

# Spis treści

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Przedmowa .....                                                                   | 7  |
| <b>1. Wstęp</b> .....                                                             | 9  |
| 1.1. Biomateriały metalowe .....                                                  | 9  |
| 1.2. Tytan jako biomateriał .....                                                 | 11 |
| 1.3. Technologie wytwarzania implantów tytanowych .....                           | 16 |
| 1.4. Warstwy powierzchniowe na implantach .....                                   | 23 |
| Literatura .....                                                                  | 26 |
| <b>2. Biomateriały tytanowe i wytwarzane na nich warstwy powierzchniowe</b> ..... | 28 |
| 2.1. Tytan, jego stopy i związki .....                                            | 28 |
| 2.1.1. Tytan i stopy tytanu o strukturze $\alpha$ .....                           | 28 |
| 2.1.2. Stopy tytanu o strukturze $\alpha + \beta$ .....                           | 35 |
| 2.1.3. Stopy tytanu o strukturze $\beta$ .....                                    | 40 |
| 2.1.4. Stopy nanokrystaliczne tytanu .....                                        | 44 |
| 2.1.5. Porowaty tytan i jego stopy .....                                          | 46 |
| 2.1.6. Kompozyty tytan-ceramika.....                                              | 47 |
| 2.2. Warstwy powierzchniowe na tytanie i jego stopach.....                        | 48 |
| 2.2.1. Tlenki .....                                                               | 48 |
| 2.2.2. Azotki .....                                                               | 53 |
| 2.2.3. Fosforany.....                                                             | 55 |
| 2.2.4. Powłoki diamentopodobne .....                                              | 59 |
| Literatura .....                                                                  | 61 |
| <b>3. Powierzchnia biomateriałów</b> .....                                        | 65 |
| 3.1. Budowa i wymagania powierzchni biomateriałów .....                           | 65 |
| 3.2. Metody charakteryzacji powierzchni biomateriałów .....                       | 67 |
| 3.2.1. Struktura i mikrostruktura .....                                           | 67 |
| 3.2.1.1. Dyfrakcja rentgenowska .....                                             | 67 |
| 3.2.1.2. Mikroskopia optyczna .....                                               | 69 |
| 3.2.1.3. Transmisyjna mikroskopia elektronowa .....                               | 71 |
| 3.2.2. Morfologia powierzchni .....                                               | 73 |
| 3.2.2.1. Skaningowa mikroskopia elektronowa .....                                 | 73 |
| 3.2.2.2. Mikroskopia sił atomowych .....                                          | 75 |
| 3.2.2.3. Mikroskopia fluorescencyjna i konfokalna .....                           | 78 |
| 3.2.2.4. Profilometria .....                                                      | 80 |
| 3.2.3. Skład chemiczny powierzchni .....                                          | 82 |
| 3.2.3.1. Podstawy zjawisk powierzchniowych .....                                  | 82 |
| 3.2.3.2. Spektroskopia fotoelektronów .....                                       | 84 |
| 3.2.3.3. Spektroskopia masowa jonów wtórnych .....                                | 86 |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.4. Właściwości użytkowe powierzchni .....                    | 87         |
| 3.2.4.1. Właściwości mechaniczne .....                           | 87         |
| 3.2.4.2. Porowatość .....                                        | 92         |
| 3.2.4.3. Odporność korozyjna .....                               | 95         |
| 3.2.4.4. Zwilżalność .....                                       | 99         |
| 3.2.4.5. Biozgodność .....                                       | 101        |
| Literatura .....                                                 | 103        |
| <b>4. Modyfikacja powierzchni biomateriałów tytanowych .....</b> | <b>106</b> |
| 4.1. Wprowadzenie .....                                          | 106        |
| 4.2. Typy powierzchni implantów tytanowych .....                 | 110        |
| 4.3. Trawienie chemiczne .....                                   | 116        |
| 4.3.1. Podstawy procesu .....                                    | 116        |
| 4.3.2. Właściwości powierzchni .....                             | 117        |
| 4.4. Polerowanie elektrochemiczne .....                          | 121        |
| 4.4.1. Podstawy procesu .....                                    | 121        |
| 4.4.2. Właściwości powierzchni .....                             | 122        |
| 4.5. Utlenianie anodowe .....                                    | 125        |
| 4.5.1. Podstawy procesu .....                                    | 125        |
| 4.5.2. Właściwości powierzchni .....                             | 126        |
| 4.6. Osadzanie elektrochemiczne .....                            | 148        |
| 4.6.1. Podstawy procesu .....                                    | 148        |
| 4.6.2. Właściwości powierzchni .....                             | 148        |
| 4.7. Azotowanie .....                                            | 159        |
| 4.7.1. Podstawy procesu .....                                    | 159        |
| 4.7.2. Właściwości powierzchni .....                             | 161        |
| 4.8. Chemiczne osadzanie z fazy gazowej .....                    | 170        |
| 4.8.1. Podstawy procesu .....                                    | 170        |
| 4.8.2. Właściwości powierzchni .....                             | 172        |
| 4.9. Fizyczne osadzanie z fazy gazowej .....                     | 176        |
| 4.9.1. Podstawy procesu .....                                    | 176        |
| 4.9.2. Właściwości powierzchni .....                             | 176        |
| 4.10. Natryskiwanie plazmowe .....                               | 180        |
| 4.10.1. Podstawy procesu .....                                   | 180        |
| 4.10.2. Właściwości powierzchni .....                            | 181        |
| 4.11. Implantacja jonów .....                                    | 188        |
| 4.11.1. Podstawy procesu .....                                   | 188        |
| 4.11.2. Właściwości powierzchni .....                            | 189        |
| 4.12. Piaskowanie .....                                          | 191        |
| 4.12.1. Podstawy procesu .....                                   | 191        |
| 4.12.2. Właściwości powierzchni .....                            | 192        |

---

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.13. Osadzanie biomimetyczne .....                                          | 194        |
| 4.13.1. Podstawy procesu .....                                               | 194        |
| 4.13.2. Właściwości powierzchni .....                                        | 195        |
| 4.14. Zol-żel .....                                                          | 199        |
| 4.14.1. Podstawy procesu .....                                               | 199        |
| 4.14.2. Właściwości powierzchni .....                                        | 200        |
| 4.15. Laserowe metody przyrostowe .....                                      | 201        |
| 4.15.1. Podstawy procesu .....                                               | 201        |
| 4.15.2. Właściwości powierzchni .....                                        | 203        |
| Literatura .....                                                             | 206        |
| <b>5. Perspektywy rozwoju powierzchni biomateriałów – podsumowanie .....</b> | <b>217</b> |