

การเตรียมอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียมด้วย
วิธีดั้งเดิมเพื่อเป็นอวัยวะเทียมฝังใน

PREPARATION OF COBALT-CHROMIUM ALLOYS BY CONVENTIONAL
METHOD FOR IMPLANTED ORGAN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF COBALT-CHROMIUM ALLOYS BY CONVENTIONAL
METHOD FOR IMPLANTED ORGAN



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING
IN NANOMATERIAL ENGINEERING
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

การเตรียมอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียมด้วยวิธีดั้งเดิม เพื่อเป็นอวัยวะเทียมฝังใน

นักศึกษา

นาย กীরติ คชินทร์

รหัสประจำตัว

55110007

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุนาโน

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. วรณวิทย์ วิทยาการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม ด้วยเทคนิคการบดย่อยแบบต่างๆ เช่น การบดย่อยแบบเปียก การบดย่อยแบบแห้ง และการบดแบบดั้งเดิม พร้อมทั้งซินเตอร์ด้วยเทคนิคการซินเตอร์แบบดั้งเดิมในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน พร้อมทั้งศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตรวจสอบค่าความแข็งด้วยเทคนิคการกดแบบบริเนล (Brinell hardness tester) ตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (bioactivity analysis) โดยผลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าเทคนิคที่ส่งผลให้มีการกระจายตัวและมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด คือ เทคนิคการบดย่อยแบบเปียก ต่อมาผลการตรวจสอบค่าความแข็งพบว่าค่าความแข็งที่ได้จากเทคนิคการบดย่อยแบบเปียก คือ 513.36 MPa นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (bioactivity analysis) โดยทำการวัดค่าการปลดปล่อยไอออนของโลหะเมื่อผ่านไป 15 วัน พบว่าทั้ง 3 เทคนิคนั้นให้ค่าไม่แตกต่างกัน

Special Project Title	Preparation of Cobalt-Chromium Alloys by Conventional Method for Implanted Organ
Student	Mr. Keerati Kachin
Student ID	55110007
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2015
Special Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Wanwilai Vittayakorn

Abstract

In this research, the cobalt-chromium (Co - Cr) alloys system was prepared by various techniques (wet - ball milling, dry - ball milling and conventional grinding, respectively) and followed by conventional sintering in Ar atmosphere. The effects of processing parameters on morphology were characterized by scanning electron microscope. The hardness of samples was tested by Brinell hardness tester and the bio-compatibility was examined by bioactivity analysis. The high homogeneity and well dispersion of cobalt-chromium particles were obtained by wet - ball milling technique confirmed by scanning electron microscope and the Brinell hardness of sample prepared from this technique is 513.36 MPa. Moreover, the ion-release of samples tested after soaking for 15 days is slightly the same for all conditions.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วรณวิไลย วิทยากร ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติ คอยให้ความรู้คำชี้แนะช่วยเหลือแก้ไขปัญหาต่างๆ คำแนะนำในการวางแผนการตลาด และเก็บรวบรวมข้อมูล การเรียบเรียงเนื้อหา การจัดทำรูปเล่ม โครงการพิเศษ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยดีตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วิษณุ เพชรภา และ ผศ.ดร. กนกนันทน์ ภาชีรักษ์ กรรมการคุมสอบ โครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะ ข้อคิดเห็น จนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ ดร. ทศพล เมื่อนงนทร์ ที่ให้ความรู้ความช่วยเหลือในส่วนของ การปฏิบัติ อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ นางสาว ณิชกานต์ พูลผล นักศึกษาปริญญาเอก และ นางสาว วันวิสาข์ จันทร์บัว นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำปรึกษาความช่วยเหลือในงานปฏิบัติการ การวิเคราะห์ผล และให้ความรู้ตลอดจนสำเร็จอย่างใกล้ชิด

ขอขอบคุณสมาชิกหน่วยวิจัยเซรามิกชั้นสูงทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาที่ข้าพเจ้าได้รับตลอดการศึกษาในระดับปริญญาตรีนี้

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์จากการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้ ขอมอบให้ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กิริติ คชินทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและแผนการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 โคบอลต์ โครเมียม และอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม.....	5
2.1.1 โคบอลต์.....	5
2.1.2 โครเมียม.....	6
2.1.3 อัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม.....	7
2.1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.2 เทคนิคการเตรียมสาร.....	12
2.2.1 การบดย่อยและผสมสารด้วยวิธีต่างๆ.....	12
2.2.1.1 การบดหยาบ.....	12
2.2.1.2 การบดย่อย.....	12
2.2.2 การซินเตอร์.....	15
2.2.2.1 การผลิตชิ้นงานโลหะแข็ง.....	17
2.2.2.2 วิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานโลหะซินเตอร์.....	18
2.3 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง.....	18
2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	18
2.3.1.1 แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน.....	19
1. Tungsten Hairpin Electron Gun.....	20
2. Lanthanum hexaboride (LaB ₆) Electron Gun.....	20
3. Field Emission Gun.....	20
2.3.1.2 เลนส์ควมคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำอิเล็กตรอน.....	20
2.3.1.3 อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ.....	21
2.3.1.4 อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ.....	21
2.3.2 เครื่องวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกดแบบบรินล.....	21
2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.4 การศึกษาไบโอแอคติวิตีของวัสดุ.....	26
2.3.5 สารละลายจำลองไอออนพลาสมาของเลือดมนุษย์.....	26
บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	27
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	27
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้.....	27
3.3 กระบวนการเตรียมผง.....	29
3.4 กระบวนการเตรียมเม็ดอัลลอย.....	33
3.5 กระบวนการเตรียมสารละลายจำลองพลาสมาของเลือด.....	37
3.6 การตรวจสอบสมบัติกายภาพ.....	38
3.7 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	39
3.8 การตรวจสอบค่าความแข็งด้วยเทคนิคการกดแบบบริเนล.....	39
3.9 การตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	41
4.1 สมบัติทางกายภาพ.....	41
4.1.1 เปอร์เซ็นต์การหดตัวภายหลังการเผาซินเตอร์.....	41
4.1.2 ค่าความหนาแน่นของเม็ดอัลลอย CoCr.....	43
4.2 สมบัติเชิงกล.....	44
4.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยา.....	46
4.3.1 ผงโคบอลต์โครเมียมในเงื่อนไขสัณฐานที่ต่างกัน.....	46
4.3.2 ผงโคบอลต์โครเมียมที่เตรียมด้วยเทคนิคที่ต่างกัน.....	48
4.3.3 ลักษณะพื้นผิวของเม็ดอัลลอย $Co_{70}Cr_{30}$ ด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครกเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก.....	49
4.4 สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ.....	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนา.....	53
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
เอกสารอ้างอิง.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ราคาค่าใช้จ่ายของการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมฝังใน.....	2
1.2 แผนการทำวิจัย.....	4
2.1 สมบัติต่างๆ ของโคบอลต์.....	5
2.2 สมบัติต่างๆ ของโครเมียม.....	6
2.3 การเปรียบเทียบข้อดีของวิธีการบดย่อยด้วยลูกบอลแบบเปียกและแบบแห้ง.....	15
2.4 คำแนะนำในการพิจารณาวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ.....	24
2.5 หัวข้อการพิจารณาความเข้ากันได้ทางภาพของวัสดุ.....	25
2.6 สรุปความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย SBF ชนิดต่าง ๆ เทียบกับพลาสมาของเลือดมนุษย์.....	26
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย c-SBF จำลองพลาสมาของเลือด.....	37
3.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดเทียบกับความเข้มข้นของเลือด40	
4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเม็ดอัลลอย $Co_{100-x}Cr_x$ ที่ $x=0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายหลังการเผาซินเตอร์.....	42
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาซินเตอร์ของเม็ดอัลลอย $Co_{70}Cr_{30}$ ที่ทำการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก.....	43
4.3 ค่าความหนาแน่นของเม็ดอัลลอย $Co_{100-x}Cr_x$ ที่ $x=0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	43
4.4 ค่าความหนาแน่นของเม็ดอัลลอย $Co_{70}Cr_{30}$ ที่ทำการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก.....	44
4.5 ค่าความแข็งของเม็ดอัลลอย $Co_{100-x}Cr_x$ ที่ $x=0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	45
4.6 ค่าความแข็ง (Brinell hardness) เป็น MPa ของเม็ดอัลลอย $Co_{70}Cr_{30}$ ที่ทำการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก.....	46
4.7 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัญญาณวิทยาของผงโคบอลต์โครเมียมในเงื่อนไขสัดส่วนที่ต่างกัน.....	47
4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัญญาณวิทยาของผงโคบอลต์โครเมียมที่เตรียมด้วยเทคนิคที่ต่างกันด้วยเงื่อนไขสัดส่วน $Co_{70}Cr_{30}$	48
4.9 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเม็ดอัลลอย $Co_{70}Cr_{30}$ ด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	49

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างอะตอมของโคบอลต์.....	5
2.2 ผงโคบอลต์.....	6
2.3 โครงสร้างอะตอมของโครเมียม.....	7
2.4 ผงโครเมียม.....	7
2.5 แผนภาพเฟสของระบบ Co-Cr.....	8
2.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผสม Co-Cr ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ เมื่อผ่านการบดย่อยเป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง.....	9
2.7 ขนาดผลึกและความเครียดของผลึกที่สัมพันธ์กับปริมาณของ Cr ของผงผสม Co-Cr ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ เมื่อผ่านการบดย่อยเป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง.....	9
2.8 ภาพถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของชิ้นงานในระบบโคบอลต์-โครเมียมไปเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนและไฮโดรเจนที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลานาน 120 นาที.....	11
2.9 ช่วงของขนาดอนุภาคเนื่องจากเทคนิคการบดย่อยต่างๆ.....	14
2.10 ลักษณะการหมุนของหม้อบดและการเคลื่อนที่ของลูกบด.....	14
2.11 แสดงการผลิตโลหะซินเตอร์โดยการอัดผงในแม่พิมพ์.....	15
2.12 แสดงขั้นตอนการเชื่อมตัวของอนุภาคทรงกลม 4 ตัวในการซินเตอร์ริง.....	16
2.13 ขั้นตอนในการผลิตโลหะซินเตอร์และโลหะแข็ง.....	17
2.14 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	19
2.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	21
2.16 การคำนวณค่าความแข็งของบริเนล.....	22
2.17 ลักษณะการกดของบอลเหล็กกล้า.....	22
2.18 แผนภูมิลักษณะของความเขากันไคทางชีวภาพของวัสดุ.....	24
3.1 แผนผังการเตรียมเม็ดอัลลอยในระบบ Co-Cr.....	29
3.2 ครกหยาบคบดสาร.....	30
3.3 ตู้ดูดความชื้น.....	30
3.4 ขวดพลาสติกผสมสาร.....	31
3.5 เครื่องบดย่อยด้วยลูกบอล.....	32
3.6 ตู้อบสาร.....	32
3.7 เครื่องอัดแกนเดียว.....	33
3.8 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน.....	34
3.9 เม็ดอัลลอย Co-Cr.....	34
3.10 การดูต้ออากาศออกจากถลุงยางอนามัย.....	35
3.11 เครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง.....	35
3.12 แผนภาพจำลองการอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง.....	36
3.13 แผนภาพแสดงกระบวนการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ VII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.14 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาสาร.....	37
3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	39
3.16 เครื่องวัดความแข็งแบบบริเนล.....	40
4.1 กราฟแสดงค่าการหดตัวหลังการเผาซินเตอร์ของเม็ดอัลลอย CoCr ที่เงื่อนไขสัต์ส่วนต่างๆ	42
4.2 กราฟแสดงค่าความแข็งเป็น MPa ของเม็ดอัลลอย CoCr ที่เงื่อนไขสัต์ส่วนต่างๆ.....	45
4.3 กราฟการปลดปล่อยไอออน CoCr โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก.....	51
4.4 กราฟการปลดปล่อยไอออน CoCr โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง.....	51
4.5 กราฟการปลดปล่อยไอออน CoCr โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก.....	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สังคมผู้สูงอายุ หมายถึง สังคมที่มีจำนวนประชากรอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนประชากรทั้งหมด โดยองค์การสหประชาชาติได้ระบุไว้ว่า ประเทศใดที่มีจำนวนประชากร อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากรทั้งหมดถือว่าเป็นประเทศนั้นได้เข้าสู่สังคม ผู้สูงอายุและเมื่อประเทศใดมีจำนวนประชากรอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ของจำนวน ประชากรทั้งหมดจะถือว่าเป็นประเทศนั้นได้เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์

โดยข้อมูลของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล [1] ได้ระบุไว้ว่าประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุเมื่อ 10 ปีก่อน

ซึ่งในปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทยมีประชากรจำนวน 62,200,000 คน โดยมีผู้สูงอายุ 10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากรทั้งหมดหรือคิดเป็นจำนวน 6,220,000 คน ที่ไทยเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยมีสัดส่วนของวัยทำงานที่ต้องดูแลต่อจำนวนผู้สูงอายุราว 6-7 คน ต่อการดูแลผู้สูงอายุ 1 คน สำหรับในปี พ.ศ. 2558 นั้น ประเทศไทยมีเปอร์เซ็นต์ของผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเป็น 14 เปอร์เซ็นต์ หรือ ประมาณ 9 ล้านคน ซึ่งถือได้ว่า จำนวนผู้สูงอายุได้เพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้สูงอายุทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2548 โดยมีสัดส่วนวัยทำงานที่ดูแลผู้สูงอายุลดลงเป็น 5 คน ต่อการดูแลผู้สูงอายุ 1 คน โดยในปี พ.ศ. 2568 หรือในอีก 10 ปีข้างหน้า คาดว่าประเทศไทยจะมีผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นเป็น 19.8 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 13 ล้านคน และมีสัดส่วนวัยทำงาน 3 คนต่อการดูแลผู้สูงอายุ 1 คน ซึ่งหากว่าประเทศไทยในปี พ.ศ. 2568 เป็นไปตามที่คาดไว้นั้นก็จะถือว่าประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยสมบูรณ์จากนั้นในปี พ.ศ. 2578 ก็คาดว่าประเทศไทยจะมีผู้สูงอายุราว 25.1% ของจำนวน ประชากรทั้งหมดหรือประมาณ 16 ล้านคน ซึ่งมีสัดส่วนวัยทำงาน 2 คน ต่อการดูแลผู้สูงอายุ 1 คน

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ประเทศไทยมีจำนวนประชากรผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นทุกปี และ ผู้สูงอายุกลุ่มนี้เป็นวัยที่มีโรคภัยไข้เจ็บและความเสื่อมโทรมในร่างกายให้เห็นทุกวัน โดยปัญหาที่พบได้ บ่อยในกลุ่มผู้สูงอายุนั้นก็คือ การเสื่อมโทรมของอวัยวะประเภท ข้อต่อ หัวเข่า ข้อต่อสะโพก และฟัน เป็นต้น ซึ่งวิธีแก้ปัญหามีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่งนั่นก็คือ การเปลี่ยนมาใช้ข้อเทียมทดแทน อวัยวะจริงที่เสื่อมโทรมไป ทั้งนี้ข้อเทียมแบบฝังในส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงส่งผล ให้ค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลมีค่าสูงมากดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งเป็นการสรุปค่าใช้จ่ายในการ เปลี่ยนถ่ายข้อเทียมแต่ละชิ้น

ตารางที่ 1.1 ราคาค่าใช้จ่ายของการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมฝังใน [2 - 4]

ตัวอย่าง อวัยวะเทียมฝังใน	ราคาค่าใช้จ่าย	
	ราคาเฉพาะชิ้นส่วน (ต่อชิ้น)	ค่ารักษาพยาบาลทั้งหมด
ข้อหัวเข้าเทียม	116,202 บาท	360,000 บาท
ข้อสะโพกเทียม	150,000 บาท	623,000 บาท
สะพานฟัน	3,500 บาท คิดเพิ่มซี่ละ 500 บาท	-

นอกจากนี้ยังมีประชากรอีกกลุ่มที่มักจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมนั่นก็คือ พวกนักกีฬาในชนิดกีฬาต่างๆ ที่ต้องใช้หัวเข้าใช้การรับน้ำหนัก หรือจะเป็นแรงกระแทกจากการวิ่งฝึกซ้อมอย่างหนัก การปะทะหนักภายในการแข่งขัน เช่น ฟุตบอล บาสเก็ตบอล เป็นต้น ทั้งมีสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอวัยวะเทียมสูงมากนั่นก็คือ ต้องนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศเนื่องจากในประเทศยังไม่มีผู้ประกอบการรายใดลงทุนในอุตสาหกรรมนี้ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการที่มีต้นทุนที่สูงมากอาจจะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน อีกทั้งอวัยวะเทียมแต่ละชิ้นจะต้องผลิตให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคลจึงไม่สามารถผลิตคราวละมากๆ ได้ จึงยังทำให้มีต้นทุนที่สูงขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตามในการศึกษาการสังเคราะห์และประดิษฐ์วัสดุสำหรับทำเป็นอวัยวะเทียมนั้นก็ถือว่าเป็นการเริ่มต้นที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมอวัยวะเทียมแบบฝังในประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาผลของตัวแปรในระหว่างกระบวนการเตรียมที่มีต่อประสิทธิภาพของวัสดุ โดยจะเลือกศึกษาวัสดุในกลุ่มอัลลอยของ Co - Cr เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีสมบัติเชิงกลที่ยอดเยี่ยม สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี และไม่เป็นพิษกับร่างกาย อีกทั้งวัสดุกลุ่มนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์เป็นอวัยวะเทียมแบบฝังได้ทุกส่วน ไม่ว่าจะ เป็นในช่องปาก หัวเข้า หรือสะโพก จากความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จะเห็นว่าหากในประเทศไทยสามารถประดิษฐ์วัสดุสำหรับใช้แทนอวัยวะเหล่านี้ได้เอง คาดว่าจะช่วยลดค่าใช้จ่ายไปได้อย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การพยายามศึกษาและทดลองเตรียมวัสดุที่นำไปใช้เป็นอวัยวะเทียมฝังในด้วยเทคนิคแบบดั้งเดิมให้มีประสิทธิภาพสูงมีสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่มีราคาที่ลดลงเพื่อที่จะแก้ปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูงของอวัยวะเทียมฝังใน เพื่อให้ประชาชนสามารถเข้าถึงได้มากขึ้นและสามารถผลิตขึ้นเองภายในประเทศได้ลดภาระการนำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ภายในประเทศให้ผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าสามารถผลิตขึ้นเองได้นำไปใช้ได้จริง เพื่อลดค่านำเข้า ลดค่าใช้จ่ายของประชาชนที่ต้องเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมดังกล่าว

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการเตรียมที่มีต่อสัดส่วนองค์ประกอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติต่างๆ ของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co - Cr Alloys)

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนองค์ประกอบ โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr Alloys)

1.2.4 เพื่อสังเคราะห์วัสดุในระบบโคบอลต์โครเมียม (Co - Cr) สำหรับใช้เป็นอวัยวะเทียมฝังในที่มีคุณภาพสูงด้วยเทคนิคแบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและแผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การสังเคราะห์และประดิษฐ์อัลลอยในระบบโคบอลต์โครเมียม (Co - Cr) ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆกัน ด้วยเทคนิคการบดย่อยที่หลากหลายเพื่อให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงจากนั้นจะทำการขึ้นรูปและเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยจะทำการตรวจวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะซึ่งประกอบไปด้วยเฟสที่เกิดขึ้น องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะโครงสร้างกายภาพและสมบัติเชิงกล และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการกัดแบบบรินเนล ตามลำดับ จากนั้นจะทำการเลือกสัดส่วนองค์ประกอบที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ความหนาแน่นสูง และมีคุณภาพดี มาตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวและการปลดปล่อยไอออนของโลหะต่อไป ซึ่งสามารถเขียนแผนการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 1.2 ได้ดังนี้



ตารางที่ 1.2 แผนการทำวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการทำวิจัย								
	ปี 2558				ปี 2559				
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1. ศึกษาทฤษฎีของการเกิดวัสดุ Co - Cr Alloys	➔								
2. ออกแบบการทดลอง		➔							
3. สังเคราะห์วัสดุ Co - Cr Alloys ให้มีคุณภาพสูง			➔						
4. วิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวและสมบัติความเข้ากันได้ของวัสดุ Co - Cr Alloys						➔			
5. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล							➔		
6. จัดพิมพ์รูปเล่ม								➔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

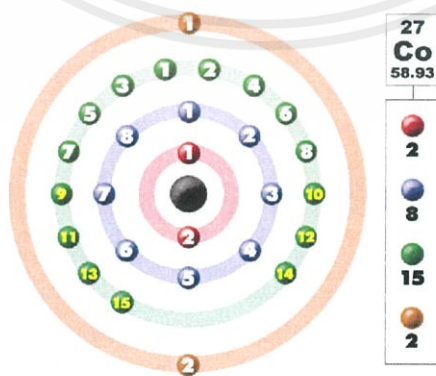
2.1 โคบอลต์ โครเมียม และอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียม

2.1.1 โคบอลต์ (Cobalt)

คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 27 และสัญลักษณ์คือ Co โคบอลต์อยู่ในตารางธาตุหมู่ 27 จัดอยู่ในกลุ่ม โลหะทรานซิชัน (transition metal) มีโครงสร้างอะตอมดังภาพที่ 2.1 มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีเทาดังภาพที่ 2.2 ซึ่งช่วยควบคุมการเผาไหม้ ไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ จึงช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเกิดเนื้อหยาบที่อุณหภูมิสูง และยังช่วยเสริมโครงสร้างทางโมเลกุลให้เหล็กมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ผสมในเหล็กขึ้นรูปงานร้อนและเหล็กทนความร้อน [5] ซึ่งตารางที่ 2.1 ได้แสดงสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของโคบอลต์

ตารางที่ 2.1 สมบัติต่างๆ ของโคบอลต์

สมบัติ	โคบอลต์ (Co)
ชื่อ	โคบอลต์ (Cobalt)
สัญลักษณ์	Co
มวลอะตอม	58.93 กรัม/โมล
จุดหลอมเหลว	1495 °ซ
จุดเดือด	2927 °ซ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างอะตอมของโคบอลต์ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ผงโคบอลต์ [7]

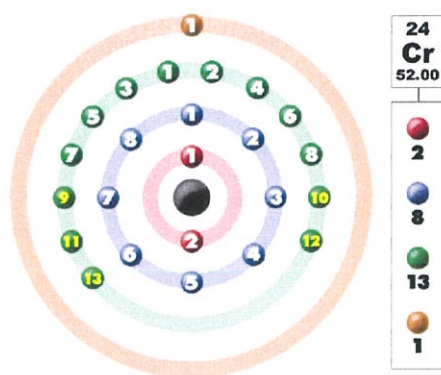
2.1.2 โครเมียม (Chromium)

เป็นธาตุในตารางธาตุซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น Cr มีหมายเลขอะตอมเป็น 24 ชื่อโครเมียมมีรากศัพท์ดั้งเดิมมาจากภาษากรีก คำว่า Chrome หมายถึงสี มีคุณสมบัติเป็นโลหะตามตารางธาตุ แบ่งออกตามวาเลนซ์ดังนี้ 0 1 2 3 4 และ 6 โครเมียมโลหะทรานซิชัน (transition metal) เป็นธาตุในบล็อก - ดี (d - block) ตามตารางธาตุ มีโครงสร้างอะตอมดังภาพที่ 2.3 มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีเงินมันวาวดังภาพที่ 2.4 ซึ่งมีสมบัติการนำไฟฟ้าได้ดี มีจุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง มีความมันวาวและสามารถตีแผ่เป็นแผ่นได้ โดยส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานโลหะกรรม ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนและทำให้เกิดความมันวาว เช่น การทำชิ้นส่วนรถยนต์หรือชิ้นส่วนแตรมอเตอร์ไซด์ ใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับการเผาอิฐ ใช้ผลิตเทปแม่เหล็ก ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น [8] ซึ่งตารางที่ 2.2 ได้แสดงสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของโครเมียม

ตารางที่ 2.2 สมบัติต่างๆ ของโครเมียม

สมบัติ	โครเมียม (Cr)
ชื่อ	โครเมียม (Chromium)
สัญลักษณ์	Cr
มวลอะตอม	51.99 กรัม/โมล
จุดหลอมเหลว	1907 °ซ
จุดเดือด	2671 °ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างอะตอมของโครเมียม [9]

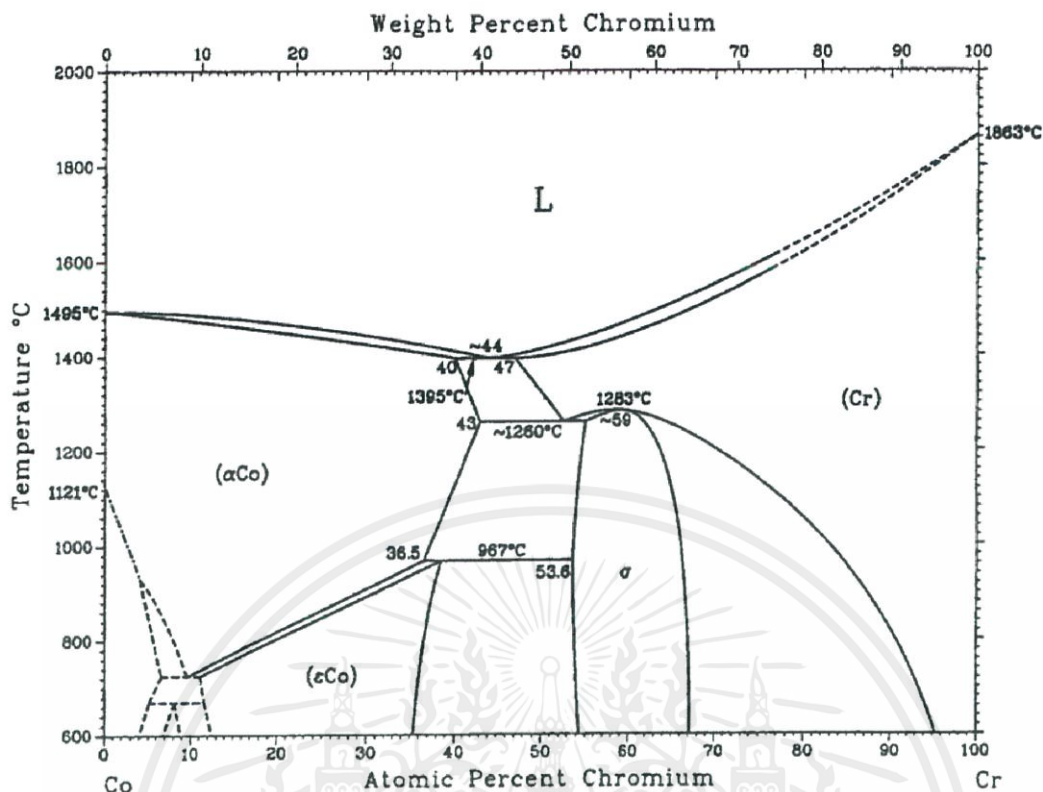


ภาพที่ 2.4 ผงโครเมียม [10]

2.1.3 อัลลอยของโคบอลต์ - โครเมียม (Cobalt - Chromium Alloys)

อัลลอยของโคบอลต์ - โครเมียมจัดเป็นโลหะผสมฐานโลหะเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ โดยส่วนใหญ่จะใช้งานในด้านการทำกระดูกและฟัน ในทางทันตกรรมมักใช้สำหรับผลิตกรอบโลหะของฟันปลอมบางส่วนที่สามารถถอดออกได้ ซึ่งอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียมนี้มีความต้านทานการกัดกร่อนที่สูง มีค่าความแข็งที่สูงที่มีความคล้ายคลึงกับสแตนเลส มีความต้านทานแรงดึงที่สูง และมีความแข็งแรงสูงขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง โดยการผสมกันระหว่างโลหะโคบอลต์กับโลหะโครเมียมจะแสดงเฟสที่เกิดขึ้นได้ดังแผนภาพในภาพที่ 2.5 จากภาพจะเห็นว่าเมื่อปริมาณส่วนผสมระหว่างโคบอลต์กับโครเมียมแตกต่างกันก็จะให้โครงสร้างที่แตกต่างกันด้วย โดยเมื่อโคบอลต์มีปริมาณราว 60 – 75 เปอร์เซ็นต์ อัลลอยจะแสดงเฟส σ ซึ่งเป็นเฟสที่มีความเปราะและแตกง่าย ในขณะที่เฟส α ที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ fcc จะมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงกว่า สำหรับในบริเวณสัดส่วนที่มีปริมาณโครเมียมมาก โครงสร้างผลึกจะเปลี่ยนไปเป็น bcc ซึ่งจะมีสมบัติเชิงกลที่แตกต่างไปจาก fcc

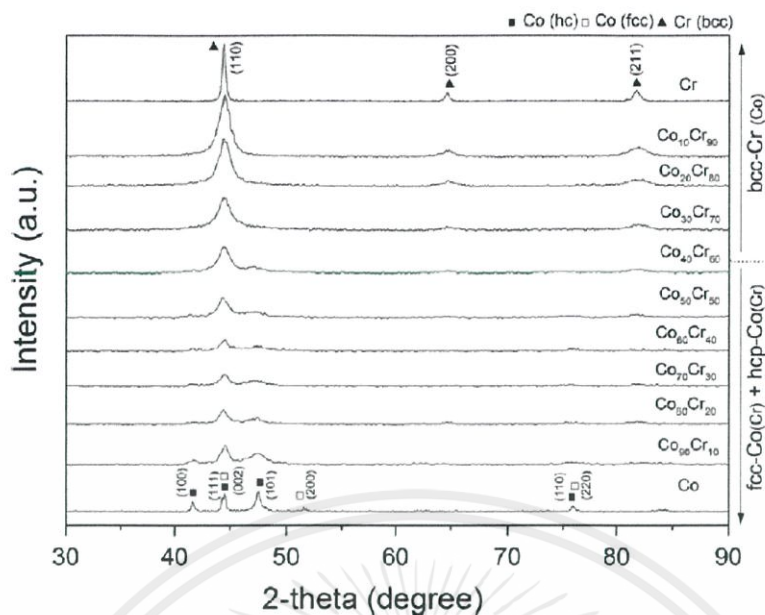
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



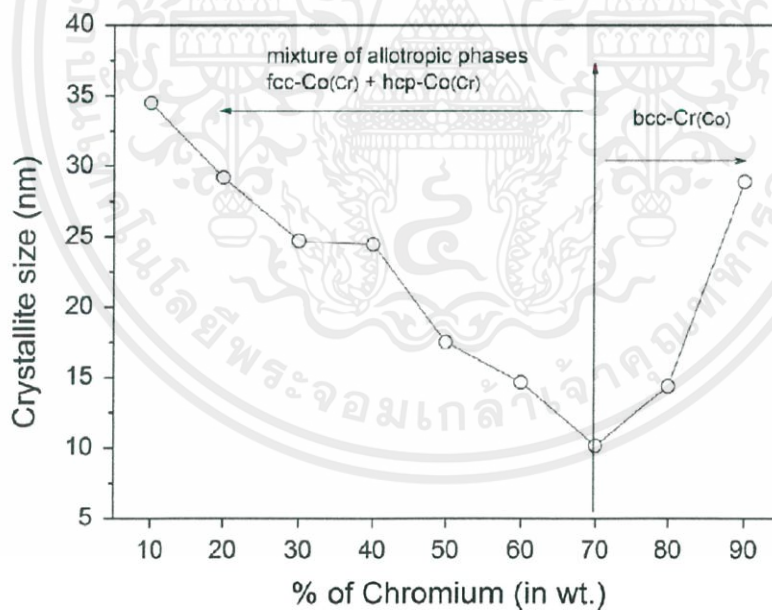
ภาพที่ 2.5 แผนภาพเฟสของระบบ Co - Cr [11]

2.1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากแผนภาพเฟสในภาพที่ 2.5 จะเห็นว่า สัดส่วนองค์ประกอบที่ต่างกันก็จะให้โครงสร้างผลึกที่ต่างกันด้วย ซึ่งก็จะส่งผลต่อสมบัติต่างๆที่แสดงออกมา ดังเช่น งานวิจัยของ J.A. Betancourt-Cantera และคณะ [12] ที่ได้ศึกษาผลของสัดส่วนองค์ประกอบระหว่างโคบอลต์กับโครเมียมที่มีต่อโครงสร้างที่เกิดขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการผสมสารด้วยเทคนิคการบดย่อยเชิงกลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง โดยมีสัดส่วนของเม็ดบดต่อผงผสมเป็น 10 : 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผงผสมที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วยการผสมผสานกันระหว่างโครงสร้าง Co - hcp Co - fcc และ Cr - bcc โดยปริมาณของโครงสร้างแต่ละแบบที่เกิดขึ้นก็จะสัมพันธ์กับปริมาณโครเมียมที่เปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพที่ 2.6 ซึ่งเป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผสม Co - Cr ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ทำการคำนวณขนาดผลึกและความเครียดของผลึกที่สัมพันธ์กับปริมาณของ Cr ดังแสดงในภาพที่ 2.7 โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าขนาดผลึกมีขนาดลดลงตามปริมาณของ Cr ที่เพิ่มขึ้นสำหรับโครงสร้าง fcc - Co(Cr) + hcp - Co(Cr) แต่เมื่อโครงสร้างผลึกเปลี่ยนไปเป็น bcc กลับพบว่าขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก



ภาพที่ 2.6 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผสม Co - Cr ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ เมื่อผ่านการบดย่อยเป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง [12]

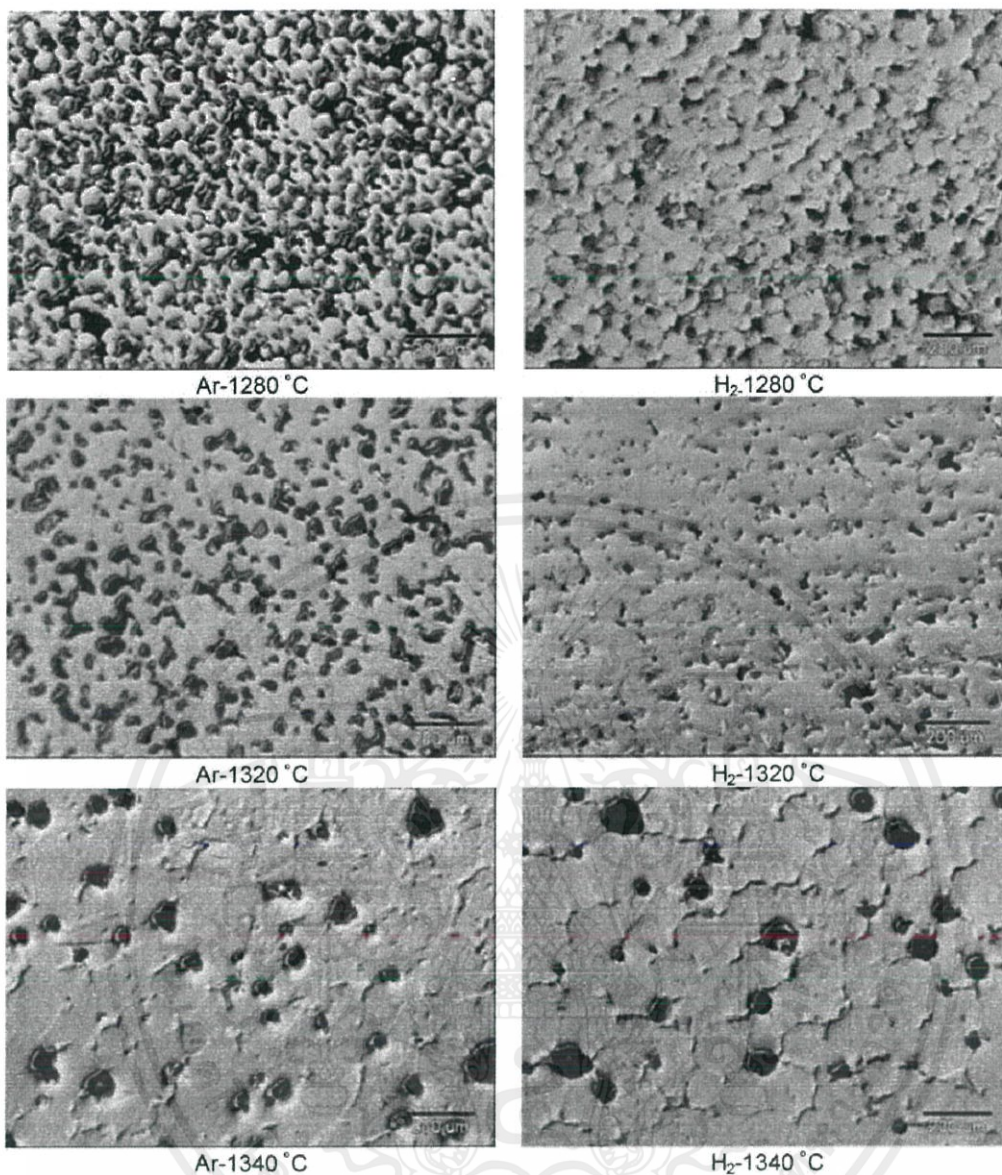


ภาพที่ 2.7 ขนาดผลึกและความเครียดของผลึกที่สัมพันธ์กับปริมาณของ Cr ของผงผสม Co - Cr ที่สัดส่วนองค์ประกอบต่างๆ เมื่อผ่านการบดย่อยเป็นเวลานาน 7 ชั่วโมง [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการนำไปใช้งานทางการแพทย์โดยเฉพาะอวัยวะเทียมฝังในจะนิยมเลือกใช้อัลลอยโคบอลต์-โครเมียมในสัดส่วนที่มีปริมาณของโคบอลต์เยอะ เนื่องจากในบริเวณสัดส่วนนั้นนอกจากจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยมแล้วยังมีสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่โดดเด่นอีกด้วย โดยนักวิจัยส่วนหนึ่งได้ให้ความสนใจศึกษาการนำอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียมไปใช้งานทางทันตกรรมพร้อมกับศึกษาความเป็นพิษต่อร่างกาย ดังเช่นงานวิจัยของ M.C. Lucchetti และคณะ [13] ที่ได้นำอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียมที่ผ่านกระบวนการเตรียมที่แตกต่างกัน 3 วิธีคือ การหล่อ (casting) การบดย่อย (milling) และการซินเตอร์ด้วยเลเซอร์ (laser - sintering) มาตรวจสอบพฤติกรรมการปลดปล่อยไอออนโลหะภายใต้สภาวะจำลองภายในช่องปาก โดยผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า เมื่อนำชิ้นตัวอย่างไปแช่ไว้ในสารละลายจำลองเป็นเวลานาน 30 วัน อัลลอยโคบอลต์-โครเมียมจะปลดปล่อยไอออนออกมาจำนวนหนึ่ง โดยชิ้นตัวอย่างที่เตรียมด้วยเทคนิคการหล่อวัดปริมาณไอออนที่ปลดปล่อยได้ 4.964 ppm ในขณะที่ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมด้วยการบดย่อยและการซินเตอร์ด้วยเลเซอร์มีปริมาณไอออนเป็น 2.642 และ 2.351 ppm ตามลำดับ โดยสาเหตุที่ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีต่างกันมีปริมาณไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาแตกต่างกันนั้นก็เพราะว่ามีลักษณะโครงสร้างจุลภาคและความพรุนแตกต่างกันนั่นเองซึ่งก็เป็นผลโดยตรงจากตัวแปรในระหว่างการเตรียมนั่นเอง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคมีความสำคัญมากจึงทำให้มีนักวิจัยกลุ่มหนึ่งให้ความสนใจศึกษาผลของลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่มีต่อสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพของระบบโคบอลต์-โครเมียมโดยมุ่งความสนใจไปที่การพยายามควบคุมลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยตัวแปรในระหว่างกระบวนการเตรียมดังเช่นงานวิจัยของ M. Dourandish และคณะ [14] ที่ได้ทดลองนำผงโลหะของสารในระบบโคบอลต์-โครเมียมที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานอัลลอยพร้อมกับศึกษาตัวแปรในระหว่างกระบวนการซินเตอร์ที่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้น โดยเมื่อนำชิ้นงานไปเผาซินเตอร์ในบรรยากาศที่แตกต่างกันก็จะเกิดลักษณะโครงสร้างจุลภาคและความพรุนที่แตกต่างกันด้วยดังแสดงในภาพที่ 2.8 ซึ่งเป็นการนำชิ้นงานในระบบโคบอลต์-โครเมียมไปเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนและไฮโดรเจนที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลานาน 120 นาที โดยจากภาพจะสังเกตลักษณะโครงสร้างจุลภาคและรูพรุนที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน



ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายผิวหน้าด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงของชิ้นงานในระบบโคบอลต์ - โครเมียมไปเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนและไฮโดรเจนที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลานาน 120 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคนิคการเตรียมสาร

2.2.1 การบดย่อยและผสมสารด้วยวิธีต่างๆ

กระบวนการลดขนาดอนุภาคประกอบไปด้วยกระบวนการบดหยาบ (crushing) ซึ่งหมายถึงการลดขนาดของอนุภาคที่เดิมมีขนาดใหญ่ (ประมาณเมตร) ให้มีขนาดที่เล็กลงเหลือ เพียงไม่กี่ มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปผ่านกระบวนการบดย่อย (milling) ซึ่งจะทำให้อนุภาคมีขนาดที่เล็กดังกล่าว เกิดการแตกออกเป็นผงละเอียดที่มีขนาดอยู่ในระดับไมโครเมตร (μm) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใน ขั้นตอนต่อไป กระบวนการลดขนาดอนุภาคสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเฉพาะต่างๆของอนุภาคให้ดีขึ้น เช่น การลดขนาดเฉลี่ยและทำให้รูปร่างของอนุภาคเปลี่ยนไป ทำให้อัตราการอัดตัวและอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเกิดได้ดีมากขึ้น รวมทั้งยังสามารถกำจัดสิ่งเจือปน ลดปริมาณของรูพรุน และตำหนิ (flaw) ต่างๆ ภายในอนุภาคตั้งต้น ช่วยให้กลุ่มอนุภาคมีลักษณะการกระจายตัวได้ดีขึ้นและนอกจากนี้การบดย่อยบางวิธียังสามารถช่วยให้สารเกิดการผสมเข้ากันได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการลดขนาดของอนุภาคนั้นมีอยู่หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทจะมีหลักการทำงานและความสามารถในการลดขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.2.1.1 การบดหยาบ

กลุ่มเครื่องบดหยาบ เช่น เครื่องบดแบบฟันฉลาม (jaw crusher) และเครื่องบดแบบ ลูกกลิ้ง (crushing roller) สำหรับเซรามิกแบบดั้งเดิมที่เตรียมจากดินเหนียวเป็นหลัก จะนิยมใช้ เทคนิคการบดหยาบในการบดเบื้องต้น เพื่ออัดกระแทกวัสดุให้เล็กลง แล้วไหลออกมาตามช่องคัตขนาดที่มีขนาด ต่างๆกัน

2.2.1.2 การบดย่อย

กลุ่มเครื่องบดย่อย เช่น การบดย่อยด้วยลูกบอล (ball mill) การบดย่อยแบบสั่นกระแทก (vibration mill) การบดย่อยแบบสับสี (attrition mill) และการบดย่อยแบบพวยลม (jet mill) หลังจากวัสดุผ่านการบดหยาบจนมีขนาดเล็กลงระดับหนึ่ง เพื่อให้ได้อนุภาคขนาดละเอียดพอที่จะนำไปใช้เตรียมเป็นชิ้นงานเซรามิกต่อไปได้ กระบวนการบดย่อยจึงเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่เข้ามามีบทบาท เหนอที่มีบทบาทเมื่อกล่าวถึงการบดย่อย เหนอแรก คือ การใช้พลังงานของกระบวนการบด (energy utilization of comminution) ซึ่งนิยามได้เป็นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวใหม่ที่เกิดขึ้นต่อ พลังงานกลที่ให้และเหนอที่สอง คือ อัตราการบด (rate of grinding) หมายถึง ปริมาณพื้นที่ผิวใหม่ที่ เกิดขึ้นต่อหน่วยมวลของอนุภาคต่อหน่วยเวลา สำหรับการบดที่ใช้พลังงานสูงจะมีอัตราการบดสูง เช่นกัน ดังนั้นจะให้ขนาดอนุภาคที่ต้องการได้ในระยะเวลาที่สั้นลง

ในกระบวนการบดย่อยนั้น อนุภาคจะได้รับความเค้นเชิงกล (mechanical stresses) เนื่องจากแรงจากการอัด (compression) แรงจากการกระแทก (impact) หรือแรงจากการเฉือน (shear) ณ ตำแหน่งที่อนุภาคสัมผัสกับเม็ดบดหรือสัมผัสกับอนุภาคอื่น ความเค้นเชิงกลนี้เองจะส่งผล ให้เกิดการบิดรูปแบบยืดหยุ่นหรือไม่ยืดหยุ่น (elastic or inelastic deformations) ก็ได้และ เมื่อความเค้นนี้มากเกินความแข็งแรงของอนุภาคที่จะทนได้ก็จะทำให้อนุภาคแตก (fracture) ได้ พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

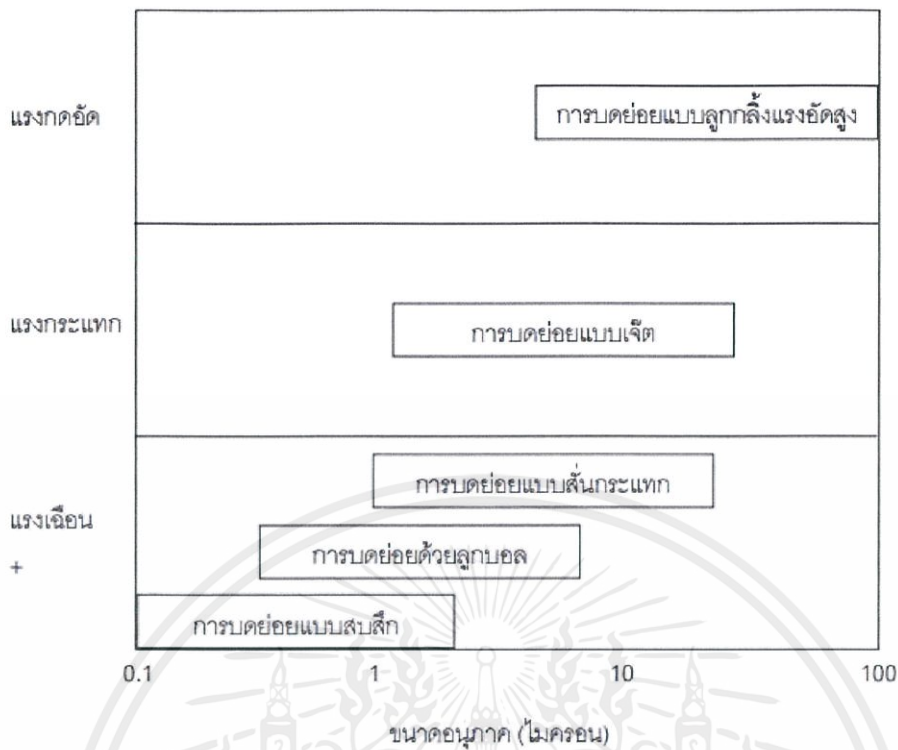
กลที่ให้กับอนุภาคนี้ไม่เพียงแต่จะทำให้เกิดพื้นผิวใหม่มากขึ้นแต่ยังจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่ออนุภาคด้วย เช่น การผิดรูปแบบไม่ยืดหยุ่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และการจัดเรียงตัวใหม่ของแลตทิซ (lattice rearrangement) เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีที่ผิวของอนุภาคด้วย โดยเฉพาะเมื่ออนุภาคถูกบดเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้วพลังงานที่ใช้ในการบดนี้จะอยู่ในช่วงต่ำมากประมาณน้อยกว่าร้อยละ 20 ถ้าเป็นการบดย่อยเนื่องจากแรงกดอัด และพลังงานที่ใช้บดนี้จะประมาณน้อยกว่าร้อยละ 5 ถ้าเป็นการบดย่อยเนื่องจากการกระแทก จากภาพ 2.6 แสดงแผนภาพสรุปกัลไกที่ทำให้เกิดความเค้นต่ออนุภาคที่ส่งผลให้เกิดการบดขึ้น จากภาพยังแสดงช่วงของขนาดอนุภาคที่ได้รับเนื่องจากการบดย่อยด้วยเทคนิคต่างๆกัน

เทคนิคการบดย่อยแบบลูกบอลนี้ต้องอาศัยตัวกลางในการบดหรือเม็ดบอลในการทำให้อนุภาคเล็กลง ซึ่งกระบวนการหลักที่ทำให้อนุภาคแตกได้ คือ การกดอัด การกระแทก และแรงเฉือน (แรงเสียดทาน) ระหว่างเม็ดบดและอนุภาคผง การลดขนาดของอนุภาคจะเป็นไปอย่างรวดเร็วมากในช่วงเริ่มต้นและจะเริ่มช้าลงเรื่อยๆ เมื่ออนุภาคเริ่มมีขนาดที่เล็กลง อัตราการบดย่อยจะขึ้นกับขนาดค่าความถ่วงจำเพาะและความแข็งของลูกบดที่สัมพันธ์กับของอนุภาควัตถุดิบที่จะลดขนาดมาากๆ นอกจากนั้นขนาดของเม็ดบดก็มีความสำคัญโดยเม็ดบดที่มีขนาดเล็กจะดีกว่าเม็ดบดขนาดใหญ่ เนื่องจากที่ปริมาตรเดียวกันจะได้จำนวนเม็ดบดมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเม็ดบดก็ไม่ควรจะมีขนาดเล็กจนเกินไป ทั้งอาจทำให้เม็ดบดไม่มีแรงมากเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคผงแตกได้

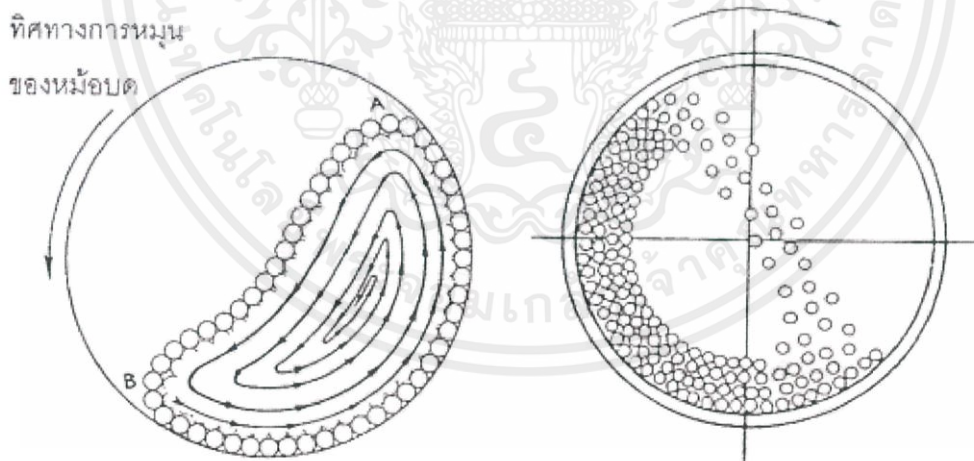
ก่อนที่จะทำการหมุนหม้อบดจะต้องมีการใส่วัตถุดิบที่ต้องการจะลดขนาด หรือที่เรียกว่า ประจุ (charge) พร้อมกับลูกบอล (ball) หรือลูกบด (grinding media) และสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น สารเจือหรือสารช่วยหล่อลื่น เป็นต้น ลงไปในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของหม้อบด โดยจะต้องพยายามปรับอัตราส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ในหม้อบด ให้ระบบทั้งชุดสามารถเกิดพฤติกรรมการบดย่อย ในลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2.7 ได้กล่าวคือ ลูกบดจะต้องมีการเคลื่อนที่คล้ายๆกับตัวอักษร D โดยมีการเคลื่อนที่ไล่เลียงกันจากตำแหน่ง B ขึ้นไปจนถึงตำแหน่ง A แล้วตกลงมากระแทกกับวัสดุด้านล่าง จากนั้นก็มีการหมุนเปียดเสียดกันและมีการเคลื่อนไหลเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้อนุภาคของวัตถุดิบมีขนาดลดลง เนื่องจากถูกกระแทกด้วยลูกบด ถูกขัดสีระหว่างลูกบด และระหว่างลูกบดกับผนังของหม้อบด

การบดย่อยด้วยลูกบอลนั้นสามารถกระทำได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้ง ซึ่งก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 การบดย่อยด้วยลูกบอลแบบแห้งนั้นไม่ต้องมีขั้นตอนของการแยกลูกบดออกจากของเหลว แต่ต้องคอยระมัดระวังไม่ให้อนุภาคผงไปเกาะอยู่ตามมุม ตามร่องของหม้อบด เพราะอนุภาคผงเหล่านี้จะไม่โดนบดย่อยเหมือนกับอนุภาคอื่นๆ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหานี้ก็คือการใช้สารช่วยหล่อลื่นแบบแห้ง (dry lubricant) ทำให้มีความชื้นลดลง และลดการเกาะกลุ่มก้อนได้เป็นอย่างดี ทำให้มีอัตราการบดย่อยสูงขึ้นและได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กจำนวนมากขึ้นตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการบดย่อยเพื่อลดขนาดอนุภาควัตถุดิบด้วยลูกบดจะสามารถทำได้ดีกว่าถ้าอนุภาคของวัตถุดิบที่จะลดขนาดอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (การบดย่อยแบบเปียก) นอกจากนี้ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากมายที่มีอิทธิพลต่ออัตราการบดย่อย เช่น ความเร็วในการหมุนหม้อบดซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักรวมของชุดบดย่อยที่เลือกใช้ความหนืดของสารแขวนลอยขณะที่ทำการบดย่อยและลักษณะของลูกบดที่ใช้ เป็นต้น [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 ช่วงของขนาดอนุภาคเนื่องจากเทคนิคการบดย่อยต่างๆ



ภาพที่ 2.10 ลักษณะการหมุนของหม้อบดและการเคลื่อนที่ของลูกบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

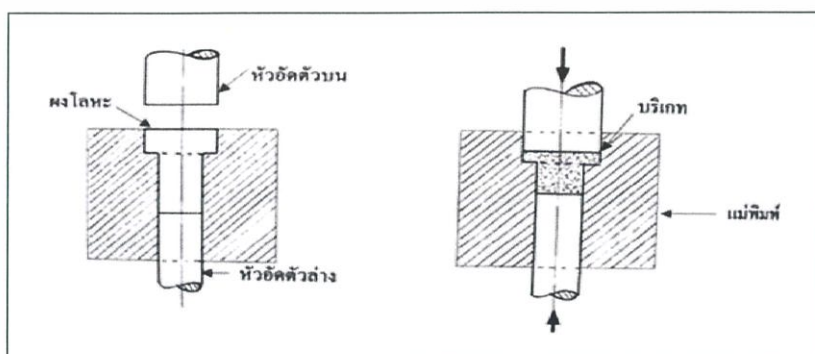
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดีของวิธีการบดย่อยด้วยลูกบอลแบบเปียกและแบบแห้ง

แบบเปียก	แบบแห้ง
ใช้พลังงานน้อยกว่า	ไม่ต้องมีขั้นตอนการทำให้แห้งอีก
ไม่มีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง	เริ่มหรือหยุดกระบวนการได้ตลอดเวลา
หมุนได้เร็วกว่า	ควบคุมสัดส่วนที่เหมาะสมได้ง่ายกว่า
ทำการปาดผ่านตะแกรงได้เลย	ลูกบดและผนังของหม้อบดสึกกร่อนช้ากว่า
มีความเป็นเนื้อเดียวกันดีกว่า	ไม่ต้องมีขั้นตอนการแยกอนุภาคจากของเหลว
ได้อนุภาคผงขนาดเล็กกว่า	เสี่ยงโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคกับของเหลวได้
มีการแจกแจงของขนาดอนุภาคแคบกว่า	
ใช้งานร่วมกับเทคนิคการเทแบบ (slip casting) หรือการทำให้แห้งแบบละออง (spray-drying) ได้ดีมาก	

2.2.2 การซินเตอร์

เป็นการนำเอาผงโลหะไปเผาหรืออบที่อุณหภูมิสูงแต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะนั้น ผงโลหะบางชนิดจะต้องใช้ตัวประสาน โดยจะยึดตัวเกาะยึดเม็ดผงโลหะให้ติดกันแน่นทำให้ค่าความเค้นของชิ้นงานซินเตอร์สูงขึ้น

การซินเตอร์ บางชิ้นงานอาจต้องทำถึง 2 ครั้ง ในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานซินเตอร์ซึ่งผลิตจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ แทนทาลัมคาร์ไบด์ และโพลีดีนัมคาร์ไบด์ที่ต้องการความแม่นยำในด้านของขนาดและรูปร่างสูง โดยครั้งแรกจะทำการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 850 – 900 องศาเซลเซียสแล้วนำชิ้นงานนั้นมาตกแต่งด้วยเครื่องขัดเพื่อให้ได้ขนาดและลักษณะงานตามต้องการ แล้วนำไปซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า โดยจะอยู่ระหว่าง 1,100 – 1,200 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น มีค่าความแข็ง ค่าความเค้นและความหนาแน่นสูงขึ้น



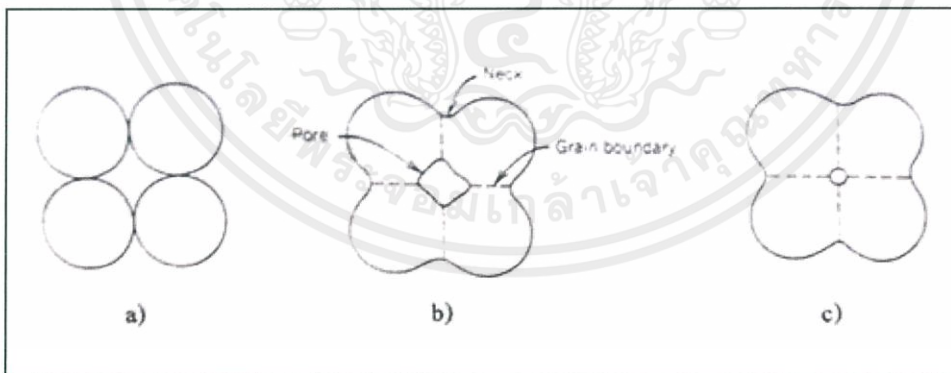
ภาพที่ 2.11 แสดงการผลิตโลหะซินเตอร์โดยการอัดผงในแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาที่ใช้ซินเตอร์มีทั้งเตาที่รับความร้อนจากหลอดความต้านไฟฟ้า เตาที่ใช้ก๊าซหรือใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการเผาต้องทำการควบคุมอุณหภูมิอย่างใกล้ชิด เพราะมีผลต่อรูปร่างชิ้นงานในการผลิต สำหรับกรณีที่ต้องระมัดระวังเรื่องขนาดของชิ้นงาน โดยเตาไฟฟ้าจะมีความเหมาะสมในการใช้มากกว่า

ด้วยเหตุที่การยึดเกาะตัวระหว่างอนุภาคจะเป็นไปได้ดีแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของเฟสเคลือบผิวอนุภาค เฟสเคลือบผิวชนิดที่ไม่พึ่งประสงค์ เช่น ออกไซด์ควรรักษาทางหลีกเลี่ยงมิให้เกิดขึ้น การบดผงจึงควรกระทำในบรรยากาศที่มีการปกป้องและควบคุมให้เกิดเฟสชนิดไม่พึ่งประสงค์น้อยที่สุด แต่ถ้าเกิดขึ้นแล้วก็นำไปผสมและอัดเป็นแท่งผงควรรักษาวิธีการกำจัดเฟสเหล่านี้ให้ลดลงในบรรยากาศที่ใช้ควบคุมและปกป้องต้องไม่มีออกซิเจนอิสระและต้องอยู่ในสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้บรรยากาศที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนแห้ง (Dry Hydrogen) เพื่อห่อหุ้มในการผลิตหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ทำจากผงคาร์ไบด์แข็งในการทำซินเตอร์ทางด้านการค้าจะเผาชิ้นงานในบรรยากาศที่มีการสันดาประหว่างก๊าซไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือโพรเพนเล็กน้อย

โดยแท้จริงแล้ว การซินเตอร์ (Sintering) ก็คือกระบวนการยึดเหนี่ยวอนุภาคของแข็งเข้าด้วยกันด้วยแรงระหว่างอะตอม (Atomic Force) โดยแรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่กระบวนการขัดขวางการยึดเกาะตัวระหว่างอนุภาคจากการซินเตอร์ เช่น การสัมผัสไม่เต็ม หน้าระหว่างอนุภาค การเกิดเฟสแปลกปลอมบนผิวอนุภาค และไม่เกิดสภาพการยึดตัวแบบพลาสติก โดยสิ่งเหล่านี้จะลดอิทธิพลลงไปตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจึงถือว่าอุณหภูมิมียิ่งสูงจะทำให้การซินเตอร์ได้ผลดียิ่งขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการอบแห้งที่นานหรือการให้อุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใดก็ยิ่งจะทำให้การยึดตัวระหว่างอนุภาคมีความเหนียวแน่นและผลลัพธ์สุดท้ายของชิ้นงานที่ได้จะมีประสิทธิภาพของวัสดุสูงขึ้นมากเท่านั้น



ภาพที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการเชื่อมตัวของอนุภาคทรงกลม 4 ตัวในการซินเตอร์

- แนวสัมผัสก่อนการซินเตอร์
- เกิดลักษณะคอคอดในระยะเริ่มการซินเตอร์
- อนุภาคหลอมติดเป็นชิ้นเดียวโดยมีรูปทรงกลางเกิดการหดตัวมีรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

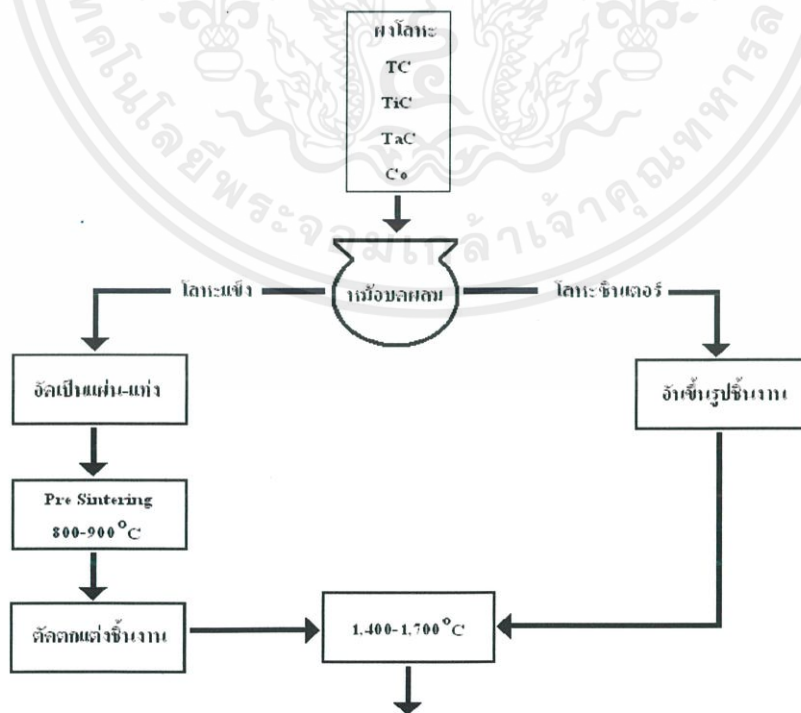
ทั้งๆ ที่ได้มีการทดลองรวมทั้งมีทฤษฎีที่ค้นพบแล้วมากมายที่นำมาประยุกต์ใช้ในกรรมวิธีการซินเตอร์ ก็พบว่ายังมีกระบวนการอีกหลายๆ อย่างที่นักวิทยาศาสตร์หรือนักโลหวิทยา ยังไม่สามารถทำความเข้าใจได้อย่างชัดเจน กระบวนการซินเตอร์จะเริ่มต้นจากการยึดเหนี่ยวตัวเข้าด้วยอนุภาคใกล้เคียงในขณะที่ผงได้รับความร้อนสูง ในการยึดเกาะตัวจะมีการแพร่ซึมของอะตอมระหว่างอนุภาคที่สัมผัสกันส่งผลให้เกิดขอบรอยต่อระหว่างอนุภาค ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิสูงเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ ก็ตาม ในช่วงระยะเวลาต่อไปจะเกิดบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างอนุภาคที่เรียกว่า คอ (Neck) โดยส่วนของคอจะค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้นบริเวณส่วนกลางระหว่าง 3 อนุภาคที่ชิดติดกันจะเกิดเป็นรูกลม และในกระบวนการขั้นสุดท้ายนี้วัสดุจะหดตัวและมีช่องเป็นรูพรุนอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน

2.2.2.1 การผลิตชิ้นงานโลหะแข็ง

การผลิตชิ้นงานโลหะแข็ง คือ การทำซินเตอร์ 2 ครั้ง โลหะแข็งเป็นโลหะที่มีความแข็งมาก ทนการสึกกร่อน และทนอุณหภูมิได้สูงเกือบ 1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความเหนียวพอสมควร

ในการผลิตจะใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ไทตานิยมคาร์ไบด์ แทนทาลัมคาร์ไบด์ และใช้โคบอลต์เป็นสารเชื่อมประสานให้มีการยึดตัวแน่นขึ้นโดยที่สารโคบอลต์จะยึดตัวจนมีสภาพจับยึดผงโลหะแข็งอื่นๆ ได้ ใช้อุณหภูมิประมาณ 800 – 900 องศาเซลเซียส (จุดหลอมเหลวของโคบอลต์ = 1,490°C)

หลังจากการผสมและบดจนได้ที่แล้วจะนำไปอัดในแบบขึ้นรูปเป็นแผ่นแท่งลักษณะตามการออกแบบ แล้วทำการอบครั้งแรก ที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่ผ่านการซินเตอร์แล้วนั้นยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที ต้องนำชิ้นงานดังกล่าวมาตัด (ด้วยการเจียรระโน) หรือปาดผิว เพื่อตกแต่งผิวและขนาดของชิ้นงานให้ได้ตามความต้องการแล้วจึงนำไปซินเตอร์อีกครั้งที่อุณหภูมิ 1,400 – 1,700 องศาเซลเซียส แล้วนำออกมาใช้งานเป็นชิ้นงานโลหะแข็งได้ตามวัตถุประสงค์



ภาพที่ 2.13 ขั้นตอนในการผลิตโลหะซินเตอร์และโลหะแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากภาพที่ 2.13 เป็นการแสดงขั้นตอนกรรมวิธีในการผลิตชิ้นงานโลหะซินเตอร์และโลหะแข็ง โดยการนำเอาผงของโลหะแข็งที่มีจุดหลอมเหลวสูง ได้แก่ TC (ทังสเตนคาร์ไบด์) TiC (ไททาเนียมคาร์ไบด์) TaC (แทนทาลัมคาร์ไบด์) Co (โคบอลต์) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานเข้าบดผสมในหม้อบด แล้วจึงนำไปอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่สูงถึง 1,500 บรรยากาศ ในแม่แบบพิมพ์ตามรูปลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการ โดยชิ้นงานจากการอัดในแม่แบบจะถูกกล้าเสียงด้วยระบบสายพานไปเข้าเตาไฟฟ้าในสภาพที่ไม่มีอากาศเพื่ออบให้ร้อนและเกิดการยึดตัว ระหว่างอนุภาคของผลโลหะดังกล่าว

2.2.2.2 วิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของชิ้นงานโลหะซินเตอร์

ชิ้นงานที่เสร็จจากกระบวนการซินเตอร์โดยสมบูรณ์แล้วนั้น อาจยังมีคุณสมบัติพื้นฐานด้านความแข็ง ความเหนียว หรือยังมีการรับแรงได้ต่ำนั้น จำเป็นต้องนำมาปรับปรุงพัฒนาให้มีสมบัติต่อการใช้งานได้สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

(1.) โดยการชุบแข็ง ในกรณีเป็นชิ้นงานโลหะเหล็กกล้าที่ผ่านการซินเตอร์จะทำการนำไปจุ่มอบคาร์บอนในอ่างผงถ่านเพื่อทำให้ผิวแข็ง โดยจะกระทำกับชิ้นงานที่มีค่าความหนาแน่นสูงจากนั้นนำชิ้นงานนั้นไปผ่านกรรมวิธีชุบแข็งอีกครั้ง

(2.) โดยการอบด้วยไอน้ำ โดยการนำชิ้นงานประเภทโลหะเหล็กที่ผ่านการซินเตอร์เข้าไปในระบบไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 - 2 ชั่วโมง ซึ่งจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวของชิ้นงาน (Fe_3O_4) เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งของผิว และทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น

(3.) โดยกรรมวิธีกัลวาไนซิง (Gulvanizing) ในกรณีที่เป็นเหล็กกล้าที่ผ่านการซินเตอร์และมีค่าความหนาแน่นสูงถึง 7.2 กก/ดม³ โดยนำชิ้นงานจุ่มลงในอ่างของเหลวซึ่งจะทำให้เกิดการแทรกซึมของของเหลวเข้าไปในเนื้อพอรุน ทำให้สามารถทนการกัดกร่อนการเสียดสีได้มากขึ้น

(4.) โดยวิธีการอินฟิเตรชัน (Infiltration) เป็นวิธีการจุ่มชิ้นงานโลหะที่ผ่านการซินเตอร์ลงในของเหลวของโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ หรือในเรซินของพลาสติก หรือโดยการนำชิ้นงานโลหะเหล็กที่ผ่านการซินเตอร์ที่มีความเป็นรูพรุนประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ จุ่มลงในน้ำมันจะได้ชิ้นงานที่มีค่าความเหนียวมากขึ้น แต่วิธีนี้ทำให้ขนาดของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย [16]

2.3 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง

2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

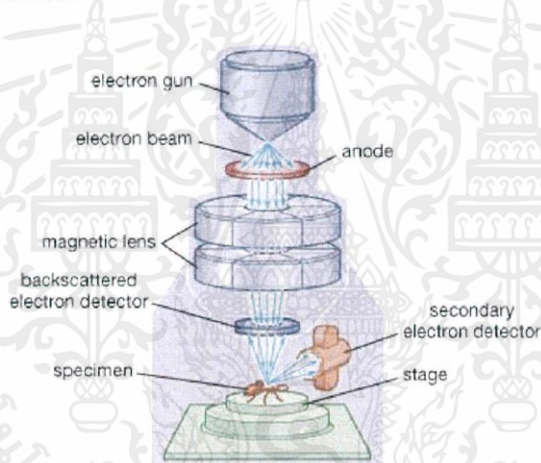
(Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ใช้อิเล็กตรอนในการขยายภาพ ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ปืนยิงอิเล็กตรอน (electron gun) จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดยเลนส์ใกล้ตา จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวของตัวอย่างโดยเลนส์ใกล้วัตถุ ที่พื้นผิวของตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกกระทบจะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิวของวัตถุ กล่าวคือถ้าพื้นผิวของวัสดุเรียบก็จะสามารถสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต่หากผิวของวัสดุมีความขรุขระเป็นหลุมลึกก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีการสะท้อนหรือสะท้อนได้น้อย ซึ่งสามารถรับอิเล็กตรอนที่สะท้อนออกมาได้ด้วยตัวตรวจจับอิเล็กตรอนและเกิดการสร้างเป็นภาพ โดยอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นและเข้าไปที่ตัวรับสัญญาณเรียกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ส่วนอิเล็กตรอนที่เกิดจากป็นยิงอิเล็กตรอนเรียกว่าอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงทั่วไปตรงที่เปลี่ยนแหล่งกำเนิดที่ใช้จากแสงเป็นอิเล็กตรอน กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดา มีข้อจำกัดอยู่ที่ความสามารถในแยกภาพ (resolution) เนื่องจากแสงขาวที่ใช้จะมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร แต่ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนสั้นกว่านั้นมากจึงมีความสามารถในการแยกภาพได้ดีกว่าจึงส่งผลโดยตรงให้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนมีกำลังขยายภาพมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงปกติ โดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดาจะมีหลักการเดียวกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope : TEM) ภาพที่ได้ออกมาจะเป็นโครงสร้างลักษณะภายในและได้เป็นภาพสองมิติเช่นเดียวกัน แต่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะคล้ายกับกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ (Stereo microscope) ที่ได้ภาพลักษณะพื้นผิวออกมาเป็นสามมิติ



ภาพที่ 2.14 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [17]

2.3.1.1 แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)

เป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของตัวเครื่องซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110 หรือ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงคือระหว่าง 1 - 30 กิโลโวลต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนของเครื่อง แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยโลหะทั้งสแตน ที่เรียกว่าฟิลาเมนต์ (filament) และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีรูอยู่ปลายกรวยเมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 โวลต์ เข้ามาสู่ฟิลาเมนต์ ลวดดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมาในสภาวะสุญญากาศภายในเครื่อง ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของปืนยิงอิเล็กตรอน ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงดูดผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือบริเวณสนามแม่เหล็กที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้ เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง SEM จะมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กเพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็ก ในเลนส์ชุดแรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า Alignment coil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ตามที่ต้องการ เพื่อให้จะได้ลำอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมาด้วยความสมบูรณ์เป็นรูปทรงกระบอกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือออกไปจากศูนย์กลาง หากมีการบิดของลำอิเล็กตรอนออกนอกทิศทางอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron)

ความแตกต่างของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมีผลให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแต่ละชนิดมีความสามารถในการศึกษารายละเอียดของตัวอย่างแตกต่างกันไป โดยชนิดของปืนยิงอิเล็กตรอนแบ่งเป็น 3 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

(1.) Tungsten Hairpin Electron Gun

เป็นการปลดปล่อยอิเล็กตรอนโดยใช้ความร้อน เรียกว่า thermionic emission ภายในจะประกอบด้วยทังสเตนฟิลาเมนต์ซึ่งมีลักษณะเส้นลวดเป็นรูปตัววี (V) ต้องทำงานที่ความดันสุญญากาศสูงประมาณ $10^{-4} - 10^{-5}$ torr มีอายุการใช้งานประมาณ 30 - 100 ชั่วโมง

(2.) Lanthanum hexaboride (LaB₆) Electron Gun

เป็นการปลดปล่อยอิเล็กตรอนโดยใช้ความร้อนเดียวกันกับทังสเตนฟิลาเมนต์ ผลึกของ LaB₆ จะให้ความสว่างของอิเล็กตรอนสูงกว่าชนิดทังสเตน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า ต้องทำงานที่ความดันสุญญากาศสูงประมาณ $10^{-6} - 10^{-7}$ torr บริเวณปลายของผลึกมีขนาดเล็กกว่าลวดทังสเตน จึงทำให้สามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพได้ดีกว่า

(3.) Field Emission Gun

ใช้สนามไฟฟ้าในการเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนจากปลายโลหะแหลมให้หลุดออกมา โลหะนั้นทำจากผลึกของทังสเตน มีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่เกิดจากการดึงอิเล็กตรอนออกมาจากผลึกด้วยสนามไฟฟ้าตรงบริเวณปลายซึ่งมีรัศมีประมาณ 100 นาโนเมตรหรือน้อยกว่า ทำงานที่ความดันสุญญากาศสูงประมาณ $10^{-9} - 10^{-10}$ torr ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของภาพสูงกว่าแบบทังสเตนและ LaB₆

2.3.1.2 เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำอิเล็กตรอน

(Electromagnetic Lens & Scan coils)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่ในการรวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่มีขนาดเล็ก ลำอิเล็กตรอนดังกล่าวไปตกกระทบบนพื้นผิวของตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวของตัวอย่างในแนวที่ต้องการ เลนส์แต่ละชุดจะมีรูรับแสง (aperture) ซึ่งเป็นโลหะประเภททองคำขาว ทองเหลือง มีรูปร่างขนาดต่างๆ กัน รูรับแสงดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเลนส์แต่ละชุดบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ รูรับแสงพิเศษเรียกว่า Objective aperture มีไว้เพื่อกรองลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวยขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุดและกำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบจุดต่างๆ บนพื้นผิวของตัวอย่าง เพื่อให้ภาพที่มีความลึกกว่าปกติ ขดลวดสนามไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวของตัวอย่างเรียกว่า Scan coil ซึ่งควบคุมด้วยระบบไฟฟ้าและยังควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่เป็นเส้นในจอร์บภาพ ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางและเวลาเดียวกับลำแสงอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & Scintillator)

เป็นแท่งแก้วใสมีปลายโค้งมนทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอลูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมรอบด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30-250 โวลต์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

2.3.1.4 อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic devices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอภาพก็พร้อมที่จะทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอนเป็นสัญญาณไฟฟ้า การสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภทท่อนำแสงในลักษณะของแสง แสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะขับเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (Photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิดโฟตอนนี้ไปเป็นอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพที่ติดตั้งไว้บนแผงควบคุม



ภาพที่ 2.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [18]

2.3.2 เครื่องวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกดแบบบริเนล (brinell hardness tester)

เป็นการวัดความแข็งโดยอาศัยแรงกดคงที่กระทำกับลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว โดยพื้นที่ผิวมีลักษณะเป็นผิวโค้ง ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความแข็งได้ตามสูตร ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$HB = \frac{P}{\pi \frac{D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

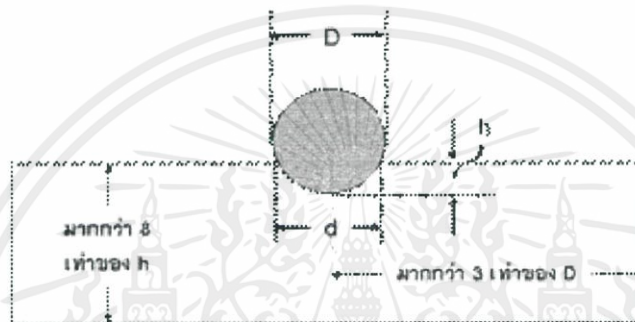
ภาพที่ 2.16 การคำนวณค่าความแข็งของบริเนล

โดยที่ HB คือ ค่าความแข็งแบบบริเนล (kgf/mm²)

P คือ แรงแกด (kgf)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลเหล็กกล้า (mm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกด (mm)



ภาพที่ 2.17 ลักษณะการกดของบอลเหล็กกล้า

แรงกดสำหรับการทดสอบจะอยู่ในช่วง 500 - 3000 kgf และลูกบอลเหล็กกล้าจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 - 10 มม. โดยใช้ระยะเวลาในการกดประมาณ 10 - 15 วินาที สำหรับการทดสอบเหล็กกล้าชุบแข็ง หรือโลหะที่มีความแข็งสูงมากๆ จะไม่สามารถทดสอบด้วยลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งได้ จะต้องใช้ลูกบอลทังสเตนคาร์ไบด์ขนาด 2.45 มม. แทน ซึ่งจะใช้สำหรับทดสอบวัสดุที่แข็งตั้งแต่ 444 ถึง 627 HB

ข้อควรระวังสำหรับการวัดความแข็งด้วยวิธีนี้ ได้แก่

2.3.2.1 ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องเรียบ เพื่อให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยกดที่แน่นอน และที่ผิวของชิ้นงานทดสอบต้องไม่มี oxide scale หรือสิ่งแปลกปลอม นอกจากนี้การเตรียมผิวต้องระวังอย่างมาก โดยหลีกเลี่ยงกรรมวิธีร้อน (heating) และกรรมวิธีเย็น (cold working)

2.3.2.2 ต้องระวังตำแหน่งการทดสอบโดยให้ระยะหัวกดอยู่ห่างจากขอบแต่ละด้านของชิ้นงานอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล ระยะห่างของแต่ละรอยกดห่างกันอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล และชิ้นงานต้องมีความหนาอย่างน้อย 8 เท่าของความลึกของการกด

2.3.2.3 ควรวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด 2 ครั้งในแนวตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปคำนวณหาความแข็งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความแข็งแบบบริเนล มีข้อดี คือ ในการกด 1 ครั้งจะครอบคลุมหลายๆ เฟสของชิ้นงาน ทำให้ได้ค่าความแข็งที่สม่ำเสมอ ซึ่งหากวัดด้วยวิธีที่ใช้หัวกดขนาดเล็กมาก อาจทำให้วัดได้เพียงเฟสเดียว ทำให้ค่าความแข็งที่ได้ไม่ได้เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งของทั้งวัสดุชิ้นนั้น แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ ชิ้นงานต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะวัดกับหัวกดได้ และไม่ควรวัดกับชิ้นงานที่มีรัศมีผิวโค้งน้อยกว่า 1 นิ้ว [19]

2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility analysis)

ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ [20] เป็นความสามารถของวัสดุที่มนุษย์พัฒนาขึ้นที่คงอยู่ได้ภายในร่างกายสิ่งมีชีวิตในช่วงเวลาหนึ่งโดยไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ วัสดุทุกชนิดที่นำมาใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์นั้นล้วนแล้วแต่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ แต่จะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน คำว่าความเข้ากันได้ทางชีวภาพจะครอบคลุมคุณสมบัติค่อนข้างกว้าง ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.3.3.1 วัสดุสามารถมีพันธะยึดเกาะกันโดยวัสดุจะต้องสามารถมีพันธะยึดเกาะกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

2.3.3.2 วัสดุมีผลต่อการแบ่งตัวของเซลล์ซึ่งจะทำให้เซลล์เจริญเติบโตผิดปกติ

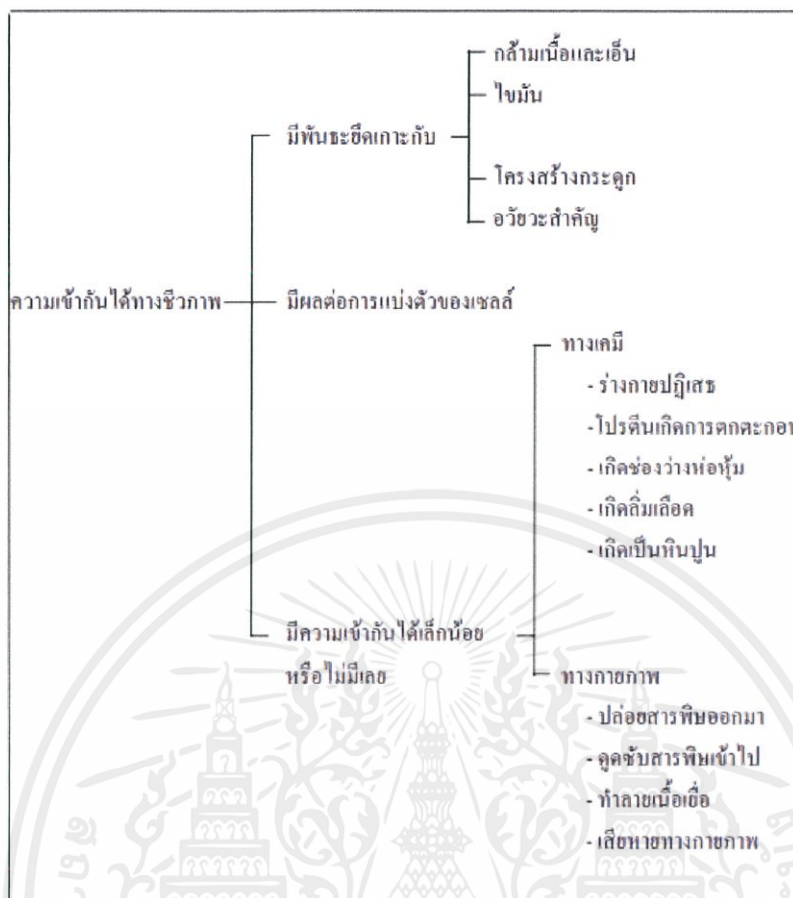
2.3.3.3 วัสดุมีความเข้ากันได้เล็กน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งวัสดุจะส่งผล 2 วิธีคือ

(1.) ทางเคมี

(2.) ทางกายภาพ

โดยสามารถแสดงลักษณะของความเข้ากันได้ทางชีวภาพดังภาพที่ 2.18

สมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับความเข้ากันได้ทางชีวภาพนั้น ยังรวมไปถึงความเฉื่อยทางเคมี ความเป็นพิษ การเกิดลิ่มเลือดและต่อต้านการยึดเกาะเพื่อช่วยในการพิจารณาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์นั้น หน่วยงานที่เกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ (Medical Device Agency, MDA) ได้กำหนดคำแนะนำในการพิจารณาไว้ว่าต้องระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังที่รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.4



ภาพที่ 2.18 แผนภูมิลักษณะของความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุ [21]

ตารางที่ 2.4 คำแนะนำในการพิจารณาวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ [21]

ข้อมูลที่ต้องการ	รายละเอียดที่ต้องระบุ
ลักษณะของวัสดุ	โครงสร้างองค์ประกอบทางเคมี มลทิน องค์ประกอบที่เป็นพิษ ขนาด รูปร่าง และระยะเวลาในการใช้งาน
รายละเอียดเกี่ยวกับการใช้งานวัสดุย้อนหลัง	รายงานผลการใช้งานย้อนหลัง รายละเอียดของผลที่เกิดขึ้นจากการใช้งานและเอกสารพิสูจน์ถึงความเหมาะสมต่อการใช้งาน
ข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นพิษ	การทดสอบความเป็นพิษของวัสดุโดยใช้วิธีสัมผัสโดยตรงกับเนื้อเยื่อในร่างกาย และการทดสอบความเป็นพิษ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 10993 – 1 : 1992 (Guidance on Selection of Test for Biological Evaluation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นจึงทำการประเมินผลขั้นสุดท้าย โดยนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้รวบรวมตามตารางข้างต้นมาทำการสรุปผล ในกรณีที่ยืนยันว่าวัสดุนั้น ๆ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ จะต้องมีการทดสอบต่าง ๆ หลายประการ ซึ่งจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 10993 - 1 โดยรายละเอียดที่ต้องทดสอบมีดังนี้

- 1) การกลายพันธุ์ของยีน (mutagenicity)
- 2) ความเป็นพิษที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายทั้งระบบ (acute systemic toxicity)
- 3) ความเป็นพิษในกรณีที่ได้รับประทานเข้าไป (oral toxicity)
- 4) ความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity)
- 5) ความไวต่อปฏิกิริยา (sensitization)
- 6) การแพ้ที่ก่อให้เกิดอาการคัน (irritation)
- 7) การปลูกถ่ายในร่างกาย (implantation) เป็นต้น

แต่เมื่อไม่กี่ปีมานี้ทิศทางการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพได้เปลี่ยนแปลงออกโดยจะพิจารณา 2 ประการคือความปลอดภัยและการทำงานของผลิตภัณฑ์ในร่างกาย [21] ซึ่งมีหัวข้อการพิจารณาดังนี้

ตารางที่ 2.5 หัวข้อการพิจารณาความเข้ากันได้ทางภาพของวัสดุ [21]

หัวข้อในการพิจารณา	รายละเอียดที่ต้องพิจารณา	รายละเอียดย่อ
ความปลอดภัย	<ol style="list-style-type: none"> 1) ความเป็นพิษต่อเซลล์ 2) Carcinogenesis 3) การสังเคราะห์ดีเอ็นเอ 	<ul style="list-style-type: none"> - ลักษณะทางกายภาพของเซลล์ที่ถูกทำลาย - ขนาดและจำนวนเซลล์ ขณะเจริญเติบโต - ปริมาณเซลล์ที่ถูกทำลายในช่วงเวลาหนึ่ง - อัตราเมทาบอลิซึมของเซลล์
การทำงาน	<ol style="list-style-type: none"> 1) การยึดเกาะของเซลล์ ลักษณะการยึดเกาะของเซลล์กับวัสดุ 2) การเจริญเติบโตของเซลล์ 3) การปกคลุมของเซลล์ เซลล์ขึ้นปกคลุมวัสดุหรือไม่ 	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การศึกษาไบโอแอคติวิตีของวัสดุ

ในการศึกษาไบโอแอคติวิตีของวัสดุจะมีการศึกษาแยกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาในหลอดแก้ว (In vitro study) และการศึกษาในสัตว์ทดลอง (In vivo study) ตามปกติต้องทำการศึกษาในหลอดแก้วก่อน เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนการนำไปใช้ในสัตว์ทดลอง ซึ่งการศึกษาวัสดุในหลอดแก้วนั้นมีหลักการดังนี้ นำวัสดุมาไว้ในสภาวะจำลองทางชีวภาพของร่างกายในช่วงระยะเวลาต่างๆ แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัสดุทั้งทางด้านเคมีทางกายภาพ และโครงสร้างจุลภาค ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นว่าวัสดุอยู่ในประเภทใด (ค่อนข้างเฉื่อย ไบโอแอกทีฟ หรือละลายเมื่ออยู่ในร่างกาย) เพื่อที่จะช่วยในการทำนายผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อนำมาทดสอบในสัตว์ หลังจากนั้นจึงจะนำวัสดุนั้น ๆ มาศึกษาในสัตว์ทดลอง เช่น หนู กระต่าย ลิง เป็นต้น โดยศึกษาในผลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ และศึกษาผลในระยะยาว ผลการศึกษาเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจว่าวัสดุนั้น ๆ เหมาะสมกับการใช้งานประเภทใด

2.3.5 สารละลายจำลองไอออนพลาสมาของเลือดมนุษย์ (Simulated Body Fluid, SBF)

สารละลาย SBF เป็นสารละลายที่ผสมขึ้นมาให้มีปริมาณความเข้มข้นของไอออนที่ใกล้เคียงกับพลาสมาในเลือดของมนุษย์ เพื่อใช้สำหรับการทดสอบความเป็นไบโอแอคติวิตีของวัสดุที่ประดิษฐ์ขึ้น เมื่อเลือกการศึกษาทดลองแบบ In vitro สารละลาย SBF นี้มีการพัฒนาขึ้นหลายสูตรดังนี้

2.3.5.1 สารละลาย SBF ดั้งเดิม (conventional-SBF, c-SBF)

2.3.5.2 Revised –SBF, r-SBF

2.3.5.3 Ionized-SBF, i-SBF

2.3.5.4 Modified-SBF, m-SBF

ซึ่งสารละลายในข้อ 2 ถึง 4 นี้เป็นการนำเอาสารละลาย SBF ดั้งเดิมมาปรับปรุงใหม่ เพื่อให้มีปริมาณไอออนของ Cl^- และ HCO_3^- ใกล้เคียงกับพลาสมาของเลือดมนุษย์มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม SBF ที่ปรับปรุงใหม่เหล่านี้ไม่มีความเสถียรเท่ากับสารละลาย SBF ดั้งเดิม [21] โดยสารละลาย SBF แต่ละตัวจะมีปริมาณไอออนต่างๆ ดังที่แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สรุปความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย SBF ชนิดต่างๆ เทียบกับพลาสมาของเลือด [20]

ไอออน	ความเข้มข้น (mM)				
	พลาสมา	c-SBF	r-SBF	i-SBF	m-SBF
Na^+	142.0	142.0	142.0	142.0	142.0
K^+	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Mg^{2+}	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5
Ca^{2+}	2.5	2.5	2.5	1.6	2.5
Cl^-	103.0	147.8	103.0	103.0	103.0
HCO_3^-	27.0	4.2	27.0	27.0	10.0
HPO_4^{2-}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SO_4^{2-}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมี วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ กระบวนการเตรียมผงที่หลากหลาย กระบวนการเตรียมเม็ด กระบวนการเตรียมสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดเพื่อใช้ตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ รวมไปถึงการตรวจสอบสมบัติกายภาพ สัมพันธวิทยา โครงสร้างจุลภาค และค่าความแข็งด้วยเทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยขั้นตอนการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้เป็นแผนผังในภาพที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 สารเคมีที่ใช้

- 3.1.1 ผงโคบอลต์ (Co)
- 3.1.2 ผงโครเมียม (Cr)
- 3.1.3 เอทานอล (C_2H_6O) ความบริสุทธิ์ 95%
- 3.1.4 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)
- 3.1.5 น้ำปราศจากไอออน (Di water)
- 3.1.6 ผงอะลูมินา (Al_2O_3)
- 3.1.7 ก๊าซอาร์กอน (Ar)
- 3.1.8 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
- 3.1.9 ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)
- 3.1.10 แมกนีเซียม(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)
- 3.1.11 แคลเซียม(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($CaCl_2 \cdot 6H_2O$)
- 3.1.12 ไดโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)
- 3.1.13 กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ (1.0 M-HCl)
- 3.1.14 ทริส(ไฮดรอกซิลเมทิล)อะมีนมีเทน (Tris(hydroxymethyl)aminomethane)
- 3.1.15 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
- 3.1.16 โซเดียมไฮโดรคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

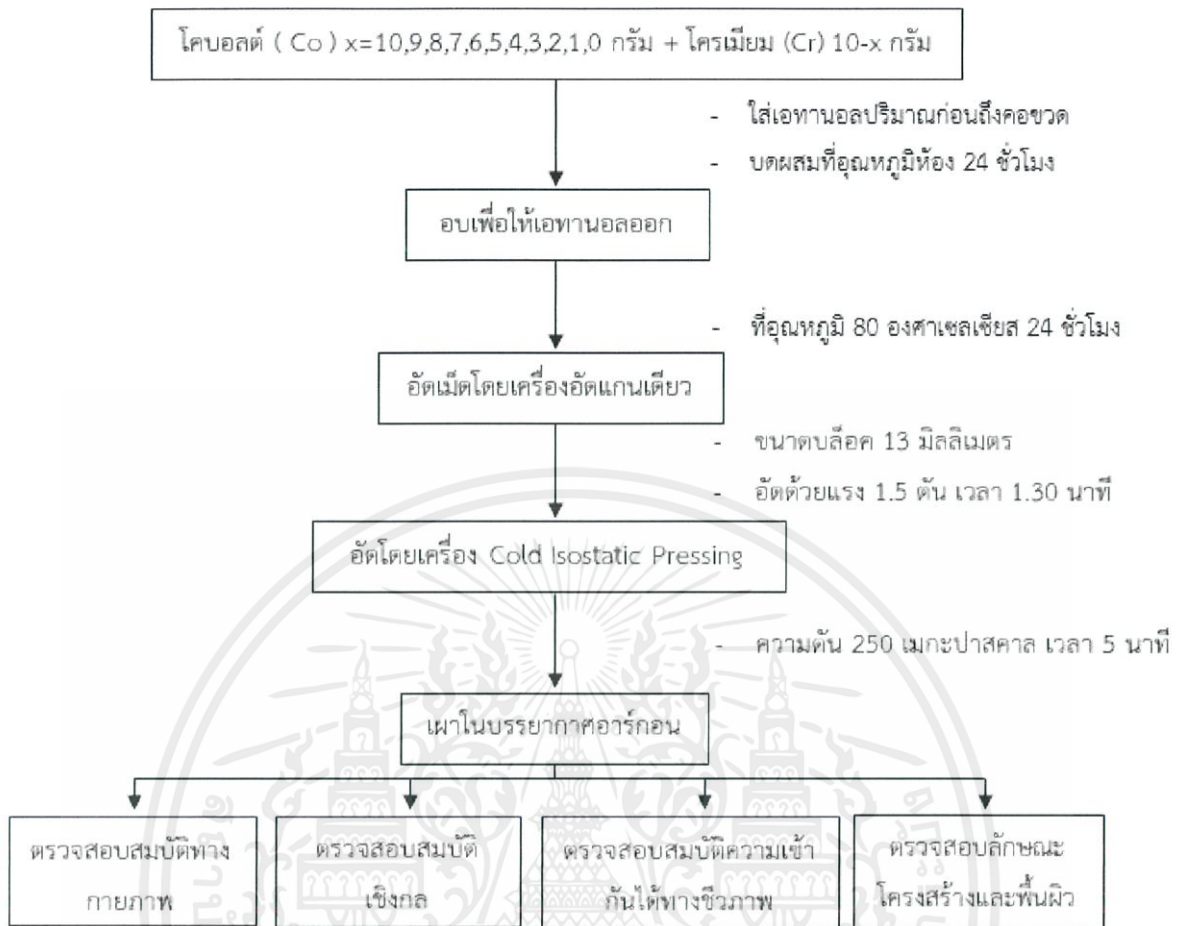
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

- 3.2.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)
- 3.2.2 เครื่องตรวจสอบค่าความแข็งด้วยเทคนิคการกดแบบบริเนล (Brinell hardness tester)
- 3.2.3 เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม
- 3.2.4 เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน
- 3.2.5 ตู้อบสารอุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.6 เครื่องบดย่อยผสมสารด้วยลูกบอล (ball-milling)
- 3.2.7 เครื่องอัดแบบแกนเดียวด้วยระบบไฮดรอลิก (hydraulic uniaxial pressing)
- 3.2.8 เครื่องอัดแบบทุกทิศทาง (cold isostatic pressing)
- 3.2.9 ขวดพลาสติกพร้อมฝาปิด
- 3.2.10 เทปพันท่อน้ำ
- 3.2.11 ลูกบดทำจากเซอร์โคเนีย (ZrO_2) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร
- 3.2.12 ช้อนตักสาร
- 3.2.13 คีมคีบ (forceps)
- 3.2.14 กระจาดฟอยล์
- 3.2.15 ครกหยกสำหรับบดสาร (mortar)
- 3.2.16 เต้าไฟฟ้าสำหรับเผาสาร
- 3.2.17 ถ้วยอะลูมินาสำหรับเผาสาร (alumina crucible)
- 3.2.18 ถูชิปล๊อคสำหรับเก็บชิ้นงาน
- 3.2.19 นาฬิกาจับเวลา
- 3.2.20 ตัววัดความชื้น
- 3.2.21 ปิกเกอร์
- 3.2.22 เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ (electronic digital calipers)
- 3.2.23 กระจาดทราย
- 3.2.24 ขวดฉีดเอทานอล
- 3.2.25 กระจาดทิชชู
- 3.2.26 หลอดหยดสาร (dropper)
- 3.2.27 ตะแกรงร่อน
- 3.2.28 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนผังการเตรียมเม็ดอัลลอยในระบบ Co - Cr

3.3 กระบวนการเตรียมผง

3.3.1 โคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr)

ในการเตรียมเม็ดอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr) เริ่มจากการนำผงโคบอลต์ (Co) และผงโครเมียม (Cr) มาผสมกันตามสมการ (3.1) ดังนี้

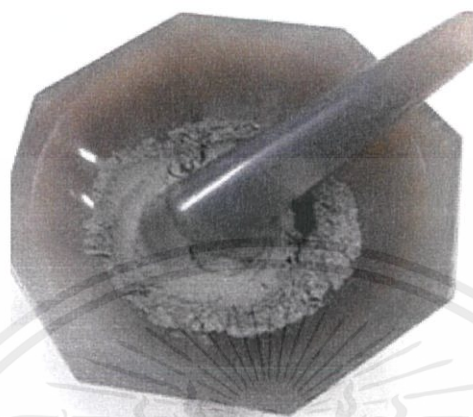


เมื่อ x = 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 % โดยน้ำหนักโดยเริ่มจากนำสารมาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดสูงตามสัดส่วนที่คำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 กระบวนการเตรียมผงโดยวิธีการบดครก (grinding)

เทสารลงในครกหยกดังภาพที่ 3.2 จากนั้นทำการบดผสมสารให้เข้ากันเป็นเวลานาน 30 นาที จากนั้นนำผง Co - Cr ที่ผ่านการบดผสมใส่ไว้ในถุงซิปล็อค เมื่อทำการบดย่อยและผสมสารครบทุกอัตราส่วนแล้วจึงนำสารที่ได้เก็บใส่ไว้ในตู้ดูดความชื้นดังภาพที่ 3.3 เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอก



ภาพที่ 3.2 ครกหยกบดสาร



ภาพที่ 3.3 ตู้ดูดความชื้น

3.3.1.2 กระบวนการเตรียมผงโดยวิธีการบดผสมแบบเปียก (โดยใส่เอทานอล)

เทสารลงในขวดพลาสติกดังภาพที่ 3.4 สำหรับใช้บดที่มีที่เมื่อบดอยู่ 3 ใน 4 ของขวด จากนั้นเติมเอทานอลลงในปริมาณที่เหมาะสม แล้วปิดฝาขวดพลาสติกนั้นพร้อมปิดผนึกด้วยเทปพันท่อน้ำ

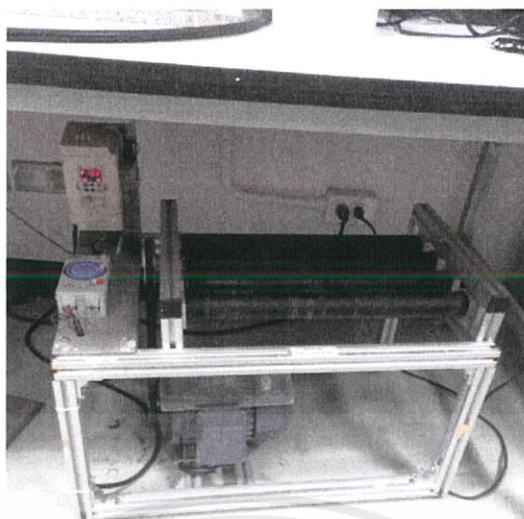
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สนิท แล้วนำไปวางบนเครื่องบดย่อยด้วยลูกบอล (ball - milling) ดังภาพที่ 3.5 เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง และหลังจากบดผสมครบตามเวลาที่กำหนด แล้วนำสารที่ผสมกันมาล้างเพื่อทำการแยกสารที่ต้องการออกมา และเมื่อแยกสารเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำสารที่ได้ไปอบในตู้อบดังภาพที่ 3.6 ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงเพื่อทำการระเหยเอทานอลออกไปให้เหลือแต่เนื้อสารและเพื่อให้แห้งปราศจากความชื้น



ภาพที่ 3.4 ขวดพลาสติกผสมสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 เครื่องบดย่อยด้วยลูกบอล (ball - milling)



ภาพที่ 3.6 ตู้อบสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.3 กระบวนการเตรียมผงโดยวิธีการบดผสมแบบแห้ง (โดยไม่ใส่เอทานอล)

เทสารลงในขวดพลาสติกดังภาพที่ 3.4 สำหรับใช้บดที่มีเม็ดบดอยู่ 3 ใน 4 ของขวดแล้วปิดฝาขวดพลาสติกนั้นพร้อมปิดผนึกด้วยเทปพันท่อน้ำให้สนิท แล้วนำไปวางบนเครื่องบดย่อยด้วยลูกบอล (ball - milling) ดังภาพที่ 3.5 เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง และหลังจากบดผสมครบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำสารที่ผสมกันมาล้างเพื่อทำการแยกสารที่ต้องการออกมา และเมื่อแยกสารเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำสารที่ได้ไปอบในตูอบดังภาพที่ 3.6 ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงเพื่อทำการระเหยเอทานอลออกไปให้เหลือแต่เนื้อสารและเพื่อให้แห้งปราศจากความชื้น

3.4 กระบวนการเตรียมเม็ดอัลลอย

3.4.1 เทคนิคการอัดขึ้นรูปเม็ดอัลลอย

นำผงโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr) ที่ผ่านการบดผสมตามหัวข้อที่ 3.3 มาอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดอัลลอยด้วยเครื่องอัดแกนเดียว (uniaxial pressing) ระบบไฮดรอลิกดังภาพที่ 3.7 โดยจะนำผง Co - Cr มาผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพื่อเพิ่มการยึดเกาะประสาน จากนั้นนำผงผสมที่ได้ใส่ในแม่พิมพ์อัดสารที่ทำจากโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 13 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ด้วยแรงอัด 1500 Kg เป็นเวลานาน 90 วินาที ก็จะได้เม็ดอัลลอย Co - Cr ดังภาพที่ 3.9

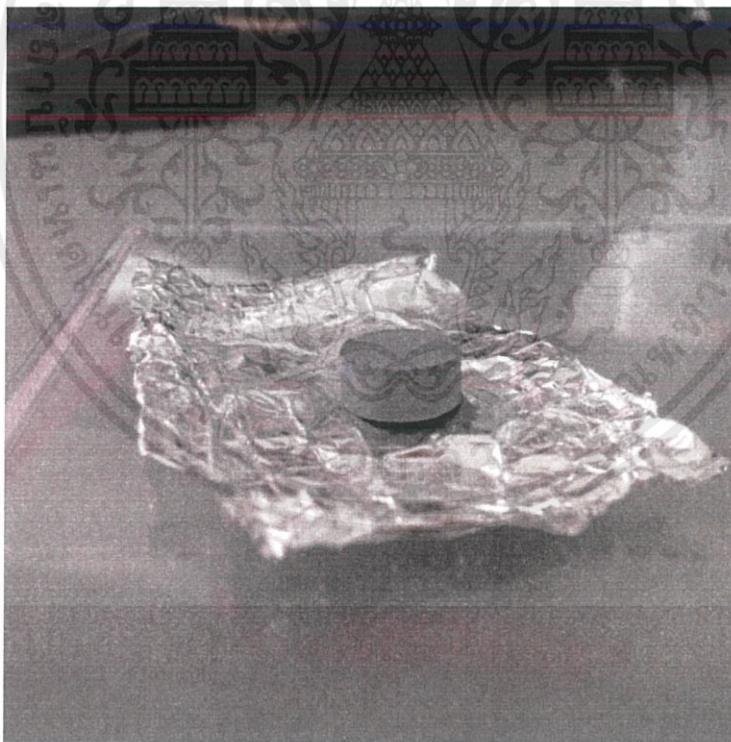


ภาพที่ 3.7 เครื่องอัดแกนเดียว (hydraulic uniaxial pressing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน



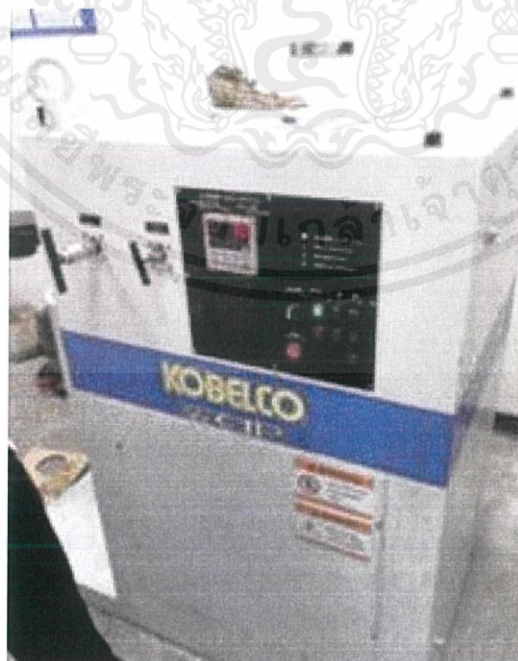
ภาพที่ 3.9 เม็ดอัลลอย Co - Cr

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดแกนเดี่ยวมาทำการอัดขึ้นรูปซ้ำด้วยเครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทางที่อุณหภูมิห้อง (cold isostatic pressing) ดังแสดงในภาพที่ 3.11 โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงานดังนี้ นำเม็ดอัลลอยที่ต้องการอัดมาใส่ไว้ในภาชนะยึดหยุดที่ปิดสนิท โดยในที่นี่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ถุงยางอนามัยเพื่อป้องกันของเหลวจากเครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง ซึมเข้ามาที่เม็ดอัลลอย จากนั้นทำการดูอากาศออกจากถุงยางอนามัยดังภาพที่ 3.10 รัดปากถุงยางอนามัยให้แน่นเพื่อป้องกันอากาศเข้าไป แล้วจึงทำการอัดด้วยแรง 250 MPa เป็นเวลานาน 5 นาที ดังแสดงตามแผนภาพที่ 3.12

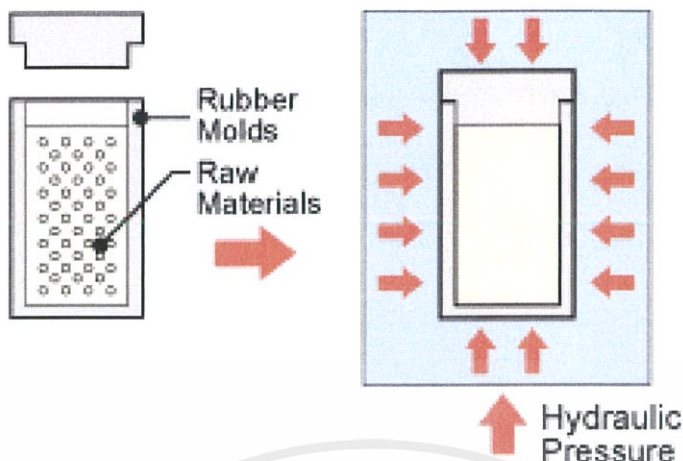


ภาพที่ 3.10 การดูอากาศออกจากถุงยางอนามัย



ภาพที่ 3.11 เครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง (CIP)

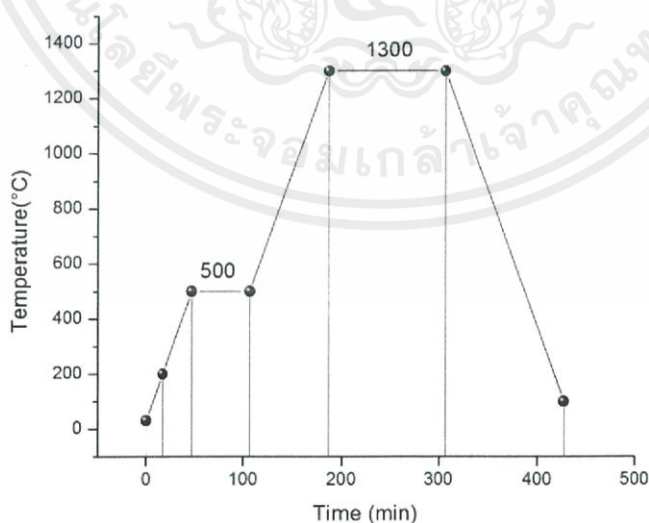
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.12 แผนภาพจำลองการอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง

3.4.2 การเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน

นำเม็ดอัลลอยที่ผ่านกระบวนการอัดทั้ง 2 ขั้นตอน มาใส่ในครุชีเบลแล้วทำการกลบฝังด้วยผงอลูมินา (Al_2O_3) เพื่อช่วยให้ความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งครุชีเบล จากนั้นจึงทำการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน (Ar) โดยเตาไฟฟ้าสำหรับเผาสารดังภาพที่ 3.14 เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของเม็ดอัลลอย Co - Cr โดยขั้นตอนและอุณหภูมิของการเผาเป็นไปตามภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 แผนภาพแสดงกระบวนการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาสาร

3.5 กระบวนการเตรียมสารละลายจำลองพลาสติกของเลือด

นำสารดังในตารางที่ 3.1 มาผสมกันในขวดแก้วสำหรับเก็บสารละลายที่ผสมขึ้น จากนั้นปิดผนึกไว้อย่างมิดชิดเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย c-SBF จำลองพลาสติกของเลือด [20]

สารเคมี	ความบริสุทธิ์	ปริมาณที่ใช้
NaCl	99.5	8.036 กรัม
NaHCO ₃	99.5	0.352 กรัม
KCl	99.5	0.225 กรัม
K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	99.0	0.230 กรัม
MgCl ₂ ·6H ₂ O	98.0	0.311 กรัม
1.0 M-HCl	-	40 มิลลิลิตร
CaCl ₂	95.0	0.293 กรัม
Na ₂ SO ₄	99.0	0.072 กรัม
Tris(hydroxymethyl)-aminomethane	99.9	6.063 กรัม
1.0 M-HCl	-	≈ 0.2 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การตรวจสอบสมบัติกายภาพ

3.6.1 ความหนาแน่น

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ทั้ง 11 ตัวอย่างมาตรวจวัดความหนาแน่นหลังการเผาแน่นโดยอาศัยหลักการแทนที่ของน้ำตามกฎของอาร์คิมิดีส (Archimedes method) เริ่มจากนำเม็ดอัลลอย Co - Cr มาต้มในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วปล่อยให้เม็ดอัลลอย Co - Cr เย็นตัวลงในน้ำที่ทำการต้ม จากนั้นจึงนำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านการต้มและปล่อยให้เย็นตัวลง มาชั่งในน้ำ (W_3) เมื่อชั่งในน้ำเสร็จให้นำเอาเม็ดมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินออกด้วยกระดาษทิชชู แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งอีกครั้ง น้ำหนักที่ได้จะเรียกว่าน้ำหนักจากการชั่งเปียกหรือชั่งหมาด (W_2) เมื่อผ่านการชั่งสองขั้นตอนนี้แล้วให้นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 80 °ซ อบให้แห้งสนิทแล้วนำเม็ดอัลลอย Co - Cr มาชั่ง โดยน้ำหนักที่ได้จะเรียกว่าน้ำหนักจากการชั่งแห้ง (W_1) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นตามสมการที่ 3.2

$$\rho_c = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \times \rho_{H_2O} \quad (3.2)$$

โดยที่ ρ_c คือ ความหนาแน่นของชิ้นงาน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ρ_{H_2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิขณะทำการทดลอง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในอากาศขณะแห้ง (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในอากาศขณะเปียก (กรัม)

3.6.2 เปอร์เซ็นต์การหดตัว

การหาค่าการหดตัวของเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการซินเตอร์นั้น สามารถทำได้ด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอัลลอย Co - Cr ก่อนและหลังการซินเตอร์ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานด้วยสมการที่ 3.3 ดังนี้

$$\% \text{ shrinkage} = \left[\frac{d_1 - d_2}{d_1} \right] \times 100 \quad (3.3)$$

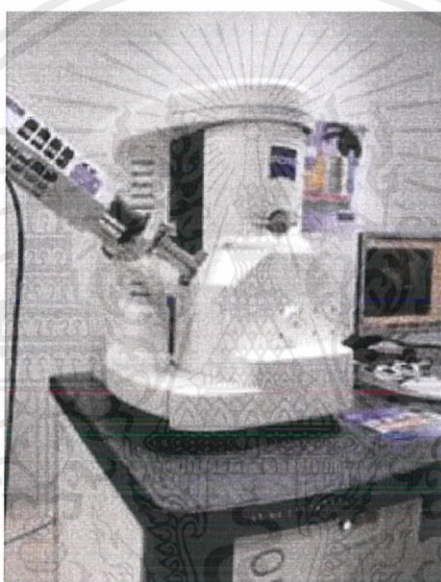
โดยที่ d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอัลลอยก่อนการซินเตอร์ (มิลลิเมตร)

d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอัลลอยหลังการซินเตอร์ (มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์ทั้งหมดมาทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.15 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติแม่เหล็กของเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่เตรียมได้ โดยเริ่มจากการนำเม็ดโลหะอัลลอย Co - Cr แต่ละสัดส่วนองค์ประกอบไปติดบนแท่นทองเหลือง (stub) ด้วยเทปคาร์บอนสองหน้า จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานต่อไป



ภาพที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.8 การตรวจสอบค่าความแข็งด้วยเทคนิคการกดแบบบริเนล (Brinell hardness tester)

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์ทั้งหมดมาทำการตรวจสอบวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Tester) ดังแสดงในภาพที่ 3.16 โดยเริ่มจากนำเม็ดอัลลอยแต่ละสัดส่วนองค์ประกอบมาขัดผิวหน้าให้เรียบโดยใช้กระดาษทราย เพื่อง่ายต่อการเห็นรอยกด จากนั้นทำการวัดค่าความแข็งที่ได้ทุกสัดส่วนองค์ประกอบ



ภาพที่ 3.16 เครื่องวัดความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Tester)

3.9 การตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (bioactivity analysis)

ในการตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพนั้นเป็นการทดสอบการหลุดออกของไอออนโลหะบนผิวหน้าของชิ้นงาน โดยการแช่ชิ้นงานลงในสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดที่มีไอออนเหมือนเลือดจริงๆ ดังตารางที่ 3.2 โดยการตรวจสอบนี้ทำได้โดยการทำมาความสะอาดผิวหน้าของชิ้นงานด้วยการสันแบบอัลตราโซนิคเม็ดตัวอย่างเป็นเวลา 15 นาที ต่อมาแช่ในสารละลายจำลองพลาสมาของเลือด เป็นเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยเก็บสารตัวอย่างที่แช่สารละลายจำลองพลาสมาของเลือดไว้ที่ห้องอุณหภูมิ 37°C หลังจากแช่สารละลายครบกำหนดแล้วก็นำมาล้างสารละลายออกด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน เพื่อหยุดการหลุดออกของไอออนโลหะบนพื้นผิวชิ้นงาน หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะของพื้นผิวชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ตารางที่ 3.2 ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดเทียบกับความเข้มข้นของเลือด [20]

Ion	Concentration (mmol/dm ³)	
	Simulated body fluid (SBF)	Human blood plasma
Na ⁺	142.0	142.0
K ⁺	5.0	5.0
Mg ²⁺	1.5	1.5
Ca ²⁺	2.5	2.5
Cl ⁻	147.8	103.0
HCO ₃ ⁻	4.2	27.0
HPO ₄ ²⁻	1.0	1.0
SO ₄ ²⁻	0.5	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองจากการเตรียมอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม (Co - Cr alloys) ด้วยวิธีการเตรียมแบบดั้งเดิมภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนในการทดลองดังนี้ $Co_{100-x}Cr_x$ โดยที่ $x = 0\ 10\ 20\ 30\ 40\ 50\ 60\ 70\ 80\ 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการอภิปรายผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพซึ่งได้แก่ ค่าการหดตัวหลังการเผาและความหนาแน่น สมบัติเชิงกล ซึ่งได้แก่ ค่าความแข็งแรงแบบบรินเนล และศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาค จากนั้นจึงได้ทำการเลือกเงื่อนไขสัดส่วนที่เหมาะสมมีความเป็นเนื้อเดียวกันและการกระจายตัวที่ดีที่สุด ในอีกส่วนได้ทำการอ้างอิงจากงานวิจัย [13] ประกอบด้วย จึงได้เงื่อนไขสัดส่วนในการเตรียมอัลลอยของโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr alloys) ซึ่งก็คือ เงื่อนไขสัดส่วนที่ $x = 30$ เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการเพิ่มเงื่อนไขการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก ไปดำเนินการตามขั้นตอนการเตรียม จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเข้ากันได้ทางชีวภาพซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ได้เพิ่มเข้ามาในส่วนของการวิเคราะห์ผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

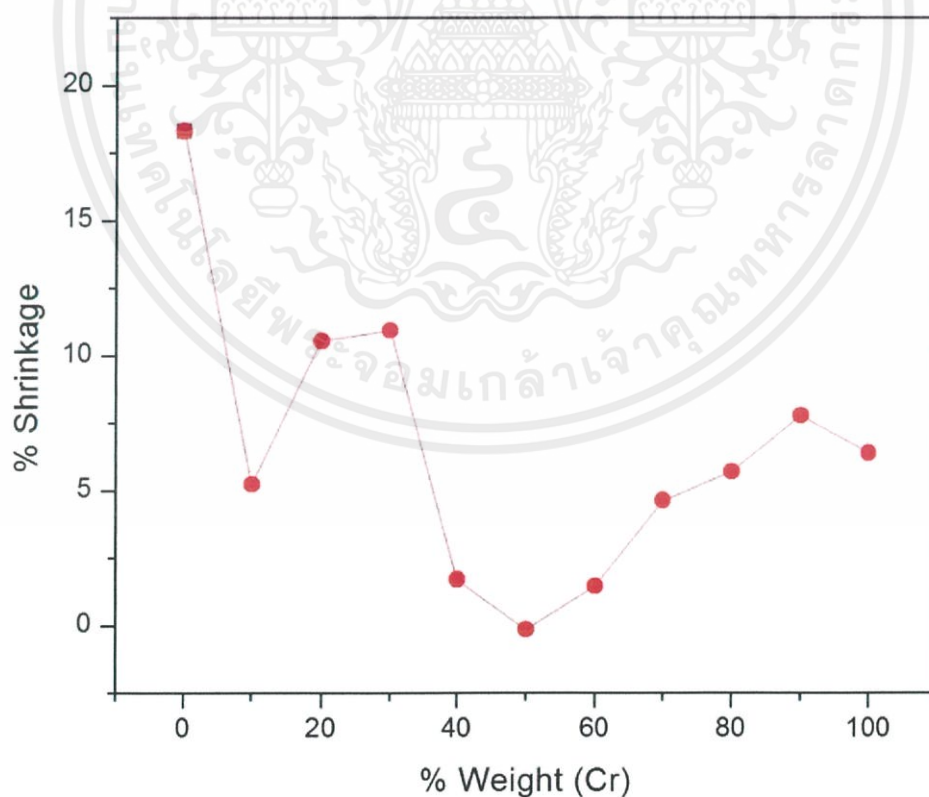
4.1 สมบัติทางกายภาพ

4.1.1 เปอร์เซ็นต์การหดตัวภายหลังการเผาซินเตอร์

หลังจากทำการเผาซินเตอร์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอนที่อุณหภูมิ $1,300$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที ด้วยอัตราการเพิ่ม/ลดของอุณหภูมิอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จึงนำเม็ดอัลลอยมาวัดค่าการหดตัว โดยเม็ดอัลลอย $Co_{100-x}Cr_x$ ที่ $x = 0\ 10\ 20\ 30\ 40\ 50\ 60\ 70\ 80\ 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และเมื่อนำไปพลอตเป็นกราฟพบว่าได้ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ได้นำมาจากการทดลองร่วมกับทัชชกร [23] จากภาพจะเห็นได้ว่าสามารถพิจารณาได้เป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณที่มีปริมาณของโคบอลต์มากกว่า (Co - rich) และบริเวณที่มีปริมาณโครเมียมมากกว่า (Cr - rich) โดยเริ่มจากที่ $x = 0$ (โคบอลต์บริสุทธิ์) ซึ่งจากตารางที่ 4.1 พบว่าที่สัดส่วน $x = 0$ (โคบอลต์บริสุทธิ์) เม็ดอัลลอยมีการหดตัวเยอะที่สุดและลดลงเรื่อยๆเมื่อค่า x เพิ่มขึ้น นั่นคือมีปริมาณโครเมียมเพิ่มมากขึ้นนั่นเอง จนกระทั่งมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวน้อยที่สุดที่ $x = 50$ และเมื่อปริมาณ $Cr > 50$ ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ $x = 100$ (โครเมียมบริสุทธิ์) มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวราวๆ 6.38 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุที่อัลลอยในระบบนี้มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวแตกต่างกันตามสัดส่วนขององค์ประกอบนั้นก็เนื่องมาจากว่าโคบอลต์และโครเมียมนั้นมีอุณหภูมิการซินเตอร์ที่แตกต่างกันทำให้มีพฤติกรรมการหดตัวต่างกัน และเม็ดอัลลอย $Co_{100-x}Cr_x$ ที่ $x = 30$ เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของเมตอัลลอย $Co_{100-x}Cr_x$ ที่ $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายหลังจากการเผาซินเตอร์ [23]

ค่า x	ค่า % การหดตัวของเมตอัลลอย Co - Cr
0	18.30
10	5.23
20	10.53
30	10.92
40	1.69
50	-0.15
60	1.46
70	4.61
80	5.69
90	7.76
100	6.38



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าการหดตัวหลังการเผาซินเตอร์ของเมตอัลลอย Co - Cr ที่เจือปนไขสัดส่วนต่างๆ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังเผาซินเตอร์ของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ที่ทำการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก

เทคนิคการเตรียมเม็ดอัลลอย Co - Cr	ค่า % การหดตัวของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$
บดย่อยด้วยครก	8.76
บดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง	0.07
บดย่อยด้วยบอลแบบเปียก	3.92

ซึ่งจากตารางที่ 4.2 พบว่าการเตรียมเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครกมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่มากที่สุด และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่น้อยที่สุด โดยแต่ละเทคนิคการเตรียมส่งผลต่อการกระจายตัวและความเป็นเนื้อเดียวกันของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ เมื่อกระจายตัวของโครเมียมและความเป็นเนื้อเดียวกันที่สม่ำเสมอจะทำให้เม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ มีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่น้อยลงนั่นเอง

4.1.2 ค่าความหนาแน่นของเม็ดอัลลอย Co - Cr

หลังจากทำการขัดสีจนเหลือแต่เนื้อของเม็ดอัลลอย Co - Cr จึงนำเม็ดอัลลอยวัดค่าความหนาแน่นตามสมการที่ 3.2 พร้อมกับคำนวณความหนาแน่นสัมพัทธ์โดยเทียบกับค่าความหนาแน่นทางทฤษฎี โดยเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 30$ เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [23]

ค่า x	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเม็ดอัลลอย Co - Cr (เปอร์เซ็นต์)
0	93.05
10	60.45
20	69.49
30	73.33
40	65.82
50	68.52
60	76.77
70	81.35
80	76.08
90	72.94
100	73.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 เห็นได้ชัดว่าที่โคบอลต์บริสุทธิ์นั้นมีความหนาแน่นที่มากที่สุด และสัดส่วนอื่นๆ นั้นมีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ โดยคาดว่า ความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันอย่างไม่มีการกระจายตัวและความสม่ำเสมอที่แตกต่างกันเนื่องจากเป็นวิธีการบดย่อยด้วยครก จึงทำให้การกระจายตัวของโครเมียมที่เป็นอีกเฟสนั้นกระจายได้แตกต่างกัน ความทั่วถึงจากสมบัติของโครเมียมที่กระจายอยู่จึงแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ที่ทำการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก

เทคนิคการเตรียมเม็ดอัลลอย Co - Cr	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ (เปอร์เซ็นต์)
บดย่อยด้วยครก	74.17
บดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง	72.16
บดย่อยด้วยบอลแบบเปียก	74.79

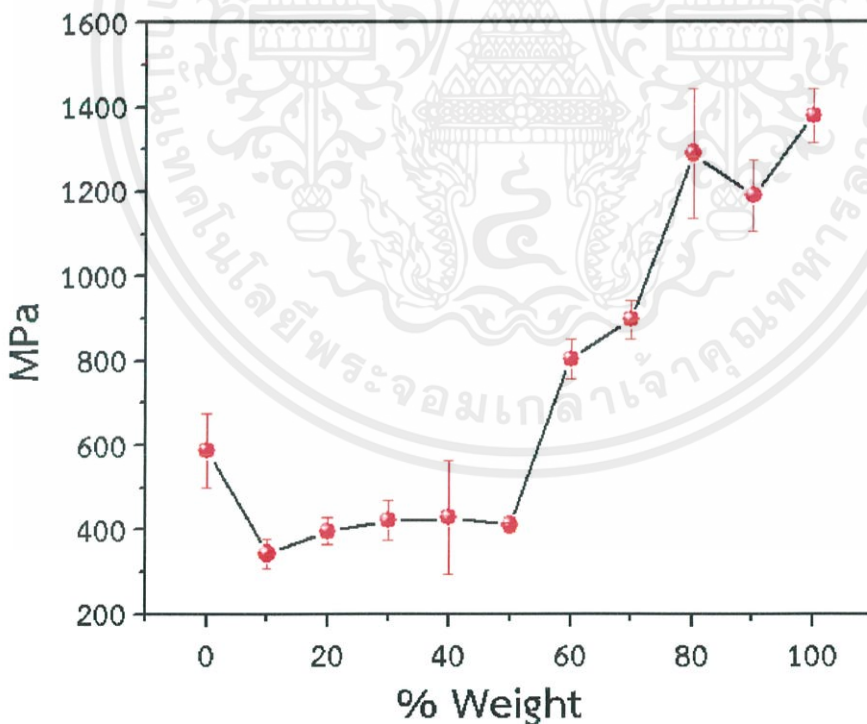
ซึ่งจากตารางที่ 4.4 พบว่าการเตรียมเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นที่น้อยที่สุด ส่วนเทคนิคการบดย่อยด้วยครกและเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกนั้นมีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันมากค่าความหนาแน่นที่ได้ประมาณ 74 เปอร์เซ็นต์ คาดว่าเกิดจากการมีผงอะลูมินาที่เข้ามาแทรกตัวในระหว่างการเผา การหลอมตัวระหว่างขอบเกรนจึงทำให้เมื่อขัดผิวที่มีองค์ประกอบของผงอะลูมินาออกแล้วจึงทำให้มีค่าความหนาแน่นที่ลดลง

4.2 สมบัติเชิงกล (Brinell hardness)

นำเม็ดอัลลอยมาวัดค่าความแข็งด้วยเทคนิคการกดแบบบริเนล โดยเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และเมื่อนำไปพล็อตเป็นกราฟได้ดังภาพที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในบริเวณที่มีโคบอลต์มากกว่า (Co-rich) มีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อ $\text{Cr} > 50$ หรือเข้าสู่บริเวณที่มีค่าโครเมียมมากกว่า (Cr-rich) จะเห็นได้ว่าที่เงื่อนไขสัดส่วนของโครเมียมที่เพิ่มขึ้นจะเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมากของค่าความแข็งสูงขึ้นไปจนถึงที่ $x = 100$ (โครเมียมบริสุทธิ์ มีค่าโดยประมาณ $1,378.01 \text{ MPa}$ ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด คาดได้ว่าโครเมียมเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลค่าความแข็งโดยตรงจากสมบัติความแข็งของโครเมียมโดยค่าความแข็งของโครเมียมทางทฤษฎีนั้นมีค่าราว $1,120 \text{ MPa}$ [22] ส่วนเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 30$ เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ค่าความแข็งของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [23]

ค่า x	MPa
0	587.24 ± 88.24
10	342.44 ± 36.53
20	395.96 ± 30.83
30	421.05 ± 47.25
40	428.04 ± 133.69
50	410.10 ± 5.69
60	803.07 ± 47.53
70	895.48 ± 44.81
80	1288.64 ± 153.49
90	1189.36 ± 85.56
100	1378.01 ± 64.12



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความแข็งเป็น MPa ของเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่เจือปนไขสัดส่วนต่างๆ [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าความแข็ง (Brinell hardness) เป็น MPa ของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ที่ทำการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก

เทคนิคการเตรียมเม็ดอัลลอย Co - Cr	MPa
บดย่อยด้วยครก	316.97 ± 75.23
บดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง	430.32 ± 44.58
บดย่อยด้วยบอลแบบเปียก	513.36 ± 27.89

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งและเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกมีค่าความแข็งที่ใกล้เคียงกัน เทคนิคการบดย่อยด้วยครกมีค่าความแข็งที่น้อยที่สุด คาดว่าการเตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครกนั้นมีการกระจายตัวของโครเมียมที่เป็นตัวแปรสำคัญของค่าความแข็งไม่สม่ำเสมอเหมือนกับเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก ซึ่งการกระจายตัวของโครเมียมไม่ทั่วชิ้นงานหรือไม่ดีส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง

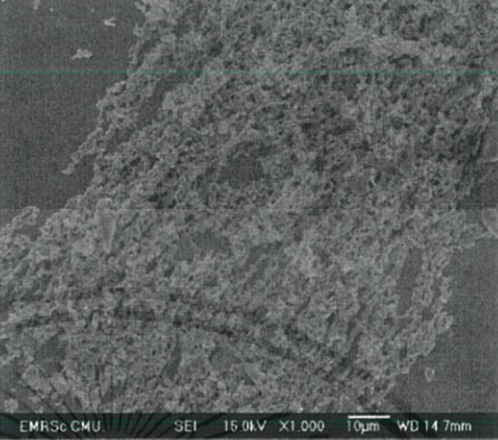
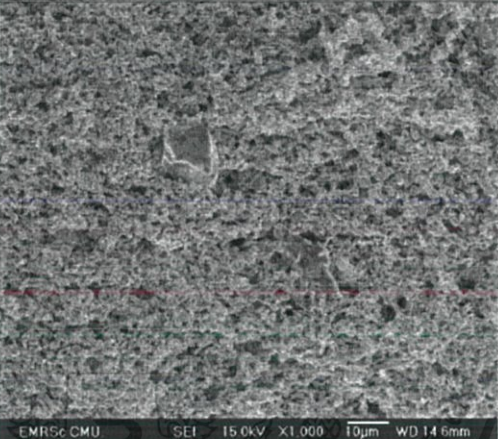
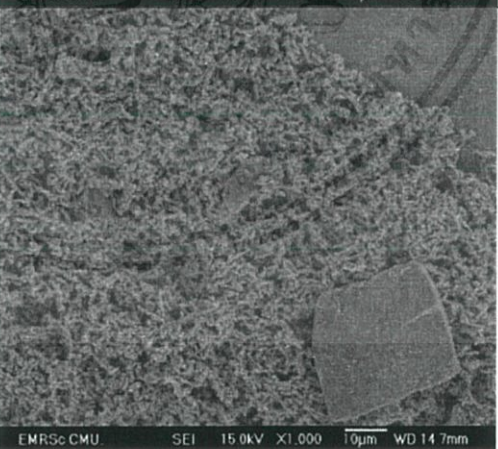
4.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยา

ในส่วนของผลวิเคราะห์ทางลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยาทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะทำแบ่งส่วนในวิเคราะห์ดังนี้

4.3.1 ผงโคบอลต์โครเมียมในเงื่อนไขสัณฐานที่ต่างกัน

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr มาวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยา โดยเม็ดอัลลอยที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก มีสัดส่วนเงื่อนไขเป็น $\text{Co}_{100-x}\text{Cr}_x$ ที่ $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เลือกมาเทียบกัน 3 ตัวอย่าง โดยเลือกสัดส่วนที่ $x = 20, 30, 40$ เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยาของผงโคบอลต์โครเมียมในเงื่อนไขสัณฐานที่ต่างกัน

เงื่อนไขสัณฐาน	กำลังขยาย 1000 เท่า
Co ₈₀ Cr ₂₀	
Co ₇₀ Cr ₃₀	
Co ₆₀ Cr ₄₀	

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าทุกเงื่อนไขสัณฐานอนุภาคโคบอลต์มีลักษณะเป็นแบบแท่งมีขนาดประมาณ 1 ไมโครเมตร อยู่กันอย่างกระจายกัน และอนุภาคโครเมียมมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม โดยที่ Co₈₀Cr₂₀ มีขนาดประมาณ 5 ไมโครเมตร Co₇₀Cr₃₀ มีขนาดประมาณ 12 ไมโครเมตร Co₆₀Cr₄₀ มีขนาดประมาณ 35 ไมโครเมตร เห็นได้ว่าเมื่อชิ้นงานมีสัดส่วนของโครเมียมที่เพิ่มขึ้นอนุภาคโครเมียม

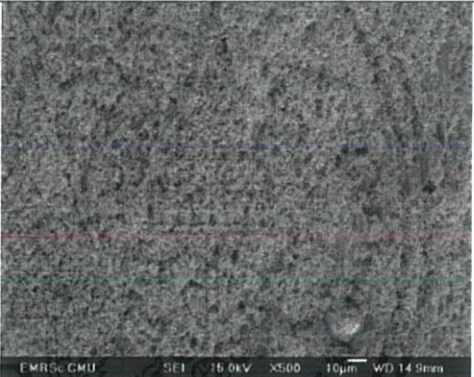
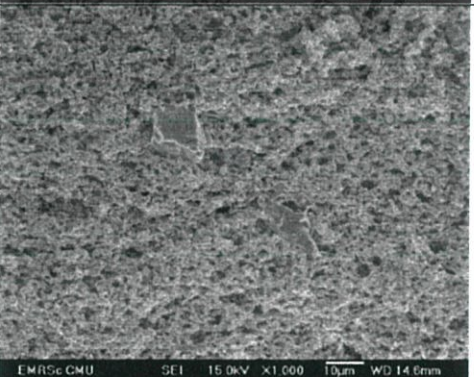
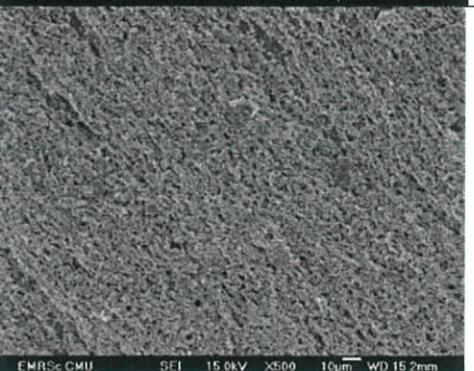
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในผงอัลลอยนั้น มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากเทคนิคในการบดย่อยนั้นมีความทั่วถึงเฟสรองที่แทรกตัวในเฟสหลักได้น้อยกว่าเมื่อเฟสรองมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น

4.3.2 ผงโคบอลต์โครเมียมที่เตรียมด้วยเทคนิคที่ต่างกัน

นำผงอัลลอย Co - Cr มาวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยา โดยผงอัลลอยที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก โดยเงื่อนไขสัดส่วนที่เลือกคือ $Co_{70}Cr_{30}$ เลือกจากงานวิจัยของ M.C. Lucchetti และคณะ [13] ที่ระบุว่า อัลลอย Co - Cr ในสัดส่วนที่มี Cr มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้น จะส่งผลดีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางชีวภาพ

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและสัณฐานวิทยาของผงโคบอลต์โครเมียมที่เตรียมด้วยเทคนิคที่ต่างกันด้วยเงื่อนไขสัดส่วน $Co_{70}Cr_{30}$

เทคนิคการเตรียม	$Co_{70}Cr_{30}$
การบดย่อยด้วยครก	
การบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง	
การบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก	

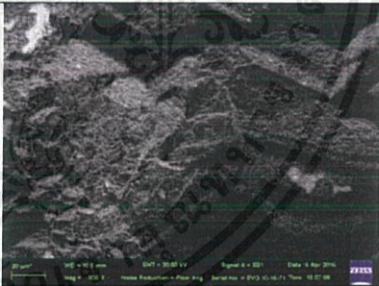
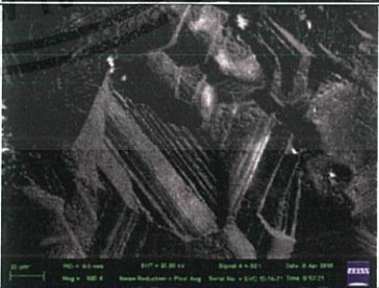
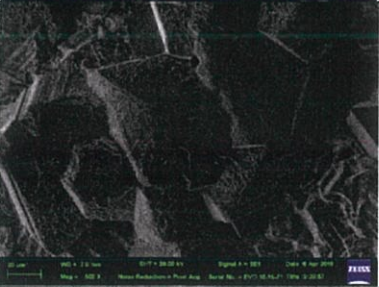
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าทุกเทคนิคการเตรียมนั้นมีการกระจายตัวและความเป็นเนื้อเดียวกันที่แตกต่างกัน เทคนิคการบดย่อยด้วยครก การบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งและเปียก นั้นมีขนาดอนุภาคของโครเมียมประมาณ 20 10 7 ไมโครเมตรตามลำดับ โดยการบดย่อยด้วยครกนั้นมีอนุภาคโครเมียมที่ใหญ่ที่สุดอยู่กระจายเป็นบางแห่ง การบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งมีขนาดอนุภาคโครเมียมที่เล็กรองลงมาอยู่กระจายใกล้โครเมียมอนุภาคอื่นมากกว่า และการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกนั้นมีขนาดอนุภาคโครเมียมที่เล็กที่สุดกระจายตัวกันได้อย่างสม่ำเสมอมีความเป็นเนื้อเดียวกันที่มากที่สุดในทุกเทคนิคการเตรียมในการทดลอง

4.3.3 ลักษณะพื้นผิวของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก

หลังจากทำการอัดเม็ดขึ้นรูปและเผาซินเตอร์แล้ว นำเม็ดอัลลอย Co - Cr มาวิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคและสัญญาณวิทยา โดยเม็ดอัลลอยที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก มีเงื่อนไขสัดส่วน $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ที่กำลังขยาย 500 เท่า ดังในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกที่กำลังขยาย 500 เท่า

เทคนิคการบดย่อย	ลักษณะพื้นผิวของเม็ดอัลลอย $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$
การบดย่อยด้วยครก	
การบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง	
การบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเทคนิคการบดย่อยด้วยครกที่กำลังขยาย 500 เท่ามีเกรนที่อยู่อย่างไม่เป็นระเบียบแต่ละเกรนมีขนาดที่แตกต่างกันมาก ขนาดเกรนเล็กที่สุดประมาณ 4 ไมโครเมตร และขนาดเกรนใหญ่ที่สุดประมาณ 80 ไมโครเมตร โดยเกรนมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 13 ไมโครเมตร

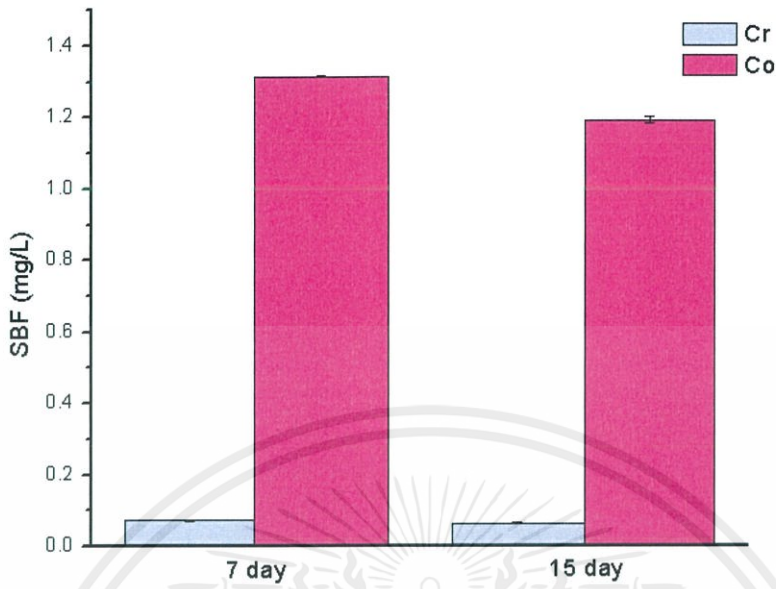
เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งที่กำลังขยาย 500 เท่ามีเกรนที่ชัดเจนเป็นระเบียบแต่เกรนที่อยู่ใกล้กันค่อนข้างมีขนาดที่แตกต่างกัน เกรนที่เล็กที่สุดมีขนาดประมาณ 7 ไมโครเมตรอยู่แทรกกระหว่างเกรนที่มีขนาดใหญ่ เกรนขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดประมาณ 111 ไมโครเมตร โดยเกรนมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 7 ไมโครเมตร

เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกที่กำลังขยาย 500 เท่ามีรูปร่างของเกรนที่ชัดเจน เกรนแต่ละขนาดจะอยู่ติดกันเป็นกลุ่มๆ มีเกรนขนาดอื่นมาแทรกที่น้อยมาก เกรนที่เล็กที่สุดมีขนาดประมาณ 6 ไมโครเมตร เกรนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดประมาณ 94 ไมโครเมตร โดยเกรนมีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9 ไมโครเมตร

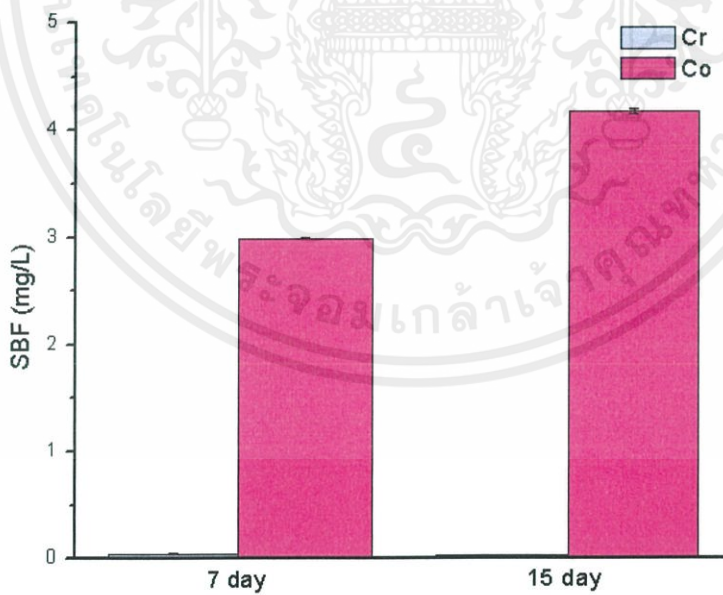
จากเทคนิคการเตรียมทั้ง 3 เทคนิคนั้นจะเห็นได้ว่า มีขนาดเกรนเฉลี่ยและขนาดเกรนที่ใหญ่ที่สุดนั้นมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน คาดว่าเทคนิคการเตรียมทั้ง 3 เทคนิคนั้นเป็นเทคนิคที่กลไกคล้ายกัน ซึ่งเป็นการบดย่อยไปพร้อมกับการทำให้กระจายตัวไปพร้อมๆ กัน แต่ทั้ง 3 เทคนิคนั้นมีลักษณะเกรนและขอบเกรนที่แตกต่างกัน เกิดจากการกระจายตัวที่ไม่เท่ากันในแต่ละเทคนิคการเตรียม โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกเป็นเทคนิคที่มีการกระจายตัวได้ดีที่สุด จึงทำให้มีการจัดเรียงตัวของเกรนเป็นระเบียบมากที่สุด ดังตารางที่ 4.8 เนื่องจากมีสารละลายเอทานอลเข้ามาช่วยในการบดย่อยทำให้ในระหว่างการบดย่อยนั้นสารอัลลอยจะถูกบดและลอยอยู่ภายในเอทานอลทำให้เป็นตะกอนติดขวดที่น้อย แต่ในเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกนี้จะเห็นได้ว่ามีรูพรุนอยู่ระหว่างขอบเกรน คาดว่าเกิดจากการที่มีสารละลายเอทานอลเข้ามาแทรกตัวระหว่างโคบอลตโครเมียมในการอัดเม็ดขึ้นรูปเป็นเม็ดอัลลอย Co - Cr เมื่อนำไปเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของอาร์กอนจึงทำให้สารละลายเอทานอลนั้นระเหยออกไปทำให้เกิดรูพรุนระหว่างขอบเกรนได้

4.4 สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility)

หลังจากทำการอัดเม็ดขึ้นรูปและเผาซินเตอร์แล้ว นำเม็ดอัลลอย Co - Cr มาวิเคราะห์สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพหลังจากนำเม็ดอัลลอยไปแช่สารละลาย SBF เป็นเวลา 7 และ 15 วัน ตามลำดับ โดยเม็ดอัลลอยที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก ในเงื่อนไขสัดส่วน $Co_{70}Cr_{30}$ มีค่าการปลดปล่อยไอออนของโลหะออกมาดังภาพที่ 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

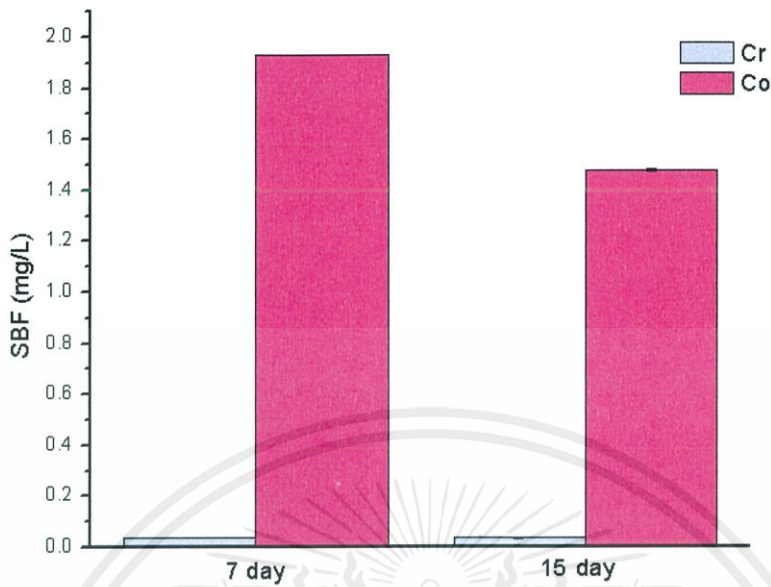


ภาพที่ 4.3 กราฟการปลดปล่อยไอออน Co - Cr โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก



ภาพที่ 4.4 กราฟการปลดปล่อยไอออน Co - Cr โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 กราฟการปลดปล่อยไอออน Co - Cr โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก

จากภาพทั้ง 3 จะเห็นได้ว่า ค่าการปลดปล่อยไอออนของทั้ง 3 เทคนิคการเตรียมนั้น มีการปลดปล่อยไอออนของโคบอลต์ที่ต่างจากโครเมียมมาก เนื่องมาจากสัดส่วน $\text{Co}_{70}\text{Cr}_{30}$ ที่มีสัดส่วนโคบอลต์อยู่ 70 เปอร์เซ็นต์ทำให้โคบอลต์ถูกปลดปล่อยออกมามากกว่า การปลดปล่อยไอออนที่ระยะเวลา 7 และ 15 วัน มีเพียงเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแห้งที่มีการปลดปล่อยไอออนของโคบอลต์เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเป็นเทคนิคที่มีความหนาแน่นที่น้อยที่สุดจาก 3 เทคนิค มีรูพรุนที่สูงกว่า ทำให้มีการเกาะตัวกันที่ผิวได้ไม่ดีนักจึงหลุดออกมา ส่วนเทคนิคการบดย่อยด้วยครกและเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกนั้นมีการปลดปล่อยไอออนของโคบอลต์ที่มีค่าลดลง คาดว่ามีการหลุดออกของไอออนบริเวณผิวชั้นนอกในช่วง 7 วัน เมื่อหลุดไปถึงชั้นที่เกาะกันแน่นจึงทำให้ปลดปล่อยออกมาน้อยลง ส่วนการปลดปล่อยไอออนของโครเมียมทั้ง 3 เทคนิคนั้นมีค่าที่น้อยมากไม่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากเม็ดอัลลอยของโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr alloys) ด้วยวิธีการเตรียมแบบดั้งเดิมภายใต้เงื่อนไขสัดส่วน $Co_{100-x}Cr_x$ โดยที่ $x = 0\ 10\ 20\ 30\ 40\ 50\ 60\ 70\ 80\ 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเงื่อนไขสัดส่วน $Co_{70}Cr_{30}$ ที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งและแบบเปียก ที่นำมาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแกนเดียวและอัดแบบทุกทิศทางทุกทางโดย Cold isostatic pressing และผ่านการเผาขึ้นเตอรืภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอน ซึ่งได้ทำการศึกษาค่าผลของเงื่อนไขในการเตรียมที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล โครงสร้างจุลภาค และสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ทั้งนี้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการทดลองทั้งหมดมีดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. สามารถประดิษฐ์เม็ดอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม (Co - Cr alloys) สัดส่วนต่างๆที่สามารถค้นคว้าเองได้เพิ่มเติม ด้วยวิธีการเตรียมแบบดั้งเดิมขึ้นเองได้ในประเทศ โดยโรงงานหลายแห่งภายในประเทศมีเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีกลไกการทำงานเหมือนกับเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งและเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก ซึ่งสามารถใช้ได้และผลิตได้ในปริมาณที่มากกว่า ลดค่านำเข้าจากการนำเข้าจากต่างประเทศได้

2. เม็ดอัลลอยของโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr alloys) ด้วยวิธีการเตรียมแบบดั้งเดิมภายใต้เงื่อนไขสัดส่วน $Co_{100-x}Cr_x$ โดยที่ $x = 0\ 10\ 20\ 30\ 40\ 50\ 60\ 70\ 80\ 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเงื่อนไขสัดส่วน $Co_{70}Cr_{30}$ ที่เตรียมด้วยเทคนิคการบดย่อยด้วยครก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้งและแบบเปียก ที่ได้ว่าผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการเตรียมนั้นคือ เทคนิคการเตรียมต่างๆส่งผลต่อการกระจายตัวในระหว่างการเตรียม โดยเทคนิคที่ให้การกระจายตัวและความสม่ำเสมอที่ดีที่สุดคือ เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบแห้ง และเทคนิคการบดย่อยด้วยครกตามลำดับ ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ได้มีค่า 74.79 72.16 และ 74.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ค่าความแข็งที่ได้มีค่าประมาณ 430.32 513.36 และ 316.97 MPa โดยเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียกและแห้งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเทคนิคการบดย่อยด้วยครกนั้นมีค่าความแข็งที่น้อยที่สุดตามการกระจายตัวของแต่ละเทคนิค

3. การประดิษฐ์เม็ดอัลลอยของโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr alloys) ด้วยวิธีการเตรียมแบบดั้งเดิมภายใต้เงื่อนไขสัดส่วน $Co_{100-x}Cr_x$ โดยที่ $x = 0\ 10\ 20\ 30\ 40\ 50\ 60\ 70\ 80\ 90$ และ 100 เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนองค์ประกอบคือ จากโคบอลต์บริสุทธิ์เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของโครเมียมเข้ามาส่งผลให้ค่าการหดตัวที่ลดลง แต่เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวมากขึ้นเล็กน้อย ต่อมาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบกับค่าความแข็งนั้นคือ เมื่อมีสัดส่วนของโครเมียมเพิ่มขึ้นขึ้นงานก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เพราะโครเมียมเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อค่าความแข็งโดยตรง ซึ่งโครเมียมนั้นมีค่าความแข็งทางทฤษฎีราว 1,120 MPa [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การประดิษฐ์วัสดุในระบบโคบอลต์โครเมียม (Co - Cr) สำหรับใช้เป็นอวัยวะเทียมฝังในที่มีคุณภาพสูงด้วยเทคนิคแบบดั้งเดิม โดยเทคนิคที่ให้ค่าความหนาแน่นมากที่สุดคือ เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก โดยมีความหนาแน่นอยู่ที่ 74.79 เปอร์เซ็นต์ และเทคนิคที่ให้ค่าความแข็งแรงมากที่สุดคือ เทคนิคการบดย่อยด้วยบอลแบบเปียก โดยมีความแข็งแรงอยู่ที่ 513.36 ± 27.89 MPa ส่วนค่าการปลดปล่อยไอออนของโลหะนั้นทั้ง 3 เทคนิค มีค่าการปลดปล่อยไอออนออกมาน้อยมากและไม่แตกต่างกัน ซึ่งอัลลอยของ $Co_{70}Cr_{30}$ มีความแข็งแรงและค่าการปลดปล่อยไอออนโลหะที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ทางการแพทย์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับเทคนิคการบดย่อยด้วยบอลทั้งแบบแห้งและแบบเปียก เมื่อบดย่อยเสร็จทำให้มีสารติดที่ขวดเป็นจำนวนมากในระบบของโคบอลต์-โครเมียม ทั้งนี้สามารถปรับปรุงโดยเพิ่มเม็ดบอลเข้าไปอีกเพื่อป้องกันการเป็นตะกอนภายในขวด

2. สำหรับเทคนิคการเผาซินเตอร์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอน เนื่องจากเสร็จขั้นตอนแล้วมีอุณหภูมิที่ลดลงอย่างรวดเร็วอาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดรอยแตกได้จากอุณหภูมิลดลงเร็ว ทั้งนี้สามารถปรับปรุงได้โดยใช้อัตราการลดลงของอุณหภูมิลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราในการเพิ่มอุณหภูมิ

เอกสารอ้างอิง

- [1] เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ สืบค้นจาก <http://www.krobkruakao.com>
- [2] ราคาซื้อหัวเข้าเทียม สืบค้นจาก <https://mynametai.wordpress.com>
- [3] สืบค้นจาก <http://www.bloggang.com/mainblog.php?id=agdentalplus&month=25-03-2010&group=2&gblog=4>
- [4] สืบค้นจาก <https://www.bumrungrad.com/th/joint-replacement-surgery-center-bangkok-thailand/total-hip-replacement-mako-1-1>
- [5] สืบค้นจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%95%E0%B9%8C>
- [6] สืบค้นจาก http://www.chem4kids.com/files/elements/art/027_orbital.gif
- [7] สืบค้นจาก <http://www.gemchina.com/UploadFiles/image/20130122021735777.jpg>
- [8] พินิต ระตะนานุกุล. 2553. เคมี2(ธาตุเรพรีเซนเททีฟ กลุ่ม S ธาตุเรพรีเซนเททีฟ กลุ่ม P ธาตุแทรนซิชัน แลนทาไนด์และแอกทีไนด์ ของแข็ง). บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด : มูลนิธิ สอวน.
- [9] สืบค้นจาก http://www.chem4kids.com/files/elements/art/024_orbital.gif
- [10] สืบค้นจาก http://www.o-digital.com/uploads/2179/2200-1/High_Purity_Chromium_Metal_Powder_917.jpg
- [11] สืบค้นจาก http://cara-kulzer.com/media/webmedia_local/media/image/720/cara-cocr-fraes-lightbox.jpg
- [12] J.A. Betancourt - Cantera, F.Sanchez - De Jesus, A.M. Bolarin - Miro, I.Betancourt, G. Torres - Villasenor, “Structural analysis and magnetic properties of solid solutions of Co – Cr system obtained by mechanical alloying”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials (2014), Volume 354 Page 178 – 183.
- [13] M.C. Claudia Lucchetti , “Cobalt – chromium alloys in dentistry : An evaluation of metal ion release”, The journal of prosthetic dentistry (2015), Volume 114 issue 4 Pages 602 – 608.
- [14] M. Dourandish, “Sintering of biocompatible P/M Co – Cr – Mo alloy (F – 75) for fabrication of porosity – graded composite structures”, Materials Science and Engineering A (2008), Volume 472 Page 338-346.
- [15] สืบค้นจาก http://archive.lib.cmu.ac.th/ful/T/2551/mat1151ro_ch2.pdf
- [16] สืบค้นจาก 202.29.34.14/boonrod/load/27chap07.doc
- [17] Encyklopedia Britannica, Scanning electron microscope (ออนไลน์), (2015), สืบค้นจาก : <http://media-1.web.britannica.com/eb-media/88/113688-004-B14FDB14.jpg>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] Zeiss, SEM EVO MA10 (ออนไลน์), (2015), สืบค้นจาก : http://www.zeiss.com/content/microscopy/international/website/en_de/desktop/products/electron-microscopy/evo-materials/jcr%3Acontent/mainpar/inpagetabs/tab-13390597295/textimage/image.img.jpg/1431009112128.jpg/evo-ma10.jpg
- [19] สืบค้นจาก <http://tonanasiiautotech.blogspot.com/2014/04/technical-room-003-brinell-hardness.html>
- [20] นิสา จันทร์พวง, พฤติกรรมในหลอดแก้วของกลาสเซรามิกที่มีเบตาแคลเซียมไพโรฟอสเฟต, วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2550
- [21] จากหนังสือ Design Engineering of Biomaterials for Medical Devices โดย David Hill, 1998, England, John Wiley & Sons Ltd.
- [22] สืบค้นจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1>
- [23] นาย ทัชชกร ศักดิ์แก้ว, การเตรียมและสมบัติของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียมด้วยวิธีดั้งเดิมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นตัวกลางบันทึกข้อมูลแม่เหล็ก, โครงการพิเศษ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2558.

ประวัติผู้เขียน

นายกีรติ คชินทร์ เกิดวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2536 ณ โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา อำเภอมือง จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2548 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย เขต1 ในปีการศึกษา 2554 และในปีการศึกษา 2555 ได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้