

ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

УДК 621.762

А.В. Бєсов, к.т.н., с.н.с.*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
НАН України***Н.А. Зубрецька, к.т.н., доц.***Київський національний університет технологій та дизайну***М.А. Долгов, к.т.н., с.н.с.***Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України***ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ
НА АДГЕЗІЙНУ МІЦНІСТЬ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ**

Розроблена нова технологія, що дозволяє за допомогою мікроплазмової медичної установки "Пласт" наносити на поверхню зубного протеза ретенційні покриття, які збільшують міцність зчеплення облицювального покриття з основою у порівнянні з існуючими методами зубопротезування.

У роботі розглянуто вплив технологічних факторів на адгезійну міцність плазмових покриттів та встановлено залежність адгезійної міцності від струму, дистанції напилування та розміру частинок порошку.

Вступ. Останнім часом на Україні підсилюється процес інтеграції різних наукових галузей, поширюються тенденції застосування традиційних промислових технологій і розробок у нових сферах діяльності. Так, наприклад, у медичній техніці все частіше використовуються досягнення фахівців родинних галузей з метою підвищення рівня медичної допомоги за рахунок впровадження спільних розробок. Це особливо актуально для ортопедичної стоматології – найбільш металомісткої медичної спеціальності, яка сьогодні для вирішення більшості наукових проблем залучає учених суміжних спеціальностей.

В ортопедичній стоматології у зв'язку із широким впровадженням металокерамічних і металопластмасових незнімних зубних протезів важливою проблемою є збільшення міцності з'єднання облицювального покриття з металевим каркасом коронки. Міцність з'єднання металу коронки і пластмасового облицювального матеріалу, що забезпечується традиційними методами зубопротезування (застосування литих кульок-перлів, адгезивів, протравок, ретенційних елементів у

вигляді пропилив, козирків і т.д.), часто не задовольняє сучасним вимогам. Крім того, значна товщина стінок (1,5–2 мм) облицьованих традиційних металопластмасових і металокерамічних коронок змушує стоматологів-ортопедів препарувати значний обсяг твердих тканин зуба, що за медичними показниками досить небажано.

Збільшення міцності з'єднання можна досягти за рахунок формування ретенційного підшару за допомогою методу плазмового напилювання. Цей метод має широкі можливості, не обмежує форму і розміри напилюваних виробів та дозволяє підвищити шорсткість поверхні [1]. Серед переваг цього методу варто відзначити високу міцність зчеплення покриття, їхню достатню пористість, створення розвинутого мікрорельєфу поверхні після напилювання.

З'єднання напиленого ретенційного покриття з елементом конструкції, наприклад, з металевим каркасом незнімного зубного протеза, здійснюється за рахунок механічного зчеплення частинок напилювального матеріалу з мікронерівностями поверхні каркаса протеза, який піддають піскоструминній обробці перед напилюванням. Велике значення для зчеплення мають дифузія компонентів покриття в матеріал підкладки, сплавка і хімічна взаємодія матеріалів, що сполучаються. У результаті на каркасі формується плазмонанпилювальне покриття, характеристики і властивості якого визначаються умовами процесу напилювання.

Таким чином, підвищення міцності з'єднання металевого зубного протеза з облицьовальними матеріалами за допомогою методу плазмового напилювання є досить актуальною науково-технічною задачею. Плазмові ретенційні покриття у вигляді підшару перспективні в таких галузях стоматології, як імплантологія, штифтова техніка, при знімному протезуванні, у безметалевих конструкціях. Ці покриття також знаходять застосування в інших областях медицини, наприклад, при виготовленні ендопротезів тазостегнового суглоба; в оторинтології існує потреба в спеціальних імплантатах з біологічно інертними й активними ретенційними покриттями з біокераміки (біоситал, гідроксипатит).

Відомо, що при впливові експлуатаційних факторів покриття можуть відшаровуватися, тому для забезпечення необхідного рівня їх адгезійної міцності необхідно вивчити вплив на неї сукупності технологічних факторів, що характерні для процесів

плазмового напилювання. Таким чином, метою роботи є установлення функціональної залежності адгезійної міцності від найбільш значимих технологічних факторів.

Методи і матеріали. Для дослідження впливу технологічних факторів на міцність покриттів використовувався порошок кобальт-хромового сплаву (КХС) [2], який наносився за допомогою спеціально створеної мікроплазмової установки "Пласт" [3], що складається з живильника, плазмотрона, камери напилювання та джерела живлення і має такі технічні характеристики:

- живлення від мережі змінного струму – 220 В, 50 Гц;
- потужність установки – не більше 1 кВт;
- плазмоутворюючий газ – аргон;
- витрата порошку – не більше $5 \cdot 10^{-3}$ кг/год;
- площа, яку займає установка, – не більше 1 м².

Товщина покриття складала 90 мкм і варіювалася від зразка до зразка. Для визначення адгезійної міцності покриттів використовувалася клейова методика [4]. Поверхні металевих зразків із КХС перед напилюванням для поліпшення адгезійної міцності покриттів піддавалися піскоструминній обробці. Діаметр зразків складав 24,5 мм. Для кожного дослідів виготовлялося по три зразка.

Дослідження зразків проводилися на розривній машині FM-1000. Міцність зчеплення покриття визначалася як відношення навантаження, при якому відбувався відрив, до площі покриття, яке відшарувалося.

З огляду на складність процесу плазмового напилювання, для досліджень застосовувалися методи експертного відсіювання факторів, багатофакторного планування експерименту та статистичної обробки даних, згідно з якими процес напилювання розглядався як функціональна залежність комплексу вхідних технологічних факторів і вихідного параметра (адгезійної міцності).

Результати та їх обговорення. Аналіз причин виходу з ладу деталей із плазмовими покриттями дозволяє стверджувати, що одним з основних критеріїв якості покриття є його адгезійна міцність, яка була обрана як функція відгуку Y .

На основі вивчення апріорної інформації та результатів попередніх експериментальних досліджень були виділені найбільш значимі технологічні фактори, що впливають на функцію відгуку: товщина покриття, витрата порошку, розмір

частинок, струм, дистанція напилювання, шорсткість поверхні основи, інтенсивність і кут піскоструминної обробки.

Після застосування методів експертної оцінки [5] була отримана середня апріорна ранжировка факторів плазмової технології нанесення покриттів (рис. 1), згідно з якою основними параметрами напилювання є дистанція напилювання, струм і дисперсність порошку.

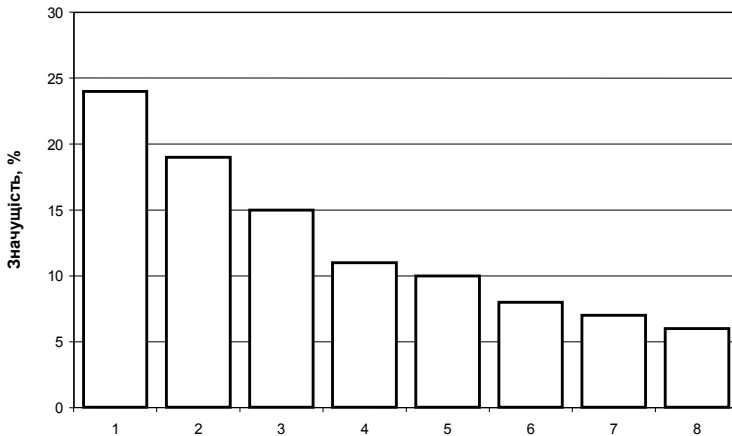


Рис. 1. Ранжувальний ряд технологічних факторів, отриманий на підставі експертної оцінки (1 – струм; 2 – дистанція напилювання; 3 – розмір частинок; 4 – товщина покриття; 5 – витрата порошку; 6 – шорсткість поверхні основи; 7 – інтенсивність піскоструминної обробки; 8 – кут піскоструминної обробки)

У таблицях 1 і 2 подаються натуральні та кодовані значення технологічних факторів, що є найбільш значущими, на думку експертів, тобто впливають на величину адгезійної міцності.

Таблиця 1
Фактори, що впливають на величину адгезійної міцності покриттів та рівні їх варіювання

Фактори		Рівні варіювання
Струм (I, A)	X_1	4–8
Дистанція напилювання ($D, см$)	X_2	3–6

Фактори		Рівні варіювання
Середній розмір частинки (d , мкм)	X_3	45–80

Таблиця 2

Кодування факторів

Рівні факторів	I , А	D , см	d , мкм
Нульовий X_0	6	4,5	62,5
Нижній X_{-1}	4	3	45
Верхній X_{+1}	8	6	80
Інтервал варіювання факторів δ_i	2	1,5	17,5

У результаті експериментальних досліджень були отримані значення адгезійної міцності досліджуваних плазмових покриттів при зміні технологічних факторів, відповідно до плану експерименту. Матриця планування, результати досліджень та їх статистичний аналіз наведено в табл. 3. За результатами регресивного статистичного аналізу [6] отримана залежність адгезійної міцності від технологічних факторів:

$$Y = 13,01 + 2,23 \cdot x_1 + 1,06 \cdot x_2 - 0,24 \cdot x_3 + 0,27 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,78 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,89 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Таблиця 3

Результати статистичної обробки експериментальних даних

№	X_1	X_2	X_3	Y_1 , МПа	Y_2 , МПа	Y_{cp} , МПа	S_u^2
1	-1	-1	-1	8,10	8,00	8,05	0,00
2	1	-1	-1	18,10	17,30	17,70	0,32
3	-1	1	-1	7,90	8,10	8,00	0,02
4	1	1	-1	18,70	18,10	18,40	0,18
5	-1	-1	1	11,60	11,40	11,50	0,02
6	1	-1	1	10,00	9,40	9,70	0,18
7	-1	1	1	14,80	14,60	14,70	0,02
8	1	1	1	14,90	13,70	14,30	0,72
b_0	b_1	b_2	b_3		S_{ad}^2 =1,84	S_y^2 =0,18	$\sum S_u^2 = 1$,47
13,01	2,23	1,06	-0,24		коэф. Стюдента $t = 0,71$		
b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}		коэф. Кохрена $G = 0,49$		
0,27	-2,78	0,89	0,08		коэф. Фішера $F = 0,04$		

Регресійній моделі, яка була отримана в результаті досліджень, у факторному просторі відповідає деяка гіперповерхня відгуку, що наведена на рис. 2, 3.

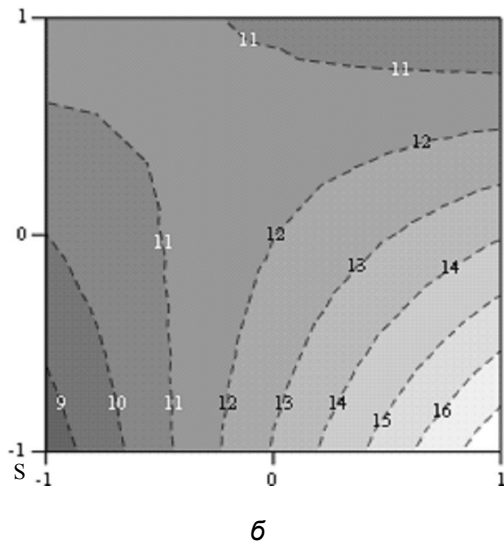
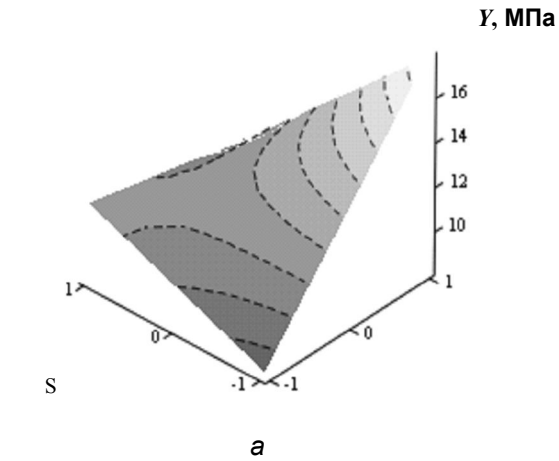
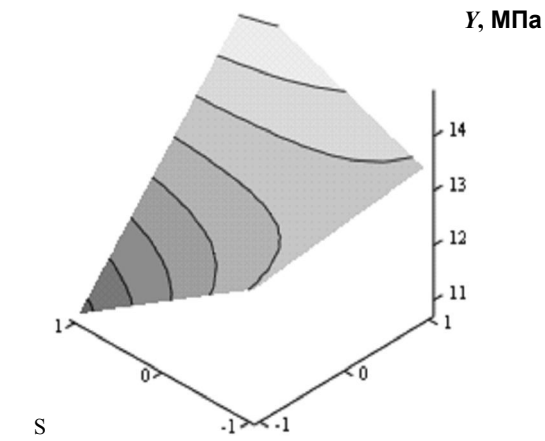
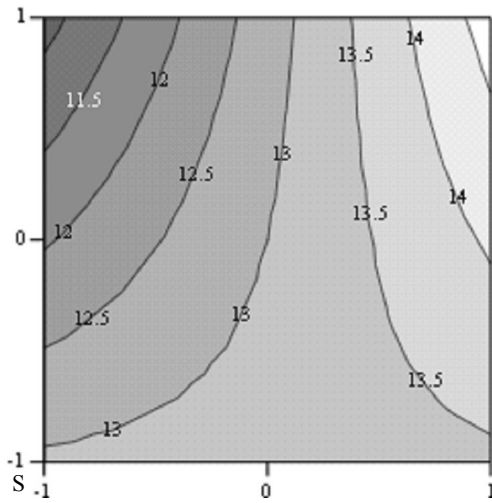


Рис. 2. Поверхня відгуку регресійної моделі (а) та ізолінії рівнів (б) адгезійної міцності (при $x_2 = -1$)



а



б

Рис. 3. Поверхня відгуку регресійної моделі (а) та ізолінії рівнів (б) адгезійної міцності (при $x_1 = 0$)

Висновки. Таким чином, встановлено, що адгезійна міцність значною мірою визначається струмом, дистанцією напилювання та розміром частинок. На підставі дослідження процесу нанесення плазмових покриттів отримана багатофакторна математична модель, що дозволяє визначити вплив технологічних факторів на величину адгезійної міцності.

Аналіз отриманої моделі дозволяє зробити висновок, що величина адгезійної міцності буде мати максимальне значення при струмові дуги 8 А, дистанції напилювання 6 см і середньому розмірі частинок 45 мкм. Мінімальна адгезійна міцність покриттів отримана при тих же значеннях дистанції напилювання та середньому розмірі частинок, але при зниженні величини струму до 4 А.

Найменший вплив на величину адгезійної міцності має середній розмір частинок. Однак необхідно відзначити, що частинки занадто великих розмірів, які мають велику кінетичну енергію, не можуть утворити досить міцного зв'язку з поверхнею металевої основи, тому що при ударі можуть відскакувати від неї. З іншого боку, частинки невеликих розмірів не мають достатньої кінетичної енергії, що необхідна для утворення поверхні контакту з металевою основою і покриття з достатньою адгезійною міцністю.

У подальших роботах планується провести оптимізацію технологічних режимів нанесення покриттів за критеріями міцності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бесов А.В., Долгов Н.А.* Влияние микрогеометрии поверхности на адгезионные свойства покрытий // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2004. – Т. 26. – № 10. – С. 1347–1354.
2. *Бесов А.В., Маслюк В.А., Степанчук А.М.* Спосіб виготовлення порошків кобальт-хромових сплавів для нанесення газотермічних покриттів на медичні вироби. Патент №48648А. – 2002.
3. *Бесов А.В., Морозов В.В.* Возможности застосування плазмової технології в медицині // *Металознавство й обробка металів.* – 2002. – № 3. – С. 62–66.
4. *Бесов А.В.* Исследование прочности сцепления плазмонапыленных композиций с облицовочными покрытиями // *Вестник НТУУ “КПИ” / Машиностроение.* – Вып. 41. – 2001. – С. 247–250.

5. Володарский Е.Т., Малиновский Б.Н., Тюз Ю.М. Планирование и организация измерительного эксперимента. – К.: Вища школа, 1987. – 280 с.
6. Винарський М.С., Лур'є М.В. Планування експерименту в технологічних дослідженнях. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

БЕСОВ Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Наукові інтереси:

- отримання металічних порошків;
- розробка технології нанесення плазмових покриттів.

Тел.: +380-44-424-00-81

ЗУБРЕЦЬКА Наталія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент Київського національного університету технологій та дизайну.

Наукові інтереси:

- якість, стандартизація;
- дослідження напруженого стану виробів;
- математичне моделювання; планування експерименту, математична статистика.

Тел.: +380-44-290-29-14

ДОЛГОВ Микола Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України.

Наукові інтереси:

- дослідження механічних якостей покриттів;
- розрахунок напруженого стану покриттів аналітичними та численними методами.

Тел.: +380-44-286-69-57

E-mail: coating@ipp.kiev.ua

Подано 17.03.2006