

УДК 621.762

А. Бєсов, канд. техн. наук

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ З КОБАЛЬТ-ХРОМОВОГО СПЛАВУ

Резюме. Розроблено технологію нанесення ретенційних плазмових покриттів з кобальт-хромового сплаву на стоматологічні протези для підвищення міцності зчеплення пластмасового облицювального матеріалу з металом коронки. Проведено випробування на розтяг зразків з покриттями. Визначено пружні та міцнісні властивості плазмових покриттів. Досліджено особливості напружено-деформованого стану в зразках із покриттями при різних коефіцієнтах Пуассона основи і покриття, внаслідок чого виникають додаткові нормальні напруження.

Ключові слова: плазмове покриття, кобальт-хромовий сплав, когезійна міцність, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона.

A. Besov

STRENGTH PROPERTIES STUDY OF COATINGS FROM COBALT-CROMIUM ALLOY

The summary. Technique of retentional plasma-sprayed coating on denture developed. Cobalt-chromium alloy powder was used for a spraying of coatings. Plasma-sprayed coating has been used as bond coat for improved adhesion strength of top polymer coat to artificial crown. Coated specimens were used for tensile tests. Elastic and strength properties of plasma-sprayed coating were determined. The features of the stressed state in coated specimen at different Poisson's ratios of the substrate and the coating.

Key words: plasma-sprayed coating, cobalt-chromium alloy, cohesion strength, elastic modulus, Poisson's ratios.

Постановка проблеми. Плазмову технологію широко застосовують у медицині [1]. Найбільш металоємною є ортопедична стоматологія. На даний час в ортопедичній стоматології у зв'язку з широким упровадженням металокерамічних і металопластмасових зубних незнімних протезів великою проблемою є вдосконалення механізму з'єднання облицювального покриття з металевим каркасом коронки. Міцність зчеплення пластмасового облицювального матеріалу з металом коронки, що досягається при традиційних методах зубопротезування (застосування литих кульок-перлин, адгезивів, протрав, ретенційних елементів у вигляді пропилів, козирків), часто не задовольняє необхідних вимог. Тому використовують ретенційні покриття, які наносять на поверхню металевої коронки для підвищення міцності зчеплення облицювального матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі є відомості про розроблення з нанесення покриттів в ортопедичній стоматології [2,3]. Плазмове напилення на золотовмісні сплави покриттів з оксидів алюмінію, індію і цирконію сприяло збільшенню міцності зчеплення металокерамічних конструкцій [4]. Пропонували плазмове напилення оксидів на металеві коронки для поліпшення адгезії керамічного облицювання [5]. У випадку напилення оксиду алюмінію на внутрішню поверхню суцільнолитої коронки в роботі [6] відзначали збільшення ретенції при фіксації на цемент за рахунок його адгезії до розвиненої пористості плазмонанпиленої алюмооксидної структури. Сьогодні у стоматології переходять до використання сплавів з меншим умістом нікелю. Тому викликає цікавість застосування плазмових покриттів з кобальт-хромового сплаву (КХС) та дослідження їх властивостей.

Метою роботи є дослідження когезійної міцності та міцності на стиск плазмових покриттів з КХС.

Постановка завдання. Виходячи з наведеного вище, у роботі необхідно дослідити фізико-механічні властивості плазмових покриттів, визначити їх пружні та міцнісні властивості.

Методика та матеріали досліджень. Розроблено технологію нанесення плазмових покриттів за допомогою портативної медичної установки “Пласт” [1] на зубні протези. Як матеріал для напилення використано порошок кобальт-хромового сплаву [7]. Покриття напилювали на стандартні металеві зразки на розтяг (сталь 12Х18Н9 товщиною 2 мм). Товщина КХС покриттів складала 150 мкм. При випробуваннях на розтяг зразків із покриттям на розривній машині визначали їх когезійну міцність. Міцність покриттів при стискуванні визначали на зразках у вигляді тонкостінного кільця.

Особливістю матеріалів з покриттями є те, що внаслідок різниці коефіцієнтів Пуассона матеріалів композиції у покритті при одноосьовому навантаженні зразків виникає двохосьовий напружено-деформований стан у покритті [8]. Тому необхідно брати до уваги різницю коефіцієнтів Пуассона основи та покриття для точнішого визначення механічних характеристик покриття.

У зв'язку з тим, що розрахункова модель [8-10] використовує пружні характеристики основи й покриття, їх необхідно точно й коректно експериментально вимірювати. Пружні властивості покриттів визначали за методикою [11].

У роботі [8] розглянуто тонку пластинку товщиною $2H$ і шириною b із прикладеним по торцях навантаженням P уздовж осі z . На верхній і нижній поверхнях пластинки нанесено покриття товщиною h , довжиною l (рис. 1). У площині адгезійного контакту при розтягуванні основи у напрямку осі z виникають дотичні напруження, а в покритті — нормальні напруження σ_z і σ_x .

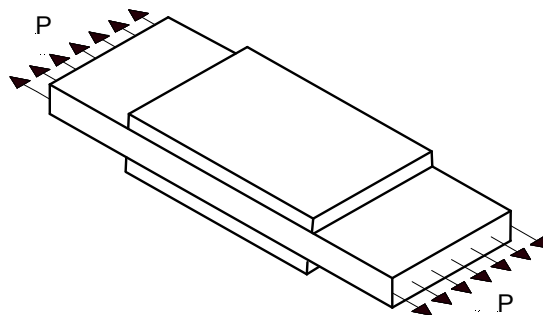


Рис.1. Схема пластинки з покриттям

Розподіл нормальних напружень у покритті у двох напрямках визначали залежностями [8-10]:

$$\sigma_z(x, z) = 4 \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[\left(\frac{d_5}{lk_n s_2} \right) \frac{1 - ch(r_n(b/2 - x))}{ch(r_n b/2)} + \left(\frac{8\varphi_{\max}}{(\pi n)^3} \right) \frac{ch(r_n(b/2 - x))}{ch(r_n b/2)} \right] \sin k_n z; \quad (1)$$

$$\sigma_x(x, z) = 4 \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[\left(\frac{d_5^*}{b\lambda_n p_2} \right) \frac{1 - ch(q_n(l/2 - z))}{ch(q_n l/2)} + \left(\frac{8\xi_{\max}}{(\pi n)^3} \right) \frac{ch(q_n(l/2 - z))}{ch(q_n l/2)} \right] \sin \lambda_n x. \quad (2)$$

Вирази для визначення коефіцієнтів у формулах (1) і (2) наведено у роботі [9].

Розподіл дотичних напружень τ_{xy} та τ_{zy} у площині адгезійного контакту основи та покриття визначали залежностями [8-10]:

$$\tau_{zy} = \frac{4h}{l} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[\left(\frac{d_5}{s_2} \right) \frac{1 - \operatorname{ch}(r_n(b/2 - x))}{\operatorname{ch}(r_n b/2)} + \left(\frac{8\varphi_{\max}}{(\pi n)^2} \right) \frac{\operatorname{ch}(r_n(b/2 - x))}{\operatorname{ch}(r_n b/2)} \right] \cos k_n z; \quad (3)$$

$$\tau_{xy} = \frac{4h}{b} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[\left(\frac{d_5^*}{p_2} \right) \frac{1 - \operatorname{ch}(q_n(l/2 - z))}{\operatorname{ch}(q_n l/2)} + \left(\frac{8\varphi_{\max}}{(\pi n)^2} \right) \frac{\operatorname{ch}(q_n(l/2 - z))}{\operatorname{ch}(q_n l/2)} \right] \cos \lambda_n x. \quad (4)$$

Отримано аналітичні залежності, які дозволили визначити величину й розподіл напружень у покритті та у площині адгезійного контакту. Поля додаткових нормальних напруг σ_x необхідно враховувати при визначенні міцнісних властивостей покриттів.

Обговорення результатів експерименту. Пружні властивості покриття й основи, визначені відповідно до методики [11], наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 - Пружні властивості плазмових КХС покриттів і основи

Матеріал	Модуль пружності, ГПа	Коефіцієнт Пуассона
Покриття	72	0,29
Основа	210	0,28

За наведеними вище залежностями розраховано напруження для плазмового покриття із КХС при деформації основи, яка дорівнює 0,1%. Графіки розподілу напружень у площині адгезійного контакту основи і покриття зображено на рис. 2-5.

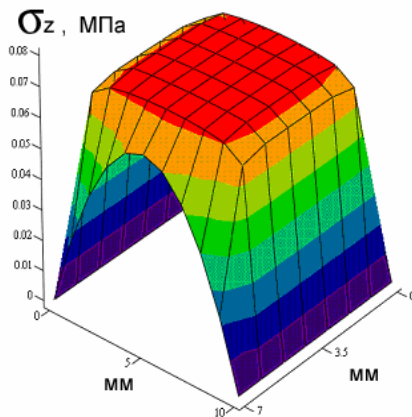


Рис. 2. Розподіл напружень σ_z у площині адгезійного контакту

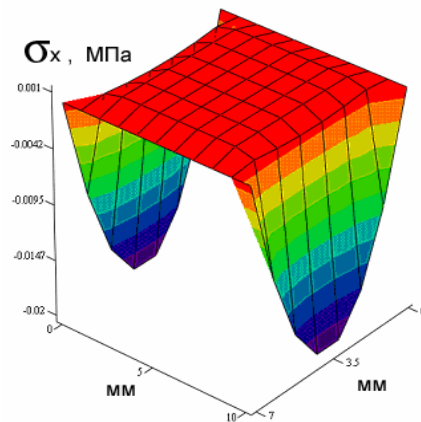


Рис. 3. Розподіл напружень σ_x у площині адгезійного контакту

Аналіз розподілу нормальних напружень у покритті σ_z показує, що максимальний рівень напружень виникає в областях, достатньо віддалених від вільних країв покриття. Це підтверджує факт, що розтріскування покриття починається в областях, віддалених від країв покриття.

Аналіз розподілу нормальних напружень σ_x показує, що в областях, достатньо віддалених від країв покриття, існують напруження розтягу. Величина цих напружень залежить як від коефіцієнта Пуассона покриття, так і від різниці коефіцієнтів Пуассона основи й покриття. Ці додаткові напруження σ_x можуть бути як одного знака з основними, так і різних. У нашому випадку необхідно прагнути, щоб ці напруження були одного знака, тому що ретенційні плазмові покриття при експлуатації зазнають напруження стиску.

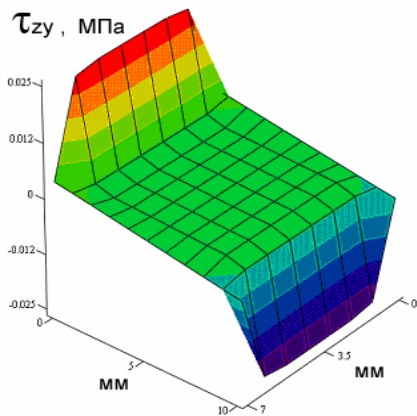


Рис. 4. Розподіл напружень τ_{zy} у площині адгезійного контакту

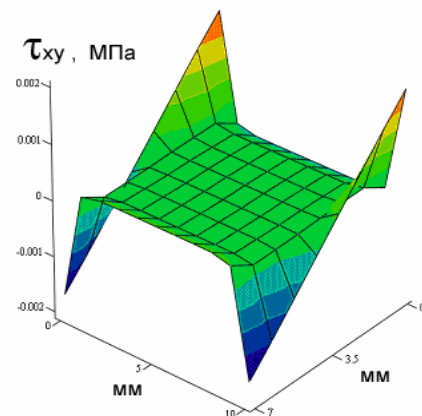


Рис. 6. Розподіл напружень τ_{xy} у площині адгезійного контакту

Аналіз дотичних напружень τ_{zy} показує, що максимальні дотичні напруження виникають поблизу вільних країв покриття. Ці напруження викликають відшарування покриття. Тому необхідно прагнути до зменшення величини цих напружень. Дотичні напруження τ_{xy} , які мають максимальні значення в кутових точках не так важливі, тому що їхні значення набагато менші, ніж величина інших дотичних напружень. Середні нормальні напруження σ_x в КХС покритті розтягуючі внаслідок різниці коефіцієнтів Пуассона основи і покриття. Ці напруження впливають на граничний стан покриття, тому їх необхідно враховувати при визначенні когезійної міцності КХС покриттів.

Оскільки граничний стан у покритті зумовлений його здатністю чинити опір нормальним напруженням, тому в якості критерію міцності доцільно використовувати теорію Писаренко-Лебедева. Критерій можна записати у вигляді [12]

$$\chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1 \leq [\sigma_+], \quad (5)$$

де σ_i – інтенсивність напружень, яку розраховуємо за формулою

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}; \quad (6)$$

напруження σ_1 і σ_2 розраховуємо відповідно до рекомендацій робіт [8-10]:

$$\chi = \frac{[\sigma_+]}{[\sigma_-]}; \quad (7)$$

$[\sigma_+]$, $[\sigma_-]$ – межі міцності покриття при розтягуванні й стисненні відповідно.

При деформації металевго зразка з плазмовим покриттям в останньому виникають еквівалентні напруги, які при когезійному руйнуванні покриття визначали відповідно до теорії міцності Писаренка-Лебедева $\sigma_{разр}^{ЭКВ}$ за формулою

$$\sigma^{ЭКВ} = \chi\sigma_i + (1-\chi)\sigma_1. \quad (8)$$

Міцність покриттів при стисненні визначали на зразках у вигляді тонкостінного кільця завтовшки 400 мкм і висотою 1 см. Внутрішній діаметр кільця складав 1,5 см. Отримані значення міцності покриттів при стискуванні $\sigma_{стиск}$ і напруження руйнування покриттів при розтягуванні $\sigma_{ког}$ наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 - Міцнісні властивості плазмових КХС покриттів

$\sigma_{ког}$, МПа	$\sigma_{стж}$, МПа
290	1261

Висновки. Розроблено технологію нанесення плазмових покриттів з кобальт-хромового сплаву на стоматологічні протези. Визначено пружні та міцнісні властивості КХС покриттів. Проведений аналіз напружено-деформованого стану покриття показав, що максимальний рівень нормальних напружень σ_z перебуває в областях, достатньо

віддалених від вільних країв покриття, тому розтріскування плазмового покриття при випробуваннях на розтяг починається у цих областях. Аналіз розподілу нормальних напружень σ_x показав, що в областях, достатньо віддалених від країв покриття, існують напруження, що розтягують покриття. Величина цих напружень залежить від різниці коефіцієнтів Пуассона основи та покриття. При зміні технологічних режимів напилювання можна змінити пружні властивості покриття, у тому числі й коефіцієнт Пуассона, й домогтися того, що ці нормальні напруження будуть стискаючими. Додаткові напруження σ_x можуть бути як одного знака із основними σ_x , так і різних. У нашому випадку необхідно прагнути до того, щоб ці напруження були одного знака.

Література

1. Бесов А.В. Возможности застосування плазмової технології в медицині / А.В.Бесов, В.В.Морозов // Металознавство та обробка металів. – 2002. – №3. – С. 62 – 66.
2. Characteristics and porcelain bond strength of (Ti,Al)N coating on dental alloys/ K.H.Chung, J.G.Duh, D.Shin, D.R.Cagna, R.J.Cronin // J. Biomed. Mater. Res. – 2002. – V. 63, No 5. – P. 516 – 521.
3. Daftary F. Effect of electrodeposition of gold on porcelain-to-metal bond strength / F.Daftary, T.Donovan // Journal of prosthetic dentistry. – 1987. – V. 57, No 1. – P. 41 – 46.
4. Effects of sputtered metal oxide films on the ceramic-to-metal bond / J.T.Bullard, R.E.Dill, V.A.Marker, E.V.Payne // Journal of prosthetic dentistry. – 1985. – V. 54, No 6. – P. 776 – 778.
5. Yoshinari M. Metal surface modification by ceramic film coating // Shika gakuho. Dental science reports. – 1990. – V. 90, No4. – P.671 – 684.
6. O'Connor R.P. Effect of internal microblasting on retention of cemented cast crowns/ R.P.O'Connor, A.Nayyar, R.E.Kovarik // The Journal of prosthetic dentistry. – 1990. – V. 64, No 5. – P. 557 – 562.
7. Патент 48648А Україна, МПК В 22 F 3/12. Спосіб виготовлення порошків кобальт-хромових сплавів для нанесення газотермічних покриттів на медичні вироби / А.В.Бесов, В.А.Маслюк, А.М.Степанчук; заявник Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”. – №2001117465; заявл. 01.11.2001; опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.
8. Долгов Н.А. Влияние различия характеристик упругости основы и покрытия на напряженно-деформированное состояние композиции. Сообщение 1. К оценке напряжений растяжения в покрытии / Н.А.Долгов, Б.А.Ляшенко, Я.Я.Рущицкий [и др.] // Проблемы прочности. – 1995. – №9. – С. 37 – 43.
9. Долгов Н.А. Влияние различия характеристик упругости основы и покрытия на напряженно-деформированное состояние композиции. Сообщение 2. Распределение напряжений растяжения в покрытии / Н.А.Долгов, Б.А.Ляшенко, Я.Я.Рущицкий [и др.] // Там же. – 1996. – №5. – С. 63 – 67.
10. Долгов Н.А. Влияние различия характеристик упругости основы и покрытия на напряженно-деформированное состояние композиции. Сообщение 3. Распределение касательных и нормальных напряжений в покрытии / Н.А.Долгов, Б.А.Ляшенко, Я.Я.Рущицкий [и др.] // Там же. – 1997. – №6. – С. 66 – 70.
11. Долгов Н.А. К определению характеристик упругости защитных покрытий / Н.А.Долгов, Б.А.Ляшенко, В.С.Веремчук, Ю.В. Дмитриев // Проблемы прочности.–1995. – №7. – С. 48 – 51.
12. Сопrotивление материалов / Справочное пособие / Отв. ред. В.Т.Трощенко. – Киев: Наук. думка. – Ч.1. – 1994. – 288с.

Одержано 25.10.2009 р