



การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC
และ Co

Developing Workpieces High Hardness Special Tungsten Carbide
Mix TaC, TiC, NbC And Co

หาญณรงค์ สมานพงษ์
HARNNARONG SAMARNPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560



การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC
และ Co

Developing Workpieces High Hardness Special Tungsten Carbide
Mix TaC, TiC, NbC And Co

หาญณรงค์ สมานพงษ์
HARNNARONG SAMARNPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co
ชื่อ นามสกุล หาญณรงค์ สมานพงษ์
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปริญญา บุญเกษม

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มินคร)

..... กรรมการที่ปรึกษา
(ดร.ปริญญา บุญเกษม)

..... กรรมการและที่ปรึกษา
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ
อุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

วันที่ 5 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co
ชื่อ นามสกุล	หาญณรงค์ สมานพงษ์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา) คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

การศึกษาคูณสมบัติทางกล ด้านความแข็งของชิ้นงานซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่ได้จากการผสมของทั้งสแตนคาร์ไบด์(WC)ที่ 75 wt% และ โคบอลต์(Co) เป็นตัวประสานที่ 8 wt% -10 wt% และเติมด้วยธาตุผสมคือ แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC)ที่ 0.5 wt% ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC)ที่ 14 wt% - 17 wt% ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC)ที่ 0.5 wt% - 1 wt% แล้วนำมาอัดขึ้นรูป และนำมาอบพูนที่ 1450 °C เมื่อได้ชิ้นงานแต่ละส่วนผสมที่แตกต่างกัน พบว่า ชิ้นงานมีความหนาแน่น (Green density) และความแข็งของชิ้นงานที่ต่างกัน ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย จากลักษณะรูปร่างอนุภาค และส่วนประกอบทางเคมีผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ต่างกัน ทำให้เกิดการไหลผ่านกันระหว่างอนุภาคไม่ดี มีผลต่อ ความหนาแน่น, ความแข็งแรงในชิ้นงาน และ ในการอัดผงโลหะให้แน่นก่อนการอบพูน จะช่วยลดรูพรุนลง เพราะมีรูพรุนน้อย ทำให้การหดตัวขณะอบพูนเกิดขึ้นน้อยกว่า การหดตัวขณะอบพูนจะแปรผันกับความหนาแน่นของชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูป

คำสำคัญ : ตัวประสาน, ธาตุผสม, ทั้งสแตนคาร์ไบด์, โคบอลต์, อบพูน

Thesis Title Developing Workpieces High Hardness Special Tungsten Carbide Mix TaC, TiC, NbC And Co
Author Harnnarong Samarnpong
Degree Master of Engineering
Major program Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate School)
Faculty of Engineering
Academic Year 2017

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate mechanical properties, namely hardness of cemented tungsten carbide workpieces, which were the mixture of 75 wt% tungsten carbide (WC) and 8 wt% -10 wt% cobalt (Co) as the binder . Other composites used included 0.5 wt% tantalum carbide (TaC), 14 wt% - 17 wt% titanium carbide (TiC), and 0.5 wt% - 1 wt% niobium carbide (NbC). The workpieces were then formed and sintered at 1,450 °C. After the forming and sintering processes were completed, the workpieces with different composites were obtained. The results showed that there were the differences in green density and hardness between recycled tungsten carbide powder and commercial tungsten carbide powder workpieces. Different particle characteristics and chemical components of tungsten carbide powder resulted in poor flow between the particles, affecting density and hardness. Besides, the compression of the metal powder before sintering could reduce the porosity because low porosity led to less shrinkage during sintering as shrinkage during sintering varies with the workpiece density after forming.

Keywords: Binder, Compound element, Tungsten carbide, Cobalt, Sintering

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน ที่ได้ให้คำแนะนำ และ ข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มีนคร ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

หาญณรงค์ สมานพงษ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญภาพ	(ฉ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	9
1.6 นิยามศัพท์	10
1.7 คำสำคัญ	10
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและการทบทวนวรรณกรรม	11
2.1 การศึกษาอุตสาหกรรม	11
2.2 การทบทวนวรรณกรรม	34
บทที่ 3 การกำหนดอัตราส่วนผสมทางเคมีของเม็ดมีด(Insert tools)	40
3.1 ศึกษาผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์	41
3.2 ศึกษาการผลิตชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์	45
3.3 ศึกษาคุณสมบัติชิ้นงานหล่อ	46
3.4 ศึกษาการทดสอบการใช้งาน	47
3.5 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล	48
3.6 ออกแบบการทดลองและทำการทดลอง	49
บทที่ 4 การทดลอง	51
4.1 การดำเนินการทดลอง	51
4.2 การอบแห้งผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล	57
4.3 วิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลหลังบดก่อนการผสม	58
4.4 ขั้นตอนการผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์และโลหะผสม	59
4.5 การนำผงมาอัดขึ้นรูป (Pressing)	67
4.6 การอบผนึก (Sintering)	70
4.7 การตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล	73
4.8 การกลึงทดสอบเม็ดมีด	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการวิจัย	78
5.1 บทนำ	78
5.2 วิเคราะห์ผังทั้งสแตนด์บายไบนารีไซเคิลก่อนการบิด	78
5.3 วิเคราะห์ผังทั้งสแตนด์บายไบนารีไซเคิลหลังบิดก่อนการผสม	79
5.4 การนำผงมาอัดขึ้นรูป (Pressing)	95
5.5 การตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล	97
5.6 การกลึงทดสอบเม็ดเม็ด	99
บทที่ 6 อภิปรายผลการวิจัย	100
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย	102
7.1 บทนำ	102
7.2 สรุปผล	103
7.3 ข้อชี้แนะ	104
บทที่ 8 แผนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	105
8.1 รูปแบบดำเนินการทางธุรกิจ (Business Model)	105
8.2 แผนผังกระบวนการ (Process flow chart)	105
8.3 แผนงานทางธุรกิจ	106
8.4 สรุปผลการดำเนินงานอย่างยั่งยืน	110
เอกสารอ้างอิง	111
ภาคผนวก เอกสารตีพิมพ์ทางวิชาการ	115
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	135

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ปริมาณการนำเข้าผงโลหะทังสเตน (Tungsten powder)	2
1.2 สูตรการผสมผงโลหะ	5
3.1 ข้อมูลการจำหน่ายเม็ดมีดของบริษัทผู้จำหน่ายแห่งหนึ่ง	42
3.2 คุณสมบัติส่วนผสมชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์ของเม็ดมีดกลึงของบริษัทตัวอย่าง	42
3.3 อัตราส่วนผสมทางเคมีของเม็ดมีด (Insert tools ในงานวิจัย	43
3.4 คุณสมบัติของผงดิบทังสเตนคาร์ไบด์และโลหะประสานในงานวิจัย	44
3.5 เวลาการผสมผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์และโลหะประสานจากงานวิจัย	44
3.6 ข้อมูลในการอัดขึ้นรูปจากงานวิจัย	45
3.7 ข้อมูลในการอบผนึกจากงานวิจัย	45
3.8 แสดงปัจจัยเกี่ยวกับงานกลึงจากงานวิจัย	47
3.9 สรุปสูตรที่มีประสิทธิภาพจากการทดลองของงานวิจัย	48
3.10 กำหนดอัตราส่วนผสมทางเคมีเพื่อการผลิตเม็ดมีด (Insert tools)	49
3.11 แสดงคุณสมบัติทางกลของธาตุ	49
5.1 ส่วนประกอบผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลก่อนการผสมด้วยเทคนิค (XRF)	82
5.2 ส่วนประกอบผงทังสเตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ก่อนการผสมด้วยเทคนิค (XRF)	82
5.3 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 1 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)	84
5.4 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 2 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)	85
5.5 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 3 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)	85
5.6 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 4 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)	86
5.7 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 5 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)	86
5.8 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 6 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)	87
5.9 ความหนาแน่นชิ้นงาน green compact	95
5.10 น้ำหนักชิ้นงาน green compact	95
5.11 ความหนาแน่นชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก	95
5.12 ผลการวัดขนาดของชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก	96
5.13 น้ำหนักชิ้นงานหลังการอบผนึก (Sintering)	96
5.14 ค่าความแข็งเม็ดมีดจากการวัด	98
5.15 ผลการทดสอบความเรียบผิวของชิ้นงานผ่านการกลึง	99
8.1 รายละเอียดเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการขบวนการผลิต	107
8.2 รายละเอียดวัตถุดิบในการผลิตเม็ดมีด	108
8.3 รายละเอียดสินทรัพย์ที่ใช้ในการผลิต เม็ดมีด	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
8.4 รายละเอียดกำลังในการผลิต เม็ดเม็ด	108
8.5 ปริมาณการใช้วัตถุดิบจากกำลังการผลิต 1 ปี ใช้ในการผลิต เม็ดเม็ด	109
8.6 แรงงานที่ใช้ในการผลิต	109
8.7 ตารางรายละเอียดต้นทุนในการผลิต	109



สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1	1
1.2	3
1.3	5
1.4	6
1.5	7
1.6	7
2.1	12
2.2	13
2.3	15
2.4	15
2.5	16
2.6	16
2.7	19
2.8	20
2.9	22
2.10	24
2.11	26
2.12	28
2.13	30
2.14	31
2.15	31
2.16	32
2.17	32
2.18	33
2.19	34
2.20	37
3.1	40
4.1	51
4.2	52
4.3	52
4.4	53
4.5	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.6 การใส่ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและลูกบดลงในหม้อบด	54
4.7 การใส่หม้อบดเข้าเครื่องเตรียมการบด	54
4.8 การเตรียมการคัดแยกผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ออกจากลูกบด	55
4.9 การรอให้ทั้งสแตนคาร์ไบด์ตกตะกอน	55
4.10 การตกตะกอนของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์	56
4.11 แยกผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลออกจากเอทานอล (Ethanol)	56
4.12 การเตรียมการอบแห้งผงทั้งสแตนคาร์ไบด์	57
4.13 หลังการอบแห้งผงทั้งสแตนคาร์ไบด์	57
4.14 วัดขนาดและการกระจายอนุภาคด้วยเทคนิค Particle Size Analyzer	58
4.15 เครื่องวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (SEM)	58
4.16 เตรียมวัตถุบดในการผสมตาม Sample ที่ 1 และ 2 ปริมาณที่กำหนด	60
4.17 ผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์	60
4.18 ผสมพาราฟินแวกซ์กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์	61
4.19 ใส่ผงไททาเนียมคาร์ไบด์	61
4.20 เตรียมวัตถุบดในการผสมตาม Sample ที่ 3, 4 ปริมาณที่กำหนด	62
4.21 ผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์	62
4.22 ผสมพาราฟินแวกซ์กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์	63
4.23 ใส่ผงไททาเนียมคาร์ไบด์และไนโอเบียมคาร์ไบด์	63
4.24 เตรียมวัตถุบดในการผสมตาม Sample ที่ 5 และ 6 ปริมาณที่กำหนด	64
4.25 ผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์	64
4.26 ผสมพาราฟินแวกซ์กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์	65
4.27 ใส่ผงไททาเนียมคาร์ไบด์กับไนโอเบียมคาร์ไบด์และแทนทาลัมคาร์ไบด์	65
4.28 การแยกผงออกจากลูกบด	66
4.29 การบรรจุผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์	66
4.30 เครื่องวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM)	67
4.31 เครื่องอัดขึ้นรูปผงโลหะและแบบแม่พิมพ์	67
4.32 การชั่งตวงวัตถุดิบผง	68
4.33 การใส่ผงเข้าในพิมพ์เมตมิตเตรียมอัดขึ้นรูป	68
4.34 ผงที่ผ่านการอัดขึ้นรูป	69
4.35 การวัดความหนาแน่น green compact หลังจากการอัดขึ้นรูป	69
4.36 การวัดชิ้นงาน green compact หลังการอัดขึ้นรูป	70
4.37 เตาอบสุญญากาศใช้ในการอบพูน	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.38 นำชิ้นงาน green compact เข้าเตาอบสุญญากาศ	71
4.39 อุณหภูมิและเวลาเตาอบสุญญากาศ	71
4.40 รูปชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก	72
4.41 การวัดชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก	72
4.42 เครื่องทดสอบความแข็งเม็ดมีด	73
4.43 เครื่องขัดสำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งเม็ดมีด	73
4.44 ชิ้นเตรียมในการทดสอบความแข็ง	74
4.45 รูปกล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค	74
4.46 เครื่องกลึงในการทดสอบ	75
4.47 การกลึงทดสอบ	75
4.48 ชิ้นงานและเม็ดมีดหลังการทดสอบ	76
4.49 ลักษณะการแตกหักหลังทดสอบ	76
4.50 การทดสอบความเรียบผิว	77
5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล (XRD)	78
5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)	79
5.3 ผลการวัดขนาดและการกระจายอนุภาคผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลก่อนการผสม	80
5.4 ผลการวัดขนาดและการกระจายอนุภาคผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาดก่อนการผสม	80
5.5 ภาพการตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และจากผู้จำหน่ายตามห้องตลาด ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 20,000 เท่า	81
5.6 ภาพการตรวจวิเคราะห์ผงโลหะประสาน จากผู้จำหน่ายด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า	83
5.7 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาด ผ่านการผสมโลหะประสานด้วยเทคนิค (SEM) ที่กำลังขยาย (BSE) 1,000 เท่า	88
5.8 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาด ผ่านการผสมโลหะประสาน ด้วยเทคนิค (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า	89
5.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ผ่านการผสมทั้ง 6 สูตร ด้วยเทคนิค การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)	90
5.10 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาด ที่ผ่านการผสม ด้วยเทคนิค (TEM) ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า	94
5.11 การตรวจวิเคราะห์แผ่นมีดหลังการอบผนึก Scanning Electron Microscope (SEM) แบบ Back Scattered Electrons (BSE) ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า	97
5.12 รูปโครงสร้างจุลภาคเม็ดมีดหลังการอบผนึก กำลังขยาย 100 เท่า	98

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
8.1	แผนผังกระบวนการผลิตเม็ดมீด (Insert)	106
8.2	แผนผังการผลิตเม็ดมீด (Insert)	107

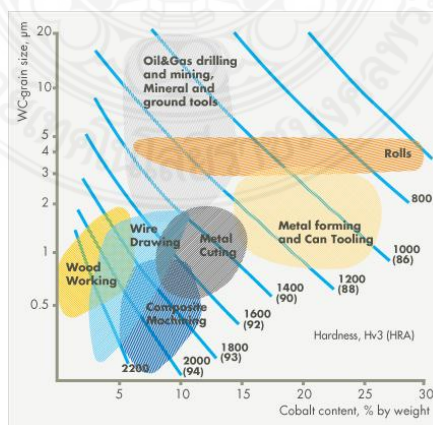


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ทังสเทน หรือวูลฟราม (W) เป็นธาตุโลหะทรานซิชันสีเทาเข้มและหนัก จัดเป็นโลหะบริสุทธิ์ที่หายาก เป็นธาตุที่มีความแข็งแรง มีความทนทานสูง มีความหนาแน่นสูง (High density) 19.25 g/cm^3 และมีจุดหลอมเหลวสูง (3422°C) (วิกิพีเดีย, 2560) การนำไปใช้ในโรงงานของโลหะทังสเทนใช้ทำเกี่ยวกับงานไฟฟ้าโดยเฉพาะไส้หลอดไฟฟ้า และ การผลิตโลหะผสมให้มีความแข็งแรง เพื่อนำมาใช้ในการผลิตเครื่องมือและผลิตภัณฑ์โลหะที่ต้องการความคงทนสูง เช่น ชิ้นส่วนทนการสึกหรอ เครื่องมือตัดที่ใช้ในงานกลึง งานกัดและงานเจาะ เป็นต้น (ตรีทิพย์, 2555) โดยการผลิตโลหะผสมที่มีความแข็งสูงนั้น ผงทังสเทนที่นำมาใช้งานอุตสาหกรรมการผลิต ต้องมีส่วนผสมของคาร์บอน (C) เมื่อรวมตัวกันทำให้มีองค์ประกอบของธาตุกลายเป็นโลหะทังสเทนคาร์ไบด์ (WC) และนำมาผสมเข้ากับผงโคบอลต์ด้วยกระบวนการ carburization process จากนั้นจึงนำทังสเทนคาร์ไบด์ผสมกับโลหะอื่นที่ทำหน้าที่ประสาน (binder) เพื่อให้ผงโลหะทังสเทนยึดติดกันแน่น เช่น โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) โครเมียม และโมลิบดีนัม (Mo) คุณสมบัติที่สำคัญของผงโลหะจะมีศักยภาพที่จะแตกต่างกันตามองค์ประกอบ (composite) ของผงโลหะ ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี เช่น มีความต้านทานสูงสุด (resistance to wear) การเปลี่ยนรูป (deformation) การแตกหัก (fracture) การกัดกร่อน (corrosion) และการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) เป็นต้น (สุรศิษฐ์, 2550) และส่งผลสำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานที่ถูกผลิตขึ้น หากชิ้นงานมีความคงทน แข็งแรงมากขึ้นงานนั้นก็จะมีมูลค่าที่สูงขึ้น ขนาดเกรนของ WC และปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ Co ที่ผสมอยู่ในทังสเทนคาร์ไบด์ ก็จะส่งผลให้มีคุณสมบัติในด้านความความแข็ง และความทนทานการสึกหรอ ดังภาพ 1.1



ภาพ 1.1 ประเภทของทังสเทนคาร์ไบด์
ที่มา : Sandvik Hard Materials (2008)

จากการศึกษาข้อมูลด้านการผลิตผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC powder) พบว่า สัดส่วนของทังสเตนคาร์ไบด์ที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 70-97% ของน้ำหนักรวมของสารประกอบและค่าเฉลี่ยของเกรนอยู่ระหว่าง 0.4 - 10 ไมครอน(Sandvik Hard Materials, 2008)

ปัจจุบันมีการนำเข้าผงโลหะทังสเตน (Tungsten powder) และนำเข้าโคบอลต์ (Cobalt powder) เพื่อผลิตชิ้นส่วนและเครื่องมือที่มีความแข็งแรงสูงในประเทศไทยที่มีการผลิตมากขึ้น ใน ปี พ.ศ. 2544 จนถึง ปี พ.ศ. 2560 มีการนำเข้าเพื่อผลิตซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ (Cement tungsten carbide) และการนำเข้าผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ปริมาณการนำเข้าผงโลหะทังสเตน (Tungsten powder)

Month / Year	Tungsten Powders (KGM)		Unwrought cobalt (KGM)	
	Quantity	CIF (Baht)	Quantity	CIF (Baht)
Jan - Dec 2001	32,817	40,097,866	-	-
Jan - Dec 2002	40,511	44,943,038	77,186	57,839,035
Jan - Dec 2003	50,236	63,508,973	111,925	99,476,352.00
Jan - Dec 2004	62,817	73,543,761	118,213	222,244,434
Jan - Dec 2005	92,755	126,542,627	171,438	277,004,191
Jan - Dec 2006	95,912	147,539,932	239,956	345,310,334
Jan - Dec 2007	84,941	116,007,272	65,374	111,553,218
Jan - Dec 2008	89,265	124,742,414	37,510	94,679,297
Jan - Dec 2009	39,615	47,417,471	167,871	107,799,919
Jan - Dec 2010	84,157	84,648,688	574,198	351,006,563
Jan - Dec 2011	48,368	71,337,593	1,313,898	1,709,743,543
Jan - Dec 2012	28,034	34,748,781	72,261	58,410,840
Jan - Dec 2013	23,642	41,561,299	72,828	69,789,544
Jan - Dec 2014	50,853	55,679,599	77,696	83,245,275
Jan - Dec 2015	62,951	49,880,780	56,720	58,425,327
Jan - Dec 2016	1,282,793	78,714,251	43,735	40,742,419
Jan - Apr 2017	359,606	54,447,157	12,320	13,845,406
รวม	2,529,273	1,255,361,502	3,213,129	3,701,115,697

ที่มา : กรมศุลกากร (2560)

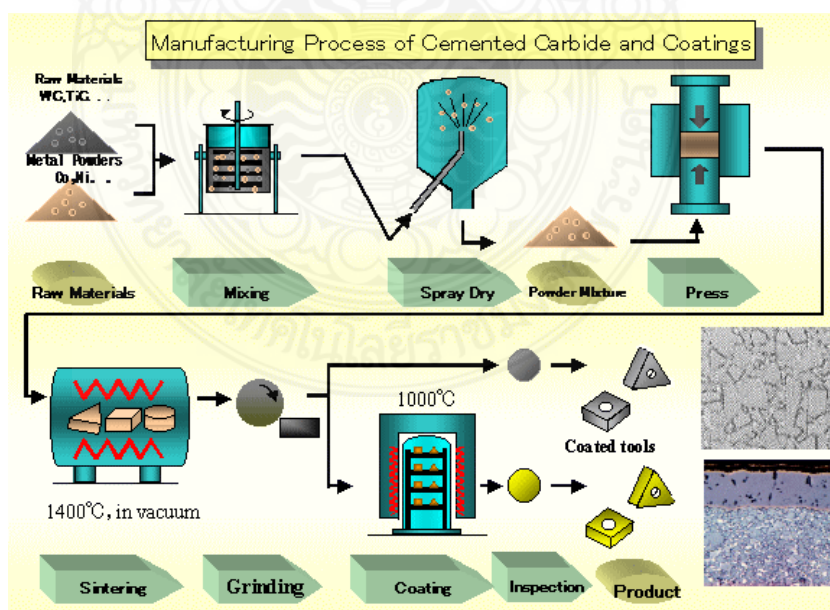
จึงได้มีการพัฒนาสูตรโลหะผสมที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากโคบอลต์ซึ่งช่วยให้พันธะหรือโครงสร้างของชิ้นงานมีความแข็งแรงพิเศษสูงขึ้นหลังจากการอัดขึ้นรูปและอบผนึก โดยการเติมโลหะประสานชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) เป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้คาร์ไบด์ที่สามารถละลายรวมกันและสัดส่วนของทังสเตนที่สามารถละลายได้มีสูงขึ้น ทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผลิตขึ้นสามารถมีพันธะร่วมกับโคบอลต์ยัง

สามารถมีพันธะร่วมหรือถูกแทนที่กับโลหะอื่นๆ ได้ (Chinatungsten Online (Xiamen) Manu. & Sales Corp, n.d.) นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญต่อการควบคุมการเกิดเกรนระหว่างกระบวนการอบ ผนึ่ง ทำให้ขนาดเฉลี่ยของเกรน และการกระจายตัวของเกรนมีนัยสำคัญที่จะส่งผลต่อความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกหรอและอื่นๆ(Wei Su et al., 2015) การเลือกใช้ตัวช่วยยั้งจะขึ้นอยู่กับ ประสิทธิภาพของ NbC>TaC>TiC(S.G. Huang et al., 2015)

USGS Science for a changing world Report ได้รายงานเกี่ยวกับการนำชิ้นงานซีเมนต์ ทั้งสแตนคาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่ พบว่า ประเทศอเมริกามีแนวโน้มการใช้ทั้งสแตนมากขึ้นและสัดส่วน การใช้งานสูงกว่าวัสดุอื่นในกลุ่มวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีสัดส่วนการใช้วัสดุทั้งสแตนที่เรียกว่า New scrap ต่อ Old scrap ในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 เมื่อพิจารณาสัดส่วนการนำวัสดุเก่าใช้งานแล้ว กลับมาใช้ใหม่ปรากฏว่าเป็นวัสดุประเภททั้งสแตน ร้อยละ 66 ของวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด ซึ่งใน อนาคตสัดส่วนการรีไซเคิลวัสดุเพื่อนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น(Kim B. Shedd, 2011)

ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นวัสดุต้นน้ำของการผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ จำนวนมาก จัดเป็นวัสดุหายาก และประเทศไทยต้องนำเข้าวัสดุชนิดนี้จากต่างประเทศ จึงต้องพัฒนาเทคโนโลยี ใหม่ในการผลิตโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) การพัฒนาวัสดุแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นการ พัฒนาวัสดุความยั่งยืน สอดคล้องกับการพัฒนาตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในรูปแบบการพึ่งตนเอง ทำให้ไม่ต้องนำเข้าวัสดุดังกล่าวทั้ง 100%

งานวิจัยจึงมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ขนาดไม่เกิน 1,000 nm. ผสม TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อพัฒนาผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลให้สามารถนำไปผลิต ชิ้นงานต้นแบบที่มีความแข็งแรงพิเศษ โดยมีขั้นตอนการผลิต ดังภาพ 1.2



ภาพ 1.2 กระบวนการผลิตชิ้นงานคาร์ไบด์หรือผลิตภัณฑ์เครื่องมือตัดทั้งสแตนคาร์ไบด์
ที่มา: สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ และคณะ (2552)

งานวิจัยนี้ จึงเป็นการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อต่อยอดการพัฒนาวัสดุโลหะผงทั้งสแตนให้เป็นชิ้นงานโลหะความแข็งสูง (High hardness) ภายใต้อิทธิพลของตัวแปร คือ ปริมาณวัสดุประสาน และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบ ผึ่ง โดยนำชิ้นงานที่ผลิตจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกล โครงสร้างทางจุลภาค และคุณภาพชิ้นงาน กับชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผลิตในท้องตลาด เพื่อกำหนดมาตรฐาน ชิ้นงานต้นแบบที่มีความแข็งพิเศษของทั้งสแตนรีไซเคิล ถือเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญในการพัฒนาวัสดุ อย่างยั่งยืน เพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้านการแข่งขันด้านเศรษฐกิจของประเทศ สามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุในเชิงพาณิชย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 พัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม TaC, TiC, NbC และ Co
- 1.2.1 ศึกษาสมบัติทางกล และทดสอบประสิทธิภาพชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่พัฒนาขึ้น เพื่อกำหนดมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ผลิตโลหะผงมาตรฐานทั้งสแตน จากวัตถุดิบทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ผลิตในประเทศ โดยการวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคโนโลยี SEM, XRD

1.3.2 เตรียมผงโลหะด้วยวิธีการบด **Pulverized** โดยใช้ Tungsten carbide Ball mills กับ เครื่องบดโลหะผง (Mechanical alloying)

1.3.2.1 กำหนดการกระจายของขนาดผงโลหะนาโน (Particle sized Distribution) อยู่ในช่วงไม่เกิน 1,000 nm.

1.3.2.2 บดผงโลหะที่ความเร็วรอบ ระหว่าง 300rpm ขนาดลูกบด ระหว่าง 5-10 mm เวลาในการบด 150 ชั่วโมง ทำให้ได้ผงโลหะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.19 μm

1.3.2.3 วัสดุเป็นโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99%

1.3.2.4 ขนาดและการกระจายของผงโลหะ ให้การกระจายโลหะผงเข้าใกล้โค้งปรกติ

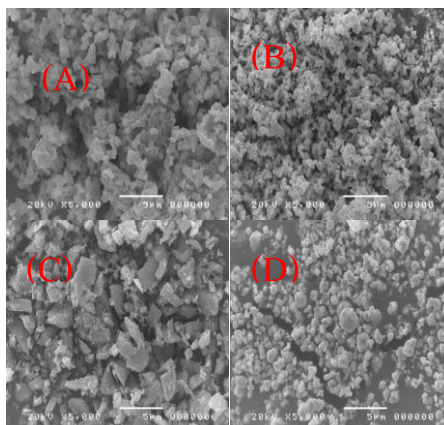
1.3.3 ศึกษาวัสดุประสานที่มีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรง และมีคุณสมบัติในการเกิด 4metallic bond ที่ดีในทั้งสแตนคาร์ไบด์ ศึกษาปัจจัยสำคัญ และตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของผงโลหะ

1.3.3.1 วัสดุประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) และโคบอลต์ (Co)

1.3.3.2 วัสดุโลหะประสานที่ใช้มีขนาด ไม่เกิน 1,000 nm

1.3.3.3 วัสดุโลหะประสานที่ใช้ความบริสุทธิ์ 99.99%

1.3.3.4 ใช้ Paraffin Wax ในอัตราส่วนไม่เกิน 2% ของน้ำหนักผงโลหะมาตรฐานที่จะผลิตขึ้น



ภาพ 1.3 SEM ของวัสดุ (A) NbC, (B) TaC, (C) TiC, และ (D) WC

จากภาพ 1.3 การตรวจวิเคราะห์ภาพ (A) ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์(NbC) ภาพ (B) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ภาพ (C) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) จากผู้จำหน่ายChangsha Langfeng Metallic Material Co., Ltd. ประเทศจีน ภาพ (D) ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ลักษณะรูปร่างของผงโลหะ

1.3.4 การผสมวัสดุประสาน ดังตาราง 1.2

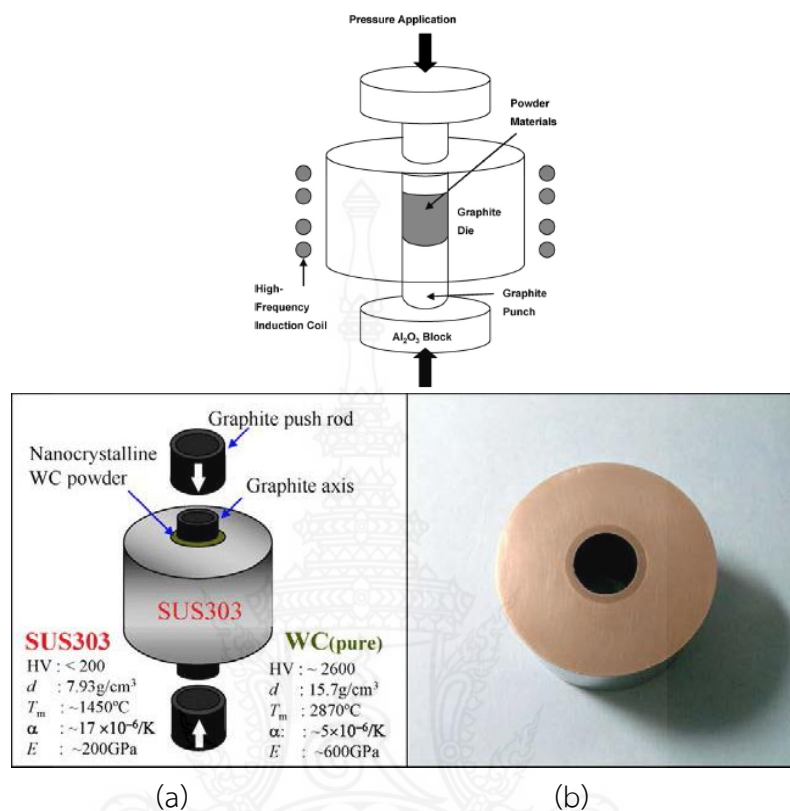
1.3.4.1 กำหนดสูตรการผสมผงโลหะ WC กับ NbC, TaC, TiC, Co ดังตาราง 1.1 โดยควบคุมปริมาณผง WC recycle, Paraffin wax และ Co ให้มีค่าเท่ากัน

ตาราง 1.2 สูตรการผสมผงโลหะ

สูตรที่	ปริมาณ WC (wt%)	ปริมาณ Paraffin wax (wt%)	ปริมาณวัสดุประสาน			
			Co (wt%)	TiC (wt%)	NbC (wt%)	TaC (wt%)
1	75	2	10	15	0	0
2	75	2	8	17	0	0
3	75	2	8	16	1	0
4	75	2	9	15	1	0
5	75	2	9	15	0.5	0.5
6	75	2	9	15	0.5	0.5

หมายเหตุ : สูตรที่ 1-5 ใช้ผง WC recycle ในการผสม และ สูตรที่ 6 เป็นผง WC ที่ซื้อจากผู้จำหน่ายตามท้องตลาดในการผสม

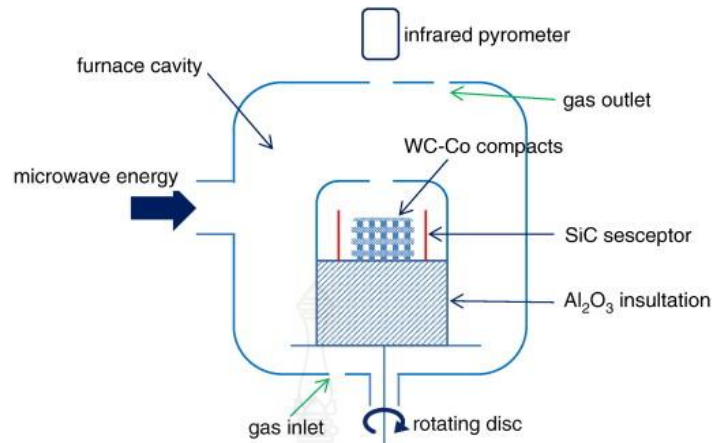
1.3.5 การอัดขึ้นรูป (Press) ดังภาพ 1.4



ภาพ 1.4 การอัดขึ้นรูปชิ้นงานจากโลหะผง WC-Co (a) แบบจำลองการอัดขึ้นรูป, (b) การอัดขึ้นรูปโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) และ SUS303

ที่มา: Hwan-Cheol Kim. et al. (2008), Yutaka, Takashi and Fumihiko (2007)

1.3.6 การอบพูน (Sintering) การกำหนดค่าความหนาแน่นก่อนอบ (Green density) และตรวจสอบความหนาแน่นหลังการอบพูน (Sintering process) โดยเตาอบพูนที่ใช้มีลักษณะ ดังภาพ 1.5

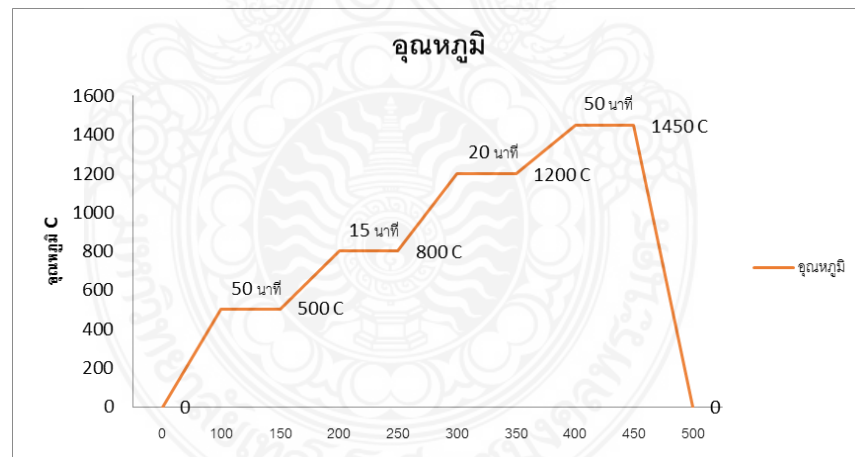


ภาพ 1.5 ลักษณะของเตาอบพ่นิก Sintering
ที่มา: Rui Bao and Jian Hong Yi (2013)

1.3.6.1 กำหนดอุณหภูมิในการอบพ่นิกที่อุณหภูมิสูงสุดในช่วง 1,300 - 1,450 °C ดัง

ภาพ 1.6

1.3.6.2 ควบคุมกระบวนการเพิ่มความร้อนจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิอบพ่นิก
ตัวอย่างผงโลหะ



ภาพ 1.6 ขั้นตอนการอบพ่นิก (Sintering) ที่อุณหภูมิที่กำหนด

1.3.7 ศึกษาความหนาแน่นของชิ้นงานเทียบมาตรฐาน (14.00 g/cm²)

1.3.8 เปรียบเทียบคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตจากผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลเปรียบเทียบกับชิ้นงานของบริษัท Sandvik (Cutting tool P20) ที่ผลิตโดยการทดสอบลักษณะคุณสมบัติของชิ้นงานอบพ่นิก และคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน

1.3.8 วิเคราะห์ สรุปผลการทดลองและกำหนดมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลความแข็งพิเศษที่พัฒนาขึ้น

1.3.9 การดำเนินการทดลอง ตรวจสอบ และการวัดผล การศึกษาคุณภาพชิ้นงานเทียบกับมาตรฐานและสินค้าที่นำเข้ามาในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย

1.3.9.1 ตรวจสอบขนาดของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ วัสดุโลหะประสาน และวัสดุคอมโพสิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมวัสดุประสาน ด้วยวิธี Particle size Analysis

1.3.9.2 วิเคราะห์ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่รีไซเคิล วัสดุโลหะประสาน และวัสดุคอมโพสิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมวัสดุประสาน เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง ความบริสุทธิ์ และเกรน ของผงโลหะด้วย วิธี XRF, XRD, SEM และ TEM

1.3.9.3 วิเคราะห์ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาควัสดุคอมโพสิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมวัสดุประสานก่อนอบผนึก และหลังอบผนึกด้วย วิธี SEM, EDS และ TEM โดยเปรียบเทียบขนาดลักษณะเกรน การแตกหัก อนุภาคขนาดเล็กที่พบ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผงคอมโพสิต และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงพิเศษของชิ้นงาน

1.3.9.4 การอัดขึ้นรูปแบบ CIP (Cold isostatic press) ศึกษาความหนาแน่น (Green density) ขนาดและรูปทรงเรขาคณิต (Dimension and Geometry)

1.3.9.5 ศึกษาสมบัติทางกล ได้แก่ ความแข็ง (Hardness)

1.3.9.6 ศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างเกรนของโลหะกับชิ้นงานมาตรฐานและจากผลงานวิจัยที่เป็นมาตรฐานสากล ไม่น้อยกว่า 5 ผลงานวิจัย

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ผลิตโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นวัตถุดิบในการวิจัย โดยห้องปฏิบัติการและวิจัยโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4.2 กำหนดขนาดโลหะผงไม่เกิน 1,000 nm และลดขนาดของ WC particle ด้วยการบด (Ball mill) เป็นเวลา 150 ชั่วโมง

1.4.3 คัดกรองและแยกขนาดโลหะผง

1.4.4 คัดเลือกผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีขนาดและคุณลักษณะที่เหมาะสมเพื่อนำไป ผลิตเป็นชิ้นส่วนความแข็งแรงสูงพิเศษ (Hard metals)

1.4.5 คัดเลือกแทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) และโคบอลต์ (Co) ที่มีความบริสุทธิ์ 99.99% ขนาดอนุภาคไม่เกิน 1,000 nm มาใช้เป็นโลหะประสาน

1.4.6 ตรวจสอบขนาดของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ วัสดุโลหะประสาน และวัสดุคอมโพสิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมวัสดุประสาน ด้วยวิธี Particle size Analysis

1.4.7 วิเคราะห์ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่รีไซเคิล วัสดุโลหะประสาน และวัสดุคอมโพสิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผสมวัสดุประสาน เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง ความบริสุทธิ์ และเกรน ของผงโลหะด้วย วิธี XRF, XRD, SEM, และ TEM

1.4.8 ผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ วัสดุยึดติด Paraffin Wax และโลหะประสาน ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ดังตาราง 1.1

1.4.9 ตรวจสอบโครงสร้าง ลักษณะเกรน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยการวิเคราะห์ระดับจุลภาคก่อนอบผนึกด้วยวิธี SEM, EDS และ TEM

1.4.10 ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องมือตัดด้วยการอัดขึ้นรูป

1.4.11 ตรวจสอบขนาด ความหนาแน่น (green density) และการยึดติดของโลหะผง

1.4.12 ทดลองการอบผนึกที่อุณหภูมิอุณหภูมิสูงสุดในช่วง 1300-1500°C

1.4.13 ตรวจสอบโครงสร้าง ลักษณะเกรน ลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยการวิเคราะห์ระดับจุลภาคหลังอบผนึกด้วยวิธี SEM และ EDS

1.4.14 ตรวจสอบขนาด รูปทรงเรขาคณิต ความหนาแน่นของชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษ ซึ่งเป็นกระบวนการกำหนดคุณภาพของชิ้นงานที่พัฒนาขึ้นมา

1.4.15 การเจียรระไนผิวสำเร็จ (Finish to size) และตรวจสอบขั้นตอนสุดท้ายในการผลิต

1.4.16 ทดสอบ เปรียบเทียบ คุณสมบัติทางกลของชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษที่พัฒนาขึ้น กับชิ้นงานของบริษัท Sandvik (Cutting tool P20)

1.4.17 ศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างเกรนของโลหะกับชิ้นงานมาตรฐานและจากผลงานวิจัยที่เป็นมาตรฐานสากล ไม่น้อยกว่า 5 ผลงานวิจัย

1.4.18 กำหนดมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่มีความแข็งสูงพิเศษ

1.4.19 การรายงานผลและเผยแพร่ผลงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ด้านวิชาการ

1.5.1.1 องค์ความรู้ใหม่ในการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม TaC, TiC, NbC และ Co

1.5.1.2 องค์ความรู้เกี่ยวกับการกำหนดมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบและทดสอบประสิทธิภาพชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่พัฒนาขึ้น

1.5.1.3 ความรู้เกี่ยวกับวัสดุโลหะประสาน (binder) ของทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่มีคุณสมบัติในการเกิด metallic bond และการยับยั้งการเกิดเกรนใน WC-Co ระหว่างการอบผนึก

1.5.1.4 องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบผนึกผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ร่วมกับโลหะประสาน TaC, TiC, NbC และ Co ที่ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งพิเศษ

1.5.2 ความสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาล

1.5.2.1 เพิ่มศักยภาพทางเศรษฐกิจของประเทศเพื่อที่จะสร้างพื้นฐานเศรษฐกิจให้สามารถขยายตัวอย่างต่อเนื่อง มั่นคงต่อการบริหารและพัฒนาประเทศ เนื่องจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ เป็นวัสดุเริ่มต้นในการผลิตในภาคอุตสาหกรรมหลายด้าน การพัฒนาผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จนสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งพิเศษเป็นการส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ ผลิตชิ้นส่วนเหล็ก เครื่องมือและอุปกรณ์ ของประเทศตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำจากวัสดุเหลือใช้ในประเทศ จึงช่วยเพิ่มขีดความสามารถของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมของประเทศให้สามารถแข่งขันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2.2 สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศว่าด้วยการเข้าใจ เข้าถึง และพัฒนาตามแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง การพึ่งตนเอง การมีภูมิคุ้มกันในภาคอุตสาหกรรมด้านการบริหารจัดการวัสดุอย่างยั่งยืน

1.5.2.3 การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี โดยการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม TaC, TiC, NbC และ Co จากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลในประเทศ รวมทั้งกำหนดมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบ

1.5.3 ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์ อุตสาหกรรม

สามารถพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม TaC, TiC, NbC และ Co กำหนดมาตรฐานชิ้นงานต้นแบบ เพื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ในภาคอุตสาหกรรม

1.5.4 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.5.4.1 พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องมือตัด และผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตให้เป็นชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ความคงทนมากขึ้น ถือเป็น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์

1.5.4.2 สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร นำองค์ความรู้จากงานวิจัยมาใช้ในการพัฒนาวัสดุเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

1.6 นิยามศัพท์

WC	ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์
Co	ผงโคบอลต์
TaC	ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์
TiC	ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์
NbC	ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์
Binder	โลหะประสาน
Paraffin Wax	วัสดุยึดติด
Sintering	การอบผนึก

1.7 คำสำคัญ

ความหนาแน่นสูง, carburization process, การเปลี่ยนรูป (deformation), การแตกหัก, การกัดกร่อน, ออกซิเดชัน, ทั้งสแตนคาร์ไบด์, ตัวแปร, ทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล

บทที่ 2

การศึกษาอุตสาหกรรม และการทบทวนวรรณกรรม

2.1 การศึกษาอุตสาหกรรม

ในการปรับปรุงพัฒนาคุณสมบัติด้านโครงสร้าง และคุณสมบัติทางกล ของทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) โดยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1.1 วัตถุดิบทั้งสแตนคาร์ไบด์

ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) เรียกว่าซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นวัสดุคอมโพสิตที่ผลิตขึ้นโดยกระบวนการที่เรียกว่า ผงโลหะ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์โดยทั่วไปแล้วสัดส่วนระหว่าง 70% -97% ของน้ำหนักรวม ผสมกับโลหะประสานโดยทั่วไปคือ โคบอลต์ หรือ นิกเกิล อัดแน่นอยู่ในเตาเผาแล้วเผาลงในเตา คำว่า "ซีเมนต์" หมายถึง อนุภาคทั้งสแตนคาร์ไบด์ถูกจับในวัสดุประสานโลหะ และ "ซีเมนต์" ร่วมกันสร้างพันธะโลหะระหว่างอนุภาคทั้งสแตนคาร์ไบด์ และ สารยึดเกาะ (WC - Co) ในกระบวนการเผาผนึก อุตสาหกรรมซีเมนต์คาร์ไบด์มักกล่าวถึงเรื่องนี้ วัสดุเป็นเพียง "คาร์ไบด์" แม้ว่า จะมีคำว่า ทั้งสแตนคาร์ไบด์ และ ซีเมนต์คาร์ไบด์ ใช้สลับกันได้

หากการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุที่ความล้มเหลวค่อนข้างเล็กวัสดุจะมีชื่อว่า เปราะ; ถ้า การเสียรูปพลาสติกมีขนาดใหญ่กว่าวัสดุที่เรียกว่า เหนียว คาร์ไบด์ถูกจัดอยู่ในทางเทคนิคเป็นวัสดุ "เปราะ" เพราะมันแสดงให้เห็นการเสียรูปพลาสติกน้อย หรือไม่มีก่อนที่จะเริ่มต้นของรอยแตก และความล้มเหลวทั้งหมด โดยไม่ต้องมี เฟสเมทัลลีนด์คาร์ไบด์ทั้งสแตน อาจถือได้ว่าเป็นวัสดุเซรามิกมาก เช่นเดียวกับ ซิลิคอนคาร์ไบด์หรือ อลูมิเนียมออกไซด์ ความหมายของวัสดุเซรามิกคือ การรวมของ โลหะ กับ อโลหะ เช่น ซิลิคอน (โลหะ) ,คาร์ไบด์ (คาร์บอน ,อโลหะ) ,อลูมิเนียม (โลหะ), ออกไซด์ (ออกซิเจน,ไม่ใช้โลหะ) หรือ ซิลิคอนไนไตรด์ cermet เป็นวัสดุคอมโพสิตประกอบด้วยวัสดุเซรามิก และ เซรามิก คือการเติมสารยึดเกาะโลหะนั่นคือ โคบอลต์ หรือ นิกเกิลที่ทำด้วยคาร์ไบด์ที่ยึดด้วย ซีเมนต์ (WC-Co) เป็น cermet และแยกแยะได้จากวัสดุเปราะอย่างแท้จริงนั่นคือ ตระกูลเซรามิกของ วัสดุ

ซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องทนต่อการสึกหรอทุกรูปแบบ (รวมถึงการขัดถู การกัดเซาะ การสึกหรอ และ การกัดกร่อนของโลหะ กับ โลหะ) และมีความเหนียวสูง มีความสามารถในการบีบอัดสูงทนต่อการโก่งและคงที่ ค่าความแข็งที่อุณหภูมิสูงคุณสมบัติทางกายภาพที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการตัดโลหะ การใช้งาน มีอายุการใช้งานยาวนานในการใช้งานที่วัสดุอื่น ๆ ไม่สามารถใช้ได้ หรือ มีอายุการใช้งานยาวนานล้มเหลวก่อนเวลาอันควร (General Carbide Corporation, 2015.)



ภาพ 2.1 ผงทังสเตนคาร์ไบด์

คุณสมบัติของเฉพาะเกรดของทังสเตนคาร์ไบด์หรือข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับคาร์ไบด์และวัสดุขีบเครื่องมืออื่น ๆ ไปที่เครื่องมือให้ที่ปัดขันวัสดุ

1. ความแข็งแรง - ทังสเตนคาร์ไบด์มีความแข็งแรงสูงมากสำหรับวัสดุที่แข็งและแข็ง ความแข็งแรงของแรงอัดสูงกว่าแท่งโลหะและโลหะผสมที่หลอมหรือหล่อขึ้นเกือบทั้งหมด
2. ความแข็ง - ชิ้นส่วนคาร์ไบด์ทังสเตนมีตั้งแต่สองถึงสามเท่าแข็งตัวเป็นเหล็กและ 4-6 เท่าแข็งตัวเป็นเหล็กหล่อและทองเหลือง Young's Modulus มีค่าสูงสุด 94,800,000 psi
3. ความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปและการโก่งเป็นสิ่งที่มีความมากในการใช้งานจำนวนมากซึ่งการรวมกันของการโก่งต่ำสุดและความแข็งแรงที่ดีที่สุดเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาก่อน เหล่านี้รวมถึงแกนสำหรับความแม่นยำบดและม้วนแถบหรือแผ่นโลหะ
4. ทนต่อแรงกระแทก - สำหรับวัสดุที่แข็งเช่นนี้มีความแข็งแรงสูงมากทนต่อแรงกระแทกได้สูงอยู่ในช่วงของเหล็กกล้าเครื่องมือแข็งที่มีความแข็งแรงและแรงอัดลดลง
5. ความร้อนและความต้านทานต่อออกซิเดชัน - คาร์ไบด์ทังสเตนคาร์ไบด์สามารถทำงานได้ดีในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูงถึง 1000 องศาฟาเรนไฮต์และในบรรยากาศที่ไม่เกิดการออกซิไดซ์
6. ความต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำ (คุณสมบัติในการให้ความร้อน) - ทังสเตนคาร์ไบด์ยังคงรักษาความเหนียวและทนต่อแรงกระแทกได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่เกิดการแช่แข็ง (-453 ° F).
7. การนำความร้อน - ทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ในช่วงสองเท่าของเหล็กกล้าเครื่องมือและเหล็กกล้าคาร์บอน
8. การนำไฟฟ้า - ทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ในช่วงเดียวกับเหล็กกล้าเครื่องมือและเหล็กกล้าคาร์บอน
9. ความร้อนจำเพาะ - คาร์ไบด์ทังสเตนมีตั้งแต่ 50% ถึง 70% สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน
10. น้ำหนัก - ความถ่วงจำเพาะของทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 1-1 / 2 ถึง 2 เท่าของเหล็กกล้าคาร์บอน
11. ความแข็งด้วยความร้อน - เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 1400 องศาฟาเรนไฮต์ทังสเตนคาร์ไบด์จะรักษาความแข็งของอุณหภูมิไว้ได้ดี ที่อุณหภูมิ 1400 องศาฟาเรนไฮต์เกรดบางอย่างจะเท่ากับ ความแข็งของเหล็กที่อุณหภูมิห้อง

12. ความทนทาน - พื้นผิวที่สมบูรณ์แม้กระทั่งชิ้นส่วนสามารถใช้วิธีที่พวกเขาจากเตาเผา "เผา" เช่นการทำเหมืองแร่หรือการชุบเจาะ compacts ในส่วนที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำของพื้นดินเช่นการประทับตราตายตัวจะมี preforms ที่ทนทานต่อการบดหรือ EDM

13. วิธีการยึด - ทั้งสแตนคาร์ไบด์สามารถยึดกับวัสดุอื่น ๆ ได้ 3 วิธี ประสาน, อีพ็อกซีซีเมนต์ หรือทางกล อัตราการขยายความร้อนต่ำของทั้งสแตนคาร์ไบด์ต้องได้รับการพิจารณาอย่างถี่ถ้วนเมื่อมีการเตรียม preform สำหรับการเจียรหรือ EDM

14. ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน - องค์ประกอบทั้งสแตนคาร์ไบด์มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเมื่อเทียบกับเหล็ก

15 Galling - องค์ประกอบทั้งสแตนคาร์ไบด์มีความต้านทานต่อการขรุขระและการเชื่อมที่ผิว

16. ความต้านทานต่อการกัดกร่อน - การสึกหรอ - เกรดเฉพาะสามารถใช้งานได้กับความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะมีค่า เกรดแบบดั้งเดิมมีความต้านทานต่อสถานะการสึกหรอของการกัดกร่อนได้ดีพอสมควรสำหรับการใช้งานหลายประเภท

17. ความต้านทานต่อการสึกหรอ - ทั้งสแตนคาร์ไบด์ทนต่อสถานะการกัดกร่อนการสึกกร่อน และการกัดกร่อนได้ถึง 100 เท่าของเหล็ก ความต้านทานการสึกหรอของคาร์ไบด์ทั้งสแตนดีกว่าเหล็กกล้าเครื่องมือที่ทนต่อการสึกหรอ

18. พื้นผิวสำเร็จรูป - ส่วนที่เป็นส่วนที่ถูกเผาจะมีขนาดประมาณ 50 ไมโครเมตร พื้นผิวทรงกระบอกหรือการเจียรระโนภายในด้วยล้อเพชรจะทำให้มีขนาด 18 ไมโครเมตรหรือดีกว่าและสามารถผลิตได้ตั้งแต่ 4 ถึง 8 ไมโครเมตร การทับด้วยเพชรและการทำ honing สามารถผลิตไมโครไฟร์ได้ 2 ขนาดและด้วยการขัดสีที่ต่ำถึง 1/2 microinch

19. เสถียรภาพมิติ - คาร์ไบด์ทั้งสแตนไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำความร้อนและการระบายความร้อนและรักษาเสถียรภาพไปเรื่อย ๆ ไม่มีการรักษาความร้อนเป็นสิ่งจำเป็น (Carbide processors Inc., n.d.)

2.1.2 วัสดุโคบอลต์ (Cobalt)

โคบอลต์ (Cobalt) คือ ธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 27 และสัญลักษณ์คือ Co จัดเป็นโลหะทรานซิชัน โคบอลต์ในรูปของผงสามารถติดไฟได้ ระดับความทนไฟของโคบอลต์ในอากาศเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของอากาศ เกลือของโคบอลต์มีความจำเป็นต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ไอโซโทปของโคบอลต์ - 60 ใช้รักษาโรคมะเร็ง(วิกิพีเดีย, 2560)



ภาพ 2.2 ผงโคบอลต์

2.1.2.1 การค้นพบ

การวิเคราะห์รูปปั้นที่ทำด้วยแก้วสีน้ำเงินและเครื่องปั้นดินเผาของสมัยอียิปต์โบราณและบาบิโลน (Babylonia) ก่อนคริสตศักราช 1450 ปี โดยวิธีสเปกโตรสโกปี พบว่าได้มีการใช้สีที่มีสารประกอบของโคบอลต์ เกือบหลายชนิดของโคบอลต์เป็นตัวให้สีน้ำเงินแก่ เซรามิกส์ (ceramics) และเมื่อผสมกับสารประกอบของนิกเกิล โครเมียมหรือแมงกานีสให้สีน้ำเงินและสีเขียว ในปี ค.ศ. 1735 Brandt เป็นคนแรกที่ค้นพบธาตุ Co และในปี ค.ศ. 1742 เขาก็สามารถสกัดธาตุโคบอลต์ในรูปของธาตุอิสระได้ใน ปี ค.ศ. 1750 Bergman ได้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของธาตุที่ค้นพบได้ใหม่นี้ ชื่อของธาตุนี้ตรงกับคำเยอรมัน "Kobalt" ซึ่งมาจากคำกรีก "cobalos" มีความหมายว่า "เหมือง" คำเยอรมัน "Kobalt" หมายถึงปีศาจแห่งเหมืองเป็นชื่อที่ใช้เรียกสินแร่บางชนิด โดยนักขุดเหมืองของเมือง Saxony เพราะสินแร่เหล่านี้ก่ออันตรายต่อมือและเท้าได้ ต่อมาพบว่าสินแร่เหล่านี้มีสารประกอบของโคบอลต์และอาร์เซนิกเป็นองค์ประกอบ

2.1.2.1 การใช้ประโยชน์

1. ประมาณ 80 % ของโคบอลต์ทั้งหมดใช้ในการผลิตโลหะเจือ และที่สำคัญได้แก่การผลิตแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กอ่อน
2. โคบอลต์ที่เหลือใช้ในรูปของสารประกอบ เช่น เป็นตัวช่วยทำให้สีแห้งเร็วขึ้น ใช้เป็นตัวให้สีของสีทาบ้านและเวนิซ
3. เนื่องจากโคบอลต์เป็นธาตุที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย สารประกอบของโคบอลต์จึงใช้ผสมในปุ๋ยเคมี
4. 60 Co ซึ่งเป็นไอโซโตปกัมมันตรังสีสังเคราะห์ใช้รักษามะเร็งและใช้ในงานวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับกัมมันตรังสีสารกัมมันตรังสี (ชัยวัฒน์, ม.ป.ป.)

2.1.3 วัสดุไทเทเนียมคาร์ไบด์

ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์สูตรเคมี TIC น้ำหนักโมเลกุล 59.91 คาร์บอน 20.05% ความหนาแน่น 4.93 g/cm^3 , จุดหลอมเหลว $3,160^\circ\text{C}$, จุดเดือด 4300°C ไทเทเนียมคาร์ไบด์เป็นผงสีขาวที่มีโครงสร้างของระบบไซเดียมคลอไรด์ คาร์ไบด์ส่วนใหญ่จะใช้ในการจัดทำ cermet วัสดุทนความร้อนและซีเมนต์คาร์ไบด์เนื่องจากจุดหลอมเหลวความแข็งและเสถียรภาพทางเคมีสูง ความต้านทานการสึกหรอความต้านทานต่อการกัดกร่อนและความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันของโลหะผสมแข็งสามารถปรับปรุงได้อย่างชัดเจนเมื่อ TIC (6 ~ 30%) ถูกผสมในคาร์ไบด์ที่เคลือบด้วย WC-Co และสร้างสารละลายของแข็ง TiC-WC กับ WC เหมาะสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเหล็ก นอกจากนี้เรายังสามารถผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์โดยไม่ใช้ทั้งสแตนโดยใช้โลหะผสม Ni-Co เพื่อเพิ่มความเร็วในการตัดและความแม่นยำและความเรียบของชิ้นส่วนที่ผ่านการประมวลผล (Changsha Langfeng Metallic Material Co.,Ltd, n.d.)



ภาพ 2.3 ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์

2.1.4 วัตถุดิบไนโอเบียมคาร์ไบด์

ไนโอเบียมคาร์ไบด์, สารเคมีสูตร NbC, น้ำหนักโมเลกุล 104.92, ความหนาแน่น 7.56 g / cm³, จุดหลอมเหลว 3,490 °C, จุดเดือด 4,300°C, ปริมาณคาร์บอน 11.45% ไนโตรเจนคาร์ไบด์ เป็นผงโลหะสีเทาอมเทาและมีสีม่วงเป็นประกาย และวัสดุความแข็งสูงที่มีเสถียรภาพทางเคมีสูงและฟังก์ชันอุณหภูมิสูงมันถูกนำไปใช้วัสดุทนไฟที่อุณหภูมิสูงและสารเติมแต่งในซีเมนต์คาร์ไบด์ (Changsha Langfeng Metallic Material Co., Ltd, n.d.)



ภาพ 2.4 ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์

2.1.5 วัตถุดิบแทนทาลัมคาร์ไบด์

สารประกอบแทนทาลัมคาร์ไบด์สูตรเคมีสูตร TaC น้ำหนักโมเลกุล 192.96 คาร์บอน 6.224% ความหนาแน่น 14.3 g/cm³ จุดหลอมเหลว 3,875 องศาเซลเซียสจุดเดือด 5,500 องศาเซลเซียสคาร์ไบด์คาร์ไบด์เป็นผงสีน้ำตาลที่มีความเสถียรทางเคมีสูงและมีลักษณะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอุณหภูมิสูง ผง TaC เป็นวัสดุที่สำคัญ Cermet เครื่องมือตัดทำจากมันมีความแข็งคล้ายกับเพชรที่สามารถให้ด้านทานอุณหภูมิสูงกว่า 3,800 องศาเซลเซียสเป็นสารเติมแต่งของเมทัลคริสตัลปรับให้เป็นโลหะผสมแข็ง WC สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของโลหะผสม



ภาพ 2.5 ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์

2.1.5.1 การนำไปใช้

ใช้ในผงโลหะ, เครื่องมือตัด, ปรับเซรามิกเคมีผสมเฟสก๊าซ, โลหะ antifriction ประณีตเครื่องมือตัดเครื่องมือ, แม่พิมพ์และวัสดุทนต่อการสึกหรอที่ทนต่อการสึกหรอขององค์ประกอบทางเคมีเพิ่มความเหนียวเหนียว แอนติเจเนคาร์ไบด์ที่แข็งตัวเป็นตัวแสดงสีเหลืองทองอาจทำเป็นเครื่องประดับได้ นอกจากนี้อาจใช้ในภาพยนตร์บาง ๆ ที่หายาก, วัสดุเป้าหมาย, วัสดุเชื่อม, วัสดุเคลือบสเปรย์และอื่น ๆ

เป็นตัวช่วยยั้งการเติบโตของเม็ดผลึกอัลลอยด์และการปรับปรุงโครงสร้างกลุ่ม TaC ซึ่ง NbC, Cr₂C₃, VC เพิ่มขึ้นสำหรับการใช้งานหลักและอื่น ๆ เช่น คาร์ไบด์ โลหะที่หายาก ไม่ว่าจะเป็นผลิต macrograin เช่น เครื่องมือเหมือง หรือ เตื่อย และอื่น(Changsha Langfeng Metallic Material Co.,Ltd, n.d.)

2.1.6 วัสดุขี้พาราฟิน แวกซ์ (Paraffin Wax)

พาราฟิน หรือ เคโรซีน เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งกลั่นแยกออกจากน้ำมันดิบ จุดหลอมเหลวประมาณ 47-64 องศาเซลเซียส จุดเดือดประมาณ 150-275 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำ สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมาย และมีหลายสถานะด้วยกัน

พาราฟิน แวกซ์ (Paraffin wax) คือ เป็นชื่อสามัญของแวกซ์ที่เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคาร์บอน เป็นแวกซ์ที่จัดอยู่ในกลุ่มปิโตรเลียมแวกซ์ (Petroleum wax) โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมี คือ C_nH_{2n+2} จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล 19-36 อะตอม (C₁₉-C₃₆) มีลักษณะเป็นของแข็ง มีสีเหลืองอ่อนถึงขาว มีจุดหลอมเหลว อยู่ที่ระหว่าง 48-68 องศาเซลเซียส



ภาพ 2.6 พาราฟิน แวกซ์

ที่มา : ดีดี สมุนไพรร สปา และเคมีภัณฑ์ (2516)

2.1.6.1 คุณสมบัติทางเคมีของพาราฟิน แวกซ์

- 1) ลักษณะ/รูปร่าง แบบแผ่น/แบบเม็ด
- 2) สี ขาว
- 3) ค่าพีเอช ความเป็นกรด/ด่าง 5.8-6.3
- 4) ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ (%ของน้ำหนักแวกซ์) 0.1%-5%
- 5) กลิ่น เล็กน้อย
- 6) ค่าความถ่วงจำเพาะ (กรัม ต่อลบ.ซม.) 0.82-0.92
- 7) จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส) 48-68
- 8) จุดเริ่มกลับแข็งตัว (วุ้น) (องศาเซลเซียส) 66-69
- 9) จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) 204-271
- 10) จุดเริ่มติดไฟ (องศาเซลเซียส) 238-263
- 11) จุดเดือด (องศาเซลเซียส) 350-430
- 12) ค่าความหนืดที่ 100 องศาเซลเซียส (เซนติสโตก) 3.1-7.1
- 13) จำนวนคาร์บอนในห่วงโซ่โมเลกุล - 9-36
- 14) ค่าความอ่อนแอ้งที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส 20 max / ค่าสูงสุด

2.1.6.2 การจำแนกประเภท

พาราฟิน แวกซ์ แบ่งเกรดโดยการใช้ปริมาณน้ำมันในแวกซ์ (Oil Content) โดยแบ่งออกได้เป็น 3 เกรด ดังนี้

พาราฟิน แวกซ์ ฟูลลี่ รีไฟน์ (Paraffin wax Fully refined) จะมีค่าของปริมาณน้ำมันในแวกซ์ ตั้งแต่ 0.1% - 0.5% ของน้ำหนักพาราฟิน แวกซ์ (%wt)

พาราฟิน แวกซ์ เซมิ รีไฟน์ (Paraffin wax Semi refined) จะมีค่าของปริมาณน้ำมันในแวกซ์ ตั้งแต่ 0.5% -1.5% ของน้ำหนักพาราฟิน แวกซ์ (%wt)

พาราฟิน แวกซ์ เซมิ รีไฟน์ (Paraffin wax Semi refined) หรือ สแลค แวกซ์ (Slack wax) จะมีค่าของปริมาณน้ำมันในแวกซ์ ตั้งแต่ 3 % - 5% ของน้ำหนักพาราฟิน แวกซ์ (%wt)

2.1.6.3 กระบวนการผลิตพาราฟิน แวกซ์

พาราฟิน แวกซ์ เป็นแวกซ์ที่ได้มาจากกากส่วนที่เหลือ ที่ได้จากการบวนการกลั่นน้ำมันดิบ โดยกระบวนการกลั่นน้ำมันแบบหอกกลั่นลำดับส่วน ไชหรือกากแวกซ์ที่ได้จากการบวนการกลั่นนี้ เรียกว่า สแลค แวกซ์ (Slack wax) ซึ่งยังมีปริมาณน้ำมันในแวกซ์สูง นำสแลค แวกซ์ ที่ได้ มาผ่านกระบวนการการสกัดน้ำมันออกจากแวกซ์ เพื่อให้ได้พาราฟิน แวกซ์ ที่มีปริมาณน้ำมันในแวกซ์ตามค่ามาตรฐานของพาราฟิน แวกซ์ที่สามารถนำมาใช้ทำเทียนและใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ (วิกิพีเดีย, 2560)

2.1.7 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S45C

ลักษณะทั่วไปของเหล็ก S45C เป็นกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ทั้งงานโครงสร้าง งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์ รวมทั้งขึ้นชิ้นในเครื่องยนต์จัดเป็น

กลุ่มเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดีในหลายด้าน ทั้งความแข็ง ความเหนียวและยังสามารถอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้อย่างน้อย 55 HRC และยังสามารถชุบอินดักชั่นได้มีความสามารถในการชุบขึ้นรูปได้ดีมาก

2.1.7.1 การใช้งาน

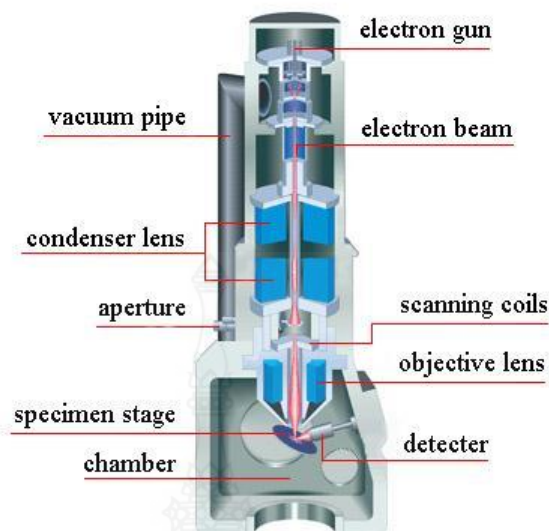
สามารถใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์พลาสติก ชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่นเพลาค้อเหวี่ยง ข้อต่อ ลูกกลิ้ง ลูกกรีด แกนไฮดรอลิก กระบอกไฮดรอลิก ที่ต้องการความประหยัดทางต้นทุนการผลิต

2.1.7.2 การชุบแข็งผิว

สามารถทำได้ทั้งวิธีการชุบแข็งผิวด้วยเปลวไฟ และชุบอินดักชั่น โดยการอาศัยกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดความร้อนที่ผิวจากนั้นจึงทำการชุบแข็งเฉพาะผิว ซึ่งจะช่วยให้ผิวของเหล็กมีความแข็งขึ้น สามารถทนต่อการสึกหรอและการล้าได้ดี(พีแอนด์เอ็ม เทคโนโลยี เซอร์วิส, 2560)

2.1.8 การวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่าลักษณะสัณฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy Dispersive Spectrometry (EDS) และ Wavelength Dispersive Spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



ภาพ 2.7 ลักษณะการทำงานของเครื่อง SEM
ที่มา: หัสวีภา (2012)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดมีต้นกำเนิดเป็นอิเล็กตรอนแทนแสง โดยต้นกำเนิดอิเล็กตรอนถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงแก่ขดลวดทั้งสเตน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากขดลวด จากนั้นอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกควบคุมทิศทางภายใต้สนามแม่เหล็ก ซึ่งอาศัยหลักการการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กหรือที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนต่อชิ้นงานหลายแบบ เนื่องจากลำอิเล็กตรอนที่วิ่งมากระทบชิ้นงานมีพลังงานสูง ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชิ้นงานมีหลายระดับพลังงาน แบ่งได้เป็น

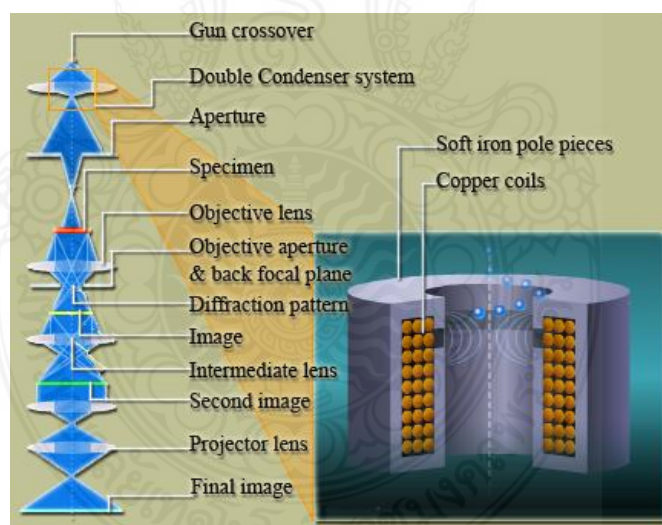
อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย บางครั้งเรียกอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะมีช่วงพลังงาน 10 ถึง 50 อิเล็กตรอนโวลต์ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM)

อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับ (Back scattered electron) เป็นอิเล็กตรอนที่เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้าชนกับชิ้นงาน โดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนแล้วเกิดการกระเจิงกลับออกมาจากชิ้นงาน ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่พลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิไปจนถึงพลังงานอิเล็กตรอนทุติยภูมิ ค่าพลังงานต่างๆที่กระเจิงกลับมานั้นจะขึ้นกับเลขมวลอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน ดังนั้นอิเล็กตรอนชนิดนี้จึงสามารถใช้สร้างภาพที่แสดงความแตกต่างของธาตุได้ โดยแสดงในรูปแบบของความเข้ม และความสว่างของภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละบริเวณ ใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นงาน

รังสีเอกซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น มีความถี่สูง เกิดจากการที่ลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่างๆ (K, L, M, ...) ได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ ทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ซึ่งสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาสามารถนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยค่าพลังงานนี้จะขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุ ซึ่งจะใช้หัววัดรังสีเอกซ์ (EDS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบกับ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)(หัสวิภา, 2012)

2.1.9 การวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM)

Transmission electron microscope (TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)(นิวัฒน์ ภิญโญ และ พินทิพ, ม.ป.ป.)



ภาพ 2.8 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM
ที่มา: นิวัฒน์ ภิญโญ และ พินทิพ (ม.ป.ป.)

2.1.10 การวิเคราะห์องค์ประกอบสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction: XRD)

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ X-ray Diffractometer (XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหาลักษณะของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหา ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง, คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell, ความเครียดของตัวอย่าง, ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบของฟิล์มบาง และคำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มบาง ได้อีกด้วย

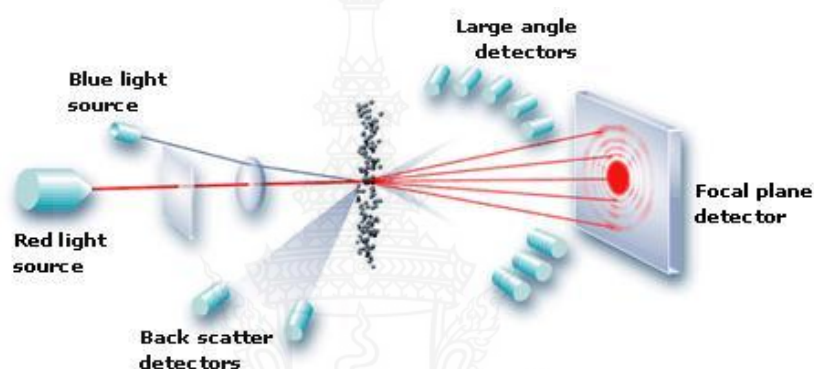
เครื่อง XRD เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในผลึกของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin \Theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่ยิงผ่านชั้นผลึก ที่อยู่ในตัวอย่าง โดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอกซ์ ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆ ของการทดสอบ โดยเครื่อง XRD ของ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง Bragg เป็นเครื่องที่ติดตั้ง Detector ที่สามารถทำการทดสอบตัวอย่างได้รวดเร็ว และให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่สูง (เกียรติพงษ์, 2012)

2.1.11 การวัดวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer: P&D)

เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเลเซอร์ (LASER Diffraction) จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ชนิด แก๊สฮีเลียม-นีออน (He-Ne Laser) ซึ่งเป็นแสงสีแดงมีความยาวคลื่น 632.82 nm ลำแสงจะถูกขยายขนาดโดย Beam expander แล้วส่องผ่านไปยังอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอย (Emulsion) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวที่มีความโปร่งใสและมีค่าดัชนีหักเหแตกต่างจากอนุภาค จนเกิดการกระเจิงของแสงที่บริเวณผิวของอนุภาคได้และไม่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสารที่ต้องการวิเคราะห์ นอกจากนี้ปริมาณความเข้มของอนุภาคจะต้องสูงพอที่จะได้ข้อมูลเชิงสถิติที่ดี (โดยจากเครื่อง Mastersize 2000 กำหนดไว้ที่ความเข้ม 10 – 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบแบบเปียก และความเข้มชั้น 2 – 6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการทดสอบแบบแห้ง) แต่ต้องไม่เข้มข้นเกินไปจนเกิดการกระเจิงซ้ำกันหลายครั้ง (Multiple scattering)

เมื่อแสงเลเซอร์ เดินทางผ่านอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอย จะเกิดปรากฏการณ์กระเจิงของแสง โดยแสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะมีรูปแบบของความเข้มที่มุมต่างกันขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค แต่ละมุมของการกระเจิงจะมีสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค ซึ่งสมบัติการกระเจิงของแสงจากอนุภาคนี้สามารถใช้ในการคำนวณหาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ โดยลำแสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะถูกส่งผ่านไปยังเลนส์รวมแสง (Condenser lens) ทำให้เกิดภาพ

ปรากฏเป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบพาร์ฟิวด์ (Far field diffraction pattern) ที่ Photocell detector ซึ่งวางอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับเส้นทางเดินของแสงเลเซอร์ ที่จุดโฟกัสของการเลี้ยวเบนจะมีลักษณะเป็นวงมืด-สว่างสัมพันธ์กับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เเลนซ์รวมแสงได้ถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่ว่าอนุภาคจะก่อให้เกิดการกระเจิงที่บริเวณใดในลำแสงเลเซอร์ก็ตาม รูปแบบการเลี้ยวเบนจะไม่เคลื่อนไหว และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกนออปติกของเลนซ์เสมอ (Allen, 1997) จากการกระเจิงของแสงที่ได้สามารถคำนวณหาขนาดอนุภาคได้ตามทฤษฎีของมี (Mie theory) โดยใช้ค่าดัชนีหักเห (Refractive index) และค่าการดูดซับแสง (Absorption index) ของอนุภาคและตัวกลางร่วมด้วย



ภาพ 2.9 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค
ที่มา: หัสวีภา (2012)

จากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์สีแดงและสีน้ำเงินเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มตัวอย่าง (แสงสีแดงมีความยาวคลื่น 632.82 นาโนเมตร ใช้วัดอนุภาคขนาดใหญ่ และแสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่น 473.00 นาโนเมตร ใช้วัดอนุภาคขนาดเล็ก) และมีดีเทคเตอร์รับแสงการเลี้ยวเบนของเลเซอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและบันทึกค่าเฉลี่ยการกระจายตัวของขนาดอนุภาคด้วยการประมวลผลของเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผ่านคอมพิวเตอร์(หัสวีภา, 2012)

2.1.12 เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางรังสีเอกซ์ X-ray Fluorescence (XRF)

X-ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยสามารถใช้ได้กับงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เช่น วัสดุศาสตร์, ธรณีวิทยา, สิ่งแวดล้อม, ทางการแพทย์ รวมถึงตัวอย่างจากอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นต้น การวิเคราะห์ของเครื่อง XRF จะอาศัยหลักการเรืองรังสีเอกซ์ ของตัวอย่าง โดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่าง ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ แล้วคายพลังงานออกมา โดยพลังงานที่คาย หรือ Fluorescence ออกมานั้น จะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่าง นั้นๆ ทำให้เราสามารถแยกได้ว่า ในตัวอย่างที่ทดสอบนั้น มีธาตุอะไรอยู่บ้าง โดยใช้ Detector วัดค่าพลังงานที่ออกมาจากตัวอย่าง

เครื่อง XRF โดยทั่วไปจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ Wavelength Dispersive XRF (WDXRF) และ Energy Dispersive XRF (EDXRF) โดยเครื่อง XRF ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ม.แม่ฟ้า

หลวง จะเป็นแบบ EDXRF ซึ่งจะสามารถทำการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง ได้ตั้งแต่ Na - U เรียงตาม Atomic number โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งแบบไม่มี Standard และมี Standard (ต้องเอา Standard มาเอง) สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ในหลายลักษณะ ทั้งของแข็ง, ผง, ตัวอย่างที่ขึ้นรูปแล้ว หรือ ตัวอย่างที่เป็นของเหลว

ข้อดีของเครื่อง XRF เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ก็คือ เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (ยกเว้นกรณีที่ต้องบดตัวอย่างเพื่อขึ้นรูปเป็นเม็ด) และให้ผลการทดสอบที่รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องใช้ Standard ในการทดสอบ

ข้อเสียของ XRF แบบ EDXRF ก็คือความสามารถในการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยๆ จะทำได้ยาก โดยเฉพาะธาตุในกลุ่ม Light Element หากมีปริมาณน้อยๆ ผลที่ได้จะไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้ง หากตัวอย่างนั้น ไม่สามารถขึ้นรูปให้เป็นของแข็ง เพื่อทดสอบในสภาพ Low pressure ก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีของอากาศ ภายในห้องใส่ตัวอย่าง ซึ่งมีผลให้ Intensity ของ X-ray ที่ได้ลดลง(เกียรติพงษ์, 2012)

2.1.13 เครื่องบดผงโลหะ (Ball Milling)

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเซรามิกหรืออุตสาหกรรมอื่นๆ ที่มีความต้องการลดขนาดอนุภาคของวัตถุดิบลงจากวัตถุดิบตั้งต้นขนาด 5 - 250 มิลลิเมตร โดยให้มีขนาดเล็กอยู่ในระดับไมโครเมตร ก็คงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้กระบวนการบดย่อยด้วย “Ball Mill” หรือ โม่บด เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่ประดิษฐ์ขึ้นได้ง่าย มีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน อีกทั้งยังคุ้มค่าแก่การลงทุน โดยทั่วไปโม่บดสามารถบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กได้ในระดับ 10 - 300 ไมครอน

หลักการทั่วไปของการบดย่อยวัตถุดิบด้วยโม่บดคือ การให้วัตถุดิบถ่วงกระแทก (Cataracting/Impact grinding force) และ/หรือขัดสี (Abrasion/Attrition grinding force) ด้วยลูกบดจนเกิดการแตกและสลายตัวเล็กลงจนได้ขนาดตามที่ต้องการ โดยทั่วไปโม่บดสามารถทำการบดได้ใน 2 ลักษณะคือ การบดแบบเปียก (Wet grinding) และการบดแบบแห้ง (Dry grinding)

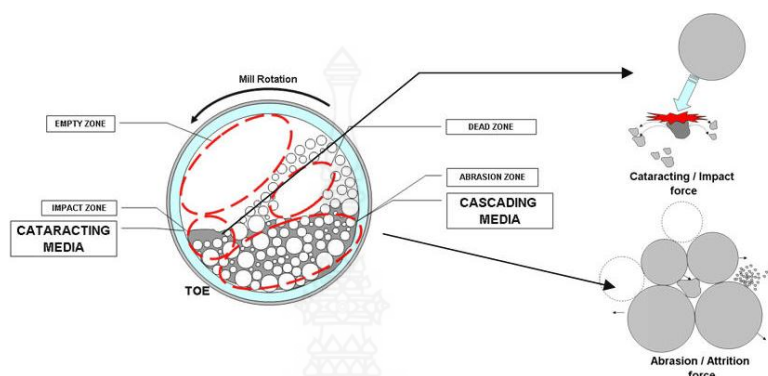
ขั้นแรกของการพิจารณาถึงประสิทธิภาพของโม่บดนั้นต้องทราบว่า ด้วยปริมาตรทั้งหมดของโม่ไม่สามารถใส่ลูกบดได้ประมาณร้อยละ 50 โดยภายในลูกบดนี้จะสูงผลให้เกิดช่องว่างหรือ Void Fraction โดยอัตโนมัติประมาณร้อยละ 40 ดังนั้นก็จะเหลือพื้นที่ในการใส่วัตถุดิบและน้ำอีกประมาณร้อยละ 30

2.1.13.1 ตัวแปรที่นำมาพิจารณา เพื่อให้เกิดการบดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวแปรเหล่านี้ประกอบด้วย

- 1) คุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุดิบ (Raw Materials Characterization) เช่น แหล่งกำเนิดขนาดและความสามารถในการแตกตัว (Source Size and grindability)
- 2) ความเร็วรอบโม่บด (Mill Rotational Speed)
- 3) ปริมาณลูกบดและการกระจายขนาดอนุภาคของลูกบด (Grinding media charging quantity and their size distribution)
- 4) ขนาดของวัตถุดิบต่อลูกบด (Raw Materials Size to grinding media size)

5) ค่าความหนาแน่นและความหนืดของวัตถุดิบที่ใช้ในการบดสำหรับการบดแบบเปียก (Raw materials slurry viscosity and concentration)

6) อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบในโม่บด (Raw materials suspension ratio)
หลักการทำงานของโม่บด เมื่อโม่บดทำงาน จะทำให้เกิดกลไกต่าง ๆ ดังภาพ 2.10



ภาพ 2.10 กลไกการทำงานที่เกิดขึ้นภายในโม่บด
ที่มา: วิรัช (ม.ป.ป.)

เมื่อโม่บดหมุนจนได้รอบตามที่กำหนดไว้ จะสามารถอธิบายกลไกภายในโม่บดได้ดังนี้ กระบวนการบดที่เกิดขึ้นภายในประกอบด้วย 2 แรงกระทำคือ 1) การบดที่เกิดจากการตกกระทบของลูกบด (Catacracting Media) กับวัตถุดิบป้อนบริเวณ Impact Zone 2) การบดที่เกิดจากแรงขัดสีของลูกบด (Cascading Media) กับวัตถุดิบป้อนบริเวณ Abrasion Zone นอกจากนี้หากปราศจากตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความเข้มข้นของ Slurry และแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลูกบดแล้ว ในการบดครั้งหนึ่ง ๆ จะมีส่วนที่เป็นช่องว่างหรือ Dead Zone ซึ่งเป็นจุดที่ไม่เกิดการบดใด ๆ โดยอัตโนมัติ ในส่วนของ Empty Zone จะเกิดขึ้นเอง (เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบ 60-80% ของความเร็ววิกฤติ) จะมีปริมาณมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของโม่บด เช่น หากให้อัตราส่วนความเร็วรอบต่อความเร็ววิกฤติ (NOP/NC) มากขึ้นก็จะทำให้เกิด Empty Zone ได้น้อยลง เนื่องจากลูกบดสามารถวิ่งขึ้นไปได้สูงกว่าเดิม ในขณะที่เดียวกันก็จะสามารถเพิ่ม Impact Zone ได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน(วิรัช, ม.ป.ป.)

2.1.14 การอัดขึ้นรูป (Pressing)

กรรมวิธีโลหะผง (Powder Metallurgy) เป็นการขึ้นรูปโลหะประเภทหนึ่งจากโลหะที่เป็นผงละเอียด (Fine Metal Powder) โดยใส่โลหะผงในแบบที่เตรียมไว้ (Die) แล้วอัดโลหะผงด้วยความดันสูง จนทำให้โลหะผงอัดตัวแน่นกันเป็นรูปร่างตามที่ต้องการ ในขั้นนี้โลหะผงที่เป็นรูปร่างจะยังไม่มี ความแข็งแรงมากนัก จะต้องนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง แต่ต่ำกว่าจุดหลอมตัวของโลหะเล็กน้อย จะทำให้อะตอมของโลหะมีการเคลื่อนไหวเชื่อมโยงกันระหว่างจุดสัมผัสของเม็ดเล็ก ๆ ของโลหะอันเป็นผลมาจากการแพร่ของอะตอมในสภาพของแข็ง (Diffusion in Solid State) ทำให้โลหะเมื่อผ่านการเผา มีความแข็งแรงมากขึ้น และสามารถนำไปใช้งานได้ตามลักษณะของโลหะนั้น ๆ เราอาจจะแยกขั้นตอนการทำงานตามกรรมวิธีโลหะผงออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 1) ชั้นผลิตโลหะผง
- 2) ชั้นผสมผงโลหะให้เข้ากัน
- 3) อัดโลหะผงในแบบตามรูปร่างที่ต้องการ
- 4) เผาโลหะผงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัว (Sintering)

การทำโลหะผงนั้นมีกรรมวิธีที่ใช้หลายประการ วิธีที่ทำกันทั่ว ๆ ไป สำหรับโลหะที่มีความแข็งสูง ใช้การบด (Mill Grinding) เป็นงานที่ต้องใช้เทคนิคสูง เพราะของแข็งจะถูกบดได้ก็ต้องมีของแข็งกว่าเป็นตัวบด ดังนั้นจึงมักใช้ตัวของมันบดกันเองจนละเอียด ถ้าโลหะที่มีเนื้ออ่อนการบดในลักษณะนี้ทำได้ยาก เพราะมันจะไม่แตกออกจากกันได้ง่าย เนื่องจากมีความเหนียว ดังนั้นจึงใช้วิธีหลอมให้ละลายแล้วพ่นเป็นฝอย (Atomizing) อีกวิธีหนึ่งใช้วิธีเผาโลหะจนร้อนกลายเป็นไอ แล้วทำให้กลั่นตัวจากไอมาเป็นโลหะผงทีเดียว แต่เป็นวิธีที่ค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้พลังงานมาก

การผสมโลหะผงให้เข้ากันก่อนที่จะนำไปอัดเป็นรูปร่าง นับว่ามีความสำคัญมาก เพราะโลหะผงส่วนมากมักจะผสมกันหลายชนิด คือมีโลหะหลักและโลหะที่เป็นตัวประสาน (Binder) ดังตัวอย่างเช่น การทำโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์สำหรับทำมีดกลึง จะใช้โลหะโคบอลต์เป็นโลหะประสาน ดังนั้นการผสมจึงต้องกระทำเป็นพิเศษเพื่อให้โลหะและตัวประสานผสมกันอย่างทั่วถึง การผสมกระทำทั้งในสภาพแห้ง (Dry) และสภาพเปียก (Wet)

การอัดโลหะผงลงแบบ Die ชั้นแรกต้องทราบจำนวนของโลหะผงที่จะใช้ให้พอเหมาะ โดยต้องทราบปริมาณของแบบ แล้วจึงเทโลหะผงลงไปในแบบ โดยให้มีปริมาณเกินกว่าปริมาตรที่ต้องใช้จริง ๆ เล็กน้อย การอัดใช้เครื่องไฮดรอลิก มีความดันสำหรับอัดประมาณ 5-50 ตันต่อตารางนิ้ว

การเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมตัวของโลหะ เรียกว่า Sintering และมักจะเรียกโลหะที่ผ่านกรรมวิธีนี้ว่าโลหะซินเตอร์ อุณหภูมิที่ใช้จะสูงราว ๆ 70-80% ของอุณหภูมิหลอมเหลว (คิดหน่วยเคลวิน) ในบางกรณี เช่น พกวัสดุทนความร้อน อาจจะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 90% ของอุณหภูมิหลอมเหลว สำหรับโลหะผสมที่มีโลหะประสานอยู่ด้วยจะต้องทำซินเตอร์ที่อุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลวตัวของโลหะประสาน การทำซินเตอร์จะต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง โดยจะต้องควบคุมบรรยากาศภายในเตาด้วย เพราะในขณะที่เผาออกซิเจนในอากาศอาจจะทำให้โลหะกลายเป็นออกไซด์ได้ง่าย ส่วนใหญ่จึงทำซินเตอร์ภายในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจนหรืออาร์กอน

ข้อดีของขบวนการขึ้นรูปแบบเย็น

- 1) ใช้อุณหภูมิน้อยในการขึ้นรูป (ประมาณ 20 – 25 °C)
- 2) มีความสวดยที่ผิว เรียบ สะอาด และเงางามของชิ้นงาน
- 3) ชิ้นงานที่ได้มีขนาดที่เที่ยงตรง และแน่นอนดีมาก
- 4) ได้ความแข็งแรง และแข็งมากขึ้นกว่าเดิม

ข้อเสียของขบวนการขึ้นรูปแบบเย็น

- 1) เกิดความเค้น (Stress) มาก
- 2) เกิดความเครียด (Strain) มาก
- 3) เกรนของโลหะเกิดการแตกหักได้ง่าย

4) ต้องลงทุนมากในการติดตั้งเครื่องจักรที่มีกำลังมาก ๆ และขนาดใหญ่ ๆ (purinatt, 2008)

2.1.15 การอบผนึก (Sintering)

การอบประสาน เป็นการอบเผา Green Compact ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของผงโลหะ โดยทั่วไปจะต้องมีการควบคุมบรรยากาศภายในเตาเพื่อยับยั้งมิให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ผงโลหะก็จะเชื่อมติดกันที่อุณหภูมินั้นเนื่องมาจากพลังงานที่เกิดขึ้นจากการลดลงของพื้นที่ผิวของผงโลหะ ตามหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็งแรงมากพอที่จะนำไปใช้งานต่อไป

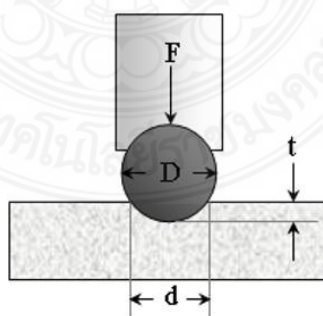
ภายหลังการอบประสาน ชิ้นงานที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้ทันที หรืออาจจะต้องนำไปผ่านกระบวนการทางกล (Machining) อีกเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ด้วยกรรมวิธีทางโลหะผงนี้ สามารถผลิตชิ้นงานขึ้นได้โดยไม่เกิดการสูญเสียเนื้อวัสดุ (Chipless) หรือเกิดการสูญเสียในอัตราที่ต่ำมาก โดยทั่วไปประสิทธิภาพ (Yielding) ของกระบวนการโลหะผงจะมีค่า ประมาณ ร้อยละ 97 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งต่อการอนุรักษ์พลังงานและวัสดุ

ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการโลหะผงจึงมีคุณภาพที่ดีเยี่ยม โดยมีต้นทุนในกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็ชิ้นส่วนขนาดเล็กหรือใหญ่ หรือไม่ว่าจะมีความซับซ้อนเพียงใดก็ตาม โดยที่ภายใต้กรรมวิธีทางโลหะผง สามารถที่จะทำให้อัตราการผลิตสูงถึง เป็น พัน ชิ้น/ชั่วโมง ก็เป็นได้เนื่องจากการที่ชิ้นงานไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการทางกลอีก หรืออาจผ่านอีกเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ได้ขนาดที่เที่ยงตรงหรือเพื่อเพิ่มความหนาแน่น(กรรมวิธีทางโลหะผง, ม.ป.ป.)

2.1.16 การวัดความแข็ง

ค่าความแข็งของวัสดุถือได้ว่าเป็นสมบัติเชิงกลพื้นฐานที่สามารถชี้ให้เห็นคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุนั้นได้ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความเหนียว การทนต่อแรงเสียดสีและการสึกหรอ เป็นต้น ปัจจุบันการวัดค่าความแข็งสามารถกระทำได้ง่าย เนื่องจากอุปกรณ์วัดความแข็งล้วนแต่เป็นระบบอัตโนมัติ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ การเลือกวิธีทดสอบให้เหมาะสมกับงานที่จะทดสอบ เพราะว่ามีวิธีทดสอบความแข็งนั้นมีหลายประเภท สำหรับวิธีการวัดความแข็งที่นิยมใช้ในงานโลหะนั้นมี 3 วิธี คือ

2.1.16.1 การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test)



ภาพ 2.11 ลักษณะปัจจัยการกดวัดความแข็งแบบบริเนลล์
ที่มา: อภิชาติ และ อุษณีย์ (ม.ป.ป.)

หลักการ การทดสอบความแข็งแรงแบบบริเนลล์ อาศัยการกดของหัวกดทรงกลมที่ผลิตจากเหล็กกล้าชุบแข็งหรือทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D ลงบนพื้นผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด F ดังภาพ โดยคงค่าแรงกดเป็นระยะเวลา 10 ถึง 15 วินาทีสำหรับวัสดุประเภทเหล็กหรือเหล็กกล้า และคงค่าแรงเป็นระยะเวลา 30 วินาทีสำหรับโลหะอ่อน เช่น อะลูมิเนียม และทองเหลือง เป็นต้น ทำให้เกิดรอยกดที่มีความลึก t และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดเฉลี่ย d ซึ่งได้จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกดในแนวตั้งฉากกันสองค่าแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยเครื่องมือวัดต้องมีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ค่าความแข็งคำนวณได้จากแรงกดหารด้วยพื้นที่รอยกด

แต่ในทางปฏิบัตินั้นไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็งจากสูตรคำนวณ เพราะสามารถนำความยาวเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด (d) และขนาดแรงกดที่ใช้เทียบกับตารางค่าความแข็งที่ได้คำนวณไว้แล้วได้โดยตรง ดังแสดงในตาราง

โดยทั่วไปลูกบอลที่ใช้เป็นหัวกดมีขนาด 10 มิลลิเมตร และสามารถใช้แรงกดได้ตั้งแต่ 500 กิโลกรัม สูงสุดถึง 3,000 กิโลกรัม หน่วยความแข็งของการทดสอบแบบบริเนลล์คือ BHN หรือ HB

ข้อดี การวัดค่าความแข็งแรงแบบบริเนลล์จะให้รอยกดที่กว้างและลึก เพราะหัวกดมีขนาดใหญ่ ดังนั้นความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานทดสอบและความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างทางจุลภาคจึงมีผลน้อยต่อค่าการทดสอบ หรือกล่าวได้ว่าให้ค่าความแข็งเฉลี่ยของวัสดุที่ทดสอบ

ข้อเสีย ค่าความแข็งได้มาจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด ฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าของผู้ทำการทดสอบได้ นอกจากนี้รอยกดมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถทำการทดสอบกับชิ้นงานขนาดเล็กหรือชิ้นงานที่บางมากๆได้

ข้อเสีย ค่าความแข็งได้มาจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยกด ฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดจากการอ่านค่าของผู้ทำการทดสอบได้ นอกจากนี้รอยกดมีขนาดใหญ่ จึงไม่สามารถทำการทดสอบกับชิ้นงานขนาดเล็กหรือชิ้นงานที่บางมากๆได้

ข้อจำกัด

การทดสอบแบบบริเนลล์ไม่ควรใช้วัดความแข็งเกิน 450 HB เพราะค่าความแข็งที่สูงกว่านี้อาจจะทำให้เกิดการเสียรูปของหัวกด ทำให้รอยกดใหญ่กว่าความเป็นจริงหรือความแข็งที่วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง

ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรอยกดหรือระยะห่างของจุดศูนย์กลางรอยกดจากขอบของชิ้นงานควรมีค่าไม่น้อยกว่าสองเท่าของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรอยกด ($2d$)

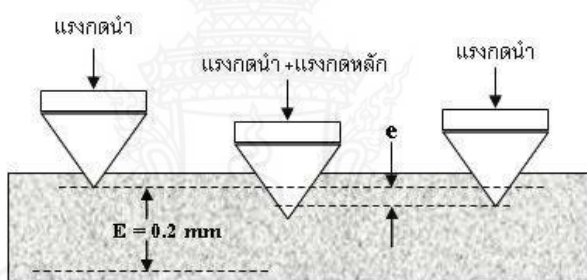
ความหนาของชิ้นงานทดสอบควรมีค่ามากกว่าสิบเท่าของความลึกรอยกด ($10t$) หรืออาจพิจารณาจากแรงกดให้เหมาะสมโดยไม่ทำให้เกิดการเสียรูปทางด้านหลังของชิ้นงาน

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรอยกด (d) ควรมีค่าอยู่ในช่วง $0.2D - 0.7D$ หรือประมาณ 2 – 7 มิลลิเมตรสำหรับลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพราะหากรอยกดเล็กเกินไปจะทำให้ขอบของรอยกดไม่คมชัด ส่งผลให้วัดความยาวได้ยากและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการอ่านค่าความยาวจะมาก ในทางกลับกัน หากรอยกดมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการกดตัวของเนื้อชิ้นงานด้านข้างมาก

2.1.16.2 การทดสอบแบบรอกเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

หลักการ เป็นการวัดค่าความแข็งของวัสดุโดยการวัดความลึกของหัวกดซึ่งทำด้วยเพชรทรงกรวย หรือลูกบอลเหล็กกล้าที่มีขนาด 1.6-12.7 มิลลิเมตร (1/16 – 1/2 นิ้ว) และเลี้ยวอิทธิพลของผิวชิ้นงานทดสอบด้วยการใช้แรงกดนำค่าหนึ่ง (minor load) เพื่อกำหนดจุดอ้างอิงในการวัดความลึก การวัดความแข็งแบบรอกเวลล์สามารถแบ่งออกได้หลายหน่วยการทดสอบจากการใช้แรงกดและหัวกดที่ต่างกัน แต่วิธีการทดสอบที่นิยมใช้ทดสอบกับโลหะมี 3 วิธี คือ รอกเวลล์ซี (Rockwell – C) , รอกเวลล์บี (Rockwell – B) และรอกเวลล์เอ (Rockwell – A)

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซีใช้หัวกดเพชรทรงกรวย มีมุมปลาย 120° ในการทดสอบเริ่มต้นจะให้แรงกดนำ (Minor load) 10 kgf กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ จากนั้นเพิ่มแรงกดหลัก (Major load) อีก 140 kgf ค่าความแข็งจะถูกอ่านเมื่อนำแรงกดหลักออก ซึ่งเนื้อชิ้นงานที่ถูกกดจะคืนตัวกลับในปริมาณหนึ่ง และคงเหลือเพียงแรงกดนำ ซึ่งปลายหัวกดจะอยู่ ณ ตำแหน่งที่เกิดจากการยุบตัวอย่างถาวรของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในภาพ



ภาพ 2.12 ลักษณะปัจจัยการกดวัดความแข็งแบบรอกเวลล์
ที่มา: อภิชาติ และ อุษณีย์ (ม.ป.ป.)

ฉะนั้นวัสดุที่ถูกกดเข้าไปลึกมากกว่า 0.2 mm หรือวัสดุอ่อน จะไม่สามารถทำการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซีได้ ในกรณีนี้ควรใช้การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บี หรือ เอแทน

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บีมีขั้นตอนเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี แต่ใช้หัวกดที่ทำจากลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/16 นิ้ว หรือ 1.59 มม. ใช้แรงกดหลัก 90 kgf เหมาะกับการทดสอบวัสดุอ่อน เพราะมีการยืดช่วงของ E เป็น 0.26 มม. และแบ่งเป็น 130 ส่วน ส่วนละ 0.002 มม.

ในขณะที่การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์เอจะกระทำเช่นเดียวกันกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี คือใช้หัวกดเพชรทรงกรวย และกำหนดระยะ E = 0.2 มม. แต่ใช้แรงกดหลัก 60 kgf เพื่อให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุที่อ่อนลง

ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความแข็ง เพราะจะมีเข็มชี้บอกค่าความแข็ง หรือบางเครื่องเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถแสดงค่าความแข็งเป็นตัวเลขโดยตรง

ข้อดี เป็นการทดสอบค่าความแข็งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถทดสอบวัสดุได้ครอบคลุมเกือบทุกชนิด การทดสอบทำได้ง่าย รวดเร็ว มีความคลาดเคลื่อนน้อยเพราะสามารถอ่านค่าความแข็ง

ได้โดยตรงจากเครื่องทดสอบ สามารถใช้ชิ้นงานบางลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบบริเนลล์ เพราะหัวกดมีขนาดเล็กกว่า

ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานทดสอบให้เรียบ ไม่มีรอยขีดข่วน ผิวต้องแห้งและสะอาด เพราะผิวชิ้นงานทดสอบจะมีผลต่อค่าความแข็งอย่างมากเนื่องจากรอยกดมีขนาดเล็กและไม่ลึกมาก (รอยกดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 0.2 – 1 มิลลิเมตร)

ข้อจำกัด

ความหนาของชิ้นงานทดสอบต้องมีไม่น้อยกว่า 10 เท่าของความลึกรอยกด หรือมีมากพอที่ไม่ทำให้ผิวด้านหลังของชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียรูปทรง

ระยะห่างของจุดศูนย์กลางรอยกดกับจุดศูนย์กลางรอยกดถัดไปหรือจากขอบของชิ้นงานทดสอบควรมีระยะไม่น้อยกว่า 3 มม.

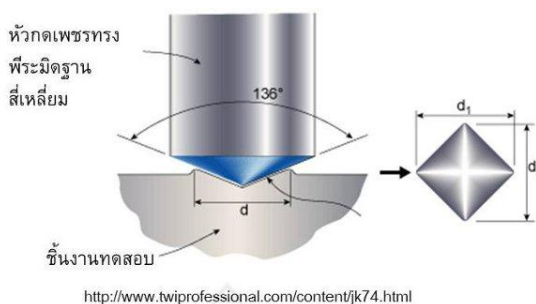
การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี เหมาะกับการทดสอบวัสดุแข็ง เช่น เหล็กกล้าชุบแข็ง ค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบรอกเวลล์ซีอยู่ในช่วง 20 – 67 HRC

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์บี เหมาะกับการทดสอบโลหะอ่อน เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ อลูมิเนียม และทองแดง เป็นต้น ค่าความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบแบบรอกเวลล์บีอยู่ในช่วง 35 – 100 HRB

การทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์เอก็ขึ้นตอนเหมือนกับการทดสอบความแข็งแบบรอกเวลล์ซี แต่จะใช้แรงกดหลักต่ำกว่า คือ 60 kgf ด้วยน้ำหนักกดที่น้อยกว่านี้เอง ทำให้รอยกดของการทดสอบกับวัสดุเดียวกันตื้นกว่าเมื่อเทียบกับรอกเวลล์ซีและจึงสามารถวัดความแข็งของวัสดุได้ในช่วงที่กว้างกว่าตั้งแต่โลหะอ่อนจนถึงเซรามิกส์ซึ่งมีความแข็งสูง แต่ข้อเสียในทางกลับกันก็คือความละเอียดในการแจกแจงระดับความแข็งจะหยาบกว่าเล็กน้อย เช่น ความแข็งในระดับ 28 และ 30 รอกเวลล์ซี อาจวัดแล้วได้ค่าไม่ต่างกันถ้าวัดด้วยรอกเวลล์เอ อย่างไรก็ตามรอกเวลล์เอสามารถใช้ทดสอบความแข็งของชิ้นงานบางที่ความหนาต่ำสุดน้อยกว่ากรณีรอกเวลล์ซีทั้งนี้ขึ้นกับค่าความแข็งของวัสดุด้วย ถ้าความแข็งมารอยกดจะตื้นและความหนาต่ำสุดที่จะทดสอบได้ก็จะมีค่าน้อย

2.1.16.3 การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)

หลักการ เป็นการวัดค่าความแข็งที่ใช้หัวกดเพชรทรงพีรามิดมุม 136° ฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส กดลงบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยแรงกด F ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 – 120 kgf โดยกดลงตั้งฉากกับผิวชิ้นงาน การเคลื่อนที่ของหัวกดที่กดลงบนชิ้นงานจะใช้เวลา 15 วินาที แต่จะคงค่าแรงกดไว้อีกระยะหนึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุ เช่น เหล็กกล้าจะคงแรงกดไว้ประมาณ 10 วินาที ในขณะที่วัสดุอ่อนจะคงแรงกดไว้นานกว่า เมื่อหัวกดถูกยกขึ้น รอยกดที่เกิดขึ้นจะถูกวัดขนาดโดยการวัดเส้นทแยงมุม d1 และ d2 ด้วยความละเอียดการวัด 0.002 มม. ดังภาพ



ภาพ 2.13 ลักษณะปัจจัยการกดวัดความแข็งแบบวิกเกอร์ส
ที่มา: อภิชาติ และ อุษณีย์ (ม.ป.ป.)

เช่นเดียวกับการวัดความแข็งแบบบริเนลล์ ค่าความแข็งจะถูกคำนวณไว้แล้วที่ความยาวรอยกดและแรงกดขนาดต่างๆ ในรูปของตาราง หรืออาจมีการแสดงค่าความแข็งด้วยระบบอัตโนมัติเป็นตัวเลขจากเครื่องทดสอบโดยตรง หน่วยความแข็งคือ HV หรือ VHN

ข้อดี หัวกดมีขนาดเล็กและแรงที่ใช้กดต่ำ รอยกดจึงอาจมีขนาดเล็กกว่าเกรนของโลหะ จึงสามารถวัดความแข็งได้ถึงระดับโครงสร้างจุลภาค เหมาะกับงานทดสอบที่ต้องการความละเอียดของค่าความแข็งสูง สามารถทดสอบได้ทั้งวัสดุอ่อนและวัสดุแข็ง

ข้อเสีย ต้องเตรียมผิวชิ้นงานให้เรียบและสะอาดมากในระดับที่สามารถส่องดูผิวเรียบภายใต้กำลังขยาย 40X ได้ ต้องไม่มีคราบน้ำมัน รอยขีดข่วน หรือฟิล์มออกไซด์ อยู่บนผิวชิ้นงานทดสอบ

ข้อจำกัด

ความหนาของชิ้นงานทดสอบไม่ควรน้อยกว่า 1.2 เท่าของเส้นทแยงมุมรอยกด ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางรอยกดกับขอบชิ้นงานทดสอบหรือขอบของรอยกด ควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 3 เท่าของความยาวเส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด(อภิชาติ และ อุษณีย์, ม.ป.ป.)

2.1.17 ทดสอบประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกล

เครื่องมือตัดและการเลือกใช้ในงานกลึง(Cutting tools and Selection of Turning Process)

2.1.17.1 เครื่องมือตัดและการเลือกใช้สำหรับเครื่องจักรกลประเภท CNC

ระบบเครื่องมือตัดในงานกลึงและการจับยึดจะหลากหลาย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สิ่งสำคัญก็คือ การปฏิบัติการในงานกลึงอย่างได้ผลนั้นจะขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือตัดที่ใช้ และรูปแบบของเครื่องมือ ประกอบด้วย ตัวจับยึดเครื่องมือ (Tool Holder) ตัวจับยึดก้านคว้านรู (Boring Bar Holder) ตัวจับยึดมีดปาดผิวและมีดกลึง (Facing and Turning Holder)

2.1.17.2 ชนิดของเครื่องมือตัดและการจับยึดที่ใช้กับเครื่องกลึง CNC

ก) มีดกลึง

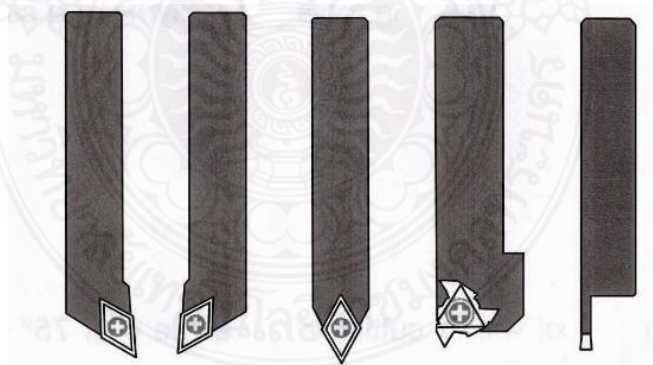
มีดกลึงและด้ามจับมีดกลึง ได้ออกแบบมาให้มีรูปทรงตามลักษณะการใช้งาน ด้ามจับมีดกลึงสามารถจะจับบนป้อมมีด (Tool Turret) ของเครื่องได้ คมมีดกลึงที่ใช้สำหรับงานกลึง CNC ในปัจจุบันจะเป็นอินเสิร์ตที่ทำจากคาร์ไบด์ ซึ่งมีแบบและรูปทรงต่าง ๆ คมมีดจะถูกยึดติด

กับด้ามมีดด้วยสกรูที่ถูกออกแบบมาโดยตรง และสามารถถอดเปลี่ยนอินเสิร์ตได้เมื่อเกิดการสึกหรอหรือแตกหัก



ภาพ 2.14 อินเสิร์ตชนิดคาร์ไบด์แบบต่าง ๆ
ที่มา: เอสอี เพอร์เฟค วัน จำกัด (ม.ป.ป.)

1) มีดกลึงภายนอกและด้ามมีดกลึง (External Tool with Tool Holders)
มีดกลึงภายนอก คือ มีดกลึงที่ใช้สำหรับกลึงปอกผิวเพื่อลดขนาด มีดกลึงผิวสำเร็จ หรือมีดกลึงสำหรับกลึงขึ้นรูปภายนอก คมมีดที่ใช้กับงานกลึง CNC จะเป็นคมอินเสิร์ตทั้งสี่ด้านมีด (Tool Holders) จะถูกออกแบบมาสำหรับจับยึดได้กับแท่นจับมีด (Tool Turret) มีดกลึงขวา (Right - Hand) ใช้กลึงงานจากขวาไปซ้าย



ภาพ 2.15 ปอกซ้าย-ปอกขวา-กลึงสองทาง-กลึงเกลียว-ตร่อง
ที่มา: เอสอี เพอร์เฟค วัน จำกัด (ม.ป.ป.)

2) มีดกลึงภายในและด้ามมีดกลึง (Internal Tool with Tool Holders)
มีดกลึงภายใน คือ มีดกลึงที่ใช้สำหรับกลึงผิวภายในที่ได้เจาะนำไว้ หรือเรียกว่ามีดคว้านสำหรับคว้านขยายรูให้โตขึ้น คมมีดที่ใช้ชนิดนี้จะใช้คมอินเสิร์ตเช่นเดียวกัน



ภาพ 2.16 มีดกลึงภายในหรือมีดคว้าน
ที่มา: เอสอี เพอร์เฟค วัน จำกัด (ม.ป.ป.)

ข) ดอกเจาะ (Drills) หรือ ดอกสว่าน

ดอกเจาะมีหน้าที่หลายอย่าง คือ ใช้สำหรับเจาะรู เจาะรูนาเพื่อต้องการคว้านให้ได้รูที่โตขึ้นใช้สำหรับเจาะรูเพื่อทาเกลียวใน ในเครื่องจักรกล CNC ดอกสว่านใช้งานได้ทั้งงานกัด CNC และงานกลึง CNC ดอกสว่านออกแบบมาให้มีหลายแบบ หลายขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานเจาะด้วยเครื่องจักรกล CNC



ภาพ 2.17 ดอกเจาะ-U-Drill
ที่มา: เอสอี เพอร์เฟค วัน จำกัด (ม.ป.ป.)

ค) ดอกคว้านรูละเอียด (Reamers or Boring Bar)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับคว้านรูที่ผ่านการเจาะเพื่อให้ได้ผิวเรียบ มีขนาดแน่นอนมากขึ้น ในงานสวมประกอบจะต้องให้ขนาดรูมีความแน่นอนและมีการกำหนดค่าพิสัยความ

เมื่อเอาไว้ คมตัดของดอกคว้านรูละเอียดที่ใช้บนเครื่องจักรกลจะมีความยาวนานน้อยกว่าคมตัดที่ทำงานด้วยมือ



ภาพ 2.18 ดอกคว้านรูละเอียด

ที่มา: เอสอี เพอร์เฟค วัน จำกัด (ม.ป.ป.)

2.1.18 ทดสอบความหยาบของพื้นผิว (Surface Roughness)

2.1.18.1 ความหมายของความหยาบผิว

ความหยาบผิวแปลมาจากคำว่า “Surface Roughness” ในภาษาอังกฤษ หมายถึงขนาดความขรุขระของผิว หากมีความขรุขระมาก แสดงว่ามีความหยาบมาก หากมีความขรุขระน้อยก็แสดงว่ามีความหยาบน้อย ความขรุขระหรือความหยาบจะใช้กับผิวของวัสดุ แต่บางที่อาจใช้คำว่าความเรียบ (Flat) ซึ่งเป็นคำที่อาจทำให้สับสน เพราะความเรียบมักใช้กับแผ่นสแตนเลสแผ่นเรียบหมายถึงแผ่นไม่ค่อยเป็นคลื่น (wave) ด้วยเหตุนี้ในบทความนี้จะใช้คำว่าความหยาบผิว แทนคำว่า “Roughness” ในภาษาอังกฤษ

2.1.18.2 ความหลากหลายของดัชนีแสดงค่าความหยาบของผิว

ได้มีการกำหนดคำนิยามและการระบุพารามิเตอร์แสดงความหยาบของพื้นผิว (สำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ไว้ ซึ่งได้แก่ ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต

(Ra), ความหยาบสูงสุด

(Ry), ค่าเฉลี่ยความหยาบของพื้นผิวแบบสปีจุด

(Rz), ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างช่วงเส้นกราฟไม่สม่ำเสมอ

(Sm), ค่าเฉลี่ยระยะระหว่างยอดเส้นกราฟ

(S) และอัตราส่วนความยาวในช่วงเส้นกราฟ

(tp) ความหยาบของพื้นผิวเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตของพื้นที่ที่ได้รับการสุ่ม

เลือก

ก) ตำแหน่งของสัญลักษณ์ช่วงสำหรับสัญลักษณ์ผิว

ตำแหน่งพื้นผิวเกรนแต่ละตำแหน่งจะแสดงในภาพ 2.23 ประกอบด้วย ค่าความหยาบผิว Cut-off value หรือระยะอ้างอิง วิธีการขึ้นรูปโดยการตัดเฉือน gain dimension ความไม่สม่ำเสมอของผิวและอื่นๆ จะแสดงโดยรอบสัญลักษณ์ผิวตามภาพ 2.23



ภาพ 2.19 สัญลักษณ์บ่งชี้

ที่มา: MISUMI (Thailand) Co.,Ltd. (ม.ป.ป.)

คำอธิบายสัญลักษณ์

a: ค่าของ Ra

b: วิธีการขึ้นรูปโดยการตัดเฉือน

c: ค่า Cut-off ความยาวจากการประเมินค่า

c': ความยาวอ้างอิง ความยาวจากการประเมินค่า

d: สัญลักษณ์ของทิศทางการวางแนวตัด

f: พารามิเตอร์อื่น นอกจาก Ra (ประกอบด้วย tp พารามิเตอร์/ระดับ Cut-off)

g: ความเป็นลอนคลื่น นของพื้นผิว (ตามที่กำหนดใน JIS B 0601)

หมายเหตุ : สามารถเพิ่มเติมสัญลักษณ์อื่นนอกจาก a และ f ได้ตามความเหมาะสม(มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด, ม.ป.ป.)

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

2.2.1 ด้านการผสม และ คุณสมบัติ

จากงานวิจัย The effect of NbC on mechanical properties and fracture behavior of WC-10Co cemented carbides ได้อธิบายขั้นตอนการผสมดังนี้

- 1) ผสมผงและ Wax แล้วบดเป็นเวลา 60 ชั่วโมงด้วยเครื่องบดชนิดลูกกลิ้งบด
- 2) และใช้ลูกบด cemented carbide balls \varnothing 10 mm มาใช้เป็นวัตถุในการบดด้วยความเร็ว 68 รอบ/นาที อัตราส่วน ลูกบด / น้ำหนักผง อยู่ที่ 10 : 1
- 3) ทำการอบด้วยเครื่องอบสุญญากาศ ที่ 1410 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่ระดับสุญญากาศ 5 Mpa

การศึกษาพบว่า NbC มีผลต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะผสม WC-10Co พบเห็นความแข็งแรงสูงโดดเด่น เมื่อเพิ่ม NbC เป็น 1wt.% และ 2 wt.% แต่เมื่อ NbC เพิ่มเป็น 3 WT.% และ 4 WT.% จะเปราะแตกหัก แก้ปัญหาของผลกระทบจากตัวประสาน NbC ของ (W, Nb) C ในสารละลายของแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อ NbC เพิ่มเป็น 3 WT.% และ 4 WT.% (Wei Zhou et al., 2015)

จากงานวิจัยเรื่อง Effects of NbC additions on the microstructure and properties of nonuniform structure WC-Co cemented carbides ได้อธิบายขั้นตอน การผสมผงลงใน WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ ดังนี้

- 1) ผง WC (ผงหยาบ/ผงละเอียด) อัตราส่วนเป็น 1:1
 - 2) ผง Co และผง NbC ตามกำหนดบดภายใต้บรรยากาศอาร์กอนในเอทานอล ที่ 30 ชั่วโมง ลูกบดซีเมนต์คาร์ไบด์ \varnothing 8 มม นำมาใช้บด ในอัตราส่วนน้ำหนักผงที่ 3:1 ความเร็วรอบที่ 238 รอบ/นาที
 - 3) เติม paraffin หลังจากบด 2% โดยน้ำหนัก ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ 70 °C ที่เวลา 2 ชั่วโมง
 - 4) กดอัดขึ้นรูปผงที่ผ่านการบด ที่ 200 MPa.
 - 5) อบจากอุณหภูมิห้องไปถึงที่ 450 °C อัตราความร้อน 2.22 °C/ min และที่อุณหภูมิ 450 °C อยู่ที่ 150 นาทีภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจน
 - 6) และจากความร้อน 450 °C ถึง 800 °C อัตราความร้อน 3.89 °C/ min และที่อุณหภูมิ 800 °C แช่ไว้เป็นเวลา 30 นาที
 - 7) และจากความร้อน 800 °C ถึง 1220 °C อัตราความร้อน 4.44 °C/ min และที่อุณหภูมิ 1,220 °C แช่ไว้เป็นเวลา 40 นาที ทำภายใต้สุญญากาศ
 - 8) และจากความร้อน 1450 °C อัตราความร้อน 2.89 °C/ min จนอุณหภูมิเพิ่มถึง 1,450 °C คงไว้ที่เวลา 60 นาที, ใช้อุณหภูมิแรงดันอาร์กอนที่ 5 MPa และเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
- จากการศึกษาพบว่า เมื่อจำนวนรวมอะตอมของ W ละลายในเกรน NbC เพิ่มขึ้น ด้วยการเพิ่ม NbC และ เมื่อเติม NbC มากกว่า 1% ยังลดขนาดของเกรนเฉลี่ยของ WC ซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเพิ่ม NbC 0-2 wt% ความแข็งเพิ่มขึ้นและการแตกหักลดลง และเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ NbC ความแข็งจะลดลงเล็กน้อย(Yang Gao et al., 2017)
- จากงานวิจัยเรื่อง Synthesis, microstructure, and mechanical properties of WC-TiC-Co ceramic composites ได้อธิบายขั้นตอนการเตรียมผงผสมเป็นคอมโพสิตเซรามิก 78WC-16TiC-6Co เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติทางกลไว้ดังนี้
- 1) เตรียมผงขนาดเกรนเฉลี่ย 1 μm . ของ (WC 78 wt% - Co 6 wt%) + TiC 16 wt%
 - 2) เตรียมการผลิต TiC 16 wt% จากเศษไทเทเนียมเกรด 4 จากการตัดเฉือนของเครื่องจักรเพื่อผสม โดยนำเศษ Ti ประมาณ 20-30 cm. มาบดแล้วเติมผง Graphite ลงไปแล้วผสมแบบแห้ง นำไปอัดและอบต่อไป
 - 3) ตัวอย่างที่ 1 เตรียมผง 78WC-16TiC-6Co +เติม 5 wt% stearic acid แล้วผสมแบบแห้งที่เวลา 1 ชั่วโมงนำไปขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการอัด 1 นาที ที่ 625 MPa และกำจัดไล่สารภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ 500 °C ที่เวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 1500 °C ที่เวลา 8 ชั่วโมง
 - 4) ตัวอย่างที่ 2 เตรียมผง 78WC-16TiC-6Co +เติม 3 wt% stearic acid แล้วผสมแบบแห้งที่เวลา 1 ชั่วโมงนำไปขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการอัด 1 นาที ที่ 200 MPa และกำจัดไล่สารภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ 500 °C ที่เวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 1550 °C ที่เวลา 9 ชั่วโมง

5) ตัวอย่างที่3 เตรียมผง 78WC-16TiC-6Co แล้วผสมด้วยวิธีเชิงกลที่เวลา 6 ชั่วโมง นำไปขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการอัด 1 นาที ที่ 200 MPa แล้วอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 1550 °C ที่เวลา 9 ชั่วโมง

6) ตัวอย่างที่4 เตรียมผง 78WC-16TiC-6Co แล้วผสมด้วยวิธีเชิงกลที่เวลา 9 ชั่วโมง นำไปขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการอัด 1 นาที ที่ 400 MPa แล้วอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 1550 °C ที่เวลา 9 ชั่วโมง

7) ตัวอย่างที่5 เตรียมผง 78WC-16TiC-6Co แล้วผสมด้วยวิธีเชิงกลที่เวลา 12 ชั่วโมง นำไปขึ้นรูปเย็นด้วยกระบวนการอัด 1 นาที ที่ 400 MPa แล้วอบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 1550 °C ที่เวลา 9 ชั่วโมง

จากการศึกษาพบว่า วิธีการที่ 1,2 มีความหนาแน่นอยู่ที่ 63% - 71% ความแข็งอยู่ที่ 1797 HV – 1963 HV และ วิธีการที่ 3,4 และ 5 มีความหนาแน่นอยู่ที่ 78% - 80% ความแข็งอยู่ที่ 1989 HV – 2057 HV จากวิธีการที่ 1 – 2 ทำให้เกิดรูพรุนที่ค่อนข้างสูงและความหนาแน่นต่ำ

วิธีการที่ 3 - 5 สามารถลดรูพรุนและเพิ่มความหนาแน่น และความแข็งสูงกว่าเกรดธรรมดา 78WC-16TiC-6Co รหัส ISO ของ P05 (Dilek Hasan and Huseyin, 2012)

จากงานวิจัยเรื่อง Effects of TaC on microstructure and mechanical properties of coarse grained WC-9Co cemented carbides ได้อธิบายขั้นตอนการเตรียมการของโลหะผสม WC-TAC-9Coไว้ดังนี้

1) เตรียม WC (รวม carbon: 6.14%) +Co และ เตรียม TaC (รวม carbon: 6.21%) มีขนาด particle sizes 20.2, 1.0, 0.87 ไมครอน

2) บด 36 ชั่วโมง + เอทิลแอลกอฮอล์อัตราส่วนลูกบอลลต่อผง 3.5 : 1 และ ผง พาราฟิน 18%

3) อบแห้งในเตาอบสูญญากาศที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4) แล้วนำมา ร้อนด้วยตะแกรง 180 ไมครอน

5) กดอัดด้วยความดันแกนเดียวที่ 200 MPa

6) ทำการแยกไซ และ เตรียมการอบผนึกที่ 1450 °C ที่แรงดัน 5 MPa เป็นเวลา 100 นาที

7) เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง 1250 °C จะเย็นตัวลงด้วยบรรยากาศอาร์กอน

จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเติม Tac น้อยกว่า 0.4% TRS และความแข็งเพิ่มขึ้น เนื้อผง W และ Ta และ ขนาดของเกรน WC มีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ด้านคุณสมบัติทางกลของเนื้อเกรนหยาบ WC-9Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ มีความแข็งเพิ่มขึ้น การแตกหักลดลงด้วยการลดขนาดของเกรน WC คุณสมบัติสมบัติเชิงกลที่ดีในเนื้อเกรน WC-0.4TaC-9Co กับ HV 1124 TRS 2466 MPa จะมีความทนต่อการแตกหัก 19.34 MPa และ ขนาดเม็ดเกรน 6.0 ไมครอน เมื่อเติม TaC มากกว่า 0.6% จะมีความแข็ง และการแตกหักเพิ่มขึ้น(Wei SU et al., 2015)

จากงานวิจัยเรื่อง Effect of TaC and TiC on the friction and dry sliding wear of WC-6 wt.% Co cemented carbides against steel counterfaces ได้อธิบายขั้นตอนและวิธีการดังนี้

- 1) ผสมผง WC+6 wt%
- 2) ผสมผง WC+5.9 wt%Co+0.09 wt%TaC+0.01 wt%NbC
- 3) ผสมผง WC+6 wt%Co+2.83 wt%TiC+3.61 wt%TaC+0.39 wt%NbC
- 4) กลึงชิ้นงานตัวอย่าง \varnothing 13 mm. ยาว 9.2 mm.

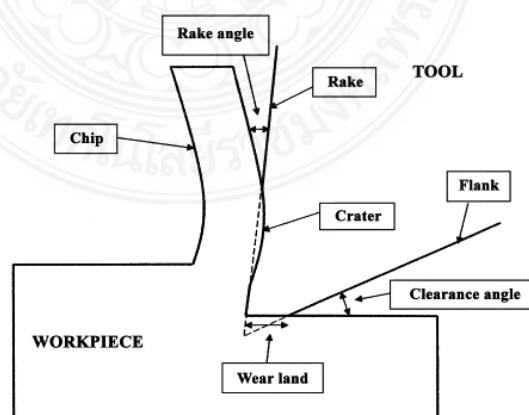
พบว่า WC - Co alloy ที่เติม TaC น้อยกว่า 1 WT.% ก็พบว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุดของการต้านทานการสึกหรอแบบการเสียดสีของโลหะผสม และมีความแข็งสูงขึ้น จากชิ้นงาน WC-B จะมีความแข็งสูงสุดและ มีการแตกหักที่ต่ำ ส่วน WC-A และ WC-C มีค่าการต้านทานการแตกหักคล้ายกันแม้ว่าเกรด WC-C มีความแข็งสูงกว่าเกรด WC-A เกิดจากการมี TiC ใน WC-C ความยืดหยุ่นก็จะพบจะอยู่ในช่วง 6 WT.% Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ (van der Merwe and Sacks, 2013)

2.2.2 ศึกษาด้านการทดสอบการใช้งาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัจจัยในการกลึงงานโลหะมีความสัมพันธ์กับการสึกหรอของเม็ดมีดตัด จึงต้องมีการกำหนดปัจจัยที่สัมพันธ์กัน ระหว่าง ชิ้นงานโลหะ เม็ดมีดตัด จะต้องควบคุมทั้งความเร็วของการตัด (Cutting Speed) ความลึกของการตัด (Depth of Cut) อัตราการป้อน (Feed Rate) น้ำระบบหล่อเย็น (Cooling) รวมทั้งเลือกใช้เครื่องมือตัด (Cutting tool) ที่เหมาะสม หากไม่สัมพันธ์กัน ก็จะเกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่รวดเร็ว

จากการศึกษางานวิจัยเรื่อง Microstructural characterization of WC-TiC-Co cutting tools during high-speed machining of P20 mold steel ได้อธิบายขั้นตอนการทดลองการทดสอบไว้ดังนี้

- 1) ใช้ WC-TiC-Co ในการตัดเหล็ก P20 โดยใช้ ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) ที่ต่างกัน
- 2) ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 60, 120, 240, 380, 600 m/min
- 3) อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.06 mm/rev ระยะทางการตัด 3 mm. ความกว้างการตัด 5 mm.
- 4) มุม rake angle 0° และมุม clearance angle = 10° จะแสดงดังภาพที่ 2.24



ภาพ 2.20 แผนภาพในการตัด

ที่มา: Z.N. Farhat (2003)

พบว่า ความเร็วรอบที่ 380-600 m/min จะเกิดการสึกหรอที่เกิดจากรูปแบบการละลาย และความเร็วรอบที่ 60-120 m/min การยึดเกาะของเศษโลหะ (Farhat, 2003)

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง Tool life and wear mechanism of WC-5TiC-0.5VC-8Co cemented carbides inserts when machining HT250 gray cast iron ได้แสดงลำดับการทดลองดังนี้

1) ทำการทดลอง 3 กลุ่ม โดยมีปัจจัยการตัดที่ต่างกันคือ อัตราการป้อน (Feed Rate) , ความเร็วของการตัด (Cutting Speed), ความลึกของการตัด (Depth of Cut) ใช้เม็ดมีด 2 ชนิดในการตัดคือ WC-5TiC-0.5VC-8Co และ WC-8Co

2) กลุ่มที่ 1 ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 50 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.2 ,0.4 ,0.6 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 0.1 mm.

3) กลุ่มที่ 2 ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 50,80,100 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.2 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 0.1 mm.

4) กลุ่มที่ 3 ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 50 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.2 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 0.1,0.2,0.3 mm.(Jian Chen. et al, 2016)

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมีดกลึงเซอร์เมทในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 ได้แสดงลำดับการทดลองดังนี้

1) ใช้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304 ขนาด 25 mm. ยาว 110 mm. และทำการเจาะชิ้นศูนย์ท้ายที่ขึ้นงานทุกชิ้น

2) ใช้เม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD ยี่ห้อ CERATIZIT รัศมีมุมมีด 0.4 มิลลิเมตร

3) และเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท ยี่ห้อ MITSUBISHI รัศมีมุมมีด 0.4 มิลลิเมตร

4) ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 100, 124, 160, 195, 219 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.06, 0.09, 0.13, 0.17, 0.20 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 0.20, 0.28, 0.40, 0.52, 0.60 mm.

5) ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบของเม็ดมีดกลึงเซอร์เมท ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 120, 136, 160, 184, 200 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.09, 0.11, 0.15, 0.18, 0.20 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 0.50, 0.70, 1.00, 1.30, 1.50 mm.

พบว่าค่าที่เหมาะสมความหยาบผิว มีค่าความหยาบผิวต่ำที่สุดในการกลึงของเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD คือ ความเร็วตัด 199 m/min อัตราป้อน 0.06 mm/rev และระยะกินลึก 0.60 mm. ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.3986 μm เม็ดมีดเซอร์เมทความเร็วตัด 156 m/min อัตราป้อน 0.09 mm/rev และ ระยะลึกป้อน 1.00 mm. ค่าความหยาบผิวอยู่ที่ 0.7439 μm (สุจินต์ และ พงศ์ธร, 2017)

ในบทที่2 นี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับผงโลหะ วัสดุดิบ วิธีการ และหลักการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการทดลอง การวิจัยเรื่องการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co โดยได้ลำดับจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จนจบขั้นตอนการทดลอง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีพบว่า สามารถพัฒนาผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลให้มีประสิทธิภาพด้านความแข็งได้

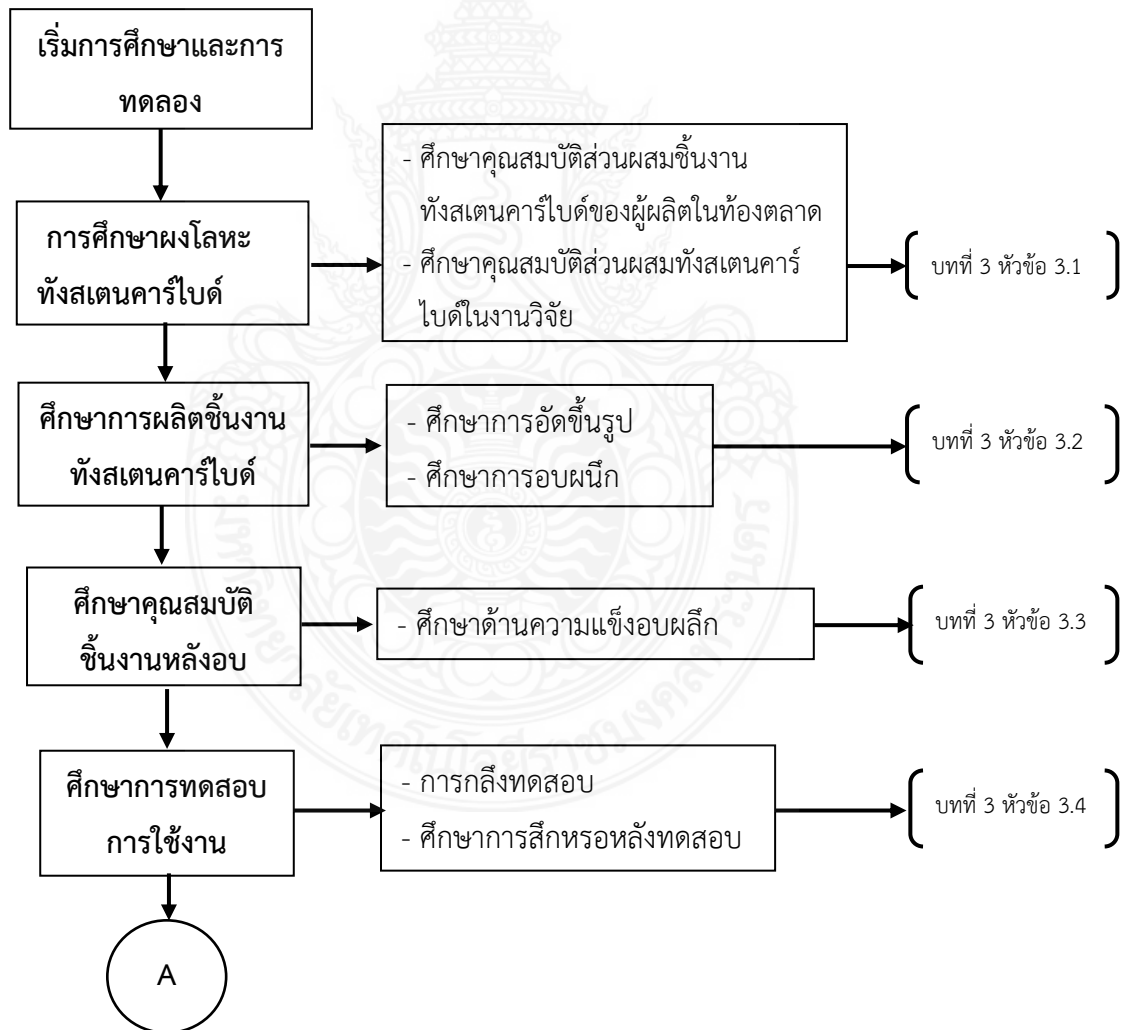
ดังนั้นในบทนี้ได้นำทฤษฎีเกี่ยวกับ ผงโลหะและวัสดุดิบที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคของผงโลหะ ด้วย วิธี XRF, XRD, SEM และ TEM การบดผงโลหะ การอัดขึ้นรูป การอบผนึก การวัดความแข็ง และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลอง และกำหนดอัตราส่วนผสมทางเคมีของแผ่นมีดในบทต่อไป



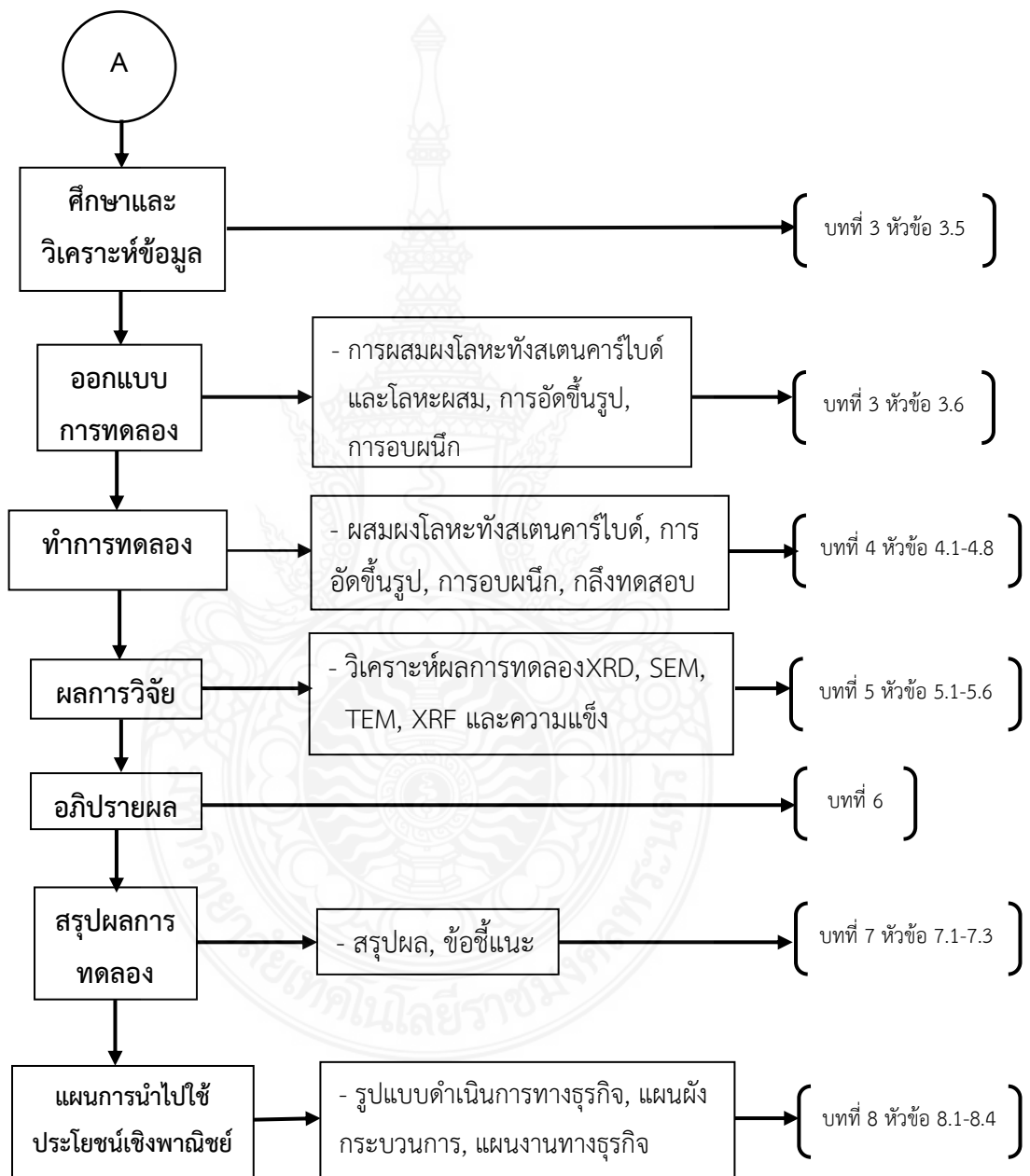
บทที่ 3

การกำหนดอัตราส่วนผสมทางเคมีของเม็ดมิต (Insert tools)

การดำเนินการวิจัยพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ได้ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร บทความต่างๆ และผู้ผลิต ในเรื่องคาร์ไบด์และซีเมนต์เต็ดคาร์ไบด์ โลหะกรรมวัสดุผง กระบวนการผลิตชิ้นงานจากโลหะผง เป็นต้น จึงกำหนดวิธีการดำเนินการทดลองดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง



ภาพ 3.1 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง (ต่อ)

3.1 ศึกษาผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์

การที่จะทำผลิตภัณฑ์โลหะในการผลิตที่มีความคงทนสูงนั้น จะต้องทำให้โลหะมีส่วนผสมของทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) กับ โลหะอื่นที่ทำหน้าที่ประสาน (binder) โดยการวิธีการผสมผงทั้งสแตน(W) กับคาร์บอน (C) และ โลหะอื่นที่ทำหน้าที่ประสาน (binder) เข้าด้วยกัน โดยทำการอบด้วยความร้อนเพื่อให้เชื่อมติดกัน ทั้งสแตนจะจับรวมตัวกันแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ และ โลหะอื่นจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน โลหะประสานต้องเป็นโลหะที่มีสมบัติพิเศษในการเกิด metallic bond ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,300°C – 1,500°C เช่น โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) และโมลิบดีนัม (Mo) และสารเติมแต่งอื่นๆซึ่งเป็นตัวช่วยเสริมปรับคุณสมบัติ เช่น แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC)

3.1.1 ศึกษาคุณสมบัติส่วนผสมชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ของผู้ผลิตในท้องตลาด

จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต เม็ดมีดกลึง Sandvik ประเทศสวีเดน ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เกรดและรูปทรงที่มีความนิยมใช้งานมากที่สุด จากข้อมูลการจำหน่ายเม็ดมีดในบริษัทแห่งหนึ่งดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ข้อมูลการจำหน่ายเม็ดมีดของบริษัทผู้จำหน่ายแห่งหนึ่ง

ลำดับ	ISO catalog number	Grade	วัสดุที่ใช้	จำนวน/เดือน
1	TNMG160408MN	KCP25	STEEL	500
2	TNMG160412UN	KCK20	CAST IRON	400
3	TNMG160404FN	KCK05	CAST IRON	300
4	CNMG120408UN	KCK20	CAST IRON	500
5	CNMG120412FN	KT315	STEEL	400
6	CNMG120408MN	KCP30B	STEEL	200
7	CNMG120408MS	KC5010	STAINLESS	200
8	DNMG150408FF	KCP05	STEEL	200
9	DNMG150408UN	KCK20	CAST IRON	500
10	WNMG080408MP	KC5010	STAINLESS	200
11	WNMG080408MN	KCP25	STEEL	150
12	VNMG160404FN	KCP10	STEEL	100

จากตาราง 3.1 พบว่า เม็ดมีดที่ได้รับความนิยมเพื่อนำไปใช้งานคือ เกรด KCK20 มีปริมาณในการจำหน่ายมากถึง 500 ชิ้นต่อเดือน จึงได้ทำการศึกษาเม็ดมีดเกรด KCK20 และในกลุ่มและเกรดของเม็ดมีดในแบรนด์อื่น ที่อยู่ในกลุ่มและเกรดในการใช้งานเดียวกัน

ตาราง 3.2 คุณสมบัติส่วนผสมชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ของเม็ดมีดกลึงของบริษัทตัวอย่าง

รายการ	WC	Co	TiC	TaC+	Sintering NbC Temperature (°C)	Density (g/cm ³)	Vickers Hardness HV 30	Rockwell Hardness HRA	Sintered grain size (µm)
ยี่ห้อ									
SANDVIK	66.9	8.8	12	12.3	1450	11.50	1560	91.9	2.0

ที่มา: SANDVIK Powder Catalogue

จากตาราง 3.2 ได้แสดงคุณสมบัติส่วนผสมชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ของเม็ดมีดกลึงของบริษัทผู้ผลิต ยี่ห้อ SANDVIK โดยพบว่า ส่วนผสม ความแข็ง และความหนาแน่น แสดงไว้ ดังตาราง [34]

3.1.2 ศึกษาคุณสมบัติส่วนผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์ในงานวิจัยคุณสมบัติต่างๆของคาร์ไบด์ซีเมนต์และวัสดุแข็งอื่น ๆ จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาดังนี้

จากการศึกษาคุณสมบัติส่วนผสมทั้งสแตนคาร์ไบด์ จากงานวิจัยที่ [34], [35], [36], [37], [38] พบว่า ส่วนผสมในโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ มีผลต่อคุณสมบัติและโครงสร้างโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ ในการผลิตชิ้นงาน ดังแสดงตาราง 3.3 และตาราง 3.4

ตาราง 3.3 อัตราส่วนผสมทางเคมีของเม็ดมีด(insert tools)ในงานวิจัย

งานวิจัย	รายการ	WC (wt%)	Co (wt%)	TiC (wt%)	TaC (wt%)	NbC (wt%)	Volume fraction of Co
Wei Zhou. et al. (2015)	Material Z0	90	10	-	-	0	-
	Material Z1	89	10	-	-	1	-
	Material Z2	88	10	-	-	2	-
	Material Z3	87	10	-	-	3	-
	Material Z4	86	10	-	-	4	-
Yang Gao. et al.	Alloy 1	46.5+46.5	7	-	-	0	11.65
	Alloy 2	46.25+46.2	7	-	-	0.5	11.60

(2017)		5					
	Alloy 3	46+46	7	-	-	1	11.55
	Alloy 4	45.5+45.5	7	-	-	2	11.44
	Alloy 5	44.5+44.5	7	-	-	4	11.22
Dilek, Hasan and Huseyin. (2012)	P05	78	6	16	-	-	-
Wei SU. et al. (2015)	Sample 1	91.0	9	-	0	-	-
	Sample 2	90.8	9	-	0.2	-	-
	Sample 3	90.6	9	-	0.4	-	-
	Sample 4	90.4	9	-	0.6	-	-
	Sample 5	90.2	9	-	0.8	-	-
	Sample 6	90.0	9	-	1.0	-	-
van der Merwe R., and Sacks N. (2013)	WC-A	94	6	0	0	0	-
	WC-B	94	5.9	0	0.09	0.01	-
	WC-C	87.17	6	2.83	3.61	0.39	-

ตาราง 3.4 คุณสมบัติของผงดิบทั้งสแตนคาร์ไบด์และโลหะประสานในงานวิจัย

งานวิจัย	รายการ	Particle size (μm)	Oxygen content (wt.%)	Carbon content (wt.%)	Purity (wt %)
Wei Zhou. et al. (2015)	WC	0.6	0.13	5.98	-
	NbC	0.5	0.12	6.20	-
	Co	0.8	0.21	0.01	-
Yang Gao. et al. (2017)	WC-1	1.0	0.01	6.13	99.9
	WC-2	3.5	0.01	6.13	99.9
	NbC	1.48	0.2	-	99.8
	Co	1.31	0.4	-	98.5
Dilek, Hasan and	WC	1	-	-	-

Huseyin. (2012)	TiC	3.4	-	-	-
	Co	1	-	-	-
Wei SU. et al. (2015)	WC	20.2	-	6.14	-
	TaC	0.87	-	6.21	-
	Co	1.0	-	6.21	-
van der Merwe R., and Sacks N. (2013)	WC	-	-	-	-
	Co	-	-	-	-
	TiC	-	-	-	-
	TaC	-	-	-	-
	NbC	-	-	-	-

ตาราง 3.5 เวลาการผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์และโลหะประสานจากงานวิจัย

งานวิจัย	ผงโลหะ	เวลาการบด (ชั่วโมง)	ความเร็วรอบ/นาที
Wei Zhou. et al. (2015)	WC+NbC+Co	60	68
Yang Gao. et al. (2017)	WC+NbC+Co	30	238
Dilek, Hasan and Huseyin. (2012)	WC+TiC+Co	1,6,9,12	-
Wei SU. et al. (2015)	WC+TaC+Co	36	-
van der Merwe R., and Sacks N. (2013)	WC+Co+Tic+NbC	-	-

จากตาราง 3.5 ข้อมูลในการผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์จากงานวิจัย พบว่าเวลาและความเร็วรอบที่ใช้ในการบด เพื่อการผสมที่นิยมจะอยู่ที่เวลาระหว่าง 1-60 ชั่วโมง ความเร็วรอบจะอยู่ระหว่าง 68-238 รอบ/นาที

3.2 ศึกษาการผลิตชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์

3.2.1 ศึกษาการอัดขึ้นรูป (Pressing)

การอัดขึ้นรูปทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังจากทำการผสมผงโลหะเข้ากับสารยึดเกาะตัวประสาน และธาตุผสมต่างๆ เติมแต่งตามส่วนผสมที่พอเหมาะ แล้วนำมาอัดขึ้นรูปโดยผ่านแม่พิมพ์ด้วยการควบคุมแรงอัดที่เหมาะสม ทำให้ผงโลหะยึดเกาะตัวกัน จนมีความแข็งในระดับหนึ่งเรียกว่า (Green compact) แล้วได้ชิ้นงานออกมาตามลักษณะรูปร่างตามแบบแม่พิมพ์ จากการศึกษาจากงานวิจัย

ที่เกี่ยวข้อง ได้แสดงข้อมูลในการอัดขึ้นรูป (Pressing) ดังในตารางที่ 3.5 ข้อมูลในการอัดขึ้นรูปจากงานวิจัย

ตาราง 3.6 ข้อมูลในการอัดขึ้นรูปจากงานวิจัย

งานวิจัย	ผงโลหะ	แรงกด(MPa)
Wei Zhou. et al. (2015)	WC+NbC+Co	-
Yang Gao. et al. (2017)	WC+NbC+Co	200
Dilek, Hasan and Huseyin. (2012)	WC+TiC+Co	400
Wei SU. et al. (2015)	WC+TaC+Co	200
van der Merwe R., and Sacks N. (2013)	WC+Co+Tic+NbC	-

จากตารางที่ 3.6 ข้อมูลในการอัดขึ้นรูปจากงานวิจัย พบว่าแรงกดที่นิยมใช้จะอยู่ระหว่าง 200-400 MPa

3.2.2 ศึกษาการอบผนึก (Sintering)

การอบผนึกเป็นการที่ทำให้ อนุภาคโมเลกุลเชื่อมประสานกัน ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว โดยการควบคุมอุณหภูมิ เวลา และ บรรยากาศ ซึ่งจะทำให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็ก และทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 3.5

ตาราง 3.7 ข้อมูลในการอบผนึกจากงานวิจัย

งานวิจัย	ผงโลหะ	อุณหภูมิในการอบ (c°)	เวลาในการอบ (h)	บรรยากาศ
Wei Zhou. et al. (2015)	WC+NbC+Co	1,410	3	Vaccum 5 MPa
Yang Gao. et al. (2017)	WC+NbC+Co	1,450	12.44	Hydrogen, Vaccum, argon 5 MPa
Dilek, Hasan and Huseyin. (2012)	WC+TiC+Co	1,550	9	argon

ตาราง 3.7 (ต่อ)

งานวิจัย	ผงโลหะ	อุณหภูมิในการอบ (c°)	เวลาในการอบ (h)	บรรยากาศ
Wei SU. et al. (2015)	WC+TaC+Co	1,450	1.40	5 MPa
van der Merwe R., and Sacks N. (2013)	WC+Co+TiC+ NbC	-	-	-

จากตาราง 3.7 ข้อมูลในการอบผนึกจากงานวิจัย พบว่าจะมีปัจจัยในการอบผนึก ดังนี้ งานวิจัยที่ [34] ผงโลหะในการผสมคือ ผงทังสเตนคาร์ไบด์ ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ และผงโคบอลต์ ใช้ อุณหภูมิในการอบที่ 1,410 c° ใช้เวลาในการอบที่ 3 ชั่วโมง อบภายใต้บรรยากาศสุญญากาศและ ใช้ แรงดัน 5 MPa งานวิจัยที่ [35] ผงโลหะในการผสมคือ ผงทังสเตนคาร์ไบด์ ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ และผงโคบอลต์ ใช้อุณหภูมิในการอบที่ 1,450 c° ใช้เวลาในการอบที่ 12.44 ชั่วโมง อบภายใต้ บรรยากาศไฮโดรเจน, สุญญากาศ และ อาร์กอน ตามลำดับและ ใช้แรงดัน 5 MPa งานวิจัยที่ [36] ผงโลหะในการผสมคือ ผงทังสเตนคาร์ไบด์ ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์ และผงโคบอลต์ ใช้อุณหภูมิในการ อบที่ 1,550 c° ใช้เวลาในการอบที่ 9 ชั่วโมง อบภายใต้บรรยากาศอาร์กอน งานวิจัยที่ [37] ผงโลหะ ในการผสมคือ ผงทังสเตนคาร์ไบด์ ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ และผงโคบอลต์ ใช้อุณหภูมิในการอบที่ 1,450 c° ใช้เวลาในการอบที่ 1.40 ชั่วโมง อบภายใต้บรรยากาศอาร์กอนและ ใช้แรงดัน 5 Mpa

พบว่าอุณหภูมิในการอบอยู่ระหว่าง 1,410 – 1,550 c° เวลาในการอบ 3 - 12.44 ชั่วโมง บรรยากาศในการอบ Vacuum, Hydrogen, argon และแรงดันที่ 5 MPa

3.3 ศึกษาคุณสมบัติชิ้นงานหลักรอบ

ชิ้นงานหลักรอบผนึก ส่วนสำคัญคือ คุณสมบัติของชิ้นงานโลหะแข็งพิเศษ ด้านคุณสมบัติ ทางกล และผลกระทบต่อโครงสร้าง ในการปรับปรุงส่วนผสม เช่น ความแข็งแรง การแตกหัก โครงสร้างเม็ดเกรน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีผลต่อการนำไปใช้งาน

3.3.1 ศึกษาด้านความแข็ง

จากงานวิจัย The effect of NbC on mechanical properties and fracture behavior of WC-10Co cemented carbides ได้พบว่า การเติม NbC ที่ 1% โดยน้ำหนักนั้น จะ มีความแข็งเพิ่มขึ้นมากขึ้น และ WC-2NbC-10Co ถึงจะมีโครงสร้างที่ละเอียดกว่าแต่ก็มีความแข็งที่ ต่ำกว่า เกิดจากเป็นผลมาจากเกรนหยาบของ (Nb, W) C ทำให้มีความแข็งที่ลดลงเมื่อเติม NbC มาก ขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Effects of NbC additions on the microstructure and

properties of nonuniform structure WC-Co cemented carbides ที่ได้อธิบายไว้ เมื่อเติม NbC มากกว่า 1% ยังลดขนาดของเกรนเฉลี่ยของ WC ซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเพิ่ม NbC 0-2 wt% ความแข็งเพิ่มขึ้นและการแตกหักลดลง และเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ NbC ความแข็งจะลดลงเล็กน้อย และ จากงานวิจัยเรื่อง Effects of TaC on microstructure and mechanical properties of coarse grained WC-9Co cemented carbides ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อมีการเติม TaC น้อยกว่า 0.4% TRS และความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อเติม TaC มากกว่า 0.6% จะมีความแข็ง และการแตกหักเพิ่มขึ้น ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Effect of TaC and TiC on the friction and dry sliding wear of WC-6 wt.% Co cemented carbides against steel counterfaces ซึ่งได้อธิบายไว้ว่า เมื่อเติม TaC น้อยกว่า 1 WT.% ก็พบว่าประสิทธิภาพมากที่สุดของการต้านทานการสึกหรอแบบการเสียดสี ของโลหะผสม และมีความแข็งสูงขึ้น และจากงานวิจัยเรื่อง Synthesis, microstructure, and mechanical properties of WC-TiC-Co ceramic composites ได้อธิบายไว้ว่า การผสมผง 78WC-16TiC-6Co ด้วยวิธีเชิงกลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง อบพ่นิกภายใต้บรรยากาศอาร์กอนที่ 1,550 °C ที่ เวลา 9 ชั่วโมง สามารถลดรูพรุนและ เพิ่มความหนาแน่น และมีความแข็งสูง

3.4 ศึกษาการทดสอบการใช้งาน

3.4.1 การกลึงทดสอบ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปัจจัยในการกลึงงานโลหะมีความสัมพันธ์กับการสึกหรอของเม็ดมีดตัด จึงต้องมีการกำหนดปัจจัยที่สัมพันธ์กัน ระหว่าง ชิ้นงานโลหะ เม็ดมีดตัด จะต้องควบคุมทั้งความเร็วของการตัด (Cutting Speed) ความลึกของการตัด (Depth of Cut) อัตราการป้อน (Feed Rate) น้ำระบบหล่อเย็น (Cooling) รวมทั้งเลือกใช้เครื่องมือตัด (Cutting tool) ที่เหมาะสม หากไม่สัมพันธ์กัน ก็จะทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่รวดเร็ว

ตาราง 3.8 แสดงปัจจัยเกี่ยวกับงานกลึงจากงานวิจัย

งานวิจัย	วัสดุเม็ดมีด	ความเร็วของการตัด (Cutting Speed) m/min	อัตราการป้อน (Feed Rate) mm/rev	ความลึกของการตัด (Depth of Cut) mm.	วัสดุที่กลึง
Z.N. Farhat. (2003)	78WC+16TiC+6C	60,120,240,380, 600	0.06	3	P20
Jian Chen. et al. (2016)	WC-5TiC-0.5VC-8Co, WC-8Co	50, 50,80,100, 50	0.2,0.4,0.6, 0.2, 0.2	0.1, 0.1, 0.1,0.2,0.3	HT250

สุจินต์	มีดกลึงคาร์ไบด์	100, 124, 160,	0.06, 0.09,	0.20, 0.28,	SUS
และ พงศ์	เคลือบผิว PVD	195, 219	0.13, 0.17,	0.40, 0.52, 0.60	304
จร.			0.20		
(2017)	เม็ดมีดกลึงเซอร์เมท	120, 136, 160,	0.09, 0.11,	0.50, 0.70,	
		184, 200	0.15, 0.18,	1.00, 1.30, 1.50	
			0.20		

จากตาราง 3.8 แสดงปัจจัยเกี่ยวกับงานกลึง พบว่าความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 50-600 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.06 - 0.20 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 0.1 - 3 mm.

3.5 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ และสารเติมแต่ง พบว่ากระบวนการผลิตมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้ การผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ นำผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ทำการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างพูนิก ขนาด และส่วนผสมทางเคมี ถัดไปทำการผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ กับ ผงโคบอลต์ เป็นโลหะประสาน และโลหะผสม เช่น ไทเทเนียมคาร์ไบด์(TiC) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ที่มีความแข็ง และทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี หรือใช้ผสมกับโลหะคาร์ไบด์ชนิดอื่นๆ เช่น ทั้งสแตนคาร์ไบด์ หรือไนโอเบียมคาร์ไบด์ เพื่อใช้ในการทำเครื่องมือ กลึง เจาะ ใส หรือตัดเหล็ก และโลหะอื่น จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของทั้งสแตนคาร์ไบด์จะอยู่ระหว่าง 45.5 wt% – 90.6 wt% ขนาดของพูนิกอยู่ระหว่าง 0.6 wt% - 20.2 wt% โคบอลต์อยู่ระหว่าง 5.9 wt% - 10 wt% ขนาดของพูนิกอยู่ระหว่าง 0.8 wt% - 1.31 wt% และ โลหะผสมไทเทเนียมคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 2.83 wt% - 16 wt% ขนาดของพูนิกอยู่ระหว่าง 3.4 wt% แทนทาลัมคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 0.09 wt% - 3.61 wt% ขนาดของพูนิกอยู่ระหว่าง 0.87 wt% ไนโอเบียมคาร์ไบด์อยู่ระหว่าง 0.01 wt% - 4 wt% ขนาดของพูนิกอยู่ระหว่าง 0.5 wt% - 1.48 wt% ขั้นตอนถัดไปหลังผสมเสร็จนำไปสู่กระบวนการ การอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดใช้แรงกดอัด อยู่ระหว่าง 200 – 400 MPa แล้วนำไปสู่กระบวนการอบพูนิกใช้ อุณหภูมิในการอบอยู่ระหว่าง 1,410 – 1,550 c° เวลาในการอบ 3 - 12.40 ชั่วโมง บรรยากาศในการอบ Vacuum, Hydrogen, argon และแรงดันที่ 5 Mpa หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์และทดสอบ ชิ้นงาน ด้วยการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างอนุภาคโมเลกุล ความแข็ง และนำไปทดสอบการใช้งานด้วยวิธีการกลึงโลหะ และทำการวิเคราะห์ด้านความลึกหรือหลังการทดสอบการกลึง จากการศึกษาวิเคราะห์ ข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถออกแบบการทดลองได้

ตาราง 3.9 สรุปสูตรที่มีประสิทธิภาพจากการทดลองของงานวิจัย

งานวิจัย	รายการ	WC (wt%)	Co (wt%)	TiC (wt%)	TaC (wt%)	NbC (wt%)
Wei Zhou. et al. (2015)	Material Z2	88	10	-	-	2
Yang Gao. et al. (2017)	Alloy 4	45.5+45.5	7	-	-	2
Dilek, Hasan and Huseyin. (2012)	P05	78	6	16	-	-
Wei SU. et al. (2015)	Sample 3	90.6	9	-	0.4	-
van der Merwe R., and Sacks N. (2013)	WC-B	94	5.9	0	0.09	0.01

จากตาราง 3.9 แสดงส่วนผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ โคบอลต์โลหะประสาน และ ส่วนประกอบของโลหะผสม จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา ที่ได้สรุปไว้ว่า มีประสิทธิภาพด้าน คุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุด

3.6 ออกแบบการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ และสารเติมแต่ง เพื่ออัดขึ้นรูปเป็นเม็ดมีดอินเสิร์ต(Insert) เม็ดมีดสำเร็จรูปสำหรับงานกลึง งานกัดผิวโลหะ ได้ศึกษา งานวิจัยและสามารถออกแบบการทดลองได้ดังนี้

3.6.1 การผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์และโลหะผสม

ตาราง 3.10 กำหนดอัตราส่วนผสมทางเคมีเพื่อการผลิตเม็ดมีด(Insert tools)

วัสดุ	Co (wt%)	TiC (wt%)	NbC (wt%)	TaC (wt%)
รายการ				
Sample 1	10	15	0	0
Sample2	8	17	0	0
Sample 3	8	16	1	0
Sample 4	9	15	1	0
Sample 5	9	15	0.5	0.5
(ผงซื้อ)Sample 6	9	15	0.5	0.5
Particle size (μm)	0.9	0.8	0.8	0.8

จากตาราง 3.10 แสดงส่วนผสมผงโลหะการผลิตชิ้นส่วนโลหะจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ และส่วนผสมของโลหะผสม ขนาดของผงที่ จะนำมาผสมตามกำหนด และทำการอบผงนี้ถัดไป

ตาราง 3.11 แสดงคุณสมบัติทางกลของธาตุ

วัสดุ	WC	Co	TiC	NbC	TaC
คุณสมบัติ					
ต้านทานการกัดกร่อน			1	1	1
เพิ่มความแข็ง			16	1-2	0-4
ยับยั้งการเจริญเติบโตของเกรน WC				1-2	0-4
ต้านทานการสึกหรอ			1	1	0-1

ลดรูปทรงและเพิ่มความหนาแน่น	16		
ลดการแตกหัก		0-2	0-4
ทนต่อความร้อนสูง	1	1	1

จากตาราง 3.11 แสดงคุณสมบัติทางกลของธาตุ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ WC, โคบอลต์ Co, ไทเทเนียมคาร์ไบด์ Ti, ไนโอเบียมคาร์ไบด์ NbC และแทนทาลัมคาร์ไบด์ TaC และช่วงสัดส่วนในการผสมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในธาตุแต่ละชนิด

3.6.2 การอัดขึ้นรูป (Pressing)

นำผงโลหะที่ทำการผสมมาทำการกดอัดขึ้นรูป โดยผ่านแม่พิมพ์ ด้วยการควบคุมแรงอัดที่ 200 MPa หลังจากกดอัดเสร็จ นำมาวิเคราะห์และตรวจสอบความหนาแน่น

จากการศึกษางานวิจัยที่ พบว่าแรงอัดที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 200 MPa - 400 MPa และที่นิยมใช้จะอยู่ที่ 200 MPa

3.6.3 การอบผนึก (Sintering)

ทำการอบผนึกชิ้นงาน (Green Compact) หลังจากการอัดขึ้นรูปตามเงื่อนไขดังนี้

1) เริ่มอบที่อุณหภูมิห้องโดยใช้อัตราความร้อน 5 °/ นาที จนถึงอุณหภูมิที่ 500 ° คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 50 นาที

2) จากนั้นใช้อัตราความร้อน 5 °/ นาที จนถึงอุณหภูมิที่ 800 ° คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 15 นาที

3) จากนั้นใช้อัตราความร้อน 6 °/ นาที จนถึงอุณหภูมิที่ 1,200 ° คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 20 นาที

4) จากนั้นใช้อัตราความร้อน 4 °/ นาที จนถึงอุณหภูมิที่ 1,450 ° คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 50 นาทีและเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

ในบทที่ 3 นี้เป็นศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในด้านส่วนผสม กรรมวิธีในการทดลอง คุณสมบัติโลหะประสาน ความแข็ง และ ผลที่ได้จากงานวิจัย รวมทั้งข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นงาน ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อใช้ในการออกแบบส่วนผสมในการทดลอง การวิจัยเรื่องการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co และ ทำให้สามารถออกแบบส่วนผสมการทดลองได้ดังตารางที่ 3.10 เพื่อนำไปใช้ทำการทดลองในบทถัดไป

บทที่ 4

วิธีการทดลอง

จากรายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัย พัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ดังกล่าว ในบทที่ 3 จึงนำไปสู่การทดลองตามที่ออกแบบการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ไว้ถึงเครื่องมือ กระบวนการทดลอง และสูตรการทดลองดังนี้

4.1 การดำเนินการทดลอง

4.1.1 การเตรียมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากการรีไซเคิล

การเตรียมการทดลองการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.2 วิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล

4.1.2.1 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลต์

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ก่อนทำการบดเพื่อการลดขนาด Particle Size ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ



ภาพ 4.1 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ หรือ X-ray Diffractometer (XRD)



ภาพ 4.2 วัสดุดิบ อุปกรณ์ เครื่องมือในการทดลอง

จากภาพ 4.2 จัดเตรียมและตรวจเช็ค เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ AND HR-200 ,เครื่องบด PLANETARY MONO MILL PULVERISETTE 6, ลูกบดขนาด 10 mm, ผงทั้งสแตนเลสเคลือบและ อุปกรณ์เครื่องมือที่จัดเตรียม



ภาพ 4.3 ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลใช้ในการทดลอง

จากภาพ 4.3 เป็นลักษณะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล 350 กรัม เตรียมการผลิตชิ้นงานเพื่อพัฒนาเม็ดมิดทั้งสแตนคาร์ไบด์



ภาพ 4.4 ลูกบดขนาด 10 mm.

จากภาพ 4.4 ทำการเตรียมลูกบดปริมาณ 1:10 เพื่อบดผงทังสเตนรีไซเคิล โดยการล้างด้วยเอทานอล(Ethanol)



ภาพ 4.5 ทำการคัดกรองผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิล

จากภาพ 4.5 ทำการคัดกรองขนาด Particle Size ของผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลเพื่อทำการบดให้ได้ขนาดที่กำหนดไว้



ภาพ 4.6 การใส่ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและลูกบดลงในหม้ออบ

จากภาพ 4.6 ทำการเตรียมการบดโดยการนำผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลลงในหม้ออบและลูกบดขนาด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 และเติมเอทานอล(Ethanol) ลงในหม้ออบจนท่วมลูกบด



ภาพ 4.7 การใส่หม้ออบเข้าเครื่องเตรียมการบด

จากภาพ 4.7 ทำการนำหม้ออบเข้าเครื่องเพื่อทำการบดผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ในเวลา 150 ชั่วโมง โดยทำการบด 30 นาที พัก 5 นาที จนครบ 300 ชั่วโมง ใช้ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อ นาที



ภาพ 4.8 การเตรียมการคัดแยกผงทังสเตนคาร์ไบด์ออกจากลูกบด

จากภาพ 4.8 ทำการคัดแยกผงทังสเตนคาร์ไบด์ออกจากถ้วยบด และลูกบดหลังจากบดครบตามเวลาที่กำหนด โดยทำการล้างด้วยเอทานอล (Ethanol) เพื่อแยกผงออกจากลูกบด



ภาพ 4.9 การรอให้ทังสเตนคาร์ไบด์ตกตะกอน

จากภาพ 4.9 การรอให้ทังสเตนคาร์ไบด์ตกตะกอน หลังจากการบดเพื่อลดขนาด Particle Size ของผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลเพื่อทำการบดให้ได้ขนาด และการล้างด้วยเอทานอล (Ethanol) เพื่อแยกผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลออกจากถ้วยบด และลูกบด



ภาพ 4.10 การตกตะกอนของผงทั้งสแตนคาร์ไบต์

จากภาพ 4.10 การตกตะกอนของผงทั้งสแตนคาร์ไบต์รีไซเคิล หลังจากการบดเพื่อลดขนาด Particle Size ของผงทั้งสแตนคาร์ไบต์รีไซเคิลเพื่อทำการบดให้ได้ขนาด และการล้างด้วยเอทานอล (Ethanol)



ภาพ 4.11 แยกผงทั้งสแตนคาร์ไบต์รีไซเคิลออกจากเอทานอล (Ethanol)

จากภาพ 4.11 ทำการแยกผงทั้งสแตนคาร์ไบต์รีไซเคิลออกจากเอทานอล (Ethanol) หลังจากการตกตะกอนของผงทั้งสแตนคาร์ไบต์รีไซเคิล หลังจากการบดเพื่อลดขนาด Particle Size ของผงทั้งสแตนคาร์ไบต์รีไซเคิลเพื่อทำการบดให้ได้ขนาด และการล้างด้วยเอทานอล (Ethanol)

4.2 การอบแห้งผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล

หลังจากการบดผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล เพื่อการลดขนาด Particle Size ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลเพื่อทำการบดให้ได้ขนาดที่กำหนดไว้ และทำการคัดแยกผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ออกจากถ้วยบด และลูกบด หลังจากบดครบตามเวลาที่กำหนด โดยทำการล้างด้วยเอทานอล (Ethanol) เพื่อแยกผงออกจากลูกบดแล้ว แล้วนำมาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นโดยทำการอบด้วย ตู้อบไฟฟ้าของ WK INSULATOR & TRADING. (MODEL: ET303030, SER:520217/002, MAX :1300 c°) โดยใช้ อุณหภูมิไปที่ 100 c° 1 ชั่วโมงและ อุณหภูมิแช่ไว้ที่ 100 c° 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น นำผงที่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลจากการบด เพื่อการลดขนาด Particle Size ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ด้วยวิธีการ XRD , SEM และ TEM



ภาพ 4.12 การเตรียมการอบแห้งผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

จากภาพ 4.12 เป็นการเตรียมนำผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ที่ผ่านการบดเพื่อลดขนาด Particle Size และ ทำการแยกผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลออกจากถ้วยบด และลูกบดแล้วนำมาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่เตาอบไฟฟ้าของ WK INSULATOR & TRADING. (MODEL: ET303030, SER:520217/002, MAX :1300 c°) โดยใช้อุณหภูมิไปที่ 100 c° 1 ชั่วโมงและ อุณหภูมิแช่ไว้ที่ 100 c° 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น



ภาพ 4.13 หลังการอบแห้งผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

จากภาพ 4.13 หลังจากผ่านการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่เตาอบไฟฟ้าอุณหภูมิไปที่ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ อุณหภูมิแช่ไว้ที่ 100 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น ทำการเปิดตู้ที่ อุณหภูมิเตาที่ 50 °C นำผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลออกจากตู้อบไฟฟ้า จะเห็นว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลแห้งสนิทอยู่กันถ้วยบีกเกอร์ ทำการบด และ นำไปตรวจวิเคราะห์วัสดุด้วยเทคโนโลยี SEM, XRD, XRF

4.3 วิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลหลังบดก่อนการผสม

4.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล หลังทำการบดที่ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 150 ชั่วโมง ก่อนการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ

4.3.2 การวัดขนาดและการกระจายอนุภาคด้วยเทคนิค Particle Size Analyzer



ภาพ 4.14 วัดขนาดและการกระจายอนุภาคด้วยเทคนิค Particle Size Analyzer

4.3.3 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)



ภาพ 4.15 เครื่องวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด (SEM)

การตรวจวิเคราะห์ผงโลหะด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ในผง ทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิล หลังทำการบดที่ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 150 ชั่วโมง และมีผงโคบอลต์ ผง ไทเทเนียมคาร์ไบด์ ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ ก่อนการผสม ดังภาพ

4.4 ขั้นตอนการผสมผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์และโลหะผสม

จากการเตรียมผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลจากการบดเพื่อการลดขนาด Particle Size ของผง ทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลให้ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้แล้ว และ การวิเคราะห์ด้วยวิธี SEM, XRD และ XRF แล้ว ก็นำมาผสมตามตารางที่ 3.7 แสดงส่วนผสมผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์นำมาผสมดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 10% โดย น้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 8% โดย น้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 17% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 3 โดยใช้ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 8% โดย น้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 16% โดยน้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมา บดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 4 โดยใช้ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 9% โดย น้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมา บดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 5 โดยใช้ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 9% โดย น้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และ แทนทาลัม 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 6 โดยใช้ผงทังสเตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และ แทนทาลัม 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

4.4.1 การเตรียมวัตถุดิบโลหะผงและอุปกรณ์ ในการผสมตามสัดส่วน



ภาพ 4.16 เตรียมวัตถุดิบในการผสมตาม Sample ที่ 1 และ 2 ปริมาณที่กำหนด

จากภาพ 4.16 เป็นการเตรียมส่วนผสมตามส่วนผสมตาม Sample ที่ 1 และ 2 ประกอบด้วยผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก, โคบอลต์ที่ 8%, 10% โดยน้ำหนัก, ผงไททาเนียมคาร์ไบด์ 15%, 17% โดยน้ำหนัก, พาราฟินแวกซ์ 2% โดยน้ำหนักและลูกบด 10 mm.



ภาพ 4.17 ผสมผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์

จากภาพ 4.17 การใส่ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด และลูกบด 10 mm.



ภาพ 4.18 ผสมพาราฟินแวกซ์กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์

จากภาพ 4.18 การใส่พาราฟินแวกซ์ลงผสมกับ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด



ภาพ 4.19 ใส่ผงไททานเนียมคาร์ไบด์

จากภาพ 4.19 การใส่ผงไททานเนียมคาร์ไบด์ลงผสม กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด ปิดฝาหม้อบดแล้วนำเข้าเครื่องบดโดยใช้ ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง



ภาพ 4.20 เตรียมวัตถุดิบในการผสมตาม Sample ที่ 3, 4 ปริมาณที่กำหนด

จากภาพ 4.20 เป็นการเตรียมส่วนผสมตามส่วนผสมตาม Sample ที่ 3, 4 ประกอบด้วยผงสังสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก, โคบอลต์ที่ 8%, 9% โดยน้ำหนัก, ผงไททาเนียมคาร์ไบด์ 15%, 16% โดยน้ำหนัก, และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนักพาราฟินแวกซ์ 2% โดยน้ำหนัก และลูกบด 10 mm.



ภาพ 4.21 ผสมผงสังสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์

จากภาพ 4.21 การใส่ผงสังสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด และลูกบด 10 mm.



ภาพ 4.22 ผสมพาราฟินแวกซ์กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์

จากภาพ 4.22 การใส่พาราฟินแวกซ์ลงผสมกับ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด



ภาพ 4.23 ใส่ผงไททานเนียมคาร์ไบด์และไนโอเบียมคาร์ไบด์

จากภาพ 4.23 การใส่ผงไททานเนียมคาร์ไบด์และไนโอเบียมคาร์ไบด์ลงผสม กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด ปิดฝาหม้อบดแล้วนำเข้าเครื่องบดโดยใช้ ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง



ภาพ 4.24 เตรียมวัตถุดิบในการผสมตาม Sample ที่ 5 และ 6 ปริมาณที่กำหนด

จากภาพ 4.24 เป็นการเตรียมส่วนผสมตามส่วนผสมตาม Sample ที่ 5 และ 6 ประกอบด้วย ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก, โคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก, ผงไททาเนียมคาร์ไบด์ 15% โดยน้ำหนัก, ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และแทนทาลัมคาร์ไบด์ 0.5% โดยน้ำหนัก พาราฟินแวกซ์ 2% โดยน้ำหนักและลูกบด 10 mm.



ภาพ 4.25 ผสมผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์

จากภาพ 4.25 การใส่ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด และลูกบด 10 mm.



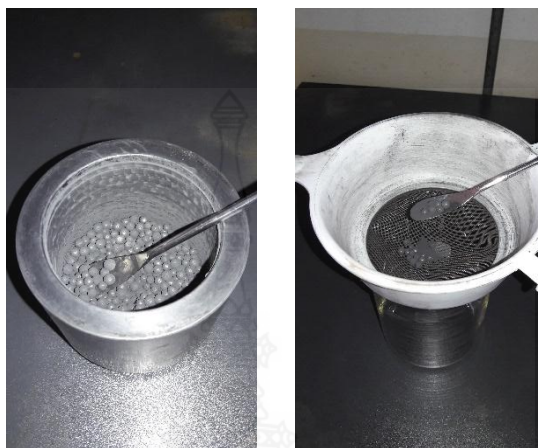
ภาพ 4.26 ผสมพาราฟินแวกซ์กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์

จากภาพ 4.26 การใส่พาราฟินแวกซ์ลงผสมกับ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้ออบตามสัดส่วนที่กำหนด



ภาพ 4.27 ใส่ผงไททาเนียมคาร์ไบด์กับไนโอเบียมคาร์ไบด์และแทนทาลัมคาร์ไบด์

จากภาพ 4.27 การใส่ผงไททาเนียมคาร์ไบด์,ไนโอเบียมคาร์ไบด์และแทนทาลัมคาร์ไบด์ลงผสม กับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและโคบอลต์ลงผสมในหม้อบดตามสัดส่วนที่กำหนด ปิดฝาหม้อบดแล้วนำเข้าเครื่องบดโดยใช้ ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง



ภาพ 4.28 การแยกผงออกจากลูกบด

จากภาพ 4.28 ทำการแยกผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการผสมและบด ออกจากถ้วยบดลูกบด



ภาพ 4.29 การบรรจุผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์

จากภาพ 4.29 ทำการบรรจุผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ หลังจากทำการแยกผงออกจากลูกบดที่ทำการผสมแล้วในแต่ละสูตร

4.4.2 การตรวจวิเคราะห์ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยเทคนิค (Transmission Electron Microscope: TEM)

การวิเคราะห์หาลักษณะประกอบด้วยเทคนิควิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน(Transmission Electron Microscope: TEM) ในผงทังสเตนคาร์ไบด์หลังทำการการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ทั้ง 6 สูตร



ภาพ 4.30 เครื่องวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM)

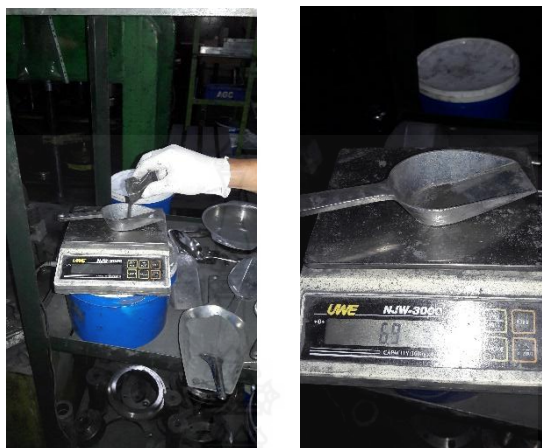
4.5 การนำผงมาอัดขึ้นรูป (Pressing)

เป็นการอัดขึ้นรูปผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ ที่ผ่านการผสมเรียบร้อยแล้ว นำมาอัดในแม่พิมพ์ตามรูปทรงที่กำหนด เมื่อได้ชิ้นงานจากการอัดในแม่พิมพ์จะเรียกว่า green compact จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกันในระดับหนึ่ง เงื่อนไขในการอัดขึ้นรูปโดยใช้พิมพ์เม็ดมีดทรง TNMG160408M-RS1



ภาพ 4.31 เครื่องอัดขึ้นรูปผงโลหะและแบบแม่พิมพ์

จากภาพ 4.31 เตรียมเครื่องอัดขึ้นรูปผงโลหะ และติดตั้งแม่พิมพ์ของเม็ดมีดรูปทรง TNMG160408M-RS1 ในการเตรียมอัดขึ้นรูปผงโลหะ



ภาพ 4.32 การชั่งตวงวัตถุดิบผง

จากภาพ 4.32 ทำการชั่งน้ำหนักผงโลหะที่ทำการผสมแล้ว เตรียมการอัดขึ้นรูปผงโลหะ ในแม่พิมพ์ของเม็ดมีดรูปทรง TNMG160408M-RS1



ภาพ 4.33 การใส่ผงเข้าในพิมพ์เม็ดมีดเตรียมอัดขึ้นรูป

จากภาพ 4.33 นำผงโลหะที่ได้ทำการชั่งน้ำหนักใส่ในแม่พิมพ์ เตรียมเครื่องอัดขึ้นรูปผงโลหะ โดยทำการเกลี่ยผงโลหะให้เต็มในแม่พิมพ์



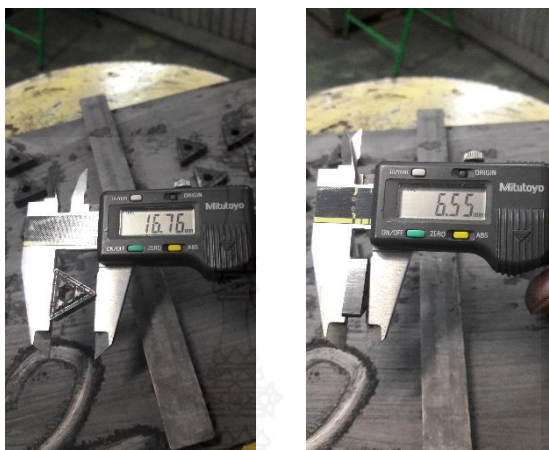
ภาพ 4.34 ผงที่ผ่านการอัดขึ้นรูป

จากภาพ 4.34 ทำการกดอัดขึ้นรูปผงโลหะ และได้ชิ้นงานซึ่งเรียกว่า green compact จะมีความแข็งแรงจากการยึดเกาะกันในระดับหนึ่ง ของเม็ดมีดรูปทรง T และทำการตรวจสอบลักษณะรูปทรง ขนาด และการแตกหัก



ภาพ 4.35 การวัดความหนาแน่น green compact หลังจากการอัดขึ้นรูป

จากภาพ 4.35 ทำการวัดความหนาแน่นของชิ้นงาน green compact หลังจากการอัดขึ้นรูปผงโลหะ



ภาพ 4.36 การวัดชิ้นงาน green compact หลังการอัดขึ้นรูป

จากภาพ 4.36 ทำการวัดขนาดของชิ้นงาน green compact หลังจากการอัดขึ้นรูปผงโลหะ เพื่อตรวจสอบเช็คขนาดได้ได้ตามกำหนดและทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน

4.6 การอบพูนิก (Sintering)

การอบพูนิก เป็นการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานหลังจากการอัดขึ้นรูปผ่านแม่พิมพ์และ ชิ้นงานที่ได้จะยังไม่มี ความแข็งแรงมากพอที่จะใช้งานได้ ต้องทำการอบพูนิกที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว เพื่อให้โมเลกุลผสมจับตัวติดกัน ทำให้เกิดความแข็งแรงพร้อมใช้งาน



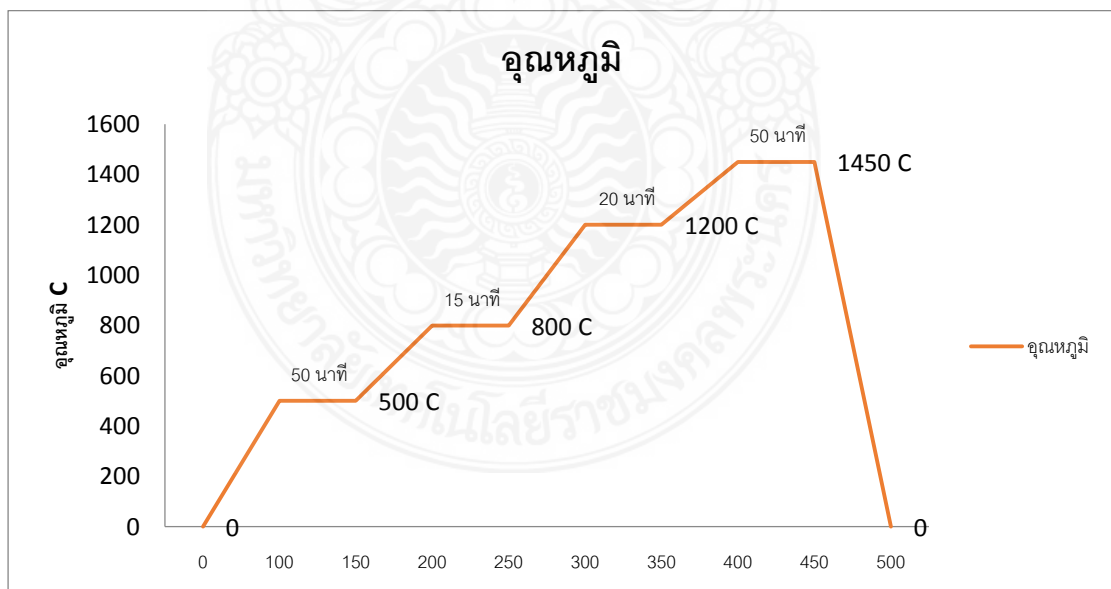
ภาพ 4.37 เตาอบสุญญากาศใช้ในการอบพูนิก

จากภาพ 4.37 เครื่องอบพ่นีสู่ญญากาศ VAC-LONG รุ่น VSG-200 ที่ใช้ในการอบพ่นิก
ชั้นงาน green compact หลังการอัดขึ้นรูป ทำจัดเตรียมชั้นงานเพื่อทำการ อบพ่นิก และตรวจสอบ
ความพร้อมของเครื่องอบพ่นีสู่ญญากาศ



ภาพ 4.38 นำชั้นงาน green compact เข้าเตาอบสุญญากาศ

จากภาพ 4.38 การนำชั้นงาน green compact เข้าเครื่องอบพ่นีสู่ญญากาศ VAC-LONG
รุ่น VSG-200 เตรียมอบพ่นิก ที่อุณหภูมิ 1450 °C



ภาพ 4.39 อุณหภูมิและเวลาเตาอบสุญญากาศ

จากภาพ 4.39 ควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการอบของชิ้นงาน green compact ที่เครื่องเตาอบสูญญากาศเพื่อให้โมเลกุลผสมจับตัวติดกัน ทำให้เกิดความแข็งแรงพร้อมใช้งานได้โดยใช้เวลา 5°C ต่อนาทีถึง 500°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 50 นาทีและใช้เวลา 5°C ต่อนาทีถึง 800°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 15 นาทีและ ใช้เวลา 6°C ต่อนาทีถึง 1200°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 20 นาที และ ใช้เวลา 4°C ต่อนาทีถึง 1450°C คงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 50 นาทีและปล่อยให้เย็นตัวลง



ภาพ 4.40 ชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก

จากภาพ 4.40 เป็นภาพชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึกโดยเครื่องอบสูญญากาศ VAC-LONG รุ่น VSG-200 ที่อุณหภูมิ 1450°C ทั้ง 6 สูตร



ภาพ 4.41 การวัดชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก

จากภาพ 4.41 ทำการวัดขนาดของชิ้นงาน หลังจากการอบผนึก เพื่อตรวจสอบเช็คขนาดให้ได้ตามกำหนดและ ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน

4.7 การตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล

การตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล ทางด้านความแข็ง โดยการนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบด้านความแข็งของชิ้นงานด้วยแรงกด 10 kgf และทดสอบนำชิ้นงานมาทดลองกลึงโลหะเพื่อดูประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกล



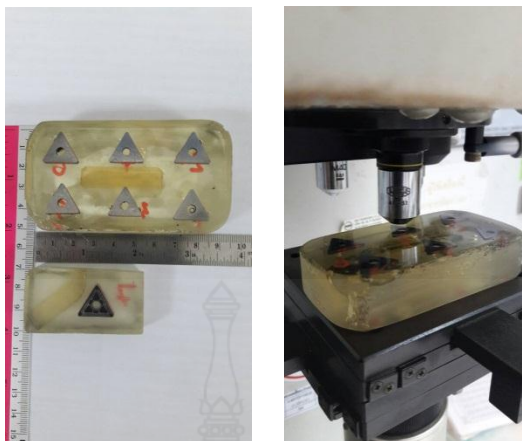
ภาพ 4.42 เครื่องทดสอบความแข็งเม็คมิด

จากภาพ 4.42 เครื่องทดสอบความแข็งเม็คมิด(Microhardness Tester : HV) เป็นเครื่องที่นำมาใช้ในการทดสอบความแข็งของชิ้นงานเม็คมิดที่ผ่านการอบผนึกแล้ว



ภาพ 4.43 เครื่องขัดสำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งเม็คมิด

จากภาพ 4.43 เครื่องขัดสำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบความแข็งเม็คมิด เพื่อการเตรียมผิวในการทดสอบ และดูโครงสร้างของชิ้นงานเม็คมิดที่ผ่านการอบผนึกแล้ว

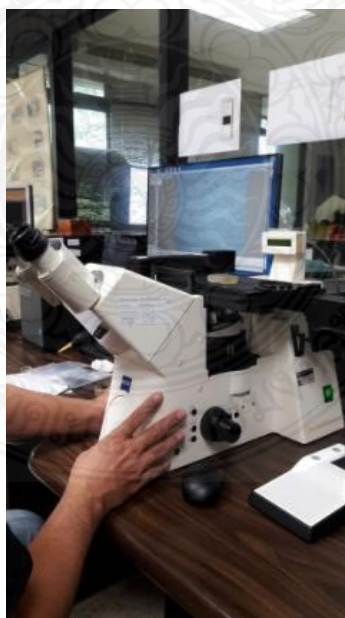


ภาพ 4.44 ชิ้นเตรียมในการทดสอบความแข็ง

จากภาพ 4.44 การทดสอบความแข็งของชิ้นงานเม็ดมิดที่ผ่านการเตรียมผิวชิ้นงานแล้ว โดยการกดแรงกดที่ 10 kgf เป็นแรงที่นิยมและเหมาะสมกับชิ้นงานทดสอบในการใช้ทดสอบความแข็ง

4.7.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (microstructure)

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พื้นผิวชิ้นงานโดยการเตรียมผิวจากการขัด และกัดกรด เพื่อดูโครงสร้างของเกรน (Grain) ด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์มาตรวจโครงสร้างด้วยกำลังขยาย 100 เท่า



ภาพ 4.45 กล้องจุลทรรศน์วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

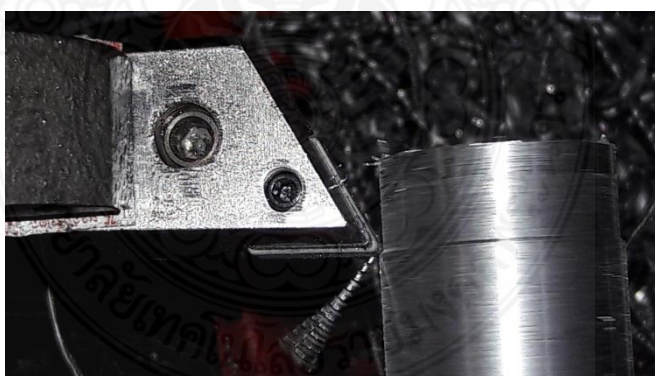
4.8 การกลึงทดสอบเม็ดมีด

การทดสอบเม็ดมีดจากการผลิตขึ้นมาทั้ง 6 สูตร ด้วยการทดสอบใช้งานจริง ด้วยวิธีการกลึงด้วยเครื่องกลึง CNC LATHE murata warner swasey รุ่น WSC-6 ด้วยการกลึงเหล็กเพลาเหล็กคาร์บอนปานกลาง S45C ขนาด 30 mm. ยาว 95 mm. กลึงยาว 30 mm. กลึงเหลือขนาด 28 mm. ด้วยความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 156 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.09 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 1.00 mm.



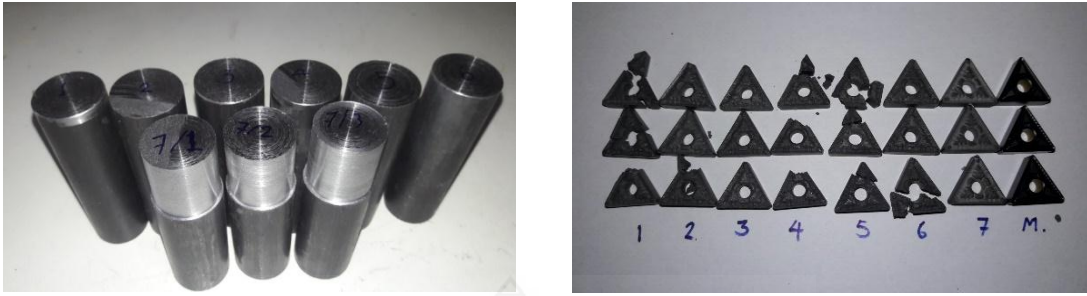
ภาพ 4.46 เครื่องกลึงในการทดสอบ

จากภาพ 4.46 การทดสอบนำชิ้นงานมาทดลองกลึงโลหะเพื่อดูประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกล ด้วยเครื่องกลึง CNC LATHE ยี่ห้อ murata warner swasey รุ่น WSC-6



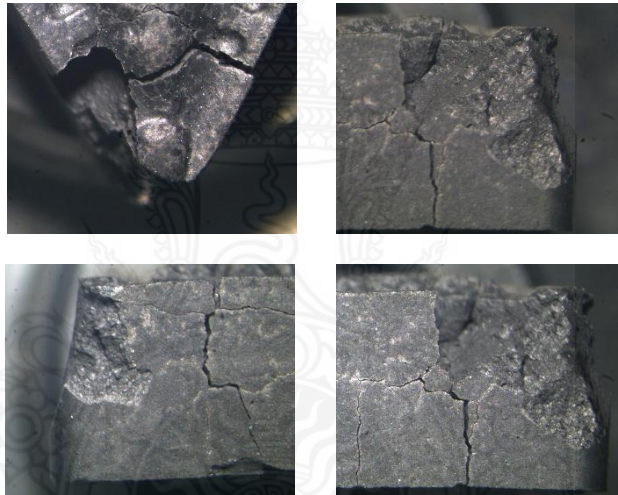
ภาพ 4.47 การกลึงทดสอบ

จากภาพ 4.47 การทดสอบกลึงโลหะเพื่อดูประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกล ด้วยเครื่องกลึง ด้วยเครื่องกลึง CNC LATHE murata warner swasey รุ่น WSC-6 ด้วยการกลึงเหล็กเพลาเหล็กคาร์บอนปานกลาง S45C ขนาด 30 mm. ยาว 95 mm. กลึงยาว 30 mm. กลึงเหลือขนาด 28 mm. ด้วยความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 156 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.09 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 1.00 mm.



ภาพ 4.48 ชิ้นงานและเม็ดเงินัดหลังการทดสอบ

จากภาพ 4.48 ชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C และลักษณะผิวของชิ้นงานจากการทดสอบ กลึงโลหะเพื่อดูประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานเม็ดเงินัด



ภาพ 4.49 ลักษณะการแตกหักหลังทดสอบ

จากภาพ 4.49 ลักษณะของการแตกหักของเม็ดเงินัด หลังจากผ่านการทดสอบการกลึงด้วย เครื่องกลึง CNC LATHE ยี่ห้อ murata warner swasey รุ่น WSC-6



ภาพ 4.50 การทดสอบความเรียบผิว

จากภาพ 4.50 การทดสอบความเรียบผิวชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยเครื่องยี่ห้อ Handysurf รุ่น E35A ที่ผ่านการทดสอบการกลึงด้วยเม็ดมีดที่ผลิตขึ้นจากสูตรผสมทั้ง 6 สูตร

ในบทที่ 4 นี้เป็นการทดลอง การวิจัยเรื่องการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co โดยได้ลำดับจากการเตรียมอุปกรณ์ และ ผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ การผสมผงโลหะ การอัดขึ้นรูปชิ้นงาน การอบผนึก และการทดสอบชิ้นงานแผ่นมีดด้วยการกลึง จนจบขั้นตอนการทดลองผลิตแผ่นมีด จากทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และ ทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายตามท้องตลาด

บทที่ 5

ผลการวิจัย

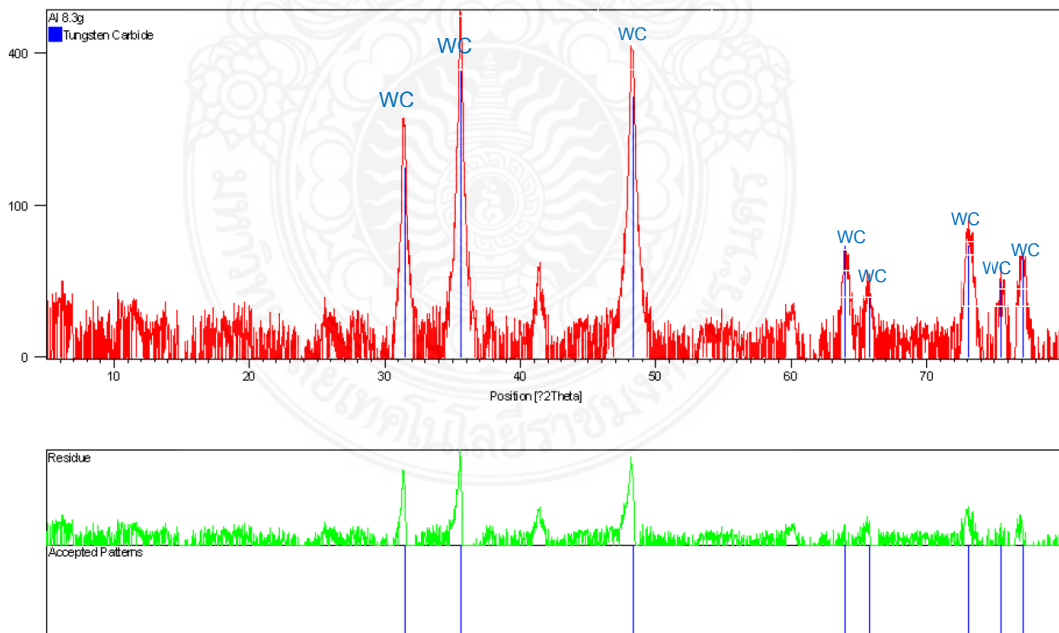
5.1 บทนำ

จากการทำการทดลองและการศึกษาการผสมผงโลหะ เข้ากับสารยึดเกาะตัวประสาน และธาตุผสมต่างๆ ตามส่วนผสมที่กำหนด และ ทำการอัดผงโลหะ และการอบผลึก จนได้ชิ้นงานซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ใช้ในงานกลึง กัด ชิ้นงานโลหะ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล และความหนาแน่น โดยเปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์มาตรฐานที่จำหน่ายในท้องตลาด ของเม็ดมีดซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ดังนี้

5.2 วิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลก่อนการบด

5.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ก่อนทำการบดและผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ดังในภาพที่ 5.1 และ ภาพที่ 5.2



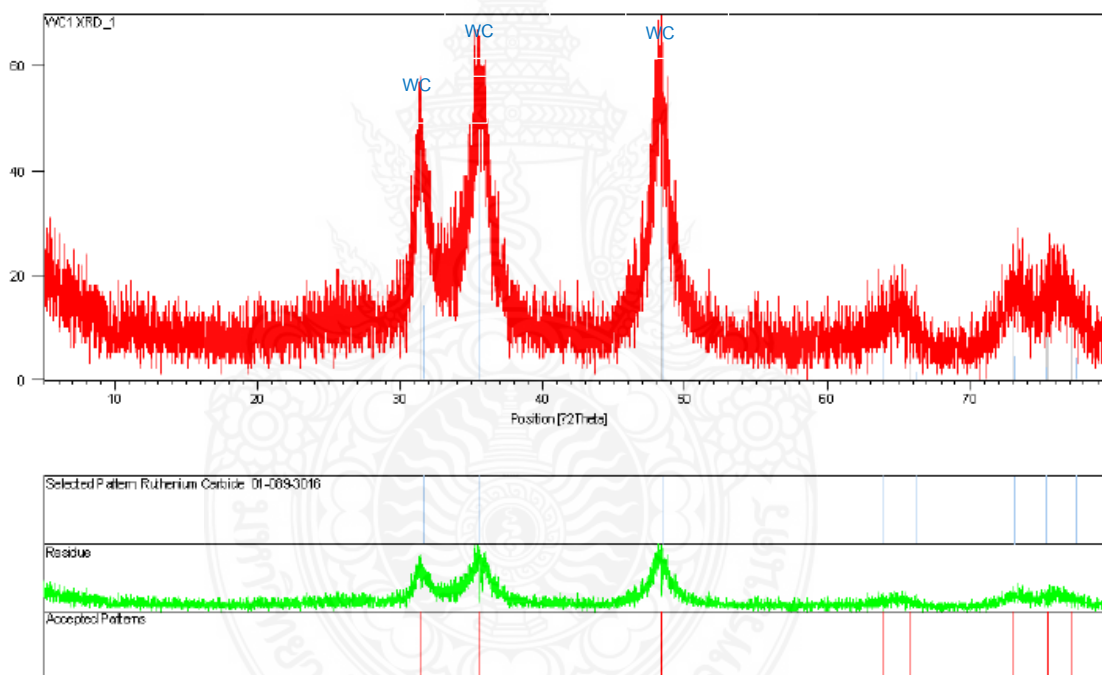
ภาพ 5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล (XRD)

จากภาพ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของธาตุโลหะผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล (XRD) จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบ พบว่ามีธาตุประกอบ คือ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) มีลักษณะรูปทรงแบบ Hexagonal และมีลักษณะตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 31.514, 35.640, 48.302, 64.018, 65.792, 73.106, 75.476, 77.129 และ 84.071 ดังแสดงในภาพ 5.1

5.3 วิเคราะห์ห้องค์ประกอบทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลหลังบดก่อนการผสม

5.3.1 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

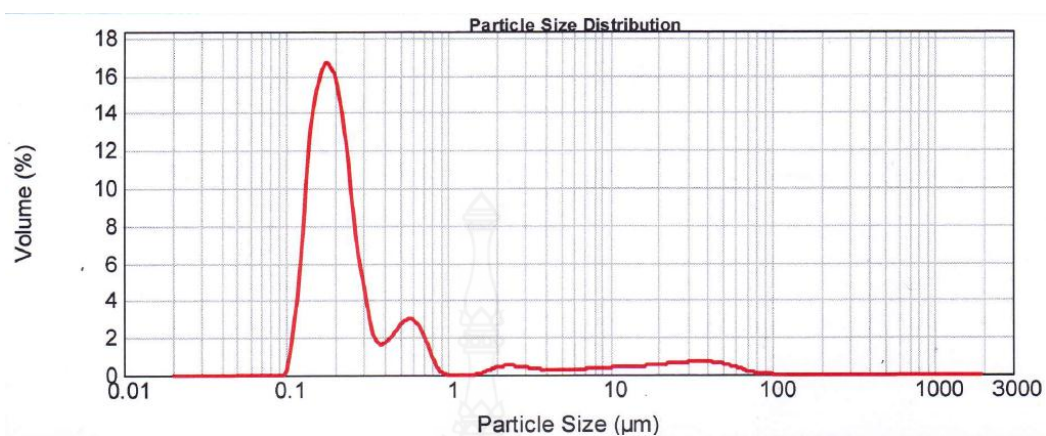
การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล หลังทำการบดที่ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 150 ชั่วโมง ก่อนการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ดังภาพ 5.2



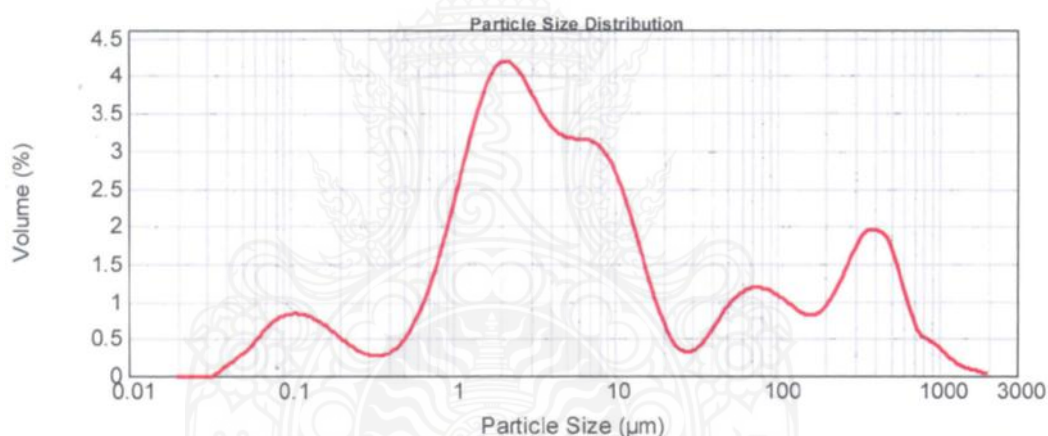
ภาพ 5.2 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

จากภาพ 5.2 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของธาตุ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล เพื่อการเตรียมรอการผสม จากการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบ พบว่ามีธาตุประกอบ คือ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) มีลักษณะรูปทรงแบบ Hexagonal และมีลักษณะตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 31.514, 35.640, 48.302, 64.018, 65.792, 73.106, 75.476, 77.129 และ 84.071 ดังภาพ 5.2

5.3.2 การวัดขนาดและการกระจายอนุภาคด้วยเทคนิค Particle Size Analyzer



ภาพ 5.3 ผลการวัดขนาดและการกระจายอนุภาคผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลก่อนการผสม

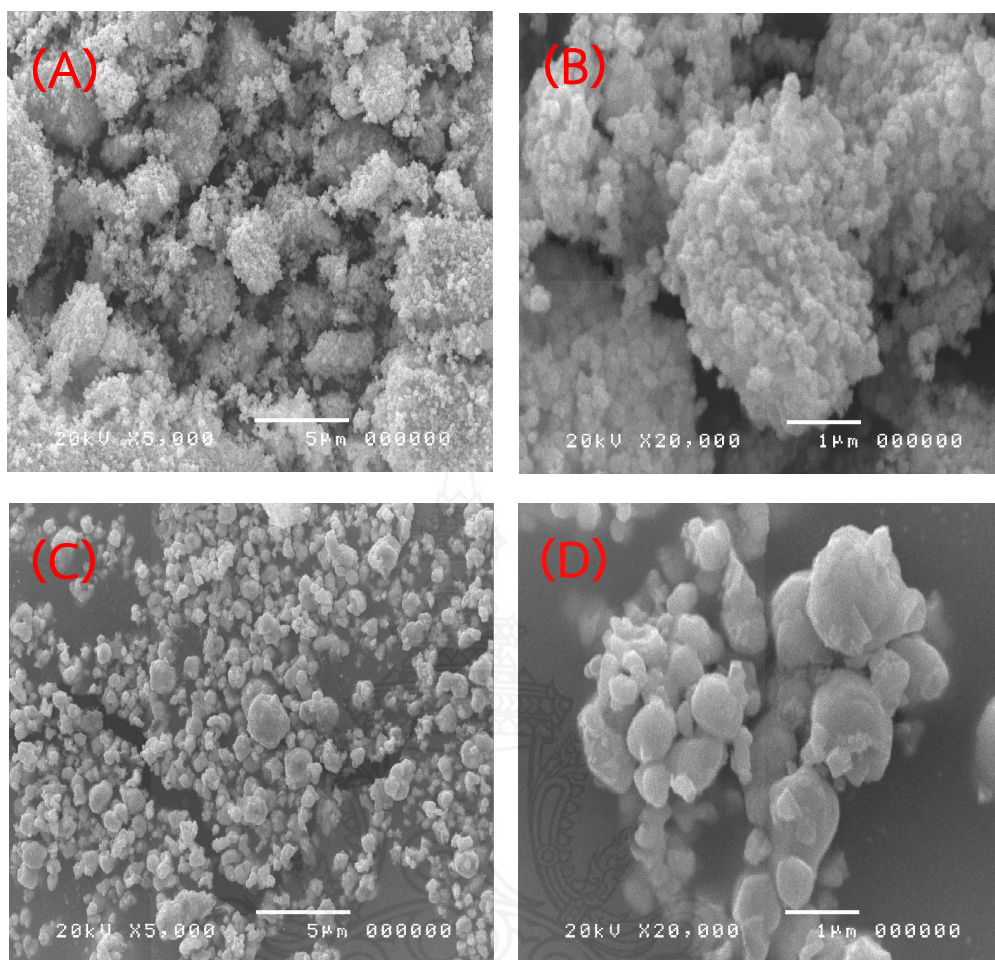


ภาพ 5.4 ผลการวัดขนาดและการกระจายอนุภาคผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากท้องตลาดก่อนการผสม

จากภาพ 5.3 และ 5.4 ผลจากการวัดขนาดและการกระจายอนุภาค โดยวิธีการ Particle Size Analyzer ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลก่อนการผสม ขนาดอนุภาคของผงอยู่ระหว่างช่วง 0.138 – 1.882 μm อนุภาคที่พบส่วนใหญ่มีขนาด 0.205 μm และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GMBH ก่อนการผสม ขนาดอนุภาคของผงอยู่ระหว่างช่วง 0.690 – 322.064 μm อนุภาคที่พบส่วนใหญ่มีขนาด 4.565 μm ดังภาพ

5.3.3 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

การตรวจวิเคราะห์ผงโลหะด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล หลังทำการบดที่ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 150 ชั่วโมง และมีผงโคบอลต์ ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์ ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ ก่อนการผสม



ภาพ 5.5 ภาพการตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และจากผู้จำหน่ายตามท้องตลาด ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า และ 20,000 เท่า

จากภาพ 5.5 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และจากผู้จำหน่ายตามท้องตลาด ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล (A) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (B) 20,000 เท่า พบว่า มีลักษณะรูปร่างของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีทั้งขนาดเล็ก และใหญ่ กระจายตัว รูปทรงมน รูปทรงเหลี่ยม มีรูปทรงกลมเล็กๆเป็นฝอยเกาะกลุ่มกัน และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายตามท้องตลาด (C) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (D) 20,000 เท่า ลักษณะรูปร่างของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์มี กระจายตัวสม่ำเสมอ รูปทรงมนกลมเรียงตัวกัน จะเห็นได้ว่า มีความแตกต่างกันในด้านรูปทรงของอนุภาค

5.3.4 การตรวจวิเคราะห์วัสดุดิบโลหะผงเตรียมการผสมด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X ray Fluorescence Spectroscopy)

ตาราง 5.1 ส่วนประกอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลก่อนการผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	92.57	0.142
2	Ti	2.04	0.063
3	Mg	1.34	0.294
4	Ta	1.33	0.029
5	Co	0.87	0.013
6	Nb	0.65	0.007
7	Mo	0.28	0.006
8	Hf	0.22	0.013
9	Fe	0.18	0.009
10	Pt	0.16	0.007
11	Re	0.14	0.023
12	Cu	0.14	0.008
13	Cd	0.06	0.012
14	Zr	0.02	0.003

จากตาราง 5.1 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลหลังจากการบดที่ 300 รอบ/นาที เป็นเวลา 150 ชั่วโมง ก่อนการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 14 ธาตุ ดังตาราง

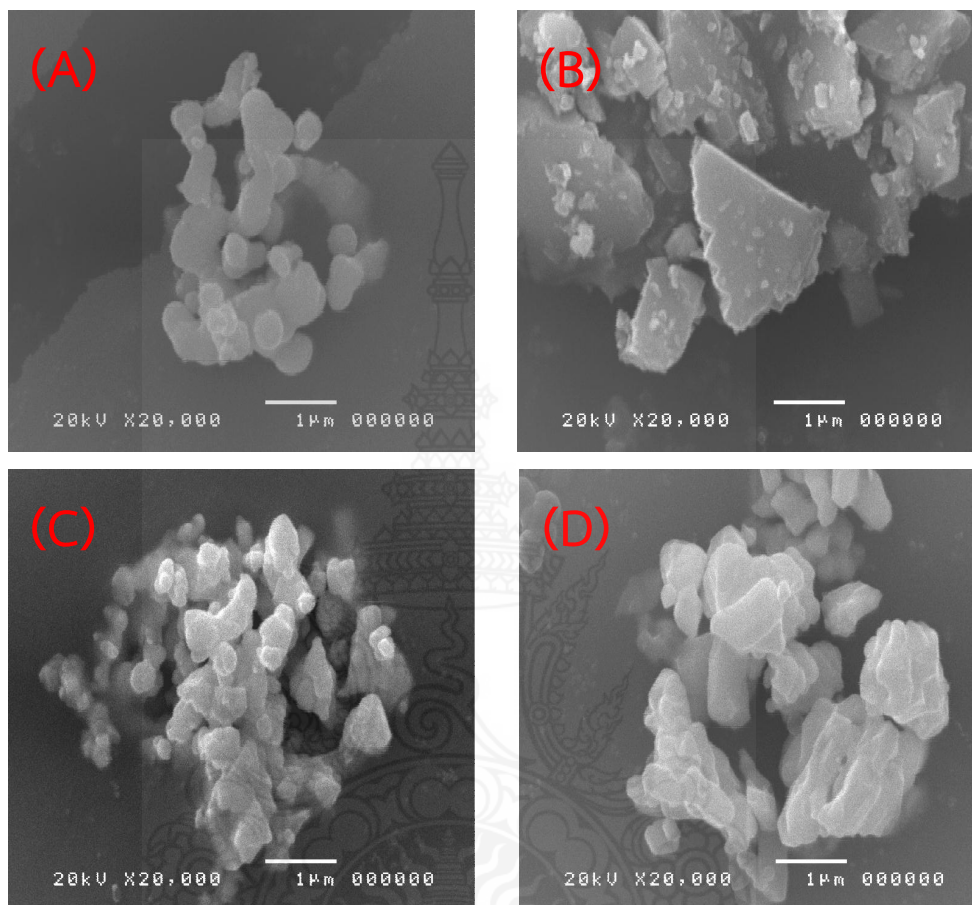
5.3.5 การตรวจวิเคราะห์วัสดุดิบโลหะผงเตรียมการผสมด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X ray Fluorescence Spectroscopy)

ตาราง 5.2 ส่วนประกอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ก่อนการผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	92.57	0.142
2	Re	2.04	0.063
3	Hf	1.34	0.294
4	Fe	1.33	0.029
5	Cu	0.87	0.013
6	Nb	0.65	0.007

จากตาราง 5.2 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย DURUM VERSCHLEISS-SCHUTZ GMBH ก่อนการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 6 ธาตุ จะมีธาตุเจือปนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทั้งสแตนรีไซเคิล ดังตาราง

5.3.6 การตรวจวิเคราะห์วัสดุชนิดโลหะผงเตรียมการผสมด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)



ภาพ 5.6 ภาพการตรวจวิเคราะห์ผงโลหะประสาน จากผู้จำหน่ายด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า

จากภาพ 5.6 การตรวจวิเคราะห์ (A) ผงโคบอลต์(Co) ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่า ลักษณะรูปร่างของผงโคบอลต์มีการกระจายตัวแบบเกาะกลุ่ม รูปทรงมนกลม (B) ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์(TiC) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่า ลักษณะรูปร่างของผงไทเทเนียมคาร์ไบด์มีการเรียงตัวแบบเกาะกลุ่ม รูปทรงเหลี่ยม (C) ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์(TaC) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่า ลักษณะรูปร่างของผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ มีการเรียงตัวแบบกระจายเกาะกลุ่มสม่ำเสมอ รูปทรงกลมมน (D) ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์(NbC) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่า ลักษณะรูปร่างของผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ มีการเรียงตัวแบบกระจายเกาะกลุ่มสม่ำเสมอ รูปทรงกลมมน เหลี่ยมมน เห็นได้ว่าผงโลหะมีความแตกต่างกัน

5.3.7 การตรวจวิเคราะห์วัตถุบิลโลหะผงหลังจากการผสม ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X ray Fluorescence Spectroscopy)

ตาราง 5.3 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 1 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	68.38	0.130
2	Ti	16.96	0.144
3	Co	11.68	0.046
4	Ta	0.82	0.026
5	Nb	0.44	0.006
6	Fe	0.31	0.011
7	Au	0.27	0.008
8	Pt	0.21	0.008
9	Mo	0.20	0.005
10	Hf	0.19	0.013
11	Cr	0.12	0.018
12	Ni	0.11	0.007
13	Cu	0.10	0.007
14	Re	0.07	0.021
15	Sb	0.06	0.017
16	Sn	0.05	0.014
17	Se	0.02	0.003
18	Zr	0.02	0.003

จากตาราง 5.3 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงสูตรที่ 1 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 18 ธาตุ ดังตาราง

ตาราง 5.4 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 2 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	67.65	0.131
2	Ti	14.90	0.136
3	Co	14.05	0.050
4	Nb	1.37	0.009
5	Ta	0.83	0.027
6	Fe	0.27	0.012
7	Mo	0.19	0.005
8	Pt	0.16	0.014
9	Hf	0.13	0.015
10	Cr	0.13	0.017
11	Ni	0.12	0.008
12	Cu	0.10	0.008
13	Sn	0.06	0.015
14	Se	0.03	0.005
15	Zr	0.02	0.003

จากตาราง 5.4 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงสูตรที่ 2 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 15 ธาตุ ดังตาราง

ตาราง 5.5 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 3 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	66.96	0.132
2	Ti	16.27	0.144
3	Co	12.71	0.049
4	Ta	1.55	0.033
5	Nb	1.52	0.010
6	Fe	0.27	0.012
7	Mo	0.23	0.005
8	Pt	0.16	0.017
9	Cu	0.10	0.010
10	Ni	0.10	0.008
11	Hf	0.08	0.015
12	Se	0.02	0.005
13	Zr	0.02	0.003

จากตาราง 5.5 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงสูตรที่ 3 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 13 ธาตุ ดังตาราง

ตาราง 5.6 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 4 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	66.96	0.127
2	Ti	16.05	0.138
3	Co	12.74	0.047
4	Ta	1.98	0.034
5	Nb	1.02	0.008
6	Fe	0.28	0.011
7	Mo	0.24	0.005
8	Pt	0.18	0.017
9	Cr	0.14	0.017
10	Hf	0.12	0.015
11	Cu	0.11	0.010
12	Ni	0.11	0.007
13	Se	0.05	0.005
14	Zr	0.02	0.003

จากตาราง 5.6 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงสูตรที่ 4 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 14 ธาตุ ดังตาราง

ตาราง 5.7 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 5 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	74.39	0.140
2	Ti	13.21	0.134
3	Co	10.80	0.045
4	Nb	0.41	0.006
5	Fe	0.26	0.011
6	Pt	0.19	0.010
7	Hf	0.18	0.014
8	Cr	0.16	0.018
9	Ta	0.12	0.019
10	Cu	0.10	0.007
11	Sb	0.07	0.017
12	Sn	0.06	0.015
13	Ni	0.05	0.007

จากตาราง 5.7 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงสูตรที่ 5 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 13 ธาตุ ดังตาราง

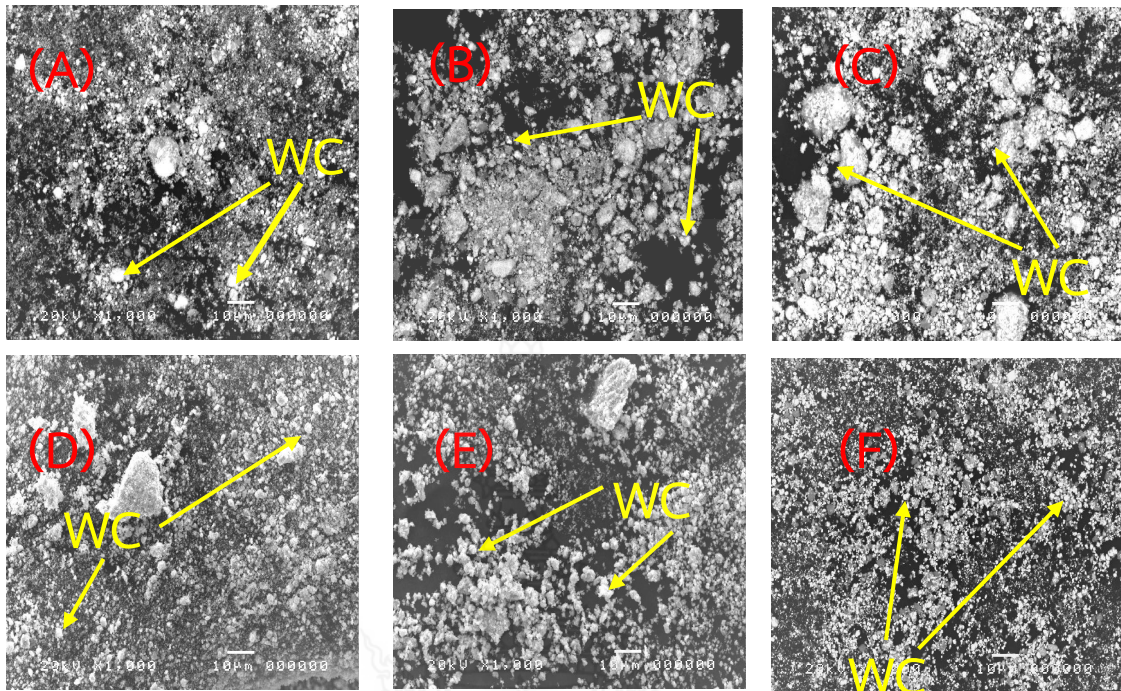
ตาราง 5.8 ส่วนประกอบผงสูตรที่ 6 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF)

No.	Compound Name	Conc. (%)	±
1	W	74.53	0.139
2	Ti	12.91	0.132
3	Co	10.92	0.045
4	Nb	0.42	0.006
5	Fe	0.22	0.011
6	Pt	0.18	0.009
7	Hf	0.15	0.015
8	Ta	0.14	0.020
9	Re	0.11	0.024
10	Cr	0.10	0.018
11	Cu	0.10	0.007
12	Ni	0.08	0.007
13	Sn	0.07	0.015
14	Sb	0.06	0.017

จากตาราง 5.8 ผลการตรวจสอบส่วนประกอบผงสูตรที่ 6 หลังการผสมตัวประสาน และธาตุผสมด้วยเทคนิค (XRF) พบว่ามีธาตุทั้งหมด 14 ธาตุ ดังตาราง

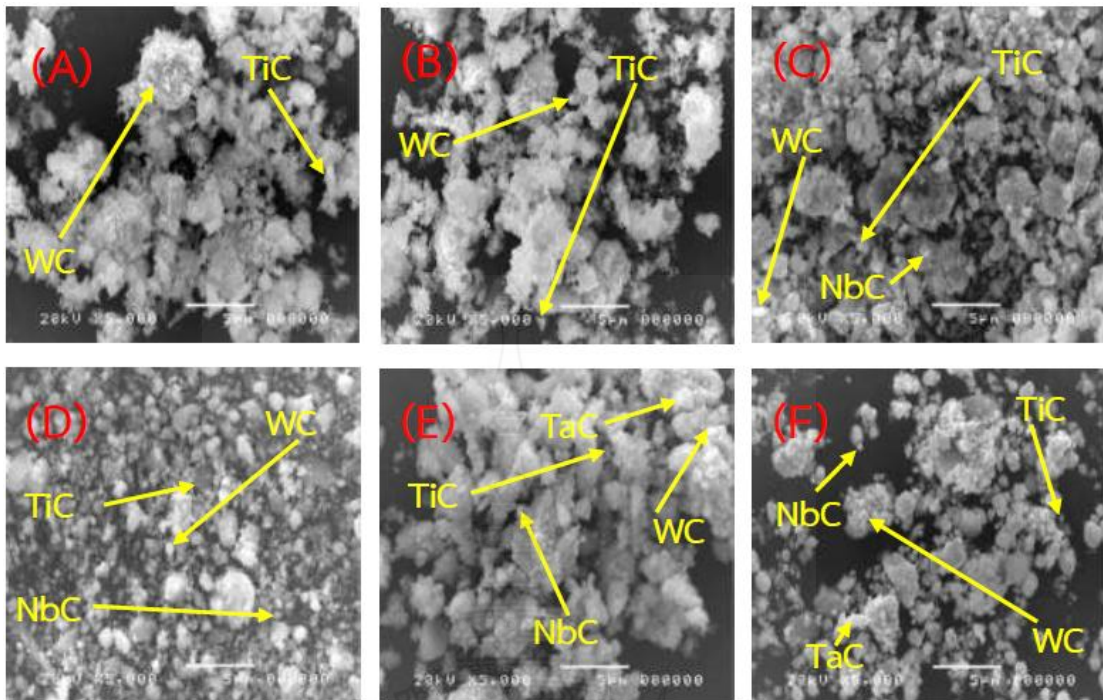
5.3.8 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

การวิเคราะห์ ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาด แบบ Back Scattered Electrons (BSE) เพื่อแสดงองค์ประกอบธาตุ ถ้าธาตุใดมีเลขอะตอม (atomic number) สูง ก็จะมีค่าความเข้มของสัญญาณ BSE ที่ธาตุนั้นมาก ซึ่งจะทำให้เกิดมีความสว่างของธาตุนั้นมากกว่าธาตุอื่น ดังภาพ 5.7 ที่กำลังขยาย (BSE) 1,000 เท่า หลังทำการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ทั้ง 6 สูตร ดังภาพ



ภาพ 5.7 การตรวจวิเคราะห์ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทังสเตนคาร์ไบด์จากห้องตลาดผ่านการผสมโลหะประสานด้วยเทคนิค (SEM) ที่กำลังขยาย (BSE) 1,000 เท่า

จากภาพ 5.7 การตรวจวิเคราะห์ผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผ่านการผสมด้วยเทคนิค (SEM) แบบ Back Scattered Electrons (BSE) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า รูป(A) สูตรที่ 1 รูป (B) สูตรที่ 2 รูป (C) สูตรที่ 3 รูป (D) สูตรที่ 4 รูป (E) สูตรที่ 5 จะเห็นได้ว่าผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ อยู่แบบเป็นกลุ่ม และผงทังสเตนคาร์ไบด์จากห้องตลาด รูป (F) สูตรที่ 6 ที่กำลังขยาย (BSE) 1,000 เท่า จะเห็นได้ว่าผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีการกระจายตัวแบบทั่วพื้นที่สม่ำเสมอ เป็นการผสมเข้ากับโลหะประสานได้ทั่วบริเวณ

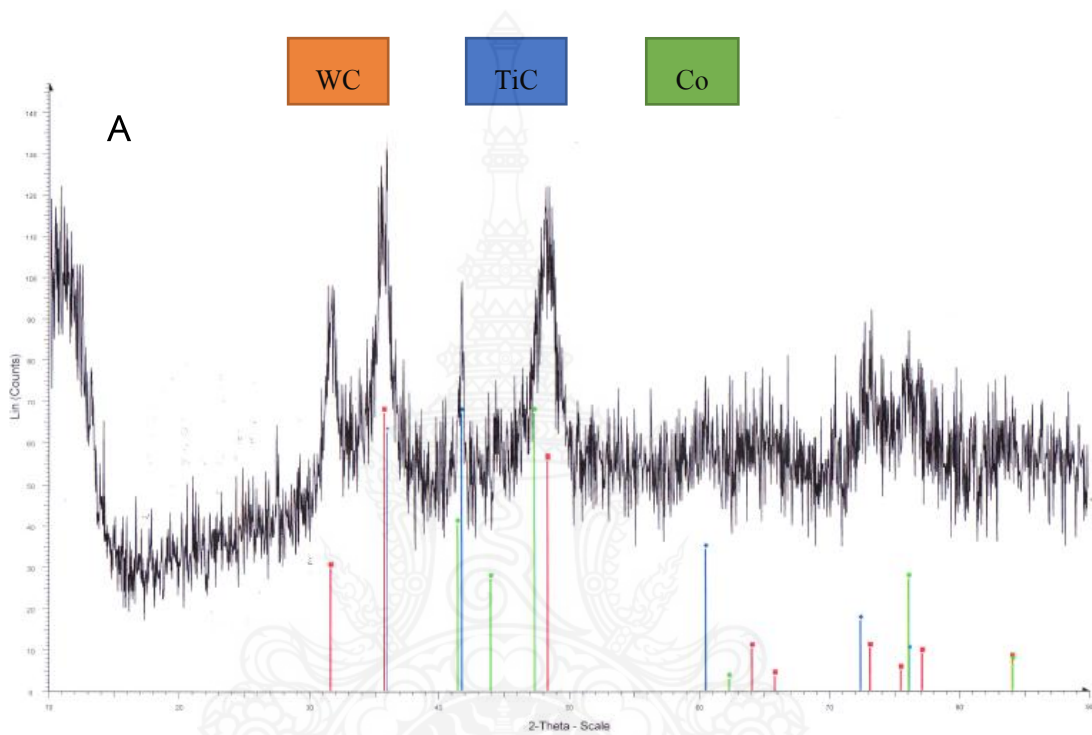


ภาพ 5.8 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาดผ่านการผสมโลหะประสาน ด้วยเทคนิค (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

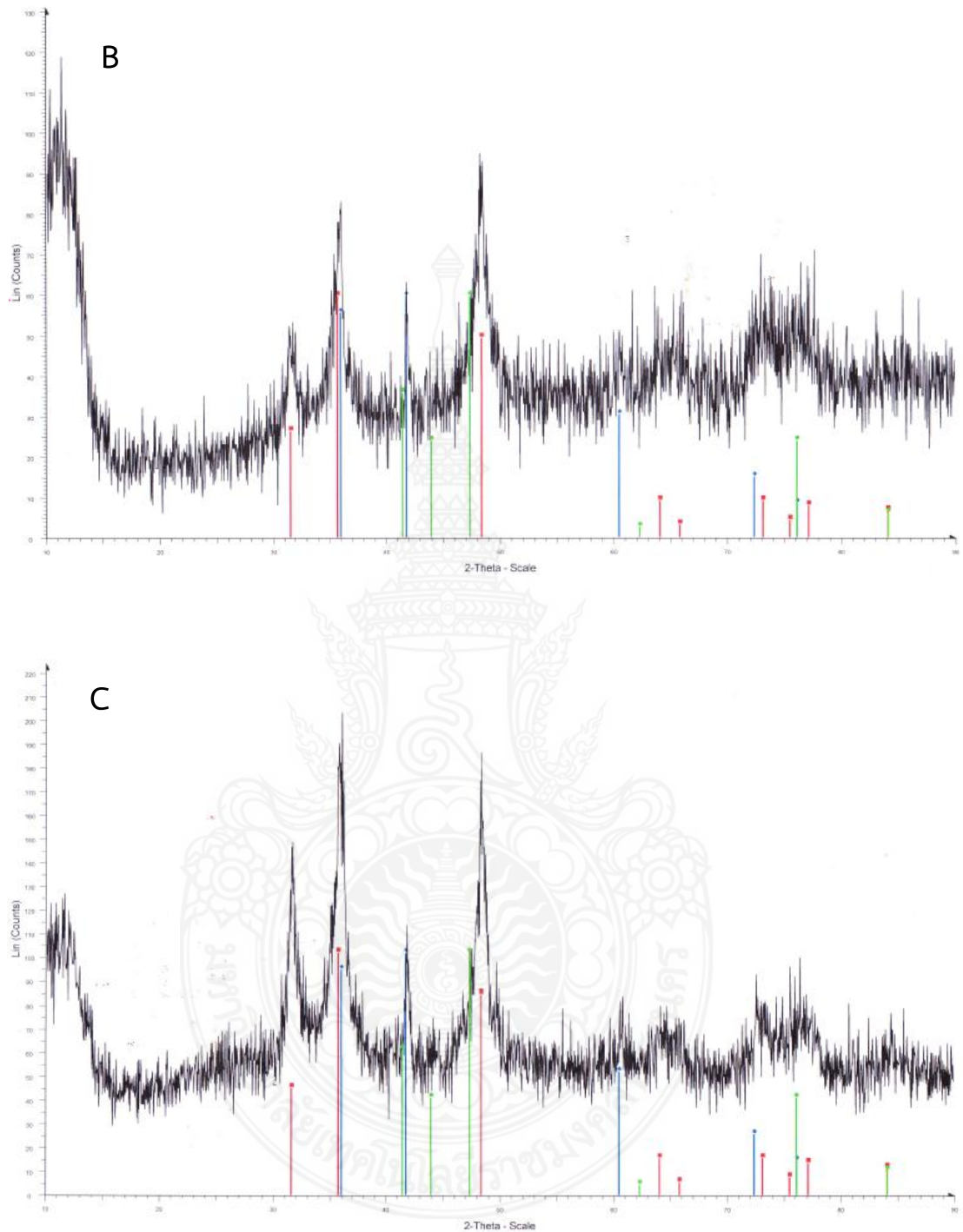
จากภาพ 5.8 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผ่านการผสมด้วยเทคนิค (SEM) รูป(A) สูตรที่ 1 รูป (B) สูตรที่ 2 รูป (C) สูตรที่ 3 รูป (D) สูตรที่ 4 รูป (E) สูตรที่ 5 และรูป (F) สูตรที่ 6 ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า จะเห็นได้ว่าผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องตลาด มีการกระจายตัว การเข้ารวมตัวหลังจากการผสมกับโลหะประสานของแต่ละสูตรจะต่างกัน โดยดูจากลักษณะรูปทรงของธาตุ ดังได้แสดงไว้ใน ภาพที่ 5.5 และ 5.6

5.3.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการผสมทั้ง 6 สูตรด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)

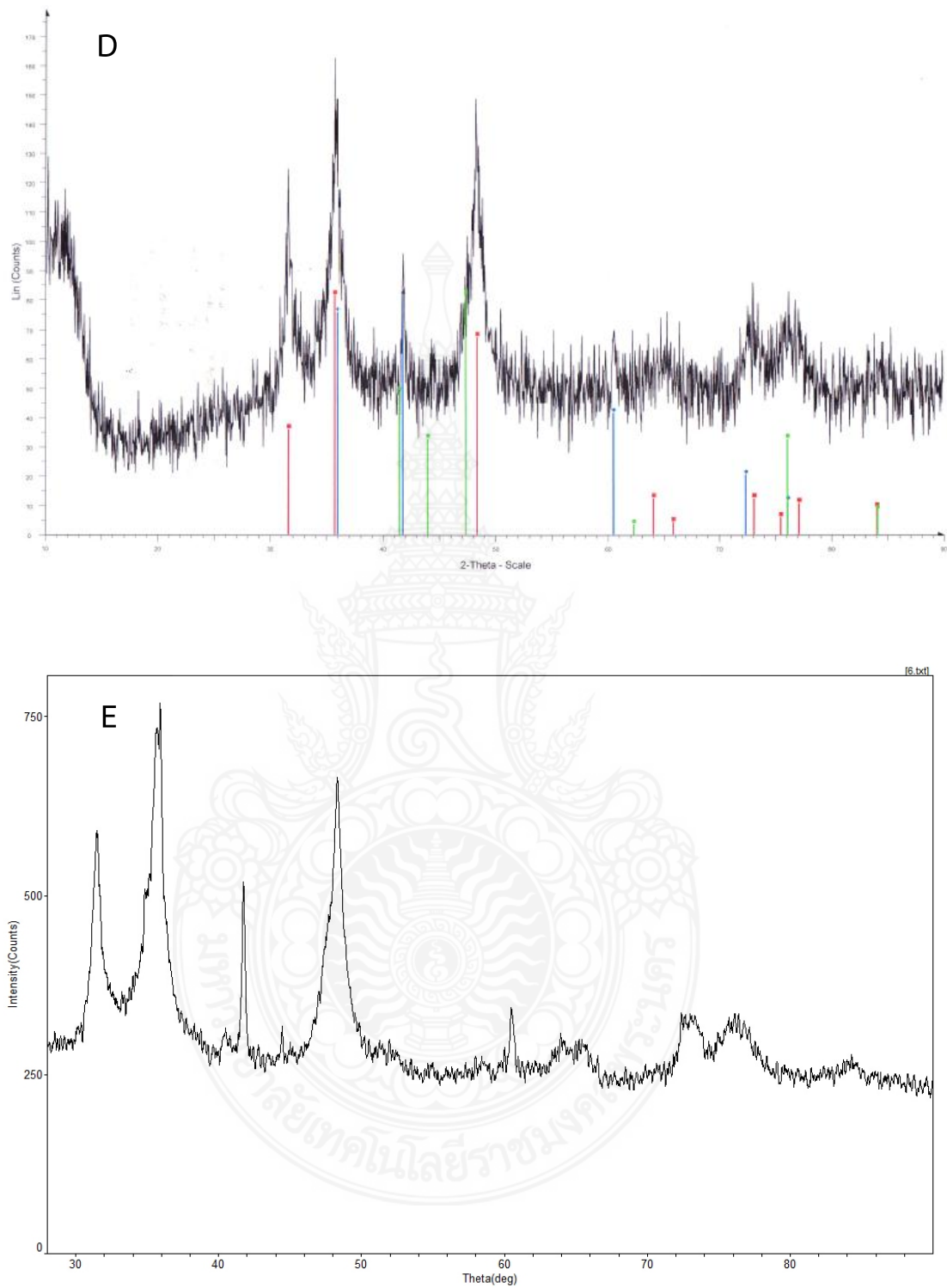
การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ในผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทังสเตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ที่ผ่านการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ทั้ง 7 สูตร แล้วทำการบดที่ ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง ดังภาพ 5.19



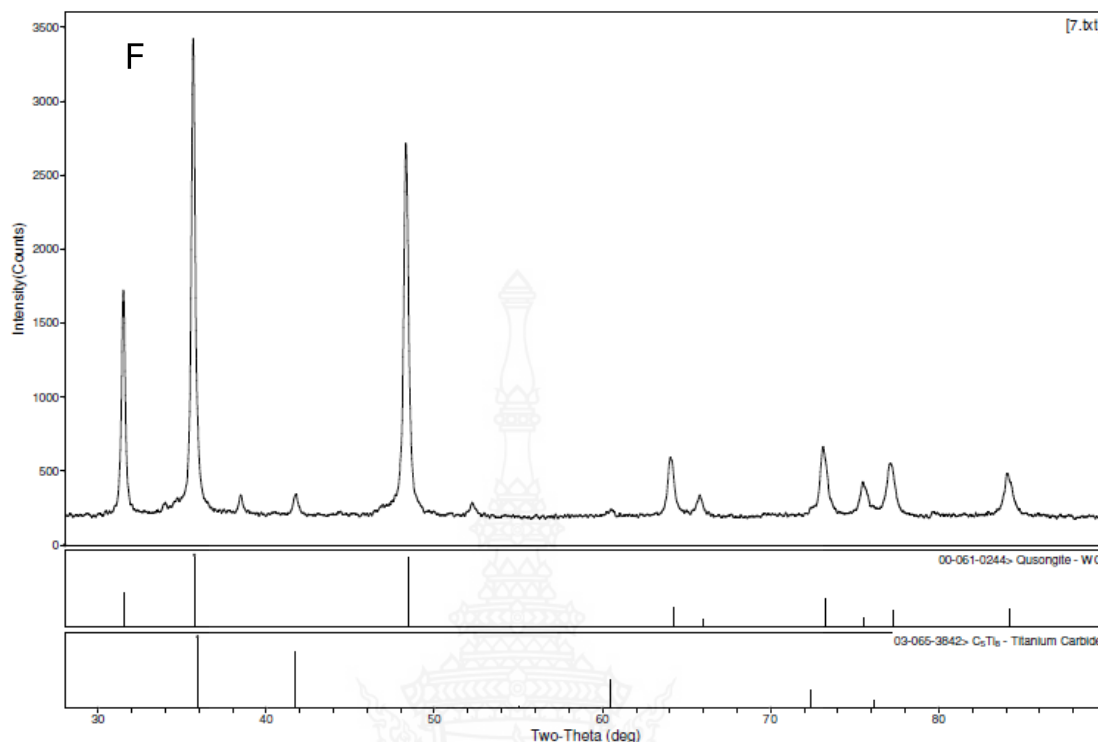
ภาพ 5.9 การวิเคราะห์องค์ประกอบผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการผสมทั้ง 6 สูตร ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)



ภาพ 5.9 การวิเคราะห์หาลักษณะโครงสร้างผลึกของสแตนคาร์ไบด์ผ่านการผสมทั้ง 6 สูตร ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) (ต่อ)



ภาพ 5.9 การวิเคราะห์หาลักษณะโครงสร้างผลึกของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่ผ่านการผสมทั้ง 6 สูตร ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) (ต่อ)



ภาพ 5.9 การวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบของแข็งสแตนคาร์ไบด์ผ่านการผสมทั้ง 6 สูตร ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) (ต่อ)

จากภาพ 5.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (XRD) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ที่ผ่านการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ทั้ง 7 สูตร โดย (A) สูตรที่ 1 (75WC-10Co-15TiC) , (B) สูตรที่ 2 (75WC-8Co-17TiC) , (C) สูตรที่ 3 (75WC-9Co-16TiC-1NbC) , (D) สูตรที่ 4 (75WC-9Co-15TiC-1NbC) , (E) เม็ดมีดสูตรที่ 5 (75WC-9Co-15TiC-0.5NbC-0.5TaC) , (F) สูตรที่ 6 (75WC-9Co-15TiC-0.5NbC-0.5TaC) จากการวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ พบว่ามีธาตุประกอบ คือ

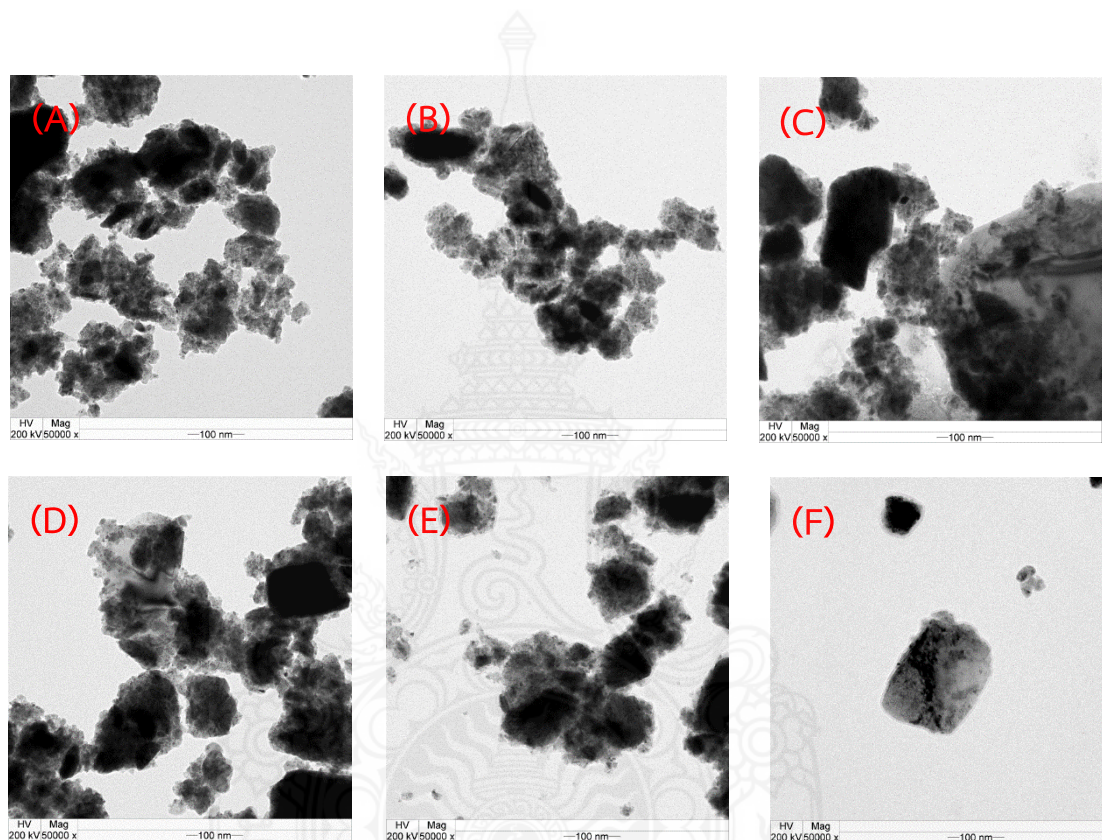
ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) มีรูปทรงแบบ Hexagonal และมีลักษณะตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 31.514, 35.640, 48.302, 64.018, 65.792, 73.106, 75.476, 77.129 และ 84.071

โคบอลต์ (Co) มีรูปทรงแบบ Hexagonal และมีลักษณะตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 41.385, 43.917, 47.306, 62.260, 76.084, 75.476, 84.107, 93.221, 94.381, 99.401, 108.357, 132.990, 148,678 และ 154.355

ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) มีรูปทรงแบบ Cubic และมีลักษณะตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 35.910, 41.705, 60.451, 72.356 และ 76.128 ดังภาพ 5.9

5.3.10 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยเทคนิค (Transmission Electron Microscope: TEM)

การวิเคราะห์หอนงค์ประกอบด้วยเทคนิควิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ในผงทั้งสแตนคาร์ไบด์หลังทำการการผสมกับโลหะประสาน และธาตุผสมต่างๆ ทั้ง 6 สูตร ดังภาพ



ภาพ 5.10 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องทดลองที่ผ่านการผสม ด้วยเทคนิค (TEM) ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า

จากภาพ 5.10 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องทดลอง ผ่านการผสมด้วยเทคนิค (TEM) รูป(A) สูตรที่ 1 รูป (B) สูตรที่ 2 รูป (C) สูตรที่ 3 รูป (D) สูตรที่ 4 รูป (E) สูตรที่ 5 และรูป (F) สูตรที่ 6 ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า จะเห็นได้ว่าผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากห้องทดลอง มีลักษณะรูปทรงอนุภาคการผสมที่ เข้าร่วมตัวหลังจากการผสมกับโลหะประสานของแต่ละสูตรจะต่างกัน

5.4 การนำผงมาอัดขึ้นรูป (Pressing)

เป็นการอัดขึ้นรูปผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่ผ่านการผสมเรียบร้อยแล้ว นำมาอัดในแม่พิมพ์ตามรูปทรงที่กำหนด เมื่อได้ชิ้นงานจากการอัดในแม่พิมพ์จะเรียกว่า green compact จะมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกันในระดับหนึ่ง เงื่อนไขในการอัดขึ้นรูปโดยใช้พิมพ์เม็ดมีดทรง TNMG160408M-RS1

ตาราง 5.9 ผลการวัดความหนาแน่นชิ้นงาน green compact

สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4	สูตรที่5	สูตรที่6
4.872	5.052	5.059	4.701	5.148	6.277

จากตาราง 5.9 ผลการวัดความหนาแน่นจากชิ้นงาน green compact ของแต่ละสูตรผสมของผงโลหะที่ผ่านการอัดขึ้นรูป และทำการตรวจสอบลักษณะรูปทรง ขนาด และการแตกหัก ดังตาราง

ตาราง 5.10 น้ำหนักชิ้นงาน green compact

	สูตรที่1 (g)	สูตรที่2 (g)	สูตรที่3 (g)	สูตรที่4 (g)	สูตรที่5 (g)	สูตรที่6 (g)
1	4.3	4.4	4.1	3.9	4.5	5.9
2	3.9	4.1	4.3	3.9	4.6	5.3
3	4.4	3.9	4.0	3.9	4.6	5.8
4	4.6	4.1	4.3	4.0	4.6	5.8
5	4.5	4.3	4.2	4.0	4.5	5.8
6	4.0	4.1	4.1	3.9	4.4	6.4
7	4.6	4.1	4.3	3.9	4.4	6.1
8	3.8	3.9	4.2	3.8	4.6	5.6
เฉลี่ย	4.26	4.11	4.18	3.91	4.52	5.83

จากตาราง 5.10 ผลการชั่งน้ำหนักจากชิ้นงาน green compact ที่ผ่านการอัดขึ้นรูป และทำการตรวจสอบลักษณะรูปทรง ขนาด และการแตกหัก ดังตาราง

ตาราง 5.11 ความหนาแน่นชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผืนิก

ลำดับ	สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4	สูตรที่5	สูตรที่6
1	10.2	9.6	10.1	9.1	8.7	11.0
2	8.9	10.0	10.1	9.3	9.7	10.6
3	9.2	9.6	9.6	9.1	8.7	11.1
เฉลี่ย	9.43	9.73	9.93	9.17	9.03	10.90

จากตาราง 5.11 ผลการวัดความหนาแน่นจากชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก ของแต่ละสูตรผสมของผงโลหะที่ผ่านการอบผนึก ที่อุณหภูมิ 1,450 °C และทำการตรวจสอบลักษณะรูปทรง ขนาด และการแตกหัก ดังตาราง

ตาราง 5.12 ผลการวัดขนาดของชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผนึก

	สูตรที่1		สูตรที่2		สูตรที่3		สูตรที่4		สูตรที่5		สูตรที่6	
	หนา	สูง	หนา	สูง	หนา	สูง	หนา	สูง	หนา	สูง	หนา	สูง
1	5.29	13.50	5.10	13.70	4.90	13.54	4.92	13.72	5.34	13.95	5.12	13.87
2	5.00	13.60	5.22	13.82	4.94	13.55	4.84	13.69	5.35	13.91	5.04	13.90
3	4.95	13.71	4.75	13.70	4.74	13.55	4.88	13.73	5.24	13.98	5.11	13.88
4	4.92	13.68	4.98	13.77	4.81	13.56	4.93	13.78	5.34	13.95	4.68	13.81
5	4.91	13.67	5.06	13.70	4.94	13.54	4.82	13.72	5.30	13.93	5.12	13.83
6	5.04	13.34	5.13	13.59	4.90	13.54	4.79	13.72	5.34	13.95	4.96	13.86
7	4.87	13.44	4.98	13.73	4.93	13.56	4.83	13.73	5.22	13.91	5.23	13.88
8	5.26	13.48	4.98	13.77	4.81	13.51	4.92	13.74	5.17	13.92	5.12	13.86
เฉลี่ย	5.03	13.55	5.03	13.72	4.87	13.54	4.82	13.72	5.29	13.94	5.05	13.86

ตาราง 5.13 น้ำหนักชิ้นงานหลังการอบผนึก(Sintering)

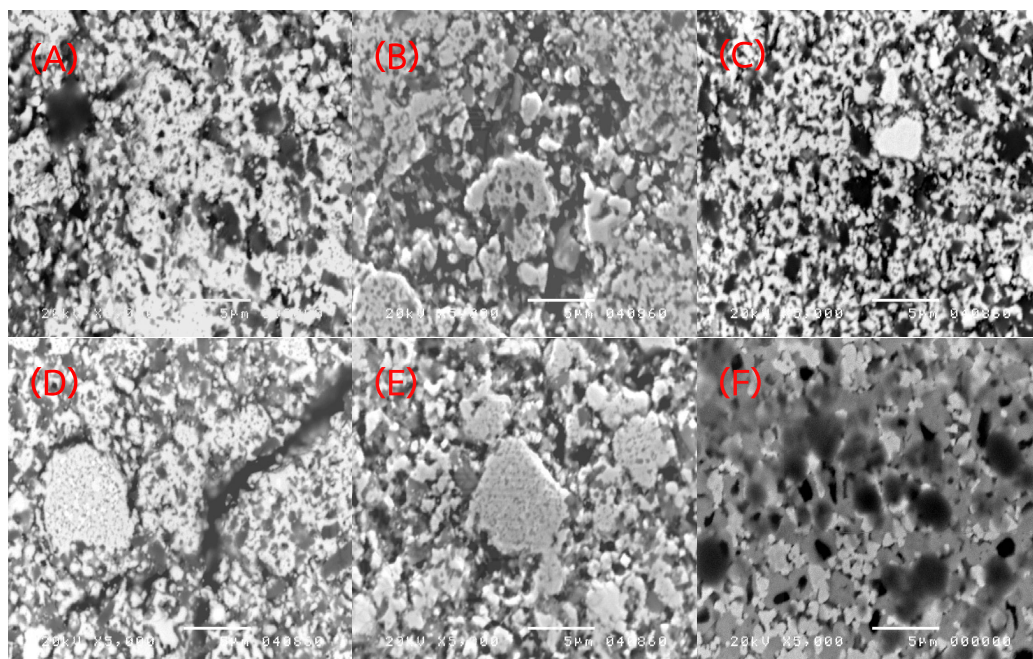
	สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4	สูตรที่5	สูตรที่6
1	3.749	3.401	3.543	3.357	3.928	6.052
2	3.843	3.820	3.606	3.481	3.860	5.529
3	3.914	3.337	3.392	3.545	3.859	5.666
4	3.362	3.595	3.460	3.565	3.939	5.053
5	3.268	3.583	3.576	3.442	3.901	5.646
6	3.872	3.679	3.540	3.386	3.928	5.381
7	3.389	3.552	3.608	3.442	3.756	5.801
8	3.956	3.567	3.462	3.577	3.743	5.643
เฉลี่ย	3.67	3.57	3.52	3.47	3.86	5.60

จากตาราง 5.13 ผลการชั่งน้ำหนักจากชิ้นงานหลังจากการอบผนึกและทำการตรวจสอบลักษณะรูปทรง ขนาด และการแตกหัก ดังตาราง

5.4.1 การตรวจวิเคราะห์แผ่นมีดหลังการอบผนึกด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

การวิเคราะห์แผ่นมีดหลังการอบผนึก จากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากท้องตลาด แบบ Back Scattered Electrons (BSE) เพื่อดูองค์ประกอบธาตุ จากเลข

อะตอม (atomic number) ถ้าเลขอะตอมสูง ก็จะมีค่าความเข้มของสัญญาณ BSE ที่ธาตุนั้นมาก ซึ่งจะทำให้เกิดมีความสว่างของธาตุนั้นมากกว่าธาตุอื่น ดังภาพ 5.11 ที่กำลังขยาย (BSE) 5,000 เท่า หลังทำการแผ่นมีดหลังการอบผนึก ทั้ง 6 สูตร ดังภาพ



ภาพ 5.11 การตรวจวิเคราะห์แผ่นมีดหลังการอบผนึก Scanning Electron Microscope (SEM) แบบ Back Scattered Electrons (BSE) ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า

จากภาพ 5.11 การตรวจวิเคราะห์แผ่นมีดหลังการอบผนึก จากทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากท้องตลาด ผ่านการผสมด้วยเทคนิค (SEM) แบบ Back Scattered Electrons (BSE) ภาพ (A) สูตรที่ 1 ภาพ (B) สูตรที่ 2 ภาพ (C) สูตรที่ 3 ภาพ (D) สูตรที่ 4 ภาพ (E) สูตรที่ 5 และภาพ (F) สูตรที่ 6 ที่กำลังขยาย 50,000 เท่า จะเห็นได้ว่าแผ่นมีดจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล (A) (B) (C) (D) (E) มีการแตกร้าว และรูพรุนในแผ่นมีด และ (F) ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากท้องตลาด มีความสม่ำเสมอของเกรน ไม่พบรอยแตกร้าว

5.5 การตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล

การตรวจสอบวิเคราะห์คุณสมบัติทางกล ทางด้านความแข็ง โดยการนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบด้านความแข็งของชิ้นงานด้วยแรงกด 10 kgf และทดสอบนำชิ้นงานมาทดลองกลึงโลหะเพื่อดูประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกล

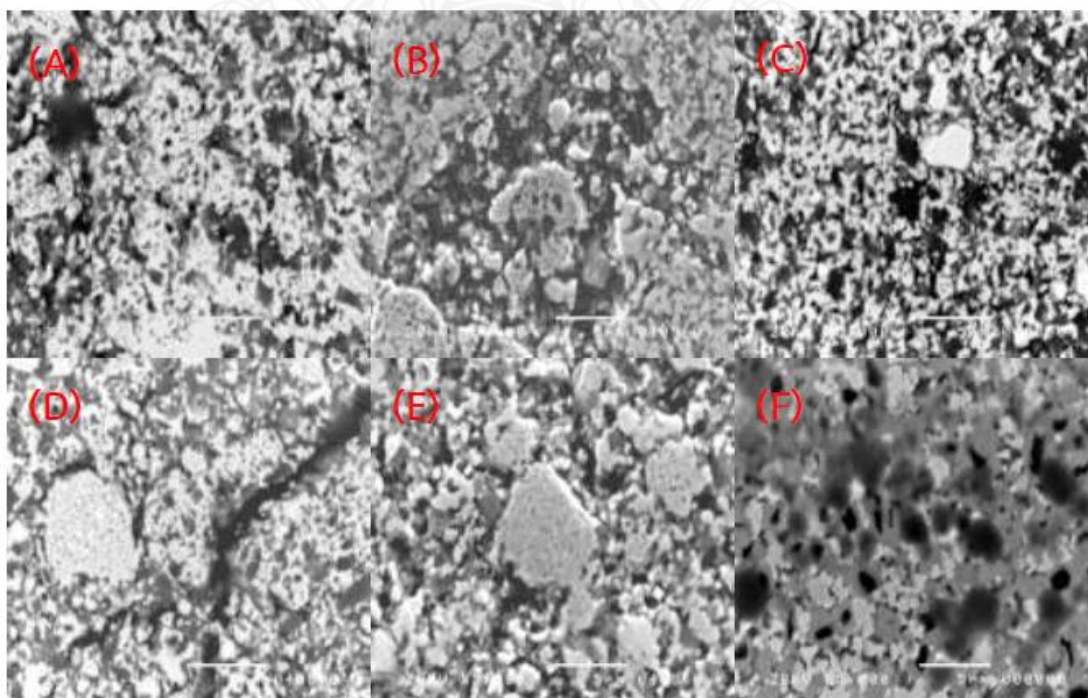
ตาราง 5.14 ค่าความแข็งเม็คมิตจากการวัด

จุดที่	ผลการทดลอง (HV)					
	สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4	สูตรที่5	สูตรที่6
1	240	251	459	433	283	1,505
2	224	306	357	325	281	1,589
3	287	260	417	330	165	1,533
เฉลี่ย	250.33	272.33	411	362.66	243	1,542.33

จากตาราง 5.14 ค่าของความแข็งจากการวัดด้วยการกดจากชิ้นงานเม็คมิตที่ผ่านการอบ
 ผนึกแล้ว จะมีค่าดังนี้ สูตรที่1 : 75WC 15TiC 10Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 250.33 HV สูตรที่2 :
 75WC 17TiC 8Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 272.33 HV สูตรที่3 : 75WC 16TiC 1NbC 8Co ความแข็ง
 เฉลี่ยอยู่ที่ 411 HV สูตรที่4 : 75WC 15TiC 1NbC 9Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 362.66 HV สูตรที่5 :
 75WC 15TiC 0.5NbC 0.5TaC 9Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 243 HV สูตรที่6(ข้อผงทั้งสแตนคาร์ไบด์
 จากผู้จำหน่าย) : 75WC 15TiC 0.5NbC 0.5TaC 9Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,542.33 HV

5.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (microstructure)

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พื้นผิวชิ้นงานโดยการเตรียมผิวจากการขัด และกัดกรด เพื่อดู
 โครงสร้างของเกรน (Grain) ด้วยการใช้อัลตร้าไมครอสโคปตรวจสอบโครงสร้างด้วยกำลังขยาย 100 เท่า
 ดังภาพ 5.12



ภาพ 5.12 รูปโครงสร้างจุลภาคเม็คมิตหลังการอบผนึก กำลังขยาย 100 เท่า

จากภาพ 5.12 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พื้นผิวชิ้นงาน รูป(A) สูตรที่ 1 รูป (B) สูตรที่ 2 รูป (C) สูตรที่ 3 รูป (D) สูตรที่ 4 รูป (E) สูตรที่ 5 และรูป (F) สูตรที่ 6 ที่กำลังขยาย 100 เท่า จะพบว่า สูตร (A) (B) (C) (D) (E) จะมีรอยการแตกกร้าว รูพรุนอยู่ทั่วบริเวณ และในสูตร (F) จะมีความเรียบผิว ไม่มีรอยแตกกร้าว จะมีรูพรุนอยู่เล็กน้อย

5.6 การกลึงทดสอบเม็ดมีด

การทดสอบเม็ดมีดจากการผลิตขึ้นมาทั้ง 6 สูตร ด้วยการทดสอบใช้งานจริง ด้วยวิธีการกลึงด้วยเครื่องกลึง CNC LATHE murata warner swasey รุ่น WSC-6 ด้วยการกลึงเหล็กเพลลาเหล็กคาร์บอนปานกลาง S45C ขนาด 30 mm. ยาว 95 mm. กลึงยาว 30 mm. กลึงเหลือขนาด 28 mm. ด้วยความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 156 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.09 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 1.00 mm.

ตาราง 5.15 ผลการทดสอบความเรียบผิวของชิ้นงานผ่านการกลึง

เม็ดมีด	Ra(μm)	Ra(μm)	Ra(μm)
สูตรที่ 6/1	4.5	4.4	4.5
สูตรที่ 6/2	4.1	4.1	4.1
สูตรที่ 6/3	4.1	4.1	4
Kennametal 1	4.5	4.4	4.4
Kennametal 2	4.2	4.2	4.2
Kennametal 3	4.6	4.6	4.6

จากตาราง 5.16 ผลการทดสอบความเรียบผิวชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยเครื่องยี่ห้อ Handysurf รุ่น E35A ที่ผ่านการทดสอบการกลึงจะถูกปรี้นออกมาจากเครื่องพบว่า เม็ดมีดสูตรที่ 6 เม็ดที่ 1 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.5 Ra มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.4 Ra, สูตรที่ 6 เม็ดที่ 2 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.1 Ra มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.1 Ra, สูตรที่ 6 เม็ดที่ 3 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.1 Ra มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.0 Ra, และ เม็ดมีด Kennametal เม็ดที่ 1 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.5 Ra มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.4 Ra, Kennametal เม็ดที่ 2 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.2 Ra มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.2 Ra, Kennametal เม็ดที่ 3 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.6 Ra มีค่าความเรียบผิวน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.6 Ra

ในบทที่ 5 นี้กล่าวถึงผลในการทดลอง และการวิเคราะห์ผงโลหะ โดยวิธี (SEM) , (TEM), (XRF), การวัดขนาดอนุภาคผงโลหะ และผลในการทดสอบชิ้นงาน ในการวิจัยเรื่องการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co โดยลำดับ จบขั้นตอนการทดลองเพื่อนำผลที่ได้นี้ไปประยุกต์ และพัฒนาในการทดลองต่อไป

บทที่ 6

อภิปรายผล (Discussion)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา การวิเคราะห์เม็ดมีดกลึงที่ทำจากการผลิตขึ้น มาจากการผสมตามสูตร ที่ได้ทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เตรียมไว้ และทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย และ ผสมตัวประสาน และธาตุผสมต่างๆ ที่แตกต่างกัน เช่น TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อพิจารณาว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเม็ดมีดที่ผลิตขึ้นในแต่ละสูตรที่แตกต่างกันอย่างไร ทั้งด้านความแข็ง โครงสร้างจุลภาค และประสิทธิภาพทางกล ด้านการสึกหรอของเม็ดมีด และความเรียบผิว

จากการศึกษาพบว่า ในการผสมตัวประสาน และธาตุผสมที่มีส่วนผสมของผงไทเทเนียมคาร์ไบด์ จะทำให้ช่วยเพิ่มความแข็ง ทนต่อการกัดกร่อน ด้านทานการสึกหรอ และทนต่อความร้อนสูง ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Synthesis, microstructure, and mechanical properties of WC-TiC-Co ceramic composites ของ Dilek Duman ได้กล่าวไว้ว่าสามารถ สามารถลดรูพรุนและเพิ่มความหนาแน่น และความแข็งสูงกว่าเกรดธรรมดา 78WC-16TiC-6Co รหัส ISO ของ P05 และทำให้มีความหนาแน่นอยู่ที่ 78% - 80% ความแข็งอยู่ที่ 1,989 HV - 2,057 HV โดยได้อ้างอิงงานวิจัยเรื่อง Cermets: I, Fundamental Concepts Related to Micro-structure and Physical Properties of Cermet Systems ของ Michael Humenik JR.,Niranjan M. Parikh โดยกล่าวว่า WC-15TiC-10Co มีความแข็งถึง 2200 HV ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมผงไทเทเนียมคาร์ไบด์ จะทำให้ช่วยเพิ่มความแข็ง ลดรูพรุนและเพิ่มความหนาแน่นได้

ยังพบอีกว่า การเติมผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ จะช่วยทำให้สามารถยับยั้งการเจริญโตของเกรนทั้งสแตนคาร์ไบด์ได้ และยังทนต่อการกัดกร่อนได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Effects of NbC additions on the microstructure and properties of nonuniform structure WC-Co cemented carbides ของ Yang Gao, Ming-Yuan Yan ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อเติมผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ มากกว่า 1% ช่วยลดขนาดของเกรนเฉลี่ยของทั้งสแตนคาร์ไบด์ และ เมื่อเติมผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ 0-2 % โดยน้ำหนัก ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น และ ทำให้การแตกหักลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง The effect of NbC on mechanical properties and fracture behavior of WC-10Co cemented carbides ของ Wei Zhou, Ji Xiong ได้กล่าวไว้ว่า ความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างโดดเด่นเมื่อเติม 1 % - 2% โดยน้ำหนัก

และยังพบว่า การเติมผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ จะทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้นและทนการแตกหักได้ ซึ่งได้สอดคล้องกับ งานวิจัยเรื่อง Effects of TaC on microstructure and mechanical properties of coarse grained WC-9Co cemented carbides ของ Wei SU, Ye-xi SUN ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการเติมผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ น้อยกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น และ การแตกหักลดลง ซึ่งได้สอดคล้องกับ งานวิจัยเรื่อง Effect of TaC and TiC on the friction

and dry sliding wear of WC–6 wt.% Co cemented carbides against steel counterfaces ของ R. van der Merwe, N. Sacks ได้กล่าวว่า เติม TaC น้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก ก็พบว่ามีประสิทธิภาพมากที่สุดของการต้านทานการสึกหรอแบบการเสียดสีของโลหะผสม และมีความแข็งสูงขึ้น จากการศึกษาที่มีความสอดคล้องกับการศึกษาการวิจัย พัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co นี้ ด้านส่วนผสม ทั้งด้านความแข็ง โครงสร้างจุลภาค และประสิทธิภาพทางกล ด้านการสึกหรอของเม็ดมิด

จากการศึกษาพบว่าสูตรเม็ดมิดที่ 5 และ 6 มีความสอดคล้องกับการศึกษาการวิจัย งานวิจัย ของ R. van der Merwe, N. Sacks (2013) ในด้านส่วนผสมสูตรเม็ดมิดที่ 6 จะมีความสอดคล้องในด้านความแข็งสูง และโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน แต่ก็มีสัดส่วนในการผสมที่ต่างกันอยู่ โดยมีการกระจายตัวของเกรน WC ที่ละเอียด และการเติม TaC ทำให้มีความแข็งที่สูงขึ้น และช่วยในการยับยั้งการขยายตัวของเกรน WC และการเติม NbC ทำให้ลดการแตกหักได้ ดังภาพ 5.11 (F) วิเคราะห์แผ่นมิดหลังการอบผนึก Scanning Electron Microscope (SEM) แบบ Back Scattered Electrons (BSE) ของเม็ดมิดสูตรที่ 6 และความแข็งก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเติม TiC ส่วนเม็ดมิดสูตรที่ 5 แม้จะมีส่วนผสม และสัดส่วนที่เหมือนกับเม็ดมิดสูตรที่ 6 แต่ก็มีควมหนาแน่นของชิ้นงาน green compact อยู่ที่ 5.148 kg/cm³ ต่ำกว่าสูตรที่ 6 ดังตารางที่ 5.9 และมีความแข็งอยู่ที่ 243 HV :ซึ่งจะต่ำกว่าสูตรที่ 6 ดังตารางที่ 5.14 จาก (นภิสพร, 2548) ที่กล่าวถึงแรงเสียดทานของอนุภาค ของลักษณะรูปร่างอนุภาค ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระของพื้นผิวอนุภาคดังภาพ 5.5 (A)(B) และมีส่วนประกอบทางเคมีมากกว่า ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2 เมื่อพื้นผิวมีแรงเสียดทานในมวลของผงเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการไหลการจัดเรียงตัวของอนุภาคลดลง เมื่อมีความต้านทานการไหลมาก ทำให้ความหนาแน่น Green density ต่ำดังในตารางที่ 5.9 และ 5.11 เพราะการเคลื่อนที่ผ่านกันระหว่างอนุภาคไม่ดี มีผลต่อ ความหนาแน่น, ความแข็งแรงในชิ้นงานอัด ดังนั้นการอัดผงโลหะให้แน่นก่อนการอบผนึก จะช่วยลดความพรุนลง เนื่องจากมีความพรุนที่ต่ำกว่า ดังนั้นการหดตัวขณะอบผนึกจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า การหดตัวขณะอบผนึกแปรผันกับความหนาแน่นของ Green density และ เม็ดมิดสูตรที่ 1-5 ก็มีความหนาแน่นของ Green density ที่ต่ำ และความแข็งที่ต่ำเช่นกัน ด้วยมีลักษณะของรูปร่างอนุภาคของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระของพื้นผิวอนุภาค จากภาพที่ 5.5 (A) (B) การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และจากผู้จำหน่ายตามท้องตลาด ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) สูตรที่ 1-5 พบว่าเกรน WC มีการกระจายไม่เป็นระเบียบ รูพรุนมาก พบการแตกร้าว การประสานตามขอบไม่ดี

บทที่ 7

สรุปผล (Conclusion)

7.1 บทนำ

การวิเคราะห์เม็ดมีดกึ่งที่ทำจากการผลิตขึ้น มาจากการผสมตามสูตร ที่ได้ทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เตรียมไว้ นำมาคัดกรองขนาด Particle Size ผ่านตาข่ายขนาด 50 ไมครอน บดในเครื่องบด PLANETARY MONO MILL PULVERISETTE 6 ลูกบดขนาด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 เป็นเวลา 150 ชั่วโมง โดยทำการบด 30 นาที พัก 5 นาที จนครบ 150 ชั่วโมง ใช้ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที แล้วทำการผสม ดังนี้

สูตรที่ 1 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 10% โดยน้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

สูตรที่ 2 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 8% โดยน้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 17% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

สูตรที่ 3 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 8% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 16% โดยน้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

สูตรที่ 4 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

สูตรที่ 5 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และ แทนทาลัม 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

สูตรที่ 6 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายตามท้องตลาดที่ 75% โดยน้ำหนัก และโคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และแทนทาลัม 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมงบดเพื่อผสมความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 4 ชั่วโมง

แล้วนำมาอัดขึ้นรูป และนำมาอบพูนที่เครื่องอบพูนกึ่งสุญญากาศ VAC-LONG รุ่น VSG-200 ที่อุณหภูมิ 5 °C /นาที่ จนถึงอุณหภูมิ 500 °C แช่วัเป็นเวลา 50 °C และที่อุณหภูมิ 5 °C /นาที่ จนถึงอุณหภูมิ 800 °C แช่วัเป็นเวลา 15 °C และที่อุณหภูมิ 6 °C /นาที่ จนถึงอุณหภูมิ 1200 °C แช่วัเป็น

เวลา 5° และที่อุณหภูมิ 4° /นาที่ จนถึงอุณหภูมิ 500° แช่ไว้เป็นเวลา 60° แล้วปล่อยให้เย็นตัวในเตาอบ พิจารณาว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเม็ดมิดที่ผลิตขึ้นในแต่ละสูตรที่แตกต่างกันอย่างไร ทั้งด้านความแข็ง โครงสร้างจุลภาค และประสิทธิภาพทางกล ด้านการสึกหรอของเม็ดมิดและความเรียบผิว

7.2 สรุปผล

7.2.1 คุณสมบัติด้านความแข็ง

การวิเคราะห์เม็ดมิดกึ่งที่ผลิตขึ้น มาจากการผสมตามสูตร ที่ได้ทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เตรียมไว้ ทำการบดด้วยลูกบดขนาด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 เป็นเวลา 150 ชั่วโมง โดยทำการบด 30 นาที พัก 5 นาที จนครบ 150 ชั่วโมง ใช้ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายพบว่า สูตรที่ 6 มีความหนาแน่นที่อยู่ 6.277 g/cm^3 ความเรียบผิวและความแข็งที่ดีกว่า สูตรที่ 1-5 โดยมีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.5 Ra น้อยที่สุดอยู่ที่ 4 Ra และ มีความแข็งอยู่ที่ 1,542.33 HV

จากผลการทดลองพบว่าลักษณะรูปร่างอนุภาค ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระของพื้นผิวอนุภาค และมีส่วนประกอบทางเคมีมากกว่า ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ทำให้ประสิทธิภาพการไหลการอัดเรียงตัวของอนุภาคลดลง เมื่อมีความต้านทานการไหลมาก ทำให้ความหนาแน่น Green density ต่ำ เพราะการเคลื่อนที่ผ่านกันระหว่างอนุภาคไม่ดี มีผลต่อ ความหนาแน่น, ความแข็งแรงในชิ้นงานอัด ดังนั้นการอัดผงโลหะให้แน่นก่อนการอบผนึก จะช่วยลดความพรุนลงและมีการเพิ่มปริมาณดิสโลเคชันเข้าในผงโลหะ เนื่องจากมีความพรุนที่ต่ำกว่า ดังนั้นการหดตัวของอบผนึกจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า การหดตัวของอบผนึกแปรผันกับความหนาแน่นของ Green density (นภิสพร, 2548) พบว่าชิ้นงานจากสูตรที่ 1-5 เกิดรูพรุนมาก และเกิดการแตกร้าว แต่ชิ้นงานสูตรที่ 6 ว่ามีรูพรุนน้อย พื้นผิวมีความราบเรียบสม่ำเสมอไม่พบการแตกร้าวและความแข็งที่ดีกว่า

7.2.2 การทดสอบใช้งานจริงและความเรียบผิว

จากทดสอบใช้งานจริงของเม็ดมิดสูตรละ 3 ชิ้น ด้วยเครื่องกลึง ด้วยเครื่องกลึง CNC LATHE murata warner swasey รุ่น WSC-6 ด้วยเครื่องกลึงเหล็กเพลลาเหล็กคาร์บอนปานกลาง S45C ขนาด 30 mm. ยาว 95 mm. กลึงยาว 30 mm. กลึงเหลือขนาด 28 mm. ด้วยความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 156 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.09 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 1.00 mm. มีผลดังนี้

เม็ดมิดสูตรที่ 1 เม็ดมิดแตกหักเมื่อเข้าปะทะกับชิ้นงานทั้ง 3 เม็ด

เม็ดมิดสูตรที่ 2 เม็ดมิดแตกหักเมื่อเข้าปะทะกับชิ้นงานทั้ง 3 เม็ด

เม็ดมิดสูตรที่ 3 เม็ดมิดแตกหักเมื่อเข้าปะทะกับชิ้นงานทั้ง 3 เม็ด

เม็ดมิดสูตรที่ 4 เม็ดมิดแตกหักเมื่อเข้าปะทะกับชิ้นงานทั้ง 3 เม็ด

เม็ดมิดสูตรที่ 5 เม็ดมิดแตกหักเมื่อเข้าปะทะกับชิ้นงานทั้ง 3 เม็ด

เม็ดมิดสูตรที่ 6 เม็ดมิดที่ 1 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.5 Ra และน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.4 Ra, เม็ดมิดสูตรที่ 6 เม็ดมิดที่ 2 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.1 Ra และน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.1 Ra, เม็ดมิดสูตรที่ 6 เม็ดมิดที่ 3 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.1 Ra และน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.0 Ra, เม็ด

เม็ด Kennametal เม็ดที่ 1 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.5 Ra และน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.4 Ra, เม็ด Kennametal เม็ดที่ 2 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.2 Ra และน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.2 Ra, เม็ด Kennametal เม็ดที่ 3 มีค่าความเรียบผิวมากที่สุดอยู่ที่ 4.6 Ra และน้อยที่สุดอยู่ที่ 4.6 Ra พบว่า เม็ดเม็ดที่ผลิตขึ้นสูตรที่ 6 (75WC-9Co-15TiC-0.5NbC-0.5TaC) จากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย เมื่อเปรียบเทียบกับ เม็ดเม็ด Kennametal ที่มีขายในท้องตลาด นั้นมีความเรียบผิวที่ดีกว่า เม็ดเม็ด Kennametal ที่มีขายในท้องตลาด

7.3 ข้อชี้แนะ

จากการวิเคราะห์สถิติศึกษาสมการ Regression Analysis ของค่า Co, TiC, NbC, TaC พบว่า มีค่า P-Value เท่ากับ Regression 0.968, Co 0.786, TiC 0.826, NbC 0.776 และมีสมการ Regression Equation อยู่ที่ $result = -1676 + 93 Co + 69 TiC + 101 NbC$

อย่างไรก็ตามพบว่า ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมสูตรที่ 1- 6 นั้นไม่มีค่าความแตกต่าง อย่างไม่มีนัยสำคัญที่ 0.05 แต่มีค่าเฉลี่ยความแข็ง สูตรที่ 1 อยู่ที่ 250.33, สูตรที่ 2 อยู่ที่ 272.33, สูตรที่ 3 อยู่ที่ 411, สูตรที่ 4 อยู่ที่ 362.66, สูตรที่ 5 อยู่ที่ 243 และสูตรที่ 6 อยู่ที่ 1,542.33 ซึ่งมีค่าความแข็งสูงสุด

ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลอง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีมากขึ้น จึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมการศึกษาวิจัยในอนาคต ในส่วนการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่สุดของตัวแปรทั้ง 3 ต่อไปด้วยการประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ 3^k เพื่อให้ได้ผลค่าการทดลองที่แม่นยำมากขึ้น

สำหรับการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ในอนาคต ต้องมีการปรับลักษณะรูปร่างอนุภาคผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลให้มีพื้นที่ผิวอนุภาคทรงมนไม่ขรุขระ และ ส่วนประกอบทางเคมีให้ได้ตามส่วนประกอบทางเคมีของทั้งสแตนคาร์ไบด์ และ ธาตุโลหะประสานที่นำมาเติมแต่งต้องให้มีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน จะทำให้จุดหลอมที่ไม่แต่ต่างกันมาก โดยการควบคุมในระหว่างช่วงการผลิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ในเรื่อง เวลา และ อุณหภูมิ และการจัดเก็บ เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามผลจากการวิจัยนี้มีแนวโน้มที่สามารถที่พัฒนาด้านความแข็งต่อให้มีคุณภาพที่ดีต่อไปได้ จนสามารถผลิตชิ้นงานวัสดุจากการรีไซเคิลผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ได้ เพื่อนำไปใช้การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งไม่สูงมากได้

บทที่ 8

แผนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ (Commercialization plan)

การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อนำมาใช้ในงานด้านชิ้นส่วนเครื่องจักร การแปรรูปโลหะ และ งานผลิตชิ้นส่วน ซึ่งจะต้องมีการใช้ชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษ ในการผลิตชิ้นงานอยู่เสมอ โดยเฉพาะในด้านการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ในปัจจุบัน มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการพัฒนาประเทศ รัฐบาลจึงมีการสนับสนุนและส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์ให้เป็น อุตสาหกรรมหลักที่ทำให้เศรษฐกิจของประเทศมีการขับเคลื่อนไปได้ ซึ่งหมายถึง ปริมาณที่จะต้องใช้ชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษมาผลิตอีกด้วย

8.1 รูปแบบดำเนินการทางธุรกิจ (Business Model)

จากปริมาณการผลิตรถยนต์ของประเทศไทยในช่วง 10 เดือนแรกของปี 2559 (ม.ค.-ต.ค.) มีปริมาณการผลิตรถยนต์ 1,637,841 คัน เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ซึ่งมีปริมาณการผลิต 1,597,140 คัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.55 มีการผลิตรถยนต์นั่ง 680,384 คัน รถยนต์ปิกอัพ 1 คันและ อนุพันธ์ 927,923 คัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.86 และ 0.49 ตามลำดับ ส่วนรถยนต์เพื่อการพาณิชย์อื่นๆ 29,534 คัน ลดลงร้อยละ 4.74 ในการประมาณการอุตสาหกรรมรถยนต์ในปี 2560 คาดว่าจะมีการผลิตรถยนต์ถึง 2,000,000 คัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.56 โดยจำหน่ายในประเทศถึง 800,000 คัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.67 และ เพื่อการส่งออกประมาณ 1,200,000 คัน(สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2016) ปัจจุบันงานแปรรูปโลหะมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล เม็ดมีด กลึงเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อมีความสำคัญด้านเวลา คุณภาพ และ ต้นทุน ในการผลิตชิ้นงาน เป็นสิ่งสำคัญในงานกลึงแปรรูปโลหะ และต้องให้ความสำคัญด้านประสิทธิภาพ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรก

จากการศึกษา และ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องโดยตรง จึงมีความสนใจในการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อการใช้งานในเชิงพาณิชย์ เป็นการพัฒนาคุณสมบัติทางกล และ โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานความแข็งพิเศษ โดยการผสมโลหะประสาน TaC, TiC, NbC และ Co

8.1.1 กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย

1. บริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

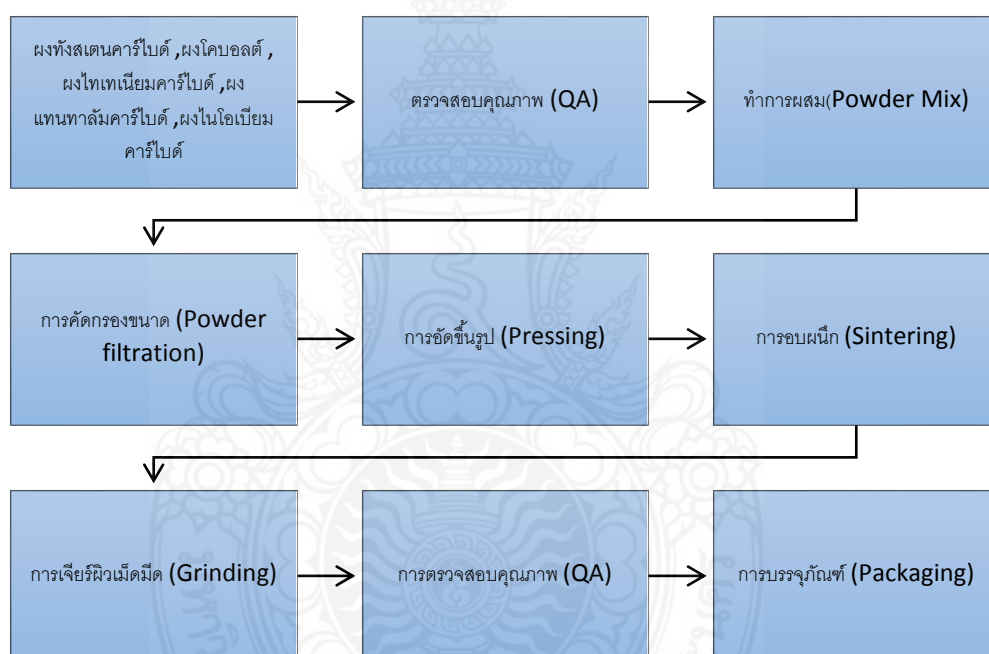
กลุ่มที่ 1 Direct Supplier หรือ OEM Supplier ได้แก่ ผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ส่งให้ผู้ประกอบรถยนต์โดยตรง (OEM : Original Equipment Manufacturing)

กลุ่มที่ 2 Indirect Supplier หรือ กลุ่ม Raw Materials และกลุ่ม 2nd/3rd Tier Supplier ได้แก่ กลุ่มผู้ทำหน้าที่จัดหาวัตถุดิบให้แก่ผู้ผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนรายย่อยที่รับจ้างกลุ่ม 1st Tier ผลิตชิ้นส่วนให้ ซึ่งในกลุ่มนี้บางส่วนก็อยู่ในกลุ่ม 1st Tier ด้วยเช่นกัน คือเป็นทั้ง Direct และ Indirect Supplier(กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2552)

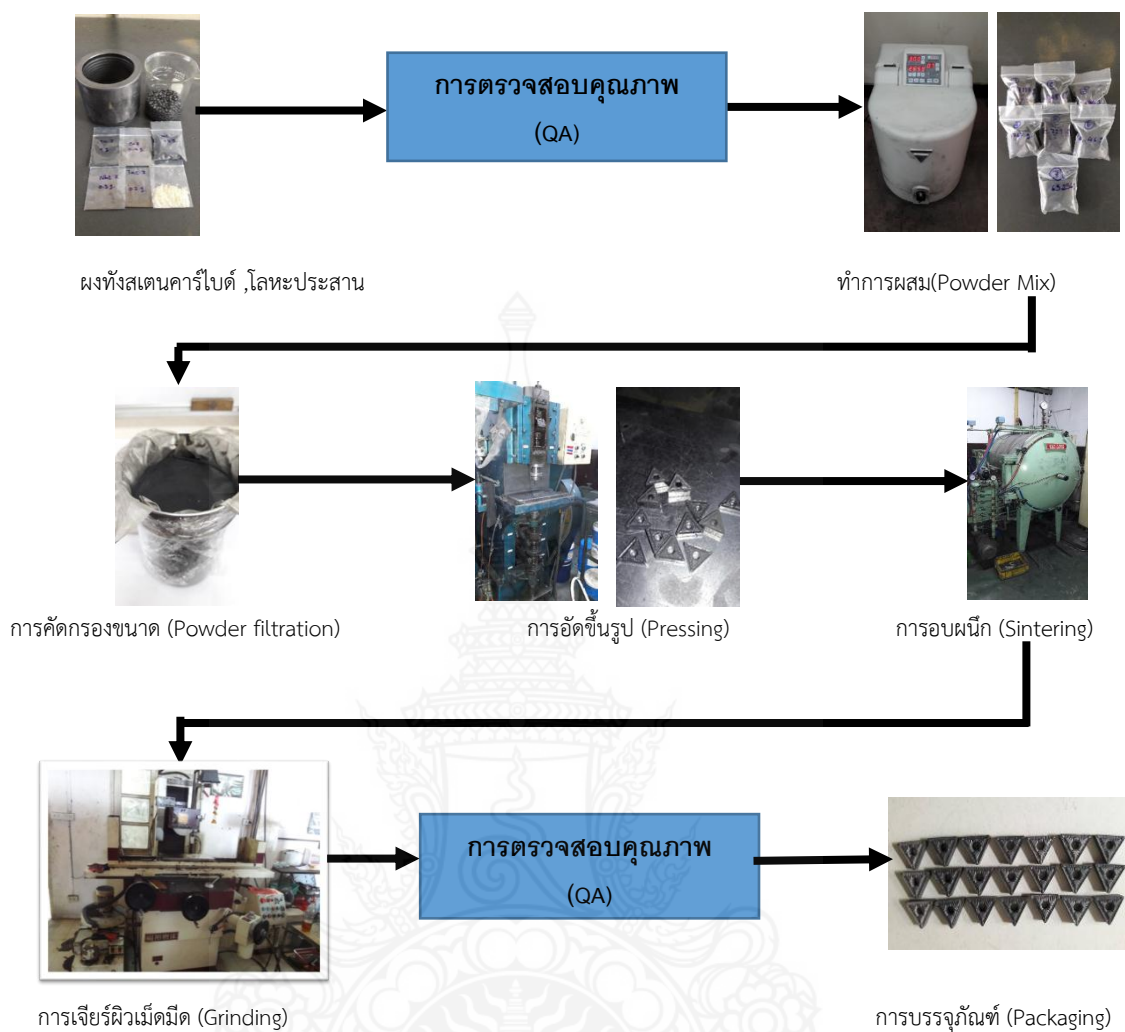
2. ร้านจำหน่ายเครื่องมือตัด เครื่องมือช่างตามท้องตลาด
3. สถาบันอาชีวศึกษา

8.2 แผนผังกระบวนการ (Process flow chart)

จากกระบวนการผลิตเม็ดมีด สามารถเขียน แผนผังกระบวนการ (Process flow chart) ได้ดังนี้



ภาพ 8.1 แผนผังกระบวนการผลิตเม็ดมีด (Insert)



ภาพ 8.2 แผนผังการผลิตเม็ดมีด (Insert)

8.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ในการผลิต

เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการขบวนการผลิต เม็ดมีด (Insert)

ตาราง 8.1 รายละเอียดเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการขบวนการผลิต

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา
1	เครื่องชั่งดิจิตอล พิกัด 210 g. ค่าละเอียด 0.1mg.	1	40,700
2	เครื่องบด PLANETARY MONO MILL PULVERISETTE 6	1	220,000
3	เครื่องเขย่าตะแกรงร้อน (sieve shakers)	1	25,000
4	เครื่องป้อนอัดขึ้นรูป	4	300,000
5	เตาเผาสุญญากาศ	1	1,750,000
6	เครื่องเจียรราบ	3	70,000
	รวม		3,445,700

8.2.2 ข้อมูลวัตถุดิบในการผลิต

วัตถุดิบในการผลิตเม็ดมีด ประกอบไปด้วย ผงทังสเตนคาร์ไบด์ ผงโคบอลต์ ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์ ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ และ ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ ดังในตาราง 8.2

ตาราง 8.2 รายละเอียดวัตถุดิบในการผลิตเม็ดมีด

ลำดับ	รายการ	จำนวน / KG.	ราคา/KG.
1	ผงทังสเตนคาร์ไบด์	1	2,275
2	ผงโคบอลต์	1	2,100
3	ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์	1	735
4	ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์	1	10,237.5
5	ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์	1	3,325
	รวม	5	18,673

8.2.3 สินทรัพย์ที่ใช้ในการผลิต

สินทรัพย์ที่ใช้ในการผลิต เม็ดมีดในระยะ 1 ปี ดังแสดงในตารางที่ 8.3

ตาราง 8.3 รายละเอียดสินทรัพย์ที่ใช้ในการผลิต เม็ดมีด

รายการ	จำนวน	มูลค่า
อาคาร (เช่า)	1	54,000
คอมพิวเตอร์	4	48,000
แอร์	3	39,000
เครื่องปรีน	2	10,500
มอเตอร์ไซด์	1	37,500
	รวม	140,400

8.3 แผนงานทางธุรกิจ

แผนการทำธุรกิจเม็ดมีด ด้วยโรงงานขนาดเล็ก กำลังการผลิต 150 ชิ้นต่อวันดังตาราง 8.4

ตาราง 8.4 รายละเอียดกำลังในการผลิต เม็ดมีด

ระยะเวลา	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)
ชั่วโมง	18.75
วัน	150.00
เดือน	4,200.00
1 ปี	50,400.00
5 ปี	252,000.00

8.3.1 ปริมาณการใช้วัสดุดิบ

ปริมาณการใช้วัสดุดิบจากกำลังการผลิต 1 ปี และ จำนวนค่าวัสดุดิบ ดังตาราง 8.5

ตาราง 8.5 ปริมาณการใช้วัสดุดิบจากกำลังการผลิต 1 ปี ใช้ในการผลิต เม็ดมิด

รายการ	ใช้ผง (g)/ปี	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	ค่าวัสดุดิบ (บาท/ปี)
ผงทังสเตนคาร์ไบด์	378,000.00	17.06	859,950.00
ผงโคบอลต์	453,600.00	18.90	952,560.00
ผงไทเทเนียมคาร์ไบด์	75,600.00	1.10	55,566.00
ผงแทนทาลัมคาร์ไบด์	2,520.00	0.51	25,798.50
ผงไนโอเบียมคาร์ไบด์	2,520.00	0.17	8,379.00
รวม		37.74	1,902,253.50

8.3.2 แรงงานที่ใช้ในการผลิต

แรงงานที่ใช้ในการผลิต เม็ดมิดในระยะ 1 ปีและค่าแรงดังตาราง 8.6

ตาราง 8.6 แรงงานที่ใช้ในการผลิต

รายการ	จำนวน	ค่าแรง (บาท)/เดือน	ค่าแรง (บาท)/ปี
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	1	25,000	300,000
ฝ่ายจัดซื้อ	1	15,000	180,000
ฝ่ายการตลาด	2	15,000	180,000
ฝ่ายบัญชี	1	15,000	180,000
แรงงานฝ่ายผลิต	8	95,000	1,140,000
รวม	13	165,000	1,980,000

8.3.3 หาจุดคุ้มทุนในการผลิต

จากข้อมูลต้นทุนในการผลิตข้างต้น ทำให้สามารถทำการหาจุดคุ้มทุนในการผลิตเม็ดมิดได้ดังนี้

ตาราง 8.7 ตารางรายละเอียดต้นทุนในการผลิต

รายการ	ต้นทุนคงที่ (บาท)	ต้นทุนแปรผัน (บาท)
เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ในขบวนการผลิต	3,445,700	-
สินทรัพย์ที่ใช้ในการผลิต เม็ดมิด	140,400	-
วัสดุดิบจากกำลังการผลิต 1 ปี ใช้ในการผลิต เม็ดมิด	-	1,902,253.50
แรงงานที่ใช้ในการผลิต		1,980,000
รวม	3,586,100	3,882,253.50

ให้โรงงานทำการผลิตเม็ดเม็ด ผลิตได้เต็มที่ 50,400 ชิ้นต่อปี ในราคา 120 บาทต่อชิ้น
 คำนวณหาจุดคุ้มทุนในการผลิตที่ 90 % ของการผลิต

$$\begin{aligned} N &= 45,360 && \text{ชิ้น} \\ F &= 3,586,100 && \text{บาท} \\ V &= 3,882,253.50 / 50,400 \\ &= 77.03 && \text{บาทต่อชิ้น} \\ P &= 120 && \text{บาทต่อชิ้น} \\ \text{จากสมการ} & \frac{N^*}{P - V} = F \end{aligned}$$

$$\text{แทนค่า} = 3,586,100 / (120 - 77.03)$$

$$\text{จุดคุ้มทุน} = 83,455.9 \text{ ชิ้น}$$

ถ้าโรงงานทำการผลิตเม็ดเม็ด ผลิตได้เต็มที่ 50,400 ชิ้นต่อปี คำนวณหาจุดคุ้มทุนในการผลิตที่ 90 %
 ของการผลิต 3 ปี

$$\begin{aligned} N &= 136,080 && \text{ชิ้น} \\ F &= 3,742,700 && \text{บาท} \\ V &= 11,646,760.50 / 50,400 \\ &= 77.03 && \text{บาทต่อชิ้น} \\ P &= 120 && \text{บาทต่อชิ้น} \end{aligned}$$

$$\text{แทนค่า} = 3,742,700 / (120 - 77.03)$$

$$\text{จุดคุ้มทุนในการผลิต 3 ปี} = 87,100.3 \text{ ชิ้น}$$

8.4 สรุปผลการดำเนินงานอย่างยั่งยืน

กรณีการศึกษาการผลิตเม็ดเม็ด จากทั้งสแตนคาร์ไบด์ และโลหะประสานด้วยกำลังการผลิต
 เต็ม 100% อยู่ที่ 50,400 ชิ้นต่อปี ในราคา 120 บาทต่อชิ้น และจุดคุ้มทุน ในการผลิต คือ 83,455.9
 ชิ้น จึงจะคืนทุน และถ้า 3 ปี จุดคุ้มทุนจะอยู่ที่การผลิต 87.100.3 ชิ้น

เอกสารอ้างอิง

- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. **ทังสเทน**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/ทังสเทน>, 29 สิงหาคม 2560.
- ตรีทิพย์ ศุภสุนทรกุล. ผู้รวบรวม. 2555. “ทังสเทน (Tungsten).” **จุลสารกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่**. 10, 3 (กรกฎาคม-กันยายน) : 2.
- สุรศิษฐ์ โรจนนันต์. 2550. “คาร์ไบด์และซีเมนเต็ดคาร์ไบด์,” **เทคโนโลยีวัสดุ**. 46 (มกราคม- มีนาคม) : 72-76.
- Sandvik Hard Materials. 2008. **What are the Different Types of Cemented Carbide?**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.allaboutcementedcarbide.com/02.html>, 29 สิงหาคม 2560.
- กรมศุลกากร. 2560. **รายงานสถิติ**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.customs.go.th/statistic_report.php?ini_content=statistics_report. 29 สิงหาคม 2560.
- Chinatungsten Online (Xiamen) Manu. & Sales Corp. n.d. **Tungsten Cemented Carbide**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.tungsten-carbide.com.cn/tungsten-cemented-carbide.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- Wei Su. et al. 2015. **Influences of the Preparation Methods of WC–Co Powders on the Sintering and Microstructure of Coarse Grained WC–8Co Hardmetals**. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 48: 369-375.
- S.G. Huang. et al. 2015. **Microstructure and Mechanical Properties of NbC-Matrix Hardmetals with Secondary Carbide Addition and Different Metal Binders**. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 48: 418-426.
- Kim B. Shedd. 2011. **Tungsten Recycling in the United States in 2000**. U.S. Geological Survey. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://pubs.usgs.gov/circ/circ1196-R/pdf/circular_1196-R.pdf.
- สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ และคณะ. 2552. **การพัฒนาชิ้นส่วนเครื่องมือวัสดุผงอัดขึ้นรูปที่ผ่านการใช้งานกลับมาใช้ใหม่ (Recycling of tools scrap)**. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- Hwan-Cheol Kim. et al. 2008. **Sintering of Binderless WC–Mo₂C Hard Materials by Rapid Sintering Process**. Ceramics International. 34: 1419–1423.
- Yutaka Shinoda , Takashi Akatsu and Fumihiko Wakai. 2007. **Integrated Molding of Nanocrystalline Tungsten Carbide Powder with Stainless Steel**. Materials Science and Engineering B. 148: 145-148.
- Rui Bao and Jian Hong Yi. 2013. **Effect of Sintering Atmosphere on Microwave Prepared WC–8 wt.%Co Cemented Carbide**. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 41: 315-321.

- General Carbide Corporation. 2015. **The Designer's Guide to Tungsten Carbide**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.generalcarbide.com/assets/pdf/GCDesignerGuide.pdf. 29 สิงหาคม 2560.
- Carbide processors Inc. n.d. **Tungsten Carbide Properties**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.carbideprocessors.com/pages/carbide-parts/tungsten-carbide-properties.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. **โคบอลต์**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/โคบอลต์>. 29 สิงหาคม 2560.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. ม.ป.ป. **Cobalt (Co) โคบอลต์**. โครงการพัฒนาเนื้อหาความรู้สำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อโรงเรียนไทย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Co.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- Changsha Langfeng Metallic Material Co.,Ltd. n.d. **TiC Powder Basic Information Introduction**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.langfengmetallic.com/d/files/product-pdf/carbide-powder-pdf/tic-powder-basic-information-introduction.pdf>. 29 สิงหาคม 2560.
- Changsha Langfeng Metallic Material Co.,Ltd. n.d. **NbC Powder Basic Information Introduction**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.langfengmetallic.com/d/files/product-pdf/carbide-powder-pdf/nbc-powder-basic-information-introduction.pdf>. 29 สิงหาคม 2560.
- Changsha Langfeng Metallic Material Co.,Ltd. n.d. **TaC Powder Basic Information Introduction**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.langfengmetallic.com/d/files/product-pdf/carbide-powder-pdf/tac-powder-basic-information-introduction.pdf>. 29 สิงหาคม 2560.
- ดีดี สมุนไพร สปา และเคมีภัณฑ์. 2016. **ไขพาราฟิน Parafin**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.dd-productbkk.com/product-detail.php?id=115&gid=1-001-008>. 29 สิงหาคม 2560.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2560. **พาราฟิน**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/พาราฟิน>. 29 สิงหาคม 2560
- บริษัท พีแอนด์เอ็ม เทคโนโลยี เซอร์วิส จำกัด. ม.ป.ป. **คุณสมบัติเหล็ก S45C**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.pandmtechnology.com/index.php?mo=3&art=42227701>. 29 สิงหาคม 2560.
- หัสริกา หมายมั่น. 2012. **Scanning Electron Microscope : SEM**. เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางโครงสร้างจุลภาค. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scanning-electron-microscope.html>. 29 สิงหาคม 2560.

- นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, ภิญโญ พานิชพันธ์ และ พินทิพ รื่นวงษา. ม.ป.ป. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน**. สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ออนไลน์ มหาวิทยาลัยมหิดล. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- เกียรติพงษ์ ได้การ. 2012. **X-ray Diffractometer XRD**. เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางรังสีเอกซ์. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/x-ray-analysis-instrument-menu/item/87-เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์-xrd.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- หัตถวิภา หมายมั่น. 2012. **Particle Size Analyzer**. เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางโครงสร้างจุลภาค. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/micro-analysis-instrument-menu/item/113-particle-size-analyzer.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- เกียรติพงษ์ ได้การ. 2012. **X-ray Fluorescence XRF**, เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางรังสีเอกซ์. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/x-ray-analysis-instrument-menu/item/88-เครื่องวิเคราะห์ทดสอบทางรังสีเอกซ์-xrf.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- วิรัช เลิศพรหม. ม.ป.ป. **ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบัดด้วยโมบด (ตอนที่ ๒)**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://eng.sut.ac.th/ceramic/old/article/20.pdf>. 29 สิงหาคม 2560.
- purinatth. 2008. **ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://engineerknowledge.blogspot.com/2008/11/blog-post_10.html. 29 สิงหาคม 2560.
- กรรมวิธีทางโลหะผง**. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~ltachai/powder/K001.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- อภิชาติ พานิชกุล, อุษณีย์ กิตกัธริ. ม.ป.ป. **การวัดความแข็ง**. หน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางโลหะวิทยาสำหรับการขึ้นรูปโลหะ (IMIARU) สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement_Of_Hardness.html. 29 สิงหาคม 2560.
- บริษัท เอสอี เพอร์เฟค วัน จำกัด. ม.ป.ป. **เครื่องมือตัดและการเลือกใช้งานกลึง**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://secuttingtool.blogspot.com/2013/11/cutting-tools-selection-turning.html>. 29 สิงหาคม 2560.
- MISUMI (Thailand) Co.,Ltd. ม.ป.ป. **Surface Roughness (ความหยาบของพื้นผิว)**. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://th.misumi-ec.com/maker/misumi/mech/campaign/email20120206/surface_roughness.html. 29 สิงหาคม 2560.

- Wei Zhou. et al. 2015. **The Effect of NbC on Mechanical Properties and Fracture Behavior of WC-10Co Cemented Carbides.** Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 50: 72-78.
- Yang Gao. et al. 2017. **Effects of NbC Additions on the Microstructure and Properties of Nonuniform Structure WC-Co Cemented Carbides.** Materials Science & Engineering A. 687: 259-268.
- Dilek Duman, Hasan Gokce and Huseyin Cimenoglu. 2012. **Synthesis, Microstructure, and Mechanical Properties of WC-TiC-Co Ceramic Composites.** Journal of the European Ceramic Society. 32: 1427-1433.
- Wei SU. et al. 2015. **Effects of TaC on Microstructure and Mechanical Properties of Coarse Grained WC-9Co Cemented Carbides.** Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 25: 1194-1199.
- van der Merwe R., and Sacks N. 2013. **Effect of TaC and TiC on the Friction and Dry Sliding Wear of WC-6 wt.% Co Cemented Carbides Against Steel Counterfaces.** Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 41: 94-102.
- Z.N. Farhat. 2003. **Microstructural Characterization of WC-TiC-Co Cutting Tools During High-Speed Machining of P20 Mold Steel.** Materials Characterization. 51: 117-130.
- Jian Chen. et al. 2016. **Tool Life and Wear Mechanism of WC-5TiC-0.5VC-8Co Cemented Carbides Inserts when Machining HT250 Gray Castiron.** Ceramics International. 42: 10037-10044.
- สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์ และ พงศ์ธร จันทรสุขจาเริญ. 2017. **การเปรียบเทียบความคุ่มค่าระหว่างเม็ดมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวแบบ PVD กับเม็ดมีดกลึงเซอร์เมทในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI/SUS 304.** Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. 4: 2408 - 1248.
- นภิสพร มีมงคล. 2548. **โลหกรรมวัสดุผง(Powder Metallurgy).** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2559. **สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2559 และแนวโน้มปี 2560.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry_overview/annual2016.pdf. 29 สิงหาคม 2560.
- กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ FTA Department of Trade Negotiations. 2552. **รถยนต์และส่วนประกอบ.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : www.thaifta.com/trade/study/au_vol3บทที่1.doc. 29 สิงหาคม 2560.

ภาคผนวก

เอกสารตีพิมพ์





การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2
2nd RMUTP Conference on Engineering and Technology

19 พฤษภาคม 2560

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

www.engcon-rmutp.org

CALL FOR PAPERS



การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2 (2nd RMUTP Conference on Engineering and Technology) เป็นการประชุมวิชาการที่จัดขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ อาจารย์ นักวิจัย นิสิตและนักศึกษา ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีจากสถาบันการศึกษาต่างๆ ร่วมส่งบทความเข้าร่วมงานการประชุมและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในผลงานวิจัย โดยบทความที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ จะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในหนังสือรวมผลงานวิจัย (Proceedings) และพิจารณาคัดเลือกบทความจากการประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร

คณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการ

Steering Committee

ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
ผศ.วัชรินทร์ แสงมา	รองคณบดีฝ่ายบริหาร
อ.ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล	รองคณบดีฝ่ายแผน
อ.สิริพล ทองอ่อน	รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา
ผศ.กุลยศ สุวันโรจน์	ผู้ช่วยคณบดี
ผศ.พิชญ์ ตาราพงษ์	ผู้ช่วยคณบดี
อ.กร พวงนาค	ผู้ช่วยคณบดี

General Chair

ผศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

Technical Program Chair

ผศ.พูนศรี วรรณการ
ผศ.วัชรินทร์ แสงมา
ผศ.จักรพันธ์ แสงสุวรรณ
ร.ต.ดร.พลกฤษณ์ จริยสันติเวทย์
อ.สุกชัย หลีกคำ
อ.นิลमित นิลาส
อ.ประสิทธิ์ แพ่งเพชร
อ.วิเชียร มหาวัน
อ.พลังวัชร แพ่งธีระสุขมัย
อ.ชลากร อุดมรักษาสกุล

Publication Chair

ผศ.ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท

Finance Chair

ผศ.วัชรินทร์ แสงมา

Registration Chair

ผศ.ดร.มนต์ บุญเกียรติทอง

Sponsor Chair

อ.ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล

Secretariat

สาขาบทความ

- วิศวกรรมไฟฟ้า
- วิศวกรรมเครื่องกล
- วิศวกรรมโยธา
- วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
- วิศวกรรมอุตสาหการ
- วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และระบบการผลิตอัตโนมัติ
- วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
- วิศวกรรมการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์
- วิศวกรรมการผลิตเครื่องประดับ
- วิศวกรรมการจัดการเพื่อความยั่งยืน
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รูปแบบบทความ

ผู้เขียนจัดทำรูปแบบบทความเป็นภาษาไทย ความยาวไม่เกิน 4 หน้ากระดาษขนาด A4 ตามรูปแบบที่กำหนด สามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความได้ที่เว็บไซต์ www.engcon-rmutp.org

การส่งบทความ

ผู้เขียนลงทะเบียนการส่งบทความและเลือกสาขาบทความผ่านระบบได้ที่ www.engcon-rmutp.org โดยเลือกที่หัวข้อการส่งบทความ

รูปแบบการนำเสนอบทความ

แบบบรรยายและแบบโปสเตอร์

กำหนดวันสำคัญ

หมดเขตรับบทความทั่วไป	31 มีนาคม 2560
หมดเขตรับบทความรับเชิญ	1 พฤษภาคม 2560
แจ้งผลการพิจารณาบทความ	21 เมษายน 2560
หมดเขตรับบทความฉบับสมบูรณ์	1 พฤษภาคม 2560
วันสุดท้ายของการลงทะเบียนของผู้นำเสนอบทความ	1 พฤษภาคม 2560
การนำเสนอบทความ	19 พฤษภาคม 2560

อัตราค่าลงทะเบียน

อาจารย์ นักวิจัย และบุคคลทั่วไป 2,500 บาท

นิสิตและนักศึกษา 1,500 บาท

การเผยแพร่

หนังสือรวมเล่มผลงานวิจัยจากการประชุมวิชาการ (Proceedings)

ติดต่อสอบถามข้อมูลได้ที่ ฝ่ายวิชาการและวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาชาชนูร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 4118 e-mail : engcon.rmutp@gmail.com

ภาพภาคผนวก 1 โปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2



การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๒

๒๕ เมษายน ๒๕๖๐

เรื่อง ผลการพิจารณาบทความ การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๒

เรียน ชาญณรงค์ สมานพงษ์, ปริญญ์ บุญกนิษฐ และ สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเพื่อเข้าร่วมงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๒ วันที่ ๑๙ พฤษภาคม ๒๕๖๐ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในหัวข้อเรื่อง

" แนวทางการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจากทังสเตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co "

ในการนี้ คณะกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ มีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่าบทความวิจัยเรื่องดังกล่าวได้ " ผ่านการพิจารณา " โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่นำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๒ แล้ว ทั้งนี้ผู้เขียนต้องส่งบทความฉบับสมบูรณ์และลงทะเบียนการนำเสนอบทความภายในวันที่ ๑ พฤษภาคม ๒๕๖๐

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ลงชื่อ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ฤทธิทอง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ประธานกรรมการดำเนินงานประชุมวิชาการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์
โทร. ๐ ๒๘๓๖ ๓๐๐๐ ต่อ ๔๑๑๘
e-mail: engcon.rmup@gmail.com

ภาพภาคผนวก 2 หนังสือแจ้งผลการพิจารณาบทความ การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. พระนคร ครั้งที่ 2



**2nd RMUTP
Conference
on Engineering
and Technology**

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์
และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2
ในวันที่ 19 พฤษภาคม 2560
ณ ห้องประชุมเฟื่องเหนือ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

เกียรติบัตรฉบับนี้มอบให้เพื่อแสดงว่า

**ทนายณรงค์ สมานพงษ์ ปริญญา บุญเกษมสุข
และ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ**

บทความเรื่อง
**แนวทางการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจาก
ถังสแตนเลสไร้ตะกั่ว Tac, Tic, NbC และ Co**

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความ สาขาวิศวกรรมการจัดการเพื่อความยั่งยืน
ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2
(2nd RMUTP Conference on Engineering and Technology)
ในวันที่ 19 พฤษภาคม 2560
ณ ห้องประชุมเฟื่องเหนือ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรณิ ฤทธิทอง)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม
2nd RMUTP Conference on Engineering and Technology

ภาพภาคผนวก 3 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. พระนคร ครั้งที่ 2

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทว.พระนคร ครั้งที่ 2
 Proceedings of the 2nd RMUTP Conference of Engineering and Technology

แนวทางการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจากทังสเตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co Guideline to improve the composition of tungsten carbide mixing TaC, TiC, NbC and Co.

หาญณรงค์ สมานพงษ์¹, ปรีชญ์ บุญณิษฐ¹ และ สหรัตน์ วงศ์ศรีษะ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: harmarong_2@hotmail.com, prin.b@rmutp.th
²สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: saharat_w@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงส่วนผสมเพื่อผลิตชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์ เป็นการศึกษาแนวทางที่มีความเหมาะสม สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม จากการศึกษาสรุปได้ว่าแนวทางที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ การพัฒนาชิ้นงานทังสเตนคาร์ไบด์ อัตราส่วนผสม WC 75 wt% Co 9 wt% สารเติมแต่ง TiC 15 wt% NbC 0.5 wt% และ TaC 0.5 wt% ซึ่งจะสามารถพัฒนาชิ้นงานที่มีความแข็งแรงระหว่าง 1124 – 2200 HV ขนาดเม็ดเกรน 0.8 μm

คำสำคัญ: ซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์, ทังสเตนคาร์ไบด์, โลหะประสาน, สารเติมแต่ง

Abstract

The Study on improving ingredient for suitable Tungsten Carbide composition to apply for using in the industry. The study concluded that the most likely approach was development of Tungsten Carbide workpiece ratio WC 75 wt% Co 9 wt% additives of TiC 15 wt% NbC 0.5 wt% and TaC 0.5 wt% which can develop hard workpieces between 1124 - 2200 HV grain size 0.8 μm .

Keywords: Cement tungsten carbide, tungsten carbide, metal alloy, additive

1. บทนำ

ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมงานโลหะเป็นอย่างมาก เป็นธาตุที่มีทนต่อการสึกหรอ มีความแข็งแรงสูงเป็นพิเศษ และมีความเหนียวที่ต่ำกว่าวัสดุที่แข็งอื่นๆ การนำไปใช้งานที่เห็นกันคือ ผลิตกังหันงานโลหะที่ต้องใช้ความคงทนสูง เช่น เครื่องมือในงานกัด เจาะ กัด จะเป็นส่วนจำพวกมีดมีดกลึง ดอกสว่าน เป็นต้น [1]

การที่จะทำผลิตภัณฑ์โลหะในการผลิตที่มีความคงทนสูงนั้น จะต้องทำให้โลหะมีส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) กับ โลหะอื่นที่ทำหน้าที่ประสาน (binder) โดยการวิธีการผสมผงทังสเตน (W) กับ คาร์บอน (C) และ โลหะอื่นที่ทำหน้าที่ประสาน (binder) เข้าด้วยกัน [2] โดยทำการอบด้วยความร้อนเพื่อให้เชื่อมติดกัน ทังสเตนจะจับรวมตัวกันแล้วจะเกิดเป็นสารประกอบคาร์ไบด์ และ โลหะอื่นจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน โลหะประสานต้องเป็นโลหะที่มีสมบัติพิเศษ เช่น โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) และ โมลิบดีนัม (Mo) และสารเติมแต่ง (additive) อื่นๆซึ่งเป็นตัวช่วยเสริมปรับคุณสมบัติ เช่น แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) [3]

จากการศึกษาข้อมูลด้านการผลิตผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC powder) พบว่า คุณสมบัติที่สำคัญของผงโลหะ จะมีสภาพที่แตกต่างกันตามองค์ประกอบ (composite) ของผงโลหะ ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะสภาพและคุณสมบัติทางเคมี เช่น มีความต้านทานสูงสุด (resistance to wear) การเปลี่ยนรูป (deformation) การแตกหัก (fracture) การกัดกร่อน (corrosion) และการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) เป็นต้น และส่งผลสำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานที่ถูกผลิตขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสูตรโลหะผสมที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากโคบอลต์ ซึ่งช่วยให้พันธะหรือ โครงสร้างของชิ้นงานมีความแข็งแรงพิเศษสูงขึ้น หลังจากการอัดขึ้นรูปและอบแห้ง โดยการเติมโลหะประสานชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) เป็นต้น ทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผลิตขึ้นสามารถมีพันธะร่วมกับโคบอลต์ยังสามารถมีพันธะร่วมหรือถูกแทนที่กับโลหะอื่นๆ ได้ [4] นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญต่อการควบคุมการเกิดเกรนระหว่างกระบวนการอบแห้ง ทำให้อายุการใช้งานและ การกระจายตัวของเกรนมีนัยสำคัญที่จะส่งผลต่อความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกหรอและอื่นๆ [5]

งานวิจัยนี้ จึงเป็น การศึกษาการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจากทังสเตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อต่อยอดการพัฒนาวัสดุโลหะผสมทังสเตนให้เป็นชิ้นงานโลหะความแข็งแรงสูง (High

บทความวิจัย

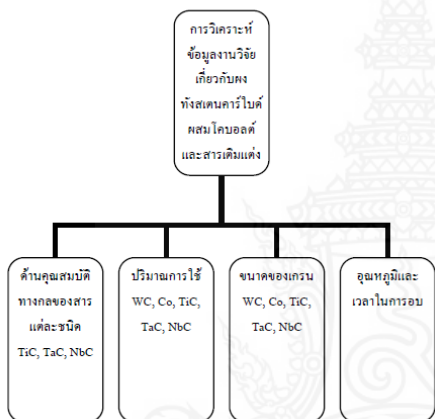
การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2

Proceedings of the 2nd RMUTP Conference of Engineering and Technology

hardness) ภายใต้อิทธิพลของตัวแปร คือ ปริมาณวัสดุประสาน และ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผู้ การสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุในเชิงพาณิชย์ได้

2. วิธีการทดลอง

ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม โคบอลต์และสารเติมแต่ง เช่น TiC, TaC, NbC ด้านคุณสมบัติทางกล ของสารแต่ละชนิด ปริมาณการใช้ ขนาดของเกรน และอุณหภูมิในการ อบ เพื่อสามารถนำมาพัฒนาต่อยอด โดยมีรายละเอียดดังนี้



2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วน โลหะจากทั้งสแตน คาร์ไบด์ และสารเติมแต่ง พบว่ากระบวนการผลิตมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้ การผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ นำผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ ทำการ ตรวจวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ขนาด และ ส่วนผสมทางเคมี ถัดไปทำการ ผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ กับ ผงโคบอลต์ เป็นโลหะประสาน และ โลหะ ผสม เช่น ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ที่มีความ แข็ง และทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี หรือใช้ผสมกับโลหะคาร์ไบด์ชนิด อื่นๆ เช่น ทั้งสแตนคาร์ไบด์ หรือ อิน โอเบียมคาร์ไบด์ เพื่อใช้ในการทำ เครื่องมือ กัด เจาะ โส หรือตัดเหล็ก และ โลหะอื่น

จากการศึกษาพบว่า WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ที่มีความแข็งสูง มีความเหนียวและความต้านทานการสึกหรอนั้น อินเบียมคาร์ไบด์ (NbC) ช่วยเพิ่มความแข็งได้อย่างมีประสิทธิผลสามารถยับยั้งการขยายตัวของ เกรน WC และเพิ่มความแข็งให้ WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ และเมื่อเติม NbC ที่ 0 wt% - 2 wt% ความแข็งเพิ่มขึ้น 1,475-1,570 MPa และการ

แตกหักลดลง 12.1-10.3 MPa ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ช่วยความแข็ง และความต้านทานการสึกหรอของ WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเติม TiC ที่ 16 wt% มีความแข็งระหว่าง 1963 – 2057 HV และความหนาแน่นอยู่ ระหว่าง 78 – 80 % และแทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ช่วยยับยั้งการ เจริญเติบโตของเกรน WC เมื่อเติม TaC น้อยกว่า 0.4 wt% ความแข็ง เพิ่มขึ้นและแตกหักลดลง ความแข็งอยู่ที่ 1124 HV การแตกหักอยู่ที่ 19.34 MPa และปริมาณการใช้ผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ ผงโคบอลต์ วั ประสาน และสารเติมแต่ง (additive) ในการผลิตชิ้นงานจากทั้งสแตนคาร์ ไบด์ ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้ผงในการผลิตชิ้นงานจากทั้งสแตนคาร์ไบด์

รายการ	ปริมาณ wt%	ขนาดเกรน
WC	45.5 - 90.6	0.6 - 20.2
Co	5.9 - 10	0.8 – 1.31
TiC	2.83 - 16	0 - 3.4
TaC	0.09 – 3.61	0 – 0.87
NbC	0.01 - 4	0.5 – 1.48

ขึ้นคอนถัดไปหลังผสมเสร็จนำไปสู่ขบวนการ การอัดขึ้นรูป (Green compact) ด้วยวิธีการกดอัดใช้แรงกดอัด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แรงในการกดอัดผงในการผลิตชิ้นงานจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ ผสม TaC, TiC, NbC และ Co

วิธีการ	แรงกด MPa
การกดอัด	200 - 400

ขึ้น คอน หลังจากการกดอัด คือ การนำมายอบผลึก (sintering) โดยใช้ปัจจัย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยในการอบผลึกชิ้นงานจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co

วิธีการ	อุณหภูมิ °C	เวลา (ชั่วโมง)	บรรยากาศ	แรงดัน MPa
การอบผลึก	1,410 - 1,550	3 - 12.40	Vacuum, Hydrogen, argon	5

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2

Proceedings of the 2nd RMUTP Conference of Engineering and Technology

จากตารางที่ 1, 2 และ 3 เป็นปัจจัยในการกำหนดเงื่อนไขในการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co จากที่มา [6][7][8][9][10]

3. ผลการทดลอง

จากการศึกษาข้อมูลในการผสมผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ของการผลิตชิ้นงานจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ผสมไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนเบียมคาร์ไบด์ (NbC) แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) และ โคบอลต์ (Co) ในข้อจำกัดของ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) ตัวประสานโคบอลต์ (Co) และ สารเติมแต่ง (additive) โดยมีสัดส่วนในการผสมที่แตกต่างกันของสารแต่ละชนิด เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงสูตรจากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นทำให้สามารถออกแบบสูตรการผลิตชิ้นงานผลิตจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ออกแบบสูตรการผลิตชิ้นงานผลิตจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co

วัสดุ	WC	Co	TiC	NbC	TaC
ตัวอย่าง 1	75	10	15	-	-
ตัวอย่าง 2	75	8	17	-	-
ตัวอย่าง 3	75	10	14	1	-
ตัวอย่าง 4	75	8	16	1	-
ตัวอย่าง 5	75	9	15	1	-
ตัวอย่าง 6	75	9	15	0.5	0.5
ตัวอย่าง 7 (ผง WC ซือ)	75	9	15	0.5	0.5

จากตารางที่ 4 นำทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ได้จากการบด มาผสมตามสูตรที่กำหนดดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ 75% โดย น้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 10% โดยน้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 2 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ 75% โดย น้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 8% โดยน้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 17% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 3 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 10% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 14%

โดยน้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 4 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ 75% โดย น้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 8% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 16% โดยน้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 5 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ 75% โดย น้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดย น้ำหนัก และ ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 1% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 6 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ไซเคิลที่ 75% โดย น้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดย น้ำหนัก ใน ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และ แทนทาลัม 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 7 โดยใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายที่ 75% โดยน้ำหนัก และ โคบอลต์ที่ 9% โดยน้ำหนัก ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก ใน ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ 0.5% โดยน้ำหนัก และ แทนทาลัม 0.5% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง

4. สรุป

ในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co มีจำนวน 7 ตัวอย่าง และมีปริมาณการผสมที่แตกต่างกัน จากการศึกษางานวิจัยที่ [6][7] การเติม NbC ที่ 0-2 wt% ความแข็งเพิ่มขึ้นและการแตกหักลดลง งานวิจัยที่ [8] การเติม TiC ที่ 16 wt.% สามารถลดครุพูน และเพิ่มความหนาแน่นอยู่ที่ปริมาณ 78% - 80% ความแข็งได้สูงอยู่ที่ 1989 HV - 2057 HV งานวิจัยที่ [9][10] การเติม TaC ที่น้อยกว่า 1 wt.% มีประสิทธิภาพมากที่สุดของการด้านทานการสึกหรอ และมีความแข็งสูงขึ้น จากงานวิจัยที่ [10] พบว่าการผสม WC - Co 5.9 wt% NbC 0.01 wt% และ TaC 0.09 wt% ความแข็งอยู่ที่ 1915 HV ความหนาแน่นอยู่ที่ 14.97 g/cm³ มีความแข็ง และความหนาแน่นที่ต่ำกว่า WC - Co 6 wt% TiC 2.83 wt% NbC 0.39 wt% และ TaC 3.61 wt% ซึ่งความแข็งอยู่ที่ 1604 HV ความหนาแน่นอยู่ที่ 14.18 g/cm³ เนื่องจากมีการเติม TaC มากกว่า 1 wt% และจากงานวิจัยที่ [8] มีการเติม TiC ที่ 16 wt.% ทำให้มีความแข็งและความหนาแน่นที่สูง สรุปได้ว่า แนวทางที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการ

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทว.พระนคร ครั้งที่ 2

Proceedings of the 2nd RMUTP Conference of Engineering and Technology

ผลิตชิ้นงานทั้งสแตนคาร์ไบด์ คือ อัตราส่วนผสม WC 75 wt% Co 9 wt% สารเติมแต่ง TiC 15 wt% NbC 0.5 wt% และ TaC 0.5 wt% ซึ่งจะสามารถพัฒนาชิ้นงานที่มีความแข็งแรงระหว่าง 1124 – 2200 HV ขนาดเม็ดเกรน 0.8 μm

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน และสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทว.พระนคร ทุกท่านที่อนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการเขียนบทความและให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shih-Hsien Chang , Ming-Hung Chang , Kuo-Tsung Huang, *Study on the sintered characteristics and properties of nanostructured WC-15 wt% (Fe-Ni-Co) and WC-15 wt% Co hard metal alloys*, Journal of Alloys and Compounds, (2015); 649 : 89-95.
- [2] นายฉรินทร์ ชลไพศาล, *สถานการณ์ทั้งสแตนของโลกและของไทย, สำนักเหมืองแร่และสัมปทาน, หน้าที่ 2, ที่มา*
<http://www1.dipim.go.th/dt/ppper/000001433895816.pdf>
- [3] ดร. สุรศิษฐ์ โรจนนันต์, *คาร์ไบด์และซีเมนต์คาร์ไบด์, บทความภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะ วิศวกรรมศาสตร์, หน้าที่ 2, ที่มา*
https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/countfavor_article.asp?a=load&fileid=130&Run_no=dlkedkzbz
- [4] Weibin Qiu, Ying Liua, Jinwen Ye, Hanjie Fan, Yuchong Qiu, *Effects of (Ti,Ta,Nb,W)(C,N) on the microstructure, mechanical properties and corrosion behaviors of WC-Co cemented carbides*, Ceramics International, (2017); 43 : 2918-2926.
- [5] Wei Su, Yexi Sun, Jiao Feng, Jue Liu, Jianming Ruan, *Influences of the preparation methods of WC-Co powders on the sintering and microstructure of coarse grained WC-8Co hardmetals*, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, (2015); 48: 369-375.
- [6] Wei Zhou, Ji Xiong ,Weicai Wan, Zhixing Guo, Zihao Lin, Shiwei Huang, Limei Tang, Hua Zhong, *The effect of NbC on mechanical properties and fracture behavior of WC-10Co cemented carbides*. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2015 ; 50: 72-78.
- [7] Yang Gao, Ming-Yuan Yan, Bing-Hui Luo, Sheng Ouyang, Wei Chen, Zhen-hai Bai, Huibo Jing, Wen-Wen Zhang, *Effects of NbC additions on the microstructure and properties of nonuniform structure WC-Co cemented carbides*. Materials Science & Engineering A. 2017; 687: 259-268.
- [8] Dilek Duman, Hasan , *Synthesis, microstructure, and mechanical properties of WC-TiC-Co ceramic composites*. Journal of the European Ceramic Society. 2012; 32: 1427-1433.
- [9] Wei SU, Ye-xi SUN, Hai-lin YANG, Xian-qi ZHANG, Jian-ming RUAN, *Effects of TaC on microstructure and mechanical properties of coarse grained WC-9Co cemented carbides*. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2015; 25: 1194-1199.
- [10] R. van der Merwe, N. Sacks. *Effect of TaC and TiC on the friction and dry sliding wear of WC-6 wt.% Co cemented carbides against steel counterfaces*. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2013; 41: 94-102.
- [11] Z.N. Farhat, *Microstructural characterization of WC-TiC-Co cutting tools during high-speed machining of P20 mold steel*, Materials Characterization. 2003; 51: 117-130.
- [12] Jian Chen, WeiLiu , XinDeng , Shanghua Wu, *Tool life and wear mechanism of WC-5TiC-0.5VC-8Co cemented carbides inserts when machining HT250 gray castiron*, Ceramics International. 2016; 42: 10037-10044.
- [13] Nan Lin, Yuehui He, ChonghuWu, Shaofeng Liu, Xiaohua Xiao, Yao Jiang, *Influence of TiC additions on the corrosion behaviour of WC-Co hardmetals in alkaline solution*, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials , 2014; 46: 52-57.

นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี พ.ศ.

2560



สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

SIIMC 2017

6th Sustainable Industrial Innovation and Management Conference 2017



CALL FOR PAPERS

การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน

ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

วันที่ 29 กันยายน 2560

ณ ศูนย์นันทนาการและการประชุมไบเทค บางนา



เปิดรับสมัครบทความวิจัยจำนวน 9 สาขา ดังนี้

1. วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Management Engineering)
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงวิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Engineering Product Development)
3. การบริหารและพัฒนาองค์กรในอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Organization Management Development)
4. วิศวกรรมอุตสาหกรรม วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมวัสดุและโลหะการ (Industrial Engineering, Production Engineering, Metal and Material Engineering)
5. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Environment Engineering)
6. วิศวกรรมพลังงานเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Energy Engineering)
7. การประกันคุณภาพเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Quality Assurance)
8. วิศวกรรมการจัดการกรีนโลจิสติกส์เพื่อความยั่งยืน (Sustainable Green Logistic Management Engineering)
9. การพัฒนาความยั่งยืนเชิงอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (Relate Topics in Sustainable Industrial Development)

กำหนดส่งบทความ

ส่งไฟล์บทความต้นฉบับเรื่องเต็ม (Full Paper)

แจ้งผลการประเมินบทความเรื่องเต็ม

ส่งไฟล์บทความฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการแก้ไขแล้ว

ภายในวันที่ 30 สิงหาคม 2560

ภายในวันที่ 11 กันยายน 2560

ภายในวันที่ 18 กันยายน 2560

ลงทะเบียนล่วงหน้า

ชำระเงินภายในวันที่ 10 กันยายน 2560

1,500 บาท (รวม Vat แล้ว)

ชำระเงินหลังจากวันที่ 10 กันยายน 2560

2,000 บาท (รวม Vat แล้ว)

สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
เว็บไซต์ : www.iei.or.th
ติดต่อ : คุณอนุษา สิกุลจ้อย โทรศัพท์ : 02-345-1261 โทรสาร : 02-345-1266-7
E-mail : anusas@off.fti.or.th





๒๑ กันยายน ๒๕๖๐

เรื่อง การตีพิมพ์บทความวิชาการ

เรียน คุณหาญณรงค์ สمانพงษ์

ด้วยคณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการขอยกเลิกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความวิชาการ เลขที่ วจอ ๑๘๘/๓/๒๕๖๐ ลงวันที่ ๒๑ กันยายน ๒๕๖๐ นั้น และขอใช้หนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความวิชาการฉบับนี้แทน

ตามที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ร่วมกับสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จัดการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน “Sustainable Industrial Innovation and Management” ภายใต้งานสัมมนา Eco Innovation Forum ๒๐๑๗ ในวันที่ ๒๙ กันยายน ๒๕๖๐ ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา นั้น

ในการนี้ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร ขอแจ้งให้ทราบว่า บทความเรื่อง การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co (Hard metal development from tungsten carbides with binder TaC, TiC, NbC and Co) ดังกล่าวได้ผ่านการประเมินจากกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว ขอให้ท่านเข้าร่วมนำเสนอผลงานทางวิชาการแบบบรรยาย (Oral presentation) ในวันที่ ๒๙ กันยายน ๒๕๖๐ ณ ห้องย่อยที่ ๔ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา รายละเอียดดังเอกสารที่แนบมานี้

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาวประภาพร พลอยยอด)

ประธานคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการ

โทร. ๐๒-๘๓๖-๓๐๐๐ ต่อ ๔๑๗๕ (สุวิทย์ แพงกันยา ผู้ประสานงาน)

ภาพภาคผนวก 5 หนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความ



ภาพภาคผนวก 6 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการ และการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี พ.ศ.2560



นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co Hard Metal Development from Tungsten Carbides with Binder TaC, TiC, NbC and Co.

หาญณรงค์ สมานพงษ์^{1*}, ปริญญ์ บุญกนิษฐ², สหรัตน์ วงษ์ศรีระ³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
E-mail: harnarong_2@hotmail.com , E-mail: prin.b@mutp.th

² สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
E-mail: saharat_w@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติทางกล และความแข็งของชิ้นงานซีเมนต์ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่ได้จากการผสมของทั้งสแตนคาร์ไบด์(WC)ที่ 75 wt% และ โคบอลต์(Co) เป็นตัวประสานที่ 8 wt% -10 wt% และเติมด้วยธาตุผสมคือ แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC)ที่ 0.5 wt% ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC)ที่ 14 wt% - 17 wt% ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC)ที่ 0.5 wt% - 1 wt% แล้วนำมาอัดขึ้นรูป และนำมาอบที่ 1450 °C เมื่อได้ชิ้นงานแต่ละส่วนผสมที่ต่างกัน พบว่าลักษณะรูปร่างอนุภาค ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีพื้นที่ผิวที่ขรุขระของพื้นผิวอนุภาค และมี ส่วนประกอบทางเคมีมากกว่า ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ทำให้มีความหนาแน่น Green density ที่ต่ำ อยู่ระหว่าง 4.701 - 5.148 kg/cm³ เกิดจากการไหลผ่านกันระหว่างอนุภาคไม่ดี มีผลต่อ ความหนาแน่น, ความแข็งแรงในชิ้นงานโดยความแข็งอยู่ระหว่าง 201.33 - 411 HV และ การอัดผงโลหะให้แน่นก่อนการอบขึ้นรูป จะช่วยลดรูพรุนลง เพราะมีรูพรุนน้อย ทำให้การหดตัวขณะอบขึ้นรูปเกิดขึ้นน้อยกว่า การหดตัวขณะอบขึ้นรูปจะแปรผันกับความหนาแน่นของ Green density พบว่าชิ้นงานจากสูตรที่ 1-6 เกิดรูพรุนมาก และเกิดการแตกร้าว แต่ ชิ้นงานสูตรที่ 7 ว่างมีรูพรุนน้อย พื้นผิวมีความราบเรียบสม่ำเสมอไม่พบการแตกร้าว มีความแข็งอยู่ที่ 1542.33 HV และ Green density อยู่ 6.277 kg/cm³ โดยการเติม TaC จะทำให้มีความแข็งที่สูงขึ้น และช่วยในการยับยั้งการขยายตัวของเกรน WC และการเติม NbC ทำให้ลดการแตกหักได้

คำสำคัญ (Key word): ตัวประสาน; ธาตุผสม; ทั้งสแตนคาร์ไบด์; โคบอลต์; ออบนิก

Abstract

Study of mechanical properties and the Hardness of the tungsten carbide cement work Obtained from the mix of tungsten carbide powder. (WC) at 75 wt% and Cobalt (Co) is binder 8 wt% -10 wt% and fill mixture with Tantalum Carbide (TaC) at 0.5 wt% Titanium carbide (TiC) at 14 wt% - 17 wt% niobium carbide (NbC)



นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

at 0.5 wt% - 1 wt%, Then extruded And sintering at 1450 ° C, when each piece the of the work the ingredients is different. Found that Particle shapeThe tungsten carbide recycling powder has a jagged surface area of the particle surface. And have exceed chemical components than tungsten carbide powder from the supplier. Produce an effect. low density of Green density is between 4,701 - 5,148 kg / cm³, Due to the movement between the poor particles. Affect the density , strength in the workpiece. the hardness between 201.33 - 411 HV and the Compression metal powders tight before sintering. It will reduce the porosity. Because there is less porosity. Less shrinkage during sealing occurs. The shrinkage during sintering was varied with the density of green density. The specimens from formula 1-6 were very porous. And cracking But the seventh workpiece is less porous. Surface is smooth, uniform, no crack. It has a hardness of 1542.33 HV and a green density of 6.277 kg / cm³. The addition of TaC gives a higher hardness. It also helps in inhibiting the expansion of WC grains and the addition of NbC to reduce fracture.

Keywords: Binder; Compound; Tungsten carbide; Cobalt; Sintering

1. บทนำ (Introduction)

ทั้งสแตน หรือ วูลฟรัม (W) จัดเป็นโลหะบริสุทธิ์ที่หายาก เป็นธาตุที่มีความแข็งแรง มีความทนทานสูง มีความหนาแน่นสูง (High density) 19.25 g/cm³ และมีจุดหลอมเหลวสูง (3422°C)[1] การนำไปใช้ในงานของโลหะทั้งสแตนใช้ทำเกี่ยวกับงานไฟฟ้าโดยเฉพาะใส่หลอดไฟฟ้า และ การผลิตโลหะผสมให้มีความแข็งแรง เพื่อนำมาใช้ในการผลิตเครื่องมือและผลิตภัณฑ์โลหะที่ต้องการความคงทนสูง เช่น ชิ้นส่วนทนการสึกหรอ เครื่องมือตัดที่ใช้ในงานกลึง งานกัด และงานเจาะ เป็นต้น[2] โดยการผลิตโลหะผสมที่มีความแข็งแรงสูงนั้น ผงทั้งสแตนที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมการผลิต ต้องมีส่วนผสมของคาร์บอน (C) เมื่อรวมตัวกันทำให้มีองค์ประกอบของธาตุกลายเป็นโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) และนำมาผสมเข้ากับผงโคบอลต์ด้วยกระบวนการ carburization process จากนั้นจึงนำทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสมกับโลหะอื่นที่ทำหน้าที่ประสาน (binder) เพื่อให้ผงโลหะทั้งสแตนยึดติดกันแน่น เช่น โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) โครเมียม และโมลิบดีนัม (Mo) คุณสมบัติที่สำคัญของผงโลหะจะมีศักยภาพที่จะแตกต่างกันตามองค์ประกอบ (composite) ของผงโลหะ ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี [3] และส่งผลสำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานที่ถูกผลิตขึ้น หากชิ้นงานมีความคงทน แข็งแรงมากขึ้นงานนั้นก็จะมีมูลค่าที่สูงขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลด้านการผลิตผงทั้งสแตนคาร์ไบด์

(WC powder) พบว่า สัดส่วนของทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 70-97% ของน้ำหนักรวมของสารประกอบ และค่าเฉลี่ยของเกรนอยู่ระหว่าง 0.4 - 10 ไมครอน[4]

จึงได้มีการพัฒนาสูตรโลหะผสมที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากโคบอลต์ซึ่งช่วยให้พันธะหรือโครงสร้างของชิ้นงานมีความแข็งแรงพิเศษขึ้นหลังจากการอัดขึ้นรูปและอบผนึก โดยการเติมโลหะประสานชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ไนโอเบียมคาร์ไบด์ (NbC) เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลทำให้คาร์ไบด์ที่สามารถละลายรวมกันและสัดส่วนของทั้งสแตนที่สามารถละลายได้มีสูงขึ้น [5] นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญต่อการควบคุมการเกิดเกรนระหว่างกระบวนการอบผนึก ทำให้ขนาดเฉลี่ยของเกรน และการกระจายตัวของเกรนมีนัยสำคัญที่จะส่งผลต่อความแข็งแรง ความทนทานต่อการสึกหรอและอื่นๆ[6,7] การเลือกใช้ตัวยับยั้งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของ NbC>TaC>TiC โดยการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่าเมื่อเติม TiC 16% โดยน้ำหนักจะช่วยเพิ่มความหนาแน่น เพิ่มความแข็งแรง และ ลดรูพรุนได้ ส่วน NbC เมื่อเติม 1-2% โดยน้ำหนักจะช่วยลดการแตกหัก เพิ่มความแข็งแรง ในส่วน TaC เมื่อเติม 0.4-1% โดยน้ำหนักจะช่วยเพิ่มความแข็งแรง และยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเกรน ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์เป็นวัสดุต้นน้ำของ

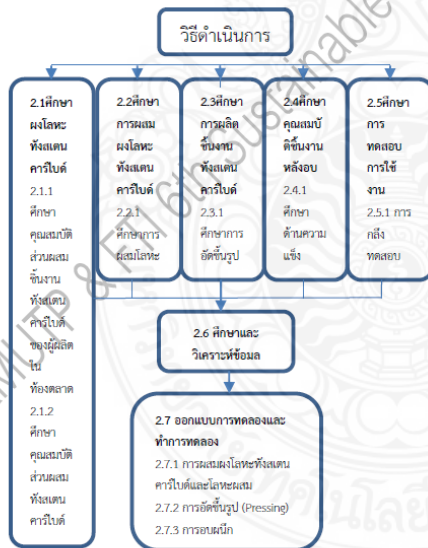


การผลิตในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ จำนวนมาก จัดเป็นวัสดุหายาก และประเทศไทยต้องนำเข้าวัสดุชนิดนี้จากต่างประเทศ จึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ในการผลิตโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) การพัฒนาวัสดุแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นการพัฒนาวัสดุความยั่งยืน

งานวิจัยนี้ จึงเป็นการพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผสม TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อต่อยอดการพัฒนาวัตถุดิบโลหะผงทั้งสแตนให้เป็นชิ้นงานโลหะความแข็งสูง (High hardness) ภายใต้อิทธิพลของตัวแปร คือ ปริมาณโลหะประสาน ถือเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญในการพัฒนาวัสดุอย่างยั่งยืน ทำให้เพิ่มความสามารถด้านการแข่งขันด้านเศรษฐกิจและนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มของวัสดุในเชิงพาณิชย์ได้

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินการวิจัยพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co ได้ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร บทความต่างๆ และผู้ผลิตในเรื่องคาร์ไบด์และซีเมนต์คาร์ไบด์ โลหะกรรมวัสดุผง กระบวนการผลิตชิ้นงานจากโลหะผง เป็นต้น จึงกำหนดวิธีการดำเนินการทดลองดังรูปที่ 1



นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

2.7 ออกแบบการทดลองและทำการทดลอง

หลังจากทำการศึกษาดำเนินการทดลองในข้อ 2.1 ถึง 2.6 แล้ว ดังรูปที่ 1 จากการศึกษาพบว่า WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ที่มีความแข็งสูงมีความเหนียวและความต้านทานการสึกหรอนั้นในเบียมคาร์ไบด์ (NbC) ช่วยเพิ่มความแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถยับยั้งการขยายตัวของเกรน WC และเพิ่มความแข็งให้ WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์และเมื่อเติม NbC ที่ 0 wt% - 2 wt% ความแข็งเพิ่มขึ้น 1,475-1,570 MPa และการแตกหักลดลง 12.1-10.3 MPa ไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ช่วยเพิ่มความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของ WC-Co ซีเมนต์คาร์ไบด์ เมื่อเติม TiC ที่ 16 wt% มีความแข็งระหว่าง 1963 – 2057 HV และความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 78 – 80 % และแทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเกรน WC เมื่อเติม TaC น้อยกว่า 0.4 wt% ความแข็งเพิ่มขึ้นและแตกหักลดลง ความแข็งอยู่ที่ 1124 HV และปริมาณการใช้ผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์ ผงโคบอลต์ตัวประสาน และสารเติมแต่ง (additive) ในการผลิตชิ้นงานจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ จึงได้ออกแบบการทดลองและสัดส่วนในการผสมโดยกำหนดให้ WC เป็นตัวแปรควบคุมทั้ง 7 สูตร และ ให้ โลหะประสานเป็นตัวแปรอิสระ เช่น NbC, TaC และ TiC และทำการผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์และโลหะผสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรการผสมชิ้นงานผลิตจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co

วัสดุ	WC	Co	TiC	NbC	TaC
สูตรที่ 1	75	10	15	-	-
สูตรที่ 2	75	8	17	-	-
สูตรที่ 3	75	10	14	1	-
สูตรที่ 4	75	8	16	1	-
สูตรที่ 5	75	9	15	1	-
สูตรที่ 6	75	9	15	0.5	0.5
สูตรที่ 7	75	9	15	0.5	0.5

(ผง WC ซ้ำ)

2.7.1 การผสมผงโลหะทั้งสแตนคาร์ไบด์และโลหะผสมจากตารางที่ 1 ทำการผสมตามสูตรดังนี้ ยกตัวอย่างสูตรที่ 1 ใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ 75% โดยน้ำหนัก



และโคบอลต์ที่ 10% โดยน้ำหนัก และ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ที่ 15% โดยน้ำหนัก แล้วมาบดโดยใช้ลูกบด 10 mm. ในอัตราส่วน 1:10 ที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ในเวลา 30 ชั่วโมง โดยทำการผสมตั้งน้จันครบทั้ง 7 สูตร

2.7.2 การอัดขึ้นรูป

หลังผสมเสร็จนำไปสู่ขบวนการ การอัดขึ้นรูป (Green compact) ด้วยวิธีการกดอัดใช้แรงกดอัด แล้วทำการวัดความหนาแน่นของชิ้นงาน green compact หลังการอัดขึ้นรูปผงโลหะ ดังตารางที่ 2

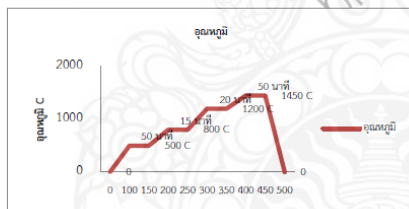
ตาราง 2 ความหนาแน่นชิ้นงาน green compact

ผลจากการวัดความหนาแน่น						
สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4	สูตรที่5	สูตรที่6	สูตรที่7
4.872	5.052	4.997	5.059	4.701	5.148	6.277

จากตาราง 2 ผลการวัดความหนาแน่นจากชิ้นงาน green compact ของแต่ละสูตรผสมของผงโลหะที่ผ่านการอัดขึ้นรูปจะต่ำกว่ามาตรฐาน ดังตาราง

2.7.3 การอบผืน

หลังจากการกดอัด นำมาอบผืน (sintering) โดยใช้ปัจจัยดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุณหภูมิและเวลาเตาอบสูญญากาศ

จากรูปที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการอบของชิ้นงาน green compact ที่เครื่องเตาอบสูญญากาศเพื่อให้โมเลกุลผสานจับตัวติดกัน ทำให้เกิดความแข็งแรงพร้อมใช้งานได้โดยใช้เวลา 5 ° ต่อนาทีถึง 500 ° คองอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 50 นาทีและใช้เวลา 5 ° ต่อนาทีถึง 800 ° คองอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 15 นาทีและ ใช้เวลา 6 ° ต่อนาทีถึง 1200 ° คองอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 20 นาทีและ ใช้เวลา 4 ° ต่อนาทีถึง 1450 ° คองอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 50 นาทีและ

นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม

จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

ปล่อยให้เย็นตัวลง แล้วทำการวัดความหนาแน่นและน้ำหนักของชิ้นงาน หลังการอบผืน ดังตารางที่ 4 และ 5

ตาราง 3 ความหนาแน่นชิ้นงานเม็ดมีดหลังการอบผืน

ผลการวัดความหนาแน่น						
สูตรที่1	สูตรที่2	สูตรที่3	สูตรที่4	สูตรที่5	สูตรที่6	สูตรที่7
9.43	9.73	8.87	9.93	9.17	9.03	10.90

2.1 การทดสอบความแข็งและการใช้งาน

จากการวัดค่าความแข็งจากการวัดด้วยการกดจากชิ้นงานเม็ดมีดที่ผ่านการอบผืนแล้ว จะมีค่าดังนี้ สูตรที่1 : 75WC 15TiC 10Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 250.33 HV สูตรที่ 2 : 75WC 17TiC 8Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 272.33 HV สูตรที่3 : 75WC 14TiC 1NbC 10Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 201.33 HV สูตรที่4 : 75WC 16TiC 1NbC 8Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 411 HV สูตรที่5 : 75WC 15TiC 1NbC 9Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 362.66 HV สูตรที่6 : 75WC 15TiC 0.5NbC 0.5TaC 9Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 243 HV สูตรที่7(ชื่อผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย) : 75WC 15TiC 0.5NbC 0.5TaC 9Co ความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 1,542.33 HV ดังตารางที่ 4

ตาราง 4 ค่าความแข็งจากการวัด

ผลการทดลอง (HV)							
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7
เฉลี่ย	250.33	272.33	201.33	411	362.66	243	1,542.33

การทดสอบเม็ดมีดจากการผลิตชิ้นมาทั้ง 7 สูตร ด้วยการทดสอบใช้งานจริง ด้วยวิธีการกลึงด้วยเครื่องกลึง CNC โดยการกลึงเหล็กเพลาลูกคาร์บอนปานกลาง S45C ขนาด 30 mm. ยาว 95 mm. กลึงยาว 30 mm. กลึงเหลือขนาด 28 mm. ด้วยความเร็วของการตัด (Cutting Speed) 156 m/min, อัตราการป้อน (Feed Rate) 0.09 mm/rev, ความลึกของการตัด (Depth of Cut) 1.00 mm. แล้วนำมาวัดความเรียบผิวหลังจากการทดลอง โดยเม็ดมีดสูตรที่ 1 ถึง สูตรที่ 6 ไม่สามารถนำชิ้นงานมาทดสอบได้เนื่องจากเกิดการแตกร้าวเมื่อปะทะกับชิ้นงาน จึงทดสอบเพียงสูตรที่ 7 มาเทียบกับเม็ดมีดที่ขายในท้องตลาด ดังตารางที่ 5



ตาราง 5 ผลการทดสอบความเรียบผิวของชิ้นงาน

ผลการทดสอบความเรียบผิว Ra(µm)							
สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7	Kenna metal 1
-	-	-	-	-	-	4.21	4.41

3. ผลการวิจัย (Results)

จากการทดลองการผลิตเม็ดยัดตั้งสูตรส่วนผสมดังนี้คือ สูตรที่ 1 (75WC-10Co-15TiC), สูตรที่ 2 (75WC-8Co-17TiC), สูตรที่ 3 (75WC-10Co-14TiC-1NbC), สูตรที่ 4 (75WC-9Co-16TiC-1NbC), สูตรที่ 5 (75WC-9Co-15TiC-1NbC), สูตรที่ 6 (75WC-9Co-15TiC-0.5NbC-0.5TaC) และ สูตรที่ 7 (75WC-9Co-15TiC-0.5NbC-0.5TaC) โดย สูตรที่ 1-6 ใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล ส่วนสูตรที่ 7 ใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายในท้องตลาด พบว่าเม็ดยัดที่ใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมาผสม เกิดการแตกร้าวและเกิดรูพรุนในเม็ดยัด เมื่อนำมาใช้ในการทดสอบการใช้งานด้วยเครื่องกลึง CNC LATHE เมื่อเม็ดยัดปะทะเข้ากับชิ้นงาน S45C ทำให้เกิดการแตกร้าวไม่สามารถกัดชิ้นงานได้ ดังรูปที่ 3 ในส่วนของเม็ดยัดที่ใช้ทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายในท้องตลาด มีความแข็งที่สูงกว่าเม็ดยัดจากเม็ดยัดที่ใช้ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลซึ่งมีความแข็งอยู่ที่ 1,542.33 HV และมีความเรียบผิวโดยเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานอยู่ที่ 4.21 Ra และ เทียบเม็ดยัดที่จำหน่ายในท้องตลาด มีความเรียบผิวโดยเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานอยู่ที่ 4.41 Ra ดังตารางที่ 5



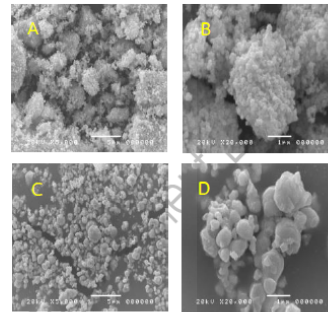
รูปที่ 3 ชิ้นงานและเม็ดยัดหลังการทดสอบ

นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม

จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

จากรูปที่ 3 คือชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S45C และลักษณะผิวของชิ้นงานจากการทดสอบกลึงโลหะเพื่อดูประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานเม็ดยัด

3.1 การตรวจวิเคราะห์ผงโลหะด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค (SEM) กำลังขยาย (A)(C) 5,000 เท่า, (B)(D) 20,000 เท่า

จากรูปที่ 4 การตรวจวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลด้วยเทคนิค(SEM) ที่กำลังขยาย (A) 5,000 เท่า และ (B) 20,000 เท่า ที่ผ่านการบดเป็นเวลา 150 ชั่วโมง พบว่าลักษณะรูปร่างของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่เป็นฝอยๆ กระจายตัว รูปร่างกลม รูปทรงเหลี่ยม มีรูปร่างกลมเล็กๆเกาะกลุ่มกันที่ผิวอนุภาคไม่เรียบ และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ที่กำลังขยาย (A) 5,000 เท่า และ (B) 20,000 เท่า พบว่า ลักษณะรูปร่างของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์มี กระจายตัวสม่ำเสมอ รูปร่างมนกลมเรียงตัวกัน

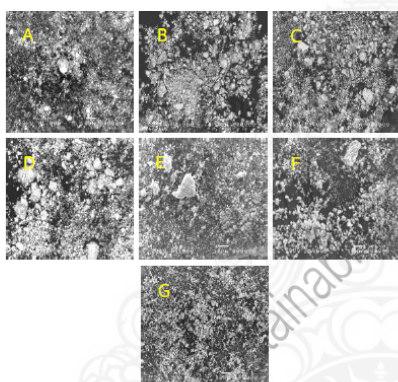
ตาราง 6 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุด้วยเทคนิค(XRF)

ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล			ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย		
ลำดับ	ชื่อ ส่วนผสม	ปริมาณ (%)	ลำดับ	ชื่อ ส่วนผสม	ปริมาณ (%)
1	W	92.57	1	W	99.34
2	Ti	2.04	2	Re	0.27
3	Mg	1.34	3	Hf	0.19
4	Ta	1.33	4	Fe	0.13
5	Co	0.87	5	Cu	0.04
6	Nb	0.65	6	Nb	0.03



7	Mo	0.28
8	Hf	0.22
9	Fe	0.18
10	Pt	0.16
11	Re	0.14
12	Cu	0.14
13	Cd	0.06
14	Zr	0.02

จากตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุ ของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิล และผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ก่อนการผสมโลหะประสานชนิดอื่น ด้วยเทคนิค (XRF) พบว่า ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีธาตุทั้งหมด 14 ธาตุ และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายมีธาตุทั้งหมด 6 ธาตุ ดังตาราง



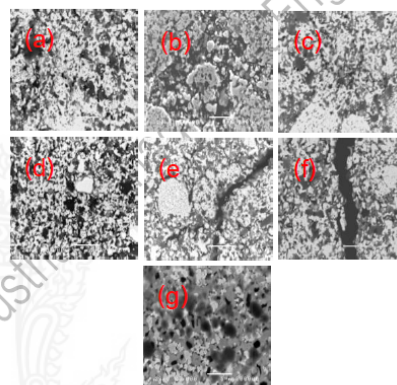
รูปที่ 5 การวิเคราะห์ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์หลังผสมด้วยเทคนิค (SEM BSE)

จากรูปที่ 5 การตรวจวิเคราะห์ทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผ่านการผสมด้วยเทคนิค (SEM BSE) ที่กำลังขยาย BSE 1,000 เท่าพบว่ารูป (A) สูตรที่ 1 และ รูป (B) สูตรที่ 2 พบว่าผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลมีการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอ โคบอลต์และไทเทเนียมคาร์ไบด์ มีการกระจายปนกันทั่วบริเวณ (C) สูตรที่ 3 มีการกระจายตัวของทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลและไนโอเบียมคาร์ไบด์จุดขาวๆเล็ก กระจายอยู่ทั่ว ในส่วนโคบอลต์และไทเทเนียมคาร์ไบด์ มีการกระจายปนกันทั่วบริเวณ รูป (D) สูตรที่ 4 มีการกระจายตัวของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลแบบเกาะเป็นกลุ่มและไนโอเบียม

นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม

จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

คาร์ไบด์จุดขาวๆเล็ก กระจายอยู่ทั่ว ในส่วนโคบอลต์และไทเทเนียมคาร์ไบด์ มีการกระจายปนกันทั่วบริเวณ รูป (E) สูตรที่ 5 มีการกระจายตัวของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลเป็นจุดๆและไนโอเบียมคาร์ไบด์ กระจายอยู่ทั่ว ในส่วนโคบอลต์และไทเทเนียมคาร์ไบด์ มีการกระจายปนกันทั่วบริเวณ รูป (F) สูตรที่ 6 รูป (G) มีการกระจายแบบรวมตัวของทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลอยู่ทั่วบริเวณและธาตุอื่น สูตรที่ 7 มีการกระจายตัวของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ที่ทั่วบริเวณแบบสม่ำเสมอ และธาตุอื่นๆ



รูปที่ 6 การตรวจวิเคราะห์เม็ดเม็ดทั้ง 7 สูตรด้วยเทคนิค (SEM) กำลังขยายBSE 5,000 เท่า

จากรูปที่ 6 เป็นการตรวจวิเคราะห์เม็ดเม็ดทั้ง 7 สูตรด้วยเทคนิค (SEM) กำลังขยายBSE 5,000 เท่า โดย (a) สูตรเม็ดเม็ดที่ 1 (b) สูตรเม็ดเม็ดที่ 2 (c) สูตรเม็ดเม็ดที่ 3 (d) สูตรเม็ดเม็ดที่ 4 (e) สูตรเม็ดเม็ดที่ 5 (f) สูตรเม็ดเม็ดที่ 6 (g) สูตรเม็ดเม็ดที่ 7

4. อภิปรายผล (Discussion)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา การวิเคราะห์เม็ดเม็ดกลึงที่ทำการผลิตขึ้น มาจากการผสมตามสูตรในตารางที่ 1 ที่ได้ทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เตรียมไว้ และทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย และ ผสมตัวประสาน และธาตุผสมต่างๆ ที่แตกต่างกัน เช่น TaC, TiC, NbC และ Co เพื่อพิจารณาว่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเม็ดเม็ดที่ผลิตขึ้นในแต่ละสูตรที่แตกต่างกันอย่างไร ทั้งด้าน



ความแข็ง โครงสร้างจุลภาค และประสิทธิภาพทางกล และความเรียบผิว

จากการศึกษาพบว่า ในการผสมตัวประสาน และธาตุผสมที่มีส่วนผสมของไทเทเนียมคาร์ไบด์จะทำให้ช่วยเพิ่มความแข็ง ทนต่อการกัดกร่อน ด้านทานการสึกหรอ และทนต่อความร้อนสูง ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dilek Duman (2012) ได้กล่าวไว้ว่าสามารถลดครุพูนและเพิ่มความหนาแน่น และความแข็งสูงกว่าเกรดธรรมดา 78WC-16TiC-6Co รหัส ISO ของ P05 และทำให้มีความหนาแน่นอยู่ที่ 78% - 80% ความแข็งอยู่ที่ 1,989 HV - 2,057 HV โดยใช้อ้างอิงงานวิจัยของ Michael Humenik JR.,Niranjan M. Parikh (1956) โดยกล่าวว่า WC-15TiC-10Co มีความแข็งถึง 2200 HV[8] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมผงไทเทเนียมคาร์ไบด์จะทำให้ช่วยเพิ่มความแข็ง ลดครุพูนและเพิ่มความหนาแน่นได้

ยังพบอีกว่า การเติมผงไนโอเบียมคาร์ไบด์จะช่วยทำให้สามารถยับยั้งการเจริญโตของเกรนทั้งสแตนคาร์ไบด์ได้ และยังทนต่อการกัดกร่อนได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yang Gao, Ming-Yuan Yan (2017) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อเติมผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ มากกว่า 1% ช่วยลดขนาดของเกรนเฉลี่ยของทั้งสแตนคาร์ไบด์ และ เมื่อเติมผงไนโอเบียมคาร์ไบด์ 0-2 % โดยน้ำหนัก ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้การแตกหักลดลง[9] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wei Zhou, Ji Xiong (2015) ได้กล่าวไว้ว่า ความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างโดดเด่นเมื่อเติม 1 % - 2% โดยน้ำหนัก[10]

และยังพบว่า การเติมผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ จะทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้นและทนการแตกหักได้ ซึ่งได้สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Wei SU, Ye-xi SUN (2015) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการเติมผงแทนทาลัมคาร์ไบด์ น้อยกว่า 0.4% โดยน้ำหนัก ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้น และ การแตกหักลดลง[11] ซึ่งได้สอดคล้องกับ งานวิจัยของ R. van der Merwe, N. Sacks (2013) ได้กล่าวว่า เติม TaC น้อยกว่า 1 % โดยน้ำหนัก ก็พบว่าประสิทธิภาพมากที่สุดของการต้านทานการสึกหรอแบบการเสียดสีของโลหะผสม และมีความแข็งสูงขึ้น[12]

จากการศึกษาพบว่าสูตรเม็ดเม็ดที่ 6 และ 7 มีความสอดคล้องกับการศึกษาการวิจัย งานวิจัยของ R. van der Merwe, N. Sacks (2013) ด้านส่วนผสม แต่จะสูตรเม็ดเม็ด

นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม

จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

ที่ 7 จะมีความสอดคล้องในด้านความแข็งสูง และโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน แต่ก็มีสัดส่วนในการผสมที่ต่างกันอยู่ โดยมีการกระจายตัวของเกรน WC ที่ละเอียด และ การเติม TaC ทำให้มีความแข็งที่สูงขึ้น และช่วยในการยับยั้งการขยายตัวของเกรน WC และการเติม NbC ทำให้ลดการแตกหักได้ ดังรูปที่ 6 (g) โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค (SEM) ของเม็ดเม็ดสูตรที่ 7 และความแข็งก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเติม TiC ส่วนเม็ดเม็ดสูตรที่ 6 แม้จะมีส่วนผสม และสัดส่วนที่เหมือนกันเม็ดเม็ดสูตรที่ 7 แต่ก็มีค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน green compact อยู่ที่ 5.148 g/cm³ ต่ำกว่าสูตรที่ 7 ดังตารางที่ 2 และมีความแข็งอยู่ที่ 243 HV :ซึ่งจะต่ำกว่าสูตรที่ 7 ดังตารางที่ 4 จากนักสิพร มีมิงคล ที่กล่าวถึงแรงเสียดทานของอนุภาค ของลักษณะรูปร่างอนุภาค ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระของพื้นผิวอนุภาคที่รูปที่ 4 (a)(b) และมีส่วนประกอบทางเคมีมากกว่า ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย ดังตารางที่ 6 เมื่อพื้นผิวมีแรงเสียดทานในมวลของผงเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการไหลการจัดเรียงตัวของอนุภาคลดลง เมื่อมีความต้านทานการไหลมาก ทำให้ความหนาแน่น Green density ต่ำดังในตารางที่ 2 และ 3 เพราะการเคลื่อนที่ผ่านกันระหว่างอนุภาคไม่ได้ มีผลต่อความหนาแน่น, ความแข็งแรงในชิ้นงานอัด ดังนั้นการอัดผงโลหะให้แน่นก่อนการอบพ่นิก จะช่วยลดความพรุนลงเนื่องจากมีความพรุนที่ต่ำกว่า ดังนั้นการหดตัวขณะอบพ่นิกจึงเกิดขึ้นน้อยกว่า การหดตัวขณะอบพ่นิกแปรผันกับความหนาแน่นของ Green density[13] และ เม็ดเม็ดสูตรที่ 1-5 ก็มีความหนาแน่นของ Green density ที่ต่ำ และความแข็งที่ต่ำเช่นกัน ด้วยมีลักษณะของรูปร่างอนุภาคของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระของพื้นผิวอนุภาค จากรูปที่ 6 (a) (b) (c) (d) (e) และ (f) โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค (SEM) ของเม็ดเม็ด สูตรที่ 1-6 พบว่าเกรน WC มีการกระจายไม่เป็นระเบียบ รูพูนมาก พบการแตกร้า การประสานตามขอบไม่ได้

จึงต้องมีการปรับลักษณะรูปร่างอนุภาคผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลให้มีพื้นที่ผิวอนุภาคทรงมนไม่ขรุขระ และส่วนประกอบทางเคมีให้ได้ตามส่วนประกอบทางเคมีของทั้งสแตนคาร์ไบด์ และ ธาตุโลหะประสานที่นำมาเติมแต่งต้องให้มีขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน จะทำให้จุดหลอมที่ไม่แตกต่างกันมาก



5. สรุปผล (Conclusion)

การวิเคราะห์เนื้อตัดลึงที่ผลิตขึ้น มาจากการผสมตามสูตร ที่ได้ทำการศึกษาในห้องทดลอง โดยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ รีไซเคิลที่เตรียมไว้ และ ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่าย พบว่า สูตรที่ 7 ที่ผสมจากผงทั้งสแตนคาร์ไบด์จากผู้จำหน่ายที่มีลักษณะรูปร่างอนุภาคผงทรงกลมมนมี ความหนาแน่นที่อยู่ ที่ 6.277 g/cm^3 มีความเรียบผิวโดยเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงาน อยู่ที่ 4.21 Ra และ มีความแข็งอยู่ที่ 1,542.33 HV

และ สูตรที่ 1-6 ผสมด้วยผงทั้งสแตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่มีลักษณะรูปร่างอนุภาคผงทรงมีทั้งขนาดเล็ก และใหญ่เป็นฝอยๆ กระจายตัว รูปทรงกลม รูปทรงเหลี่ยม มีรูปทรงกลมเล็กๆ เกาะกลุ่มกันที่ผิวอนุภาค ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง $4.701 - 5.148 \text{ g/cm}^3$ และ มีความแข็งอยู่ที่ 201.33 – 411 HV ผลการทดลองพบว่าลักษณะรูปร่างอนุภาคมีผลต่อความ ความหนาแน่นและความแข็งแรง พบว่าชิ้นงานจากสูตรที่ 1-6 เกิดรูพรุนมาก และเกิดการแตกร้าว แต่ชิ้นงานสูตรที่ 7 ว่า มีรูพรุนน้อย พื้นผิวมีความราบเรียบสม่ำเสมอไม่พบการแตกร้าวและมีความแข็งที่ดีกว่า โดยการเติม TaC จะทำให้มีความแข็งที่สูงขึ้น และช่วยในการยับยั้งการขยายตัวของเกรน WC และการเติม NbC ทำให้ลดการแตกหักได้ การเติม TiC ก็ไม่ส่งผลด้านความแข็งมากนัก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ประภาพร พลอยยอด อาจารย์ ปฐมพงษ์ จ्ञานงค์พันธ์ และ อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะ วิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความปรึกษาในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, ทั้งสแตน, ข้อมูลจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ทั้งสแตน> (วันที่ สืบค้นข้อมูล 29 สิงหาคม 2560)
- [2] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, จุลสารกรม อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 ก.ค.-ก.ย. 2555
- [3] สุรศิษฐ์ ไรจนันต์, คาร์ไบด์และซีเมนต์คาร์ไบด์, MTEC, ม.ค. -มี.ค. 2550

นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม

จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

- [13] นกิสพร มิ่งมงคล, โลหกรรมวัสดุผง, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548.

7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

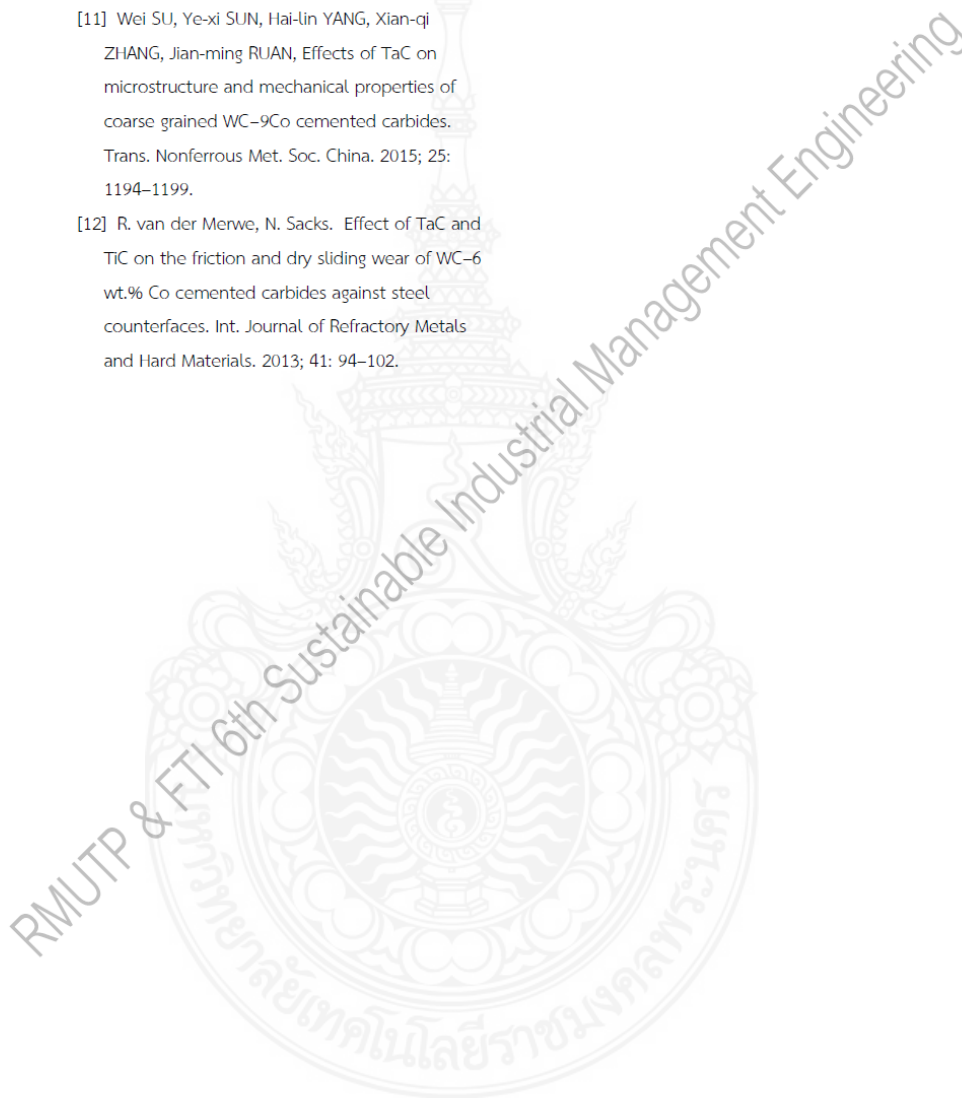
- [4] Sandvik Hard Materials, What are the different types of Cemented Carbide ?, ข้อมูลจาก <http://www.allaboutcementedcarbide.com/02.html>, 2008.
- [5] Chinatungsten Online (Xiamen) Manu. & Sales Corp, Tungsten Cemented Carbide, ข้อมูลจาก <http://www.tungsten-carbide.com.cn/tungsten-cemented-carbide.html>, (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 สิงหาคม 2560)
- [6] S.G. Huang, K. Vanmeensel, H. Mohrbacher, M. Woydt, J. Vleugels, Microstructure and mechanical properties of NbC-matrix hardmetals with secondary carbide addition and different metal binders, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol.48, 418-426, 2015.
- [7] Wei Su, Yexi Sun, Jiao Feng, Jue Liu, Jianming Ruan, Influences of the preparation methods of WC-Co powders on the sintering and microstructure of coarse grained WC-8Co hardmetals, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 48, 369-375, 2015.
- [8] Dilek Duman, Hasan , Synthesis, microstructure, and mechanical properties of WC-TiC-Co ceramic composites. Journal of the European Ceramic Society. 2012; 32: 1427-1433.
- [9] Yang Gao, Ming-Yuan Yan, Bing-Hui Luo, Sheng Ouyang, Wei Chen, Zhen-hai Bai, Huibo Jing, Wen-Wen Zhang, Effects of NbC additions on the microstructure and properties of nonuniform structure WC-Co cemented carbides. Materials Science & Engineering A. 2017; 687: 259-268.
- [10] Wei Zhou, Ji Xiong ,Weicai Wan, Zhixing Guo,



นำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
จัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี 2560

Zihao Lin, Shiwei Huang, Limei Tang, Hua Zhong, The effect of NbC on mechanical properties and fracture behavior of WC-10Co cemented carbides. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2015 ; 50: 72-78.

- [11] Wei SU, Ye-xi SUN, Hai-lin YANG, Xian-qj ZHANG, Jian-ming RUAN, Effects of TaC on microstructure and mechanical properties of coarse grained WC-9Co cemented carbides. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2015; 25: 1194-1199.
- [12] R. van der Merwe, N. Sacks. Effect of TaC and TiC on the friction and dry sliding wear of WC-6 wt.% Co cemented carbides against steel counterfaces. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2013; 41: 94-102.



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายหาญณรงค์ สมานพงษ์
 วัน เดือน ปีเกิด 27 กรกฎาคม 2515
 ภูมิลำเนา เลขที่ 16/404 ซอย เสือใหญ่อุทิศ แขวง จันทระเกษม เขต จตุจักร จังหวัด
 กรุงเทพฯ. รหัสไปรษณีย์ 10900

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	2544

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

All Process Or Power Spplly Co.,Ltd (2014-Present Positions : Managing Director)

ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ

- บทความวิชาการเรื่อง “แนวทางการปรับปรุงส่วนผสมชิ้นงานผลิตจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co” การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. พระนคร ครั้งที่ 2
- บทความวิชาการเรื่อง “การพัฒนาชิ้นงานความแข็งสูงพิเศษทั้งสแตนคาร์ไบด์ผสม TaC, TiC, NbC และ Co” การประชุมวิชาการ และการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 ประจำปี พ.ศ.2560