

достигаемой при кокильном литье. Так же уменьшается глубина межкристаллитной коррозии и её колебания соответственно в 2,8 и 3,3 раза (при 0,1 Тл), в 1,3 и 1,9 раза (при 0,2 Тл).

E. V. Seredenko

Structure and properties of aluminum alloy with silicon and copper, processed by magnetic field during cooling and solidification

Summary

Constant magnetic field with induction of 0.1 and 0.2 T increases hardness of the AK12M2 cast alloy, solidified with cooling rate typical for casting in sand mold, up to level of the alloy crystallized at high cooling rate, achieved in a metallic form. Also this field decreases a depth of intermetallic corrosion and its oscillations, correspondently, in 2.8 and 3.3 times (at 0.1 T), in 1.3 and 1.9 times (at 0.2 T).

УДК 669.017./018:616.314-76/77

Термофізичні властивості сплавів на основі системи нікель-хром для ортопедичної стоматології

В. Г. Іванченко, доктор технічних наук, професор

С. М. Северина, кандидат технічних наук

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

Визначено коефіцієнти термічного розширення сплавів для виготовлення незнімних литих металокерамічних зубних протезів. Показано, що досліджувані сплави відповідають вимогам, які ставляться до КТР металевої основи ортопедичних сплавів та керамічного покриття. На основі аналізу діаграм стану двокомпонентних систем визначено параметри кристалізації складнолегованих нікель-хромових сплавів.

Одним з важливих розділів ортопедичної стоматології є фізичне матеріалознавство, знання якого дозволяє отримати необхідний рівень фізико-механічних властивостей сплавів для дентальних металевих конструкцій, зокрема тих, які призначені для покриття керамікою (порцеляною).

Металокерамічні протези є індиферентними до організму. При використанні незнімних зубних протезів, облицьованих керамічною масою «Ультропалін», не відбувається суттєвих змін імунобіологічних властивостей слини [1]. Крім того, вони відповідають не тільки функціональним, але також естетичним вимогам.

Структура і фізико-механічні властивості

До сплавів, призначених для виготовлення каркасів металокерамічних зубних коронок та мостів, ставиться низка вимог. Актуальним питанням при цьому є сумісність сплавів з відповідними порцеляновими масами, тобто величини їх коефіцієнтів термічного розширення (КТР) мають бути близькими в інтервалі тверднення порцеляни. При недотриманні цієї вимоги ймовірним є сколювання покриття (67 % від загальної кількості сколів) через можливе виникнення силових напружень у кераміці. Покривні маси «VITA Omega 900», «IPS», «Duceram», «Ультропалін», «EX-3 Noritake» – матеріали для облицювання каркасів, виготовлених зі сплавів, які мають КТР $13,8 - 15,2 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$; $14,0 - 15,0 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$; $13,8 - 15,4 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$; $13,8 - 14,4 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$; $13,3 - 14,3 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$, відповідно. Наступним важливим питанням є температура початку плавлення сплаву, яка має бути вищою за температуру відпаалу кераміки.

Для отримання якісного металокерамічного протезу необхідне також створення шару з оксидів або шпінелей на поверхні металу між каркасом і порцеляною масою, що забезпечує достатню адгезію між ними. Цьому сприяє легування нікель-хромових сплавів алюмінієм та кремнієм [2].

Коефіцієнт термічного розширення визначали за допомогою автоматизованого кварцового дилатометра, розробленого ІМФ НАН України. Було використано зразки нікель-хромових сплавів 33 та 40 діаметром 4 – 5 мм та довжиною 10 – 20 мм. Вимірювання проводили в інтервалі температур 0 – 800 °С в середовищі гелію при атмосферному тиску.

Металографічні дослідження сплавів здійснено за допомогою оптичного мікроскопу Neophot-32. Шліфи досліджуваних сплавів готували за стандартною методикою. Кінцеве полірування проводили на сукні з використанням водної суспензії оксиду хрому з подальшим електrolітичним поліруванням. Склад електrolіту: 70% етилового спирту, 20 % HClO_4 , 10 % гліцерину.

Твердість сплавів за методом Віккерса вимірювали на твердомірі ХПО-250 при навантаженні 10 кг і витримці під навантаженням 20 с.

Для перевірки можливості використання розроблених сплавів 33 та 40 (табл. 1) [3] під покриття керамікою було визначено їх КТР в інтервалі температур $\sim 200 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 1, 2).

Таблиця 1

Хімічний склад нікель-хромових сплавів

Сплав	Концентрація компонентів, % (по масі)								
	Ni	Fe	Cr	Mo	Be	W	Ti	Si	Al
40	57,64	3,99	30,00	2,86	-	3,77	1,41	0,33	-
33	59,00	3,50	29,00	2,81	-	3,30	1,14	0,28	0,97
Argeloy N.P	76,00	-	14,00	6,00	1,80	-	-	-	2,00

Використовуючи залежності КТР сплавів від температури, які представлено на рис. 1 та 2, можна зробити висновок, що КТР змінюється близько до лінійного закону.

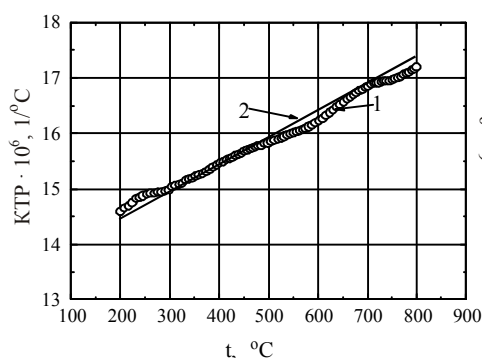


Рис. 1. Залежність коефіцієнта термічного розширення від температури сплаву 33. 1 – отримано експериментально, 2 – отримано методом найменших квадратів.

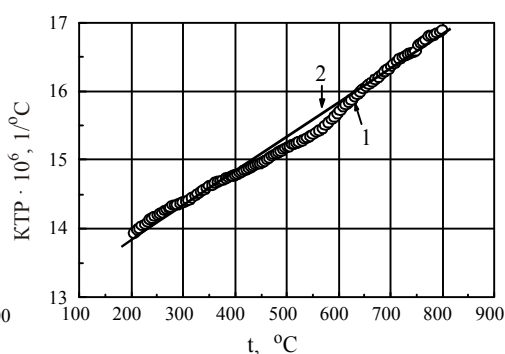


Рис. 2. Залежність коефіцієнта термічного розширення від температури сплаву 40. 1 – отримано експериментально, 2 – отримано методом найменших квадратів.

Завдання зводилося до того, щоб знайти рівняння прямої (1), яке б найкращим чином описувало масив з експериментальних точок

$$\alpha = at + b, \quad (1)$$

де t – температура, $^{\circ}\text{C}$, α – коефіцієнт термічного розширення сплавів.

Для цього було використано метод найменших квадратів [4].

Задачу вирішено з використанням програми Excel. Знайдено коефіцієнти (a,b) температурних залежностей КТР сплавів 33 та 40: Таким чином,

$$\begin{aligned} \alpha(t) &= 0,004 \times 10^{-6}t + 13,7 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ (для сплаву 33)}, \\ \alpha(t) &= 0,005 \times 10^{-6}t + 12,8 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{ (для сплаву 40)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Згідно з отриманими рівняннями (2) КТР досліджуваних сплавів 33 та 40 в інтервалі температур 25 – 500 $^{\circ}\text{C}$ становить $14,8 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ та $14,1 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$, відповідно (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти термічного розширення розроблених та закордонних сплавів в інтервалі температур 25 – 500 $^{\circ}\text{C}$

Назва сплаву	КТР
33	$14,8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
40	$14,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
Remanium CSe (Dentaurum)	$14,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
Heranium NA (Kulzer)	$14,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

На основі отриманих результатів можна стверджувати, що запропоновані нікель-хромові сплави, мікроструктури яких наведено на рис. 3, відповідають вимогам щодо КТР металевій основи ортопедичних сплавів та відповідного керамічного покриття. У табл. 3 [5] приведено коефіцієнти термічного розширення коронкової частини та кореня зуба, що має інтерес для стоматології.

Сплави 33 та 40 за своєю твердістю (табл. 4) не поступаються відомим сплавам закордонного виробництва.

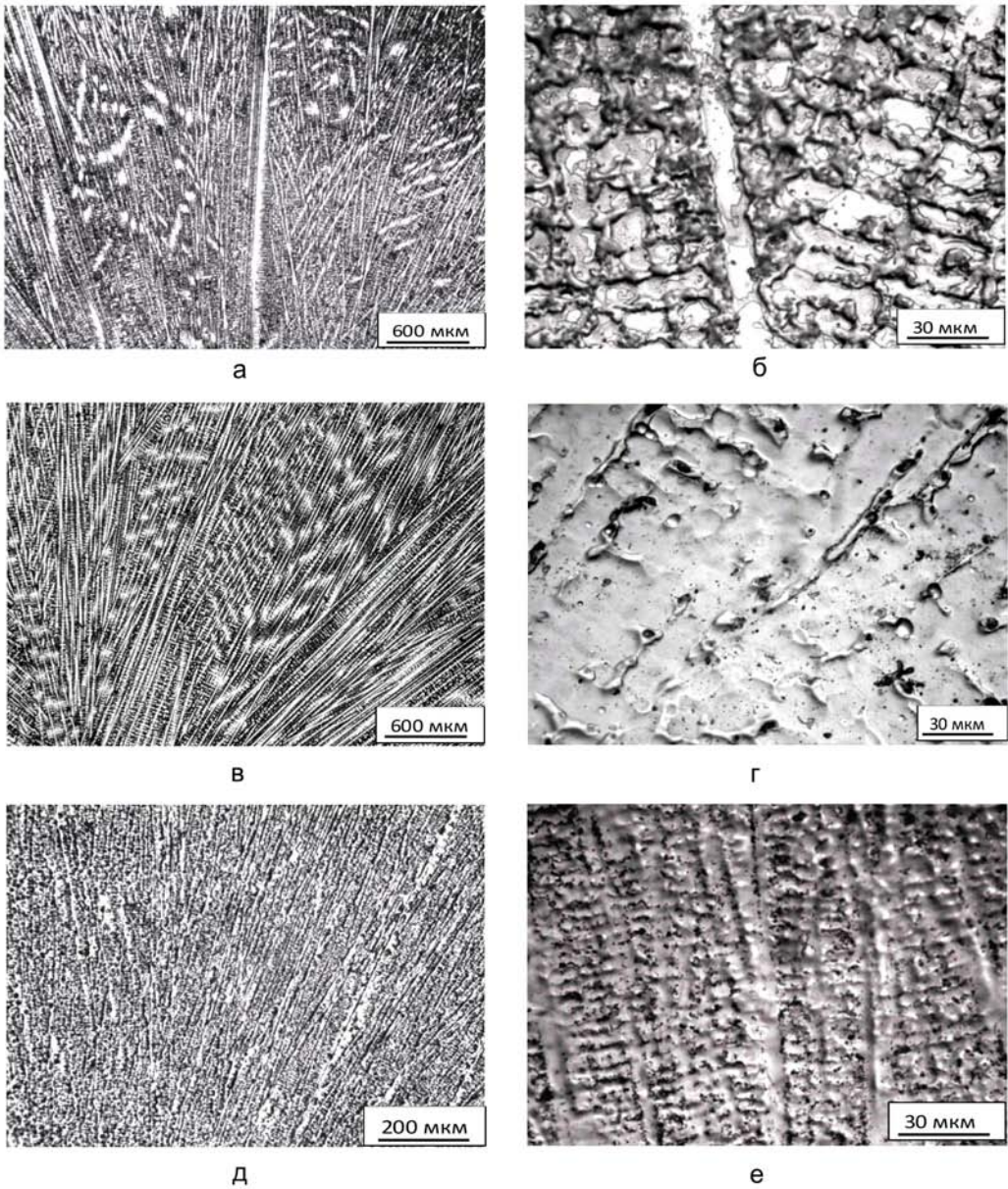


Рис. 3. Мікроструктури нікель-хромових сплавів. а, б – сплав 33 (вітчизняний), в, г – сплав 40 (вітчизняний), д, е – сплав Argeloy N.P. закордонного виробництва.

Температуру плавлення нікель-хромових сплавів на основі нікелю запропоновано [6] оцінювати з використанням формули:

$$T_{(Ni)}^{sol} = T_{Ni}^{sol} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{Cr}}\right)^{sol} \times C_{Cr} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{Mo}}\right)^{sol} \times C_{Mo} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{Fe}}\right)^{sol} \times C_{Fe} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{Si}}\right)^{sol} \times C_{Si} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{Al}}\right)^{sol} \times C_{Al} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{W}}\right)^{sol} \times C_{W} + \left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_{Ti}}\right)^{sol} \times C_{Ti}, \quad (3)$$

Таблиця 3
Коефіцієнти лінійного термічного розширення (α) для деяких стоматологічних матеріалів

Найменування матеріалу	$\alpha, (1/^\circ\text{C})$	Діапазон температур, $^\circ\text{C}$
Коронка зуба	$11,4 \cdot 10^{-6}$	20–50
Корінь зуба	$8,3 \cdot 10^{-6}$	20–50

Таблиця 4
Твердість розроблених сплавів та сплавів закордонного виробництва

Сплав	Твердість HV
Сплав 33	217
Сплав 40	220
Argeloy N.P.	200
Remanium CSe (Dentaurum)	195
Heranium NA (Kulzer)	200

де $\left(\frac{\partial T_{Ni}}{\partial C_i}\right)^{sol}$ – тангенс кута нахилу дотичної до лінії солідусу, проведеної з точки плавлення чистого нікелю на відповідних бінарних діаграмах стану в межах, як правило, розбавленого розчину, де відрізок кривих солідусу є близьким до прямої лінії [7], C – концентрація компонентів сплаву, ат. %.

Так, для сплаву 33:

$$T_{(Ni)}^{sol} = 1455 - 2,3 \times C_{Cr} - 0,001 \times C_{Mo} + 4,76 \times C_W - 0,44 \times C_{Fe} - 19,75 \times C_{Si} - 14,87 \times C_{Ti} - 3,3 \times C_{Al} = 1413 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Для сплаву 40:

$$T_{(Ni)}^{sol} = 1455 - 2,3 \times C_{Cr} - 0,001 \times C_{Mo} + 4,76 \times C_W - 0,44 \times C_{Fe} - 19,75 \times C_{Si} - 14,87 \times C_{Ti} = 1343 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

З формули видно, як впливають легуючі елементи на температуру солідусу сплавів нікелю у межах легуючого комплексу.

Таким чином, отриманий комплекс фізичних властивостей (відповідність КТР кераміки і основи металу, температура плавлення менша за температуру відпалу порцеляни, необхідний рівень легування) запропонованих нікель-хромових сплавів 33 та 40 дає підстави вважати їх придатними для цільового використання.

Висновки Визначені температурні залежності коефіцієнта термічного розширення запропонованих сплавів на основі нікель-хром показали повну їх відповідність до КТР відповідного керамічного покриття для дентальних протезів і становить $14,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ та $14,1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ в інтервалі температур від 25 до 500 $^\circ\text{C}$.

Аналіз експериментальних дилатометричних досліджень дає підстави вважати сплав 33 та 40 перспективними для застосування при зубному протезуванні металокерамікою.

Література

1. Бобокал А.Н. Клинико-экспериментальное обоснование применения керамической массы “Ультропалин” при несъемном протезировании. – Дис. ... канд. мед. наук / Национальный медицинский университет ім. А. А. Богомольца. – Киев, 2003. – 147 с.
2. Жулев Е.Н. Материаловедение в ортопедической стоматологии. – Н. Новгород: НГМА, 1997. – 136 с.
3. Патент України на винахід № 102806. МПК С22С 19/05 (2006.01). Стоматологічний сплав на основі нікелю / В.Г. Иванченко, С.П. Ошкадєров, О.В. Павленко, С.М. Северина // Бюл. “Промислова власність”. – 2013. – №15.
4. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на фортране. – М.: Мир: 1977. – 576 с.
5. O'Brien W.J. Dental Materials and Their Selection. – Quintessence Publ. Co., Inc, 2002.
6. Иванченко В.Г., Ошкадєров С.П., Северина С.Н. Определение оптимальных составов литых сложнолегированных с твердорастворным упрочнением сплавов на основе никель-хром для ортопедической стоматологии // Металлофизика и новейшие технологии. – 2012. – 34, № 8. – С. 1133 – 1143.
7. Massalski T.B. Binary Alloy Phase Diagrams // ASM International. Metals Park, Ohio. – 1990.

Одержано 15.05.14

В. Г. Иванченко, С. Н. Северина

Термофизические свойства сплавов на основе системы никель-хром для ортопедической стоматологии

Резюме

Определены коэффициенты термического расширения сплавов для изготовления несъемных литых металлокерамических зубных протезов. Показано, что исследуемые сплавы соответствуют требованиям, которые предъявляются к КТР металлической основы ортопедических сплавов и керамического покрытия. На основе анализа диаграмм состояния двухкомпонентных систем определены параметры кристаллизации сложнолегированных никель-хромовых сплавов.

V. G. Ivanchenko, S. N. Severina

Thermophysic properties of alloys on the basis of Nickel-Chromium for prosthetic dentistry

Summary

The coefficients of thermal expansion of the alloys used for making of unremovable cast ceramet dentures are determined. It is shown that the investigated alloys conform the requirements for coefficients of thermal expansion of orthopaedic alloys and ceramic coating. On the basis of analysis of phase diagrams of the binary systems the temperature parameters of crystallization of multicomponent nickel-chromic-based alloys are determined.