

ผลของการบำบัดด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอย
โคบอลต์ - โครเมียมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นอวัยวะฝังใน

EFFECT OF THERMAL TREATMENT ON BIOCOMPATIBILITY OF A COBALT -
CHROMIUM ALLOY FOR SURGICAL IMPLANT APPLICATION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุนาโน
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF THERMAL TREATMENT ON BIOCOMPATIBILITY OF A COBALT
- CHROMIUM ALLOY FOR SURGICAL IMPLANT APPLICATION



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
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ ผลการบำบัดด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอย โคบอลต์ - โครเมียม สำหรับไปประยุกต์ใช้งานเป็นอวัยวะฝังใน

Special Project Title Effect Of Thermal Treatment On Biocompatibility Cobalt – Chromium Alloy For Surgical Implant Application

นักศึกษา นาย กันตถณ เอ็มปรากฏ

รหัสประจำตัว 55110004

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุนาโน

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วรณวิทย์ วิทยากร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

ลายมือชื่อ

ผศ.ดร. วรณวิทย์ วิทยากร

ผศ.ดร. ทศพล เมลืองนนท์

ผศ.ดร. วณิชยา เมฆประสาท


ผศ.ดร. วรณวิทย์ วิทยากร

ภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังอนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธี ชูดีไพจิตร)

หัวหน้าภาควิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วันที่..... เดือน..... พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

ผลการบำบัดด้วยความร้อนที่มีต่อสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอย โคบอลต์-โครเมียม สำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นอวัยวะฝังใน

นักศึกษา

นายกันตภณ เอมปรากฏ

รหัสประจำตัว

55110004

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุนาโน

พ.ศ.

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. วรณวิไลย วิทยาการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียมด้วยกรรมวิธีโลหะผงแบบดั้งเดิมแล้วตามด้วย การซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน พร้อมทำการบำบัดด้วยความร้อนด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นต่อสมบัติที่เกี่ยวข้อง โดยได้ทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (EDX) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ตามลำดับ จากนั้นนำอัลลอยโคบอลต์-โครเมียมทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนมาตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ โดยแช่ชิ้นงานไว้ในสารละลายจำลองของร่างกาย (SBF) เป็นระยะเวลาต่าง ๆ กัน แล้วจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณไอออนของโลหะที่ถูกปลดปล่อยออกมาสู่สารละลายด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีของอะตอม (AAS) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าอัลลอย Co - Cr ที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 5.4223 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรหรือราว 64.37 % เมื่อเทียบกับความหนาแน่นตามทฤษฎี จากนั้นเมื่อนำอัลลอย Co - Cr ไปบำบัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าอัลลอยที่ได้มีรูพรุนน้อยลงเนื่องจากความร้อนที่ให้เข้าไปทำให้เกรนเกิดการโตขึ้นมา สำหรับผลของการตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพนั้นพบว่าปริมาณโคบอลต์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ในขณะที่ปริมาณของโครเมียมลดลง และเมื่อนำชิ้นงานไปบำบัดด้วยความร้อนแล้วพบว่าทั้งโคบอลต์และโครเมียมถูกปลดปล่อยออกมายังสารละลาย SBF มากขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน ซึ่งคาดว่า เป็นผลมาจากความร้อนที่ให้เข้าไปทำให้อัลลอยมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและมีความแข็งลดลง ทำให้ไอออนของโลหะหลุดออกมาจากชิ้นงานได้ง่ายขึ้นนั่นเอง

Special Project Title	Effect of Thermal Treatment on Biocompatibility of a Cobalt – Chromium Alloy for Surgical Implant Application
Student	Mr. Kantapon Aimprakod
Student ID	55110004
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Nanomaterial Engineering
Year	2016
Special Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Wanwilai Vittayakorn

Abstract

The fabrication of cobalt – chromium alloy via conventional powder metallurgy method followed by sintering in Argon atmosphere is studied in this research. The appropriated condition for thermal treatment is performed to cobalt – chromium alloy in order to study the effect of thermal treatment on related properties are investigated. Microstructure, chemical composition, surface morphology of all samples are investigated via scanning electron microscope (SEM), energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) and atomic force microscope (AFM), respectively. After that, the biocompatibility of both annealed and non – annealed alloys are investigated by immersing samples in simulated body fluid (SBF) for various days. The releasing ions are then examined by atomic absorption spectrophotometer (AAS). From the results, Co – Cr alloys show average density of 5.4223 g/cm^3 or about 64.37 % compared to theoretical density. After thermal treatment process at 1200°C for 2 hours, it is found that the amount of pores in samples decreases due to thermal grain growth. For the biocompatibility, the results show that Co amount increases with increasing immersed days whereas Cr amount decreases. For annealed samples. Co and Cr amounts are released to SBF higher than non – annealed samples. The annealing process allows Co – Cr alloys to have higher ductility and lower hardness, releasing a higher concentration of metal ions.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. วรณวิไลย วิทยากร ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติ คอยให้ความรู้คำชี้แนะช่วยเหลือแก้ไขปัญหาต่างๆ คำแนะนำในการวางแผนการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล การเรียบเรียงเนื้อหา การจัดทำรูปเล่ม โครงการพิเศษ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยดีตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ทศพล เมลืองนนท์ และ ผศ.ดร. วณิชยา เมฆประสาท กรรมการคุมสอบ โครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะ ข้อคิดเห็นจนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ทศพล เมลืองนนท์ ที่ให้ความรู้ความช่วยเหลือในส่วนของปฏิบัติอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ ขอขอบคุณ นางสาวพิรญา พูลผล นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำปรึกษาความช่วยเหลือในงานปฏิบัติการ การวิเคราะห์ผล และให้ความรู้ตลอดจนสำเร็จอย่างใกล้ชิด ขอขอบคุณสมาชิกหน่วยวิจัยเซรามิกชั้นสูงทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในห้องปฏิบัติการ คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาที่ข้าพเจ้าได้รับตลอดการศึกษาในระดับปริญญาตรีนี้

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์จากการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้ ขอมอบให้ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กัณฑ์ภณ เอมปรากฏ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตและแผนการดำเนินงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 โคบอลต์ โครเมียม และ โคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) ที่ใช้ในงานทางการแพทย์.....	7
2.1.1 โคบอลต์.....	7
2.1.2 โครเมียม.....	8
2.1.3 โคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) ที่ใช้ในงานทางการแพทย์.....	10
2.2 เทคนิคการเตรียมอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม.....	18
2.2.1 เทคนิคการเตรียมผงอัลลอย.....	18
2.2.2 เทคนิคเตรียมเม็ดอัลลอย.....	20
2.2.2.1 เทคนิคการอัดขึ้นรูปแบบแกนเดี่ยว.....	20
2.2.2.2 เทคนิคการอัดขึ้นรูปทุกทิศทาง.....	21
2.2.2.3 กระบวนการซินเตอร์ในบรรยากาศ.....	21
2.2.3 การบำบัดด้วยความร้อน.....	24
2.2.3.1 การอบอ่อน.....	24
2.2.3.2 การอบปกติเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ.....	26
2.3 เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติและตรวจสอบลักษณะเฉพาะของอัลลอย.....	27
2.3.1 เทคนิควิเคราะห์หาธาตุต่างๆ (EDX).....	27
2.3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	28
2.3.3 เทคนิคตรวจสอบลักษณะพื้นผิว (AFM).....	29
2.3.4 เทคนิคที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะ (AAS).....	31
2.4 การตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอย.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	36
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	36
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้.....	36
3.3 กระบวนการเตรียมผง.....	39
3.4 กระบวนการเตรียมเม็ดอัลลอย.....	42
3.4.1 กระบวนการเตรียมสารละลายจำลองพลาสติกของเลือด.....	42
3.4.2 การเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน.....	46
3.4.3 การบำบัดด้วยความร้อน.....	47
3.5 การตรวจสอบสมบัติกายภาพ.....	48
3.5.1 การตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ.....	48
3.6 การตรวจสอบโครงสร้างและพื้นผิว.....	49
3.6.1 การตรวจสอบสัญญาณวิทยาและโครงสร้างจุลภาค.....	49
3.6.2 ตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่างๆด้วยเครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและ เชิงคุณภาพ.....	50
3.6.3 ตรวจสอบลักษณะของภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม.....	51
3.7 ตรวจสอบหาปริมาณของโลหะในอัลลอย Co – Cr ต่างๆและพื้นผิวหลังจากแช่ (SBF).....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	53
4.1 สมบัติทางกายภาพ.....	53
4.1.1 ลักษณะภายนอก.....	53
4.1.2 น้ำหนักที่สูญเสียไปภายหลังการเผาซินเตอร์.....	54
4.1.3 ความหนาแน่น.....	55
4.2 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะโครงสร้างจุลภาค.....	56
4.2.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาค.....	56
4.2.2 องค์ประกอบทางเคมี.....	57
4.3 โครงสร้างพื้นผิว.....	58
4.4 ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility).....	60
4.5 การตรวจสอบโครงสร้างและพื้นผิว.....	61
4.5.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี.....	61
4.5.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี.....	61
4.5.2 โครงสร้างพื้นผิว.....	64
4.5.3 การปลดปล่อยไอออนโลหะในสารละลายจำลองของเหลวในร่างกาย.....	65
บทที่ 5 บทนำ.....	68
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
บรรณานุกรม.....	70
ประวัติผู้เขียน.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ราคาค่าใช้จ่ายของการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมฝังใน.....	2
1.2 แผนการทำวิจัย.....	5
2.1 สมบัติต่างๆ ของโคบอลต์.....	7
2.2 สมบัติต่างๆ ของโครเมียม.....	9
2.3 ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อ.....	33
2.4 สารเคมีที่ใช้การเตรียมสารละลายจำลองพลาสมาในเลือดมนุษย์ (SBF).....	35
3.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดเทียบกับความเข้มข้นของเลือด.....	52
4.1 น้ำหนักก่อนเผา น้ำหนักหลังเผา และเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียในระหว่างการเผาซินเตอร์ของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr alloys).....	55
4.2 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr alloys).....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศัลยกรรมเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 วัสดุโลหะหลักที่นำไปใช้งานทางการแพทย์เป็นอวัยวะเทียมแบบฝังในร่างกาย และความอ่อนไหวต่อการกัดกร่อน.....	3
2.1 โครงสร้างอะตอมของโคบอลต์.....	8
2.2 ผงโคบอลต์.....	8
2.3 โครงสร้างอะตอมของโครเมียม.....	9
2.4 ผงโครเมียม.....	9
2.5 การกัดกร่อนในที่อับ.....	10
2.6 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก.....	11
2.7 การกัดกร่อนแบบเฟรตติ้ง.....	11
2.8 การกัดกร่อนแบบจุด.....	12
2.9 การกัดกร่อนร่วมกับความดัน.....	12
2.10 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้น.....	16
2.11 การกัดกร่อนที่พบว่าที่บริเวณกลุ่มตะกอนเหล่านี้จะเกิดการกัดกร่อนก่อนบริเวณอื่นๆ.....	17
2.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตชิ้นงานด้วยกรรมวิธีทางโลหะผง.....	19
2.13 กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบแกนเดี่ยว.....	20
2.14 แผนภาพจำลองการอัดด้วยแรงทุกทิศทาง.....	21
2.15 แสดงขั้นตอนการเชื่อมต่อของอนุภาคทรงกลม 4 ตัวในการซินเตอร์.....	22
2.16 ขั้นตอนในการผลิตโลหะซินเตอร์และโลหะแข็ง.....	23
2.17 อุณหภูมิที่ใช้สำหรับ Heat Treatment ชนิดต่างๆ.....	24
2.18 เครื่องวิเคราะห์หาธาตุต่างๆ (Energy Dispersive X-ray Spectrometerหรือ(EDX)).....	27
2.19 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	28
2.20 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopeหรือ(SEM)).....	29
2.21 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง AFM.....	30
2.22 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscopeหรือ(AFM)).....	30
2.23 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง (Atomic Absorption Spectrophotometerหรือ(AAS)).....	31
2.24 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะ (Atomic Absorption Spectrophotometerหรือ (AAS)).....	32
3.1 แผนผังการทดสอบทั้งหมด.....	38
3.2 ครกหยกบดสาร.....	39
3.3 ตู้ดูดความชื้น.....	40
3.4 ขวดพลาสติกผสมสาร.....	41
3.5 เครื่องบดย่อยด้วยลูกบอล (ball - milling).....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึ VIII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 ตู้อบสาร.....	42
3.7 เครื่องอัดแกนเดียว (hydraulic uniaxial pressing).....	43
3.8 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน.....	43
3.9 เม็ดอัลลอย Co – Cr.....	44
3.10 การดูดอากาศออกจากถุงยางอนามัย.....	45
3.11 เครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทาง (CIP).....	45
3.12 แผนภาพแสดงกระบวนการเผาขึ้นเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน.....	46
3.13 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาสาร.....	47
3.14 แผนภาพแสดงกระบวนการบำบัดด้วยความร้อน.....	47
3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	49
3.16 เครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (EDX).....	50
3.17 เครื่องตรวจลักษณะของภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ แรงอะตอม (AFM).....	51
3.18 เครื่องตรวจหาปริมาณของโลหะในอัลลอย (AAS).....	52
4.1 เม็ดอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม (Co-Cr alloys) ก่อนเผาขึ้นเตอร์.....	53
4.2 เม็ดอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม (Co-Cr alloys) หลังเผาด้วยแก๊สอาร์กอน.....	54
4.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวหน้าของอัลลอย Co – Cr.....	56
4.4 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคภายในรูปทรงที่ผิวหน้าของอัลลอย Co – Cr.....	56
4.5 องค์ประกอบของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม.....	57
4.6 วิเคราะห์ปริมาณของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียมที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน.....	58
4.7 ลักษณะพื้นผิว 3 มิติจากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope) ของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม.....	59
4.8 กราฟแสดงปริมาณไอออนของโลหะโคบอลต์ (สีฟ้า) และ โครเมียม (สีส้ม) ที่ถูกปลดปล่อย ออกมาในสารละลายจำลองของเหลวร่างกาย (SBF) ภายหลังจากแช่ชิ้นงาน Co – Cr เป็น เวลานาน 3 7 15 และ 30.....	60
4.9 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวทั่วไปของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน.....	62
4.10 องค์ประกอบของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียมของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน.....	63
4.11 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 โครงสร้างและพื้นผิวของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน.....	65
4.13 กราฟการปลดปล่อยไอออน Co และ Cr ของชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้ว....	66
4.14 กราฟเปรียบเทียบการปลดปล่อยไอออน Co ของชิ้นงานที่ไม่ได้รับการบำบัดด้วยความร้อน (สีฟ้า) และ ชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้ว (สีส้ม).....	66
4.15 กราฟเปรียบเทียบการปลดปล่อยไอออน Cr ของชิ้นงานที่ไม่ได้รับการบำบัดด้วยความร้อน (สีฟ้า) และ ชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้ว (สีส้ม).....	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขต และแผนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

สังคมผู้สูงอายุ หมายถึง ประชากรทั้งเพศชายและหญิงที่มีอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไปและได้แบ่งระดับการเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ เป็น 3 ระดับ ได้แก่ (1) ระดับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ หมายถึง สังคมหรือประเทศที่มีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปมากกว่าร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศหรือมีประชากรอายุตั้งแต่ 65 ปีมากกว่าร้อยละ 7 ของประชากรทั้งประเทศ แสดงว่าประเทศนั้นกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (2) ระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ หมายถึง สังคมหรือประเทศที่มีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งประเทศหรือมีประชากรอายุตั้งแต่ 65 ปี มากกว่าร้อยละ 14 ของประชากรทั้งประเทศ แสดงว่าประเทศนั้นเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์และ (3) ระดับสังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่ หมายถึง สังคมหรือประเทศที่มีประชากรอายุ 65 ปีขึ้นไปมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งประเทศ แสดงว่าประเทศนั้นเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มที่ทั้งนี้องค์การสหประชาชาติ คาดการณ์ว่า ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2100 เป็นศตวรรษแห่งผู้สูงอายุ โลกกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ซึ่งแต่ละประเทศจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อมของแต่ละประเทศ เช่น ความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาทางด้านสุขภาพและการโภชนาอาหาร สำหรับประเทศไทย สำนักงานสถิติแห่งชาติ สรุปว่าไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 โดยมีประชากรผู้สูงอายุ ร้อยละ 10.4 ของประชากรทั้งประเทศและคาดว่าจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ ในช่วงปี ค.ศ. 2024-2025 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ประเทศไทยมีจำนวนประชาชนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นทุกปี และผู้สูงอายุกลุ่มนี้เป็นวัยที่มีโรคภัยไข้เจ็บและความเสื่อมโทรมในร่างกายให้เห็นทุกวัน โดยปัญหาที่พบได้บ่อยในกลุ่มผู้สูงอายุนั้นก็คือ การเสื่อมโทรมของอวัยวะประเภท ข้อต่อ หัวเข่า ข้อต่อสะโพก และฟัน เป็นต้น ซึ่งวิธีแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่งนั่นก็คือ การเปลี่ยนมาใช้อวัยวะเทียมทดแทนอวัยวะจริงที่เสื่อมโทรมไป ทั้งนี้อวัยวะเทียมแบบฝังในส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลมีค่าสูงมากดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งเป็นการสรุปค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมแต่ละชิ้น

นอกจากนี้ยังมีประชากรอีกกลุ่มมักจะมีเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมนั้นก็คือ พนักงานกีฬาในประเภทที่ต้องใช้หัวเข่าใช้การรับน้ำหนักหรือจะเป็นแรงกระแทกจากการวิ่งฝึกซ้อมอย่างหนัก การปะทะหนักภายในการแข่งขัน เช่น ฟุตบอล หรือ บาสเก็ตบอล เป็นต้น ทั้งสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอวัยวะเทียมสูงมากนั้นก็คือนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศเนื่องจากในประเทศยังไม่มีผู้ประกอบการรายใดลงทุนในอุตสาหกรรมนี้ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากที่มีต้นทุนที่สูงมากอาจจะไม่คุ้มค่ากับลงทุน อีกทั้งอวัยวะเทียมแต่ละชิ้นจะต้องผลิตให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคลจึงไม่สามารถผลิตคราวละมากๆ ได้จึงยิ่งทำให้ต้นทุนที่สูงขึ้นไปอีกอย่างไรก็ตามในการศึกษาการสังเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

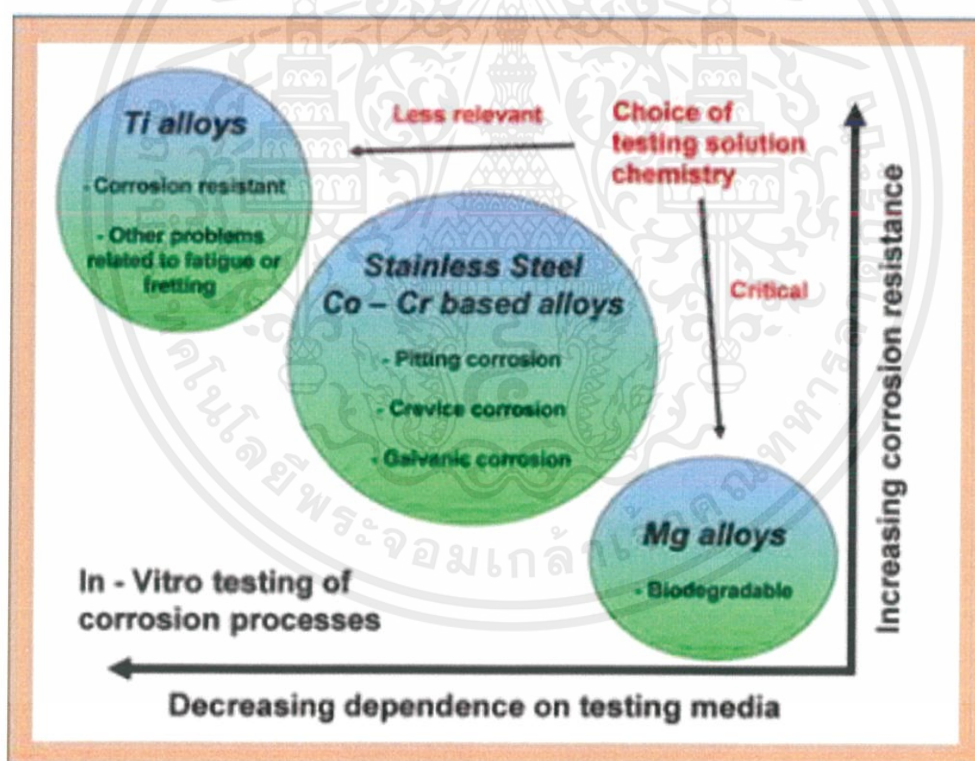
และประดิษฐ์วัสดุสำหรับทำอวัยวะเทียมนั้นก็ถือว่าเป็นการเริ่มต้นที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมอวัยวะเทียมแบบฝังในร่างกายในประเทศไทย โดยโครงการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาวัสดุในกลุ่มอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีสมบัติเชิงกลที่ยืดหยุ่น สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี และไม่เป็นพิษกับร่างกาย โดยอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) จัดเป็นวัสดุผสมฐานโลหะเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ โดยส่วนใหญ่จะใช้งานในด้านการทำกระดูกและฟันในทางทันตกรรมมักใช้สำหรับผลิตกรอบโลหะของฟันปลอมบางส่วนที่สามารถถอดออกได้ ซึ่งอัลลอย Co-Cr นี้มีความต้านทานการกัดกร่อนที่สูง มีค่าความแข็งที่สูงที่มีความคล้ายคลึงกับสแตนเลส มีความต้านทานแรงดึงที่สูงและมีความแข็งแรงสูงขึ้นเมื่ออยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง

ตารางที่ 1.1 ราคาใช้จ่ายของการเปลี่ยนถ่ายอวัยวะเทียมฝังใน [1]

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

โดยทั่วไปอัลลอยของโลหะที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นอวัยวะเทียมแบบฝังในนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามองค์ประกอบฐานและการนำไปใช้งาน ได้แก่ (1) อัลลอยของไทเทเนียม (Ti based alloys) (2) อัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr based alloys) และเหล็กกล้าไร้สนิม (stain steel) และ (3) อัลลอยของแมกนีเซียม (Mg based alloys) ซึ่งทั้งสามกลุ่มล้วนแล้วแต่มีสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยมแต่จะมีข้อด้อยและข้อจำกัดในการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 1.1 ซึ่งแสดงถึงความอ่อนไหวต่อการกัดกร่อนของวัสดุแต่ละชนิด ทั้งนี้ปัญหาหลักของการประยุกต์ใช้งานประเภทนี้คือความทนทานและอายุการใช้งานภายในร่างกาย ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการกัดกร่อน (corrosion) ในระหว่างการใช้นั้นเอง ทั้งวิธีแก้ปัญหาในระยะยาวคือจะต้องทดสอบวัสดุภายใต้บรรยากาศที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงซึ่งก็คือการทดลองในสิ่งมีชีวิต (In vivo study) ได้แก่ คนหรือ สัตว์ จึงจะได้ข้อมูลที่ชัดเจนที่สุด ทั้งนี้การเฝ้าสังเกตกระบวนการกัดกร่อนของวัสดุในสิ่งมีชีวิตนั้นทำได้ยากมากและไม่ได้รับข้อมูลที่ตรงไปตรงมา จึงทำให้การทดสอบการกัดกร่อนของวัสดุมักจะทำภายในขวดแก้ว (In vitro study) มากกว่าซึ่งสามารถเฝ้าสังเกตได้ง่ายกว่าและได้รับข้อมูลทางตรงเลย ทั้งนี้ปัญหาหลักของการศึกษาในหลอดแก้วนั้นก็คือการเลือกของเหลวตัวกลางที่มีความซับซ้อนขององค์ประกอบและประกอบด้วยโปรตีนและเซลล์ที่เหมาะสม รวมไปถึงเงื่อนไขของอุณหภูมิและบรรยากาศที่เหมาะสมกับการใช้งานด้วย โดยอัลลอยของไทเทเนียมถือได้ว่ามีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีที่สุด สามารถทนได้ดีในของเหลวทุกประเภท จึงทำให้ไม่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานมากนัก แต่ก็เป็วัสดุที่มีราคาสูงมากที่สุด ส่วนอัลลอยของแมกนีเซียมนั้นไวต่อการเกิดปฏิกิริยามาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงนิยมนำไปใช้งานเป็นอวัยวะเทียมส่วนที่ทำการรักษาชั่วคราว เช่น การเชื่อมกะโหลกหรือกระดูก โดยไม่ต้องทำการผ่าตัดเอาวัสดุเชื่อมออกแล้วแต่จะให้เสื่อมสลายไปในร่างกายเลย ซึ่งกลุ่มนี้จะมีข้อจำกัดของสภาวะของเหลวที่ใช้งานค่อนข้างมากเนื่องจากจะอัลลอยจะต้องสามารถอยู่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและนานพอโดยไม่สลายไปก่อนเวลาอันควร สำหรับกลุ่มอัลลอยของโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr based alloys) และเหล็กกล้าไร้สนิม (stain steel) จัดว่าเป็นกลุ่มที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันเนื่องจากสามารถใช้ในเนื้อเยื่อของเหลวตัวกลางที่หลากหลายและมีราคาถูกกว่ากลุ่มอัลลอยไททาเนียม อย่างไรก็ตามปัญหาด้านการกัดกร่อนของวัสดุกลุ่มนี้ที่พบบ่อยนั้นก็คือการกัดกร่อนในที่อับ (crevice corrosion) หรือ การกัดกร่อนตามซอก ร่อง หรือมุมแหลม ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากรูปร่างของวัสดุฝังในที่นำไปใช้งานในร่างกายทำให้เกิดพื้นที่อับเกิดการกักขังของสารละลายเป็นเวลานานโดยไม่มีการถ่ายเทและการกัดกร่อนแบบกัลวานิก (galvanic corrosion) ซึ่งเป็นผลจากความไม่สม่ำเสมอของเนื้อวัสดุที่เป็นโลหะมากกว่า 2 ชนิดทำให้เกิดความแตกต่างของประจุไฟฟ้า ซึ่งการกัดกร่อนทั้งสองแบบนี้เป็นเหตุผลหลักที่ทำให้อัลลอยกลุ่มนี้เสื่อมสภาพและใช้งานได้ในเวลาจำกัด



ภาพที่ 1.1 วัสดุโลหะหลักที่นำไปใช้งานทางการแพทย์เป็นอวัยวะเทียมแบบฝังในร่างกายและความอ่อนไหวต่อการกัดกร่อน [2]

โดยในงานวิจัย [2] นี้จะทดสอบการต้านทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุ (corrosion resistance) ซึ่งถือว่าเป็นการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ในหลอดแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(In vitro) โดยจะเฝ้าสังเกตพฤติกรรมการกัดกร่อนของของเหลวกับวัสดุได้ดีกว่า มีหลักการคือนำวัสดุมาไว้ในของเหลวที่แสดงสภาวะจำลองทางชีวภาพของร่างกายในช่วงเวลาต่างๆ จากนั้นจึงนำวัสดุมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และโครงสร้างจุลภาค ในขณะเดียวกันของเหลวที่แสดงสภาวะจำลองทางชีวภาพของร่างกายก็จะถูกนำไปทดสอบหาปริมาณของสารตกค้างและไอออนของโลหะที่ถูกปลดปล่อยออกมาด้วย ซึ่งหากปริมาณสารตกค้างและไอออนของโลหะอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ก็จะถือว่าวัสดุดังกล่าวมีความปลอดภัยและมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดี จากนั้นจะทำการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุด้วยการนำไปบำบัดด้วยความร้อน (thermal treatment) แล้วจึงทำการทดสอบการต้านทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์วัสดุในระบบโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) สำหรับใช้เป็นอวัยวะเทียมฝังในที่มีคุณภาพสูงด้วยเทคนิคแบบดั้งเดิม

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการบำบัดด้วยความร้อนที่มีผลต่อความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr Alloys)

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนองค์ประกอบ โครงสร้างจุลภาคและสมบัติของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr Alloys) สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นอวัยวะเทียมฝังใน

1.3 ขอบเขตและแผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การสังเคราะห์และประดิษฐ์อัลลอยในระบบโคบอลต์โครเมียม (Co-Cr) สัดส่วน 70Co-30Cr ซึ่งเป็นสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นอวัยวะเทียมฝังใน ด้วยเทคนิคการบดย่อยแบบดั้งเดิมเพื่อลดค่าใช้จ่าย จากนั้นจะทำการขึ้นรูปและเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูงภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูงแล้วจึงทำการตรวจวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะซึ่งประกอบไปด้วยเฟสที่เกิดขึ้นและลักษณะโครงสร้างจุลภาคของอัลลอยที่เตรียมได้ จากนั้นจะนำเม็ดอัลลอยไปบำบัดด้วยความร้อนด้วยการอบอ่อน (anneal) ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเป็นการปรับปรุงลักษณะโครงสร้างจุลภาคและระบายความเครียดภายในเนื้อสาร พร้อมตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการบำบัด แล้วในส่วนสุดท้ายจะเป็นการตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพภายในหลอดทดลอง (in vitro) ของวัสดุที่เตรียมได้ โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ก่อนและหลังการบำบัดด้วยความร้อน พร้อมศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของโครงสร้างจุลภาคและสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุอัลลอย Co-Cr ดังกล่าว โดยแผนการทดลองทั้งหมดสามารถเขียนได้ดังแสดงในตาราง 1.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แผนการวิจัย

ขั้นตอน การดำเนินงาน	ระยะเวลาการทำวิจัย									
	ปี 2559					ปี 2560				
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1. ทบทวนวรรณกรรม และออกแบบการ ทดลองเกี่ยวกับอัล ลอย Co-Cr สำหรับ การประยุกต์เป็นวัสดุ เทียมฝังในร่างกาย		➔								
2. จัดเตรียมและ จัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ ผงอัลลอย		➔								
3. สังเคราะห์ผงอัล ลอย Co -Cr ให้มี คุณภาพสูง			➔							
4. อัดเม็ดขึ้นรูปอัล ลอย Co - Cr และ เผาด้วยความร้อนสูง ภายใต้บรรยากาศ ของแก๊สอาร์กอน				➔						
5. ตรวจสอบสมบัติ ทางกายภาพเฟสที่ เกิดขึ้นและโครงสร้าง จุลภาคของเม็ดอัล ลอยที่เตรียมได้					➔					
6. นำเม็ดอัลลอยไป บำบัดด้วยความร้อน เพื่อปรับปรุงลักษณะ โครงสร้างจุลภาค						➔				
7. ทดสอบความ ต้านทานต่อการกัด กร่อนและความเข้า กันได้ทางชีวภาพของ เม็ดอัลลอยก่อนและ หลังการบำบัดด้วย ความร้อน								➔		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลลอย โคบอลต์-โครเมียมคุณสมบัติต่างๆกระบวนการเตรียมผงที่หลากหลายกระบวนการเตรียมเม็ดและการบำบัดด้วยความร้อน รวมไปถึงถึงทฤษฎีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆในอัลลอย โคบอลต์-โครเมียม โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 โคบอลต์ โครเมียม และ โคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) ที่ใช้ในงานทางการแพทย์

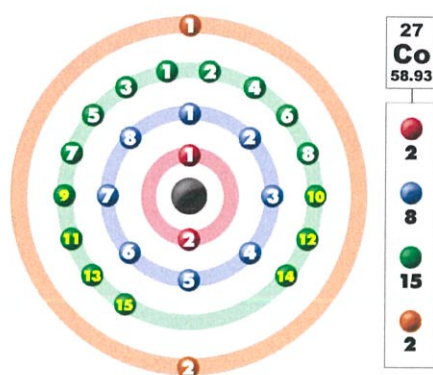
2.1.1 โคบอลต์ (Cobalt)

โคบอลต์คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอมเป็น 27 และมีสัญลักษณ์คือ Co โคบอลต์อยู่ในตารางธาตุหมู่ 27 จัดอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชัน (transition metal) มีโครงสร้างอะตอมดังภาพที่ 2.1 มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีเทาดังภาพที่ 2.2 ซึ่งช่วยควบคุมการเผาไหม้ ไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ จึงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดเนื้อเยื่อที่อุณหภูมิสูง และยังช่วยเสริมโครงสร้างทางโมเลกุลให้เหล็กมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ผสมในเหล็กขึ้นรูปงานร้อนและเหล็กทนความร้อน [3] 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
ความหนาแน่น	8.90 g/cc
เลขออกซิเดชันสามัญ	+2,+3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างอะตอมของโคบอลต์ [4]



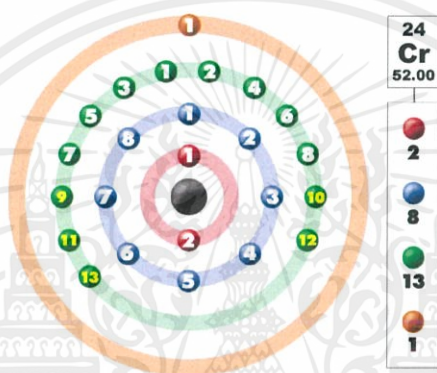
ภาพที่ 2.2 ผงโคบอลต์ [5]

2.1.2 โครเมียม (Chromium)

โครเมียมเป็นธาตุในตารางธาตุซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น Cr มีหมายเลขอะตอมเป็น 24 ชื่อโครเมียมมีรากศัพท์ดั้งเดิมมาจากภาษากรีก คำว่า Chrome หมายถึงสี มีคุณสมบัติเป็นโลหะตามตารางธาตุ แบ่งออกตามวาเลนซ์ดังนี้ 0 1 2 3 4 และ 6 โดยโครเมียมโลหะทรานซิชัน (transition metal) เป็นธาตุในบล็อก - ดี (d - block) ตามตารางธาตุ มีโครงสร้างอะตอมดังภาพที่ 2.3 มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีเงินมันวาวดังภาพที่ 2.4 ซึ่งมีสมบัติการนำไฟฟ้าได้ดี มีจุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง มีความมันวาวและสามารถตีแผ่เป็นแผ่นได้ โดยส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานโลหะกรรม ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนและทำให้เกิดความมันวาว เช่น การทำชิ้นส่วนรถยนต์หรือชิ้นส่วนต่างมอเตอร์ไซด์ ใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับการเผาอิฐ ใช้ผลิตเทปแม่เหล็ก ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น [6] 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
ความหนาแน่น	7.19 g/cc ที่ 20 °ซ
เลขออกซิเดชันสามัญ	+2,+3 และ +6



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างอะตอมของโครเมียม [7]



ภาพที่ 2.4 ผงโครเมียม [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 โคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr) ที่ใช้ในงานทางการแพทย์

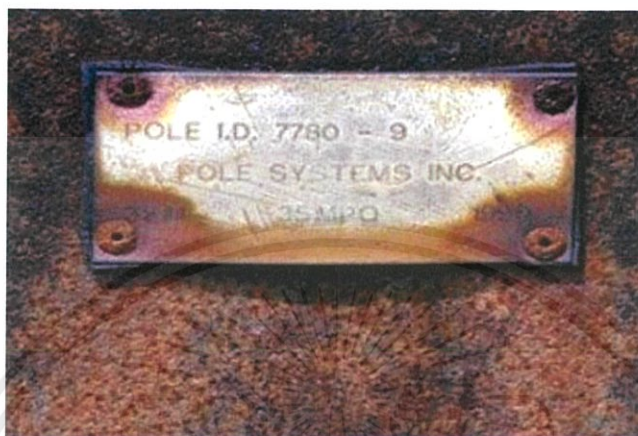
ในทางการแพทย์นั้น โลหะถือได้ว่าเป็นวัสดุกลุ่มหนึ่งที่มีการนำมาใช้งานในการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย ทั้งอุปกรณ์ที่ช่วยในการผ่าตัด ไปจนถึงอุปกรณ์ที่ฝังเข้าไปในร่างกายเป็นเวลานาน เป็นที่ทราบกันดีว่า สภาพแวดล้อมภายในร่างกายมนุษย์ สามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์ ที่ผลิตจากโลหะ ประเภทต่าง ๆ ได้ ถึงแม้ว่า โลหะที่นำมาใช้งาน จะถูกเลือกแล้วว่า สามารถทนทานต่อการกัดกร่อน ภายในร่างกายได้ก็ตาม แต่ปัญหา ของการกัดกร่อน เป็นสิ่งที่พบเห็นได้มาก มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ เกิดการแตกหักเสียหาย ก่อนเวลาอันควร หรือไม่เป็นไปตามอายุการใช้งานจริงที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากนี้ การหลุดออกมาของเศษวัสดุเนื่องจากการกัดกร่อน อาจก่อให้เกิดปฏิกิริยา ต่อเนื้อเยื่อ ข้างเคียงได้ โดยบางครั้งถูกระบุว่า ก่อให้เกิดการเจ็บปวดหรือปวดบวม ในบริเวณ วัสดุฝังในแม้ปราศจากการติดเชื้อ นอกจากนี้ อาจส่งผลต่อการสลายตัว ของเนื้อกระดูกโดยรอบได้ ซึ่งการกัดกร่อนมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทโดยตัวอย่างของการกัดกร่อนที่พบในอุปกรณ์ฝังใน ทางทางการแพทย์ได้แก่ 1. การกัดกร่อนในที่อับ (crevice corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก พื้นผิวบาง บริเวณบนผลิตภัณฑ์ กลายเป็นแอโนดิก หรือมีปริมาณออกซิเจน ไม่สม่ำเสมอ โดยบริเวณที่มีออกซิเจนน้อยจะกลายเป็นแอโนดิก การกัดกร่อนประเภทนี้ มักจะพบได้ ในบริเวณที่เป็น แนวขอบประกบของอุปกรณ์ เช่น บริเวณระหว่างหัวสกรูและ แผ่นตาม กระดูก บริเวณรอยต่อระหว่างหัวกระดูกเทียม (conical head) และคอของก้านกระดูกขาเทียม (neck taper) ในข้อสะโพกเทียมแบบมอดูลาร์ เป็นต้น [9]



ภาพที่ 2.5 การกัดกร่อนในที่อับ [10]

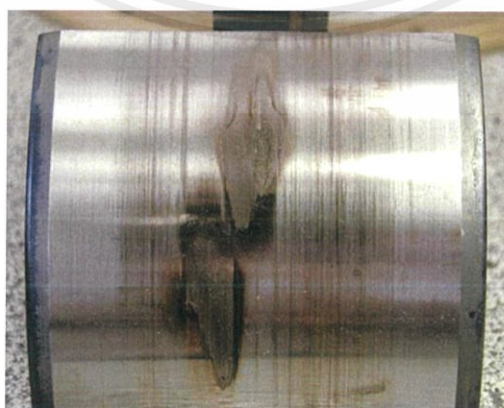
2. การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (galvanic corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น เนื่องจาก การใช้งาน โดยนำโลหะสองประเภท ที่มีความแตกต่างทางเคมีไฟฟ้า มาต่อเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นในวงจร ส่งผลให้โลหะหนึ่งประเภท จะเป็นแอโนดิก และเกิดการ กัดกร่อน ในขณะที่โลหะอีกประเภทหนึ่ง จะเป็นแคโทดิก และถูกป้องกันจากการกัดกร่อน เช่น การใช้สวดสแตนเลสร่วมกับ ก้านกระดูกขาเทียม ที่ผลิตจากโลหะผสมของโคบอลต์ หรือไทเทเนียม การใช้หัวกระดูกเทียมโลหะผสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโคบอลต์ร่วมกับ ก้านกระดูกเทียม โลหะผสมของไทเทเนียม หรือการใช้สกรูไทเทเนียมร่วมกับ แผ่นตามกระดูกสเตนเลส นอกจากนี้ ในบางกรณีเศษวัสดุจาก เครื่องมือช่วยในการผ่าตัด หรือใส่ อุปกรณ์ อาจจะ หลุดไปยังอุปกรณ์ฝังในได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น เศษโลหะจากไขควงไปยังหัวสกรู หรือ จากสว่านเจาะไปยังแผ่นตามกระดูก เป็นต้น [9]



ภาพที่ 2.6 การกัดกร่อนแบบกัลป์วานิก [11]

3. การกัดกร่อนแบบเฟรตติ้ง (fretting corrosion) การกัดกร่อนประเภทนี้ เกิดขึ้นเนื่องจาก การเสียหายของชั้นฟิล์มบางปกป้อง (protective film) บนผิวโลหะ เนื่องจากการสั่นสะเทือน อย่าง ต่อเนื่อง ในบริเวณรอยต่อระหว่างผิวอุปกรณ์ที่สัมผัสกัน ทำให้บริเวณดังกล่าว ขาดฟิล์มปกป้อง และ เกิดการกัดกร่อนขึ้น ในบริเวณดังกล่าว ตัวอย่างของบริเวณที่พบการกัดกร่อนประเภทนี้ ในอุปกรณ์ฝัง ใน ได้แก่ บริเวณรอยต่อระหว่างสกรู และแผ่นตามกระดูกที่หัวสกรูเกิดการเคลื่อนที่ [9]



ภาพที่ 2.7 การกัดกร่อนแบบเฟรตติ้ง [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การกัดกร่อนแบบจุด (pitting corrosion) การกัดกร่อนประเภทนี้ เริ่มเกิดจากบริเวณที่ ฟิล์มปกป้องถูกทำลาย ซึ่งความเสียหายของฟิล์มนี้ เกิดได้จาก หลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นแรงกระทำ สารเคมี หรือสิ่งปลอมปนในเนื้อโลหะ ทำให้เกิด การกัดกร่อน เป็นหลุม ในบริเวณดังกล่าว การกัดกร่อนนี้ มักจะพบในเหล็กสแตนเลส โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เหล็กที่ใช้กระบวนการผลิต ในอดีต ซึ่งการขจัดสิ่งปลอมปน ออกจากเนื้อโลหะ ยังไม่มีการควบคุมที่ดีพอ [9]



ภาพที่ 2.8 การกัดกร่อนแบบจุด [13]

5. การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (stress corrosion cracking) เป็นลักษณะ ของการกัดกร่อน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก ผลรวมของความเค้น และสภาวะการกัดกร่อน ในลักษณะที่ระดับความเค้น หรือการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว อาจไม่ก่อให้เกิด ความเสียหายรุนแรงได้ โดยระดับความเค้น อาจจะมีค่าต่ำมาก เช่น ความเค้นตกค้าง เท่านั้น ก็เป็นไปได้ ตัวอย่างของการกัดกร่อนประเภทนี้ได้แก่ แผ่นตามกระดุกที่ถูกดัดงอ ทำให้เกิดความเค้นดึง ที่ผิวด้านหนึ่ง และความเค้นอัดที่ผิวตรงข้าม จะส่งผลให้บริเวณนั้น มีสภาวะเป็นแอโนดิก เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น [9]



ภาพที่ 2.9 การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้การควบคุมและการป้องกันการกัดกร่อนสามารถทำได้โดย

1.การเลือกใช้โลหะ สำหรับนำมาผลิต เป็นอุปกรณ์ฝังในทางการแพทย์นั้น สามารถ แบ่ง ออกได้เป็น 2 แนวทางคือการใช้โลหะมีค่า (noble metals) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ อนุกรมไฟฟ้า เคมีแล้ว โลหะเหล่านี้ จะมีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงมาก กลุ่มของ โลหะเหล่านี้ได้แก่ ทอง เงิน และแพลทินัม อย่างไรก็ตาม โลหะกลุ่มนี้ แม้จะมีความทนทาน ต่อการกัดกร่อนได้ดีหากแต่มีราคาสูง และมีสมบัติทางกลต่ำ จึงทำให้ไม่นิยมนำมา ผลิต อุปกรณ์ฝังในทางการแพทย์ ที่ต้องมีการรับแรงหรือ เป็นโครงสร้างหลัก ยกเว้น การใช้งาน ทางทันตกรรม แนวทางที่สองของการเลือกใช้โลหะ คือการใช้ กลุ่มโลหะที่มีความสามารถในการสร้างฟิล์มปกป้องพื้นผิวได้ (passivated metals) ซึ่งมีการใช้งาน อย่างกว้างขวาง และพบเห็นได้ง่ายในทางการแพทย์ ธาตุในกลุ่มที่สามารถสร้างฟิล์มได้ดี ได้แก่ อะลูมิเนียม โครเมียมและไทเทเนียม โดยอะลูมิเนียมไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากเป็นพิษ ต่อ ร่างกาย โครเมียมไม่สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง หากแต่ใช้ ในการผสมกับโลหะอื่น ได้แก่ เหล็กสแตน เลสและโลหะผสมของโคบอลต์-โครเมียม ซึ่งจะต้องมีปริมาณโครเมียม อย่างต่ำ 12 % ที่จะทำให้ โลหะผสม สามารถป้องกัน การกัดกร่อนได้ดี และต้องมีปริมาณ โครเมียมอย่างต่ำ 18 % ที่จะทำให้ โลหะผสม ต้านทานการกัดกร่อนได้อย่างดีเยี่ยม ไทเทเนียมสามารถนำมาใช้งานได้ ทั้งในรูปของ โลหะ เดี่ยวหรือโลหะผสม

เมื่อเปรียบเทียบกับแล้ว ไทเทเนียมจะมีความต้านทาน ต่อการกัดกร่อนดีที่สุด เนื่องจากชั้น ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ มีความแข็งแรงสูง และสามารถเกิดใหม่ เพื่อ ซ่อมแซมความเสียหายได้ อย่างรวดเร็ว โลหะผสมของโคบอลต์จะมีความทนทานรองลงไป มักจะไม่เกิดการกัดกร่อนแบบจุด แต่ อาจจะมีการกัดกร่อนในที่อับได้ เหล็กสแตนเลส จะมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำที่สุด และมัก เกิดการกัดกร่อนแบบจุด และแบบในที่อับได้ง่าย

2.กระบวนการผลิตคือ การควบคุมคุณภาพในการผลิต ไม่ว่าจะ เป็นในแง่ของ องค์ประกอบ ทางเคมี ความสะอาด ความบริสุทธิ์ของเนื้อโลหะ สภาพผิวสำเร็จ ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อ ความ ต้านทานการกัดกร่อนของโลหะฝังใน ในด้านองค์ประกอบทางเคมีนั้น ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด ได้แก่ เหล็กสแตนเลส เนื่องจากสามารถเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายที่สุด ถึงแม้โครเมียม และโมลิบดีนัมจะเป็น ธาตุหลักที่ช่วยในการต้านทานการกัดกร่อน หากแต่เหล็กสแตนเลส จะต้องต้องมีปริมาณคาร์บอนที่ต่ำ ร่วมด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะต้องต่ำกว่า 0.03 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก ส่วนในแง่ของ ความบริสุทธิ์นั้น สาร มลทินต่าง ๆ เช่น ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถันจะต้องมีการขจัดออกเพื่อป้องกันการเกิดการกัด กร่อนแบบจุด กระบวนการผลิต ที่นิยมใช้ในการขจัดสารมลทิน ในปัจจุบันสำหรับ เหล็กสแตนเลส ได้แก่ การหลอมซ้ำในสุญญากาศ (vacuum remelted) นอกจากนี้ กระบวนการผลิต ในการ ปรับปรุงสภาพผิวของโลหะ เช่น การทำ passivation ของเหล็กสแตนเลส การฝังไอออน บนผิวโลหะ ด้วยคาร์บอน และไนโตรเจน เพื่อเพิ่มความแข็งผิว ทำให้ทนทานต่อการขัดสี และการกัดกร่อน และ การเคลือบผิวด้วยวัสดุอื่น เป็นต้น ก็เป็นอีกหนึ่งกระบวนการ ที่ทำเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัด กร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การใช้งานคือลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ฝังในในห้องผ่าตัดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สามารถส่งผลถึงประสิทธิภาพ การทำงานของอุปกรณ์ได้ ข้อเสนอแนะต่อไปนี้เป็นเพียงข้อเสนอแนะเบื้องต้นที่ควรระมัดระวังในการใช้งานโลหะฝังใน

- ควรหลีกเลี่ยงการก่อให้เกิดรอยขีดข่วน บนผิวอุปกรณ์ ในระหว่างการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการโยน การเขย่าไปมาในถาด การกระแทกกันระหว่างอุปกรณ์ ทั้งนี้ เนื่องจากรอยขีดข่วนดังกล่าวจะทำให้ฟิล์มปกป้องบนผิวโลหะเกิดความเสียหายได้ และจะเป็นบริเวณที่อ่อนแอต่อการเกิดการกัดกร่อน ดังนั้น จึงควรเก็บอุปกรณ์ ในบรรจุภัณฑ์จนกว่าจะใช้งาน และทำงานอย่างระมัดระวัง
- ควรหลีกเลี่ยงการใช้โลหะต่างประเทศในการทำงาน โดยเฉพาะการใช้อุปกรณ์ ที่ผลิตจากเหล็กสเตนเลส ร่วมกับโลหะประเภทอื่น เนื่องจากมีโอกาสที่จะ เกิดการกัดกร่อน แบบกัลวานิกได้
- ควรหลีกเลี่ยงการทำงาน ที่จะถ่ายเทโลหะ จากอุปกรณ์ช่วยการผ่าตัด สู่อุปกรณ์ ฝังในตัวอย่างเช่น ควรใช้อุปกรณ์นำเจาะ (drill guide) สำหรับการเจาะ เพื่อป้องกัน การสัมผัสระหว่างหัวเจาะและแผ่นตามกระดูก ซึ่งอาจทำให้โลหะ จากหัวเจาะติดไปยัง แผ่นตามกระดูกได้ นอกจากนี้ การใช้อุปกรณ์ช่วยการผ่าตัด และโลหะฝังใน ที่ผลิตจาก วัสดุประเภทเดียวกัน จะช่วยลดโอกาสของการถ่ายเทโลหะต่างชนิดได้
- ในอุปกรณ์ฝังในที่ต้องมีการประกอบร่วมกัน เช่น แผ่นตามกระดูกและสกรู จะต้อง ประกอบเข้าด้วยกันอย่างแน่นหนา การหลวมตัวและเคลื่อนที่ได้ของส่วนประกอบดังกล่าว จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนบางประเภท เช่น การกัดกร่อนแบบเฟรตติ้งได้
- ควรหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ฝังในที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว เนื่องจากอุปกรณ์ ดังกล่าวอาจอยู่ในสภาพที่เกิดความเสียหาย เช่น มีรอยขีดข่วน มีการเปลี่ยนแปลง รูปร่างจากความเค้น เป็นต้น ซึ่งความเสียหายดังกล่าวไม่อาจจะประเมินได้อย่างชัดเจน การนำมาใช้ใหม่ทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการเสียหายในการใช้งานได้
- ควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่ผลิตจากวัสดุ และกระบวนการผลิต ที่มีการควบคุมคุณภาพ อย่างเพียงพอ เนื่องจากการเสียหายของอุปกรณ์ ในหลายกรณีพบว่า เกิดจากการใช้ อุปกรณ์ ที่ผลิตจากวัสดุไม่ได้คุณภาพ

สำหรับอัลลอยโคบอลต์-โครเมียมนั้นพบว่ามักจะเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกแบบการกัดกร่อนในที่อับและการกัดกร่อนแบบจุด ซึ่งก็มีนักวิจัยให้ความสนใจศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของระบบนี้จำนวนมาก เนื่องจากเป็นตัวแปรสำคัญในการบ่งชี้ความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอยกลุ่มนี้ ดังเช่น

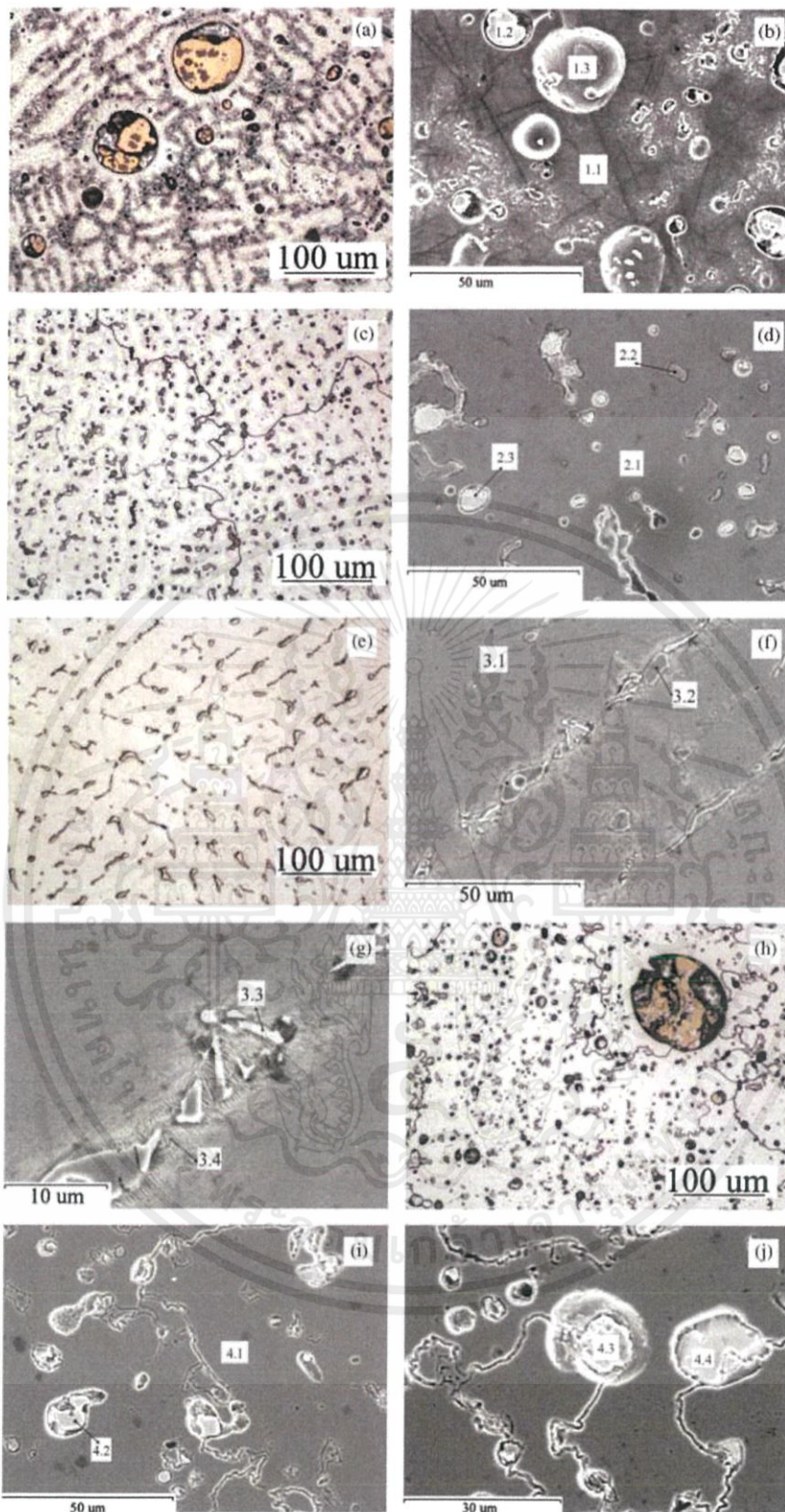
งานวิจัยของ Reclaru และคณะ [15] ที่ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของอัลลอย Co-Cr เมื่อมีการเจือด้วยโลหะมีค่าลงไป โดยเชื่อว่าโลหะมีค่าพื้นผิวจะช่วยให้อัลลอยนี้มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงขึ้น ซึ่งนักวิจัยกลุ่มนี้ได้เลือกอัลลอยที่มี Co-Cr เป็นองค์ประกอบหลักและมีโลหะมีค่าอื่นๆ เช่น Au Pt และ Ru เจือลงไปสัดส่วนที่ต่างกัน ซึ่งเมื่อนำไปตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นพบว่าแสดงดังภาพที่ 2.10 โดยจะเห็นว่าทุกอัลลอยมีลักษณะของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายตะกอนจับกลุ่มรวมตัวกันเป็นก้อนขนาดต่างๆกันและเมื่อทำการทดสอบการกัดกร่อนก็พบว่าที่บริเวณกลุ่มตะกอนเหล่านี้จะเกิดการกัดกร่อนก่อนบริเวณอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.11 จากนั้นในตอนท้ายงานวิจัยนี้ได้สรุปว่าการเจือโลหะมีค่าไปในอัลลอย Co-Cr นั้นทำให้เกิดโครงสร้างที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง ทั้งนี้ในการทดลองทางคลินิกพบว่าคนไข้ไม่รู้สึถึงความแตกต่างของการใช้อัลลอย Co-Cr ที่เจือหรือไม่เจือด้วยโลหะมีค่าเลยสำหรับการใช้งานทางทันตกรรม

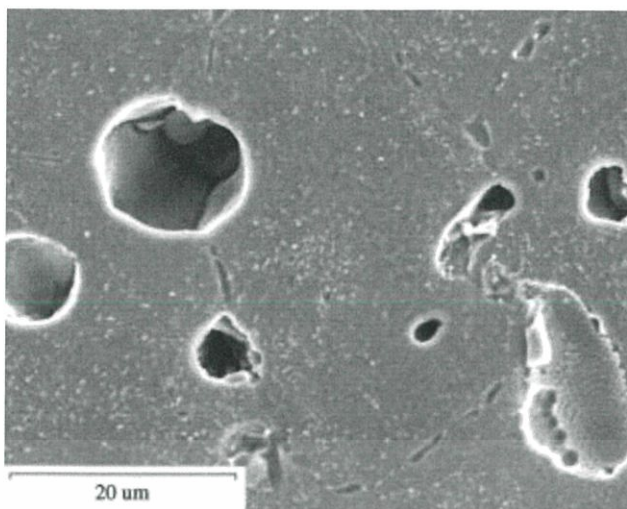


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้น [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 การกัดกร่อนก็พบว่าที่บริเวณกลุ่มตะกอนเหล่านี้จะเกิดการกัดกร่อนก่อนบริเวณอื่นๆ

[15]

นอกจากนี้ยังมีความพยายามที่จะปรับปรุงพัฒนาและหลีกเลี่ยงการเกิดการกัดกร่อนเหล่านี้ภายในอัลลอยระบบดังกล่าวด้วย ดังในงานวิจัยของ Lee และคณะ [16] ที่ได้ศึกษาผลของการบำบัดด้วยความร้อนก่อนกระบวนการหลอมโลหะที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและความแข็งแรงของอัลลอยในระบบ Co-Cr-Mo โดยการบำบัดความร้อนได้ทำที่อุณหภูมิ 1170 1200 1230 และ 1260 องศาเซลเซียสเวลายานาน 2 6 และ 15 ชั่วโมงตามลำดับ จากนั้นตามด้วยการหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการทดสอบแรงดึงขึ้นตัวอย่างทั้งหมดและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD ซึ่งจากผลทดลองพบว่า สัดส่วนปริมาตรของเฟส γ เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการบำบัดที่เพิ่มขึ้น จากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนเฟสจาก γ ไปเป็น ϵ ที่อุณหภูมิสูง สำหรับความแข็งแรงนั้นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงความเหนียวเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ดังในงานวิจัยของ Alifui-Segbaya และคณะ [17] ได้ทำการเปรียบเทียบผลการกัดกร่อนของอัลลอย Co-Cr ที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน โดยพบว่าการบำบัดด้วยความร้อนนั้นจำเป็นสำหรับอัลลอยที่นำไปใช้ในทางทันตกรรม เนื่องจากจะช่วยลดความเครียดที่สะสมภายในเนื้อสารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเตรียม อีกทั้งยังพบว่าการบำบัดด้วยความร้อนให้แก่อัลลอยทางด้านทันตกรรมนี้ยังส่งผลต่อพฤติกรรมกัดกร่อนของอัลลอยด้วย โดยผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่าอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนจะมีอัตราการปลดปล่อยไอออนที่สูงกว่าอัลลอยที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแต่ทั้งนี้ก็พบว่าอัตราไอออนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากอัลลอยทั้งสองเงื่อนไขนั้นจัดว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อร่างกาย โดยทีมผู้วิจัยยังได้แนะนำว่าควรมีการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอย Co-Cr เพิ่มเติม

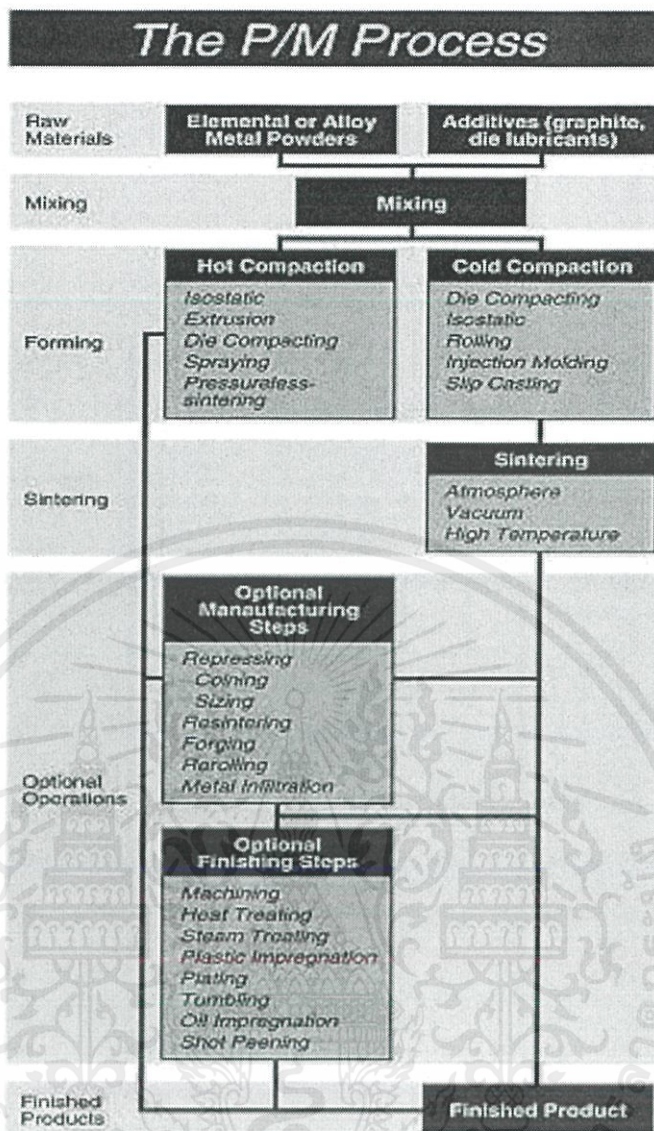
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคนิคการเตรียมอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม

2.2.1 เทคนิคการเตรียมผงอัลลอย

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้กรรมวิธีผงโลหะ (powder metallurgy) ในการเตรียมผงของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียมโดยกรรมวิธีผงโลหะหรือ PM คือ กรรมวิธีการผลิตที่ได้รับการพัฒนาอย่างสูงสำหรับการผลิตชิ้นส่วนโลหะทั้งในและนอกกลุ่มเหล็กที่มีคุณภาพดี โดยขั้นตอนการผลิตสำหรับโลหะผงโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

- 1.การผลิตและการเตรียมผงโลหะ แบ่งออกได้อย่างกว้างๆเป็น วิธีทางกล,ฟิสิกส์,และเคมี
- 2.การผสมผงโลหะ เป็นขั้นตอนการผสมผงโลหะเข้ากับ สารหล่อลื่น,สารเพิ่มการยึดเกาะ, หรือผงโลหะชนิดอื่น
- 3.การอัดขึ้นรูปผงโลหะ เป็นการอัดขึ้นรูปผงโลหะที่ผสมแล้วในแม่พิมพ์ ผลผลิตที่ได้เรียกว่า Green Compact ผงโลหะจะยึดเกาะตัวกันจนมีความแข็งแรง (Green Strength) ที่มากพอสำหรับการขนส่งเคลื่อนย้ายหรือแม้กระทั่งทนต่อกระบวนการทางกล (Machining) ได้
- 4.การอบประสาน เป็นการอบเผา Green Compact ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของผงโลหะ โดยทั่วไปจะต้องมีการควบคุมบรรยากาศภายในเตาเพื่อยับยั้งมิให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ผงโลหะก็จะเชื่อมติดกันที่อุณหภูมินั้นเนื่องมาจากพลังงานที่เกิดขึ้นจากการลดลงของพื้นที่ผิวของผงโลหะ ตามหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็งแรงมากพอที่จะนำไปใช้งานต่อไป



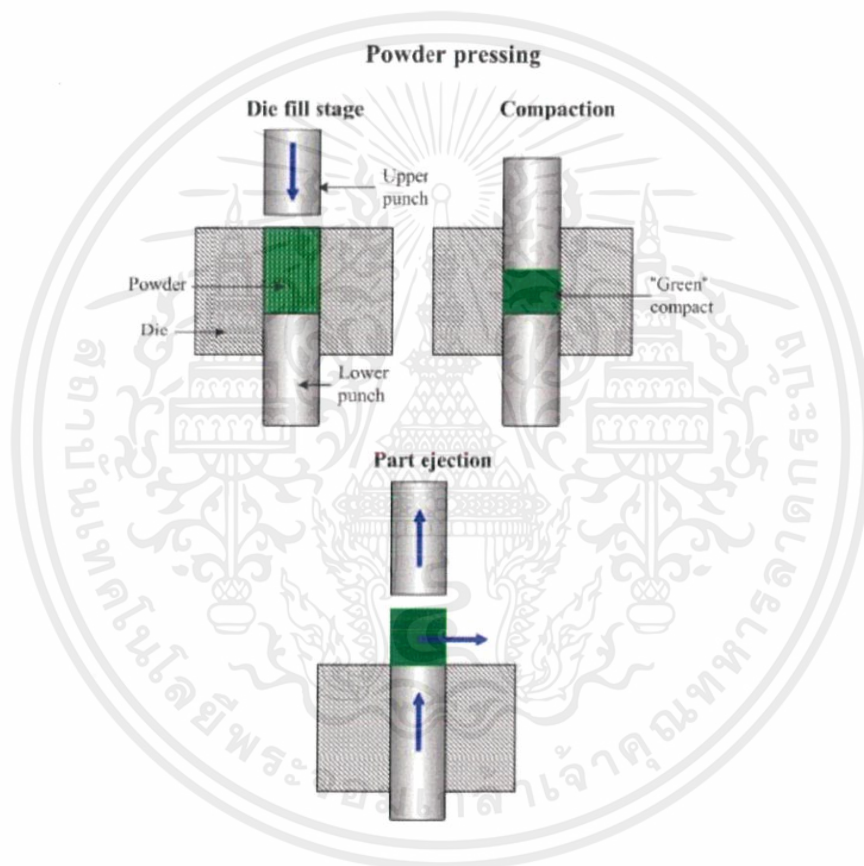
ภาพที่ 2.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตชิ้นงานด้วยกรรมวิธีทางโลหะผง [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เทคนิคเตรียมเม็ดอัลลอย

2.2.2.1 เทคนิคการอัดขึ้นรูปแบบแกนเดียว (uniaxial pressing)

คือการใช้แรงอัดในทิศทางเดียว เป็นการขึ้นรูปแบบง่าย อัตราการผลิตสูงแต่ไม่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่และมีรูปร่างซับซ้อน โดยเทคนิคคือการบรรจุอัลลอยลงไปในแม่พิมพ์เครื่องอัดขึ้นรูปแบบแกนเดียว จากนั้นทำการบดอัดผงผสมที่ได้ใส่ในแม่พิมพ์อัดสารที่ทำจากโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 13 มิลลิเมตรด้วยแรงอัด 1500 กิโลกรัม เป็นเวลานาน 90 วินาที ก็สามารถได้เม็ดอัลลอย Co-Cr ออกมาได้

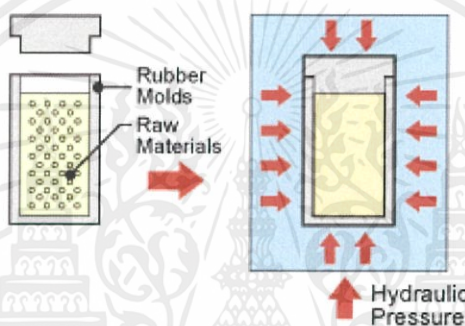


ภาพที่ 2.13 กระบวนการอัดขึ้นรูปแบบแกนเดียว (uniaxial pressing) [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 เทคนิคการอัดขึ้นรูปทุกทิศทาง

เทคนิคที่เป็นการอัดแบบให้แรงอัดในทุกทิศทางเท่าๆกัน และมีอัตราการผลิตต่ำกว่าแบบการอัดขึ้นรูปแบบแกนเดียว (uniaxial pressing) เพราะเครื่องมีราคาแพงแต่เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะรูปร่างซับซ้อน นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดแกนเดียวมาทำการอัดขึ้นรูปซ้ำด้วยเครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทางที่อุณหภูมิห้อง (cold isostatic pressing) โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงานดังนี้ นำเม็ดอัลลอยที่ต้องการอัดมาใส่ไว้ในภาชนะยืดหยุ่นที่ปิดสนิท โดยในที่นี้จะใช้ถุงยางอนามัยเพื่อป้องกันของเหลวจากเครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง ซึมเข้ามาที่เม็ดอัลลอย จากนั้นทำการดูดอากาศออกจากถุงยางอนามัยรัดปากถุงยางอนามัยให้แน่นเพื่อป้องกันอากาศเข้าไป แล้วจึงทำการอัดด้วยแรง 250 เมกะปาสคาล เป็นเวลานาน 5 นาที



ภาพที่ 2.14 แผนภาพจำลองการอัดด้วยแรงทุกทิศทุกทาง

2.2.2.3 กระบวนการซินเตอร์ในบรรยากาศ

เป็นการนำเอาผงโลหะไปเผาหรืออบที่อุณหภูมิสูงแต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโลหะนั้น ผงโลหะบางชนิดจะต้องใช้ตัวประสาน โดยจะยึดตัวเกาะยึดเม็ดผงโลหะให้ติดกันแน่นทำให้ค่าความเค้นของชิ้นงานซินเตอร์สูงขึ้น

การซินเตอร์ บางชิ้นงานอาจต้องทำถึง 2 ครั้ง ในระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ชิ้นงานซินเตอร์ที่ผลิตจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ แทนทาลัมคาร์ไบด์ และโบลิบดินัมคาร์ไบด์ที่ต้องการความแม่นยำในด้านของขนาดและรูปร่างสูง โดยครั้งแรกจะทำการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 850 - 900 องศาเซลเซียสแล้วนำชิ้นงานนั้นมาตกแต่งด้วยเครื่องขัดเพื่อให้ได้ขนาดและลักษณะงานตามต้องการ แล้วนำไปซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า โดยจะอยู่ระหว่าง 1,100 - 1,200 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น มีค่าความแข็ง ค่าความเค้นและความหนาแน่นสูงขึ้น เตาที่ใช้ซินเตอร์มีทั้งเตาที่รับความร้อนจากลวดความต้านไฟฟ้า เตาที่ใช้ก๊าซหรือใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการเผา ต้องทำการควบคุมอุณหภูมิอย่างใกล้ชิด เพราะมีผลต่อรูปร่างชิ้นงานในการผลิต สำหรับกรณีที่ต้องระมัดระวังเรื่องขนาดของชิ้นงาน โดยเตาไฟฟ้าจะมีความเหมาะสมในการใช้มากกว่า

ด้วยเหตุที่การยึดเกาะตัวระหว่างอนุภาคจะเป็นไปได้ดีแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของเฟสเคลือบผิวอนุภาค เฟสเคลือบผิวชนิดที่ไม่พึงประสงค์ เช่น ออกไซด์ควรหาทางหลีกเลี่ยงมิให้เกิดขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบดผงจึงควรกระทำในบรรยากาศที่มีการปกป้องและควบคุมให้เกิดเฟสชนิดไม่พึงประสงค์น้อยที่สุด แต่ถ้าเกิดขึ้นแล้วก็นำไปผสมและอัดเป็นแท่งผงควรหาวิธีการกำจัดเฟสเหล่านี้ให้ลดลงในบรรยากาศที่ใช้ควบคุมและปกป้องต้องไม่มีออกซิเจนอิสระและต้องอยู่ในสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ซึ่งในทางปฏิบัติจะใช้บรรยากาศที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนแห้ง (Dry Hydrogen) เพื่อห่อหุ้มในการผลิตหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ทำจากผงคาร์ไบด์แข็งในการทำซินเตอร์ทางด้านการค้าจะเผาชิ้นงานในบรรยากาศที่มีการสันดาประหว่างก๊าซไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือโพรเพนเล็กน้อย

โดยแท้จริงแล้ว การซินเตอร์ (Sintering) ก็คือกระบวนการยึดเหนี่ยวอนุภาคของแข็งเข้าด้วยกันด้วยแรงระหว่างอะตอม (Atomic Force) โดยแรงยึดเหนี่ยวจะมีค่าลดลงตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่กระบวนการขัดขวางการยึดเกาะตัวระหว่างอนุภาคจากการซินเตอร์ เช่น การสัมผัสไม่เต็มหน้าระหว่างอนุภาค การเกิดเฟสแปลกปลอมบนผิวอนุภาค และไม่เกิดสภาพการยึดตัวแบบพลาสติก โดยสิ่งเหล่านี้จะลดอิทธิพลลงไปตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจึงถือว่าอุณหภูมิสูงจะทำให้การซินเตอร์ได้ผลดียิ่งขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการอบแท่งผงที่นานหรือการให้อุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใดก็ยิ่งจะทำให้การยึดตัวระหว่างอนุภาคมีความเหนียวแน่นและผลลัพธ์สุดท้ายของชิ้นงานที่ได้จะมีประสิทธิภาพของวัสดุสูงขึ้นมากเท่านั้น



ภาพที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการเชื่อมตัวของอนุภาคทรงกลม 4 ตัวในการซินเตอร์

- แนวสัมผัสก่อนการซินเตอร์
- เกิดลักษณะคอคอดในระยะเริ่มการซินเตอร์
- อนุภาคหลอมติดเป็นชิ้นเดียวโดยมีรูปตรงกลางเกิดการหดตัวมีรูพรุน

ทั้งๆ ที่ได้มีการทดลองรวมทั้งมีทฤษฎีที่ค้นพบแล้วมากมายที่นำมาประยุกต์ใช้ในกรรมวิธีการซินเตอร์ ก็พบว่ายังมีกระบวนการอีกหลายๆ อย่างที่นักวิทยาศาสตร์หรือนักโลหวิทยา ยังไม่สามารถทำความเข้าใจได้อย่างชัดเจน กระบวนการซินเตอร์จะเริ่มต้นจากการยึดเหนี่ยวตัวเข้าด้วยอนุภาคใกล้เคียงในขณะที่ผงได้รับความร้อนสูง ในการยึดเกาะตัวจะมีการแพร่ซึมของอะตอมระหว่างอนุภาค

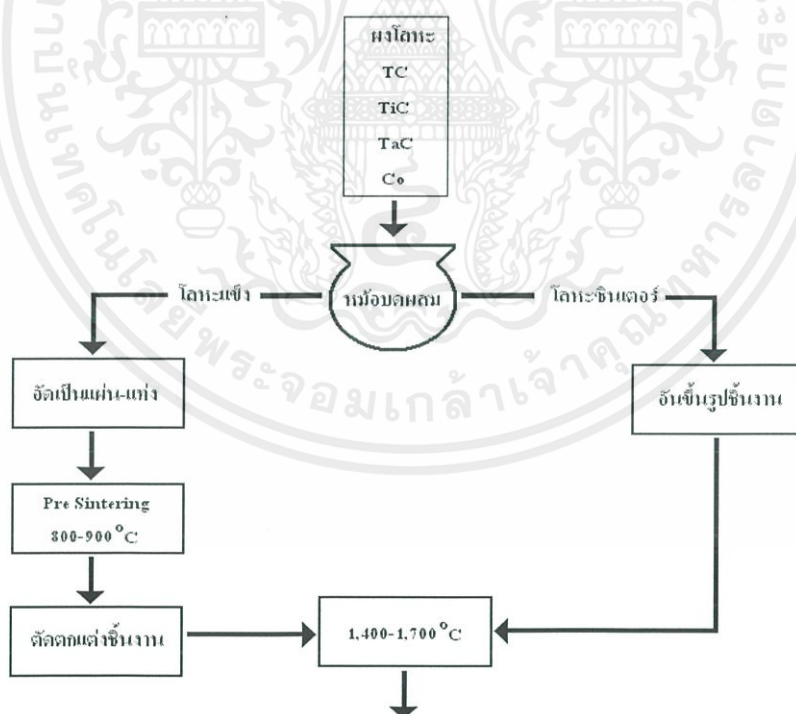
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สัมผัสกันส่งผลให้เกิดขอบรอยต่อระหว่างอนุภาค ถึงแม้จะใช้อุณหภูมิสูงเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆก็ตาม ในช่วงระยะเวลาต่อไปจะเกิดบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างอนุภาคที่เรียกว่า คอ (Neck) โดยส่วนของคอจะค่อยๆขยายใหญ่ขึ้นบริเวณส่วนกลางระหว่าง 3 อนุภาคที่ชิดติดกันจะเกิดเป็นรูกลม และในกระบวนการขั้นสุดท้ายนี้วัสดุจะหดตัวและมีช่องเป็นรูพรุนอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน

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

ในการผลิตจะใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ไททานเนียมคาร์ไบด์ แทนทาลัมคาร์ไบด์ และใช้โคบอลต์ เป็นสารเชื่อมประสานให้มีการยึดตัวแน่นขึ้นโดยที่สารโคบอลต์จะยึดตัวจนมีสภาพจับยึดผงโลหะแข็งอื่นๆได้ 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 2.16 ขั้นตอนในการผลิตโลหะซินเตอร์และโลหะแข็ง

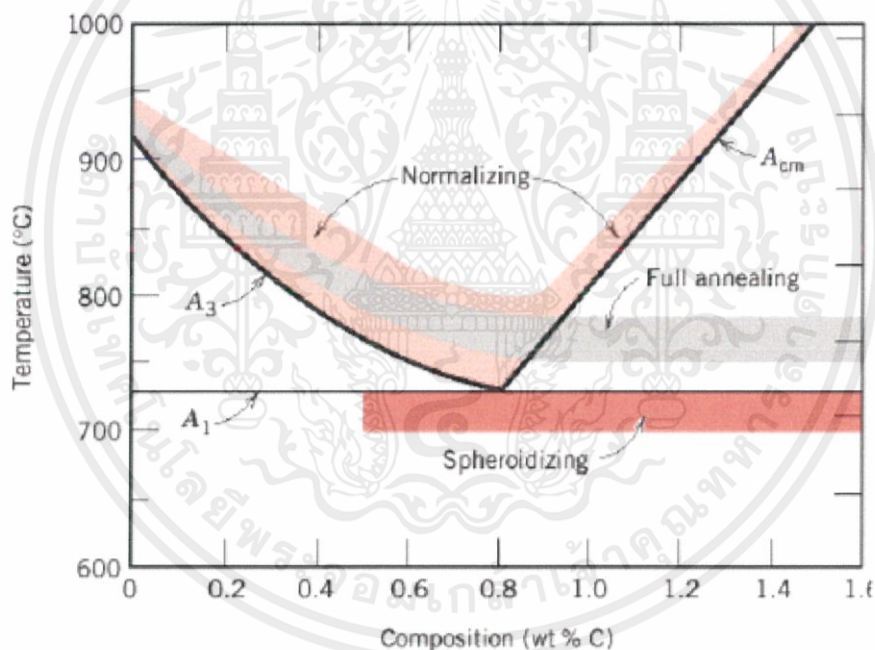
พิจารณาจากภาพที่ 2.13 เป็นการแสดงขั้นตอนกรรมวิธีในการผลิตชิ้นงานโลหะซินเตอร์และโลหะแข็ง โดยการนำเอาผงของโลหะแข็งที่มีจุดหลอมเหลวสูง ได้แก่ TC (ทั้งสแตนคาร์ไบด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TiC (ไททาเนียมคาร์ไบด์) TaC (แทนทาลัมคาร์ไบด์) Co (โคบอลต์) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานเข้าผสมในหม้ออบ แล้วจึงนำไปอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่สูงถึง 1,500 บรรยากาศ ในแม่แบบพิมพ์ตามรูปลักษณะของชิ้นงานที่ต้องการ โดยชิ้นงานจากการอัดในแม่แบบจะถูกลำเลียงด้วยระบบสายพาน ไปเข้าเตาไฟฟ้าในสภาพที่ไม่มีอากาศเพื่ออบให้ร้อนและเกิดการยึดตัว ระหว่างอุณหภูมิของผลโลหะดังกล่าว

2.2.3 การบำบัดด้วยความร้อน (thermal treatment)

การบำบัดด้วยความร้อนเป็นการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าโดยใช้กรรมวิธีทางความร้อน ได้แก่ การอบอ่อน (Annealing) การอบปกติ (Normalizing) การชุบแข็ง (Hardening) การอบคืนตัว (Martempering) และการชุบผิวแข็ง (Surface Hardening) กรรมวิธีทางความร้อน หมายถึง การนำเอาโลหะหรือโลหะผสมที่เป็นของแข็งมาให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอัตราที่แตกต่างเพื่อให้มี สมบัติเชิงกล ตามต้องการ โดยภาพที่ 2.18 แสดงช่องอุณหภูมิในการบำบัดด้วยความร้อนแบบต่างๆ ซึ่งรายละเอียดส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีดังนี้



ภาพที่ 2.17 อุณหภูมิที่ใช้สำหรับ Heat Treatment ชนิดต่างๆ [20]

2.2.3.1 การอบอ่อน (Annealing)

มีความมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กที่ผ่านการผลิตต่างๆ [20] มา เช่นการ ขึ้นรูปร้อน (Forging, Hot Rolling) การขึ้นรูปเย็น (Cold Rolling, Drawing) การเชื่อม หรือ การหล่อ การหล่อ (Casting) ซึ่งเหล็กผ่านขั้นตอนการผลิตดังกล่าวนี้ จะมีคุณสมบัติที่ไม่ดี หลายประการ เช่นเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน จะมีคุณสมบัติไม่สม่ำเสมอตามส่วนที่มีมุมแหลม ซึ่งอัตรา การเย็นตัวสูงจะมีความแข็งมากกว่าส่วนอื่นๆ โครงสร้างของเหล็กบริเวณผิวจะมีโครงสร้างที่ ประกอบด้วยเกรนขนาดเล็ก เพราะถูกแรงกระแทก หรืออัดมากกว่าเนื้อเหล็กภายใน ทำให้คุณสมบัติไม่สม่ำเสมอถึงภายใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกัน เหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น มักจะมีความเครียดที่เกิดจากการถูกแรงอัด หรือบีบเหล็กก็ค้างอยู่ มีส่วนทำให้มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอ สูญเสียความเหนียว (Ductility) เหล็กที่ผ่านงานเชื่อม เช่นเดียวกัน การเชื่อมเป็นการทำให้เหล็กก็ร้อนเป็นบางจุด การขยายตัวเมื่อถูกความร้อน และการหดตัวเมื่อถูกปล่อยให้เย็น ย่อมจะเป็นการยากที่จะทำได้ ทว่าถึงแม้จะเกิดความเครียดเหลือค้าง และโครงสร้างของเนื้อเหล็กบริเวณจุดที่ทำการเชื่อมจึง ต่างกับเนื้อเหล็กในส่วนอื่น ๆ ที่ไม่ถูกความร้อนจากจุดเชื่อม คุณสมบัติของเหล็กจะขาดความ ไม่สม่ำเสมอ เหล็กที่ผ่านงานหล่อ ยิ่งมองเห็นได้ว่าว่าโครงสร้าง และคุณสมบัติของเหล็กจะมีส่วน ที่แตกต่างกันมาก เพราะอัตราการเย็นตัวของเหล็กในแบบหล่อ (ซึ่งส่วนมากใช้ทรายเป็นวัสดุ ในแบบหล่อ) จะแตกต่างกันทั้งส่วนที่หนาและส่วนที่บาง

ยิ่งส่วนที่เป็น แง่มุม การเย็นตัวจะยิ่ง เร็วกว่าส่วนอื่น จึงมักมีความแข็งสูง จากที่กล่าวมาแล้วนี้จะเห็นได้ว่า การที่จะนำเอาเหล็กที่ผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปต่างๆ ไป ใช้งาน หรือนำไปตัด เจาะ กิ่ง ไซ ย่อมจะทำให้เกิดอุปสรรคในลักษณะๆ ที่พอจะ มองเห็นได้ชัดเจน เช่น การกรึงหรือไส ถ้าเหล็กมีความแข็งไม่เท่ากันทุกส่วน การปรับมุมของ มีดกรึง หรือตั้งอัตราความเร็วในการตัดจะเกิดปัญหามากมาย และผลงานที่ได้ออกก็ไม่ได้ เท่าที่ควร ดังนั้นเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปขึ้นมา ก่อนจะนำไปใช้งานหรือฟอร์มรูปร่างในขั้นต่อไป จำเป็นจะต้องผ่านการอบให้อ่อนตัว ซึ่งลักษณะของการทำงานมีหลายวิธี ขึ้นอยู่วัตถุประสงค์สุดท้าย โดยการอบอ่อนจะแบ่งออกเป็น 2 แบบย่อยๆ ได้แก่ 1.การอบอ่อนอย่างสมบูรณ์ (Full Annealing) มีความมุ่งหมายเพื่อให้เหล็กมีความอ่อนตัวสูง โดยเป็นการทำลายโครงสร้างมาร์เทนไซด์ของเหล็กกล้าเพื่อช่วยในการกรึงหรือไสได้ง่าย เพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติด้านไฟฟ้า และ แม่เหล็กสม่ำเสมอ 2.การอบอ่อนไม่สมบูรณ์ (Incomplete Annealing) หมายถึง การอบอ่อนที่กระทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A_{c1} หรือบางกรณีอาจจะ สูงกว่าเส้น A_{c1} เล็กน้อย ความมุ่งหมายก็เพื่อทำลายความเครียดที่เหลืออยู่ อันเนื่องมาจาก การขึ้นรูปเย็น หรือเพื่อต้องการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านกรึง หรือไส สำหรับเหล็กบาง ชนิด การอบอ่อนไม่สมบูรณ์ที่สำคัญมีอยู่ 2 ลักษณะ 1. การอบอ่อนเพื่อขจัดความเครียดเหลือค้าง (Stress-relief Annealing) เป็นการอบอ่อนเพื่อทุ้งทำลายความเครียดในแท่งเหล็กที่ผ่านการขึ้น รูปเย็น เช่น เหล็กที่ผ่านการรีด หรือผ่านการดึง จะทำให้กลุ่มอะตอมของเหล็กอยู่ในสภาพบิด เบี้ยว (Lattice distortion) ทำให้เหล็กมีความแข็งเพิ่มขึ้น และสูญเสียความเหนียวไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานหรือไม่เหมาะสำหรับที่จะทำการขึ้นรูปในขั้นต่อไป จะต้องทำการอบอ่อนขจัด ความเครียดภายในเสียก่อน 2.การอบอ่อนเพื่อความอ่อนตัวสูง (Spheroidizing (Spheroidize Annealing)) เป็นกรรมวิธีการอบอ่อนที่ใช้กับเหล็กที่มีคาร์บอนสูงประมาณ 0.7 – 12% C ซึ่งโครงสร้างของเหล็กจะประกอบไปด้วย Pearlite และ Proeutectoid Cementite ตามขอบเกรน ลักษณะโครงสร้างเช่นนี้ เหล็กจะมีคุณสมบัติด้านความเหนียวลดลง และอีก ประการหนึ่ง คุณสมบัติทางด้านกรึงหรือไส (Machinability) จะไม่ดี จะกรึงให้มีผิวเรียบ โดยยาก เพราะปลายแหลมของมีดกรึง ในขณะที่ตัดจะผ่านเนื้อเหล็กอ่อน (Ferrite) และผ่านเนื้อ เหล็กที่แข็ง (Cementite) ต้องทำให้ Proeutectoids Cementite เกิดลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง และ Eutectoid Cementite (ใน Pearlite) เกิดลักษณะเป็นเม็ดกลมเล็ก ๆ (Spheroid) ไม่เป็นลักษณะแถบบาง ๆ (Lamellar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 การอบปกติเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ (Normalizing)

มีวัตถุประสงค์สำคัญหลายประการคล้ายคลึงการอบอ่อน คือ

1. เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น
2. เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการกลึง การไส หรือตัด
3. เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเหนียว โดยเฉพาะสำหรับเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปร้อนและเย็น
4. ปรับปรุงโครงสร้างให้สม่ำเสมอและเหมาะสมสำหรับการชุบแข็งในขั้นต่อไป
5. เป็นการทำลายความเครียดภายในที่เกิดจากการขึ้นรูปเย็น

จะเห็นได้ว่าการทำ Normalizing เป็นกรรมวิธีที่ใช้ทำกับงานสร้างชิ้นส่วน เครื่องจักรกล โดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน เช่น การรีด (Hot Rolling) หรือ การตีขึ้นรูป (Hot Forging) เหล็กจะถูกเผาที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงจะได้เหล็กที่มีเกรนโตคุณสมบัติเชิงกลที่ดีจะเปลี่ยนไป (ทนแรงดึงแรงกระแทกได้น้อยลง) งานที่ผ่านการหล่อมากก็เช่นเดียวกันจะมีขนาดเกรนโต มีลักษณะเป็น Dendrite และไม่สม่ำเสมอ มีข้อเสียที่ควรจะต้องปรับปรุงก่อนนำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น เช่น การรีด (Cold Rolling) หรือการตีขึ้นรูปทำให้โครงสร้างภายในของเหล็กจะเกิดการบิดเบี้ยวไปตามทิศทางของแรงกระทำ ทำให้เกิดความเครียดภายใน สูญเสียความเหนียวและมีความแข็งเพิ่มขึ้นในลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ สิ่งที่เกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่ดีเหล่านี้สามารถทำให้หมดไปและปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยเฉพาะขนาดของเกรนของเนื้อเหล็กทำให้มีขนาดเล็กละเอียดและสม่ำเสมอได้ด้วยการทำ Normalizing ซึ่งจะเน้นในเรื่องของการปรับปรุงโครงสร้างมากที่สุด (Grain Refinement) การทำ Normalizing ใช้วิธีเผาเหล็กให้ร้อนจนมีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วง Austenite ทั้งเหล็กที่มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.8% หรือสูงกว่า 0.8% จะเผาอุณหภูมิเนื้อเส้น A_{c3} สำหรับเหล็ก Hypo Eutectoid และที่อุณหภูมิเหนือเส้น A_{cm} สำหรับเหล็ก Hyper Eutectoid ประมาณ $30^\circ - 50^\circ\text{C}$ ที่ไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 30 – 60 นาทีต่อความหนาเฉลี่ย 25 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับการอบอ่อน จากนั้นจะนำเหล็กออกจากเตาปล่อยให้เย็นในอากาศนิ่ง อัตราการเย็นตัวประมาณ $1^\circ - 5^\circ\text{C}$ ต่อวินาที ถ้าเป็นการเป่าอากาศ อัตราการเย็นตัวจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 10°C ต่อวินาที (การอบอ่อน อัตราการเย็นตัวประมาณ $5^\circ - 10^\circ\text{C}$ ต่อวินาที)

อัตราการเย็นตัวที่เร็วขึ้นจะมีผลต่อโครงสร้างที่เกิดขึ้น กล่าวคือ อัตราการเย็นตัวยิ่งเร็ว การเปลี่ยนแปลงจาก Austenite จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำลงจุด Eutectoid ของเหล็กจะเปลี่ยนแปลงมาทางด้านคาร์บอนต่ำลงสำหรับ Hypo Eutectoid และจะย้ายไปทางด้านที่มี คาร์บอนมากขึ้นสำหรับเหล็ก Hyper Eutectoid ทำให้ปริมาณของ Pearlite เพิ่มขึ้น และ ความละเอียดของ Pearlite จะยิ่งดีขึ้น (เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำ) ความละเอียดของ Pearlite หมายถึง แถบบาง ๆ ระหว่าง Ferrite และ Cementite จะแคบมา นอกจากนี้ Proeutectoid Ferrite ในเหล็ก Hypo Eutectoid เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีปริมาณน้อยลง และเช่นเดียวกัน Proeutectoid Cementite ในเหล็ก Hyper Eutectoid จะน้อยลง และลักษณะการต่อเนื่อง ตามขอบเกรนจะลดน้อยลง คุณสมบัติของโครงสร้างที่ประกอบด้วย Pearlite มีความละเอียด เช่นนี้จะทำให้เหล็กมีความแข็งแรง และความแข็งสูงกว่าเหล็กที่ผ่านการอบอ่อน จากที่กล่าว มาแล้วว่า การทำ Normalizing เป็นการปรับปรุงโครงสร้างให้สม่ำเสมอ เพื่อที่จะนำไปทำการชุบแข็งในภายหลังนั้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้เหล็กภายหลังจากการชุบแข็งมีคุณสมบัติที่ดี หลีกเลี่ยง ข้อเสียที่จะเกิดขึ้น ปกติเหล็กยังมีเกรนละเอียดยอมเป็นผลดีต่อการชุบแข็งมาก เพราะเหล็กมีเกรนหยาบและไม่สม่ำเสมอ ภายหลังการชุบแข็งเหล็กจะมีความแข็งไม่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกัน และบางที่อาจจะเกิดการบิดหรือแตกร้าวได้ ยิ่งเป็นเหล็กที่มีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ และปริมาณของธาตุที่ผสมขาดความสม่ำเสมอ การชุบแข็งอาจจะไม่ประสบผลดีตามที่ ต้องการ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการคุณภาพของเหล็กจากการชุบแข็งสูง จึงสมควรทำการ Normalizing เสียขั้นหนึ่งก่อนแล้วจึงนำไปทำการชุบแข็ง

2.3 เทคนิคการวิเคราะห์สมบัติและตรวจสอบลักษณะเฉพาะของอัลลอย

2.3.1 เทคนิควิเคราะห์หาธาตุต่างๆ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer , EDX)

เครื่องวิเคราะห์หาธาตุด้วย X – Ray สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ ธาตุคาร์บอนถึงธาตุยูเรเนียม นำไปใช้งานได้กว้างขวาง ทดสอบได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือเป็นผง สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ธาตุโซเดียมจนถึงธาตุยูเรเนียมทั้งในเชิงภาพและเชิงปริมาณหลัก การของเทคนิคนี้ คือ ให้รังสีเอ็กซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนสารตัวอย่าง รังสีเอ็กซ์จะทำให้อิเล็กตรอนในวงในสุดของอะตอมของธาตุหลุดออกไป อิเล็กตรอนในวงถัดมาจะเข้ามาแทนที่ และคายพลังงานส่วนเกินออกมาในลักษณะของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งจะมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะของตัวของธาตุนั้นเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์ เชิงคุณภาพ และความเข้มข้นของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่ เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการ วิเคราะห์เชิงปริมาณ



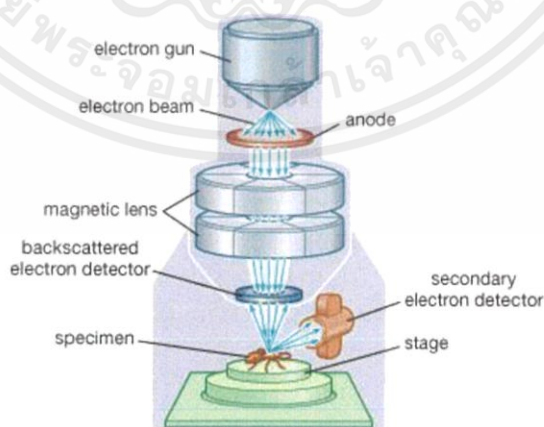
ภาพที่ 2.18 เครื่องวิเคราะห์หาธาตุต่างๆ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer หรือ (EDX)) [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ใช้อิเล็กตรอนในการขยายภาพ ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ปืนยิงอิเล็กตรอน (electron gun) จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดยเลนส์ใกล้ตา จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวของตัวอย่างโดยเลนส์ใกล้วัตถุ ที่พื้นผิวของตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกกระทบจะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิวของวัตถุ กล่าวคือถ้าพื้นผิวของวัสดุเรียบก็จะสามารถสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต่หากผิวของวัสดุมีความขรุขระเป็นหลุมลึกก็จะไม่มีการสะท้อนหรือสะท้อนได้น้อย ซึ่งสามารถรับอิเล็กตรอนที่สะท้อนออกมาได้ด้วยตัวตรวจจับอิเล็กตรอนและเกิดการสร้างเป็นภาพ โดยอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นและเข้าไปที่ตัวรับสัญญาณเรียกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ส่วนอิเล็กตรอนที่เกิดจากปืนยิงอิเล็กตรอนเรียกว่าอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron)

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



ภาพที่ 2.19 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอภาพก็พร้อมที่จะทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อลำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เป็นสัญญาณไฟฟ้า การสร้างภาพเริ่มจากประจูลีเกตรอนทุติยภูมิซึ่งประจูลีเกตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใยประภทท่อลำแสงในลักษณะของแสง แสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะขับเคลื่อนไปสู่เครื่องขยายแสง (Photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิดโฟตอนนี้ไปเป็นอิเล็กทรอนิกส์อีกครั้งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพที่ติดตั้งไว้บนแผงควบคุม



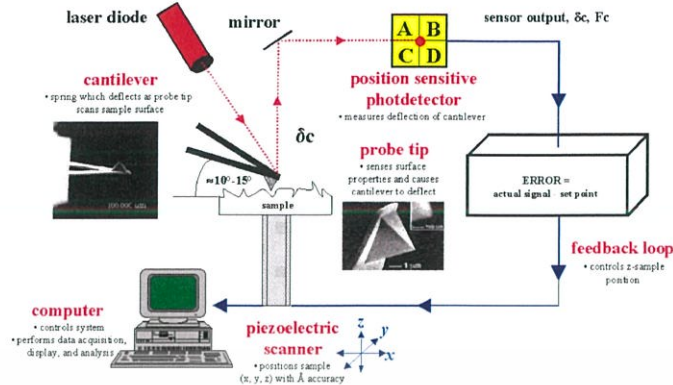
ภาพที่ 2.20 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope หรือ (SEM))

2.3.3 เทคนิคตรวจสอบลักษณะพื้นผิว (Atomic force microscope , AFM)

Atomic Force Microscope (AFM) เป็นเครื่องมือที่ใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโนโดยเฉพาะเช่นเดียวกับ STM แต่เครื่อง AFM ถูกพัฒนาขึ้นมาหลังจากเครื่อง STM และสร้างขึ้นมาด้วยหลักการพื้นฐานเดียวกันกับเครื่อง STM โดยเครื่อง AFM จะสามารถทำงานได้โดยใช้อุปกรณ์ตรวจหรือโพรบ (probe) ที่มีปลายแหลมเล็ก (เหมือนกันกับเครื่อง STM) ซึ่งติดอยู่กับคานยื่น (cantilever) ที่สามารถโค้งงอตัวได้เคลื่อนที่สัมผัสไปบนพื้นผิวของวัตถุ (ซึ่งสามารถที่จะวัดแรงกระทำที่ปลายแหลมของโพรบได้แม้ว่าจะมีขนาดน้อยมากในระดับนาโนก็ตาม) และคุณสมบัติของเครื่อง AFM ที่มีมากกว่าเครื่อง STM ก็คือ สามารถที่จะตรวจวัดพื้นผิวที่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ เช่น พื้นผิวโพลีเมอร์ เซรามิก คอมโพสิต กระจกหรือแก้ว หรือแม้แต่โมเลกุลทางชีวภาพต่าง ๆ ก็สามารถที่จะวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Atomic Force Microscopy (AFM) : General Components and Their Functions



ภาพที่ 2.21 แสดงหลักการทำงานของเครื่อง AFM [23]

หลักการทำงานของเครื่อง AFM การผ่านแสงเลเซอร์ไปที่กับส่วนปลายแหลม (tip) ของคานยื่นที่มีขนาดระดับอะตอมในระยะใกล้ ซึ่งส่วนปลายแหลมของคานนั้นจะไปสัมผัสแบบกระตักในทิศทางขึ้นและลงกับพื้นผิวของวัตถุ และเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายแหลมผ่านโครงสร้างระดับนาโน แรงปฏิกิริยาที่กระทำในแนวตั้งฉากที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของพื้นผิวกับปลายแหลมจะดึงคาน ทำให้คานโก่งงอตัวทำให้สามารถตรวจวัดขนาดของแรงเชิงปฏิกิริยาสัมผัส ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายแหลมและพื้นผิวของวัตถุ (ทำให้สามารถทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นได้) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณรวมกันเพื่อนำมาสร้างเป็นภาพพื้นผิวที่เป็นลักษณะเชิงโครงสร้างระดับอะตอมที่มีกำลังการขยายสูงไปแสดงบนจอภาพที่เป็นมอนิเตอร์เช่นเดียวกับเครื่อง STM (และโดยหลักการเดียวกันนี้ก็สามารถที่ใช้ปลายแหลมของคานนี้ในการสร้างแรงผลึก เพื่อเคลื่อนย้ายอะตอมแต่ละตัวของโครงสร้างวัสดุได้เช่นเดียวกันอีกด้วย)

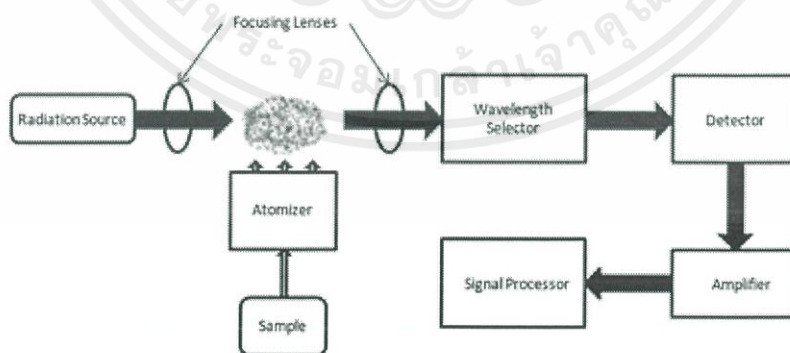


ภาพที่ 2.22 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope หรือ (AFM)) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 เทคนิคที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะ (Atomic Absorption Spectrophotometer , AAS)

เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ(metal element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ(free atom) ของธาตุดูดกลืน(absorb) แสงที่มีความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุ เนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงาน ได้แตกต่างกัน พลังงานที่พอดิบกับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น(ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (exited state)

ในการศึกษาด้านเคมีวิเคราะห์ สเปกโตรสโกปีการดูดกลืนแสงของอะตอม (atomic absorption spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะในตัวอย่างต่างๆ เช่น วิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วที่เจือปนอยู่ในหม้อก๋วยเตี๋ยว วิเคราะห์หาปริมาณเงินหรือทองคำที่เจืออยู่ในสินแร่ เป็นต้น ซึ่งเทคนิคนี้สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะได้มากถึง 70 ธาตุด้วยกัน ระดับความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้อยู่ในระดับ ppm (part per million, หนึ่งในล้านส่วน) หลักการอย่างง่าย อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในอะตอม เมื่อได้รับพลังงานจะดูดกลืนพลังงาน และเปลี่ยนวงโคจร ไปอยู่ในวงโคจรใหม่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้นกว่าเดิม เพียงชั่วครู่เท่านั้น ซึ่งพลังงานที่ให้กับอะตอมจะใช้พลังงานแสงที่มีความจำเพาะกับธาตุแต่ละชนิด โดยค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะ เมื่อโลหะมีความเข้มข้นมากจะดูดกลืนพลังงานแสงได้มาก ในทางตรงข้ามหากโลหะมีปริมาณน้อยก็จะดูดกลืนพลังงานแสงได้น้อย เป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)



ภาพที่ 2.23 ส่วนประกอบของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer(AAS)

[24]

ในการวิเคราะห์จะต้องเปลี่ยนรูปของโลหะที่ปนอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ให้กลายเป็นอะตอมโดยใช้พลังงานจากเปลวไฟด้วยส่วนสร้างอะตอม (atomizer) อะตอมที่เกิดขึ้นจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนพลังงานแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง (radiation source) หลังจากนั้นแสงที่ผ่านการดูดกลืนแล้วจะถูกเลือกเฉพาะความยาวคลื่นที่จำเพาะกับธาตุแต่ละชนิด และถูกตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ (detector) เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นเข้าไปที่หน่วยขยายสัญญาณ (amplifier) สิ้นสุดกระบวนการด้วยการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (signal processor)



ภาพที่ 2.24 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะ (Atomic Absorption Spectrophotometer หรือ (AAS)) [25]

2.4 การตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพของอัลลอย

ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) เป็นความสามารถของวัสดุที่มนุษย์พัฒนาขึ้น เพื่อให้คงอยู่ได้ภายในร่างกายสิ่งมีชีวิตในช่วงเวลาหนึ่ง โดยไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ วัสดุทุกชนิดที่นำมาใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์นั้นล้วนแล้วแต่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ แต่จะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน โดยวัสดุทางชีวภาพสามารถแบ่งตามลักษณะ การเกิดปฏิกิริยาของชิ้นวัสดุซึ่งนำไปใช้ในร่างกาย (Implant) กับเนื้อเยื่อได้ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อ

ปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อ	ลักษณะการเกิด
เป็นพิษ (Toxic)	เนื้อเยื่อตาย
ค่อนข้างเฉื่อย (Nearly inert)	เกิดช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อกับวัสดุ
ว่องไวทางชีวภาพ (Bioactive)	วัสดุมีพันธะชั้นที่ผิวสัมผัส (Interfacial) ของเนื้อเยื่อ
ละลายเมื่ออยู่ในร่างกาย (Resorbable)	เนื้อเยื่อแทนที่วัสดุ

ดังนั้นการนำวัสดุทางชีวภาพชนิดหนึ่งมาใช้งาน จำเป็นจะต้องผ่านกระบวนการศึกษาเกี่ยวกับการเข้าด้วยกันได้กับร่างกาย (Biocompatibility) ก่อน ซึ่งได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับการมีปฏิกิริยาต่อสภาพแวดล้อมทางชีวภาพ (Bioactivity) ของวัสดุนั้นๆ ซึ่งหมายถึง ความสามารถในการเกิดพันธะทางเคมีกับกระดูกเพื่อช่วยการยึดเกาะ (Hench,1991) ซึ่งสามารถศึกษาได้ทั้งในหลอดแก้ว (In vitro) และในร่างกายสิ่งมีชีวิต (In vivo) รวมถึงการศึกษาความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity) เพื่อให้มีความแน่ใจว่า วัสดุทางชีวภาพชนิดนั้น สามารถนำมาใช้ในร่างกายได้อย่างปลอดภัย

หลังจากการศึกษาเกี่ยวกับการมีปฏิกิริยาต่อสภาพแวดล้อมทางชีวภาพเบื้องต้นแล้ว ในการศึกษาที่ยืนยันว่าวัสดุนั้นๆ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ จะต้องมีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 10993-1 (TISI,1999) โดยรายละเอียดที่ต้องทดสอบมีดังนี้

1. การกลายพันธุ์ของยีน (Mutagenicity)
2. ความเป็นพิษที่ส่งผลต่อร่างกายทั้งระบบ (Acute systemic toxicity)
3. ความเป็นพิษในกรณีที่ได้รับประทานเข้าไป (Oral toxicity)
4. ความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity)
5. ความไวต่อปฏิกิริยา (Sensitization)
6. การแพ้ที่ก่อให้เกิดอาการคัน (Irritation)
7. การปลูกถ่ายร่างกาย (Implantation)

ในการศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพของวัสดุมีการศึกษา แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาในหลอดแก้ว (In vitro study) และการศึกษาในสัตว์ทดลอง (In vivo study) ปกติต้องทำการศึกษาในหลอดแก้วก่อน เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนการนำไปใช้ในสัตว์ทดลอง ซึ่งการศึกษาวัดในหลอดแก้วนั้นมีหลักการดังนี้ นำวัสดุมาไว้ในสถานะจำลองมาชีวภาพของร่างกายในช่วงระยะต่างๆ แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัสดุ ทั้งทางด้านเคมี ทางกายภาพ และโครงสร้างจุลภาค หลังจากนั้นจึงจะนำวัสดุนั้นๆ มาศึกษาในสัตว์ทดลอง เช่น หนู กระต่าย ลิง เป็นต้น โดยศึกษาในผลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ และศึกษาผลในระยะยาว ผลการศึกษาเหล่านี้จะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจว่าวัสดุนั้นๆ เหมาะสมกับการใช้งานประเภทใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนการทดลองทางชีวภาพนั้นจะเริ่มจากการเตรียมสารละลายจำลองไอออนพลาสมาในเลือดมนุษย์ (Simulated Body Fluid, SBF) ตามวิธีการของ Kokubo et al. (2006) โดยมีรายละเอียด

1. เติมน้ำกลั่นประมาณ 700 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์พลาสติก พร้อมแท่งกวน แม่เหล็กวางบีกเกอร์บนอ่างน้ำที่ให้ความร้อนน้ำ ด้วยเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) ที่อุณหภูมิ 36.5 ± 1.5 องศาเซลเซียส
2. ละลายสารเคมี ลำดับ 1-8 ด้วยปริมาณ ดังแสดงในตารางที่ โดยละลายทีละตัวจนก่อนละลายสารตัวต่อไปตามลำดับ ข้อควรระวังคือ สารลำดับที่ 3,4,5,7 และ 8 ควรชั่งอย่างรวดเร็ว ส่วนสารลำดับที่ 7 เป็นตะกอนได้ง่าย ควรละลายอย่างระมัดระวัง
3. วัดค่า pH ของสารละลาย จากนั้นละลาย Tris (สารลำดับที่ 9 จากตารางที่ 11) เพื่อปรับค่า pH จนเป็น 7.30 ± 0.05 ปรับ pH เท่ากับ 7.45 โดยควบคุมให้อุณหภูมิของสารละลายอยู่ในช่วง 36.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส
4. หยด 1M HCl ด้วยหลอดหยด จนค่า pH ลดลงเหลือ 7.42 ± 0.01 หากยังมี Tris เหลืออยู่ให้ละลาย Tris สลับ 1M HCl จนหมด ค่า pH ควรอยู่ในช่วง 7.42 – 7.45 และอุณหภูมิของสารละลายเป็น 36.5 ± 0.2 องศาเซลเซียส
5. หยด 1M HCl ปรับค่า pH ครั้งสุดท้ายจนมีค่าเท่ากับ 7.40 ควบคุมให้อุณหภูมิของสารละลายมีค่าเท่ากับ 36.5 ± 0.1 องศาเซลเซียส
6. เทสารละลาย ลงในขวดวัดปริมาตร พลาสติก ขนาด 1000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 5 – 10 องศาเซลเซียส
7. ทดสอบค่าไอออนในสารละลายที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง AAS เปรียบเทียบกับสูตรของ Kokubo et al.

ตารางที่ 2.4 สารเคมีที่ใช้การเตรียมสารละลายจำลองพลาสมาในเลือดมนุษย์ (SBF)
ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

ลำดับที่	สารเคมี	ปริมาณที่ใช้
1	NaCl	8.035 กรัม
2	NaHCO ₃	0.355 กรัม
3	KCl	0.225 กรัม
4	K ₂ HPO ₄ ·3H ₂ O	0.231 กรัม
5	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.311 กรัม
6	1.0 M-HCl	39 มิลลิกรัม
7	CaCl ₂	0.292 กรัม
8	Na ₂ SO ₄	0.072 กรัม
9	Tris(hydroxymethyl)- aminomethane	6.118 กรัม
10	1.0 M-HCl	≈ 0 - 5 มิลลิกรัม

จากนั้นทำการทดสอบชิ้นงานในสารละลาย SBF โดยแช่เม็ดอัลลอยไว้ในสารละลาย SBF ตามเวลาที่กำหนดแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย AAS เพื่อตรวจสอบปริมาณธาตุที่ถูกปลดปล่อยออกมาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงสารเคมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้กระบวนการเตรียมผงที่กระบวนการเตรียมเม็ดอัลลอย กระบวนการเตรียมสารละลายจำลองพลาสติกของเลือดเพื่อใช้ตรวจสอบสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ รวมไปถึงการตรวจสอบสมบัติกายภาพ เฟสที่เกิดขึ้น โครงสร้างจุลภาค และสมบัติต่างๆ 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 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
- 3.1.15 โซเดียมไฮโดรคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

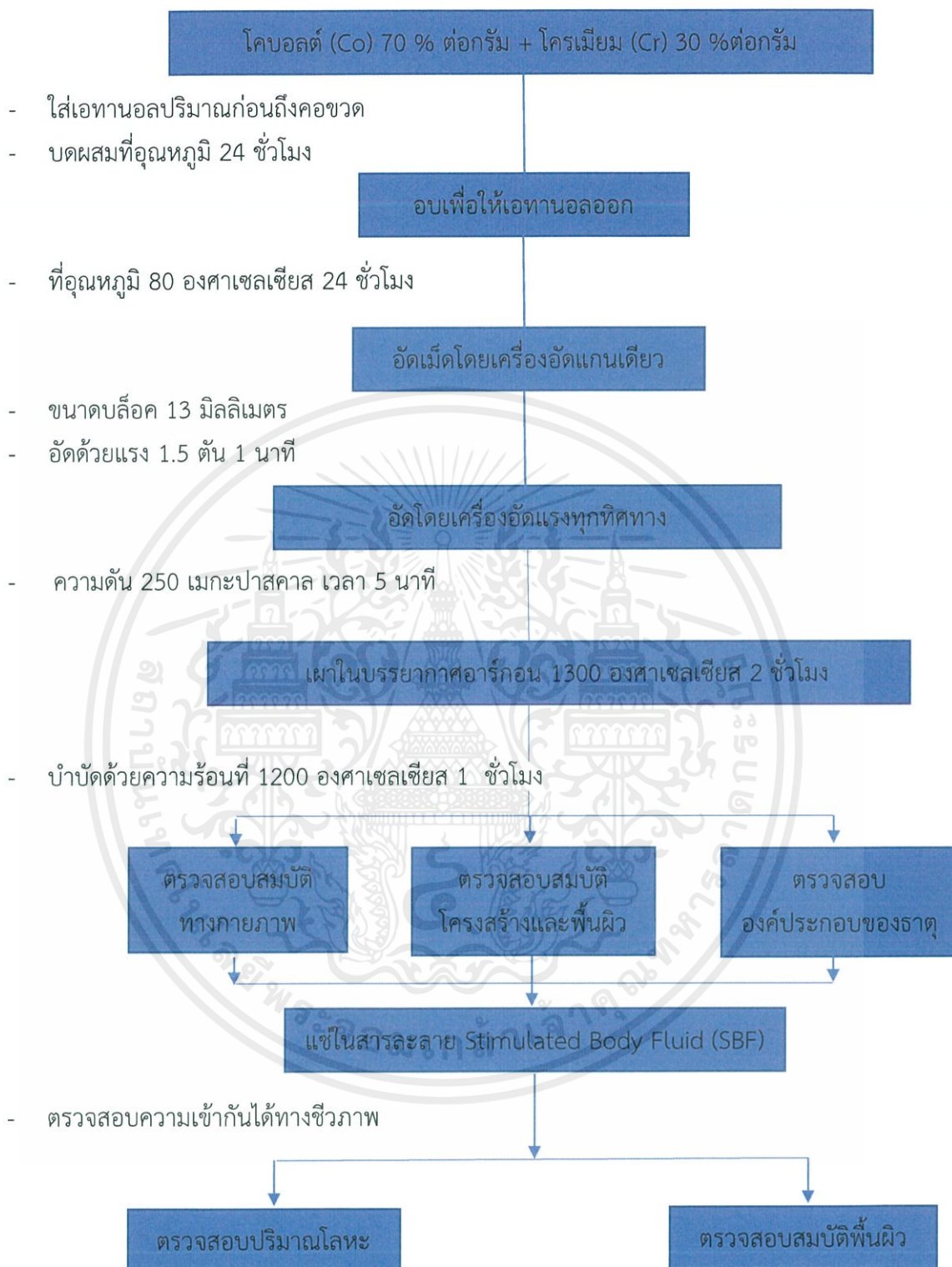
- 3.2.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

- 3.2.2 เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.3 เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน
- 3.2.4 ตู้อบสารอุณหภูมิ 80°C
- 3.2.5 เครื่องบดย่อยผสมสารด้วยลูกบอล (ball-milling)
- 3.2.6 เครื่องอัดแบบแกนเดียวด้วยระบบไฮดรอลิก (hydraulic uniaxial pressing)
- 3.2.7 เครื่องอัดแบบทุกทิศทาง (cold isostatic pressing)
- 3.2.8 ขวดพลาสติกพร้อมฝาปิด
- 3.2.9 เทปพันท่อน้ำ
- 3.2.10 ลูกบดทำจากเซอร์โคเนีย (ZrO_2) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร
- 3.2.11 ซ้อนตักสาร
- 3.2.12 คีมคีบ (forceps)
- 3.2.13 กระจาดฟอยล์
- 3.2.14 ครกหยกสำหรับบดสาร (mortar)
- 3.2.15 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาสารที่อุณหภูมิสูง
- 3.2.16 ถ้วยอะลูมินาสำหรับเผาสาร (alumina crucible)
- 3.2.17 ถุงซิปล็อคสำหรับเก็บชิ้นงาน
- 3.2.18 นาฬิกาจับเวลา
- 3.2.19 วัสดุความชื้น
- 3.2.20 ปีกเกอร์
- 3.2.21 เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์ (electronic digital calipers)
- 3.2.22 กระจาดทราย
- 3.2.23 ขวดฉีดเอทานอล
- 3.2.24 กระจาดทิชชู
- 3.2.25 หลอดหยดสาร (dropper)
- 3.2.26 ตะแกรงร่อน
- 3.2.27 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนผังการทดลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการเตรียมผง

3.3.1 โคบอลต์ – โครเมียม (Co -Cr)

ในการเตรียมเม็ดอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม (Co - Cr) เริ่มจากการนำผงโคบอลต์ (Co) และผงโครเมียม (Cr) มาผสมกันตามแผนผังการเตรียม (3.1) ดังนี้

โดยจะผสมทั้งโคบอลต์ (Co) และ โครเมียม (Cr) ทั้งหมด 20 กรัม โดย โคบอลต์ (Co) 70 % ต่อกรัม กับ โครเมียม (Cr) 30 % ต่อกรัม โดยน้ำหนักโคบอลต์ (Co) เท่ากับ 14 กรัม และ โครเมียม (Cr) เท่ากับ 6 กรัม ตามสัดส่วนโดยเริ่มจากนำสารมาชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดสูง



ภาพที่ 3.2 ครกหยกบดสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



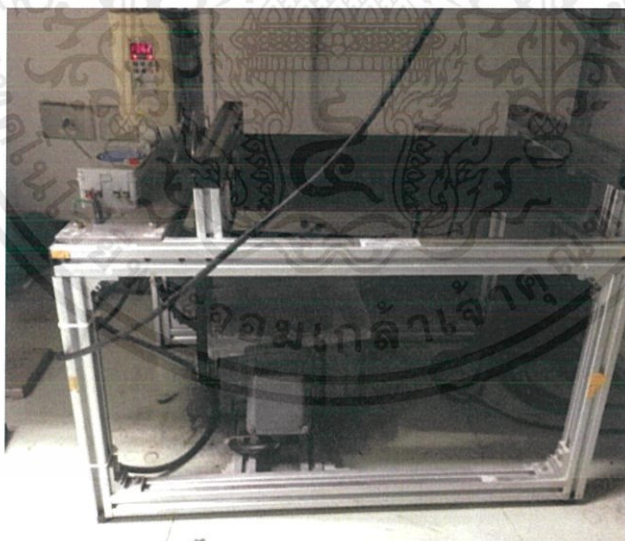
ภาพที่ 3.3 ตู้ดูดความชื้น

จากนั้นเทสารลงในขวดพลาสติกดังภาพ 3.4 จากนั้นเติมเอทานอลให้ปริมาณถึงคอขวดที่พอเหมาะสมแล้วปิดฝาขวดพลาสติกนั้นพร้อมปิดผลึกด้วยเทปพันท่อน้ำให้สนิทแล้วนำไปวางบนเครื่องบดย่อยด้วยลูกศร (ball - milling) ดังภาพที่ 3.5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหลังจากบดผสมครบตามเวลาที่กำหนด แล้วนำสารที่ผสมกันมาล้างเพื่อทำการแยกสารที่ต้องการออกมาโดยล้างนั้นจะเติมน้ำปราศจากไอออน (Di water) ลงไปในบีกเกอร์ด้วย และเมื่อแยกสารเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำสารที่ได้ไปอบตู้อบดังภาพที่ 3.6 ที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อทำการระเหยเอทานอลออกไปให้เหลือแต่เนื้อสารและเพื่อให้แห้งปราศจากความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 ขวดพลาสติกผสมสาร



ภาพที่ 3.5 เครื่องบดย่อยด้วยลูกบอล (ball - milling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 ตู้อบสาร

3.4 กระบวนการเตรียมเม็ดอัลลอย

3.4.1 เทคนิคการอัดขึ้นรูปเม็ดอัลลอย

นำผงโคบอลต์ - โครเมียม (Co - Cr) ที่ผ่านการบดผสมตามหัวข้อ 3.3 มาอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดอัลลอยด้วยเครื่องอัดแกนเดียว (uniaxial pressing) ระบบไฮดรอลิกดังภาพภาพที่ 3.7 โดยจะนำผง Co - Cr มาผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพื่อเพิ่มการยึดเกาะประสาน จากนั้นนำผงผสมที่ได้ใส่ในแม่พิมพ์อัดสารที่ทำจากโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 13 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ด้วยแรงอัด 1500 กิโลกรัม เป็นเวลานาน 90 นาที ก็จะได้เม็ดอัลลอย Co - Cr ดังภาพที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

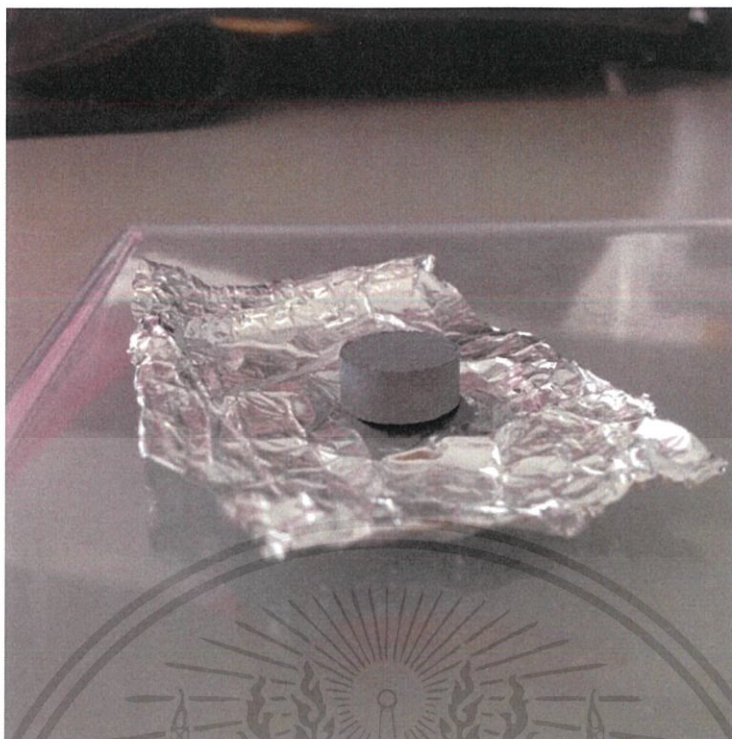


ภาพที่ 3.7 เครื่องอัดแกนเดียว (hydraulic uniaxial pressing)



ภาพที่ 3.8 แม่พิมพ์โลหะสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 เม็ดอัลลอย Co - Cr

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัดแกนเดียวมาทำงานอัดขึ้นรูปซ้ำด้วยเครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทางที่อุณหภูมิห้อง (cold isostatic pressing) ดังแสดงในภาพที่ 3.11 โดยมีวิธีการเตรียมชิ้นงานดังนี้ นำเม็ดอัลลอยที่ต้องการอัดใส่ไว้ในภาชนะยึดหยุดที่ปิดสนิท โดยในที่นี้จะใช้ถุงยางอนามัยเพื่อป้องกันของเหลวจากเครื่องอัดด้วยแรงทุกทิศทาง ซึมเข้ามาในเม็ดอัลลอย จากนั้นทำการดูดอากาศออกจากถึงถุงยางอนามัยดังภาพที่ 3.10 รัดปากถุงยางอนามัยให้แน่นเพื่อป้องกันอากาศเข้าไป แล้วจึงทำการอัดด้วยแรง 250 MPa เป็นเวลานาน 5 นาที ดังแสดงตามแผนภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.10 การดูดอากาศออกจากถุงยางอนามัย

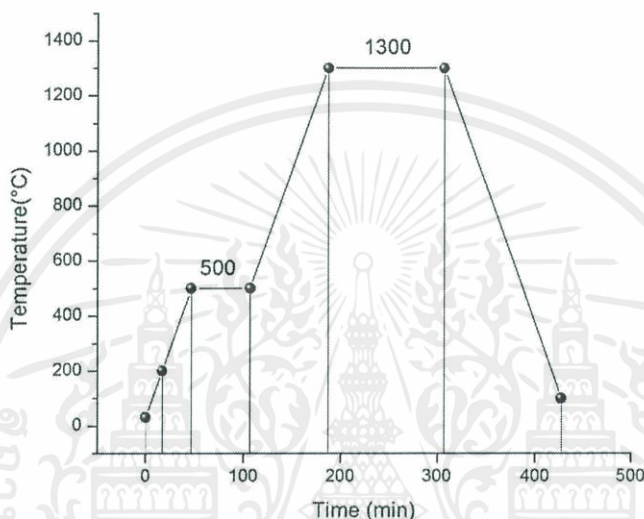


ภาพที่ 3.11 เครื่องอัดด้วยแรงทุททุททุกทาง (CIP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน

นำเม็ดอัลลอยที่ผ่านการอัดมาใส่ในครุชีเบลแล้วทำการกลบฝังด้วยผงอลูมินา (Al_2O_3) เพื่อช่วยให้ความร้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งครุชีเบล จากนั้นจึงทำการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน (Ar) ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงด้วยอัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อวินาที โดยเตาไฟฟ้าสำหรับเผาสารดังภาพที่ 3.13 เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของเม็ดอัลลอย Co - Cr โดยขั้นตอนและอุณหภูมิของการเผาเป็นไปตามภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แผนภาพแสดงกระบวนการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน

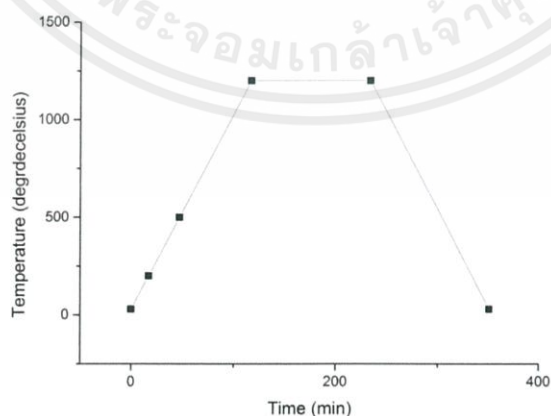
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.13 เตาไฟฟ้าสำหรับเผาสาร

3.4.3 การบำบัดด้วยความร้อน

นำเม็ดอัลลอยที่ผ่านการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอนมาทำการบำบัดด้วยความร้อนในเตาไฟฟ้าสำหรับเผาสารดังแสดงในภาพที่ 3.13 จะทำการปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าโดยใช้กรรมวิธีทางความร้อนได้แก่ การอบอ่อน (Annealing) การอบปกติ (Normalizing) กรรมวิธีทางความร้อน หมายถึง การนำเอาโลหะหรือโลหะผสมที่เป็นของแข็งมาให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอัตราที่แตกต่าง เพื่อให้มี สมบัติเชิงกล ตามต้องการบำบัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพ 3.14



ภาพที่ 3.14 แผนภาพแสดงกระบวนการบำบัดด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การตรวจสอบสมบัติกายภาพ

3.5.1 ความหนาแน่น

นำเม็ดอัลลอย Co – Cr ทั้ง 12 ตัวอย่างมาตรวจวัดความหนาแน่นหลังการเผาแน่นโดยอาศัยหลักการแทนที่ของน้ำตามกฎของอาร์คิมิดีส (Archimedes method) เริ่มจากนำเม็ดอัลลอย Co – Cr มาต้มในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วปล่อยให้เม็ดอัลลอย Co – Cr เย็นตัวลงในน้ำที่ทำการต้ม จากนั้นจึงนำเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่ผ่านการต้มและปล่อยให้เย็นตัวลงมาชั่งในน้ำ (W_3) เมื่อชั่งในน้ำเสร็จให้นำเอาเม็ดมาชั่งน้ำหนักส่วนเกินออกด้วยกระดาษทิชชู แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งอีกครั้ง น้ำหนักที่ได้จะเรียกว่าน้ำหนักจากการชั่งเปียกหรือชั่งหมาด (W_2) เมื่อผ่านการชั่งสองขั้นตอนนี้แล้วให้นำเม็ดอัลลอย Co – Cr ไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 80 °ซ อบให้แห้งสนิทแล้วนำเม็ดอัลลอย Co – Cr มาชั่ง โดยน้ำหนักที่ได้จะเรียกว่าน้ำหนักจากการชั่งแห้ง (W_1) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณความหนาแน่นตามสมการนี้

$$\rho_c = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \times \rho_{H_2O} \quad (3.1)$$

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)

3.5.2 เปอร์เซ็นต์การหดตัว

การหาค่าการหดตัวของเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการขึ้นเตอร์นั้นสามารถทำได้ด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอัลลอย Co – Cr ก่อนและหลังการขึ้นเตอร์ จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานสมการที่ 3.3 ดังนี้

$$\% \text{ shrinkage} = \left[\frac{d_1 - d_2}{d_3} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่ d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอัลลอยก่อนการขึ้นเตอร์ (มิลลิเมตร)

d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดอัลลอยหลังการขึ้นเตอร์ (มิลลิเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การตรวจสอบโครงสร้างและพื้นผิว

3.6.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์และไม่ซินเตอร์ทั้งหมดมาทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.15 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ โครงสร้างจุลภาค สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติแม่เหล็กของเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่เตรียมได้ โดยเริ่มจากการนำเม็ดโลหะอัลลอย Co – Cr แต่ละส่วนขององค์ประกอบไปติดบนแท่นทองเหลือง (stub) ด้วยเทปคาร์บอนสองหน้า จากนั้นจึงนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานต่อไป



ภาพที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 ตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุต่างๆด้วยเครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Energy Dispersive X-rays Spectrometer)

นำเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่ผ่านกระบวนการชินเตอร์และไม่ชินเตอร์ทั้งหมดมาทำการตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (EDX) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.16 เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาใช้อธิบายอัลลอย Co – Cr นั้นมีองค์ประกอบของธาตุ 2 ตัวหรืออาจจะมียังมีองค์ประกอบธาตุอื่นๆปนอยู่ด้วย ตรวจสอบได้ทั้ง ของแข็ง ของเหลว หรือเป็นผง โดยเทคนิค คือ ให้งรังสีเอ็กซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนกับอัลลอย Co – Cr รังสีเอ็กซ์จะทำให้อิเล็กตรอนในวงในสุดของอะตอมของธาตุหลุดออกไป อิเล็กตรอนในวงถัดมาจะเข้ามาแทนที่ ซึ่งจะมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะของตัวของธาตุนั้นเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์คุณภาพ และความเข้มข้นของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงปริมาณ



ภาพที่ 3.16 เครื่องตรวจวัดธาตุเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (EDX) [21]

3.6.3 ตรวจสอบลักษณะของภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม

(Atomic force microscope)

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์และไม่ซินเตอร์ทั้งหมดมาทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางในระดับนาโน โดยอาศัยหลักการของอันตรกิริยาของแรงระหว่างอะตอม (atomic force microscope) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.17 ระหว่างหัวเข็มวัดในระดับนาโนกับพื้นผิวของอัลลอย Co - Cr และจะทำการประมวลผลออกในลักษณะของภาพพื้นผิวและสามารถนำมาใช้ในการถ่ายภาพขยายในระดับนาโนเมตรของวัตถุที่นำไฟฟ้าและวัตถุที่ไม่นำไฟฟ้า



ภาพที่ 3.17 เครื่องตรวจสอบลักษณะของภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (AFM)

ในการตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพนั้นเป็นการทดสอบการหลุดออกของไอออนโลหะบนผิวหน้าของชิ้นงาน โดยการแช่ชิ้นงานลงในสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดที่มีไอออนเหมือนเลือดจริงๆ ดังตารางที่ 3.20 โดยการตรวจสอบนี้ทำได้โดยการทำความสะอาดผิวหน้าของชิ้นงานด้วยการสันแบบอัลตราโซนิกเม็ดตัวอย่างเป็นเวลา 15 นาที ต่อมาแช่ในสารละลายจำลองพลาสมาของเลือด เป็นเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ โดยเก็บสารตัวอย่างที่แช่สารละลายจำลองพลาสมาของเลือดไว้ที่ห้องอุณหภูมิ 37°C หลังจากแช่สารละลายครบกำหนดแล้วก็นำมาล้างสารละลายออกด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน เพื่อหยุดการหลุดออกของไอออนโลหะบนพื้นผิวชิ้นงาน หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตรวจสอบลักษณะของพื้นผิวชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายจำลองพลาสมาของเลือดเทียบกับความเข้มข้น ของเลือด [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

3.7 ตรวจสอบหาปริมาณของโลหะในอัลลอย Co - Cr ต่างๆและพื้นผิวหลังจากแช่ SBF (Stimulated Body Fluid)

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านกระบวนการ แช่ SBF ทำการวิเคราะห์ธาตุ (metal element) ที่อยู่ในอัลลอย Co - Cr ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ดังแสดงไว้ในภาพ 3.18 ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ (free atom) ของธาตุ ดูดกลืน (absorb) แสงที่มีความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุ การปล่อยสารพิษต่างๆที่ออกมาจากอัลลอย Co - Cr ว่าเกินที่กำหนดมากหรือน้อยระหว่างที่อยู่ในร่างกายมนุษย์และดูจำนวนไอออนที่ปล่อยออกมานั้นเอง



ภาพที่ 3.18 เครื่องตรวจหาปริมาณของโลหะในอัลลอย (AAS) [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

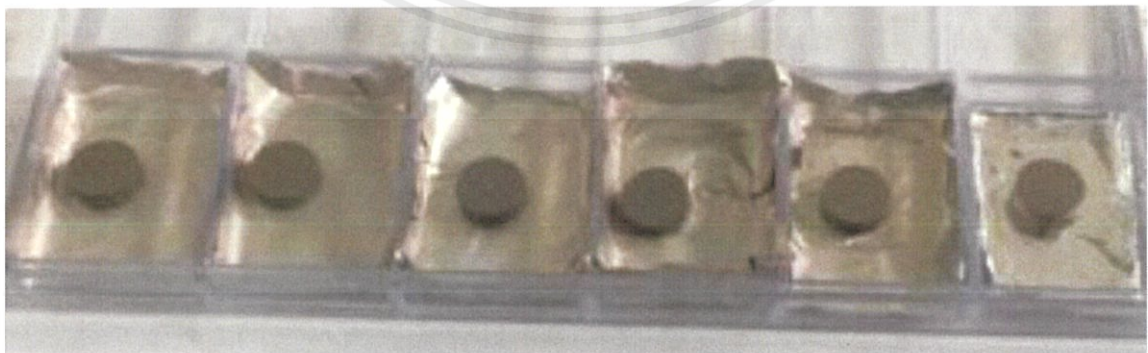
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการเตรียมเม็ดอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr alloys) ด้วยกรรมวิธีโลหะผงแล้วตามด้วยการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอน โดยสัดส่วนที่เลือกใช้ในการทดลองนี้คือ โคบอลต์ (Co) ในปริมาณ 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและโครเมียม (Cr) ในปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งผลทดลองจะกล่าวถึงสมบัติทางกายภาพได้แก่ ลักษณะภายนอก ความหนาแน่นและน้ำหนักที่สูญเสียไปหลังการเผา จากนั้นนำเม็ดอัลลอยไปตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างพื้นผิว จากนั้นจะทำการปรับปรุงสมบัติของเม็ดอัลลอยด้วยการนำไปบำบัดด้วยความร้อน แล้วทำการตรวจสอบหาปริมาณของโลหะที่ถูกปลดปล่อยออกมาภายหลังจากการแช่ในสารละลายจำลองของร่างกาย (SBF) เป็นเวลานานต่าง ๆ กันพร้อมกับตรวจสอบพื้นผิวหลังจากแช่เปรียบเทียบกับอัลลอยที่ยังไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพ

4.1.1 ลักษณะภายนอก

เมื่อทำการผสมโลหะโคบอลต์และผงโลหะโครเมียมเข้าด้วยกันด้วย กรรมวิธีโลหะผง (Powder Metallurgy) ในสัดส่วน 70 Co – 30 Cr แล้วจึงนำไปอัดขึ้นรูปแบบแกนเดี่ยวร่วมกับการอัดด้วยแรงดันทุกทิศทาง (CIP) ได้เม็ดอัดดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากนั้นเมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1300 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ภายในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอนแล้ว พบว่าได้เม็ดอัลลอยดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 เม็ดอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม (Co-Cr alloys) ก่อนเผาซินเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เม็ดอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียม (Co-Cr alloys) หลังเผาด้วยแก๊สอาร์กอน

ซึ่งจากภาพที่ 4.1 และ 4.2 นั้นจะแสดงให้เห็นลักษณะของเม็ดอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียม (Co-Cr alloys) ก่อนเผาด้วยแก๊สอาร์กอนและหลังเผาด้วยแก๊สอาร์กอน โดยลักษณะความเข้มของสีอัลลอยนั้นก่อนเผาเม็ดอัลลอยจะมีสีที่อ่อนกว่าเม็ดอัลลอยหลังเผาด้วยแก๊สอาร์กอน ส่วนความหนาและเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอัลลอยภายหลังจากการเผาแล้วก็พบว่ามีความลดลงเล็กน้อย ซึ่งคาดว่าเกิดการจับตัวกันแน่นมากขึ้นของเม็ดอัลลอย เมื่อได้รับความร้อนสูงนั่นเอง

4.1.2 น้ำหนักที่สูญเสียไปภายหลังการเผาซินเตอร์

หลังจากทำการเผาซินเตอร์ภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอนที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการเพิ่ม/ลดของอุณหภูมิอยู่ที่ 1300 ° C/นาทีแล้วจึงนำไปตรวจสอบน้ำหนักที่สูญเสียไปภายหลังจากการเผาซินเตอร์ โดยตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักก่อนเผาด้วยแก๊สอาร์กอน น้ำหนักหลังเผาด้วยแก๊สอาร์กอน และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปในระหว่างการเผาของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม โดยจากค่าในตารางพบว่าอัลลอยภายหลังจากเผาด้วยแก๊สอาร์กอนจะมีน้ำหนักที่น้อยกว่าอัลลอยตอนก่อนเผาด้วยอาร์กอน เนื่องจากความร้อนทำให้องค์ประกอบภายในชิ้นงานเกิดการรวมตัวกันและจับตัวกันแน่น อีกทั้งสารปนเปื้อนบางตัวที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเตรียม เช่น เอทานอลที่ใช้ผสมในกระบวนการบดย่อยหรือชิ้นส่วนพลาสติกที่อาจหลุดหล่นมาจากกระป๋องบดย่อย ซึ่งมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำจะเกิดการจากสลายตัวในขั้นตอนนี้ จึงทำให้น้ำหนักอัลลอยหลังเผานี้มีน้ำหนักน้อยกว่าอัลลอยก่อนเผาซินเตอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักก่อนเผา น้ำหนักหลังเผา และเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียในระหว่างการเผาซินเตอร์ของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr alloys)

เม็ดที่	น้ำหนักก่อนเผา (กรัม)	น้ำหนักหลังเผา (กรัม)	น้ำหนักที่สูญเสีย (%)
1	2.5532	2.5162	1.4492
2	2.5599	2.5477	0.4766
3	2.5346	2.5339	0.0276
4	2.7434	2.6171	4.6038
5	2.5213	2.4839	1.4834
6	2.7545	2.5949	5.7942

4.1.3 ค่าความหนาแน่น

หลังจากทำการขัดทำความสะอาดผิวหน้าจนเหลือแต่เนื้อของเม็ดอัลลอย Co - Cr แล้วจึงนำเม็ดอัลลอยไปวัดค่าความหนาแน่นด้วยหลักการอาร์คิมิดีส โดยชั่งน้ำหนักเม็ดอัลลอยตอนเปียก น้ำหนักเม็ดอัลลอยตอนหมาด และน้ำหนักเม็ดอัลลอยตอนแห้งแล้วทำการคำนวณค่าความหนาแน่นตามสมการที่ (3.1) ซึ่งข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตาราง 4.2 โดยเมื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วพบว่าความหนาแน่นที่คำนวณได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.4223 g/cm^3 และเมื่อคำนวณความหนาแน่นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์แล้วพบว่ามีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 64.37 % ซึ่งสาเหตุที่ความหนาแน่นมีค่าต่ำกว่าคาดเพราะมีการสลายตัวขององค์ประกอบบางตัวที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในชิ้นงาน อีกทั้งอุณหภูมิที่ทำการเผาและแรงดันในการอัดอาจยังไม่มากพอที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดกระบวนการแน่นตัวที่สมบูรณ์ได้

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอัลลอยโคบอลต์-โครเมียม (Co-Cr alloys)

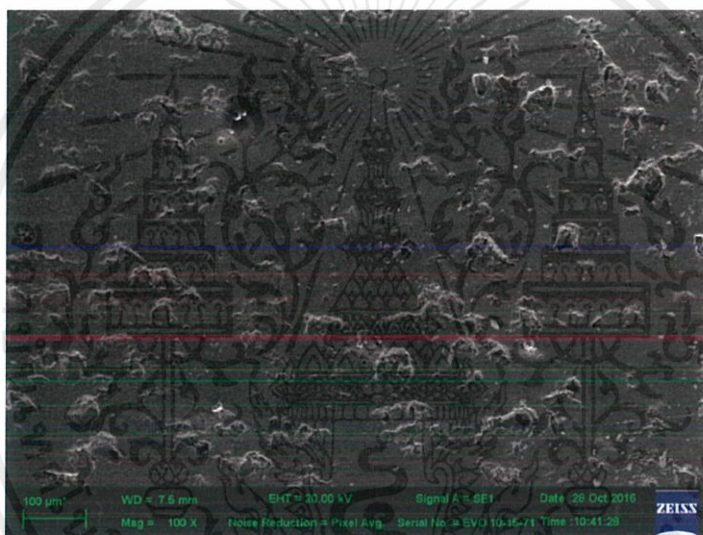
เม็ดที่	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักหมาด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	ความหนาแน่นที่คำนวณได้ (g/cm^3)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (%)
1	0.8488	1.0303	0.9776	5.3706	62.0408
2	1.6384	1.9911	1.9005	5.3728	64.1180
3	1.6984	2.0631	1.9585	5.3546	63.9006
4	1.5473	1.8789	1.7822	5.3590	63.9528
5	1.7422	2.0956	2.0191	5.6968	67.9843
6	1.5878	1.9267	1.8286	5.3800	64.2044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

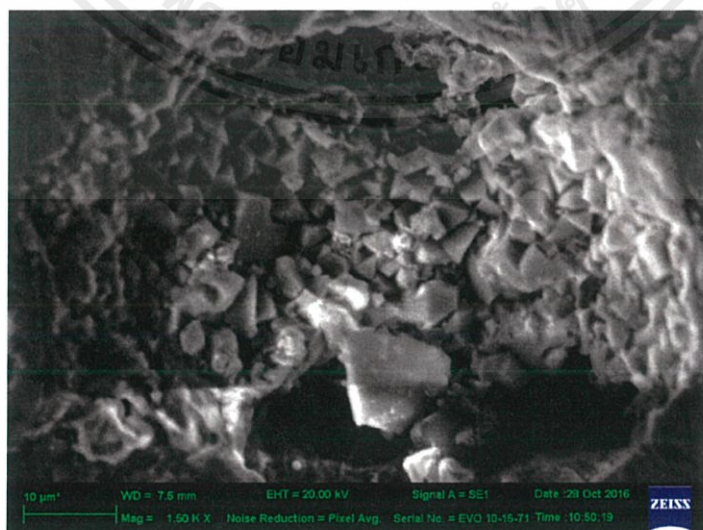
4.2 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะโครงสร้างจุลภาค

4.2.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาค

หลังจากทำความสะอาดเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1300 ° ซ เป็นเวลา 120 นาทีภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอนแล้วจึงนำมาตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งจากภาพเห็นว่าอัลลอยนั้นมีรูพรุนกระจายตัวอยู่ทั่วและพื้นผิวไม่เรียบเนียน มีผิวที่ค่อนข้างขรุขระและพื้นผิวที่เรียบเนียนบางจุดสลับกันไป อีกทั้งพบยังพบรูพรุนกระจายตัวอยู่ เป็นจุดๆ และเมื่อทำการเพิ่มกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ให้สูงขึ้นเพื่อถ่ายภาพภายในบริเวณรูพรุน พบว่าได้ภาพดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวหน้าของอัลลอย Co – Cr



ภาพที่ 4.4 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคภายในรูพรุนที่ผิวหน้าของอัลลอย Co – Cr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถมองเห็นเกรนขนาดต่างๆ โดยมีเกรนขนาดใหญ่ที่สุด $13.231 \mu\text{m}$ และขนาดเล็กที่สุด $1.581 \mu\text{m}$ เมื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วพบว่ามีความ $6.149 \mu\text{m}$ โดยเชื่อว่าเกรนที่มีขนาดใหญ่คือ โคบอลต์ และเกรนที่มีขนาดเล็กคือ โครเมียม ซึ่งพิจารณาจากภาพถ่ายของผงของสารตั้งต้น Co เทียบกับ Cr ในงานวิจัยอื่นๆที่ได้ตรวจสอบมา

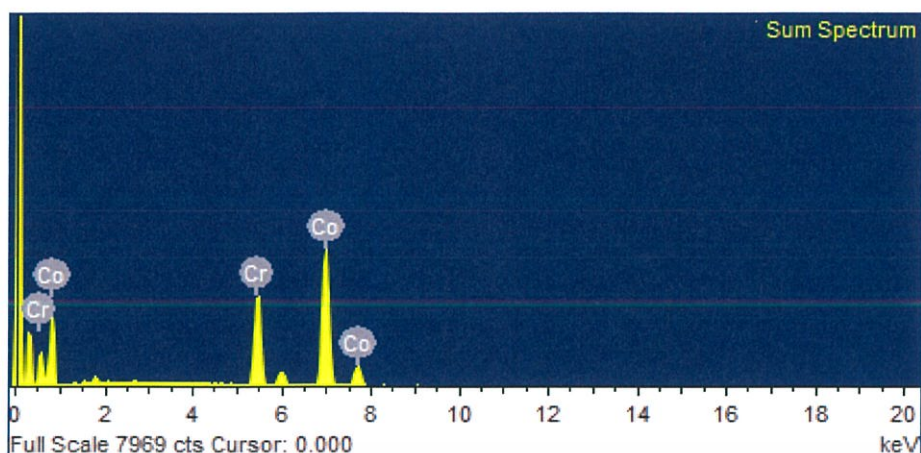
4.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

นำเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์แล้วไปทำการตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุโคบอลต์กับโครเมียมด้วยเทคนิคการกระเจิงพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-rays Spectrometer หรือ EDX) ซึ่งเป็นการวัดเพื่อเป็นการยืนยันว่าอัลลอยนี้มีองค์ประกอบของโลหะโคบอลต์ (Co) และ โครเมียม (Cr) จริง ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 4.5 โดยจากกราฟเป็นการบอกสีของโลหะที่ตรวจสอบได้ในเม็ดอัลลอย ซึ่งภาพที่เป็นสีแดงและสีเขียวคือ องค์ประกอบโคบอลต์ (Co) และ องค์ประกอบโครเมียม (Cr) ตามลำดับทั้งนี้จะเห็นว่าปริมาณสีของที่ปรากฏมีลักษณะสัมพันธ์กับปริมาณสารสัมพันธ์ทางเคมีของอัลลอย Co –Cr ที่กำหนดไว้ ก็นจึงยืนยันได้ว่าอัลลอยนี้มีโคบอลต์ (Co) และ โครเมียม (Cr) อยู่จริง



ภาพที่ 4.5 องค์ประกอบของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Element	Weight%	Atomic%
Cr K	24.75	27.15
Co K	75.25	72.85
Totals	100.00	

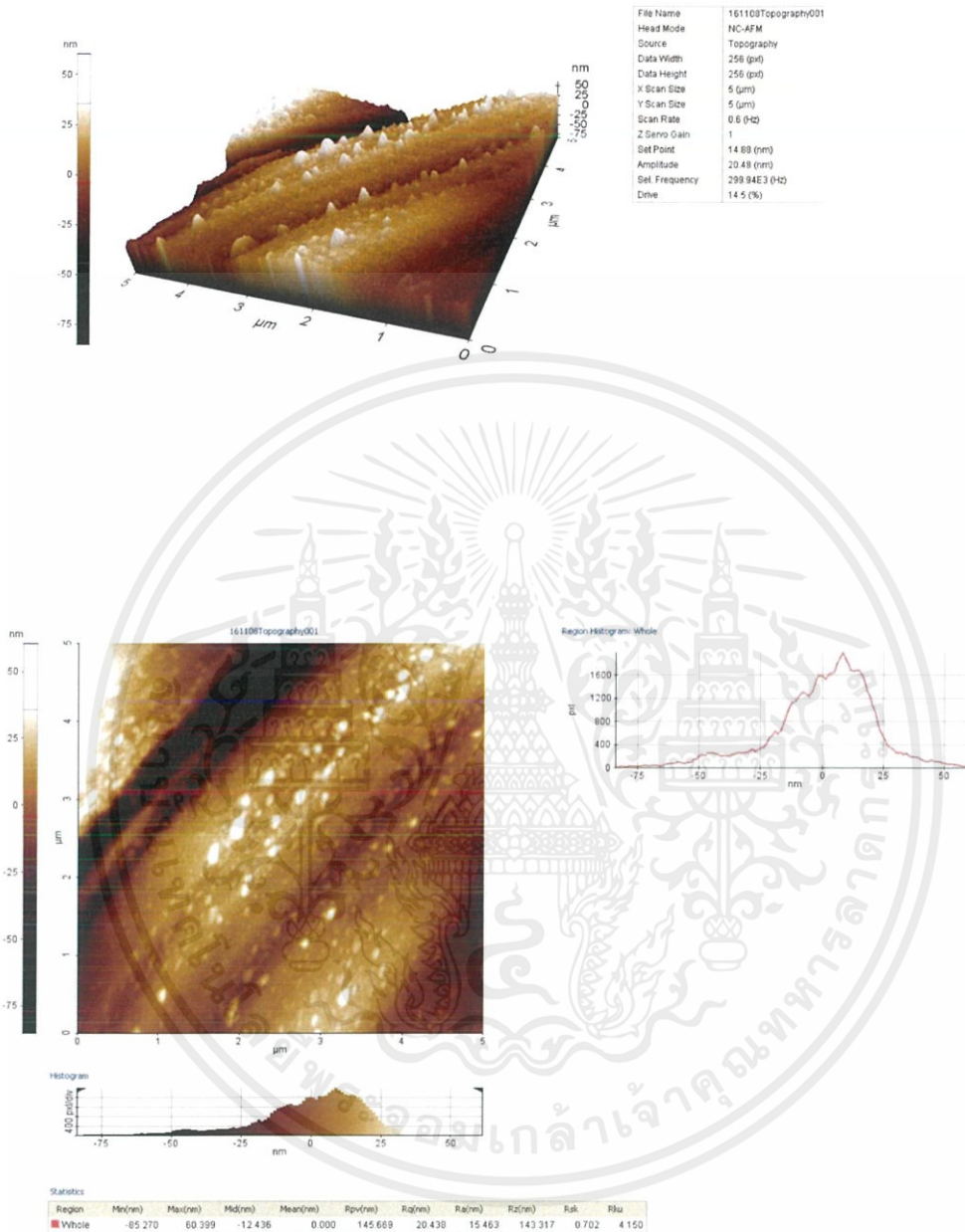
ภาพที่ 4.6 วิเคราะห์ปริมาณของอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียมที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน

จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเชิงปริมาณได้ผลดังภาพที่ 4.6 โดยจากข้อมูลที่ได้พบว่ามีปริมาณธาตุโคบอลต์ (Co) ซึ่งคือ สีเขียวเท่ากับ 75.25 % โดยและปริมาณธาตุโครเมียม (Cr) ซึ่งคือ สีแดงเท่ากับ 24.75 % โดยน้ำหนักสอดคล้องกับสัดส่วนโดยน้ำหนักของธาตุทั้งสองชนิดในเม็ดอัลลอยตามสูตรทางเคมีที่กำหนดไว้

4.3 โครงสร้างพื้นผิว

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านกระบวนการซินเตอร์แล้วมาทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope หรือ AFM) เพื่อดูลักษณะพื้นผิวสามมิติในเม็ดอัลลอย Co - Cr ได้ผลดังภาพที่ 4.7 โดยลักษณะของพื้นผิวนั้นขรุขระบางบริเวณและมองเห็นเป็นภาพสามมิติ ซึ่งจุดที่นูนขึ้นมาแสดงว่าตรงนั้นคือจุดที่ไม่เรียบเนียนและไม่เป็นเนื้อเดียวกันและสังเกตเห็นความขรุขระของพื้นผิวเล็กน้อยคาดว่าเป็นเพราะตอนนำอัลลอยอัลลอย Co - Cr ไปขัดผิวหน้าให้เรียบอาจจะเกิดการเสียดสีจึงทำให้อัลลอยมีการขรุขระได้ง่ายๆและมีรูพรุนจำนวนมากเนื่องจากความหนาแน่นมีค่าต่ำและเกิดการระเหยออกของป่นเปื้อนบางตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

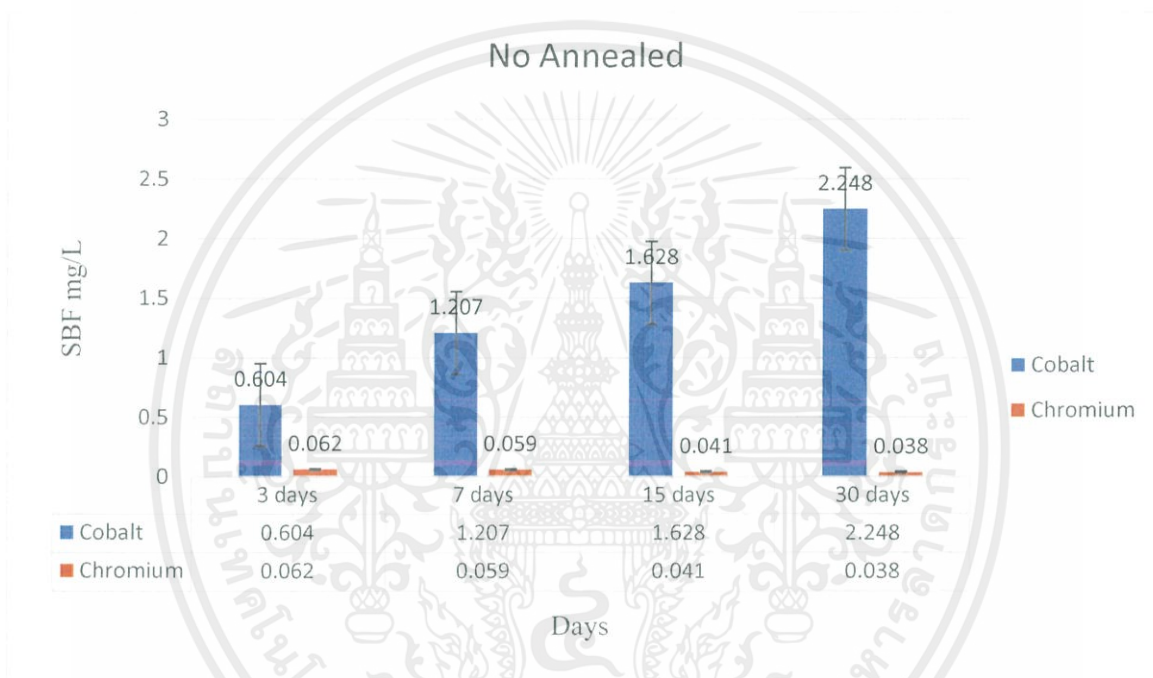


ภาพที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิว 3 มิติจากกล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic force microscope) ของอัลลอยโคบอลต์ - โครเมียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility)

หลังจากทำการอัดเม็ดขึ้นรูปและเผาซินเตอร์แล้ว นำเม็ดอัลลอย Co - Cr มาวิเคราะห์สมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพด้วยการนำเม็ดอัลลอยไปแช่สารละลายจำลองของเหลวในร่างกาย (Stimulated Body Fluid หรือ SBF) เป็นเวลานาน 3 7 15 และ 30 วันตามลำดับแล้วทำการตรวจสอบปริมาณไอออนของโลหะที่ถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลาย SBF ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ (free atom) ของธาตุ ดูดกลืน (absorb) ค่าการปลดปล่อยไอออนของโลหะออกมา โดยผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงปริมาณไอออนของโลหะโคบอลต์ (สีฟ้า) และ โครเมียม (สีส้ม) ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลายจำลองของเหลวร่างกาย (SBF) ภายหลังจากการแช่ชิ้นงาน Co - Cr เป็นเวลานาน 3 7 15 และ 30 วัน

กราฟที่ 4.8 แสดงปริมาณการปลดปล่อยไอออนของโลหะโคบอลต์และโครเมียมของชิ้นงานอัลลอย Co - Cr ที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนที่ตรวจสอบได้จากสารละลาย SBF ที่มีการแช่ชิ้นงานชิ้นไว้ในเป็นเวลา 3 7 15 และ 30 วันตามลำดับ โดยจะมีค่าการปลดปล่อยไอออนของโคบอลต์เป็น 0.604 1.207 1.628 และ 2.248 mg/L และค่าการปลดปล่อยไอออนของโครเมียมเป็น 0.062 0.059 0.041 และ 0.038 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลเห็นว่าปริมาณการปลดปล่อยไอออนของโคบอลต์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ในสาร SBF ส่วนแต่ปริมาณการปลดปล่อยไอออนของโครเมียมจะน้อยลงตามระยะเวลาในการแช่ในสาร SBF โดยเหตุที่ปริมาณไอออนของโคบอลต์มีค่ามากกว่าโครเมียมในทุกเงื่อนไขนั้นคาดว่าเพราะสัดส่วนผสมของโคบอลต์มีมากกว่าโครเมียมนั่นเอง จึงสามารถหลุดออกมายังสารละลาย SBF ได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

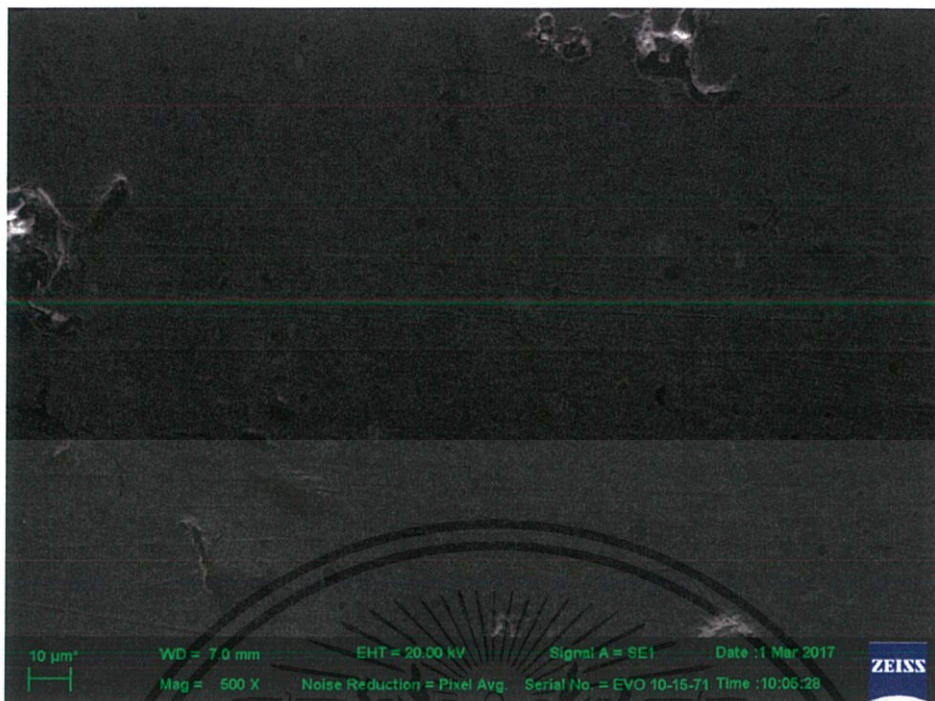
4.5 ผลของการบำบัดด้วยความร้อน

4.5.1 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี

นำเม็ดอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1200 ° ซ เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง มาทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวทั่วไปได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเม็ดอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนนั้นมีรูพรุนกระจายตัวอยู่ทั่วและพื้นผิวไม่เรียบเนียนมีผิวที่ค่อนข้างขรุขระและพื้นผิวที่เรียบเนียนบางจุดสลับกันไป อีกทั้ง พบยังพบรูพรุนกระจายตัวอยู่เป็นจุดๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน Co – Cr ที่ยังไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน (ภาพที่ 4.3) พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนจะมีผิวหน้าที่เรียบกว่าและมีรูพรุนขนาดเล็กกว่า ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากความร้อนที่ให้เข้าไปนั้นช่วยบรรเทาความเครียดในชิ้นงานให้ลดลงและเกรนได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นทำให้สามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นพร้อมกับลดขนาดของรูพรุนให้เล็กลงด้วยนั่นเอง

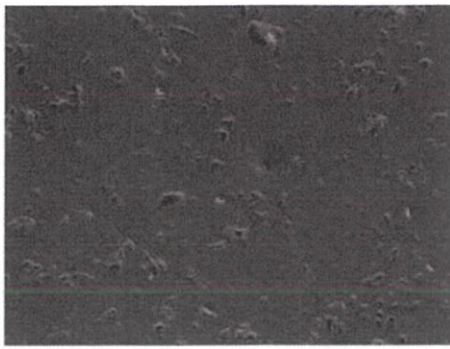


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

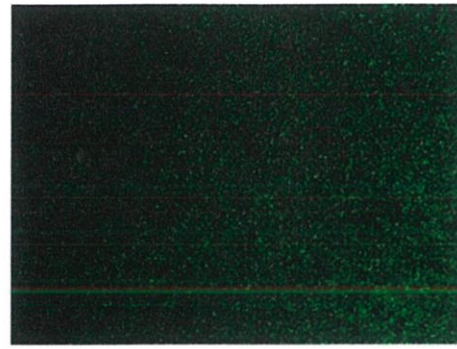


ภาพที่ 4.9 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวทั่วไปของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน

จากนั้นนำเม็ดอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนมาทำการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค EDX พบว่าได้ผลดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 โดยจากรูปจะเห็นว่าปริมาณธาตุโคบอลต์ (Co) ซึ่งเป็นค่าเท่ากับ 73.28 % โดยน้ำหนักและปริมาณธาตุโครเมียม (Cr) ซึ่งเป็นค่าเท่ากับ 26.72 % โดยน้ำหนัก และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน (ภาพที่ 4.5 และ 4.6) พบว่าปริมาณธาตุโคบอลต์ลดลงในขณะที่ปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าความร้อนที่ให้เข้าไปส่งผลให้เกิดการแพร่ของอะตอมและเกิดการกัดกร่อนของสัณฐานองค์ประกอบอื่นๆ



Electron Image 1

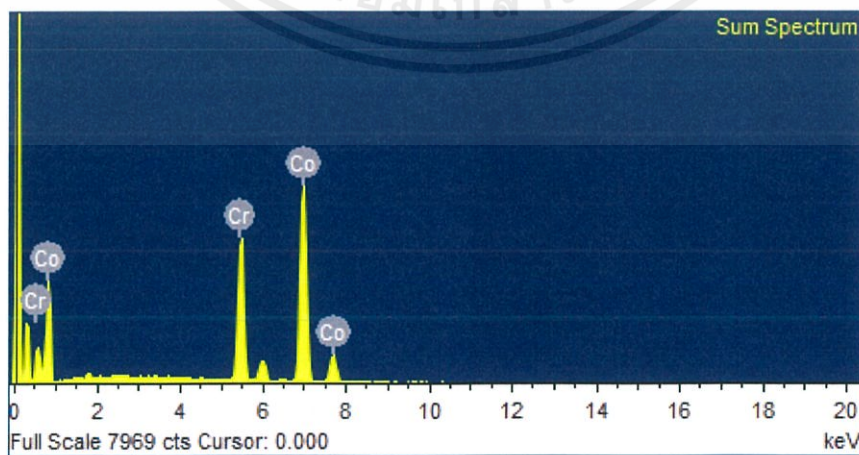


Cr Ka1



Co Ka1

ภาพที่ 4.10 องค์ประกอบของอัลลอยโคบอลต์ – โครเมียมของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน



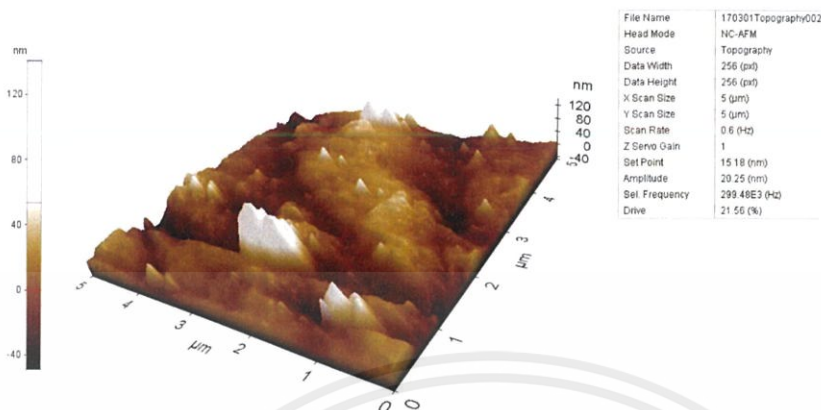
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Weight%	Atomic%
Cr K	26.72	29.24
Co K	73.28	70.76
Totals	100.00	

ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงองค์ประกอบทางเคมีของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน

4.5.2 โครงสร้างพื้นผิว

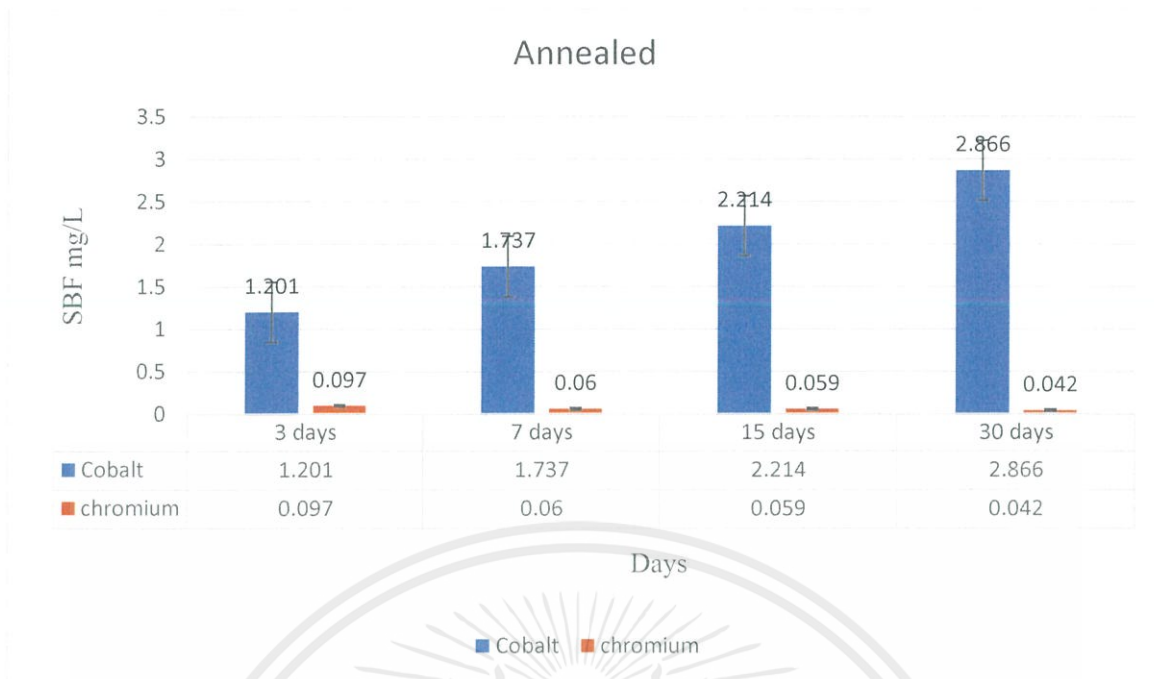
นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้วมาทำการตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิค AFM ได้ผลดังภาพที่ 4.12 ซึ่งพบว่าโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนมีรูพรุนน้อยกว่าเล็กน้อยแต่ความขรุขระของพื้นผิวไม่แตกต่างกับเม็ดอัลลอยที่ยังไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน



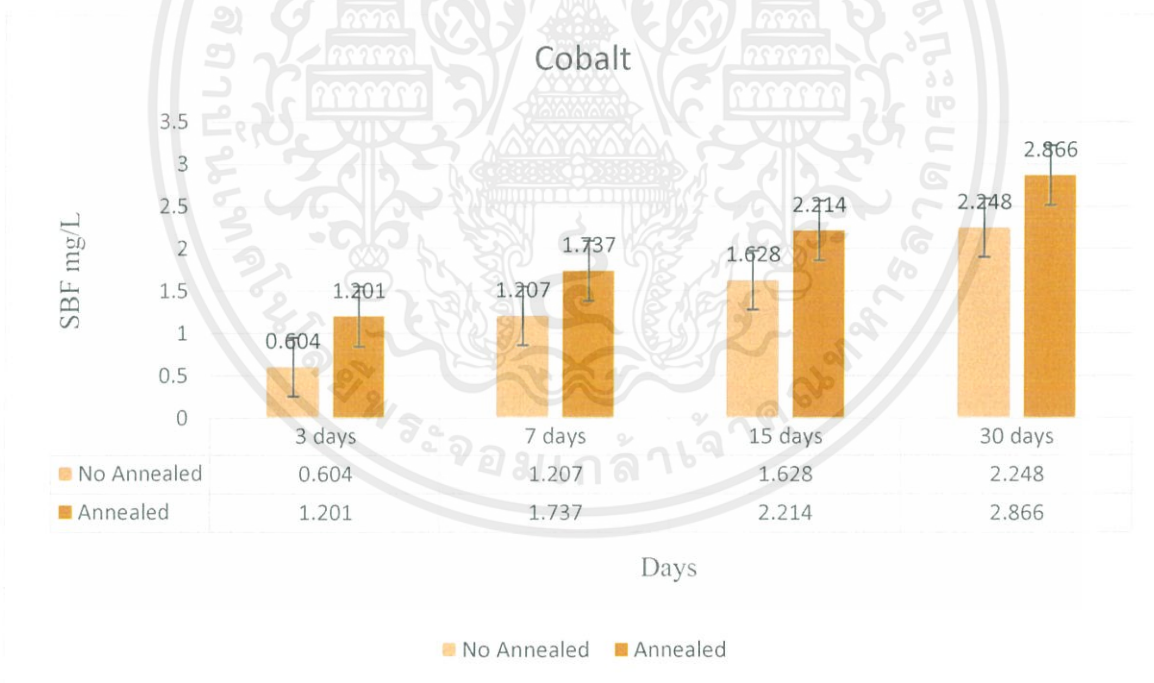
ภาพที่ 4.12 โครงสร้างและพื้นผิวของอัลลอยที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน

4.5.3 การปลดปล่อยไอออนโลหะในสารละลายจำลองของเหลวในร่างกาย

นำเม็ดอัลลอย Co - Cr ที่ผ่านการบำบัดทางความร้อนมาแล้วไปตรวจสอบการปลดปล่อยไอออนของโลหะที่เกี่ยวข้องด้วยการนำชิ้นงานไปแช่ใน SBF เป็นเวลา 3 7 15 และ 30 วัน ตามลำดับจากนั้นตรวจสอบด้วยเทคนิค AAS ได้ผลดังภาพที่ 4.13 โดยมีค่าการปลดปล่อยไอออนของโลหะโคบอลต์เป็น 1.201 1.737 2.214 และ 2.866 mg/L ตามลำดับ และมีค่าการปลดปล่อยไอออนของโลหะโครเมียมเป็น 0.097 0.06 0.059 และ 0.042 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นว่าปริมาณการปลดปล่อยไอออนของโคบอลต์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ในสาร SBF ในขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยไอออนของโครเมียมมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการแช่ และเมื่อทำการพิจารณาโลหะที่ละชนิดเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน ได้ผลดังภาพที่ 4.14 และ 4.15 ซึ่งจะเห็นว่าชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนมีการปลดปล่อยไอออนของโลหะทั้งโคบอลต์และโครเมียมมากกว่าชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนทุกเงื่อนไข ซึ่งคาดว่าเมื่อชิ้นงานผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้วจะเกิดความเหนียวมากขึ้นและความแข็งลดลงจึงทำให้โอกาสที่ไอออนของโลหะจะหลุดออกมามีมากกว่านั่นเอง

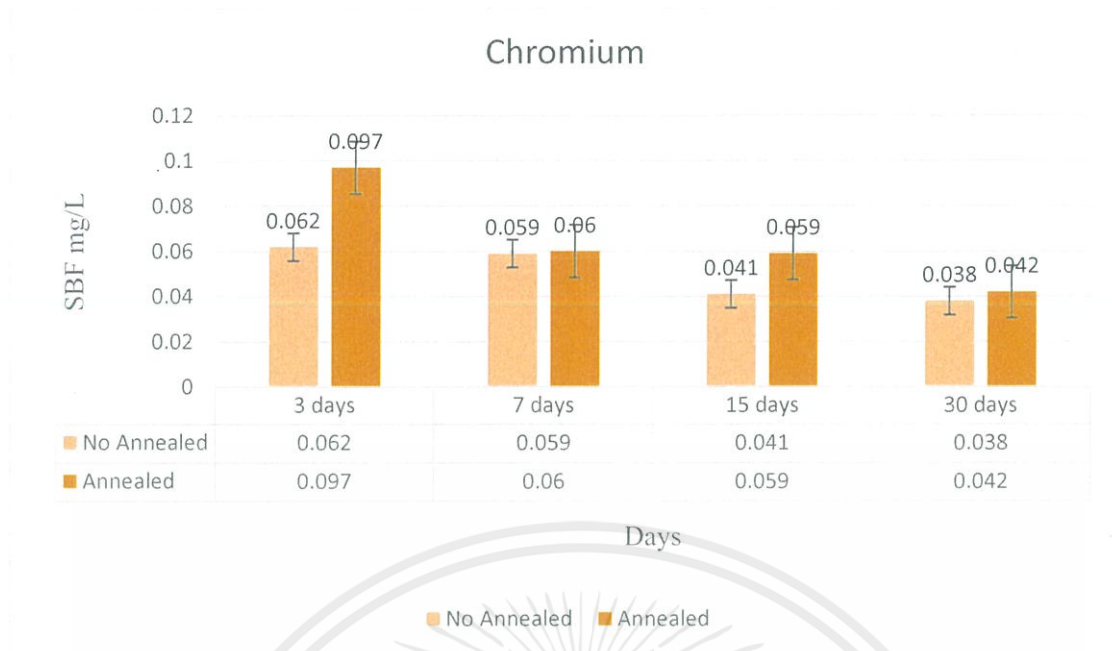


ภาพที่ 4.13 กราฟการปลดปล่อยไอออน Co และ Cr ของชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้ว



ภาพที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบการปลดปล่อยไอออน Co ของชิ้นงานที่ไม่ได้รับการบำบัดด้วยความร้อน (สีเนื้อ) และ ชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้ว (สีเหลืองเข้ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบการปลดปล่อยไอออน Cr ของชิ้นงานที่ไม่ได้รับการบำบัดด้วยความร้อน (สีเนื้อ) และ ชิ้นงานที่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อนแล้ว (สีเหลืองเข้ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการเตรียมเม็ดอัลลอย Co – Cr ในสัดส่วน 70Co – 30Cr ด้วยเทคนิคผงโลหะแบบดั้งเดิมแล้วตามด้วยการเผาซินเตอร์ในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอน พร้อมกับข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1.สามารถสังเคราะห์วัสดุในระบบ Co – Cr สำหรับอวัยวะเทียมฝังในที่มีคุณภาพสูงด้วยเทคนิคผงโลหะแบบดั้งเดิมแล้วตามด้วยการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดอัลลอยด้วยเทคนิคอัดแกนเดียวรวมกับการอัดด้วยแรงดันทุกทิศทาง (CIP) จากนั้นทำการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1300 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิเป็น 10 °ซ ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอน ซึ่งเม็ดอัลลอย Co – Cr ที่ได้มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ราว 64.37 % มีขนาดเกรนเฉลี่ยเท่ากับ 6.149 μm โดยผิวหน้าของเม็ดอัลลอยที่ได้มีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วไปและมีขรุขระของพื้นผิวเล็กน้อย นอกจากนี้ผลการตรวจสอบปริมาณธาตุที่พบก็สามารถยืนยันได้ว่ามีปริมาณของโลหะโคบอลต์และโครเมียมราว 75.25 และ 24.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้

2.เมื่อนำอัลลอย Co – Cr ไปบำบัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 1200 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยอัตราการขึ้น/ลงของอุณหภูมิเป็น 10 °ซ ต่อนาที พบว่าอัลลอยที่ได้มีรูพรุนน้อยลงเนื่องจากความร้อนที่ให้เข้าไปทำให้เกรนเกิดการโตขึ้นมา ส่วนองค์ประกอบทางเคมีนั้นมีการวัดแกว่งของสัดส่วนองค์ประกอบเล็กน้อย โดยตรวจสอบปริมาณโคบอลต์ได้เท่ากับ 73.28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณโครเมียม 26.72 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.เมื่อนำอัลลอย Co – Cr ไปตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพด้วยการนำชิ้นงานไปแช่ในสารละลายจำลองของเหลวในร่างกาย (SBF) เป็นเวลานาน 3 7 15 และ 30 วันแล้วตรวจสอบปริมาณของไอออนโลหะที่ถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลาย SBF พบว่าปริมาณของโคบอลต์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่ในขณะที่ปริมาณของโครเมียมน้อยลงและเมื่อนำชิ้นงานไปบำบัดด้วยความร้อนแล้วพบว่าทั้งโคบอลต์และโครเมียมถูกปลดปล่อยออกมาในสารละลาย SBF มากขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยความร้อน

4.การนำอัลลอย Co – Cr ไปบำบัดด้วยความร้อนนั้นทำให้ลักษณะโครงสร้างจุลภาคเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการปลดปล่อยไอออนของชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ด้วย นั่นคือ อัลลอยที่ได้รับการบำบัดด้วยความร้อนจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและความแข็งลดลงอีกทั้งความเครียดในชิ้นงานลดลงด้วยจึงทำให้ไอออนเกิดการหลุดออกมาในสิ่งแวดล้อมได้ง่ายขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1.ควรมีการปรับปรุงความหนาแน่นของชิ้นงานให้สูงขึ้น โดยการใช้ความดันในการอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นเตอร์ที่มากขึ้น
- 2.ควรมีการตรวจสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพของชิ้นงานในเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] ราคาซื้อหัวเข้าเทียม สืบค้นจาก <https://mynametai.wordpress.com>
- [2] งานวิจัย Metallic Medical Implants : Electrochemical Characterization of Characterization of Corrosion Processes
- [3] 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>
- [4] สืบค้นจาก http://www.chem4kids.com/files/elements/art/027_orbital.gif
- [5] สืบค้นจาก <http://www.gemchina.com/UploadFiles/image/20130122021735777.jpg>
- [6] พินิต รัตนานุกูล. 2553. เคมี2(ธาตุรีเฟนเซียม เทททิฟ กลุ่ม S ธาตุรีเฟนเซียม เทททิฟ กลุ่ม P ธาตุแพรอนซิซัน แลนทาไนด์และแอกทิไนด์ ของแข็ง). บริษัทด้านสหราชอาณาจักร จำกัด : มูลนิธิ สอวน.
- [7] สืบค้นจาก http://www.chem4kids.com/files/elements/art/024_orbital.gif
- [8] สืบค้นจาก http://www.o-digital.com/uploads/2179/2200-1/High_Purity_Chromium_Metal_Powder_917.jpg
- [9] สืบค้นจาก <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-39-49/95->
- [10] สืบค้นจาก <http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2010/06/crevice-corrosion.html>
- [11] สืบค้นจาก <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/2423-%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%93%E0%B8%B0%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99?groupid=404>
- [12] สืบค้นจาก <http://www.flyapro.com/SSTheProblem.htm>
- [13] สืบค้นจาก <https://co2corrosionchem409.wikispaces.com/Background+of+CO2+Corrosion>
- [14] สืบค้นจาก <http://met-tech.com/316ti-stainless-steel-preheater-tube/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] งานวิจัย Corrosion behaviour of cobalt-chromium dental alloys doped with precious metals
- [16] งานวิจัย Effect of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Ni and C-Free Co-Cr-Mo Alloys for Medical Applications
- [17] งานวิจัย In vitro corrosion analyses of heat treated cobalt-chromium alloys manufactured by direct metal laser sintering
- [18] สืบค้นจาก <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K001.html>
- [19] สืบค้นจาก <http://www.slideshare.net/nutthita/ceramic-processing-4>
- [20] สืบค้นจาก http://www.neutron.rmutphysics.com/teaching-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=999&Itemid=5
- [21] สืบค้นจาก <http://www.barascientific.com/products/shimadzu/scientific/emission/thai/EDX/EDX-LE.php>
- [22] สืบค้นจาก Encyklopedia Britannica, Scanning electron microscope (ออนไลน์), (2015), สืบค้นจาก : <http://media-1.web.britannica.com/eb-media/88/113688-004-B14FDB14.jpg>
- [23] สืบค้นจาก <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/219-atomic-force-microscope-afm-.html>
- [24] สืบค้นจาก <http://glasswarechemical.com/tag/atomic-absorption/>
- [25] สืบค้นจาก <http://epg.science.cmu.ac.th/induschem/thai/webic/about/4chemical.html>

ประวัติผู้เขียน

นายกันตภณ เอมปรากฏ เกิดวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2537 ณ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสาธิตบางนา ในปีการศึกษา พ.ศ. 2548 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ และในปีการศึกษา พ.ศ. 2554 และในปีการศึกษา พ.ศ. 2555 ได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุนาโน วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้