

International Journal of Hybrid Intelligent Systems. – 2009. – Vol. 6. – № 1. – P. 27-39.

12. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. *Нейросетевые системы управления* / В.А. Терехов, Д.В. Ефимов, И.Ю. Тюкин. – 1-е изд. – Высшая школа, 2002. – С. 184.

13. Цисарь И.Ф., Нейман В.Г. *Компьютерное моделирование экономики* / И.Ф. Цисарь, В.Г. Нейман. – М.: Диалог-МИФИ, 2008. – 384 с.

14. Круглов В.В., Борисов В.В. *Искусственные нейронные сети. Теория и практика* / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – 1-е. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – С. 382.

Рецензент: Б.Н. Судаков, к.т.н., проф., Национальный технический университет «Харьковский политехнический университет».

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МАРШРУТИЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

М.А. Павленко, В.М. Руденко, П.Г. Бердник

У статті проводиться аналіз можливості використання нейронних мереж для рішення задачі маршрутизації в телекомунікаційних мережах. Проведено дослідження якості рішення задачі маршрутизації з використанням таких нейронних мереж, як багатопшаровий перцептрон, мережі RBF та мережі Хопфілда.

Ключові слова: маршрутизація, нейронна мережа, перцептрон.

ANALYSIS OF THE ROUTING PROCESS USING NEURAL NETWORK

M. Pavlenko, V. Rudenko, P. Berdnik

The article analyzes possibility of using neural networks for solving the routing problem in telecommunication networks. Study of quality of the solution of routing using neural networks such as multilayer perceptron, RBF network and Hopfield network has been carried out.

Keywords: routing, neural network, perceptron.

УДК 621.762.8(088.8)

М.П. Пелех

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕННЯ НА ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

Досліджується вплив окислення твердосплавних виробів при температурах в межах 973 - 1273 К на структурний і фазовий склад. Отримані результати дали змогу розробити технологічний процес, що забезпечує підвищення експлуатаційної стійкості твердосплавних елементів бурового інструменту і машин хімічної промисловості, а також елементів військового озброєння.

Ключові слова: твердий сплав, структурний і поверхневий склад, температура.

Тверді сплави забезпечують високу працездатність за різних умов експлуатації. Однак їх висока твердість та схильність до крихкого руйнування стає причиною розтріскування. Міцність, тріщиностійкість і стійкість проти зношування твердих сплавів вольфрамокобальтової групи (WC-Co) залежать від хімічного складу, структури, способу отримання порошків кобальту і карбіду вольфраму та технологічних режимів виготовлення виробів.

Згідно із стандартом вольфрамокобальтові тверді сплави складаються з двох фаз: карбіду вольфраму і зв'язуючої кобальтової фази. Дослідженнями особливостей процесу руйнування твердих сплавів було встановлено [1], що структура та фазовий склад зв'язуючої складової має основне значення в забезпеченні високих границь пружності і текучості.

В процесі високотемпературного окислення на поверхні оброблених виробів із твердих

сплавів виділяється значна кількість теплоти, яка істотно впливає на інтенсивність розмірної обробки. Рівняння реакції, що пов'язує швидкість окислення k з параметрами процесу із врахуванням перегріву, виглядає наступним чином

$$\kappa = A \cdot \exp\left(-\frac{Q}{R \cdot (T + \Delta T)}\right) \quad (1)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від процентного вмісту кисню в газі і поверхні, що окислюється; Q – енергія активації; R – газова стала; T – температура печі; ΔT – перевищення температури поверхні, що окислюється, в порівнянні з температурою печі.

За час dt глибина окисленого шару dh визначається залежністю (2).

З іншого боку, за цей же час кількість тепла

$$dh = A \cdot \exp\left(-\frac{Q}{R \cdot (T + \Delta T)}\right) dt, \quad (2)$$

що виділилася $(-\Delta H) \cdot dh$, частково піде на нагрівання виробу, що обробляється, а решта у вигляді випромінювання передається в навколишнє середовище чи відводиться від базової поверхні в підставку.

$$(-\Delta H)dh = C \cdot d(T + \Delta T) + K\Delta T \quad (3)$$

де C – теплоємність виробу;

K – коефіцієнт випромінювання.

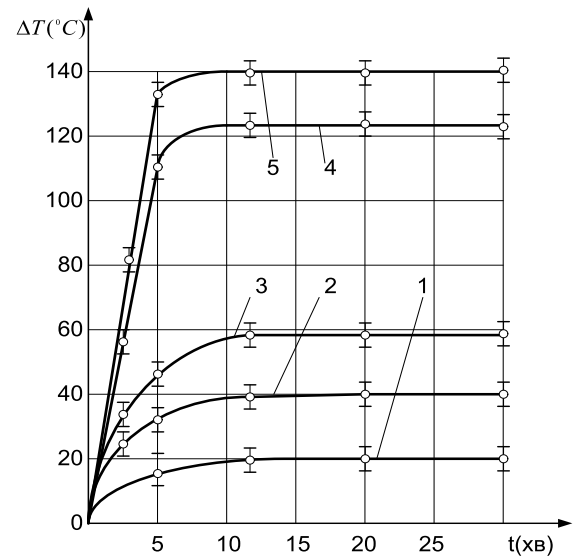
Провівши нескладні перетворення, отримаємо

$$\frac{d(T + \Delta T)}{dt} = \left(-\frac{\Delta H \cdot A}{C}\right) \exp\left[\frac{Q}{R(T_n + \Delta T)} - \frac{K}{C} \Delta T\right]. \quad (4)$$

Зміна величини перегріву ΔT в залежності від температури печі, концентрації кисню і часу окислення експериментально визначалась на зразках твердих сплавів різних марок. На рис. 1 представлені результати значень температур перегріву, виміряні термопарою, спай котрої знаходився в контакті з поверхнею, що окислюється. Як видно, за винятком початкового періоду, коли зразки, що досліджуються, нагріваються до заданої температури, величина надлишкової температури протягом наступних 5-40 хв не змінювалась, тобто $\frac{d(T + \Delta T)}{dt} = 0$.

Однак із збільшенням інтенсивності обробки вона збільшується і досягає значних величин. Наприклад, при $T_n = 850^\circ\text{C}$ і окисленні в середовищі кисню перегрів зразка складає майже

140 $^\circ\text{C}$ (крива 5, рис. 1).



1 – 800 $^\circ\text{C}$	} повітря	4 – 825 $^\circ\text{C}$	} кисень
2 – 825 $^\circ\text{C}$		5 – 850 $^\circ\text{C}$	
3 – 850 $^\circ\text{C}$		100%	

Рис. 1. Вплив температури печі T_n на величину перегріву ΔT зразків. Сплав ВК6

Таким чином величина ΔT – постійна в досліджуваному інтервалі часу, і залежність (4) набуде вигляд

$$\left(-\frac{\Delta H \cdot A}{C}\right) \exp\left[-\frac{Q}{R(T_n + \Delta T)}\right] = \frac{K}{C} \Delta T. \quad (5)$$

Аналіз формули (5) показує, що на швидкість окислення справляють безпосередній вплив: теплоємність виробу, поверхня, що окислюється, енергія активації, маса виробу, теплота утворення оксидів. В роботі [3] на сплавах з 8% і 15% кобальту (по масі) досліджувався вплив деяких параметрів на швидкість окислення. Однак приведені в ній залежності тривалості нагрівання виробу для окислення на потрібну глибину експериментально не перевірялись, тому судити про правильність отриманих автором співвідношень не є можливим. Крім того, залежності не враховують таких факторів, як швидкість газового потоку, концентрація кисню в газовому середовищі, розподіл надлишкової температури на поверхні в залежності від конфігурації виробу.

З метою максимальної інтенсифікації розмірної обробки та отримання вихідних даних, що придатні для інженерних розрахунків, на

зразках твердих сплавів з вмістом кобальту від 0,5% до 80% визначалась константа швидкості окислення і досліджувався вплив на неї наступних фізичних та хімічних факторів:

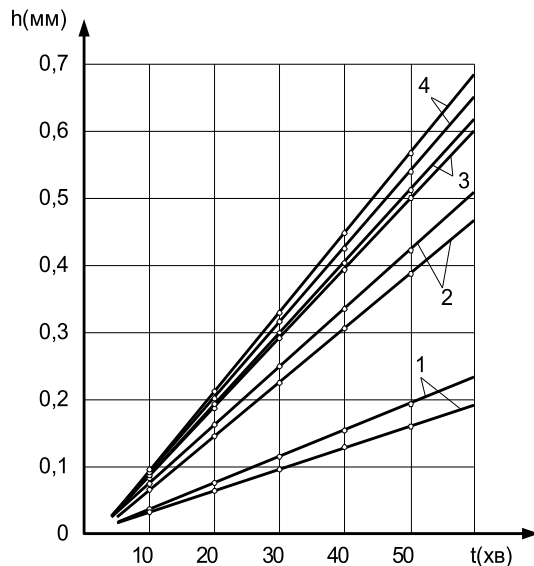
температури оточуючого середовища і часу обробки;

концентрації кисню в газовому середовищі;

вмісту кобальту в сплаві;

швидкості газового потоку.

Як зазначалось вище, швидкість розмірної обробки твердих сплавів системи WC-Co не залежить від часу окислення, і, відповідно, глибина обробки пропорційна часу витримки в печі. На рис. 2 представлені результати експериментів з визначення впливу на глибину окислення сплавів BK8 (пунктир) і BK4 (суцільна лінія) температури печі і часу витримки. Лінійній залежності глибини обробки від часу окислення підлягають всі марки твердих сплавів, що досліджуються.



1-800°C, 2-850°C, 3-875°C, 4-900°C

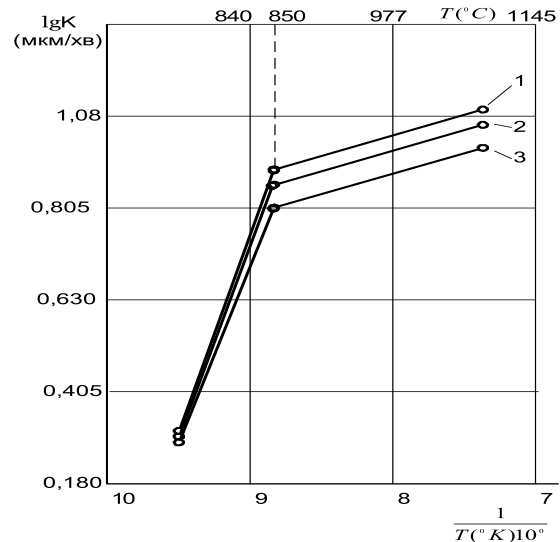
Рис. 2. Залежність глибини окислення h сплавів BK4 (суцільна лінія) і BK8 (пунктир) від температури печі T_n та часу витримки

Температура обробки сильно пришвидшує процес окислення, і її вплив добре описується рівнянням (1). Для визначення енергії активації Q реакції зручно прологарифмувати рівняння (1)

$$\lg k = -0,434 \cdot \frac{Q}{R} \cdot \frac{1}{T} + \lg A \quad (6)$$

В цьому випадку графічне зображення залежності від $\frac{1}{T(K)}$ буде у вигляді прямих ліній, по куту нахилу котрих легко визначається

енергія активації Q і стала A . Графік залежності $\lg k$ від зворотного значення абсолютної температури поверхні зразка, що окислюється, $\frac{1}{T(K)}$ для сплавів BK6, BK8 і BK15 наведений на рис. 3.



1— BK6, 2 — BK8, 3 — BK15

Рис. 3. Залежність логарифма швидкості окислення K твердих сплавів від зворотного значення абсолютної температури поверхні зразка

$$\frac{1}{T(K) \cdot 10^{-4}}$$

Як видно з рис. 3, результати експерименту підтверджують справедливості закону Арреніуса і добре узгоджуються з даними робіт [44]. В області температур 845 – 855 °C має місце зміна кута нахилу прямої до осі абсцис, що свідчить про зміну енергії активації Q і значення коефіцієнта A .

Вплив концентрації кисню в газовому середовищі

Збільшення швидкості окислення при незмінній температурі може бути досягнуте через збільшення парціального тиску кисню в газовій суміші. В загальному випадку потенціал μ_i компонента i , що міститься в n_i молей у фазі, яка має термодинамічний потенціал G і визначається як часткова похідна

$$\mu_i = \left| \frac{\partial G}{\partial n_i} \right| \cdot T \cdot P \cdot n_j, \quad (7)$$

де T – температура; P – тиск; n_j – число молей інших компонентів.

Згідно з теоремою Ейлера $G = \sum \mu_i \cdot n_i$, термодинамічний потенціал суміші є однорідною лінійною функцією.

На рис. 4 представлені порівняльні дані інтенсивності розмірної обробки сплаву ВК8 в повітряному середовищі і в середовищі чистого кисню при однакових температурах печі. Окислення в середовищі кисню значно, в 4,8-4,9 раза, пришвидшує процес розмірної обробки по відношенню з обробкою в повітрі при тих же температурах. В діапазоні температур 875- 950 °С і часі окислення до 30 хв залежність глибини окисленого шару від часу обробки в середовищі кисню має лінійний характер і є аналогічною до окислення в середовищі повітря. Перевірка отриманих результатів на сплавах з вмістом кобальту від 4 до 20% (по масі) показала, що окислення в середовищі із 100% концентрацією кисню інтенсифікує процес розмірної обробки такою ж мірою, як і сплав ВК8, тобто в 4,8-4,9 раза.

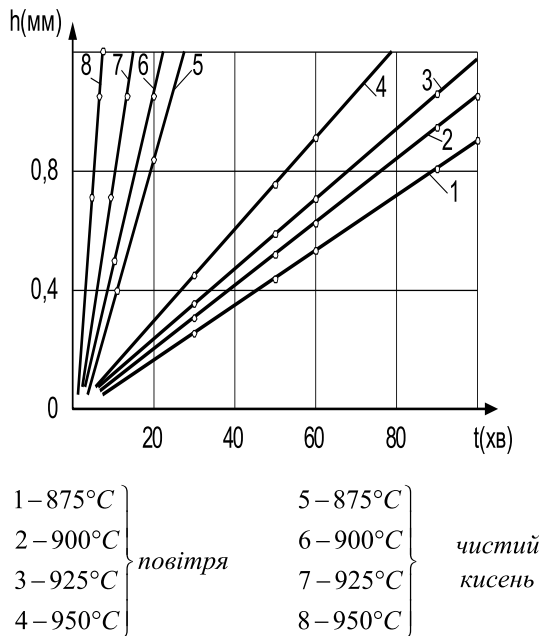


Рис. 4. Залежність глибини окисленого шару h від часу окислення t в атмосфері повітря і чистого кисню. Сплав ВК8

Примусова подача газу, нагрітого до температури оточуючого середовища, істотно інтенсифікує процес розмірної обробки. При температурі печі 850 °С швидкість обробки зразків із сплаву ВК8В завдяки подачі повітря підвищується на 50%, а при $T_n = 800$ °С – на 20%. Для окисних реакцій, швидкість яких лімітується адсорбцією кисню і поверхні (що відповідає механізму окислення сплавів WC-Co) [5], швидкість подачі газу може впливати по двох CO_2 , і, по-друге, здійснює механічний вплив на крихкі, погано зчеплені з підкладкою оксиди. На рис. 5 представлені результати експериментів по впливу швидкості газового потоку V_{2n} і

концентрації кисню в газі P_{O_2} на швидкість окислення k . Для дослідження використовувались призматичні зразки із твердого сплаву із вмістом кобальту 6% (по масі). Значення V_{2n} обчислювались як відношення витрати газу, що визначали з допомогою ротаметра, до площі поперечного перерізу печі.

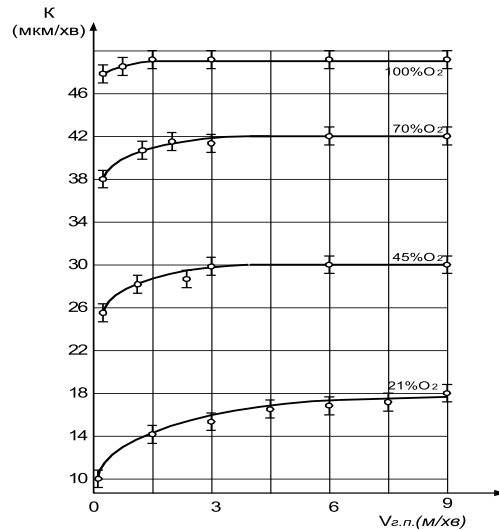


Рис. 5. Залежність швидкості окислення k від концентрації кисню в газовому середовищі і швидкості газового потоку $V_{г.п.}$ Сплав ВК6

Із збільшенням V_{2n} швидкість окислення k росте і, досягаючи деякого максимального значення, стає незалежною від V_{2n} . Наприклад, при обробці в повітрі, починаючи з 6 м/хв і вище, k не змінюється, і якщо при пасивній вентиляції $k = 9.5$ мкм/хв, сплав ВК6, $T_n = 900$ °С, то при $V_{2n} = 6$ м/хв і вище, $K = 17.2$ мкм/хв, тобто приріст швидкості обробки складає 1,8 раза. З підвищенням концентрації кисню P_{O_2} критичні значення V_{2n} стають меншими і менше впливають на K . У випадку подачі газу із 100% концентрацією кисню критичне значення $K = 0,05$ м/хв. Практично достатньо забезпечити постійне підживлення киснем робочої зони печі і створити його 100% концентрацію, щоб швидкість розмірної обробки була максимальною. Також помічено, що при пасивній вентиляції спостерігається істотний розбіг результатів експерименту, в той час як примусова подача повітря стабілізує процес окислення при всіх інших рівних умовах.

Перевірка отриманих результатів на сплавах із вмістом кобальту від 4 до 20% показала, що в середовищі чистого кисню вплив V_{2n} на K має аналогічний характер.

Вплив вмісту кобальту

При розгляді кінетичних кривих швидкість окислення – вміст кобальту (рис. 3) видно, що із збільшенням процентного вмісту кобальту в сплаві інтенсивність окислення падає.

В однакових умовах (T , P , $P_{O_2} = \text{const}$) окислення сплавів із вмістом кобальту близько 2% (по масі) протікає в 200...225 разів інтенсивніше, ніж сплавів із вмістом кобальту 60% і 80%, а при окисленні в середовищі кисню ця різниця стає ще більш значною (в 300...350 разів), тобто, зв'язуюча фаза – кобальт проявляє набагато меншу активність до окислення, ніж карбід вольфраму. Для сплавів із вмістом кобальту до 20%, коли ділянки зв'язуючої фази розділені карбідними зернами, а їх товщина порядку одного мікрона, на кінетику окислення кобальт не здійснює значного впливу. Доступ кисню до WC не обмежений кобальтом, і оксиди вольфраму, що швидко ростуть, відділяють від поверхні ще не окислені повністю включення кобальту. У міру збільшення вмісту кобальту його вплив на швидкість окислення стає все більш відчутним. Для сплавів з вмістом кобальту від 20% і вище властива часткова чи повна ізоляція карбідних зерен. Тому ті зерна, які мали вихід на поверхню, окислюються з властивою їм високою швидкістю, що приводить до утворення хвилястостей і впадин. Наприклад, після 20 хв окислення на повітрі при температурі печі 900 °C сплаву BK20 на поверхні утворюються впадини глибиною 900...120 мкм. У міру окислення кобальт скупчується на поверхні розділу і на певному етапі ізолює карбідну фазу від взаємодії з киснем. Окислення зразків непромислових марок із вмістом кобальту 30% і вище, по суті, твердих розчинів на основі кобальту, лімітується в основному швидкістю окислення кобальту.

Магнітометричні вимірювання оксидів, видалених з поверхні сплаву BK20, показали наявність неокислених включень кобальту. Досліджувались оксиди, механічно видалені з поверхні зразка, що окислювався протягом 120 хв при $T_n = 900$ °C (середовище – повітря). Отримані порошкоподібні оксиди запресовувались в кварцеву склянку висотою 5 мм і внутрішнім діаметром 3 мм. Одночасно впресовувався спай термопари (платино-платинородієвий) з діаметром термоелектроду 0.06 мм. Потім кварцеву склянку з термопарою поміщали в титанову ампулу. Для попередження контакту з ампулою і усунення місцевого перегріву термоелектродів склянку поміщали в алундовий чохол. Ампула із зразком і термопарою прикріплювалась до стержня магнітометра [6].

Аналіз отриманої залежності свідчить про наявність в плівці часточок кобальтової фази. Отже, дана феромагнітна не може бути одним із оксидів кобальту, феромагнітним за деякими літературними даними [7], а являє собою твердий розчин вольфраму в кобальті з процентним містом WC, приблизно рівним 10...15%. Співставлення даних по температурній залежності питомої намагніченості насичення кобальту і твердих розчинів вольфраму в кобальті з отриманими результатами дозволяє оцінити процентний вміст часточок CO в оксидній плівці сплаву BK20 як рівний 0,5...1% [7].

Такий механізм вибіркового окислення зумовлює після операції термоокислювальної обробки утворення на поверхні надлишку зв'язуючої фази незалежно від вихідного процентного вмісту кобальту в сплаві. Металографічний аналіз перерізу зразка марки BK20 (по масі) після ТО показав на поверхні змінений шар товщиною 7–10 мкм, що складався із дрібних субзерен карбідів, вкраплених в суцільну кобальтову матрицю.

На зразках сплавів BK2, BK4, BK6, BK8, BK15 і BK20 (по масі) дослідним шляхом визначалась залежність швидкості окислення від температури поверхні в діапазоні 850 – 1100 °C і за методикою, викладеною в [4], розраховувались значення Q і A . Результати були зведені в рівняння (8) і (9), що пов'язують швидкість розмірної обробки цієї групи сплавів з температурою реакції, концентрацією кисню в газовому середовищі і вмістом кобальту в сплаві:

$$k_1 = 5.79 \cdot P_{O_2} \cdot \exp \left\{ - \frac{49310 + 49.6[Co]}{R \cdot T_p} \right\} \quad (8)$$

при $T_p = 1025 - 1125$ °K ;

$$k_2 = 1.81 \cdot P_{O_2} \cdot \exp \left\{ - \frac{4620 + 8.5[Co]}{R \cdot T_p} \right\} \quad (9)$$

при $T_p = 1125 - 1375$ °K .

Залежності (8) і (9) можуть бути використані для визначення часу окислення при розмірній обробці на задану глибину сплавів із вмістом кобальту до 20% (по масі).

Визначивши аналітично чи експериментально закон розподілу надлишкової температури

на поверхні оброблюваного виробу заданої конфігурації, можна обчислити значення швидкостей окислення на будь-якій ділянці і відповідно зміну форми виробу з плином часу.

Висновки

Отже, отримані результати дають змогу розробити технологічний процес [1] високо-температурного окислення, який би забезпечив наперед задану геометрію поверхні згідно з вимогами конструкторської документації.

Список літератури

1. Способ размерной поверхностной обработки спеченных изделий из твёрдых сплавов / О.А. Гарбаренко, Ю.И. Гребень, Н.А. Кудря и др. А.С. № 692697.
2. Пелех М. Підвищення стійкості бурових доліт шляхом оптимізації пресового з'єднання «твердо сплавний зубок-шарошка» / М. Пелех // Автоматизація

виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2005. – № 39. – С. 92–94.

3. Способ обработки металлокерамических изделий / В.А. Повидайло, Р.И. Силин, В.И. Туманов, Р.В. Юревич. А.С. №354939.

4. Томашов Н.Д. Коррозия и коррозионно-стойкие сплавы / Н.Д. Томашов, Г.П. Чернова. – М.: Металлургия, 1973. – С. 279.

5. Пелепелин В.М. О изменении плотности и коэффициента поперечной деформации твёрдых сплавов / В.М. Пелепелин // Порошковая металлургия. – № 5. – 1967. – С. 108–110.

6. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента / В.В. Петросов. – М.: Машиностроение, 1977. – С. 167.

7. Устинов В.П. Взаимодействие частиц рабочей среды и детали в процессе вибрационной обработки / В.П. Устинов. – Материалы научно-технического семинара «Вибрационное шлифование, отделка, упрочнение». – Ростов-на-Дону, 1969. – С. 162–168.

Рецензент: Б.І. Сокіл, д.т.н., проф., Академія сухопутних військ, Львів.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОКИСЛЕНИЯ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТВЁРДОСПЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

М.П. Пелех

Исследуется влияние технологических процессов окисления твердосплавных изделий при температурах в пределах 973 - 1273 К на конструкционные параметры изделий. Полученные результаты дали возможность разработать технологический процесс, который обеспечивает повышение эксплуатационной стойкости твердосплавных элементов бурового инструмента, машин химической промышленности и военного вооружения.

Ключевые слова: твердый сплав, структурный и поверхностный состав, температура.

INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURE OXIDIZATION ON THE INCREASE OF OPERATING FIRMNESS OF HARD-ALLOY MATERIALS AND WARES

M. Pelekh

Influence of technological processes of oxidization of carbide wares on the construction parameters of wares is probed at temperatures within the limits of 973 - 1273 K. The received results enabled to develop a technological process which provides the increase of operating firmness of carbide elements of drilling tools, machines of chemical industry and armament.

Keywords: hard alloy, structural and phase composition, temperature.