

# สารบัญ

บทที่ 1 วัสดุศาสตร์ และสมบัติทางวัสดุศาสตร์ (Materials Science and Properties)	2
วัสดุศาสตร์ (materials science).....	3
การแบ่งกลุ่มวัสดุ (classification of materials) .....	3
สมบัติทางวัสดุศาสตร์ (properties in material science) .....	11
สมบัติเชิงกายภาพ (physical properties) .....	12
สมบัติเชิงกายภาพด้านความร้อน (thermal properties).....	12
สมบัติเชิงกายภาพด้านแสง (optical properties) .....	15
สมบัติเชิงกายภาพด้านการไหล (rheological properties) .....	18
สมบัติทางเคมี (chemical properties) .....	19
สมบัติเชิงกล (mechanical properties) .....	29
มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) .....	34
อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) .....	36
สภาพดึงยืดได้ (ductility) สภาพตีให้แพได้ (malleability) และความเปราะ (brittleness) .....	39
ความยืดหยุ่น (resilience) และการทนความเค้น (toughness) .....	40
ความแข็งแรงจำเพาะ (specific strength) .....	41
ความแข็ง (hardness).....	42
สมบัติเชิงชีวภาพ (biological properties) .....	46
สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) .....	46
สมบัติของโลหะที่สัมพันธ์กับสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (properties of metal related to biocompatibility).....	47
การทดสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility test).....	49
การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ (how to prevent metals from corrosion).....	52

**บทที่ 2 โลหะวิทยาพื้นฐาน (Fundamental Metallurgy Science) 56**

หลักการพื้นฐาน (fundamental concepts)..... 57

    กลไกการสร้างผลึก และการเกิดนิวคลีไอของโลหะ: (crystallization and nucleation of metal) ..... 61

    ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของเกรนโลหะ: (contributing factors to grain size of metal)..... 62

    อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิตั้งของโลหะ:  
    (melting and freezing temperature of metal)..... 63

การจำแนกประเภทของโลหะ: (classification of metal) ..... 65

    จำแนกประเภทโลหะทางโลหะวิทยา (metallurgical classification)..... 65

        โลหะเหล็กกลุ่มเหล็ก (ferrous alloys) ..... 66

        โลหะเจือนอกกลุ่มเหล็ก (non-ferrous alloys)..... 68

    จำแนกประเภทโลหะตามระบบโครงสร้างวิภาค (equilibrium-phase diagram classification) ..... 70

        โลหะเจือระบบสารละลายของแข็ง (solid-solution alloy)..... 71

        โลหะเจือยูเทกติก (eutectic alloy)..... 72

        โลหะเจือเพอริเทกติก (peritectic alloy)..... 72

    จำแนกประเภทโลหะทางทันตกรรม (classifications of metals in dentistry)..... 75

        โลหะมีสกุล (noble metals)..... 75

            โลหะมีสกุลที่ใช้บ่อยในงานทันตกรรม (common noble metals used in dentistry) .....76

        โลหะพื้นฐาน (base metals) ..... 77

            โลหะพื้นฐานที่ใช้บ่อยในงานทันตกรรม (common base metals used in dentistry)..... 77

**บทที่ 3 โลหะเจือในทางทันตกรรม (Metal Alloys in Dentistry) 84**

โลหะเจือมีสกุล (noble metal alloys) ..... 86

โลหะเจือพื้นฐาน (base metal alloys) ..... 90

โลหะเจือในงานโลหะเคลือบพอร์ซเลน (ceramo-metal alloys)..... 94

    สมบัติที่สำคัญของโลหะเจือที่ใช้ในงานโลหะเคลือบพอร์ซเลน  
    (properties of alloy for porcelain fused to metal restoration) ..... 94

    ประเภทโลหะเจือในงานโลหะเคลือบพอร์ซเลน (types of ceramo-metal alloys)..... 96

    กลไกการเชื่อมยึดระหว่างโลหะและพอร์ซเลน (mechanisms of metal-porcelain bonding) ..... 99

โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) และโลหะเจือกลุ่มโคบอลต์ (cobalt-based alloys).....	107
โลหะไทเทเนียม และโลหะเจือไทเทเนียม (titanium and titanium alloys).....	110
การผลิตโลหะไทเทเนียม (extraction of titanium).....	111
สมบัติเชิงกายภาพของโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์และโลหะเจือไทเทเนียม (physical properties of titanium and titanium alloys).....	112
ประเภทโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ และโลหะเจือไทเทเนียมที่ใช้ในงานทันตกรรม (commmercially pure titanium and titanium alloys used in dentistry) .....	116
โลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ (cp Ti).....	116
โลหะเจือไทเทเนียม-6อะลูมิเนียม-4วานาเดียม (Ti-6Al-4V alloy) และโลหะเจือไทเทเนียม-6อะลูมิเนียม-7ไนโอเบียม (Ti-6Al-7Nb alloy).....	118
โลหะเจือไทเทเนียม-เซอร์โคเนียม (Ti-Zr alloy).....	119
โลหะเจือนิกเกิล-ไทเทเนียม (Ni-Ti alloy).....	120
โลหะไทเทเนียมกับงานทางทันตกรรมประดิษฐ์ (titanium in prosthodontics) .....	124
งานฟันเทียมชนิดถอดได้ (removable prostheses).....	124
งานฟันเทียมชนิดติดแน่น (fixed prostheses) .....	126
ข้อจำกัดการขึ้นรูปชิ้นงานโลหะไทเทเนียมด้วยวิธีการหล่อ (limitations of titanium casting process) .....	128
สมบัติการต้านทานการกัดกร่อน และสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพของโลหะไทเทเนียม (corrosion resistance and biocompatibility of titanium) .....	130
ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการยึดติดระหว่างโลหะไทเทเนียมกับพอร์ซเลน (factors to the success of titanium-porcelain bonding).....	134

## บทที่ 5 โลหะไทเทเนียมกับทันตกรรมรากเทียม (Titanium and Dental Implant)

142

ประเภทของรากเทียม (classification of dental implant) .....	144
การเหนี่ยวนำให้เกิดการสร้างกระดูก การชักนำเนื้อเยื่อกระดูก และการเกิดกระดูกเชื่อมประสาน (osteoinduction, osteoconduction and osseointegration).....	146
การปรับเปลี่ยนผิวรากเทียม (surface modification of dental implant) .....	151
วิธีการปรับเปลี่ยนผิวรากเทียม (techniques of implant surface modification).....	156
เทคนิคการพ่นทรายและกัดด้วยกรด (grit-blasting and acid etching) .....	156
เทคนิคการลอกออกด้วยเลเซอร์ (laser ablation).....	158
เทคนิคพลาสมาสเปรย์ (plasma spray) .....	159
เทคนิคดีสครีต คริสตัลไลน์ เดโพสิชัน (discrete crystalline deposition).....	159
เทคนิคแอโนไดเซชัน (anodization/anodic oxidation).....	160
เทคนิคการเคลือบผิวด้วยสารชีวโมเลกุล (functionalized with biomolecules) .....	164
เทคนิคการเคลือบผิวด้วยสารกราฟีน/อนุพันธ์ของกราฟีน (immobilization with graphene/derivatives of graphene).....	165
กราฟีนกับงานทันตกรรมและรากเทียม (graphene for dental applications and dental implant).....	170

## บทที่ 6 การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing)

182

โลหะผงวิทยา (powder metallurgy).....	185
กระบวนการผลิตผงโลหะ: (metal powder manufacturing) .....	186
การทำให้เป็นละออง (atomization) .....	186
การทำออกไซด์ รีดักชัน (oxide reduction) .....	188
การบดละเอียด (pulverization).....	189
การกระจายตัวของขนาดอนุภาคผง (particle/powder size distribution).....	190
สมบัติความสามารถในการไหลของผงโลหะ: (flowability of metal powder).....	193
กระบวนการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (additive manufacturing process) .....	196
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีการฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (Material Extrusion Additive Manufacturing).....	202
สมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (mechanical properties of Material Extrusion AM part) .....	205

ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดวัสดุผ่านหัวฉีด (possible defects of Material Extrusion AM part) .....	206
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีเวทโฟโตพอลิเมอร์เซชัน (Vat Photopolymerization Additive Manufacturing) .....	211
วัสดุและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยวิธีเวทโฟโตพอลิเมอร์เซชัน (materials and mechanical properties of Vat Photopolymerization part) .....	213
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีพาวเดอร์เบดฟิวชัน (Powder Bed Fusion Additive Manufacturing) .....	215
ซีเล็กทีฟเลเซอร์ซินเทอริง (Selective Laser Sintering) .....	217
มัลติ-เจ็ตฟิวชัน (Multi-Jet Fusion) .....	220
ซีเล็กทีฟเลเซอร์เมลติง/เลเซอร์พาวเดอร์เบดฟิวชัน (Selective Laser Melting/Laser Powder Bed Fusion) .....	222
ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการพิมพ์แบบซีเล็กทีฟเลเซอร์เมลติง (Processing factors on Selective Laser Melting) .....	224
อีเล็คตรอนบีมเมลติง (Electron Beam Melting) .....	241
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีมาทีเรียลเจ็ตติง (Material Jetting Additive Manufacturing)....	244
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีไบน์เดอร์เจ็ตติง (Binder Jetting Additive Manufacturing).....	247
ข้อดีและข้อจำกัดของการพิมพ์ด้วยวิธีไบน์เดอร์เจ็ตติง (advantages and limitations of Binder Jetting AM) .....	252
วัสดุและคุณลักษณะของชิ้นงานที่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยวิธีไบน์เดอร์เจ็ตติง (materials and characteristics of Binder Jetting AM part) .....	253
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีไดเร็กต์เอนเนอร์จีดีโพสิชัน (Direct Energy Deposition Additive Manufacturing) .....	254
เลเซอร์เอ็นจิเนียริ่งเน็ตเชปพิง (Laser Engineered Net Shaping) .....	256
อีเล็คตรอนบีมแอดดีทีฟแมนูแฟกเจอริง (Electron Beam Additive Manufacturing) .....	257
โคลด์สปเรย์แอดดีทีฟแมนูแฟกเจอริง (Cold Spray Additive Manufacturing) .....	258
ข้อดีและข้อจำกัดของการพิมพ์ขึ้นรูปด้วยวิธีไดเร็กต์เอนเนอร์จีดีโพสิชัน (advantages and limitations of Directed Energy Deposition AM) .....	260
การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุด้วยวิธีชีทลามิเนชัน (Sheet Lamination Additive Manufacturing).....	260
ภาคผนวก .....	270
อภิธานศัพท์ (glossary).....	273
ดัชนี ไทย .....	282
Index English.....	289