

МІЦНІСТЬ ГРАФІТОВИХ ЕЛЕКТРОДІВ-ІНСТРУМЕНТІВ ПРИ РОЗМІРНІЙ ОБРОБЦІ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ДУГОЮ ТІЛ ОБЕРТАННЯ

Розглянуто схему напруженого стану та запропоновано методику обчислення міцності графітового електрода-інструмента від дії внутрішнього тиску робочої рідини при розмірній обробці електричною дугою тіл обертання. Подано метод обчислення міцності та технологічні переваги графітового електрода-інструмента складеної конструкції.

В умовах процесу розмірної обробки електричною дугою тіл обертання, коли використовується спосіб прямого помпування робочої рідини крізь торцеву міжелектродну щілину, електрод-інструмент (ЕІ) працює під технологічним тиском $P_{ст}$ [1]. Внаслідок цього у ньому виникають напруження стискання σ_r та розтягування σ_θ (рис. 1). Якщо розглядати ЕІ як товстостінний циліндр (бо товщина стінки його завжди більша від одної десятої середнього радіуса), то з урахуванням роботи [2, с.471...477] напруження в будь-якої точці стінки циліндра можна визначити за формулами:

$$\sigma_r = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) P_{cm}; \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) P_{cm} . \quad (2)$$

При $r = r_1$ виявляються максимальні напруження в ЕІ σ_r та σ_θ . Тоді

$$\sigma_r = -P_{cm}; \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1+k^2}{1-k^2} P_{cm}, \quad (4)$$

де k – величина, обернена відносному діаметрові технологічного отвору в ЕІ D/d

$$k = \frac{r_1}{r_2} = \frac{d}{D}; \quad (5)$$

d – внутрішній діаметр ЕІ; D – зовнішній діаметр ЕІ.

При використанні для виготовлення ЕІ відносно м'яких графітових матеріалів (межі міцності при стисканні $\sigma_c = 21...35$ МПа та розтягуванні $\sigma_p = 7...21$ МПа [3, с. 234]) при певних співвідношеннях радіусів ЕІ r_1 , r_2 та технологічного тиску P_{cm} , напруження σ_r та σ_θ можуть призвести до руйнування ЕІ.

Для обчислення гранично допускового значення $P_{cm(max)}$, що витримує циліндричний графітовий ЕІ без руйнування, використаємо теорією міцності Мора, згідно з якою

$$\sigma_{екв}^M = \sigma_1 - \frac{[\sigma_p]}{[\sigma_c]} \sigma_3 \leq [\sigma_p], \quad (6)$$

де

$$\sigma_1 = \sigma_\theta, \quad (7) \quad \sigma_3 = \sigma_r \quad (8)$$

$[\sigma_p]$, $[\sigma_c]$ - гранично допустимі напруження відповідно розтягування та стискування.

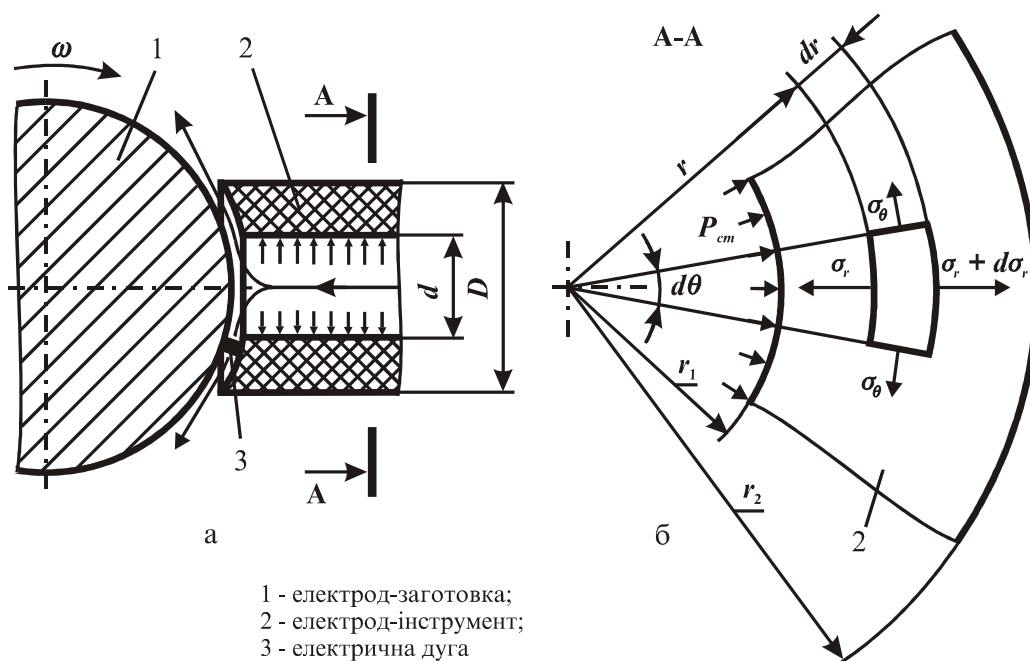


Рис. 1. До розрахунку графітового електрода-інструмента на міцність: а - технологічна схема формоутворення електричною дугою тіла обертання; б - розрахункова схема

З урахуванням співвідношень (3...5, 7, 8) умова міцності графітового ЕІ (6) набере вигляду (9)

$$\frac{1+k^2}{1-k^2} P_{cm} + \frac{[\sigma_p]}{[\sigma_c]} P_{cm} \leq [\sigma_p]. \quad (9)$$

Із залежності (9) отримуємо вираз (10) для визначення найбільшого тиску $P_{cm} = P_{cm(max)}$, що витримує графітовий ЕІ без руйнування

$$P_{cm(max)} = \frac{[\sigma_p]}{\frac{1+k^2}{1-k^2} + \frac{[\sigma_p]}{[\sigma_c]}}. \quad (10)$$

В умовах експерименту використовувалися графітові ЕІ із зовнішнім діаметром $D = 15$ мм та внутрішнім – $d = 5,5$ мм ($k = 0,37$). При коефіцієнті запасу міцності $n = 3,5$, розрахунковий максимальний тиск для них становить

$$P_{cm} = \frac{\frac{7}{3,5}}{\frac{1+0,37^2}{1-0,37^2} + \frac{7}{21}} = 1,2 \text{ МПа.}$$

З урахуванням даного обчислення прийнято верхній рівень варіювання статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродну щілину $P_{cm(max)} = 1,1$ МПа при дослідженні процесу РОД тіл обертання.

На підставі виразу (10) з практичною метою вироблено графічні розрахункові залежності $P_{cm(max)} = f(k)$ та $P_{cm(max)} = f(D/d)$, що наочно демонструють технологічні можливості графітових ЕІ за технологічним тиском при реалізації способу прямого помпування робочої рідини крізь торцеву міжелектродну щілину (рис. 2). Як бачимо, використання будь-яких за параметром k графітових ЕІ при технологічному тискові робочої рідини понад 1,5 МПа неможливе, бо призведе до їх руйнування.

Поряд з цим існує технологічна необхідність у підвищенні $P_{cm} > 1,5$ МПа з метою поліпшення якості обробленої поверхні, а застосування для цього більш міцних металевих (наприклад, чавунних) ЕІ обмежується їх великим об'ємним зношенням ($\gamma > 50$ %). У зв'язку з цим певний науковий та практичний інтерес викликають запропоновані автором графітові ЕІ складеної конструкції [4]. Це (рис. 3) внутрішній графітовий циліндр (графітова вставка) 1, запресований з певним натягом δ у тонкостінний зовнішній металевий циліндр (тримач) 2. Останній, крім основної функції тримача графітової вставки 1 ЕІ, виконує додаткову функцію бандажа: сприймає радіальне навантаження від внутрішнього тиску робочої рідини, що суттєво зміцнює графітову вставку.

Напруження стискання σ_r та розтягування σ_θ , що виникають у графітовій вставці від внутрішнього статичного тиску робочої рідини $P_1 = P_{cm}$ та зовнішнього контактного тиску $P_2 = P_c$, загалом можна визначити за відомими формулами Ламе:

$$\sigma_r = \frac{r_1^2 P_1 - r_2^2 P_{cm}}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{r_1^2 r_2^2 (P_1 - P_2)}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r^2}; \quad (11)$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_1^2 P_1 - r_2^2 P_2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^2 r_2^2 (P_1 - P_2)}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r^2}. \quad (12)$$

Оптимальні умови роботи вставки із графіту (крихкого матеріалу) створяться тоді, коли не буде розтягувальних напружень, тобто при $r = r_1$, $\sigma_\theta \leq 0$.

Із виразу (12) при $\sigma_\theta = 0$ та $P_1 = P_{cm}$ отримаємо

$$P_2 = \frac{P_{cm}}{2} (1 + k^2). \quad (13) \quad \text{При } k=0,37, \quad P_2 = 0,568 P_{cm}. \quad (14)$$

Якщо розглянути $P_1 = P_2 = P_{cm}$, то з виразів (11, 12) випливає, що $\sigma_r = -P_{cm}$ та $\sigma_\theta = -P_{cm}$.

Таким чином, можна стверджувати, що при $P_1 = P_{cm}$ та $0,6 P_{cm} \leq P_2 \leq P_{cm}$ маємо плоский напружений стан графітової вставки, що не має розтягувальних напружень:

$$\sigma_1 = 0; \quad 0 \geq (\sigma_2 = \sigma_\theta) \geq P_{cm}; \quad \sigma_3 = P_{cm}.$$

Тоді

$$\sigma_{екв}^M = 0 - \frac{[\sigma_p]}{[\sigma_c]} \cdot P_{cm} \leq [\sigma_p],$$

звідси

$$|P_{cm}| \leq [\sigma_c] = \frac{\sigma_c}{n} = \frac{(21...35)}{3,5} = (6...10) \text{ МПа.}$$

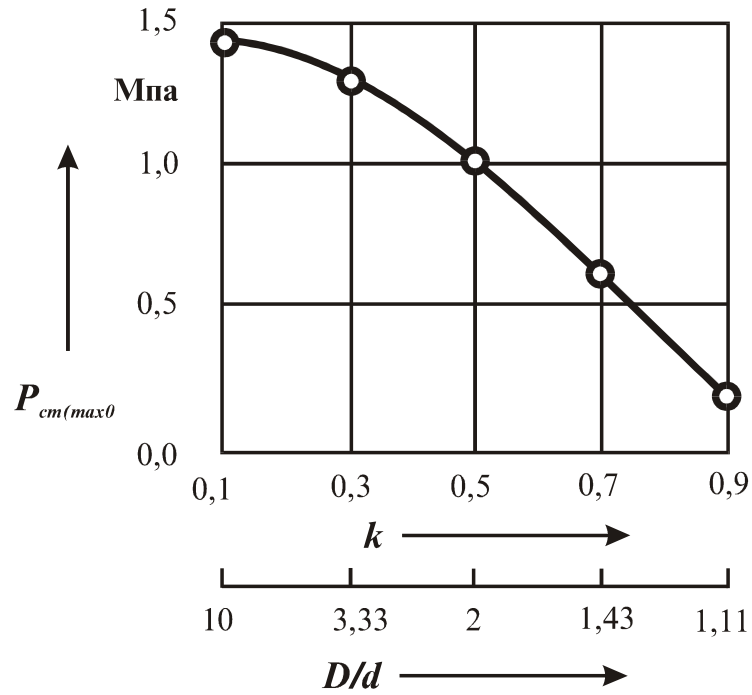


Рис. 2. Розрахункові залежності $P_{cm(max)} = f(k)$ та $P_{cm(max)} = f(D/d)$ для графітових ЕІ

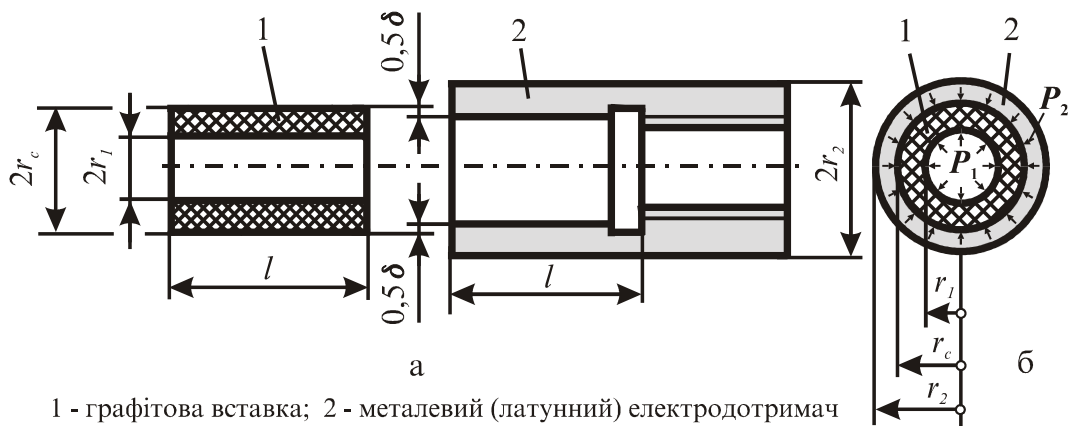


Рис.3. До обчислення міцності ЕІ складеної конструкції: а - ЕІ перед запресуванням графітової вставки; б - ЕІ після запресування графітової вставки (олзрахункова схема).

При інших однакових умовах максимальний тиск, що сприймає графітова вставка в ЕІ складеної конструкції, більший за максимальний тиск, що сприймає графітовий ЕІ, у 4...7 разів.

Для забезпечення певного контактного тиску P_c , що дорівнює максимальному технологічному тиску робочої рідини $P_{cm(max)}$, що застосовується, скористаймося відомим рівнянням (15) [2], що встановлює залежність P_c від величини натягування δ

$$\delta = \frac{2P_c r_c}{E_2} \cdot \left(\frac{1+k_1^2}{1-k_1^2} \cdot \frac{E_2}{E_1} + \frac{1+k_2^2}{1-k_2^2} + \mu_2 - \mu_1 \cdot \frac{E_2}{E_1} \right), \quad (15)$$

де r_c – радіус з'єднання графітової вставки з тримачем після запресування;

$k_1 = r_1/r_c$. В умовах експерименту $k_1 = 2,75/6,5 = 0,42$;

$k_2 = r_c/r_2$. В умовах експерименту $k_2 = 6,5/7,5 = 0,87$;

E_1 – модуль Юнга для графіту. $E_1 = (7...10) \cdot 10^3$ МПа [3];

E_2 – модуль Юнга для латуні. $E_2 = (0,91...0,99) \cdot 10^3$ МПа [2];

μ_1 – коефіцієнт Пуассона для графіту. $\mu_1 \approx 0...0,05$;

μ_2 – коефіцієнт Пуассона для латуні. $\mu_2 = 0,32...0,42$ [2].

Результати обчислень за формулою (15) виявляють, що для забезпечення $P_{cm(max)} = 2,9$ МПа потрібно запресувати графітову вставку у тримач з натягом $\delta = 0,185$ мм, а для $P_{cm(max)} = 10$ МПа - з натягом $\delta = 0,637$ мм. Для цього в обох випадках треба застосовувати гаряче-пресову посадку.

Висновки

1. Запропоновано методику обчислення міцності графітових ЕІ від дії внутрішнього тиску робочої рідини. Виявлено, що експлуатація будь-яких за параметром k графітових ЕІ без руйнування обмежена максимальним тиском робочої рідини, що становить 1,5 МПа.
1. Запропоновано графітовий ЕІ складеної конструкції та методику його обчислення міцності, що базується на рівності напружень від контактного тиску його частин P_c та тиску робочої рідини P_{cm} . Виявлено, що графітовий ЕІ складеної конструкції порівняно із звичайним суттєво розширює технологічні можливості способу розмірної електричною дугою тіл обертання, де він застосовується, та дозволяє у 4...7 разів підвищити максимальний тиск робочої рідини, а також забезпечити надійність експлуатації.

The scheme of tense condition is considered, and the method of calculation of durability of graphite electrode-tool from the acting of inner pressure of working liquid during the dimensional machining by means of electric arch of rotating bodies is offered. The method of calculation of durability and technological advantages graphite electrode-tool of compound structure is shown.

Література

1. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь тіл обертання електричною дугою без обертання електрода-інструмента // Збірник наукових праць КІСМ. Вип. 2. – Кіровоград: КІСМ, 1998. – С. 111-117.
2. Сопротивление материалов / Под ред. Писаренко Г. С. – 5-е изд. Перераб. И доп.: - К.: Вища шк., 1986. – 775 с.
3. Графит как высокотемпературный материал (Перевод с английского) / Под ред. К. П. Власова: - М.: Мир, 1964. – 423 с.

4. Пат. 24439 А Україна, МПК В 23 Р 17/00. Спосіб обробки тіл обертання електричною дугою і електрод-інструмент для його реалізації / В. М. Боков (Україна). - № 97041927; Заявл. 22.04.97; Опубл.30.10.98, Бюл. № 5.

Одержано 14.02.2000 р.