

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДІВ ПРИ ЇХ РОЗМИКАННІ

*А. М. Мрачковський, кандидат технічних наук
email: amrachkovskiy@mail.ru*

Анотація. Проаналізовано процеси розмикання електродів та розраховано параметри площі контактування залежно від геометрії контактів.

Ключові слова: деформація, провідність, розряд, площа контактування, об'єм металу, електроди, контактний натиск, питомий опір.

Характер зміни фактичної контактної площі дотику електродів при їх розмиканні суттєво залежить від ряду параметрів, що не завжди піддаються точному визначенню (геометрія, стан і властивості поверхні електродів, фактична швидкість розходження окремих точок, розподіл тиску між зонами контактування та інші).

Мета досліджень – аналіз та характеристика факторів у процесі розмикання контактів та розрахунок параметрів електродів.

Матеріали та методика досліджень. Під час проведення розрахунків, пов'язаних із процесами розмикання електродів, приймаємо, що контактні площі мають правильну і найпростішу геометричну форму, а деформації – пружні та пластичні. Рух електродів відносно один одного зазвичай вважається поступальним у напрямі, перпендикулярному площині контактної поверхні, матеріал електродів вважається твердим або пластичним, а поверхня чистою.

Але навіть за таких умов, коли можливий миттєвий розрив контакту, електричний опір між ними не буде змінюватися так само миттєво, оскільки при цьому відбувається зміна механізму протікання струму – замість металевої виникає тунельна провідність, а надалі, якщо є відповідні умови, між електродами виникає розряд.

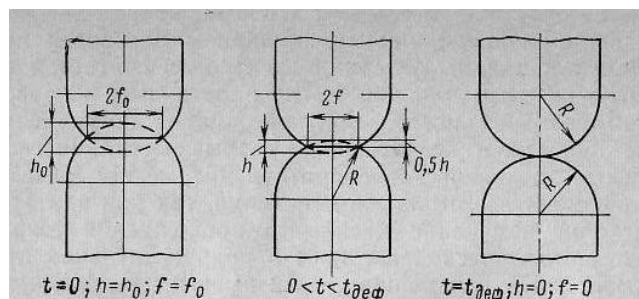


Рис. 1. Схема процесу розмикання контактів у початковій стадії

Миттєвий розрив контактів ще не означає відповідного розриву провідності між електродами. Цей перехідний процес залежить від швидкості розми-

кання електродів і параметрів кола. Відповідно, відбувається і збільшення опору між електродами, що призводить до порушення, встановлююного в замкненому стані, теплого режиму, до перегріву всієї контактної поверхні та її ділянок, на яких відбувається дійсний контакт між електродами. У результаті нагріву контактних зон і всієї поверхні, змінюються пружні властивості матеріалу.

У найпростішому випадку, коли поверхні електродів мають ідеальну сферичну форму й розмикання відбувається без струму, радіус f контактної площі визначаємо за формулою:

$$f = \sqrt[3]{\frac{3PR}{4E}}; (1) f = \sqrt[3]{\frac{4PR}{3E}}; (2) h = \sqrt[3]{\frac{9P^2}{16E^2R}}, \quad (1)$$

де P – контактний натиск;

R – радіус поверхні електродів;

E – модуль пружності електродів.

З рис. 1 видно, що зближення електродів h залежить від радіуса кривизни контактної поверхні R та радіуса контактної площі $f(t)$ і визначається за формулою:

$$h = 2(R - \sqrt{R^2 - f^2}) \quad (2)$$

За умови, що $f \ll R$, можна записати:

$$f = \sqrt{Rh}; \quad (3)$$

$$f_0 = \sqrt{Rh_0}. \quad (4)$$

Відносна зміна розмірів контактної площі спочатку відбувається повільно, а наприкінці процесу зняття деформації стає більш різкою. Унаслідок збільшення опору через зменшення контактної площі під дією струму, в цих зонах температура буде підвищуватися, причому особливо різке підвищення температури аж до температури плавлення, теплового вибуху та випаровування буде спостерігатися наприкінці процесу розмикання (рис. 2).

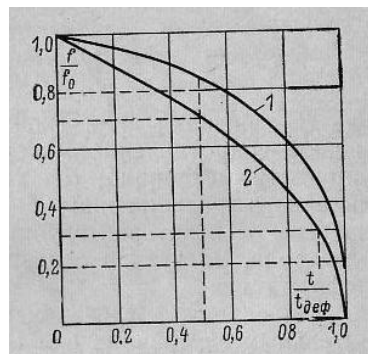


Рис. 2. Зміна розмірів контактної площі при розмиканні контактів

Такі співвідношення справедливі тільки тоді, коли можна не враховувати теплову дію струму. Якщо нею неможливо знехтувати, то мають місце такі крайні випадки:

- коли електроди не змінюють свого положення відносно один одного (тобто залишаються нерухомими за весь період процесу нагрівання під дією струму).

- коли електроди один відносно одного можуть переміщуватися перпендикулярно площі контакту під дією внутрішніх сил, які виникають за рахунок теплового розширення.

У цих випадках характер зміни фактичної площі дотику залежатиме від об'єму зони нагрівання на електроді й температури нагріву. За критичної температури, коли відбувається плавлення контакту, умови контактування набувають якісно нового характеру.

Якщо електроди нерухомі, то нагрівання деякого його об'єму ще до плавлення викличе теплове розширення, у результаті чого, між електродами виникне додаткова сила. Площа контакту буде визначатися сумарною дією зовнішньої сили тиску і додатковою внутрішньою силою розмикання електродів.

Тоді радіус ефективної контактної площі визначатиметься відношенням:

$$f = \sqrt{\frac{lP}{\pi(\sigma l - E\alpha l_0 T)}}, \quad (5)$$

де σ – опір матеріалу;

E – модуль пружності матеріалу;

α – температурний коефіцієнт лінійного розширення;

T – середня температура нагріву, l_0 ;

l – висота частини деформації електрода.

У випадку, коли електроди під дією додаткових внутрішніх сил можуть вільно переміщуватися, контактна площа під час нагрівання може змінюватися за рахунок зміни характеристик матеріалу і приріст радіуса контактної площі буде практично незначним.

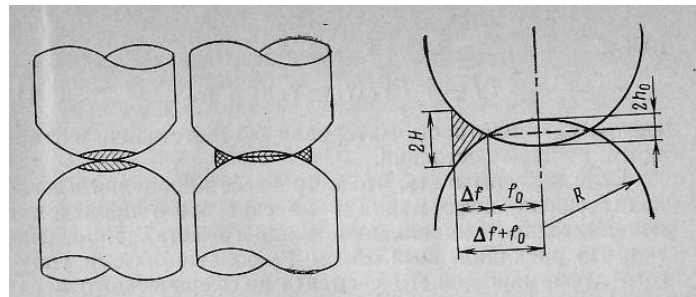


Рис. 3. Схема витіснення розплавленого металу

Якщо ж нагрів супроводжується плавленням деякого об'єму, то розплавлений матеріал видавлюватиметься і ним буде заповнюватися зазор, який прилягає до контактної зони поверхні (рис. 3). Якщо електроди були попередньо стиснуті дією зовнішньої сили P , то розплавлений матеріал видавлюватиметься не тільки за рахунок зміни об'єму матеріалу при плавленні, але й за рахунок деформації електродів.

Зміна радіуса контактної площі, спричинена матеріалом, витісненим у зазор між поверхнями електродів і безпосередньо прилеглими до контактної площі, за рахунок тільки об'ємного розширення, визначатиметься, згідно з рис. 3, вирішенням наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \Delta V_0 = 2\pi H(f_0 + \Delta f)^2 - \frac{1}{3}\pi H[3(f_0 + \Delta f)^2 + 3f_0^2 + H^2] \\ R^2 = (f_0 + \Delta f)^2 + [R - (H + h_0)]^2. \end{cases} \quad (6)$$

З урахуванням, що $\frac{(f_0 + \Delta f)}{R} \ll 1$, розрахунок системи відносно Δf можна записати у вигляді:

$$\Delta f = \frac{\Delta V_0}{8\pi R f_0} \quad (7)$$

або

$$\Delta f = \sqrt{RV_0(\gamma_T - \gamma_{\text{ж}})/2\pi f^2 \gamma_{\text{ж}}}, \quad (8)$$

де γ_T, γ_p – щільність матеріалу відповідно у твердому та рідкому станах.

Якщо ж враховувати, що в процесі плавлення відбувається зняття деформації і за рахунок цього відбувається додаткове видавлення рідкого металу, то, вважаючи, що розплавлений об'єм V_0 більше від об'єму деформованого сегмента на сферичній поверхні електрода, отримуємо рівняння для визначення зближення електродів у вигляді:

$$h = \sqrt{\frac{\frac{1}{2}V_0}{2\pi R} + f_0^4/4R^2}. \quad (9)$$

Особливості формування контактної площі за участі, з одного боку, процесу плавлення і, з іншого – зближення поверхонь електродів за рахунок зняття деформації, можуть призвести до деяких несподіваних наслідків: якщо можливе розширення контактної площі за рахунок витіснення рідкого металу із зони початкового контакту між електродами, то це спричинить природне зменшення щільності струму і, як наслідок, потужності, що виділяється в контактній зоні.

Якщо витіснений рідкий метал розтікається по твердій поверхні електроду, він має температуру, тим меншу, чим далі вона знаходиться від зони початкового контакту, і буде тверднути, починаючи з периферії. Потім, оскільки потужність, що виділяється на одиницю контактної площі, зменшиться, почнеться затвердіння й решти частини електроду.

Об'єм витіснення рідкого металу буде визначатися за формулою:

$$V'_0 = \frac{V_0}{2} - \pi f^4/4R. \quad (10)$$

При цьому збільшення радіуса контактної площі буде дорівнювати:

$$\Delta f = f'_0 - f_0 + \Delta f' + \Delta f'', \quad (11)$$

де $\Delta f'$ – збільшення за рахунок витіснення металу при знятті пружної деформації;

$\Delta f''$ – збільшення радіуса за рахунок теплового розширення металу й фазового переходу.

Значення $\Delta f'$, f'' визначаються, відповідно, за формулами:

$$\Delta f' = \sqrt{\frac{R}{2\pi f_0^2 \left(\frac{V_0}{2} - \frac{\pi f^4}{4R}\right)}}; \quad (12)$$

$$\Delta f'' = \sqrt{\frac{RV_0 \gamma_T - \gamma_p}{2\pi f_0^2 \gamma_p}}. \quad (13)$$

Замінивши f_0 на f'_0 , отримаємо:

$$\Delta f'' = \sqrt{\frac{RV_0}{2\pi f'^2} \frac{\gamma_T - \gamma_p}{\gamma_p}}. \quad (14)$$

Висновки

При розмиканні електродів можуть створюватись умови для форсованого нагріву контактних площ, оскільки їх характер залежить від багатьох факторів і математичне вираження таких процесів може мати деякі похибки.

Оцінка величин, що визначають протікання таких процесів, завжди потребує деяких допущень і визначає можливість їх практичного застосування.

Список літератури

1. Намитоков К. К. Электрозрозионные явления / К. К. Намитоков. – М. : Энергия, 1978. – 456 с.
2. Намитоков К. К. Расчет электрического сопротивления многоточечного контакта / К. К. Намитоков, В. Б. Красовицкий // Научно-технический реферативный сборник «Электрофизические и электрохимические методы обработки». – 1973. – Вып. 8. – С. 4–7.
3. Омельченко В. Т. Тепловая теория мостиковой эрозии контактов : автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра техн. наук / В. Т. Омельченко. – Х. : ХПИ, 1966.
4. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М. : Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.
5. Unger G. Verharrungszeit der Fusspunkte von Gleichstromschaltlichtbogen und Abbrand bei verschiedenen Kontaktwerkstoffen / G. Unger. – “ETZ-A”, 1967, Bd. 99, № 12. – S. 33–39.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССОВ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДОВ ПРИ ИХ РАЗМЫКАНИИ

А. Н. Мрачковский

Аннотация. Проанализированы процессы размыкания электродов и рассчитаны параметры площади контактирования в зависимости от геометрии контактов.

Ключевые слова: деформация, проводимость, разряд, площадь контактирования, объем металла, электроды, контактный нажим, удельное сопротивление.

DESCRIPTION OF PROCESSES AND CALCULATION OF PARAMETERS OF THE ELECTRODES WHEN THEY ARE OPENING

A. Mrachkovsky

Annotation. The processes of disconnection of electrodes have analyzed and the parameters of the area of engagement depending on the geometry of the contacts have calculated.

Key words: deformation, conductivity, discharge, area of contact, the volume of metal, electrodes, the contact pressure, the resistivity.