

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

На правах рукопису

Шадріна Галина Миколаївна

УДК 666.293 : 669.295

**СКЛОКРИСТАЛІЧНІ ПОКРИТТЯ ПО СПЛАВАХ ТИТАНУ В  
СИСТЕМІ  $R_2O - RO - RO_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$   
ДЛЯ КІСТКОВОГО ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ**

Спеціальність 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник  
Саввова Оксана Вікторівна,  
доктор технічних наук, доцент

Харків – 2016

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В РОЗВИТКУ БІОАКТИВНИХ ПОКРИТТІВ ПО МЕТАЛАХ ДЛЯ КІСТКОВОГО ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ.....	15
1.1. Загальна класифікація біоматеріалів та напрямки прикладних досліджень в області біоматеріалознавства.....	15
1.2. Особливості отримання біоактивних покриттів по титану та його сплавах для кісткового ендопротезування.....	22
1.2.1. Біоактивні керамічні покриття: види, переваги та недоліки, технології нанесення.....	23
1.2.2. Біоактивні покриття на основі кальційсилікофосфатного скла: особливості складів та технології нанесення.....	31
1.3. Вплив властивостей титану та титанових сплавів на вибір режиму термічної обробки біоактивних покриттів при емалюванні.....	36
1.4. Перспективні напрямки отримання інноваційних динамічно навантажених біоактивних склокристалічних покриттів.....	41
1.5. Висновки за розділом.....	43
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАПРЯМКІВ І МЕТОДИК ДОСЛІДЖЕНЬ.....	44
2.1. Вибір напрямків досліджень.....	44
2.2. Методика досліджень фізико-хімічних властивостей стекел та склокристалічних покриттів на їх основі.....	46
2.2.1. Визначення структурних критеріїв скломатриці.....	48
2.2.2. Визначення показнику рівня біоактивності склокристалічних покриттів <i>in vivo</i> .....	51
2.2.3. Методика дослідження поведінки склокристалічних покриттів <i>in vitro</i> .....	51
2.2.4. Методика визначення механічних властивостей склокристалічних покриттів.....	53
2.2.5. Методика визначення вільної енергії поверхні склокристалічних покриттів.....	54

2.2.6. Методика визначення токсичності склокристалічних покриттів.....	55
2.2.7. Методика визначення біосумісності склокристалічних покриттів.....	60
2.3. Сировинні матеріали, варка стекол та нанесення склокристалічних покриттів.....	61
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СКЛАДІВ МОДЕЛЬНИХ СТЕКОЛ В СИСТЕМІ $R_2O - RO - RO_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ ТА ОДЕРЖАННЯ НА ЇХ ОСНОВІ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ ПОКРИТТІВ ПО СПЛАВАХ ТИТАНУ.....	
3.1. Обґрунтування комплексу вимог до властивостей біоактивних склокристалічних покриттів по сплавах титану.....	63
3.2. Вибір вихідної оксидної системи та розроблення складів модельних стекол для одержання біоактивних склокристалічних покриттів.....	68
3.3. Розрахунок значень структурних критеріїв скломатриці – основи біоактивних склокристалічних покриттів.....	75
3.4. Дослідження області склоутворення в системі $R_2O - RO - RO_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ .....	78
3.5. Дослідження процесів структуроутворення в модельних стеклах системи $R_2O - RO - RO_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ .....	80
3.5.1. Дослідження кристалізаційної здатності модельних стекол.....	80
3.5.1.1. Дослідження кристалізаційної здатності модельних стекол серії Т.....	80
3.5.1.2. Дослідження кристалізаційної здатності модельних стекол серії АП.....	84
3.5.2. Дослідження структури модельних стекол.....	86
3.5.2.1. Дослідження структури модельних стекол серії Т.....	87
3.5.2.2. Дослідження структури модельних стекол серії АП.....	90
3.5.3. Вивчення процесів формування закристалізованої структури модельних стекол у взаємозв'язку з в'язкістю при термічній обробці.....	93

3.6. Визначення властивостей модельних стекел.....	102
3.6.1. Дослідження температурного коефіцієнту лінійного розширення модельних стекел.....	102
3.6.2. Визначення крайового кута змочування розплавами модельних стекел поверхні титанових сплавів.....	105
3.7. Одержання склокристалічних покриттів по сплавах титану.....	108
3.7.1. Обґрунтування вибору методу підготовки поверхні титанових сплавів перед нанесенням склокристалічних покриттів.....	108
3.7.2. Одержання склокристалічних покриттів по сплавах титану за шлікерною технологією.....	112
3.7.2.1. Вибір робочих параметрів шлікерів та нанесення склокристалічних покриттів на титанові сплави.....	112
3.7.2.2. Одержання склокристалічних покриттів на поверхнево модифікованих титанових сплавах.....	116
3.8. Вивчення впливу структури та фазового складу склокристалічних покриттів на рельєф їх поверхні.....	122
3.9. Висновки за розділом.....	125
<b>РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ РОЗРОБЛЕНИХ ПОКРИТТІВ <i>IN VITRO</i> ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....</b>	<b>127</b>
4.1. Дослідження розчинності склокристалічних покриттів у фізіологічних середовищах.....	127
4.1.1. Оцінка біологічної дії склокристалічних покриттів.....	127
4.1.2. Дослідження розчинності склокристалічних покриттів у дистильованій воді.....	129
4.1.3. Дослідження поведінки склокристалічних покриттів у модельній рідині організму.....	132
4.1.3.1. Встановлення динаміки розчинності склокристалічних покриттів у модельній рідині організму.....	132
4.1.3.2. Дослідження структури та хімічного складу поверхневого шару склокристалічних покриттів після витримки у модельній рідині організму.....	135
4.2. Дослідження вільної енергії поверхні покриттів до витримки в альбуміні та після неї.....	139

4.3. Визначення механічних властивостей склокристалічних покриттів.....	145
4.4. Висновки за розділом.....	150
РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ БІОАКТИВНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ ПОКРИТТІВ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ДОСЛІДНО – ЛАБОРАТОРНИХ І ДОСЛІДНО – ПРОМИСЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	152
5.1. Розроблення технології одержання біоактивних склокристалічних покриттів.....	152
5.2. Дослідно-промислові випробування.....	154
5.3. Дослідно-лабораторні випробування.....	154
5.3.1. Оцінка деструкції.....	154
5.3.2. Дослідження біологічної сумісності розроблених покриттів.....	154
5.3.3. Біотестування щодо токсичності розроблених покриттів.....	157
ВИСНОВКИ.....	161
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	164
ДОДАТКИ.....	189
ДОДАТОК А. Акт дослідно-промислового випробування біоактивного склокристалічного покриття ТЗ.....	190
ДОДАТОК Б. Експертний висновок про оцінку деструкції склокристалічного покриття ТЗ.....	191
ДОДАТОК В. Експертне заключення про біологічну сумісність склокристалічного матеріалу ТЗ для створення біоінженерної конструкції зі стовбуровими клітинами.....	192
ДОДАТОК Г. Експертне заключення про біологічну сумісність склокристалічного матеріалу АП-10 для створення біоінженерної конструкції зі стовбуровими клітинами.....	193
ДОДАТОК Д. Експертний висновок за результатами біотестування щодо токсичності склокристалічних покриттів ТЗ та АП-10 по сплавах титану.....	194
ДОДАТОК Е. Довідка про впровадження матеріалів дисертаційної роботи в практику навчального процесу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».....	195