

В.М.Корж¹, д-р техн.наук, Л.А.Лопата², канд.техн.наук, М.В.Красота³, канд.техн.наук
1- НТУ України „Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна;
2-Національний авіаційний університет, м.Київ, Україна;
3-Кіровоградський національний техн. університет, м Кіровоград, Україна

РІШЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ПРИПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ ПОКРИТЬ НА ЦИЛІНДРИЧНІ ДЕТАЛІ

В статье рассмотрен аналитический метод определения температурного поля при нанесении покрытия электроконтактным припеканием на наружные поверхности цилиндрической детали на основе решения уравнения теплопроводности для полубесконечного сплошного цилиндра. Полученные решения задачи теплопроводности позволяют связать рабочие параметры процесса нагрева с температурными полями в детали и покрытии, варьировать эти параметры в зависимости от требуемого распределения температуры.

The analytical method to determine the temperature field under conditions of coating formation by the electrocontact sintering on the external surfaces of cylindrical detail on the basis of solution of heat conduction equation for semi-infinite continuous-solid cylinder is considered in the article. Obtained solutions of heat conduction problem allow to associate the operating parameters of heating process with temperature fields in detail and coating, to vary these parameters depending on the required temperature distribution.

Вступ. Температура є одним з найважливіших технологічних параметрів процесу нанесення покриттів. Тому при виборі найбільш оптимальних режимів процесу нагріву, для визначення виникаючих температурних напружень необхідно знати розподіл температурного поля в деталі і шарі, що наноситься, у тому числі і на поверхні контакту між ними, що є необхідним для оцінки явищ, що відбуваються на межі основи з покриттям, що наноситься.

Стан питання. Практика нанесення покриттів припіканням показала, що фізико-механічні властивості покриттів, головним чином міцність зчеплення, пористість, твердість розподілені нерівномірно по ширині шару, що наноситься на поверхню деталі. Дане явище пояснюється неоднорідністю температурного поля в елементарній зварювальній плямі. Дослідження проведені в роботі [1] показали, що нерівномірне нагрівання порошкових шарів при припіканні і вказані вище дефекти покриттів, до яких воно приводить, пов'язане з величиною пористості порошкового шару і її розподіленням в покритті. Внаслідок згущення ліній електричного струму в центральній зоні спостерігається локальне підвищення температури. Крім того, пори є діелектричною фазою і збільшують електроопір на периферійних ділянках. Нерівномірна пористість покриттів була усунена зміною механізму ущільнення порошку шляхом використання при ЕКПП електроду з фасонною контактною поверхнею [2].

Постановка задачі. При електроконтактному припіканні важливою задачею є правильний вибір режимів процесу, зокрема температури. Інтервал температур при якому виконується процес обмежується границями $(0,9...0,95)T_{пл}$. Нагрівання порошку до нижчих температур, ніж вказані значення не дозволить отримати якісне спікання порошку в покриття, а перевищення температурного інтервалу призводить до розплавлення порошку, і як результат до виплеску його та до погіршення властивостей

покрить. Для усунення цих негативних явищ важливо установити характер розподілу температури в деталі в процесі нагрівання і на основі цього визначити технологічні способи стабілізації температурного режиму. Вирішити поставлену проблему представляється можливим за допомогою аналітичного розгляду теплової задачі, що дозволяє зв'язати розподіл температурного поля з технологічними параметрами процесу наварювання, оцінити ступінь впливу кожного з них.

Теоретичне дослідження розподілу температури при електроконтактному припіканні. Теплова задача для процесу нанесення покрить з металевих порошків, є нелінійною, оскільки теплофізичні характеристики матеріалів деталі і покриття залежать від температури. Нарівні з цим, для покриття ефективні значення цих характеристик залежать також від його пористості, що, у свою чергу, змінюється в процесі спікання. Для спрощення аналітичного рішення подібних теплових задач використовують лінеаризацію [3, 4]. Лінеаризація являє собою визначену послідовність операцій над нелінійною математичною моделлю, у результаті якої виходить лінійна математична модель, що відповідає з прийнятим ступенем похибки заданої нелінійної моделі. Одним з методів лінеаризації, що найбільше часто зустрічаються при рішенні теплових задач стосовно до нанесення порошкових покрить є метод послідовних інтервалів [4, 5], суть якого полягає в тому, що весь процес нагрівання розбивається на окремі тимчасові інтервали, при цьому на кожному відрізку теплофізичні характеристики приймаються постійними. Знайдене за даних умов розподілення температури в тілі кінці першого часового інтервалу є початковим розподілом температури для наступного відрізка часу і т.д. Отримане рішення для тимчасових відрізків від $i = 1$ до $i = n$ дає повне представлення про зміну температури в деталі протягом усього процесу нанесення покриття.

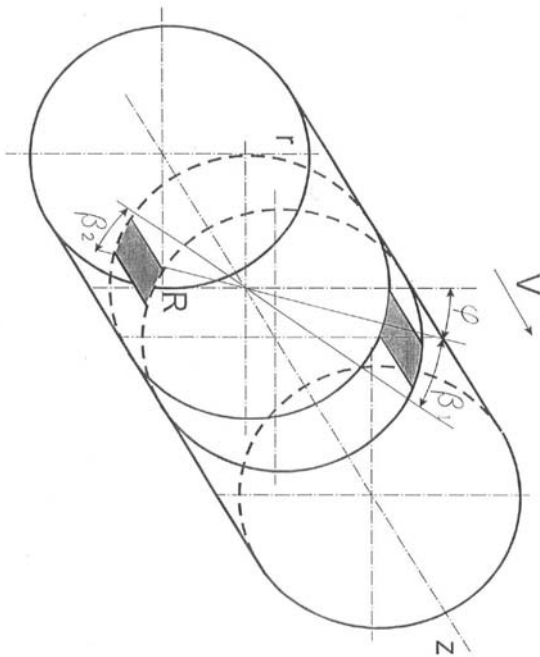


Рис.1 Схема до розрахунку температурного поля

Розглянемо допущення, що можливі при рішенні теплової задачі для електроконтактного спікання порошкових покрить. По-перше, через малу товщину покриття, що наноситься, градієнтом температури в ньому можна знехтувати [3, 6], по-друге, для спрощення задачі, як показують роботи [4, 7], можна прийняти, що теплообмін деталі з навколишнім середовищем відсутній. Тоді при вирішенні теплової задачі для процесу електроконтактного наварювання покриття на поверхні деталей типу "вал" стосовно до одиничного часового інтервалу можливо

сформулювати наступні умови:

1. По циліндричній поверхні суцільного циліндра радіуса R і довжини l переміщаються по гвинтовій лінії з кутовою швидкістю ω і осьюовою швидкістю v два діаметрально розташованих джерела тепла потужністю $B(\varphi, z, t)$, що мають довжину b і кутову ширину відповідно β_1 і β_2 (рис. 1).

2. У циліндрі діють внутрішні теплові джерела питомою потужністю $D(r, z, t)$, розташовані в дисковидній області, що переміщається синхронно з поверхневими джерелами тепла в осьовому напрямку.

3. Теплофізичні характеристики матеріалу циліндра постійні.

4. Пористість та електричний опір по довжині b сталі.

5. Теплообмін з навколишнім середовищем відсутній.

Тоді математично теплову задачу запишемо у виді рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial T(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T(r, \varphi, z, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r, \varphi, z, t)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T(r, \varphi, z, t)}{\partial z^2} \right) + Q(r, \varphi, z, t) \quad (1)$$

$$0 \leq r \leq R, 0 \leq \varphi \leq 2\pi, 0 \leq z \leq l$$

при початковій умові

$$T(r, \varphi, z, t)|_{t=0} = A(r, \varphi, z) \quad (2)$$

та граничних умовах

$$\frac{\partial T(r, \varphi, z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0} = \frac{\partial T(r, \varphi, z, t)}{\partial z} \Big|_{z=l} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(r, \varphi, z, t)}{\partial r} \Big|_{r=R} = C(\varphi, z, t) = \frac{1}{\lambda} B(\varphi, z, t) \cdot \delta(\varphi, z, t) \quad (4)$$

де

$$\delta(\varphi, z, t) = \begin{cases} 0, \text{ при } \begin{cases} 0 < \varphi < \omega t, \omega t + \beta_1 < \varphi < \omega t + \pi, \omega t + \pi + \beta_2 < \varphi < 2\pi \\ \omega t > z > \omega t + b \end{cases} \\ 1, \text{ при } \begin{cases} \omega t \leq \varphi \leq \omega t + \beta_1, \omega t + \pi \leq \varphi \leq \omega t + \pi + \beta_2 \\ \omega t \leq z \leq \omega t + b \end{cases} \end{cases}$$

$$Q(r, \varphi, z, t) = \frac{1}{c\gamma} D(r, \varphi, z, t) \cdot \delta_1(z, t) \quad (5)$$

$$\text{де } \delta_1(z, t) = \begin{cases} 0 \text{ при } \omega t > z > \omega t + b \\ 1 \text{ при } \omega t \leq z \leq \omega t + b \end{cases}$$

λ, a, γ, c - відповідно коефіцієнти тепло - температуропроводності, густина і питома теплоємність матеріалу циліндра.

Рішення задачі (1) - (5) здійснюємо, застосовуючи потрібне інтегральне перетворення виду [8, 9]

$$T(r, \varphi, z, t) = \frac{1}{2\pi l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \sum_{k=1}^{\infty} U_{nk} (y_{nk} r) \exp(in\varphi) \overline{\overline{\Phi}}(y_{nk}, n, m) \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} \overline{\overline{\Phi}}(y_{nk}, n, m) = & \overline{\overline{A}}(y_{nk}, n, 0) \exp(-ay_{nk}^2 t) + aR J_n(y_{nk} R) \times \\ & \times \int_0^t \overline{\overline{C}}(n, 0, \tau) \exp(-ay_{nk}^2 (t - \tau)) d\tau + \int_0^t \overline{\overline{Q}}(y_{nk}, n, 0, \tau) \exp(-ay_{nk}^2 (t - \tau)) d\tau + \\ & + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \overline{\overline{A}}(y_{nk}, n, m) \exp(-a(y_{nk}^2 + p_m^2)t) + aR J_n(y_{nk} R) \times \right. \\ & \times \int_0^t \overline{\overline{C}}(n, m, \tau) \exp(-a(y_{nk}^2 + p_m^2)(t - \tau)) d\tau + \int_0^t \overline{\overline{Q}}(n, m, \tau) \times \\ & \left. \times \exp(-a(y_{nk}^2 + p_m^2)(t - \tau)) d\tau \right\} \cos p_m z. \end{aligned}$$

$$U_{nk} = 2 \frac{y_{nk}^2 J_n(y_{nk} r)}{(y_{nk}^2 R^2 - n^2) J_n^2(y_{nk} R)}.$$

Далі визначимо вид функцій $A(r, \varphi, z)$, $C(\varphi, z, t)$ і $Q(r, \varphi, z, t)$.

Приймаючи, що в початковий момент часу температура в циліндрі розподілена рівномірно, маємо

$$A(r, \varphi, z) = T_0 \quad (7)$$

Тепер розглянемо тепловий баланс у зоні тепловиділення. Тепло, що виділяється під електродом Q_B , йде на нагрівання деталі з покриттям Q_D і нагрів електрода Q_{ε} . При цьому співвідношення між цими тепловими потоками визначається теплофізичними характеристиками матеріалів деталі й електрода і може бути представлене у вигляді [10, 11]

$$\frac{Q_D}{Q_{\varepsilon}} = K_{\varepsilon} \quad (8)$$

де

$$K_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\lambda_D C_D \gamma_D}{\lambda_{\varepsilon} C_{\varepsilon} \gamma_{\varepsilon}}}$$

Тоді з урахуванням того, що $Q_B = Q_D + Q_{\varepsilon}$, одержуємо

$$Q_D = K_a Q_B, \quad (9)$$

де

$$K_a = \frac{K_{\varepsilon}}{1 + K_{\varepsilon}}$$

Тепер визначимо потужність тепловиділення під електродами і питомі потоки в деталь. Повна потужність тепловиділення при пропусканні струму силою I через опір R при $k = \frac{t_u}{t_u + t_n}$ (t_u, t_n - відповідно тривалість імпульсу і паузи) складає $Q_B = kI^2 R$. Для джерела 1 (у зоні спікання):

$$R_1 = \frac{\rho(\Pi)d}{S_1} \quad (10)$$

де $\rho(\Pi)$ - питомий електроопір пористого порошкового шару під електродом;

Π - пористість шару;

d - товщина шару;

S_1 - площа плями тепловиділення в порошковому шарі.

Вид функції $\rho(\Pi)$ вибирається на основі положень теорії узагальненої провідності для двокомпонентних систем з урахуванням усереднених значень пористості в зоні тепловиділення [4, 12, 13].

Для джерела 2 (під підтримуючим електродом)

$$R_2 = \frac{\rho_{nep}\Delta}{S_2} \quad (11)$$

де ρ_{nep} - питомий електроопір контакту “деталь - підтримуючий електрод”;

Δ - умовна товщина перехідного шару;

S_2 - площа плями тепловиділення під підтримуючим електродом.

Тоді, приймаючи

$$B(\varphi, z, t) = \frac{Q_{Di}}{S_i} = B_i \quad (12)$$

де $i=1, 2$ - номер поверхневого теплового джерела, маємо

$$B_1 = K_a \frac{kI^2 \rho(\Pi)d}{b^2 \beta_1^2 R^2}, \quad (13)$$

$$B_2 = K_a \frac{kI^2 \rho_{nep} \cdot \Delta}{b^2 \beta_2^2 R^2} \quad (14)$$

Тепер визначимо вид функції $D(r, \varphi, z, t)$.

Приймаючи, що внутрішні джерела тепла $Q_{вн}$ розподілені в дисковидній області обсягом $V_{вн}$ рівномірно, і апроксимуючи цю область областю у формі паралелепіпеда такого ж обсягу $V_{вн}$ і товщини b , маємо

$$D(r, \varphi, z, t) = \frac{Q_{BH}}{V_{BH}} = \frac{kI^2 \rho_{Д} l_{np}}{S_{np} V_{BH}} = D \quad (15)$$

де ρ_0 - питомий електроопір матеріалу деталі;

$l_{np} = \sqrt{\pi} R$ - приведена довжина області внутрішнього тепловиділення;

$S_{np} = b \cdot l_{np} = \sqrt{\pi} R b$ - приведена площа поперечного перерізу області внутрішнього тепловиділення;

$V_{BH} = \pi R^2 b$ - об'єм області тепловиділення.

Підставляючи в (15) вираз для l_{np} , S_{np} і V_{BH} , одержуємо

$$D = \frac{\rho_{\text{Д}} k l^2}{\frac{3}{\pi^2 b^2 R^2}} \quad (16)$$

Підставляючи у вираз (6) знайдені види функцій $A(r, \varphi, z)$, $C(\varphi, z, t)$ і $Q(r, \varphi, z, t)$ і розкриваючи отримані інтеграли, маємо рішення задачі (1) - (5) у вигляді

$$\begin{aligned} T(r, \varphi, z, t) = & \frac{1}{2\pi l} \sum_{k=1}^{\infty} U_{ok}(y_{ok} r) \left\{ \frac{2\pi l R J_1(y_{ok} R)}{y_{ok}} T_0 \exp(-ay_{ok}^2 t) + \right. \\ & \left. + \left[b R J_0(y_{ok} R) \cdot (\beta_1 B_1 + \beta_2 B_2) + \frac{2\pi b R}{y_{ok}} J_1(y_{ok} R) \cdot D \right] \frac{1}{\lambda y_{ok}^2} (1 - \exp(-ay_{ok}^2 t)) + \right. \\ & \left. + 2 \sum_{m=1}^{\infty} B_{km}(t) \frac{1}{c\gamma} \left[\frac{2R}{p_m} J_0(y_{ok} R) \cdot \sin\left(\frac{p_m b}{2}\right) \cdot (\beta_1 B_1 + \beta_2 B_2) + \frac{4\pi R}{y_{ok} p_m} J_1(y_{ok} R) \cdot D \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \sin\left(\frac{p_m b}{2}\right) \right] \cos(p_m z) \right\} + \frac{1}{\pi l c \gamma} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} U_{nk}(y_{nk} r) \left\{ \frac{2bR}{n} J_n(y_{nk} R) \times \right. \\ & \left. \times \left[B_1 \sin\left(\frac{n\beta_1}{2}\right) \cdot A_{1nk}(\varphi, t) - B_2 \sin\left(\frac{n\beta_2}{2}\right) \cdot A_{2nk}(\varphi, t) \right] + \frac{4R}{p_m} \sin\left(\frac{p_m b}{2}\right) \right. \\ & \left. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} J_n(y_{nk} R) \left[B_1 \sin\left(\frac{n\beta_1}{2}\right) \cdot C_{1nkm}(\varphi, t) - B_2 \sin\left(\frac{n\beta_2}{2}\right) \cdot C_{2nkm}(\varphi, t) \right] \times \cos(p_m z) \right\}, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} A_{ink}(\varphi, t) = & \frac{1}{a^2 y_{nk}^2 + n^2 \omega^2} \left\{ \cos \left[n \left(\varphi - \frac{\beta_i}{2} \right) \right] \cdot [ay_{nk}^2 \cos(n\omega t) + n\omega \sin(n\omega t) - \right. \\ & \left. - ay_{nk}^2 \exp(-ay_{nk}^2 t)] + \sin \left[n \left(\varphi - \frac{\beta_i}{2} \right) \right] \times \right. \\ & \left. \times \left[ay_{nk}^2 \sin(n\omega t) - n\omega \cos(n\omega t) + n\omega \exp(-ay_{nk}^2 t) \right] \right\}; \\ B_{km}(t) = & \frac{1}{a^2 (y_{ok}^2 + p_m^2) + p_m^2 \nu^2} \left\{ \cos \left(p_m \frac{b}{2} \right) \cdot [a(y_{ok}^2 + p_m^2) \cos(p_m \nu t) + \right. \\ & \left. + p_m \nu \sin(p_m \nu t) - a(y_{ok}^2 + p_m^2) \exp[-a(y_{ok}^2 + p_m^2) t]] - \sin \left(p_m \frac{b}{2} \right) \times \right. \\ & \left. \times [a(y_{ok}^2 + p_m^2) \sin(p_m \nu t) - p_m \nu \cos(p_m \nu t) + p_m \nu \exp[-a(y_{ok}^2 + p_m^2) t]] \right\}; \end{aligned}$$

$$C_{inkm}(\varphi, t) = \sum_{\alpha=-1;1} \frac{1}{a(y_{nk}^2 + p_m^2)^2 + (p_m v - \alpha n \omega)^2} \left\{ \cos \left[p_m \frac{b}{2} + \alpha n \left(\varphi - \frac{\beta_i}{2} \right) \right] \times \right. \\
\times \left[a(y_{nk}^2 + p_m^2) \cos[(p_m v - \alpha n \omega)t] + (p_m v - \alpha n \omega) \sin[(p_m v - \alpha n \omega)t] - \right. \\
\left. - a(y_{ok}^2 + p_m^2) \exp[-a(y_{nk}^2 + p_m^2)t] \right] - \alpha \sin \left[p_m \frac{b}{2} + \alpha n \left(\varphi - \frac{\beta_i}{2} \right) \right] \times \\
\times \left[a(y_{nk}^2 + p_m^2) \sin[(p_m v - \alpha n \omega)t] - (p_m v - \alpha n \omega) \cos[(p_m v - \alpha n \omega)t] + \right. \\
\left. \left. + (p_m v - \alpha n \omega) \exp[-a(y_{nk}^2 + p_m^2)t] \right] \right\}; \\
i = 1, 2$$

Отримане аналітичне вираження (17) було використано для побудови номограми (рис.2) вибору технологічних параметрів процесу електроконтактного нанесення покриття на деталі типу вал.

Розрахунок значень функції $T(r, \varphi, z, t)$ проводився за допомогою головної програми, реалізованої мовою програмування Бейсик версії 2.00, і ряду підпрограм для розрахунку функцій \exp , \sin , \cos , J_n і коренів трансцендентного рівняння, до яких відбувалося автоматичне звертання при визначенні $T(r, \varphi, z, t)$. Тривалість часу інтервалів розбивання вибиралася виходячи з температурної залежності теплофізичних характеристик матеріалу циліндра [15, 16]. При цьому перехід від одного часового інтервалу до іншого здійснювався при досягненні середньої температури деталі

$$T_{cp} = \frac{1}{2\pi R^2 l} \int_0^R \int_0^{2\pi} \int_0^l T(r, \varphi, z, t) dr d\varphi dz \text{ значення, кратного } 50.$$

За матеріал циліндра приймалася сталь 45, матеріал електрода - бронза Бр.Х. Діаметр електродів 0,15 м, ширина 0,008 м. При розрахунку приймалося, що значення $\beta_1 R = 0,0025$ м, $\beta_2 R = 0,001$ м, питомий електроопір матеріалу покриття $\rho_0 = 1,6 \cdot 10^{-5}$ Ом·м. Усереднена за час спікання пористість шару під електродом вважалася рівною 10%.

Колова швидкість переміщення електрода розраховувалася із співвідношення $v = \frac{b\omega}{2\pi}$.

Сила струму вибиралася в діапазоні $I = 1 \dots 5$ кА при $k = 0,5$. Колова швидкість деталі складала $\omega = 0,01 \dots 0,33$ с⁻¹. При розрахунку оцінювалася температура циліндра в точці з координатами $r=R$, $\varphi = \omega t + \frac{\beta_1}{2}$, $z = vt + p_i$, тобто по лінії на поверхні деталі, що проходить через центр плями контакту електрода 1 ($p_i = b/i$ – довжина i -го інтервалу по ширині плями контакту до точки вимірювання температури, приймалося $i=1 \dots 10$).

Застосування електрода з фасонною контактною поверхнею досягає досягнути більш рівномірного розподілу температури в покритті. Отримані теоретичні залежності підтверджуються експериментальними результатами.

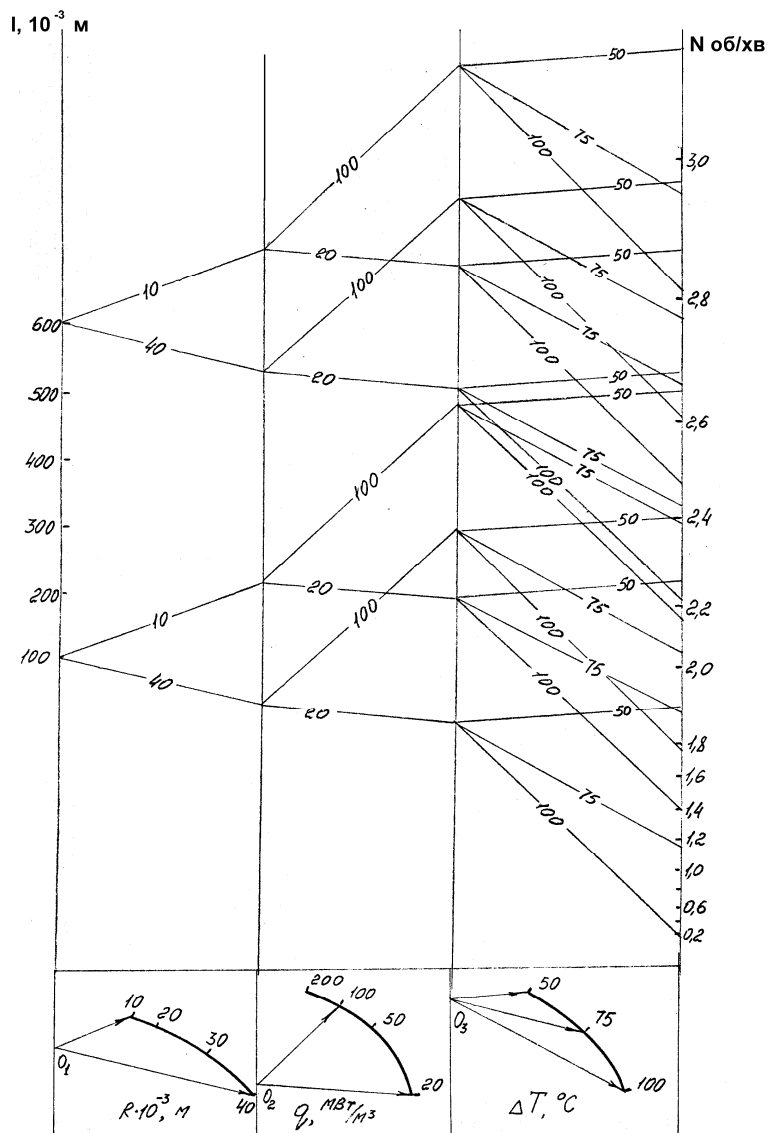


Рис.2. "Вал"

На рис. 3 приведені результати чисельних розрахунків температури T по ширині смуги контакту b для одержання зносостійких покриттів системи Fe-B-C.

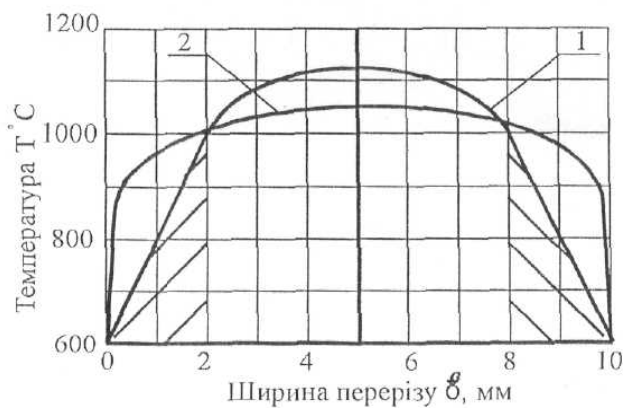


Рис. 3 Теоретичні криві температури:
 1 – з використанням стандартного електроду; 2 – з фасонною контактною поверхнею;
 заштриховано область температур непридатних для ЕКПП

Висновок. Запропонована нами схема кінетики ущільнення при припиканні роликівим електродом із фасонною поверхнею дозволяє усунути градієнт температур по ширині електрода.

Список літератури

1. Лопата Л.А. Разработка технологии нанесения износостойких порошковых покрытий электроконтактным припеканием с силовым активированием сдвигом. Автореф. диссерт. канд. техн. наук. – Минск: 214 с., 1987.
2. Пат. № 37465А МКИ В22F1/00. Електрод для електроконтактного припикання порошків/ Л.А.Лопата, Ф.Й. Златопольський, М.В.Красота. Заявл. 14.01.99; опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4.
3. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 256 с.
4. Бобоюдо Л.М. Расчет температурного поля процесса индукционной наплавки твердого сплава. – Сварочное производство, 1976, № 3, с. 1-3.
5. Гагапов Ф.Л. Выбор режима и схемы электроконтактного припекания коленчатых валов. – Труды ЧИМЭСХ, 1975, вып. 86. – 74-80 с.
6. Дорожкин Н.Н., Абрамович Т.М., Жорник В.И. Получение покрытий методом припекания. – Мн.: Наука и техника, 1980. – 176 с.
7. Шмалько В.П. К теории процесса электроконтактного напекания фасок J.of Thermal Spray Technology, 1997.V.6.№4.p.509-522
8. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
9. Шумаков Н.В. Метод последовательных интервалов в теплотрии нестационарных процессов. – М.: Автоматиздат, 1976. – 216 с.
10. Дорожкин Н.Н. и др. Авт. свид. № 582908. Бюл. изобр., № 45, 1977.
11. Жорник А.И. Карташов Э.М. Изв. Вузов, Авиационная техника, № 3, 1973.

УДК

С.А.Скрябин¹, д-р.техн.наук, Л.В.Швец², инж.

1 - научно – производственный центр «Ухналь», г. Киев, Украина

2 - Винницкий Государственный аграрный технический университет, г.Винница, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УШИРЕНИЯ ПРИ ВАЛЬЦОВКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

У статті приведено формули для визначення розширення, отримані на підставі проведених експериментальних досліджень при вальцюванні заготовок з алюмінієвих сплавів у калібрах різних систем і умовах наближених до ізотермічних.

Formulas for broadening determination, got on the grounds of carryed out experimental studies when rolling storages from aluminum alloy in different systems calibers and in conditions drawn near to isothermal, are brought In article.

Актуальность разработки и внедрения малоотходных технологических процессов штамповки поковок из алюминиевых сплавов на предприятиях авиационной промышленности, обусловлена значительным применением в изделиях отрасли этих