5

Список літератури

1. Коробський В.В. Установка для експериментального дослідження електромагнітних пускачів / В.В. Коробський // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2011. – №161. – С. 78–83.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В.Лыков. – М.: ГИТЛ, 1967. – 303 с.
3. Справочник по электротехническим материалам. Т.3 / [под ред. Ю.В.Корицкого, В.В.Пасынкова, Б.М.Тареева. – 3-е изд., перераб.] – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 728 с.

4. Томан А.С. Электроэнергетические показатели разрывных контактов / А.С.Томан, М.Ф.Сагач, С.П.Кохановский // Электрификация сельскохозяйственного производства: научн. тр. УСХА. – К.: Изд - во УСХА, 1975. – Вып. 110, Том. II – С. 61–71.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, КОТОРЫЕ ИЗГОТОВЛЕННЫ ИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Коробский, И.М. Виноградов

Приведены результаты расчетов глубины проплавления контакт-деталей электромагнитных пускателей для наиболее распространенных контактных материалов при однократной коммутации тока. Токовые нагрузки выбираются для пускателей 1 и 2 величины. Формула для определения глубины проплавления получена при решении уравнения теплопроводности с учетом пограничных условий II рода.

Ключевые слова: глубина проплавления, контакт, электромагнитный пускатель, температура, теплопроводность, контактный материал

DETERMINATION OF THE MELTING OF THE CONTACTS OF ELECTRICAL DEVICES THAT ARE MADE FROM ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIALS

V. Korobskyy, I. Vinogradov

The results of calculations of penetration depth contact details of electromagnetic actuators for the most common materials in contact once the current commutation. Current load selected for actuators 1 and 2 sizes. The formula for determining the depth of penetration is obtained in the solution of the heat equation with the boundary conditions of the second-order.

Keywords: depth fusion, contact, electromagnetic actuator, temperature, heatconductivity, contact material