



## รายงานการวิจัย

กระบวนการพ่นพอกผิวทั้งสแตนคาร์ไบด์ของค้อนย่อยไม้ยางพารา

โดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟ

**Tungsten Carbide Coating On Striker by Flame Spray**

**Coating Process**

เดช เหมือนขาว

**Dech Maunkhaw**

ยงยุทธ ดุลยกุล

**Yongyuth Dunyaikul**

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2559



## กระบวนการพ่นพอกผิวทั้งสแตนคาร์ไบด์ของค้อนย่อยไม้ยางพาราโดยใช้ความร้อนจาก เปลวไฟ

เดช เหมือนขาว<sup>1</sup> และ ยงยุทธ คุลยกุล<sup>2</sup>

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของค้อนย่อยไม้ยางพาราที่พ่นพอกผิวด้วยทั้งสแตนคาร์ไบด์ เพื่อศึกษาความหนาของผิวพ่นพอกทั้งสแตนคาร์ไบด์ ที่มีผลต่อคุณภาพของค้อนย่อยไม้ยางพารา ในการทดลองใช้ วัสดุAS3678 เกรด 350 ขนาด 25×75×12.5 มิลลิเมตร กระบวนการพ่นพอกผิวโดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟ ผงโลหะพ่นพอกชนิด HMSP12500-00+60% ผลจากการทดลองพบว่า วัสดุพ่นพอกผิวจะอยู่ในสภาพของของเหลวและกึ่งของเหลวโดยถูกพ่นออกไปด้วยแรงดันแก๊สให้ไปพอกที่ผิวของชิ้นงาน ระยะห่างในการพ่นพอก เท่ากับ 70 มิลลิเมตร ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ผิวพ่นพอกมีลักษณะนูนเป็นชั้นๆ เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นผิวพ่นพอกจะไม่สม่ำเสมอ และพบรอยแตกร้าวที่บริเวณขอบชิ้นงาน การพ่นพอกที่ระดับความหนา 3 มิลลิเมตรได้ผิวพ่นที่ดีกว่า การยึดเกาะดี ค่าเฉลี่ยความแข็งของผิวพ่นพอกเท่ากับ 500 HV ซึ่งค่าที่มีค่าความแข็งมากกว่ากระบวนการเชื่อมพอก และการตรวจสอบการสึกหรอแบบขัดสีพบว่าปริมาณการสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0886 กรัม / 60 นาที

คำสำคัญ : การพ่นพอกผิวด้วยเปลวไฟ เหล็กทนแรงดึงสูง AS3678 เกรด 350 ผงทั้งสแตนคาร์ไบด์  
ค้อนย่อยไม้

<sup>1,2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ. สงขลา 90000



## Mechanical Properties in Carbon Steel Welded by Friction Welding

Dech Maunkhaw<sup>1</sup>, and Yongyuth Dulyakul<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The study aims to study the wear behavior of tungsten carbide coating on striker and the thickness of tungsten carbide coating affects to quality of striker. The experimental design, material AS 3678 grade 350 is dimensioned  $25 \times 75 \times 12.5$  mm, the coating process using flame spray coating process, powder spraying is HMSP12500 -00 + 60%. The results found that powder spray is liquid or semi liquid being sprayed by gas pressure to coating the surface of the workpiece, the spray distance to the workpiece is 70 mm, the speed of spray coating is 2 mm/second. The surface spray coating is layered, when the greater thickness of surface spray coating is the rough and found cracks at the edge of the workpiece, the thickness of surface spray coating 3 mm is the better, good adhesion, The average hardness of surface spray is 500 HV, which is greater than the welding process and the abrasive wear testing found that loss of volume is average 0.0886 g/60 min.

**Keywords:** Spray coating process Material AS3678 grade 350 Tungsten carbide Striker

<sup>1,2</sup>Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkla 90000



## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย  
งบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2559 และได้รับความเอื้อเฟื้อจากบุคคลต่าง ๆ ในการให้  
คำแนะนำ คำปรึกษาข้อมูลต่าง ๆ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำงาน และผู้ที่มีส่วน  
สนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม 2560





## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
ABSTRACT	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 โครงสร้าง สมบัติและกระบวนการผลิต	8
2.3 การพ่นพอกผิวแข็ง	9
2.4 เหล็กกล้าคาร์บอน	11
2.5 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	13
2.6 การทดสอบสมบัติทางกล	16
2.7 ทังสเตนคาร์ไบด์	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	26
3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลทดลองที่เกี่ยวข้อง	26
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุในการทดลองการพ่นพอก	28
3.4 ขั้นตอนในกระบวนการพ่นพอก	32
3.5 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยา	38
3.6 การทดสอบความแข็ง	41



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การทดสอบการสึกหรอ	42
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	46
4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ	46
4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา	49
4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล	51
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผล	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก	59
ผลการทดสอบความแข็ง	60
ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี	61
ภาคผนวก ข	62
มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ASTM E340 - 00	63
มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ASTM E407 - 99	64
มาตรฐานเหล็ก AS3678-350	65
แบบค้อนย่อไม้	66





## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	สมบัติทางเคมีของวัสดุ AS3678 Grade 350	12
3.1	การกำหนดปัจจัยในการทดสอบการพ่นพอก	32
4.1	ลักษณะของชิ้นงานหลังผ่านการพ่นพอก	48
4.2	ผลการทดสอบความแข็ง	51
4.3	ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี	53





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	ลักษณะชุดเครื่องย้อยไม้	1
2.1	อัตราการใช้หรือและความแข็งของผิวเคลือบ	7
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง สมบัติและกระบวนการผลิตของวัสดุ	8
2.3	ปัจจัยในการพิจารณาวิธีการเลือกผงให้เหมาะสมกับการใช้งาน	11
2.4	เหล็กกล้า AS3678 Grade 350	12
2.5	ภาพวาดโครงสร้างที่มองเห็นผ่านกล้องจุลทรรศน์ การสะท้อนแสงที่ต่างกัน ในบริเวณขอบเกรนและภายในเกรนและรูปถ่ายโครงสร้างจุลภาคของโลหะที่ได้ จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง	14
2.6	การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์	17
2.7	แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องมือโครวิกเกอร์ส	18
2.8	กลไกการเสื่อมสภาพหรือการเกิดการสึกหรอ	20
2.9	การทดสอบการสึกหรอ มาตรฐาน ASTM G65 – 94	23
3.1	กระบวนการเตรียมค้อนย้อยไม้ย่างพาราก่อนการใช้งานและซ่อมแซม	26
3.2	ผังแสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง	27
3.3	วัสดุ AS3678 Grade 35	28
3.4	ชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการเตรียมผิวพื้นพอก	28
3.5	ชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเตรียมผิวพื้นพอก	29
3.6	ชุดพื้นพอกผงโลหะ	29
3.7	ผงโลหะในการพ่นพอก	30
3.8	แก๊สที่ใช้ในการพ่นพอก	31
3.9	วาล์วปรับความดัน	31
3.10	การประกอบหัวพ่นพอกเข้ากับชุดรางเลื่อน	32
3.11	ติดตั้งถังแก๊สออกซิเจนและอะซิทีลีนเข้ากับรถเข็น	33
3.12	ต่อสายแก๊สเข้ากับเกจปรับความดัน	34
3.13	ต่อสายแก๊สเข้ากับวาล์วนิรภัยทางเดียว	34
3.14	การต่อวาล์วนิรภัยทางเดียวเข้ากับหัวพ่นพอก	35



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 การวางชิ้นงานมาวางบนฐานวางชิ้นงาน	35
3.16 การเปิดวาล์วแก๊สออกซิเจน และแก๊สอะเซทิลีน	36
3.17 วิธีการปรับแรงดันแก๊ส และการจุดเปลวที่ชุดปืนพ่น	36
3.18 วิธีการอุ่นชิ้นงาน	37
3.19 วิธีการพ่นรองพื้น	37
3.20 วิธีการพ่นพอก	38
3.21 การดับเปลวไฟที่ชุดปืนพ่น	38
3.22 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำเรือนหุ้มด้วยวิธีหล่อเรซิน	39
3.23 การหล่อเรซินทำเรือนหุ้มชิ้นงาน	39
3.24 ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายและผ้าสักหลาด	40
3.25 ลักษณะของชิ้นงานที่น่าตรวจสอบ โครงสร้างทางโลหะวิทยา	41
3.26 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ	41
3.27 บริเวณการกดวัดค่าความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์	42
3.28 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี	42
3.29 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการสึกหรอ	43
3.30 การเตรียมทรายสำหรับการขัดสี	43
3.31 การจับยึดชิ้นงานทดสอบ	44
3.32 การขัดสีโดยใช้ทรายแห้ง	44
4.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ	46
4.2 การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค	50
4.3 บริเวณการตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาค	50
4.4 บริเวณการกดวัดค่าความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์	51
4.5 ค่าการทดสอบความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์	52
4.6 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี	53

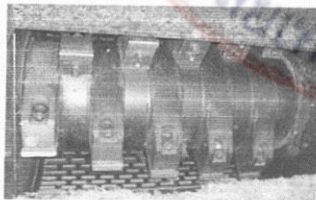


## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ชีวมวลเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมปัจจุบัน เชื้อเพลิงที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น เศษไม้ยางพาราแกลบ ชานอ้อย เป็นต้น โดยเฉพาะในส่วนของการใช้เศษไม้ยางพาราและส่วนของรากของต้นยางพาราเป็นเชื้อเพลิงนั้นจะต้องมีการย่อยไม้ให้เป็นเศษเล็ก ๆ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีและมีประสิทธิภาพ วัสดุที่ใช้เป็นเครื่องมือในการย่อยเศษไม้ยางพารานั้นจะต้องทนต่อการสึกหรอและทนต่อการรับแรงกระแทก (Impact Strength) ได้สูง เนื่องจากเศษไม้ยางพาราที่จะทำการย่อยนั้นจะมีขนาดที่ไม่เท่ากันและบางครั้งอาจมีเศษทรายที่ติดมากับเศษไม้ด้วย จึงส่งผลทำให้วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือในการย่อยเศษไม้ยางพารา ซึ่งเรียกว่าค้อนย่อยไม้ (Striker) เมื่อผ่านการใช้งานระยะหนึ่งจะเกิดการสึกหรอและมีการแตกร้าวจากการล้า (Fatigue Crack) ทำให้ต้องยุติการใช้งาน ซึ่งหลังจากนั้นชิ้นส่วนของค้อนย่อยไม้ จะนำเข้าสู่กระบวนการเชื่อมพอกผิวเพื่อซ่อมและนำกลับมาใช้งานใหม่ การเสียหายเหล่านี้ส่งผลไปถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมและหากหมดสภาพการใช้งานก็ต้องจัดหาอะไหล่ใหม่เข้ามาทดแทนซึ่งเป็นต้นทุนของการบำรุงรักษาและส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้น ในการบำรุงรักษาเพื่อยืดอายุการใช้งานหรือเพื่อทดแทนการซื้ออะไหล่ใหม่ ซึ่งในปัจจุบันจะใช้กระบวนการเชื่อมซ่อม โดยการเลือกกระบวนการเชื่อมสำหรับพอกผิว (Welding Resurfacing or Build-Up) ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานได้มากขึ้น โดยเหตุผลหลักในการเชื่อมพอกผิว คือ เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกเลือกใช้ในการซ่อมผิวชิ้นส่วนที่เกิดจากการสึกหรออย่างรุนแรงจากการใช้งานเนื่องจากประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมซ่อมจะให้สมบัติใกล้เคียงกับชิ้นส่วนของโลหะเดิม และมีความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับราคาของอะไหล่ใหม่



(ก) ชุดอุปกรณ์จับยึด



(ข) ลักษณะค้อนย่อย (Striker)

รูปที่ 1.1 ลักษณะชุดเครื่องย่อยไม้



ข้อมูลเบื้องต้นของโรงไฟฟ้า กัลป์ ยะลา กรีน จะเลือกกระบวนการเชื่อมสำหรับพอกผิว ซึ่งถือว่าเป็นการปรับปรุงสมบัติของผิวของชิ้นงานให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของเนื้อเค็มน้อยมาก แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ในขณะที่เดียวกันการปรับปรุงสมบัติของผิวชิ้นงาน โดยเฉพาะการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมพื้นผิว (Surface Engineering) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความสำคัญสำหรับงานที่ต้องการเพิ่มความสามารถให้กับชิ้นงานและสำคัญสำหรับงานซ่อมบำรุงในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการพ่นพอกผิวด้วยความร้อน ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย สำหรับการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟเป็นกระบวนการพ่นพอกผิววัสดุได้หลายชนิดและมีคุณภาพสูงโดยใช้เวลาในการพ่นพอกผิวที่รวดเร็วและเหมาะกับการใช้งานในหลาย ๆ สภาพ เช่น สภาพที่มีการกัดกร่อนหรือการสึกหรอ [1] ในกระบวนการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟจะใช้หลักการ คือ วัสดุเคลือบจะอยู่ในสภาพของของเหลวหรือกึ่งของเหลวแล้ววัสดุเคลือบดังกล่าวถูกพ่นออกไปด้วยแรงดันแก๊สให้ไปพอกที่ผิวของชิ้นงานที่ต้องการพอกผิว และนอกจากนี้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการพ่นพอกผิวเมื่อผ่านการใช้งานจนเกิดการเสื่อมสภาพหรือมีการสึกหรอจนขนาดต้องเปลี่ยนไป ชิ้นงานดังกล่าวก็สามารถนำมาผ่านกระบวนการพ่นพอกผิวซ้ำใหม่ได้เรื่อย ๆ [2] ด้วยความสามารถของกระบวนการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟ จากข้อมูลข้างต้นจึงได้นำแนวคิดในการประยุกต์ใช้กระบวนการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟ เพื่อใช้แทนกระบวนการเชื่อมสำหรับพอกผิว ทั้งนี้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมและลดต้นทุนรวมทั้งเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของผิวพ่นพอกด้วยทังสเตนคาร์ไบด์

1.2.2 เพื่อศึกษาความหนาของผิวพ่นพอกด้วยทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีผลต่อคุณภาพของค้อนย่อยไม้ยางพารา

1.2.3 เพื่อศึกษาอายุการใช้งานของค้อนย่อยไม้ยางพาราที่พ่นพอกผิวด้วยทังสเตนคาร์ไบด์โดยทดลองจริง

## 1.3 ขอบเขต

1.3.1 กระบวนการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟ

1.3.2 ชิ้นงานทดลองพ่นพอกผิวเป็นวัสดุ AS3678 Grade 350

1.3.3 เปรียบเทียบผลของการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟด้วยวิธีการ ดังนี้

1) ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาแบบมหภาคและจุลภาค



2) ทดสอบสมบัติทางกลด้วยวิธีการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี บริเวณผิวฟันพอกและโลหะงาน

1.3.4 ผงทังสเตนคาร์ไบด์เป็นชนิด HMSP1250-00+60% ซึ่งมีส่วนผสมของผง Tungsten Base 44712-10 60% ต่อ Nickel Base 40%

#### 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการทนต่อการสึกหรอของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการพ่นพอกผิว

1.4.2 ทราบอายุการใช้งานของค้อนย่อยไม้ยางพาราที่พ่นพอกผิวด้วยทังสเตนคาร์ไบด์

1.4.3 ลดต้นทุนและเวลาในการบำรุงรักษา

1.4.4 เป็นแนวทางและข้อมูลวิจัยในสาขาที่เกี่ยวข้อง





## บทที่ 2

### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษา กระบวนการพ่นพอกผิวทั้งสแตนเลสคาร์ไบด์ของค้อนย่อยไม้ยางพาราโดยใช้ความร้อนจากเปลวไฟ ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาหลักการและทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยมีทฤษฎีและหลักการดังนี้

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วินัย ทองบริบูรณ์ [3] ได้ศึกษาพฤติกรรมการต้านทานการสึกหรอของลวดเชื่อมพอกแข็ง โดยศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบที่ทำการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยลวดเชื่อมพอกผิวแข็งชนิดโครเมียมสูง ที่มีส่วนผสมของโครเมียมน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบชุดขีด หมุนด้วยความเร็วรอบขอบ 0.5 เมตรต่อวินาที ใช้แรงกดชิ้นงาน 2000 กรัม มีระยะเวลาการทดสอบแต่ละครั้ง 1 2 และ 3 นาทีตามลำดับ ผลการทดลองสรุปได้ว่าพฤติกรรมการต้านทานการสึกหรอของรอยเชื่อมพอกแข็งชนิดโครเมียมสูงมีความต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าลวดเชื่อมพอกแข็งชนิดโครเมียมต่ำ โครงสร้างจุลภาคที่พบในรอยเชื่อมพอกแข็งชนิดโครเมียมสูงเป็นโครงสร้าง Primary Chromium Carbide ที่มีความแข็งมากกว่ารอยเชื่อมพอกแข็งชนิดโครเมียมต่ำเป็นมาร์เทนไซต์สามารถกล่าวได้ว่า วัสดุที่มีความแข็งมากทำให้อายุการใช้งานชิ้นส่วนนั้นมีอายุการใช้งานมากกว่าแต่ค่าใช้จ่ายก็แปรผันตามไปด้วยเช่นกัน

สุพรฤทธิ ภัคดี [4] ได้ศึกษาการสึกหรอของผิวเชื่อมพอกแข็งไบผสมดินเหนียว ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิฐดินเผา เพื่อต้องการใช้ลวดเชื่อมพอกแข็งที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานตลอดจนยืดอายุการใช้งานของไบผสมดิน ผลที่ตามมาคือ การเพิ่มผลผลิตและการลดต้นทุนในการผลิตได้ทดลองการสึกหรอของกลุ่มลวดเชื่อมพอกแข็งมาตรฐาน DIN8555 โดยใช้ลวดเชื่อมพอกแข็งในกลุ่มที่ 6 กลุ่มที่ 10 และกลุ่มที่ 21 เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังได้ทดลองลายแนวเชื่อมแบบต่าง ๆ ที่ใช้เชื่อมพอกผิวแข็งบนไบผสมดินซึ่งมีด้วยกัน 4 แบบ คือ แบบตาข่าย แบบวงกลม แบบสี่เหลี่ยม และแบบขีด ดินเหนียวที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเหนียวเกรดเดียวกันที่ใช้สำหรับผลิตอิฐดินเผาซึ่งมีส่วนผสมของทรายอยู่ระหว่าง 52.4% - 54.43% การวัดค่าการสึกหรอของลวดเชื่อมพอกแข็ง วัดจากน้ำหนักการสูญเสียของไบผสมดินที่เชื่อมพอกผิวแข็งหลังจากการใช้งาน การทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองในสภาพการใช้งานจริงผลการวิจัยพบว่าลวดเชื่อมที่มีการสึกหรอน้อยที่สุดและยืดอายุการใช้งานของไบผสมดินเพิ่มขึ้นตลอดจนต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด คือลวดเชื่อมพอกแข็งในกลุ่มที่ 10 ที่มีส่วนผสมของ C = 4.40% Si = 1.30% Mn = 0.60% Cr = 23.6% Nb = 5.50%



$V = 1.50\%$   $W = 2.20\%$   $Mo = 6.50\%$  และลายแนวเชื่อมที่มีการสึกหรอน้อยที่สุดคือ ลายแนวเชื่อมแบบตาข่าย

เสาวนีย์ สิงห์สโรทัย [5] ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อลักษณะของผิวเคลือบบนวัสดุฐานเหล็กกล้าที่ได้จากกระบวนการเคลือบด้วยความร้อนและกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนที่อาศัยปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อผิวเคลือบที่ได้จากกระบวนการเคลือบด้วยความร้อนที่อาศัยปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ ความหนาของวัสดุฐาน ความหนาของชั้นผิวเคลือบตั้งต้น ตัวประสาน (ในระบบที่ใช้ส่วนผสมตั้งต้นชนิดคอลลอยด์) และระบบของสารตั้งต้นที่ใช้ โดยเมื่อความหนาของวัสดุฐานและความหนาของชั้นผิวเคลือบเพิ่มขึ้น ผิวเคลือบที่ได้จะมีความขรุขระเพิ่มขึ้นและมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกับผิววัสดุฐานน้อยลง เมื่อเลือกใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวประสานในสัดส่วนที่น้อยลง ผิวเคลือบที่ได้จะมีความราบเรียบสม่ำเสมอมากขึ้นและมีความแข็งแรงในการยึดเกาะกับผิววัสดุฐานที่ดีขึ้น และเมื่อเลือกใช้ส่วนผสมตั้งต้นจากระบบสารตั้งต้นที่มีอุณหภูมิเย็บตึกที่สูงขึ้น ผิวเคลือบที่สังเคราะห์ได้มีความขรุขระมากขึ้นและเกาะติดบนผิววัสดุฐานได้น้อยลง

เพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก [6] ได้ศึกษาการสึกหรอหรือการชำรุด เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในเครื่องจักรและโครงสร้างทางวิศวกรรม การเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งาน การเลือกกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ ตลอดจนเข้าใจในธรรมชาติของการสึกหรอและการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ถูกต้องอย่างเหมาะสม สำหรับการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรอุตสาหกรรมบางชนิดสามารถทำการซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ดั้งเดิมด้วยวิธีการต่าง ๆ อาทิ เช่น การเชื่อม (Welding) การพ่นพอก (Thermal Spraying) โดยปัจจุบันการซ่อมแซมชิ้นส่วนของเครื่องจักรอุตสาหกรรมด้วยวิธีการพ่นพอกได้รับความนิยมมาก นอกจากนั้นงานพ่นพอกผิวยังมีข้อดีอื่น ๆ เนื่องจากการพ่นพอกผิวไม่ได้เป็นการใช้ชิ้นงานสัมผัสกับเปลวความร้อนโดยตรง จึงไม่ทำให้เกิดการทำลายคุณสมบัติและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงาน งานพ่นพอกสามารถทำการซ่อมแซมเฉพาะบริเวณได้ โดยสามารถพ่นพอกวัสดุลงบนพื้นผิวโลหะทุกชนิดและสามารถทำการพ่นพอกวัสดุต่างชนิดกับวัสดุพื้นผิวได้ การพ่นพอกผิวเป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนกับวัสดุเคลือบเพื่อให้วัสดุหลอมละลาย แล้วพ่นวัสดุที่ถูกหลอมละลายด้วยความเร็วจากอากาศอัดซึ่งมีความดันสูง ทำให้วัสดุสามารถยึดเกาะกับผิวของชิ้นงานได้อย่างแข็งแรง

ขงยุทธ คุลยกุล เดช เหมือนขาว และสมยศ กวางตุ้ง [7] ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมการสึกหรอของการเชื่อมพอกผิววัสดุเหล็ก AS3678 เกรด 350 ด้วยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กระบวนการเชื่อมแบบมิก/แม็ก และกระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ จุดประสงค์ของการทดลองคือต้องการเปรียบเทียบผลของการเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบด้วยการ



สึกหรอ แบบขัดสี การทดลองเชื่อมกระทำในสภาพปกติ ซึ่งงานหลังจากการเชื่อมจะนำไปทดสอบเป็นเวลา 50 ชั่วโมงต่อชิ้น ผลการวิจัยพบว่าเนื้อเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมพอกผิวทั้ง 3 วิธีการ จะให้ค่าการทนต่อการสึกหรอแบบขัดสีที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมใส่ฟลักซ์ จะให้ค่าการทนต่อการสึกหรอแบบขัดสีได้มากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณเนื้อเชื่อมจะมีพฤติกรรมการทนต่อการสึกหรอได้ดีกว่ากระบวนการเชื่อมด้วยวิธีอื่น ๆ และจะให้ค่าความแข็งได้มากที่สุดที่ 213.4 HV ส่วนกระบวนการเชื่อมแบบมิก/แม็ก จะให้ค่าการทนต่อการสึกหรอได้น้อยสุด โดยมีค่าความแข็งน้อยสุดที่ 174.8 HV ผลสรุปกระบวนการเชื่อมพอกผิวด้วยลวดเชื่อมใส่ฟลักซ์จะให้ผลของการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมเหล็ก AS3678 เกรด 350 ซึ่งจะเป็แนวทางในการเลือกกระบวนการเชื่อมพอกผิวสำหรับการนำไปใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสม

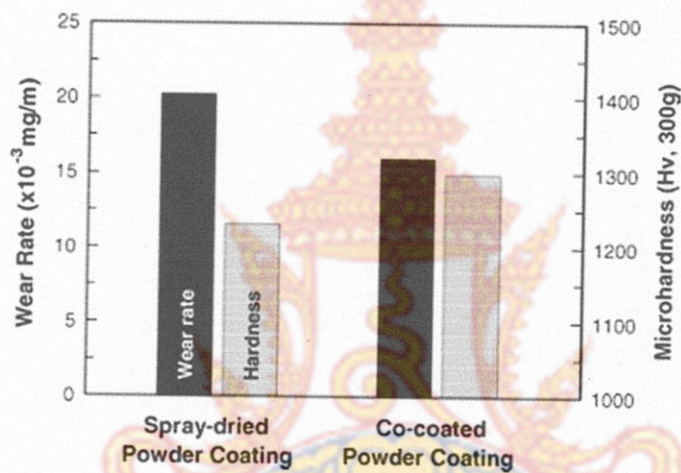
Holmberg ,K ., Ronkainen, H., &Matthews, A. [8] ทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับกลไกการสึกหรอเครื่องมือกลึง ใส ตัดเจาะ พบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวจะมีอายุการใช้งานนานยิ่งขึ้นหากมีการใช้สารหล่อเย็นที่เหมาะสม อนึ่งมีงานวิจัยยืนยันว่าการใช้วิธีเคลือบผิวด้วยไอระเหยทางฟิสิกส์บนชิ้นงาน เหล็กกล้าเครื่องมือต่าง ๆ สามารถช่วยต้านทานพฤติกรรมการสึกหรอได้ดี แต่หากใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัดของชั้นเคลือบอาจมีผลกระทบต่อชั้นเคลือบได้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของชั้นเคลือบนั้น ๆ เช่นกันจากการวิจัยพบว่า ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 500-1150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงชั้นเคลือบชนิด โครเมียมไนไตรด์ (CrN) และ โครเมียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (CrAlN) เช่นการเกิดออกไซด์ที่สภาวะปกติ (มีออกซิเจน) การยึดเกาะ (Adhesion) ของชั้นเคลือบกับชิ้นงาน (Substrate) อาจลดลง เป็นต้น

Shane, Y. H., &Yucheng, D. [9] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการตัดเทียบกับความเร็วในการตัด (Cutting speed) พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วในการตัดจะมีผลให้อุณหภูมิบริเวณอัตราภาคชั้นระหว่างคมตัดและชิ้นงานเพิ่มขึ้น ถึงแม้จะใช้สารหล่อเย็นในกระบวนการตัดก็ตาม ซึ่งอุณหภูมิในการตัดจะสูงถึง 920 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการตัด 2.5 เมตรต่อวินาทีโดยงานวิจัยในครั้งนี้ใช้ความเร็วในการตัด 2.9 เมตรต่อวินาที

Villier Lovelock, P.W. Richter, J.M. Benson &P.M. Yong [10] ทำการศึกษาพารามิเตอร์ในการพ่นพอกด้วยความร้อน โดยเทคนิคเชื้อเพลิงออกซิเจนความเร็วสูงของผงทังสเตนคาร์ไบด์ ร้อยละ 17 โคบอลต์ (WC-17Co) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของผิวพอก เช่น โครงสร้างทางจุลภาค ความพรุน การเปลี่ยนเฟสและความต้านทานต่อการขัดสีของผิวพอก พบว่า การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในการพ่นพอกด้วยความร้อนจะส่งผลต่อสมบัติของผิวพอกน้อยกว่าลักษณะของผงพ่นพอก เช่น ช่วงการกระจายตัวของผงพ่น ส่วนผสมและกระบวนการผลิตผงพ่นพอกผิว



K.H. Baik, J.H. Kim & Seong, B.G. [11] ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบนาโนคอมโพสิตทังสเตนคาร์ไบด์ (WC-Co) ที่พ่นพอกด้วยเปลวความร้อน ทำการปรับปรุง สมบัติโดยนำผงพ่นไปพอกโคบอลต์ก่อนทำการพ่นพอก พบว่าผงที่ผ่านการพอกโคบอลต์ก่อนทำการพ่นพอกมีความแข็งและความต้านทานการสึกหรอที่สูงกว่าผิวพอกที่เตรียมจากผงที่ไม่ได้พ่นพอกโคบอลต์ ทั้งนี้เนื่องจากการพ่นพอกโคบอลต์ก่อนทำการพ่นพอกจะทำให้อัตราการสลายตัวของธาตุคาร์บอนของผิวพอกมีค่าลดลง จึงทำให้ผิวพอกมีสมบัติที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.1 อัตราการสึกหรอและความแข็งของผิวเคลือบ [12]

Aykut, S., Bagci, E., Kentli, A., & Yazicoglu, O. [12] ได้ศึกษาผลของแรงในการตัดและความเร็วในการตัดที่มีผลต่อรูปร่างของขี้กิ้งและพื้นผิวของวัสดุที่ถูกกิ้ง พบว่าการสึกหรอของเครื่องมือตัดสูงขึ้นตามแรงและความเร็วในการตัด และพื้นผิวของวัสดุที่ตัดหยาบมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวได้เปรียบเทียบกับชิ้นงานไบตัดที่เคลือบผิวด้วยชั้นเคลือบผสมหลายชั้น ที่ประกอบด้วย TiN, (TiAl) N และ Ti (C,N) สลับกัน พบว่าไบตัดมีอายุการใช้งานมากขึ้นและพื้นผิวของวัสดุที่ถูกกิ้ง ตัด เรียบขึ้น

Gaitan, G. B., Caicedo, J. C., Balogh, A. G., & Gottschalk, S. [13] ได้ศึกษาการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือกลึง ไส ด้วยชั้นเคลือบหลายชั้นสลับกัน พบว่าชั้นเคลือบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการต้านทานต่อการสึกหรอ เพราะช่วยลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

Q. Wang, Z.H. Chen & Ding, Z.X. [14] ทำการศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบขัดสีของผิวพอกทังสเตนคาร์ไบด์- ร้อยละ 12 โคบอลต์ที่พ่นพอกด้วยเทคนิคเชื้อเพลิงออกซิเจนความเร็วสูง

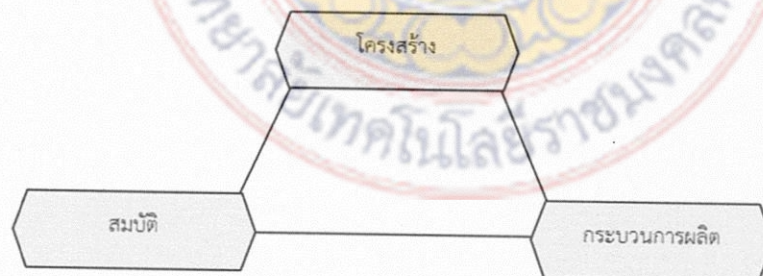


พบว่า โครงสร้างจุลภาคของผิวพอกโครงสร้างและผิวพอกด้านนอกจะมีความพรุน 1% และ 1.9% องค์กรประกอบทางเคมีของผิวพอกโดยที่ผิวพอกมีการสลายตัวของธาตุคาร์บอนมากกว่าที่ผิวพอก และเมื่อทำการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีของผิวพอก พบว่า ค่าการอัตราการสึกหรอผิวพอก โครงสร้างมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่าผิวพอกด้านนอก

Mo, J.L., & Zhu, M.H. [15] ได้ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของชั้นเคลือบโครเมียมไนไตรด์ (CrN) อะลูมิเนียมโครเมียมไนไตรด์ (AlCrN) และ อะลูมิเนียมไทเทเนียมไนไตรด์ (AlTiN) ด้วยการทดสอบแบบ Ball on disc พบว่า เมื่อชั้นเคลือบได้รับแรงกระทำเป็น เวลานานในสิ่งแวดล้อมที่มีออกซิเจนร่วมจะเริ่มปรากฏออกไซด์ขึ้นและยังพบว่าออกไซด์ของธาตุ ไทเทเนียม (Ti) โครเมียม (Cr) และอะลูมิเนียม (Al) ที่เกิดขึ้นให้ผลที่แตกต่างกัน สำหรับออกไซด์ ฟิล์มของอะลูมิเนียมและโครเมียมที่เกิดขึ้นจะมีผลในการทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและป้องกันการกระแทกร้อน แต่สำหรับออกไซด์ฟิล์มของไทเทเนียมที่เกิดขึ้นจะมีผลในการเพิ่มการสึกหรอและความเสียหาย

## 2.2 โครงสร้าง สมบัติและกระบวนการผลิต

โดยทั่วไปสมบัติของวัสดุทุกชนิดจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของวัสดุ โครงสร้างบางชนิดเป็นไปตามธรรมชาติซึ่งมนุษย์ไม่สามารถจะดัดแปลงอะไรได้หรือถ้าหากทำได้ก็ทำได้น้อยมาก เช่น โครงสร้างระดับอะตอม ลักษณะการจับตัวและการเรียงตัวของอะตอม ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวก็จะมีอิทธิพลต่อสมบัติบางประการที่เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด จะเห็นได้ว่าทั้งโครงสร้าง สมบัติและกระบวนการผลิตมีความสัมพันธ์และเกี่ยวพัน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างองค์กรประกอบทั้งสามจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจในวัสดุได้อย่างถูกต้องซึ่งสรุปความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง สมบัติและกระบวนการผลิตของวัสดุ [15]



## 2.3 การพ่นพอกผิวแข็ง

เป็นวิธีการที่คุ้มค่าที่สุดในการทำ ให้ผิวโลหะที่ประสิทธิภาพสูง โดยสามารถนำชิ้นงานโลหะมาเคลือบพื้นผิวในส่วนที่ต้องการเพื่อต้านทานการเกิดสนิม การสึกหรอ การกัดกร่อน ความร้อน รอยขีดข่วน และการกระแทกโดยความต้องการที่แตกต่างกัน การพ่นพอกผิวแข็งยังสามารถนำมาใช้ในการซ่อมแซมชิ้นงานที่เสียหายโดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนชิ้นส่วนใหม่ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.1 พงโลหะและกระบวนการพ่นพอกที่เหมาะสม เทคนิคต่างๆของอุปกรณ์การพ่นพอกผิวและพงโลหะที่ใช้ นั้น มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับการเติบโตของอุตสาหกรรมพ่นพอกผิวแข็ง เราได้ผลิตพงโลหะที่ผลิตด้วย กระบวนการอะตอมไมซ์ในทุกๆรูปแบบ ทั้งที่มีส่วนผสมหลักเป็นนิกเกิล เหล็กและโคบอลต์ โดยพงโลหะเหล่านี้ได้ถูกพัฒนาตาม ความต้องการและข้อจำกัดของอุปกรณ์การพ่นพอกแบบต่างๆ โดยพงพ่นพอกของเราได้รองรับเทคนิคต่างๆของการพ่นพอก ผิวแข็ง ดังต่อไปนี้

1) การพ่นร้อน (Powder Welding) เป็นเทคนิคที่ใช้พ่นพอกซี-อะเซทิลีน (Oxyacetylene) โดยทำการป้อนพงที่บรรจุอยู่ในกระบอเก็บพง (Hopper) ที่ติดอยู่กับปืน พ่นเข้าไปสู่เปลวไฟ นิยมใช้กับงานแม่พิมพ์แก้ว ชิ้นส่วนขนาดเล็ก และงานซ่อมอื่นๆ โดยเทคนิคนี้เหมาะกับงานซ่อมเหล็กหล่อ และชิ้นส่วนเครื่องยนต์เป็นพิเศษ เทคนิคการพ่นแบบ Powder Welding นั้นให้พื้นผิวที่เรียบเนียน มีความหนาแน่นของผิวพอกสูงและยึดแน่นติดกับวัสดุที่ถูกพ่นพอกโดยมีอัตราการเติมพงโลหะ (Deposition Rate) ตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และให้ความหนาของชั้นผิวพอกตั้งแต่ 0.2 ถึง 12 มิลลิเมตรมากกว่า 97% โดยมีอัตราการเติมพงโลหะ (Deposition Rate) อยู่ที่ 9 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และให้ความหนาของชั้นผิวพอก ตั้งแต่ 0.1 - 2.5 มิลลิเมตร

2) เฟลมสเปรย์ (Flame Spraying) พงโลหะจะถูกป้อนเข้าไปในเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้ของแก๊สออกซี-อะเซทิลีน (Oxy-Acetylene) หรือ ออกซี-ไฮโดรเจน (Oxy-Hydrogen) และถูกพ่นไปกระทบกับวัสดุที่ต้องการพ่นพอก โดยพงโลหะที่มีลักษณะเกือบกลมจะสร้างการยึดเกาะทางกล (Mechanical Bond) และเมื่อถูกหลอม (Fuse) เข้ากับชิ้นงานก็จะทำให้เกิดการยึดเกาะทางโลหะวิทยา (Metallurgical Bond) กับชิ้นงาน โดยเทคนิคเฟลมสเปรย์ เหมาะสำหรับงานพ่นพอกชิ้นส่วนทรงกระบอกร โดยสามารถใช้พงที่มีส่วนผสมของอัลลอยที่มีความแข็งสูงและทั้งสแตนเลสก็ได้ เทคนิคเฟลมสเปรย์มีอัตราการเติมพงโลหะ (Deposition Rate) ตั้งแต่ 1 ถึง 9 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและให้ความหนาของชั้นผิว พอกตั้งแต่ 0.1-3 มิลลิเมตร

3) พลาสมา อาร์ค (Plasma Transfer Arc) เป็นกระบวนการเชื่อมที่สามารถประยุกต์ให้ทำงานแบบอัตโนมัติได้ดีเยี่ยม โดยใช้กระแสพลาสมาผสมกับการอาร์คในการหลอมเหลว



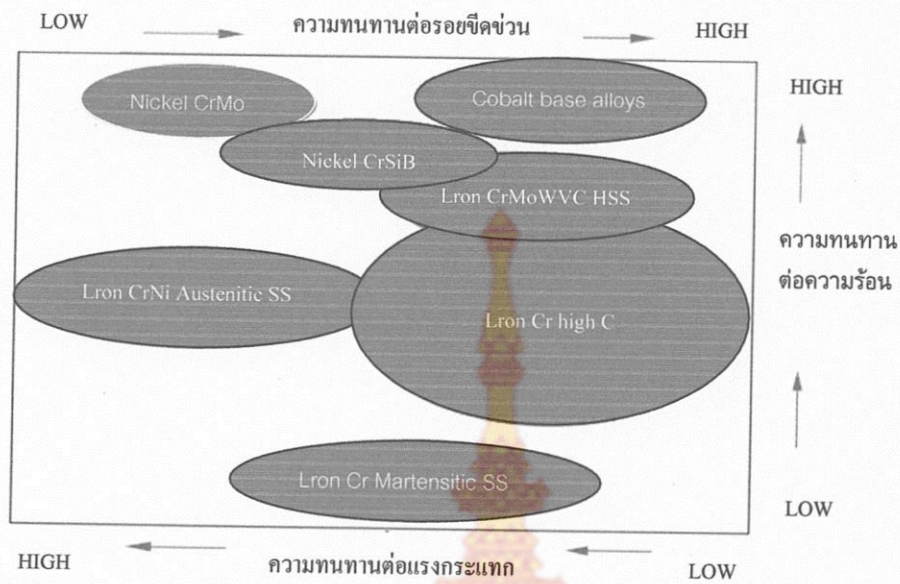
ผิวชิ้นงานในบริเวณที่กำหนดทำให้มีการหลอมละลายชิ้นงาน โลหะที่ต่ำมาก มีบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนน้อย (Heat Affected Zone) และมีชั้นของผิวพอกที่มีความหนาแน่นสูงและเป็นเนื้อเดียวกัน กระบวนการนี้สามารถใช้งานกับวัสดุผงหลากหลายชนิด เหมาะกับการทำงานแบบอัตโนมัติที่ต้องการปริมาณมาก ๆ เช่น การพ่นพอกควาล์วไอเสีย มีอัตราการเติมผงโลหะที่ 12 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและให้ความหนาแน่นต่อชั้นผิวพอกตั้งแต่ 1-6 มิลลิเมตร

4) พลาสมาสเปร์รี่ ลักษณะการทำงานเหมือนกับ Flame Spraying แต่แตกต่างกันตรงเปลวเพลิงของ Plasma Spraying นั้นประกอบด้วยพลาสมาที่ถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ทำให้ได้เปลวที่มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 15000°K ทำให้ผิวพอกที่ได้มีความหนาแน่นที่สูงกว่าโดยมีอัตราการเติมผงโลหะ (Deposition Rate) ตั้งแต่ 2 ถึง 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และให้ความหนาแน่นของชั้นผิวพอกตั้งแต่ 0.1-2.5 มิลลิเมตร

5) เลเซอร์ แคลดดิ้ง (Laser Cladding) มุ่งเน้นในการควบคุมความร้อนและความลึกของการเชื่อม วิธีการนี้ทำให้เกิดพันธะโลหะ (Metallic Bond) ที่มีความสะอาดโดยมีการหลอมเหลวของชิ้นงาน (Dilution) ต่ำที่สุด รวมถึงมีบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone) เพียงเล็กน้อย และทำให้ได้โครงสร้างเกรนที่ดี มีอัตราการเติมผงโลหะสูงสุดถึง 8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และให้ความหนาแน่นของชั้นผิวพอกตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตร ถึงมากกว่า 4 มิลลิเมตร

2.3.2 วิธีการเลือกผงให้เหมาะสมกับการใช้งานปัจจัยในการพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี และรูปทรงเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนทานการสึกหรอ ความร้อน แรงกระแทก และการกัดกร่อนของพื้นผิวพ่นพอก ขนาดของเม็ดผงจะส่งผลต่อรูปทรงของแนวเชื่อม และความเหมาะสมในการใช้งานกับเครื่องมือและเทคนิคที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยหลักในการเลือกผงโลหะที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท แผนภูมิด้านข้างและตารางในหน้าต่อไปจะช่วยให้คุณในการเลือกผงโลหะเกรดที่เหมาะสมได้โดยความแข็งของชั้นผิวพอกจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการพ่นเป็นหลัก





รูปที่ 2.3 ปัจจัยในการพิจารณาวิธีการเลือกผงให้เหมาะสมกับการใช้งาน [16]

#### 2.4 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)

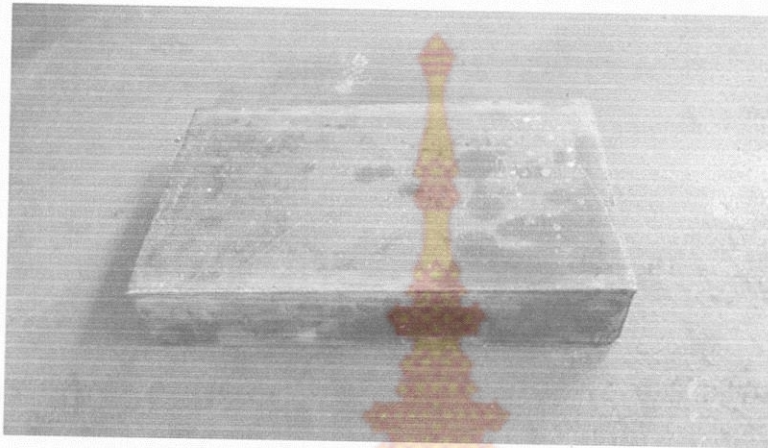
เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของธาตุคาร์บอนเป็นหลัก อาจจะมีธาตุอื่นผสมอยู่ได้บ้างเล็กน้อย เช่น ซิลิคอน แมงกานีส กำมะถัน ฟอสฟอรัส โดยทั่วไป เหล็กกล้าคาร์บอนสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามปริมาณของธาตุคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก ซึ่งจะส่งผลให้เหล็กมีสมบัติแตกต่างกันออกไป รวมถึงการนำไปใช้งานก็จะมีลักษณะแตกต่างกันด้วย

สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จัดได้ว่าเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ในเนื้อเหล็กน้อยที่สุด คือ มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.10 - 0.15% น้ำหนัก เนื่องจากมีปริมาณธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อย ทำให้มีความแข็งแรงต่ำไม่สามารถนำไปทำการชุบแข็งได้ เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก เช่น นำไปรีดเป็นแผ่น ทำถังบรรจุของเหลว เป็นเหล็กเส้นที่ใช้ในงานก่อสร้าง ส่วนเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.10% จะไม่เหมาะสมสำหรับงานเชื่อมเพราะเมื่อเชื่อมแล้วจะทำให้มีโอกาสเกิดความบกพร่องในเนื้อเชื่อม เช่น รูพรุน (Porosity) เป็นต้น

วัสดุที่ใช้ในการพันพอกผิว คือ AS3678 Grade 350 ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นเหล็กแผ่นที่ทนต่อแรงดึงสูงถึง 350 Mpa โดยเหล็กชนิดนี้จะมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์นอกจากธาตุคาร์บอนแล้วยังมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยจะอยู่ในลักษณะเป็นธาตุเจือปน เช่น ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน อะลูมิเนียม นิกเกิลและทองแดง ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งเหมาะสมสำหรับ



ใช้งาน เช่น งานเชื่อมประกอบทั่วไปงาน โครงสร้างเครื่องจักร งานครนก่อสร้างอาคารสูงสะพาน และถึงภาชนะบรรจุ



รูปที่ 2.4 เหล็กกล้า AS3678 Grade 350

ตาราง 2.1 สมบัติทางเคมีของวัสดุ AS3678 Grade 350

Element	Guarantee Max (%)	Typical เปอร์เซ็นต์ Thickness				
		5<t	5<t<8	8<t<25	25<t<80	80<t<100
Carbon	0.22	0.15	0.14	0.15	0.09	0.13
Silicon	0.55	0.15	0.20	0.30	0.35	0.45
Manganese	1.70	0.65	1.10	1.20	1.50	1.50
Phosphorus	0.040	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
Sulfur	0.030	0.010	0.010	0.010	0.010	0.003
Aluminum	0.100	0.025	0.030	0.030	0.030	0.035
Micro alloys-Nb	0.150	-	-	-	0.25	0.015
(when added)-Ti	0.040	-	0.018	0.018	0.018	0.018
CEQ(IIW)	0.048	0.27	0.33	0.36	0.35	0.41

หน่วย : mm



## 2.5 การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

2.5.1 การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะโดยทั่วไปสามารถตรวจสอบได้ 2 วิธี คือ การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) การตรวจสอบโครงสร้างทั้ง 2 วิธีเพื่อต้องการทราบอิทธิพลของธาตุผสมในโลหะที่ทำการตรวจสอบนั้น ๆ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากการกระทำทางความร้อนสิ้นสุดลงอีกด้วยข้อมูลที่ได้อาจการตรวจสอบโครงสร้างสามารถนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมซึ่งการตรวจสอบแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) โครงสร้างมหภาค (Macrostructure) เป็นการตรวจสอบทางกายภาพหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำกว่า 10 เท่า จุดประสงค์ของการตรวจสอบเพื่อดูความสมบูรณ์ของรอยต่อ การซึมลึก บริเวณที่ได้อิทธิพลจากระความร้อน ตลอดจนลักษณะจุดบกพร่องต่าง ๆ ของรอยเชื่อม

2) โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) กระทำได้โดยการ ใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงกว่า 10 เท่า ถ้าเป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดไฟจะให้กำลังขยายไม่เกิน 2000 เท่า หากเป็นกล้องที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนจะสามารถให้กำลังขยายได้สูงถึง 100000 เท่า หรือ มากกว่านี้ ขึ้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

2.5.2 การทำเรือนแบบเย็น โดยวางชิ้นงานในแบบหล่อ จากนั้นใช้เรซินซึ่งผสมกับสารเพิ่มความแข็งตามอัตราส่วนน้ำหนัก หรือปริมาณที่กำหนดและคนให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทลงในแบบหล่อเรซิน การทำเรือนแบบเย็นซึ่งมีความสะดวกในการใช้งาน เวลาในการแข็งตัวและการหดตัวน้อย จะแข็งตัวโดยการเค็มสารเพิ่มความแข็งตัว

2.5.3 การขัดผิวชิ้นงานตรวจสอบควรขัดด้วยกระดาษทรายที่ทำจากผงซิลิกอนคาร์ไบด์ ตั้งแต่เบอร์ 80 180 320 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ ในการขัดควรวางกระดาษทรายลงบนกระจกหน้าเรียบแล้วขัดผิวตรวจสอบลงบนกระดาษทรายนั่น ในขณะที่ขัดจะต้องเปิดน้ำอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้น้ำชำระสิ่งสกปรกซึ่งได้ผงโลหะ และซิลิกอนคาร์ไบด์ออกให้หมด เมื่อต้องการเปลี่ยนกระดาษทรายแผ่นต่อไปควรขัดชิ้นตรวจสอบไปอีกแนวทางหนึ่งสลับกันเป็นตารางกับแนวเดิม ทำเช่นนี้จนถึงกระดาษทรายแผ่นสุดท้าย การขัดผิวตรวจสอบควรใช้แรงพอประมาณไม่ควรออกแรงขัดมากเกินไป ทั้งนี้จะส่งผลให้โครงสร้างของชิ้นตรวจสอบเกิดความบกพร่องจนทำให้การตรวจสอบโครงสร้างเกิดข้อผิดพลาด

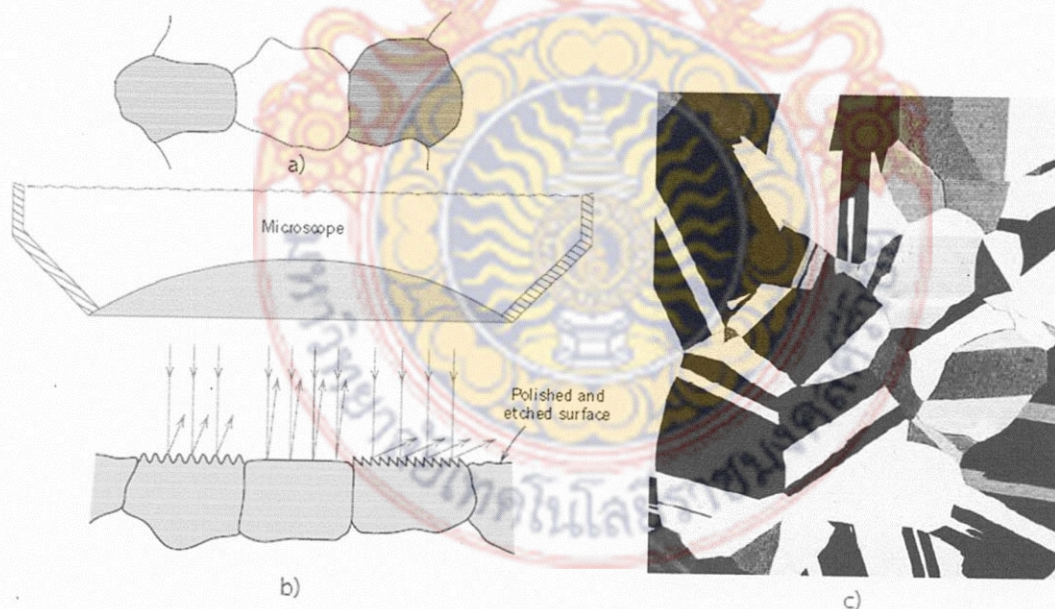
2.5.4 การขัดผิวด้วยผงขัด (Polishing) การขัดผิวในขั้นตอนนี้ เป็นการขัดผิวของมันขึ้นตรวจสอบด้วยผงขัดที่ทำจากผงอลูมินา (Alumina Oxide) และแมกนีเซียม (Magnesium Oxide)



หรืออาจจะใช้กากเพชรชนิดผิวของชิ้นตรวจสอบที่มีความแข็งสูงมาก โดยผงขัดเหล่านี้จะมีขนาดตั้งแต่ 0.05-0.3 ไมครอน

2.5.5 การกัดด้วยน้ำยา (Etcing) ชิ้นตรวจสอบชิ้นงานที่ถูกขัดจนเป็นมันแล้วนั้นจะต้องล้างด้วยแอลกอฮอล์จากนั้นจะถูกนำไปกัดด้วยน้ำยา ซึ่งจะเป็นน้ำยาอะไรนั้นต้องขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น ถ้าเป็นเหล็กก็จะใช้กรดไนตริก ร้อยละ 2-4 ผสมกับแอลกอฮอล์ โดยโครงสร้างมหภาคตามมาตรฐาน ASTM E304-00 โครงสร้างจุลภาคตามมาตรฐาน ASTM E407-99

2.5.6 การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (Microscopic) โครงสร้างทางจุลภาคของโลหะเป็นตัวกำหนดสมบัติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี หรือทางกล สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างของโลหะระดับมหภาค (Macroscopic) โครงสร้างระดับมหภาคนั้นสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ ๆ และระดับจุลภาค (Microscopic) โครงสร้างระดับจุลภาคของโลหะส่วนใหญ่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ๆ เพื่อขยายภาพให้มีขนาดใหญ่และชัดเจนขึ้น การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะนั้นมีหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope)



**รูปที่ 2.5** ภาพวาดโครงสร้างที่มองเห็นผ่านกล้องจุลทรรศน์ การสะท้อนแสงที่ต่างกันบริเวณขอบเกรนและภายในเกรนและรูปถ่ายโครงสร้างจุลภาคของโลหะที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง [17]



1) กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope : OM) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษาโครงสร้างจุลภาค โดยใช้แสงและระบบกำเนิดแสงเป็นพื้นฐาน กล้องประเภทนี้จะสามารถตรวจสอบ โครงสร้างจุลภาคได้เฉพาะที่ผิวเท่านั้น โดยใช้การสะท้อนแสงสำหรับวัสดุทึบแสง เช่น โลหะทุกประเภท ความดำของภาพที่แตกต่างกันเกิดจากความสามารถในการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันในบริเวณต่าง ๆ การตรวจสอบเริ่มจากการเตรียมผิวของโลหะ ขัดผิวตัวอย่างชิ้นงานให้เรียบโดยใช้กระดาษทรายตั้งแต่เบอร์หยาบไปจนถึงเบอร์ละเอียด หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปล้างน้ำให้สะอาด ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปขัดเงา (Polishing) ด้วยผง อะลูมินา ขัดจนกระทั่งชิ้นงานปราศจากรอยขีดขูดใด ๆ แล้วล้างด้วยน้ำให้สะอาด หลังจากนั้นล้างด้วยแอลกอฮอล์อีกครั้ง รีบเป่าให้แห้ง ระวังอย่าให้เป็นคราบ นำตัวอย่างชิ้นงานไปกัดกรดด้วยน้ำยาที่เหมาะสม โดยระยะเวลาที่ใช้ในการกัดกรดขึ้นอยู่กับความสามารถในการกัดของ Etching Reagent นั้นและความสดใหม่ของน้ำยากัดเป็นสิ่งสำคัญ ระวังอย่าใช้เวลาในการกัดกรदनานจนผิวตัวอย่างชิ้นงานมีสีดำหรือน้ำตาล เพราะจะทำให้สีโครงสร้างเข้ม จนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ การกัดกรदनานเกินไปจนผิวตัวอย่างชิ้นงานมีสีดำหรือน้ำตาลเรียกว่า Over-Etching ซึ่งจะทำให้การประมวลผลของโครงสร้างจุลภาคที่ได้เป็นไปอย่างลำบากและอาจวิเคราะห์โครงสร้างที่ปรากฏผิดเพี้ยนไป นำตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการกัดกรดเรียบร้อยแล้วไปส่องดูโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ที่ระดับกำลังขยายต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับกำลังขยายต่ำ 100 เท่า (X10) ไปจนถึงกำลังขยายสูง 1000 เท่า (X100) โดยให้สังเกตเห็นความแตกต่างของโครงสร้างในแต่ละที่กำลังขยายพร้อมกับสเกตซ์ภาพหรือบันทึกภาพโครงสร้างและอธิบายว่าโครงสร้างประกอบด้วยอะไรบ้าง

2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope) โดยทั่วไปมีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 2000 เท่า ซึ่งโครงสร้างบางอย่างที่มีขนาดเล็กมากและไม่สามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง สำหรับภาพของโครงสร้างจุลภาคที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุแทนแสงธรรมดา โดยอาศัยหลักการของกลศาสตร์ควอนตัม คือ อิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงจะทำตัวเสมือนคลื่นและความยาวคลื่นแปรผกผันกับความเร็วของอิเล็กตรอน เมื่อเร่งอิเล็กตรอนด้วยความต่างศักย์มาก ๆ จะได้คลื่นที่มีความยาวประมาณ 0.03 nm ทำให้กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนแทนคลื่นแสงจึงมีกำลังขยายสูงและได้ภาพที่มีความละเอียดสูง

ก. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM) เกิดจากลำอิเล็กตรอนที่ส่องผ่านชิ้นงาน ทำให้สามารถมองเห็นรายละเอียดของโครงสร้างจุลภาคภายในได้ การเกิดการกระเจิงหรือหักเหของลำอิเล็กตรอนทำให้เกิดความแตกต่างของสีในภาพและการเกิดการกระเจิงหรือหักเหของลำอิเล็กตรอนซึ่งจะแตกต่างกันตามองค์ประกอบของ



ชิ้นงานและวัสดุในสถานะของแข็งจะสามารถดูดซับลำอิเล็กตรอนได้ดี การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและการจัดเรียงตัวของอะตอมในเนื้อวัสดุ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านใช้ลำอิเล็กตรอนทะลุผ่านชิ้นงานบาง ๆ แล้วตรวจจับสัญญาณบนจอรับภาพหรือแผ่นฟิล์ม ทำให้สามารถมองเห็น โครงสร้างจุลภาคได้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านสามารถปรับให้มีกำลังขยายสูงสุดถึง 1000000 เท่า และสามารถใช้ในการศึกษาดิสโลเคชันของวัสดุได้

ข. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีการใช้มาก ผิวของชิ้นงานที่ตรวจสอบจะถูกลำอิเล็กตรอนกวาดผ่านและตรวจจับอิเล็กตรอนที่สะท้อนออกมาและทำการแสดงผลโดยการกวาดด้วยอัตราเดียวกันบนจอ CRT ภาพที่แสดงบนจอจะเป็นผิวของชิ้นงานนั้น ซึ่งชิ้นงานไม่จำเป็นต้องผ่านการขัดหรือกัดผิวแต่ชิ้นงานจะต้องมีความสามารถนำไฟฟ้าได้ หากชิ้นงานไม่นำไฟฟ้าจะต้องเคลือบผิวด้วยวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดอยู่ระหว่าง 10 – 50000 เท่า และมีความชัดมาก

ค. กล้องจุลทรรศน์แบบโพรบกวาด (Scanning Probe Microscope : SPM) ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนา กล้องจุลทรรศน์แบบโพรบกวาดให้ทันสมัยขึ้นซึ่งแตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพราะกล้องจุลทรรศน์แบบโพรบกวาดไม่ได้ใช้ทั้งแสงและอิเล็กตรอนในการสร้างภาพ ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบโพรบกวาดจะสร้างพื้นผิวในระดับอะตอมซึ่งจะแสดงพื้นผิวของวัสดุและบอกลักษณะของวัสดุได้และกล้องจุลทรรศน์แบบโพรบกวาดจะแตกต่างจากวิธีอื่น ๆ คือสามารถทำการตรวจสอบได้ในระดับนาโนเมตรหรือกำลังขยาย  $10^7$  เท่า ซึ่งจะสูงกว่าวิธีอื่น ๆ รวมทั้งสามารถสร้างภาพ 3 มิติ จากข้อมูลลักษณะพื้นผิวและกล้อง จุลทรรศน์แบบโพรบกวาด บางชนิดสามารถทำงานได้ในสภาวะต่าง ๆ เช่น ทำงานได้ในสภาวะอากาศ ของเหลว สุญญากาศ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการตรวจวัสดุต่าง ๆ ในสภาวะที่เหมาะสมได้

## 2.6 การทดสอบสมบัติทางกล

2.6.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness) ความแข็งเป็นความต้านทานการเจาะทะลุ (Penetration) หรือการเสียดสี (Abrasion) ของวัสดุ ความแข็งของวัสดุเกี่ยวข้องกับการจับตัวของอะตอมและโมเลกุลภายในเนื้อวัสดุเช่นเดียวกันกับความแข็งแรง วิธีการทดสอบความแข็ง มีอยู่หลายวิธี แต่ที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 วิธีคือ

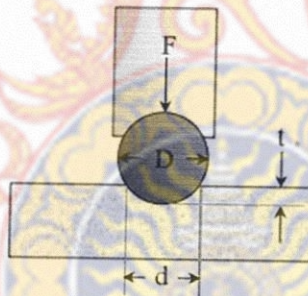
1) การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) วิธีการคือ ใช้ลูกบอลเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm กดลงบนผิวเรียบของวัสดุที่จะวัด



โดยใช้แรง 3000 กิโลกรัม และ 500 กิโลกรัม สำหรับวัสดุอ่อน โดยใช้เวลา 30 วินาที เป็นมาตรฐาน จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (Indentation) ค่าความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) จะใช้สูตรคำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{HB} &= \frac{\text{แรงที่ใช้กด}}{\text{พื้นที่ของรอยบุ๋ม}} \\
 &= \frac{2P}{(\pi)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- เมื่อ
- HB คือ ค่าความแข็งบริเนลล์ มีหน่วยเป็น แรง/หน่วยพื้นที่
  - P คือ แรงที่ใช้กด (kgf)
  - D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอล (mm)
  - d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (mm)



รูปที่ 2.6 การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) [18]

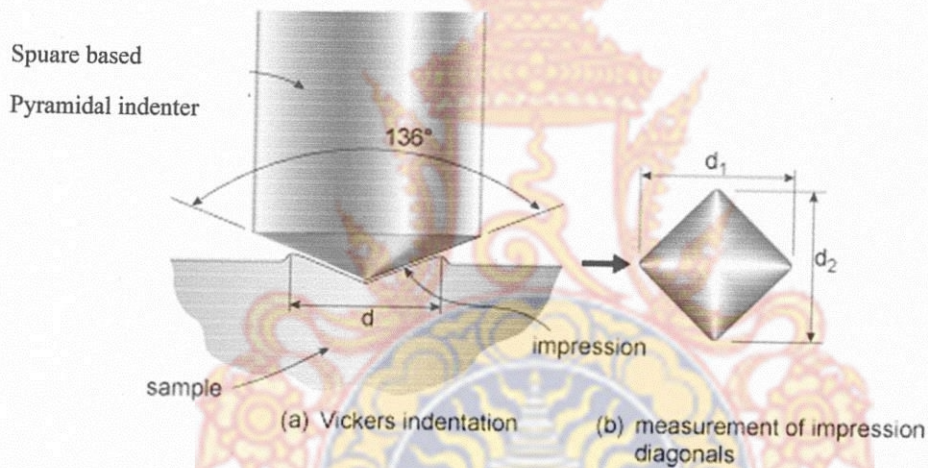
การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ไม่เหมาะสมกับวัสดุแข็ง เนื่องจากความแข็งของหัวกดไม่มากนักนอกจากนี้ยังไม่เหมาะกับชิ้นทดสอบที่บางกว่าขนาดของรอยบุ๋ม

2) การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลล์ (Rockwell Hardness Test) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับการทดสอบแบบบริเนลล์ แต่ใช้หัวกดเล็กกว่าและแรงน้อยกว่า ค่าของแรงที่ใช้และชนิดหรือขนาดของหัวกดจะเปลี่ยนได้ ขึ้นกับสเกลของความแข็งแบบร็อกเวลล์ ที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ การอ่านค่าความแข็งจะอ่าน โดยตรงจากเครื่อง กล่าวคือ ถ้าความลึกของรอยกดลงไปตื้นค่าของตัวเลขจะสูงแสดงว่าวัสดุมีความแข็งมาก วิธีการทดสอบจะให้แรงกระทำเล็กน้อยคือ 10 g จากนั้นจะเพิ่มแรงกระทำขึ้นซึ่งอาจจะมีตั้งแต่ 60-100 g ขึ้นอยู่กับ



ขนาดและชนิดของหัวกด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบด้วย หัวกดที่ใช้อาจเป็น ลูกบอลหรือเพชรที่มีรูปกรวย การทดสอบแบบบรีกเวลล์ ใช้อย่างกว้างขวางเพราะสามารถใช้วัด ความแข็งของวัสดุชนิดต่างๆ ได้มากกว่า สามารถวัดความแข็งของวัสดุที่การทดสอบแบบบรีเนลล์ วัดไม่ได้ การใช้งานสะดวกสามารถอ่านค่าได้เร็ว เพราะอ่านโดยตรงจากเครื่อง เนื่องจากรอยบุ๋มมี ขนาดเล็กจึงไม่ทำร้ายผิวของชิ้นงานทดสอบ

3) การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) การทดสอบแบบวิกเกอร์ มีลักษณะคล้ายกับบรีเนลล์ คือ ค่าที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกดแต่ ต่างกันที่หัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปประมิต แรงที่ใช้มีตั้งแต่ 5-120 g ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ การ คำนวณค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) ใช้สูตรคำนวณ ดังนี้



รูปที่ 2.7 แรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ส [19]

การวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส บริเวณภาคตัดตามยาวรอยกดวน เพื่อหาว่าในแต่ละบริเวณของชิ้นทดสอบกวนมีค่าความแข็งภายในเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันมากน้อย เพียงใด จากการคำนวณโดยใช้สมการ (2)

$$HV = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (2)$$

เมื่อ HV คือ ค่าความแข็งแบบ Vickers ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ )

P คือ แรงกด ( $\text{kgf}$ )



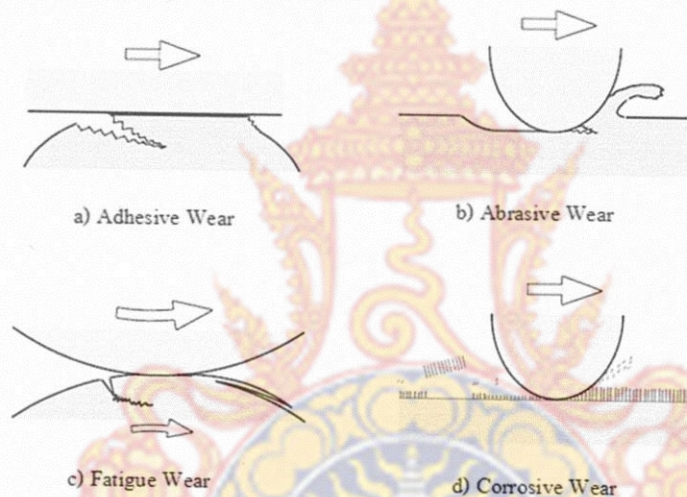
D คือ ขนาดเส้นทแยงมุม  $d_1$  และ  $d_2$  เฉลี่ย (mm)

การทดสอบความแข็ง เป็นการทดสอบความสามารถของโลหะในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดจากหัวกดกระทำลงบนชิ้นทดสอบการทดสอบความแข็งที่นิยมใช้มี 3 วิธี คือบริเนลล์ ร็อกเวลล์ และวิกเกอร์ส สำหรับในงานวิจัยผู้วิจัย ได้เลือกวิธีการทดสอบแบบ วิกเกอร์สเนื่องจากการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส จะเหมาะสำหรับการวัดบริเวณพื้นที่หน้าตัดของแนวทวนโดยในการวัดความแข็งจะใช้หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยมที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา ดังรูปที่ 4 โดยเวลาที่ใช้ในการกด 10 วินาที ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว สามารถวัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมากค่าความแข็งประมาณ  $5 \text{ kgf/mm}^2$  จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ ประมาณค่าความแข็งประมาณ  $1,500 \text{ kgf/mm}^2$  โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนเฉพาะแรงกดเท่านั้น โดยมีค่าระหว่าง 1-120 kgf ขึ้นอยู่กับความแข็งของโลหะ

2.6.2 การทดสอบการสึกหรอ การเสื่อมสภาพ (Degradation) เนื่องจากการขัดสี (Abrasive) ในวัสดุซึ่งได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี อังกฤษ เยอรมัน และอเมริกา โดยใช้คำว่า ไทรโบ (Tribo) ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษากรีกว่า Rubing หรือ Attrition หมายถึง การขัดสีหรือการขูด และเมื่อนำมาผนวกเข้ากันระหว่าง ไทรโบ (Tribo) กับ โลยี (Logy) ซึ่งหมายถึง ไทรโบโลยี (Tribology) จะศึกษาเกี่ยวกับชิ้นส่วนต่าง ๆ หรือวัสดุต่าง ๆ ที่มีการขัดสี ขัดถู กลิ้งตัวและเคลื่อนที่ ไป ๆ กลับ ๆ ซึ่งเมื่อมีการเคลื่อนที่ย่อมเกิดความเร็วสัมพัทธ์กับอีกชิ้นส่วนหรือวัสดุอีกชิ้นหนึ่ง จนเกิดแรงเสียดทานขึ้น เพื่อเป็นการลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนหรือวัสดุ จึงใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานบริเวณที่มีการสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามการหล่อลื่นแม้จะใช้สารหล่อลื่นที่มีคุณภาพเพียงใดก็ตามผลสุดท้ายชิ้นส่วนหรือวัสดุดังกล่าวก็ต้องเกิดการสึกหรอ ดังนั้นในหลักการของ ไทรโบโลยี จึงประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ การเสียดทาน (Friction) การหล่อลื่น (Lubrication) และการสึกหรอ (Wear) สำหรับสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือลักษณะของการเสื่อมสภาพ (Degradation) หรือการเกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนหรือวัสดุ จึงมีรูปแบบหรือกลไกการสึกหรอ (Wear Mechanisms) การสึกหรอ (Wear) ความหมายตามนิยามโดยทั่วไป คือ การสูญหาย หรือหลุดหายไปของชิ้นวัสดุออกจากผิวของชิ้นวัสดุนั้น อันเนื่องจากผิวของวัสดุหนึ่งสัมผัสกับอีกวัสดุหนึ่งหรือเกิดการขัดสี ขัดถู กลิ้งตัวและเคลื่อนที่ ไป ๆ กลับ ๆ เป็นวิธีการที่น่าสนใจในภาคปฏิบัติการวิชาหนึ่งที่มีมานานแล้ว จนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้ก็ยังไม่ได้รับคำอธิบายทางทฤษฎีที่มากพอและมีแนวความคิดอย่างง่าย ๆ ว่าเมื่อมีการสึกหรอก็หาชิ้นส่วนใหม่มาทดแทนดีกว่าแทนที่จะมาคำนวณการออกแบบชิ้นส่วนที่มีอายุเหมาะสมถูกต้องเสียแต่ที่แรกเลย



ในทุกวันนี้การทดลองปฏิบัติการแบบนี้เป็นวิธีการที่ถูกต้องน่าเชื่อถือ สมบัติของโลหะโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับสภาพของผิวและความต้านทานการเสื่อมของผิวเนื่องมาจากการใช้งาน ความเสื่อมของผิวเป็นองค์ประกอบสำคัญที่วิศวกรต้องพิจารณาในการนำเอาโลหะไปใช้งานในสภาพต่าง ๆ เพราะสิ่งนี้จะเป็ปัจจัยสำคัญและเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรเกิดการสึกหรอ อาจใช้คำนิยามได้ว่า คือ การเสื่อมสภาพของผิวโลหะที่เกิดขึ้นโดยไม่เจตนาอันเป็นผลมาจากการใช้งานหรือสภาพแวดล้อมและอาจพิจารณาว่าการสึกหรอเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติของผิวโลหะ การสึกหรอเป็นตัวทำลายโลหะที่มีอิทธิพลมากที่สุดตัวหนึ่ง ซึ่งวิศวกรแทบทุกแขนงต่าง ๆ ยอมรับในความจริงอันนี้ยังเป็นการจำเป็นอย่างยั้งที่ต้องหาทางยับยั้งและป้องกันการสึกหรอของโลหะทุกรูปแบบ เพื่อยืดอายุการใช้งานโลหะให้มากที่สุด



รูปที่ 2.8 กลไกการเสื่อมสภาพหรือการเกิดการสึกหรอ [20]

1) กลไกการเสื่อมสภาพ (Mechanism of Degradation) หรือกลไกของการสึกหรอ (Mechanism of Wear) เนื่องจากการขัดสี (Abrasive) ที่จะกล่าวถึงต่อไปจะเกี่ยวข้องกับโดยตรงกับพื้นผิวของวัสดุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพื้นผิวของวัสดุที่มองว่าเรียบนั้นไม่ว่าวัสดุนั้นจะทำการปรับแต่งผิวให้ดีและเรียบขนาดไหน แต่เมื่อพิจารณาให้ละเอียดในระดับไมครอน เช่น ใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ส่องดูที่ผิวก็จะไม่ละเอียดทีเดียวเสียเลย โดยปกติแล้วพื้นผิวของวัสดุจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 แบบคือ ความหยาบ (Roughness) ของพื้นผิววัสดุ ลักษณะการเป็นคลื่น (Waviness) ของวัสดุและความไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Error of Form) ของวัสดุ ซึ่งแต่ละลักษณะที่เกิดขึ้นอาจมาจากสาเหตุต่าง ๆ ในกรรมวิธีการผลิตชิ้นงาน เช่น ความไม่เที่ยงตรงของเครื่องจักร การชำรุดของเครื่องจักรและความหยาบหรือละเอียดในการผลิต โดยทั่วไปแล้วเมื่อรวมทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วพื้นผิวของวัสดุส่วนใหญ่จะเป็นที่มาของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น เมื่อวัสดุเกิดการถู



เสียดสี ขัดสี โดยปราศจากการหล่อลื่นที่เพียงพอ การเสื่อมสภาพหรือการเกิดการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) เกิดจากการสัมผัสกันของผิวโลหะ มีแรงดันขนาดที่มากพอจนทำให้เกิดการเชื่อมเย็บระหว่างผิว เมื่อเกิดการเคลื่อนที่สัมผัสจึงทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุใดวัสดุหนึ่ง การสึกหรอแบบนี้จะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของคู่วัสดุที่สัมผัสกันและพื้นที่ที่เกิดการสัมผัสของโลหะ ดังนั้นถ้ามีการหล่อลื่นที่มีประสิทธิภาพสามารถกั้นการสัมผัสของผิวโลหะ ก็จะเกิดการสึกหรอแบบนี้ได้น้อย การเกิดการยึดติดของวัสดุเกิดได้ 2 กรณีคือ

ก. การยึดติดแบบเย็น (Cold Adhesive Wear) เป็นการสึกหรอของวัสดุสองชิ้นที่เคลื่อนที่ผ่านกัน โดยขาดฟิล์มน้ำมันมาหล่อลื่นส่งผลให้พื้นผิวส่วนที่ไม่เรียบ (Asperities) ของวัสดุทั้งสองถูกกันอย่างรุนแรงด้วยแรงกดจนส่วนบนที่ยื่นมาของโลหะตัวล่างที่อ่อนกว่าหลุดออก จากนั้นเมื่อวัสดุทั้งสองยังเคลื่อนที่กลับไปกลับมาอยู่ระหว่างกันอีก ชิ้นส่วนที่หลุดออกจากการสึกในครั้งแรกก็จะเข้ามาแทรกกลางระหว่างผิวสัมผัสของโลหะทั้งสองชิ้น ส่งผลให้เกิดการสึกหรอเนื่องจากการขูดขีดของชิ้นส่วนที่สึกหรอต่อวัสดุชิ้นที่อ่อนกว่าให้เกิดรอยยึดติดเพิ่มไปอย่างรวดเร็ว

ข. การยึดติดแบบร้อน (Seizure Wear) เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุเกิดการเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิสูง หรือเสียดสีกันในที่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงก็จะทำให้ความแข็งแรงหรือความสามารถในการทนต่อความเค้นของวัสดุลดลงและเกิดการอ่อนตัวจนทนกับสภาพความเค้นที่เกิดขึ้นไม่ได้และหลุดออกมาติดกับผิวของวัสดุอีกชิ้นหนึ่ง

2) การเสื่อมสภาพหรือการสึกหรอแบบแบบขัดถู (Abrasive Wear) เกิดขึ้นเนื่องจากการที่วัสดุที่มีความแข็งกว่าเคลื่อนที่ไปบนวัสดุที่มีความอ่อนกว่าด้วยแรงเสียดทาน เป็นผลให้เกิดรอยขีดข่วน (Scuffing) รอยไถ (Pouching) หรือการสึกหรอบนพื้นผิวของวัสดุที่อ่อนกว่า การสึกหรอที่เกิดขึ้นอาจมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความแข็งแรงระหว่างผิวของวัสดุทั้งสอง แรงที่กดลงบนหน้าสัมผัสของวัสดุและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยการเกิดการสึกหรอดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้สองสถานะคือ

ก. การขัดสีแบบวัสดุสองชิ้น (Two Body Abrasion) สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อมีคู่วัสดุสองชิ้นถูกัน หรือวัสดุที่ผิวแข็งมากกว่าถูไปบนวัสดุที่ผิวอ่อนกว่า ทำให้วัสดุที่ผิวอ่อนกว่าหลุดออกมาเนื่องจากความแข็งแรงของผิวที่น้อยกว่า เช่น การทำงานของเครื่องตัดและเครื่องเจียรนัย หรือการขัดพื้นผิวด้วยกระดาษทราย .

ข. การขัดสีแบบวัสดุสามชิ้น (Three Body Abrasion) เกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุแปลกปลอมมาคั่นกลางอยู่ระหว่างที่คู่ผิววัสดุสองชิ้นถูไปมา โดยที่เศษวัสดุชิ้นที่คั่นกลางระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสองนั้นอาจเป็นวัสดุแปลกปลอมจากภายนอกหรือวัสดุที่เกิดจากความเสียหายจากการ



ขัดสีกันระหว่างวัสดุคู่สัมผัสในตอนแรกแล้วหลุดออกมาอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสองในตอนหลัง

3) การเสื่อมสภาพหรือการสึกหรอแบบล้า (Fatigue Wear) กลไกนี้เกิดมากในภาวะที่รับแรงกระทำแบบซ้ำ ทำให้เกิดรอยแตกระดับจุลภาคภายใต้ผิวโลหะ ช่องว่างเกิดการขยายตัวภายใต้การรับภาระอย่างต่อเนื่อง จนถึงตำแหน่งวิกฤตที่ช่องว่างขยายไปชนกัน เกิดการแตกออกเป็นชั้นของผิวโลหะ ซึ่งบางที่เรียกว่าการสึกหรอแบบแยกชั้น (Delamination wear)

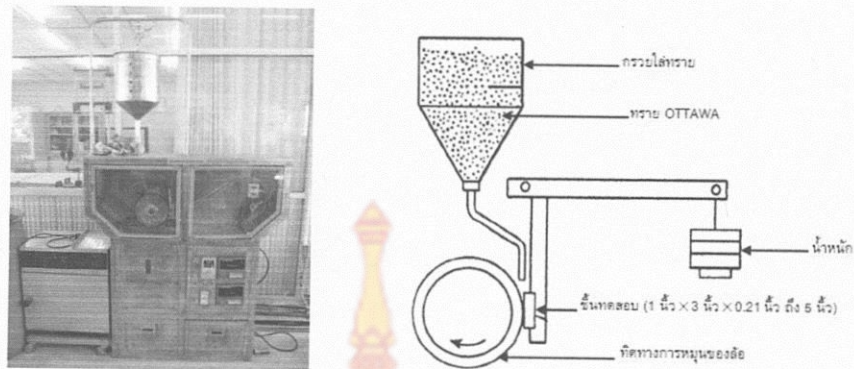
4) การเสื่อมสภาพหรือการสึกหรอแบบกัดกร่อน (Corrosive Wear) ส่วนมากเกิดจาก Tribo Chemical Reaction ผิวของวัสดุทั้งชิ้นงานและแม่พิมพ์มักมีชั้นบาง ๆ ของออกไซด์ ปกคลุมผิวซึ่งถ้ามีความหนาและแรงยึดเกาะไม่สูงพอ มีโอกาสที่จะแตกออก เมื่อถูกเสียดสีทำให้การสึกหรอที่กำลังจะเกิดทวีความรุนแรงขึ้น นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีแบบแห้งหรือไม่มีการใช้สารหล่อลื่น จะเป็นปัจจัยสำคัญตัวหนึ่งที่จะทำให้เกิดการสร้างฟิล์มออกไซด์บาง ๆ ขึ้นอีกบนผิวซึ่งจะแตกออกเมื่อถูกเสียดสีเร่งความรุนแรงของการสึกหรอ การกัดกร่อนแบ่งออกตามลักษณะการเกิดมี 2 ลักษณะ คือ

ก. การกัดกร่อนแบบแห้ง (Dry Corrosion หรือ Oxidation) คือกระบวนการทางเคมีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนอะตอมที่เป็น Positive Ions จะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุที่สัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง

ข. การกัดกร่อนแบบเปียก (Wet Corrosion) คือกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นกับผิววัสดุโดยผ่านทางสื่อที่เป็นของเหลวหรือน้ำ (Liquid)

2.6.3 การทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี ในมาตรฐาน ASTM G65 - 94 การกำหนดการกัดกร่อนหรือสึกหรอที่เหมาะสมกับอนุภาคของแข็ง หรือส่วนที่ยื่นออก จะใช้แรงต่อต้านเคลื่อนที่ตามผิวของแข็ง ซึ่งมีกรรมวิธีหลายอย่าง โดยที่วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น การอัดขึ้นรูปอย่างช้า ๆ การเซาะร่อง หรือ การผ่าชิ้นงานกระบวนการในการขัดสีจะแบ่งการใช้แรงเพื่อให้เกิด ความเค้นสูงหรือต่ำ เพื่อดูรอยสึกหรอและการเปลี่ยนแปลงจุดที่มีการขูดขีดหรือเสียดสี ถึงแม้ว่ามีวิธีการมากมาย ในการจำแนก สำหรับการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี ที่เป็นการสึกหรอความเค้นต่ำ ซึ่งทำการทดสอบทดสอบโดยใช้ทรายแห้งและล้อย่างในการทดสอบ การออกแบบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G 65 - 94 ดังแสดงในรูปที่ 2.5





รูปที่ 2.9 การทดสอบการสึกหรอ มาตรฐาน ASTM G65 - 94

การทดสอบจะมีแรงต่อต้านการหมุนของล้อที่เป็นยางสังเคราะห์ จะต้องพิจารณาวิธีการหรือระบบของการทดสอบจะเป็นโครงสร้างเหล็ก ความแข็งของล้อจะต้องเท่ากันเมื่อเกิดการเหินของการทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อจะต้องมีขนาดที่แน่นอน ทั้งก่อนและหลังการทดสอบแต่ละครั้งและชั้นทดสอบจะถูกยึดกับคานซึ่งสามารถเพิ่มน้ำหนักได้ ในการขับล้อจะใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ใช้กระปุกเกียร์ 10 ต่อ 1 ซึ่งจะทำให้ปลอดภัย ในการทดสอบการส่งกำลัง อัตราการเปลี่ยนแปลง เมื่อตั้งรอบที่ 200 รอบต่อนาที ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความเร็วของพื้นผิวประมาณ 2.4 เมตรต่อวินาที ใช้ทรายซิลิกาหรือทรายออกตาวา ในการขัดสีโดยป้อนจากกรวยสู่พื้นผิวร่วมระหว่างชั้นทดสอบกับล้อ ขนาดของอนุภาคทราย ที่ใช้มีขนาดระหว่าง 100 - 350 ไมโครเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E11 ปริมาณความชื้นของทรายโดยปกติ จะต้องให้เป็นไปตามคำแนะนำของมาตรฐาน ASTM E11 เพราะฉะนั้นในการทดสอบ จำเป็นที่จะต้องรวบรวมมวลของทรายของแต่ละระยะเวลาในการทดสอบเพื่อที่จะกำหนดปริมาณได้อย่างถูกต้อง สำหรับชิ้นงานทดสอบก่อนทำการทดสอบที่พื้นผิวของชั้นทดสอบจะใช้กระดาษทรายเบอร์ 800 และเบอร์ 1200 หลังจากนั้นจะทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์แล้วทำให้แห้งและบันทึกมวล โดยมวลที่ถูกบันทึกจะมีความละเอียด 0.0001 กรัม เป็นสภาพก่อนการทดสอบ ในที่จับยึดของการควบคุมการขัดสีตัวอย่างจะถูกตั้งให้หมุน 200 รอบต่อนาทีและทรายก็จะเริ่มไหลลงในระยะเวลาที่สั้น ชั้นทดสอบต้องยึดติดให้แน่น ในการทดสอบจะใช้เวลา 40 นาที ชั้นทดสอบจะอยู่ในสภาพที่ถูกขัดและมวลจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยจะใช้ช่วงเวลาระหว่าง 1 - 40 นาที อุปกรณ์จับยึดชั้นทดสอบต้องมั่นคง

ในมาตรฐาน ASTM G65 - 94 การกำหนดการกัดกร่อนหรือสึกหรอที่เหมาะสมกับอนุภาคของแข็ง หรือส่วนที่ยื่นออก จะใช้แรงต่อต้านเคลื่อนที่ตามผิวของแข็ง ซึ่งมีกรรมวิธีหลายอย่าง โดยที่วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น การอัดขึ้นรูปอย่างช้า ๆ การเขาระ่อง หรือ การผ่าชิ้นงาน ขบวนการในการขัดสีจะแบ่งการใช้แรงเพื่อให้เกิด ความเค้น สูง หรือต่ำ เพื่อดูรอยสึกหรอและการ



เปลี่ยนแปลง จุดที่มีการขูดขีด หรือ เสียคลี่ ถึงแม้ว่ามีวิธีการมากมาย ในการจำแนก อาจจะต้องพิจารณาพิจารณาระยะเวลาเฉพาะการกัดกร่อนอนุภาคของผิว โลหะและในที่สุดจะเกิดการสึกหรอหรือแตกร้าว วิธีการไส และตัดเป็นวิธีการขจัดวัสดุ ที่มีการรับแรงค่อนข้างมาก การพิจารณาการไสหรือรูปแบบของร่องที่ปรากฏ เมื่อรูปแบบของร่องก่อนการขัดสี อนุภาค และ วัสดุ จะหลบหลีกหรือต่อต้านการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง จากนั้นก็จะเกิดสันที่ชิดกัน และร่อง ค่อย ๆ ปรากฏขึ้น ในความเห็น เรื่องนี้ จะไม่มีการถดถอยของโลหะจากพื้นผิว ดังนั้นจะไม่มีการสูญเสียปริมาตรทั้งหมดของวัสดุ ในเรื่องของสองของการสร้าง หรือการทำให้เกิดร่องอาจกล่าวถึงการตัด การแยกออกโดยตรงของโลหะจากพื้นผิวโดยเศษการขัดสีในปริมาตรของโลหะ และร่อง หรือช่อง ก็จะไม่มีส่วนด้านข้าง ดังนั้นวิธีการสร้างก็จะส่งผลโดยตรง กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ และปรากฏขึ้นเมื่อสัดส่วนของแรงเฉือน ของการสัมผัสที่มีการเกี่ยวข้องกับแรงเฉือน ของความจุที่ปรากฏขึ้น จะมีความเรียบสูง 0.5 - 1.0 ไมโครเมตร

1) องค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสึกหรอ จากสารหล่อลื่นเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยลดการสึกหรอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการสึกหรอแบบเกาะติด การหล่อลื่นในลักษณะฟิล์มหนา (Thick Film) จะสามารถป้องกันไม่ให้ผิวโลหะกระทบกันได้โดยสิ้นเชิง สามารถลดการสึกหรอได้สมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติเงื่อนไขนี้เกิดขึ้นได้ยากจึงเป็นเพียงเงื่อนไขในอุดมคติเท่านั้น การหล่อลื่นในบริเวณหน้าผิวสัมผัสมักเกิดขึ้นเป็นฟิล์มบาง ๆ จนบางครั้งฟิล์มไม่ปรากฏในบางจังหวะของการหมุนภายใต้ภาวะเกิดฟิล์มบาง ๆ ระหว่างหน้าสัมผัสนี้ปริมาณการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับความเร็ว แรงดันธรรมชาติของผิวสัมผัส และประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ปรากฏอยู่บริเวณบนผิวในหลาย ๆ กรณีมีเหมือนกันที่ผิวสัมผัสไม่ต้องการสารหล่อลื่น เช่น เบรกและคลัตช์ ถึงแม้ว่าโลหะจะหลอมละลายได้ยากที่อุณหภูมิต่ำ ๆ แต่ผลจากความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีเมื่อน้ำมันหล่อลื่นแห้งจะเป็นตัวละอานจากความต้านทานการสึกหรอหลาย ๆ ประการ เช่น ทำให้โครงสร้างที่แข็งแรงในตัวลงในสภาพของการอบคลายตัวเสมือนทำให้โลหะเกิดการเปลี่ยนเฟส ซึ่งเป็นผลให้โลหะแข็งขึ้นและเปราะมากขึ้น หรืออาจจะลดคุณสมบัติทางกลลงและเร่งให้เกิดการผุกร่อนเร็วขึ้น

2) การทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี เป็นการกัดกร่อนความเค้นต่ำ ซึ่งทำการทดสอบทดสอบโดยใช้ทรายแห้ง และล้อยางในการทดสอบ การออกแบบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G 65 - 94 การทดสอบมีแรงต่อต้านการหมุนของล้อที่เป็นยางสังเคราะห์ จะต้องพิจารณาวิธีการหรือระบบของการทดสอบจะเป็น โครงสร้างเหล็ก ความแข็งของล้อยางต้องเท่ากันเมื่อเกิดการเฉือนของการทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อยางจะต้องมีที่แน่นอน ทั้งก่อนและหลังการทดสอบแต่ละครั้ง ในบางครั้งอาจเจอจุดบกพร่องบ้าง และขึ้นทดสอบจะถูกยึดกับคานซึ่งสามารถ



เพิ่มน้ำหนักได้ ดังนั้นจะใช้แรงปกติกับผิวซึ่งทดสอบระบบการวัดจะใช้สปริงเพื่อหาความสมดุล ปริมาตรของชิ้นทดสอบจะคาดคะเนจากมวล

ในการขับล้อย่างจะใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ใช้กระปุกเกียร์ 10 ต่อ 1 ซึ่งจะทำให้ปลอดภัย ในการทดสอบการส่งกำลัง อัตราการเปลี่ยนแปลงเมื่อตั้งรอบที่ 200 รอบต่อนาที ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ ความเร็วของพื้นผิว ประมาณ 2.4 เมตรต่อวินาที ใช้ทรายซิลิกา หรือทรายออกตควา ในการขัดสีโดย ป้อนจากกรวยสู่พื้นผิวรวมระหว่างชิ้นทดสอบกับล้อ ขนาดของอนุภาคทราย ที่ใช้มีขนาดระหว่าง 100 - 350 ไมโครเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E11 ปริมาณความชื้นของทรายโดยปกติ จะต้องให้ เป็นไปตามคำแนะนำของมาตรฐาน ASTM E11 เพราะฉะนั้นในการทดสอบ จำเป็นที่จะต้อง รวบรวมมวลของทรายของแต่ละระยะเวลาในการทดสอบเพื่อที่จะกำหนดปริมาณได้อย่างถูกต้อง และเอาบริเวณที่ถูกขัดสีมาเข้ากระบวนการทดสอบต่อไป ตัวอย่างที่ใช้โดยประมาณ 50% ของ ผลรวมอัตราการป้อนทราย จากแต่ละการทดสอบที่พื้นผิวของชิ้นทดสอบจะใช้กระดาษทรายเบอร์ 800 และเบอร์ 1200 หลังจากนั้นจะทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์แล้วทำให้แห้ง ชิ้นทดสอบแต่ละ ชิ้นจะถูกบันทึกมวล โดยมวลที่ถูกบันทึกจะมีความละเอียด 0.0001 กรัม เป็นสภาพก่อนการทดสอบ ในที่จับยึดของการควบคุมการขัดสีล้อย่างจะถูกตั้งให้หมุน 200 รอบต่อนาที และทรายก็จะเริ่มไหล ลงในระยะเวลาที่สั้น ชิ้นทดสอบต้องยึดติดให้แน่น ในการทดสอบจะใช้เวลา 40 นาที ชิ้นทดสอบ จะอยู่ในสภาพที่ถูกขัดและน้ำหนักจะเกิดการเปลี่ยนแปลง และจะใช้ช่วงเวลาระหว่าง 1 - 40 นาที ตัวจับยึดชิ้นทดสอบต้องมั่นคง

## 2.7 ทังสเดนคาร์ไบด์

ทังสเดนคาร์ไบด์เป็นสารประกอบที่เกิดจากทังสเดนและคาร์ไบด์ทำปฏิกิริยากัน ในช่วง เริ่มแรกทังสเดนคาร์ไบด์ถูกใช้เป็นเครื่องมือตัดในเครื่องจักรต่าง ๆ จนถึงปัจจุบันก็ยังมีใช้งาน กันอย่างกว้างขวาง การที่ทังสเดนคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่น่าสนใจเนื่องทังสเดนคาร์ไบด์มีความแข็งที่ สูงมากประมาณ 91 HRA หรือประมาณ 1500 HV ดังนั้นจึงมีความต้านทานต่อการสึกหรอที่ดีมาก หากมีการเปรียบเทียบกับเหล็กกล้า ทังสเดนคาร์ไบด์สามารถใช้งานในสภาวะขัดถูหรือขัดสี ได้ นานกว่าเหล็กกล้าถึง 30 ครั้ง มีความเสถียรสูง ค่ายังมอดูลัสประมาณ 550 GPa และมีความ หนาแน่นสูงกว่าเหล็กกล้าอีกด้วย [21-22]



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ของกรดำเนินงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาขนาดของพวงทังสเดนคาร์ไบด์ที่มีผลต่อคุณภาพของค้อนย่อยไม้ยางพาราและศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของค้อนย่อยไม้ยางพาราที่พันพอกผิวด้วยทังสเดนคาร์ไบด์ โดยชิ้นงานทดลองพันพอกผิวเป็นวัสดุ AS3678 Grade 350 ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงาน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลทดลองที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ปัจจุบันค้อนย่อยไม้ยางพาราทำการเตรียมชิ้นงานก่อนการใช้งานและซ่อมแซมโดยการเชื่อมพอกผิว (Resurfacing) เพื่อยืดอายุการใช้งานของค้อนย่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพ ในกรณีทั่วไปจะใช้วิธีการเชื่อมพอกผิวโดยกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding Process) ซึ่งในกรณีที่ภาระปกติ พบว่าอายุของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมได้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ในกรณีที่รับภาระไม่ปกติ เช่น ใช้งานเกินภาระกำหนด (Over Capacity) หรือการใช้งานผิดวิธี (Misoperation) พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการซ่อมมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อเทียบกับอะไหล่ที่ไม่ผ่านการซ่อม เนื่องจากการซ่อมโดยวิธีการเชื่อมจะถูกจำกัดด้วยความแข็งแรงของเนื้อเชื่อม และจากกระบวนการเชื่อม (Welding Processes) เท่านั้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการเตรียมค้อนย่อยไม้ยางพาราก่อนการใช้งานและซ่อมแซม

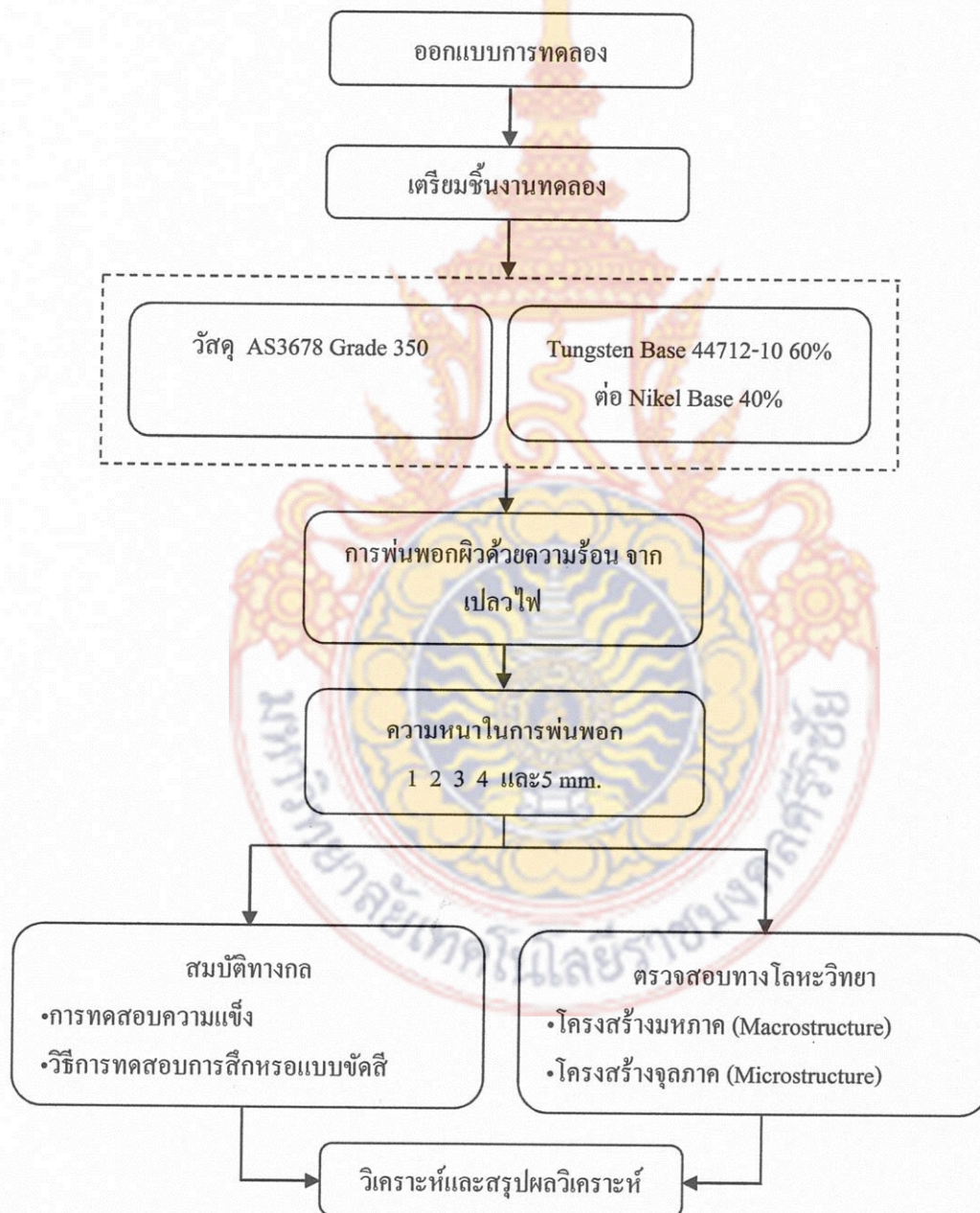
3.1.2 วัสดุทำค้อนย่อยไม้ยางพาราเป็นวัสดุ AS3678 Grade 350 เป็นเหล็กแผ่นที่ทนต่อแรงดึงสูงถึง 350 Mpa โดยเหล็กชนิดนี้จะมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ นอกจากธาตุคาร์บอนแล้วยังมีธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยจะอยู่ในลักษณะเป็นธาตุเจือปน เช่น ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน อะลูมิเนียม นิกเกิลและทองแดง ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งาน เช่น งานเชื่อม



ประกอบทั่วไป งานโครงสร้างเครื่องจักร งานเครนก่อสร้างอาคารสูง สะพาน ถึงภาชนะบรรจุ สำหรับวัสดุทำค้อนย่อยไม้ยางพาราเป็นวัสดุ AS3678 Grade 350 ความหนาที่ 40 mm ( $25 < t < 80$ )

### 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในกระบวนการทำงานได้วางขั้นตอนการทดลองเพื่อควบคุมการทดลองให้เกิดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุด และป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดจากความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.2



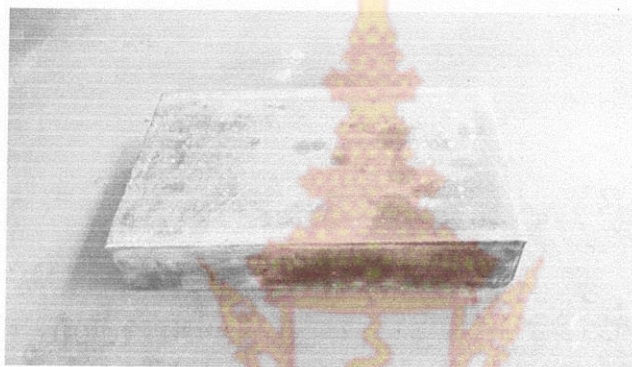
รูปที่ 3.2 แสดงลำดับขั้นตอนการทดลอง



### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุในการทดลองการพ่นพอก

#### 3.3.1 การเตรียมชิ้นงานในการทดลองการพ่นพอก

1) ชิ้นงานที่ใช้พ่นพอกเป็น วัสดุAS3678 Grade 350 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 นำไปทำการตัดให้เป็นชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $25 \times 75 \times 12.5$  มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ด้วยเครื่องเลื่อยสายพานแนวอน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยในการเลื่อยจะใช้น้ำหล่อเย็นในการระบายความร้อนของชิ้นงาน และยังเป็นการรักษาคุณสมบัติทางโลหะวิทยาของชิ้นงาน



รูปที่ 3.3 วัสดุ AS3678 Grade 350

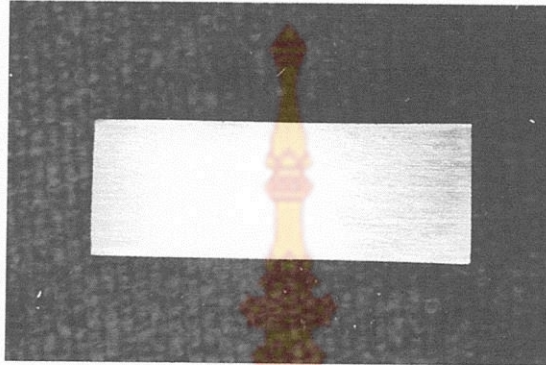


รูปที่ 3.4 ชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการเตรียมผิวพ่นพอก

2) การเตรียมผิวหน้าก่อนพ่นพอกของชิ้นงาน จะใช้วิธีการตะไบขยาย ทำให้ได้ผิวที่เหมาะสมในการพ่นพอก คือผิวที่ขรุขระซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวหน้า และทำให้การยึดเกาะตัวดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5 แต่ข้อสำคัญอีกอันหนึ่ง คือ จะต้องไม่มี สิ่งสกปรก เช่น สนิม หรือคราบน้ำมัน เกาะตัวอยู่ ควรขัดคราบน้ำมันออกด้วยอะซิโตนบริสุทธิ์ ทั้งก่อนหน้าและหลังการเตรียมผิวงาน



หลังการเตรียมผิวงานเสร็จแล้ว ห้ามจับต้อง โดยเด็ดขาด เพราะเหงื่อหรือน้ำมันที่มีอาจไปเกาะบนผิวงาน ทำให้การยึดเกาะตัวด้อยไป



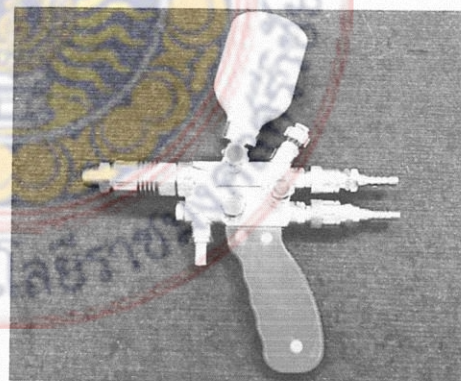
รูปที่ 3.5 ชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการเตรียมผิวพ่นพอก

### 3.3.2 การเตรียมชุดพ่นพอกผงโลหะ

เป็นหัวพ่นชนิดไฟฟ้าเชื่อม ยี่ห้อ Shanghai Worker Weliding tool รุ่น QHT-3/h มีความสามารถของการฉีดพ่นความเร็วสูง ใช้แก๊สอะเซทิลีนและแก๊สออกซิเจนในการเผาไหม้ ซึ่งแก๊สผสมเปลวไฟเป็นแหล่งความร้อนสามารถฉีดพ่นหรือพ่นทุกชนิดของผงโลหะผสมและผงโลหะอื่นๆ ใช้วาล์วในการควบคุมการไหลของแก๊สและผงโลหะ ท่อทางผ่านผงทำจาก สแตนเลสทนต่อการขีดขูด และสามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวก ดังแสดงในรูปที่ 3.6



(ก) ชุดพ่นพอกผงโลหะยังไม่ประกอบ



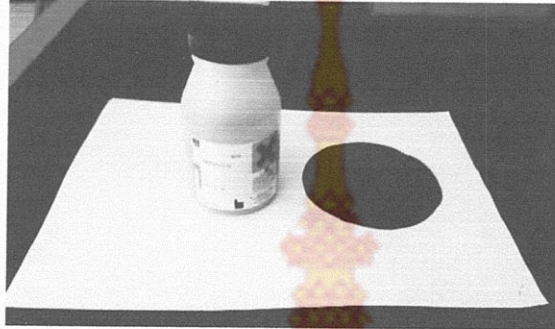
(ข) ชุดพ่นพอกผงโลหะประกอบแล้ว

รูปที่ 3.6 ชุดพ่นพอกผงโลหะ



### 3.3.3 การเตรียมผงโลหะในการพ่นพอก

ผงโลหะที่ใช้ในการพ่นพอกจะเป็นผงโลหะชนิด HMSP 1250-00+60% ซึ่งมีส่วนผสมของผง Tungsten Base 44712-10 60% ต่อ Nickel Base 40% ดังรูปที่ 3.7



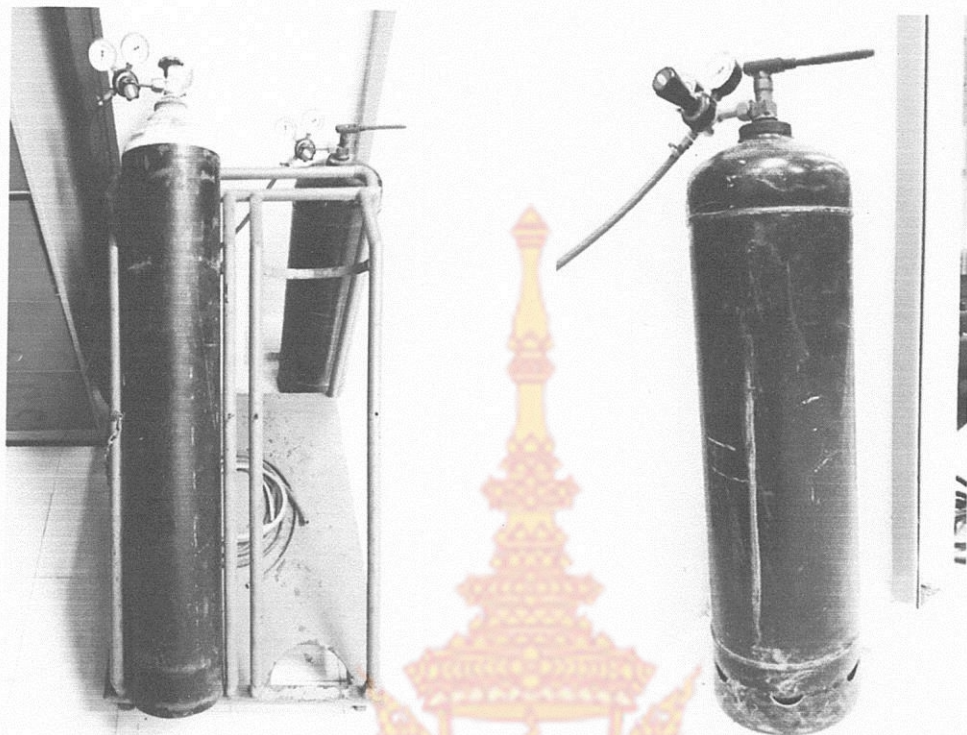
รูปที่ 3.7 ผงโลหะในการพ่นพอก

### 3.3.4 การเตรียมแก๊สและอุปกรณ์ในการกำหนดแรงดันแก๊ส

1) แก๊สที่ใช้จะเป็นแก๊สออกซิเจน (Oxygen) กับ แก๊สอะเซทิลีน (Acetylene) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพราะจะได้อุณหภูมิของเปลวไฟจากแก๊สสูงสุดถึง 3087 °C

2) วาล์วปรับความดัน (Pressure Regulators) มีหน้าที่ คือปรับความดันแก๊สจากถังเก็บ เพื่อให้พอเหมาะกับความดันที่ต้องการใช้งานและช่วยควบคุมความดันที่หัวเชื่อมให้คงที่ ปกติ 1 ชุด จะมีเกจ 2 ตัว คือ เกจขวาจะวัดความดันของแก๊สและเกจซ้ายจะวัดความดันขณะใช้งาน วาล์วปรับความดันของแก๊สอะเซทิลีนกับของแก๊สออกซิเจนจะแตกต่างกัน กล่าวคือ เกลียวข้อต่อของวาล์วปรับความดันอะเซทิลีนจะเป็นเกลียวซ้าย ซึ่งความดันที่ให้อยู่ที่ 0-250 Psi ส่วนของออกซิเจนจะเป็นแบบเกลียวขวา ช่วงความดันจะอยู่ระหว่าง 0-300 Psi ดังแสดงในรูปที่ 3.9





(ก) แก๊สออกซิเจน

(ข) แก๊สอะเซทิลีน

รูปที่ 3.8 แก๊สที่ใช้ในการพ่นพอก



(ก) วาล์วปรับความดัน แก๊สออกซิเจน

(ข) วาล์วปรับความดัน แก๊สอะเซทิลีน

รูปที่ 3.9 วาล์วปรับความดัน (Pressure Regulators)



3.3.5 การกำหนดตัวแปรในการทดลองการพ่นพอก เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตาราง 3.2

ตาราง 3.1 การกำหนดปัจจัยในการทดลองการพ่นพอก

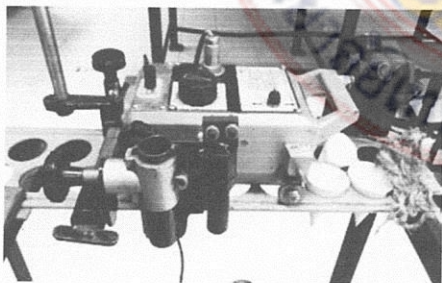
ชั้นงาน	ความหนาของผิวพ่นพอก	จำนวนรอบในการพ่นพอก	ความเร็วในการพ่นพอก
1	1 มิลลิเมตร	2 รอบ	2 มิลลิเมตร/วินาที
2	2 มิลลิเมตร	4 รอบ	
3	3 มิลลิเมตร	6 รอบ	
4	4 มิลลิเมตร	8 รอบ	
5	5 มิลลิเมตร	10 รอบ	

### 3.4 ขั้นตอนในกระบวนการพ่นพอก

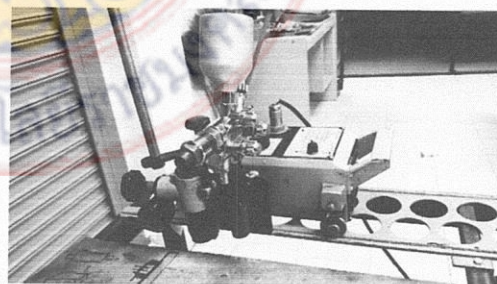
#### 3.4.1 การติดตั้งอุปกรณ์พ่นพอก

ก่อนทำการพ่นพอก จะต้องประกอบอุปกรณ์ให้เรียบร้อยสมบูรณ์ โดยมีขั้นตอนในการปฏิบัติดังนี้

1) นำหัวพ่นพอกผงโลหะมาประกอบเข้ากับชุดรางเลื่อนของหัวตัดแก๊สเพื่อที่จะสามารถกำหนดความเร็วและระยะทางในการพ่นพอกได้อย่างแม่นยำ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



(ก) ชุดรางเลื่อน

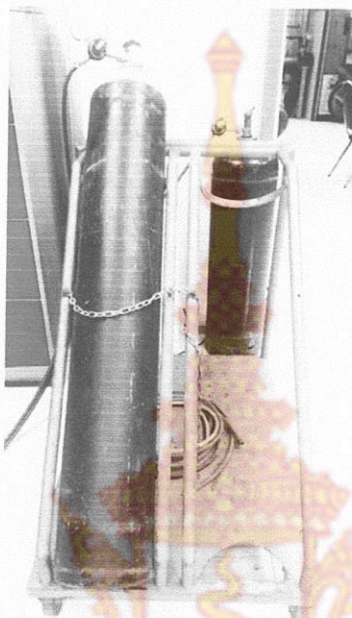


(ข) ประกอบหัวพ่นพอกเข้ากับชุดรางเลื่อน

รูปที่ 3.10 การประกอบหัวพ่นพอกเข้ากับชุดรางเลื่อน



2) ติดตั้งถังแก๊สออกซิเจน และอะเซทิลีนเข้ากับรถเข็นแล้วใช้โซ่คล้องล่้ามถังไว้แล้ว ถอดฝาครอบวาล์วหัวถังแก๊สออกทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในรูป 3.11

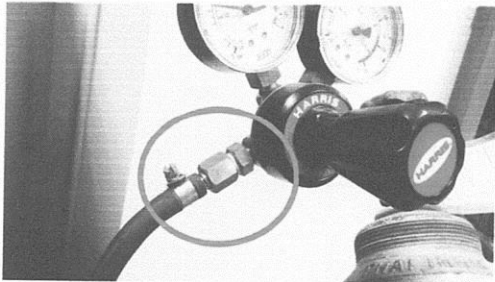


รูปที่ 3.11 ติดตั้งถังแก๊สออกซิเจนและอะเซทิลีนเข้ากับรถเข็น

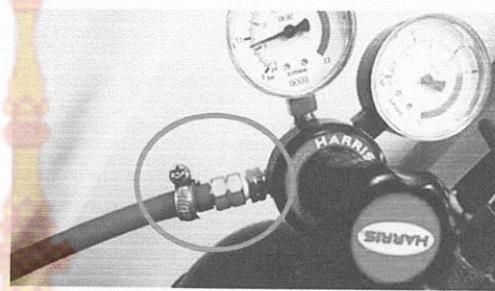
- 3) เปิดพัดลมระบายอากาศ
- 4) เปิดแล้วปิดวาล์วที่หัวถังอย่างทันทีทันใดเพื่อไล่สิ่งสกปรกและฝุ่นละอองตรงท่อทางออก การทำในลักษณะนี้เรียกว่า การ “Cracking” ในการเปิด-ปิดวาล์ว จะต้องยืนอ้อมอยู่ด้านหลังตรงข้ามกับทางออกของแก๊ส
- 5) ตรวจสอบดูเกลียวท่อทางออกของถังว่าอยู่ในสภาพดีหรือไม่
- 6) ติดตั้งเกจปรับความดัน (Pressure Regulators) ที่ถังออกซิเจนจะเป็นแบบเกลียวขวาหมุนตามเข็มนาฬิกา ที่ถังอะเซทิลีนเป็นแบบเกลียวซ้ายหมุนทวนเข็มนาฬิกา ขันให้แน่นพอเหมาะ
- 7) ตรวจสอบปรับสกรูปรับความดันให้อยู่ในสภาพคลายออกแล้วค่อย ๆ เปิดวาล์วหัวถังแล้วปรับสกรูปรับความดันให้แก๊สไหลออกเล็กน้อย แล้วปิดไว้ เช่นเดิม กระทำในลักษณะเดียวกันทั้งสองถัง



8) ต่อสายแก๊สเข้ากับเกจปรับความดัน โดยใช้สายสีแดงสำหรับแก๊สอะเซทิลีน และสายสีน้ำเงินสำหรับแก๊สออกซิเจน แล้วทำการปรับสกรูปรับความดันให้แก๊สไหลออกเพื่อไล่สิ่งสกปรกในสายท่ออีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.12



(ก) สายสีน้ำเงินกับแก๊สออกซิเจน



(ข) สายสีแดงกับแก๊สอะเซทิลีน

รูปที่ 3.12 ต่อสายแก๊สเข้ากับเกจปรับความดัน

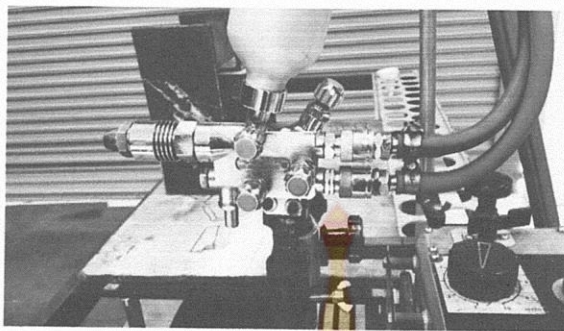
9) ต่อสายแก๊สเข้ากับวาล์วนิรภัยทางเดียว โคนสายแก๊สสีแดงต่อเข้ากับวาล์วนิรภัยทางเดียวตัวสีแดง สายแก๊สสีน้ำเงินต่อเข้ากับวาล์วนิรภัยทางเดียวตัวสีเงิน ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ต่อสายแก๊สเข้ากับวาล์วนิรภัยทางเดียว

10) ต่อวาล์วนิรภัยทางเดียวเข้ากับหัวหัวพ่นพอก โดยใช้วาล์วนิรภัยทางเดียวตัวสีแดงต่อเข้ากับท่อด้านล้าง วาล์วนิรภัยทางเดียวตัวสีเงินต่อเข้ากับท่อด้านบนแล้วตรวจสอบข้อต่อทุกจุดอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.14





รูปที่ 3.14 การต่อวาล์วนิรภัยทางเดียวเข้ากับหัวหัวพ่นพอก

3.4.2 นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเตรียมผิวพ่นพอกมาวางบนฐานวางชิ้นงานในแนวนอน เพื่อทำการพ่นพอก ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การวางชิ้นงานมาวางบนฐานวางชิ้นงาน

3.4.3 ทำการพ่นพอกโดยกำหนดค่าดังนี้

- 1) ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร
- 2) ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที
- 3) ความหนาในการพ่นพอก 1 2 3 4 และ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

3.4.4 เปิดวาล์วแก๊สออกซิเจน (Oxygen) และแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene) ที่ถังแก๊ส เปิดหัวถัง ประมาณ 1 รอบ สำหรับถังแก๊สอะเซทิลีน สำหรับถังออกซิเจนเปิดจนหมด แล้วเปิดวาล์วปรับความดันให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ห้ามปรับความดันของออกซิเจนเกิน 70 Psi และของอะเซทิลีนเกิน 15 Psi ในการใช้งานปกติจะปรับความดันของแก๊สทั้งสองชนิดไว้ที่ 5 Psi เท่านั้น แสดงในรูปที่ 3.16



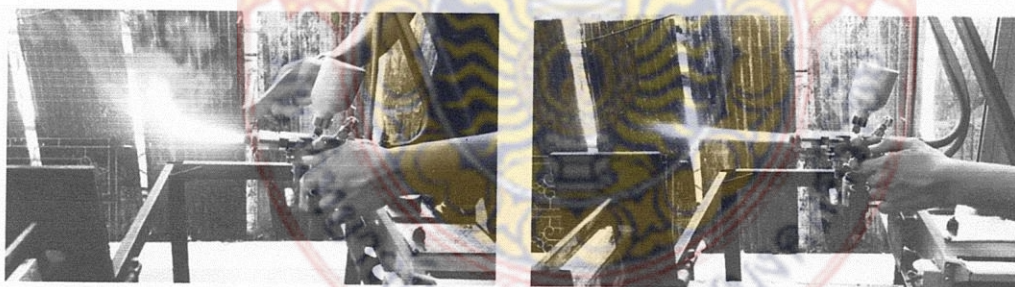
หลังจากนั้นให้มาเปิดวาล์วที่หัวพ่นพอกประมาณครึ่งรอบ โดยให้เริ่มเปิดวาล์วแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene) ก่อน จากนั้น จึงทำการจุดเปลวไฟด้วย Spark Lighter แล้วค่อยทำการเปิดวาล์วแก๊สออกซิเจน (Oxygen) เพื่อทำการจุดเปลวไฟที่ปลายหัว ให้ได้เปลวไฟที่ใช้ในการพ่นเป็นเปลว คาร์บูไรซิง (Carburizing) ดังแสดงในรูป 3.17 อุณหภูมิในการพ่นพอกอยู่ที่ 950 – 1050 องศาเซลเซียส



(ก) เปิดวาล์วแก๊สออกซิเจน (Oxygen)  
ที่แรงดัน 5 bar

(ข) เปิดวาล์วแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene)  
ที่แรงดัน 0.5 bar

รูปที่ 3.16 การเปิดวาล์วแก๊สออกซิเจนและแก๊สอะเซทิลีน



(ก) เปิดวาล์วแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene)  
ที่หัวพ่นพอก

(ข) เปิดวาล์วแก๊สออกซิเจน (Oxygen)  
ที่หัวพ่นพอก

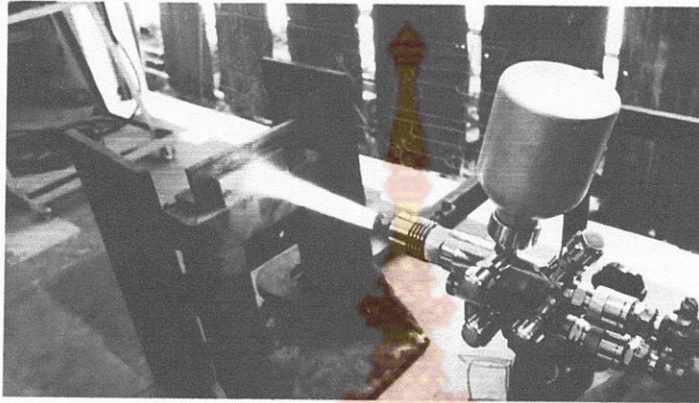
รูปที่ 3.17 วิธีการปรับแรงดันแก๊ส และการจุดเปลวที่จุดปืนพ่น

#### 3.4.5 วิธีการอุ่นชิ้นงานและพ่นรองพื้น



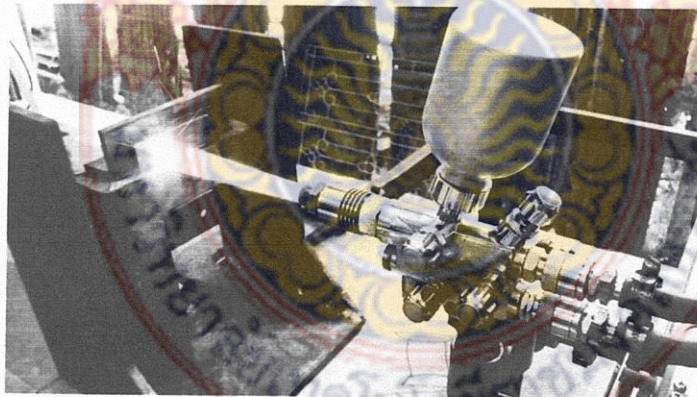
1) นำเปลวไฟไปจอบริเวณที่จะทำการพ่นพอก เพื่อเป็นการอุ่นชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่

3.18



รูปที่ 3.18 วิธีการอุ่นชิ้นงาน

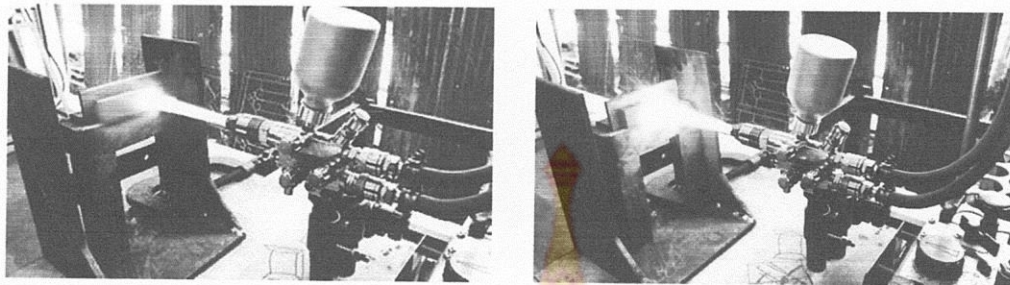
2) หลังจากทำการอุ่นชิ้นงานได้ที่อุณหภูมิประมาณ 60-80 องศา แล้วให้ทำการเปิดวาล์วปล่อยผงโลหะลงไปเรื่อยๆ เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและลดการคลายตัวของออกไซด์ในชิ้นงานขณะทำการพ่นพอก ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วิธีการพ่นรองพื้น

3.4.6 ทำการให้ความร้อนต่อชิ้นงาน จนกว่าชิ้นงานจะได้อุณหภูมิที่เหมาะสม สีผิวบริเวณชิ้นงานจะมีสีส้ม-แดง หลังจากนั้นทำการเปิดวาล์วปล่อยผงลงไปในพื้นที่ที่ต้องการพ่นพอก ดังแสดงในรูปที่ 3.20





(ก) ให้ความร้อนต่อชิ้นงาน

(ข) เปิดวาล์วปล่อยผงโลหะ

### รูปที่ 3.20 วิธีการพ่นพอก

#### 3.4.7 วิธีการดับเปลวไฟที่จุดป็นพ่น

1) หลังจากพ่นชิ้นงานเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ให้เร่งปริมาณลมให้สูงขึ้น หลังจากนั้นค่อย ทำการปิดวาล์วแก๊สอะเซทิลีน (Acetylene) และวาล์วแก๊สออกซิเจน (Oxygen) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.21



(ก) เร่งปริมาณลมให้สูงขึ้น

(ข) ปิดวาล์วแก๊สอะเซทิลีน

(ค) ปิดวาล์วแก๊สออกซิเจน

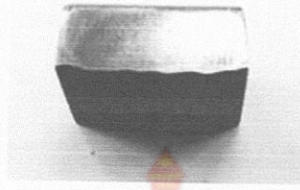
### รูปที่ 3.21 การดับเปลวไฟที่ป็นพ่นพอก

## 3.5 การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางโลหะวิทยา

เป็นการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค มีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 การตัดชิ้นงานที่ได้จากการพ่นพอก นำชิ้นงานมาตัดส่วนปลายของชิ้นงานออกให้เหลือ 25×15 มิลลิเมตร โดยใช้เลื่อยมือในการตัด ดังแสดงในรูปที่ 3.22





รูปที่ 3.22 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำเรือนหุ้มด้วยวิธีหล่อเรซิน

3.5.2 การทำเรือนหุ้มชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็ก ไม่สามารถจับด้วยมือได้จึงต้องใช้ อุปกรณ์จับยึดด้วยการหล่อเรซิน โดยใช้อัตราส่วนผสมของตัวเรซินและตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 10:1

3.5.3 นำชิ้นงานวางลงในแบบ ที่ได้ทำการตัด แล้วทำการเทเรซินที่ผสมไว้ลงในแบบ รอจนกระทั่งเรซินแข็งตัว แล้วจึงแกะแบบออก จะได้ชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.23



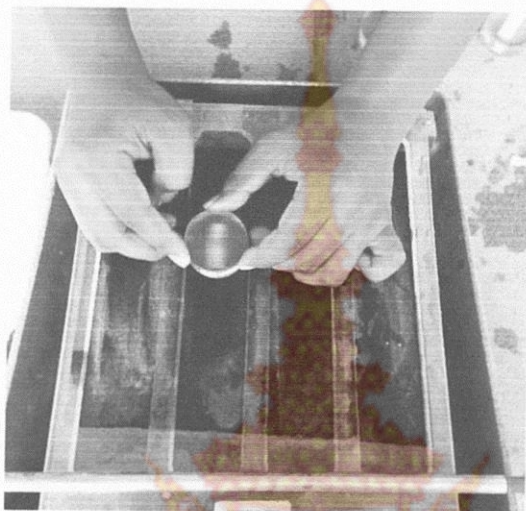
รูปที่ 3.23 การหล่อเรซินทำเรือนหุ้มชิ้นงาน

3.5.4 นำชิ้นงานที่หล่อเรซินเรียบร้อยแล้ว มากลึงปาดหน้าชิ้นงาน โดยกลึงเข้าไปพอให้เรียบ ของชิ้นงานที่ผ่านการพันพอก เพื่อที่จะนำชิ้นงาน ไปขัดและดูโครงสร้าง



### 3.5.5 วิธีการขัดชิ้นงาน

1) การขัดหยาบ ทำการขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 220 400 600 800 1000 และ 1200 ตามลำดับ และขัดด้วยผ้าสักหลาด ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายและผ้าสักหลาด

2) นำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาด โดยใช้คลื่นความถี่อัลตราโซนิก เป็นเวลา 3 นาที

3) การขัดละเอียด เป็นการขัดบนงานหมุนที่หุ้มด้วยผ้าสักหลาด โดยมีน้ำผสมผงขัดเป็นผงอะลูมิน่า ที่มีขนาดอนุภาค 5.0 1.0 และ 0.3 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งจะช่วยขัดผิวของชิ้นงานทดสอบให้เรียบ แล้วจึงนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอีกครั้ง

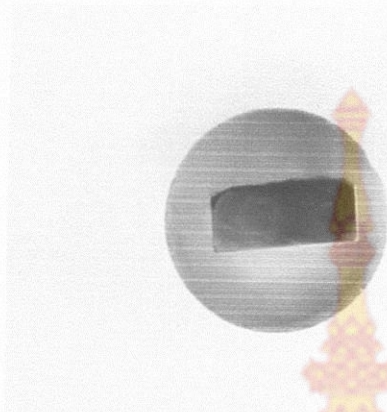
3.5.6 การกัดกรดเป็นการนำชิ้นงานมากัดผิวหน้าด้วยสารละลาย (Keller's reagent) เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

1) การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ใช้สารละลายเจือจางน้ำ (HO) ไนตริก (Nitric acid:  $\text{HNO}_3$ ) และมาผสมในสัดส่วน 95 : 5 ส่วน แล้วนำชิ้นงานมากัดผิวหน้าเป็นระยะเวลา 5 - 10 วินาที และทำให้แห้ง

2) การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ใช้สารละลายเจือจาง น้ำ (HO) ไนตริก (Nitric acid:  $\text{HNO}_3$ ) และมาผสมในสัดส่วน 98 : 2 ส่วน แล้วนำชิ้นงานมากัดผิวหน้าเป็นระยะเวลา 5 - 10 วินาที และทำให้แห้ง



3.5.7 จะได้ชิ้นงานที่พร้อมจะนำไปทำการตรวจดูโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ลักษณะของชิ้นงานที่นำตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

### 3.6 การทดสอบความแข็ง

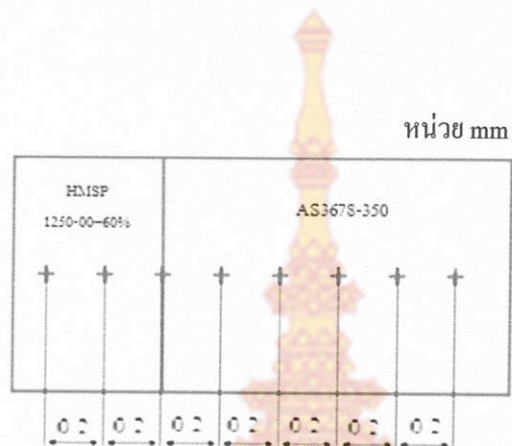
การวัดความแข็งนั้นจะใช้วิธีการวัดความแข็งในหน่วยวิกเกอร์ (Vickers) ด้วยเครื่องทดสอบแบบ Micro Hardness Vickers Test ดังแสดงในรูป 3.26 เป็นการทดสอบความสามารถในการต้านทานต่อการแปรรูปถาวร เมื่อถูกแรงกดกระทำต่อชิ้นทดสอบ หัวกดเพชรมีลักษณะเป็นปิรามิดฐานสี่เหลี่ยม ที่ปลายหัวกดทำมุม 136 องศา



รูปที่ 3.26 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Micro Hardness Vickers Test



3.6.1 วิธีการทดสอบความแข็ง ได้กำหนดน้ำหนักกดของหัวกดคงที่ (Load Fixed) ไว้ที่ 100 กรัม กดเป็นเวลา 10 วินาที แต่ละชิ้นงานจะทำการหาค่าความแข็งของชิ้นงานโดยการวัดค่าความแข็ง จากขอบรอยพ่นพอกไป 14 มิลลิเมตร โดยระยะห่างระหว่างรอยกด 0.2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 บริเวณการกดวัดค่าความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์

### 3.7 การทดสอบการสึกหรอ

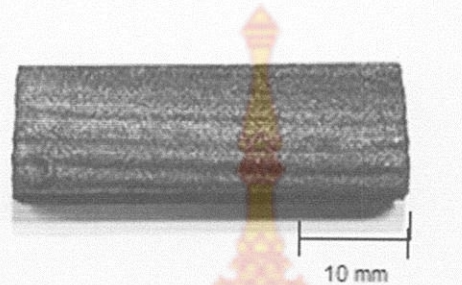
ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการพ่นพอกผิว จะทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี ไซมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าในการขับล้อ ใช้ความเร็วรอบที่ 200 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 3.28 และเปรียบเทียบผลการสึกหรอ



รูปที่ 3.28 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี



3.7.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบการสึกหรอ ชิ้นงานทดสอบแต่ละชิ้นจะมีขนาด  $25 \times 75 \times 12.5$  มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ชิ้นงานสำหรับทดสอบการสึกหรอ

3.7.2 การเตรียมทรายสำหรับการขัดสี จะใช้ทรายแห้งในการขัดสี ขนาดของอนุภาคทรายที่ใช้มีขนาดระหว่าง 100 – 350 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.30 ตามมาตรฐาน ASTM G65 - 94 จะนำทรายไปอบด้วยอุณหภูมิความร้อน 120 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอุณหภูมิห้องที่คงที่



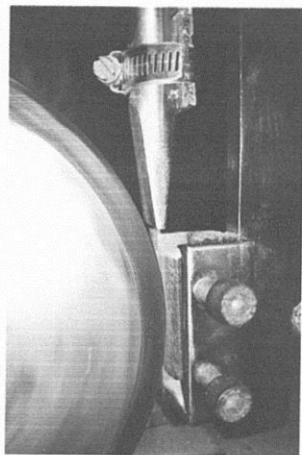
(ก) ทรายสำหรับการขัดสี

(ข) การอบทราย

รูปที่ 3.30 การเตรียมทรายสำหรับการขัดสี



3.7.3 การจับยึดชิ้นงานทดสอบกับหน้าสัมผัสของล้อย่าง ต้องอยู่จุดศูนย์กลางของล้อย่างและคาน โดยมีตุ้มน้ำหนักต้องได้ระดับ เพื่อความแม่นยำในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.31



(ก) การจับยึดชิ้นงานทดสอบ

(ข) ตุ้มน้ำหนัก

รูปที่ 3.31 การจับยึดชิ้นงานทดสอบ

3.7.4 ใช้ทรายแห้งในการขัดสีโดยป้อนจากกรวยสู่พื้นผิวรวมระหว่างชิ้นงานทดสอบกับล้อย่าง อัตราการไหลของทราย จะอยู่ในช่วง 300-400 กรัมต่อนาที เมื่อใช้งานก็จะเปิดให้ทรายไหลออกมาเพื่อจะเป็นตัวชี้ระหว่างชิ้นงานทดสอบและล้อย่าง เวลาที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี จะใช้ช่วงเวลา 60 นาทีต่อชิ้น ซึ่งจะต้องชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบ และหลังทดสอบเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 การขัดสีโดยใช้ทรายแห้ง



3.7.5 บันทึกข้อมูล วิเคราะห์ผลจากการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีตามมาตรฐาน ASTM G65 - 94 เพื่อหาค่าเฉลี่ย น้ำหนักก่อนทดสอบ น้ำหนักหลังทดสอบ มวลที่สูญเสียไปและระยะการกินลึกโดยใช้โปรแกรม Excel ในการประมวลผล





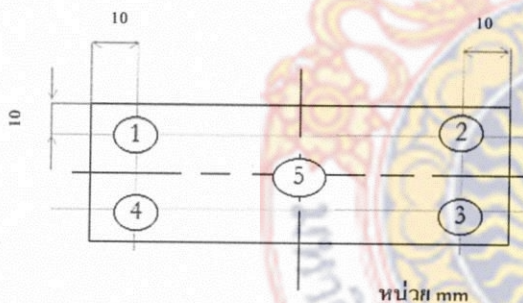
## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลจากระบวนการพ่นพอก ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นผลการตรวจสอบโครงสร้างทางกายภาพ ส่วนที่สองเป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา และส่วนที่สามเป็นการทดสอบสมบัติทางกล จากการที่ได้ทำการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.1 ผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

จากการทดสอบการพ่นพอกบนชิ้นงานทดลอง วัสดุ AS3678 Grade 350 ขนาด 25×75×12.5 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชั้น ที่ความหนา 1 2 3 4 และ 5 มิลลิเมตร ด้วยผงโลหะชนิด HMSP1250-00+60% ซึ่งมีส่วนผสมส่วนผสมของผง Tungsten Base 44712-10 60% และ Nikel Base 40% การตรวจสอบคุณลักษณะรอยพ่นพอกและวัดค่าความหนาของผิวพ่นพอกด้วยเวอร์เนียดิจิตอล 5 จุด ดังแสดงในรูป 4.1 พบว่า



(ก) บริเวณวัดความหนา

(ข) เวอร์เนียดิจิตอล

รูปที่ 4.1 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ



4.1.1 ที่ความหนา 1 มิลลิเมตร ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร จำนวน 2 รอบ ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ชิ้นงานมีผิวพ่นพอกสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะที่ดี ไม่มีรอยแตกร้าว ชิ้นงานทดสอบไม่มีการโค้งตัว

4.1.2 ที่ความหนา 2 มิลลิเมตร ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ชิ้นงานมีผิวสม่ำเสมอแต่เริ่มมีรอยลูกคลื่นที่ผิวพ่นพอกเล็กน้อย มีการยึดเกาะที่ดีไม่มีรอยแตกร้าว ชิ้นงานทดสอบไม่มีการโค้งตัว

4.1.3 ที่ความหนา 3 มิลลิเมตร ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ชิ้นงานมีรอยพ่นพอกเป็นลูกคลื่นขึ้นมาเหมือนแนวเชื่อม มีการยึดเกาะที่ดีไม่มีรอยแตกร้าว ชิ้นงานทดสอบไม่มีการโค้งตัว

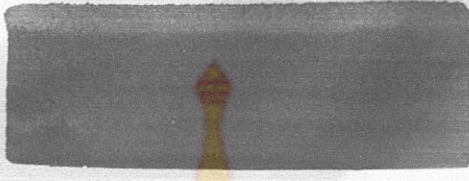


4.1.4 ที่ความหนา 4 มิลลิเมตร ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ชิ้นงานมีรอยพ่นพอกเป็นลูกคลื่นขึ้นมาเหมือนแนวเชื่อมแต่จะเริ่มมีฟองอากาศ ผิวพ่นพอกไม่ค่อยสม่ำเสมอ การยึดเกาะไม่ค่อยดี เริ่มมีรอยแตกร้าวและมีรอยพ่นพอกเกินออกมาจากขอบชิ้นงาน

4.1.5 ที่ความหนา 5 มิลลิเมตร ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ชิ้นงานมีรอยพ่นพอกเป็นลูกคลื่นขึ้นมาเหมือนแนวเชื่อมมากขึ้น ผิวพ่นพอกไม่สม่ำเสมอ การยึดเกาะไม่ค่อยดี เริ่มมีรอยแตกร้าวและมีรอยพ่นพอกเกินออกมาจากขอบชิ้นงาน มีการโค้งตัวของชิ้นงานทดลองเล็กน้อย

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า จากการทดลองการพ่นพอกวัสดุ AS3678 Grade 350 ขนาด 25×75×2.5 มิลลิเมตร ด้วยผงโลหะชนิด HMSP 1250-00+60 % ซึ่งมีส่วนผสมส่วนผสม ผง Tungsten Base 44712-10 60% และNikel Base 40% จะมีเนื้อขึ้นมาเป็นแนวซ้อนแนว ยิ่งพ่นที่ความหนามากขึ้น ผิวพ่นพอกจะไม่สม่ำเสมอ และจะเริ่มพบรอยแตกร้าวที่บริเวณขอบชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานที่ความหนา 3 มิลลิเมตร จะได้ผิวที่สมบูรณ์ที่สุด และการยึดเกาะดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาในการพ่นพอกที่ 1 2 4 และ 5 มิลลิเมตร เปรียบเทียบได้จากตารางที่ 4.1

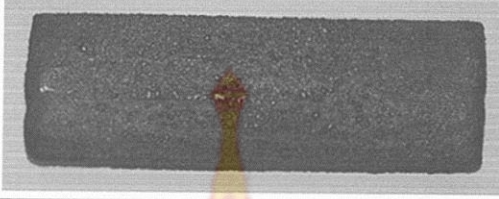



ตาราง 4.1 ลักษณะของชิ้นงานหลังผ่านการพ่นพอก

<b>ชั้นที่ 1</b> ความหนา ผิวพ่นพอก 1 mm										
	ความหนาชิ้นงานพ่นพอก (mm)					ความหนา ผิวพ่นพอก (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
	13.12	12.90	13.30	13.10	12.96	1.56	1.68	1.21	1.33	1.60
	ความหนาชิ้นงานหลังพ่นพอก (mm)					ค่าเฉลี่ย (mm)				
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	ก่อนพ่นพอก	หลังพ่นพอก	ผิวพ่นพอก			
14.68	14.58	14.51	14.43	14.56	13.092	14.552	1.460			
<b>ชั้นที่ 2</b> ความหนา ผิวพ่นพอก 2 mm										
	ความหนาชิ้นงานพ่นพอก (mm)					ความหนา ผิวพ่นพอก (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
	12.40	12.40	12.50	12.30	12.60	2.47	2.35	2.15	2.13	1.96
	ความหนาชิ้นงานหลังพ่นพอกแต่ละจุด (mm)					ค่าเฉลี่ย (mm)				
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	ก่อนพ่นพอก	หลังพ่นพอก	ผิวพ่นพอก			
14.87	14.75	14.65	14.43	14.56	12.440	14.652	2.212			
<b>ชั้นที่ 3</b> ความหนา ผิวพ่นพอก 3 mm										
	ความหนาชิ้นงานพ่นพอก (mm)					ความหนา ผิวพ่นพอก (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
	12.97	13.34	12.97	12.59	12.65	2.83	2.78	2.98	3.31	3.2
	ความหนาชิ้นงานหลังพ่นพอกแต่ละจุด (mm)					ค่าเฉลี่ย (mm)				
จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	ก่อนพ่นพอก	หลังพ่นพอก	ผิวพ่นพอก			
15.80	16.12	15.95	15.91	15.85	12.904	15.926	3.022			



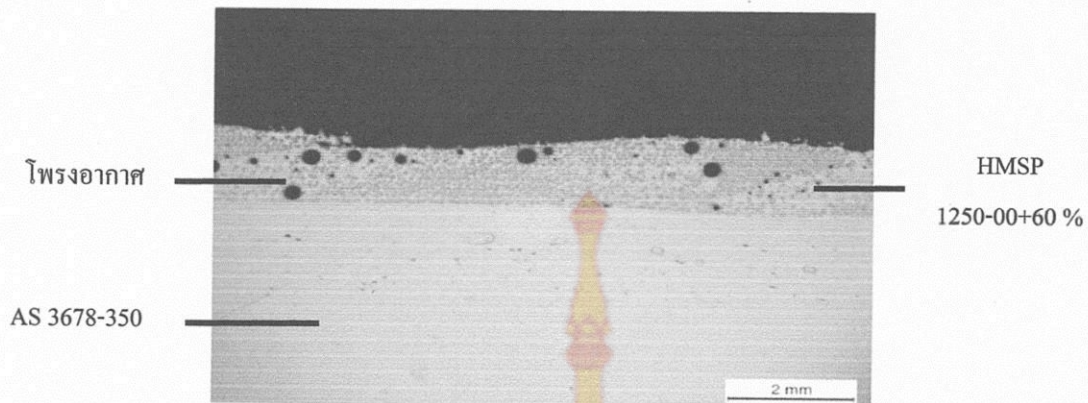
ตาราง 4.1 ลักษณะของชิ้นงานหลังผ่านการพ่นพอก (ต่อ)

ชั้นที่ 4 ความหนา ผิวพ่นพอก 4 mm										
	ความหนาชิ้นงานพ่นพอก (mm)					ความหนา ผิวพ่นพอก (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
	12.50	12.40	12.50	12.30	12.60	4.29	3.88	3.65	4.10	4.03
	ความหนาหลังพ่นพอกแต่ละจุด (mm)					ค่าเฉลี่ย (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	ก่อนพ่นพอก	หลังพ่นพอก	ผิวพ่นพอก		
16.79	16.28	16.15	16.40	16.63	12.460	16.450	3.990			
ชั้นที่ 5 ความหนา ผิวพ่นพอก 5 mm										
	ความหนาชิ้นงานพ่นพอก (mm)					ความหนา ผิวพ่นพอก (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
	12.50	12.30	12.60	12.44	12.50	5.25	5.25	4.83	5.14	5.12
	ความหนาหลังพ่นพอกแต่ละจุด (mm)					ค่าเฉลี่ย (mm)				
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	ก่อนพ่นพอก	หลังพ่นพอก	ผิวพ่นพอก		
17.75	17.55	17.43	17.58	17.62	12.468	17.586	5.118			

#### 4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา

4.2.1 ผลการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาค ที่ความหนาระดับต่าง ๆ ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร จำนวน 2 รอบ ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ชิ้นงานซึ่งผิวพอกมีลักษณะเหมือนกัน จะเห็นว่าแนวพ่นพอกเป็นแนวซ้อนแนว โดยที่ชิ้นงานไม่หลอมละลาย และพบโพรงอากาศเล็กน้อยในบริเวณเนื้อชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.2





รูปที่ 4.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

#### 4.2.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ชิ้นงานตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เป็นชิ้นงานทดสอบเดียวกันกับชิ้นงานทดสอบโครงสร้างมหภาค ซึ่งหลังจากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคแล้วก็นำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 100 เท่า เพื่อตรวจสอบโครงสร้างบริเวณรอยพันพอก ตรวจสอบข้อบกพร่องและความสมบูรณ์ของรอยพันพอกของแต่ละสภาวะ อีกทั้งดูการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเกรนหลังจากการพันพอกพบว่า จะมีจุดสีดำที่เป็นโพรงอากาศอยู่ในเนื้อพันพอก สีเทาเข้มจะเป็นส่วนของ Tungsten Base 44712-10 60% และเทาอ่อนจะเป็น Nickel Base 40% โดยจะมีตัว Nickel Base เป็นตัวผสมใน Tungsten Base ซึ่ติดเกาะกับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.3



ก) โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อโลหะและผิวพันพอก

ข) โครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวบนของแนวพันพอก

ค) โครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวพอก

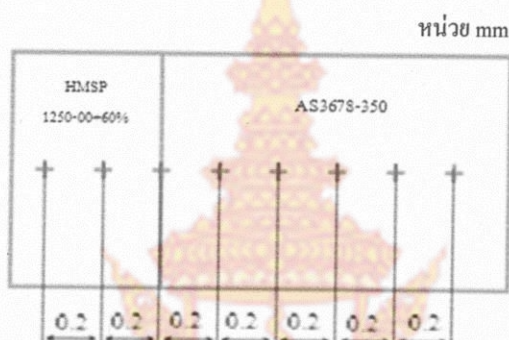
รูปที่ 4.3 บริเวณการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค



### 4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

#### 4.3.1 ผลการทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์ โดยการกดบริเวณชิ้นงาน ดังแสดงใน รูปที่ 4.4 ของชิ้นงานพ่นพอกผิว เป็นวัสดุAS3678 Grade 350 ชัดให้เรียบ โดยใช้แรงกด 100 กรัม เป็นเวลา 10 วินาที ของรอยต่อและบริเวณใกล้เคียง โดยรอยกดมีระยะห่างประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ที่มีความหนาผิวพ่นพอกที่ 1 2 3 4 และ5 มิลลิเมตร ตามลำดับ



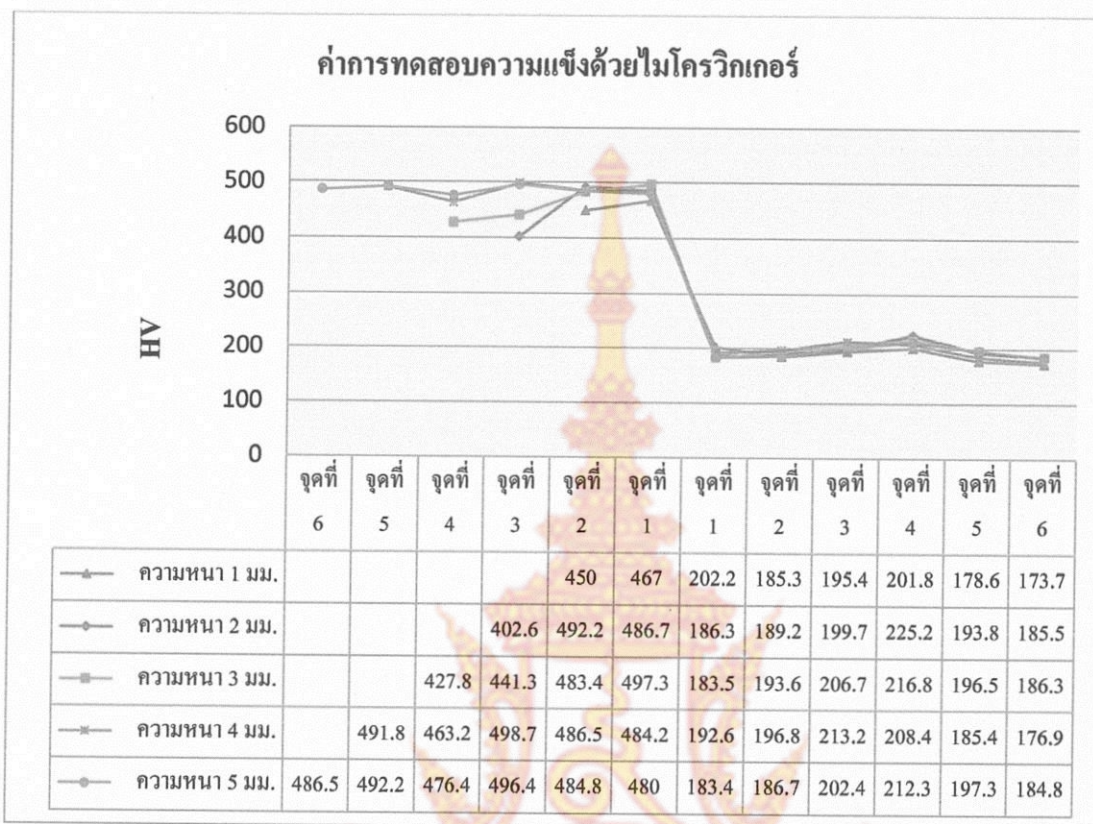
รูปที่ 4.4 บริเวณการกดวัดค่าความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์

1) ผลของการทดสอบความแข็งของบริเวณแนวตามยาวของชิ้นงาน หลังกระบวนการพ่นพอก จากการทดลองความหนา 1 2 3 4 และ5 มิลลิเมตร ระยะห่างในการพ่นพอก 70 มิลลิเมตร ความเร็วในการพ่นพอก 2 มิลลิเมตร/วินาที ดังตารางที่ 4.2 เขียนเป็นกราฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบความแข็ง

ความ หนา (mm)	ตำแหน่งบริเวณจุดทดสอบความแข็ง (HV)											
	จุดที่ 6	จุดที่ 5	จุดที่ 4	จุดที่ 3	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6
1	-	-	-	-	450	467	202.2	185.3	195.4	201.8	178.6	173.7
2	-	-	-	402.6	492.2	486.7	186.3	189.2	199.7	225.2	193.8	185.5
3	-	-	427.8	441.3	483.4	497.3	183.5	193.6	206.7	216.8	196.5	186.3
4	-	493.8	403.2	498.7	486.5	484.2	192.6	196.8	213.2	208.4	185.4	176.9
5	486.5	492.2	406.4	496.4	484.8	480	183.4	186.7	202.4	212.3	197.3	184.8





**รูปที่ 4.5** ค่าการทดสอบความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์

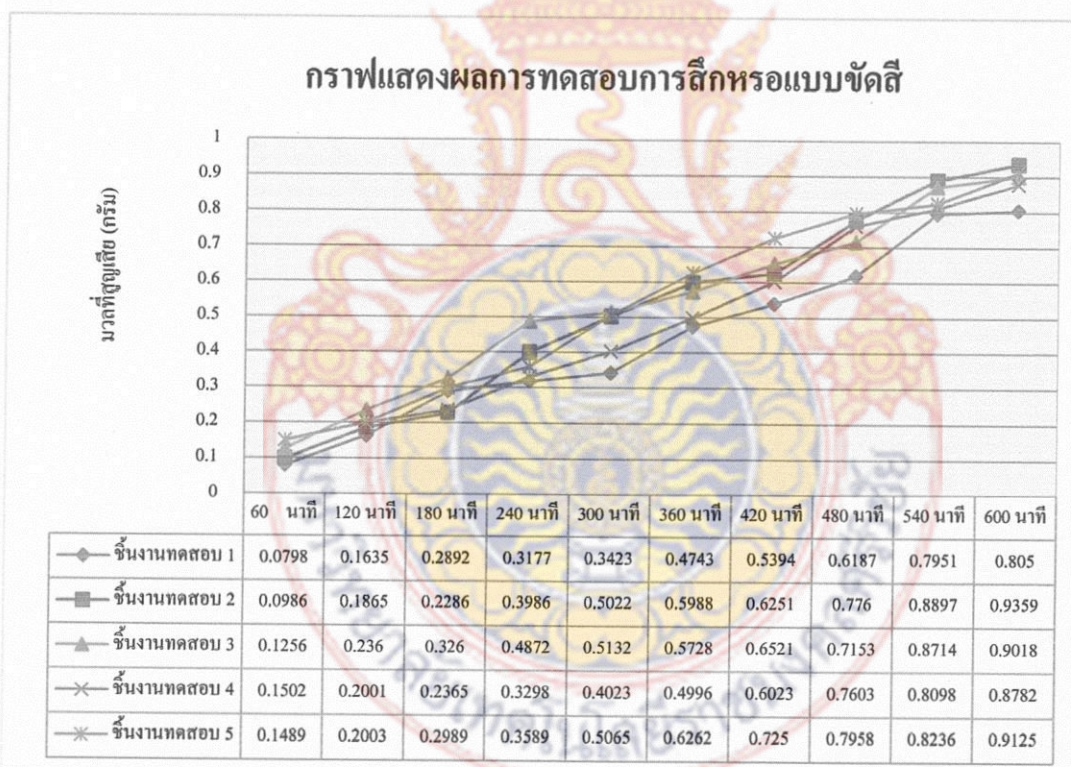
#### 4.3.2 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

จากตัวอย่างการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี สำหรับเหล็ก AS3678-350 ในกระบวนการพ่นพอก โดยใช้ผงโลหะชนิด HMS1250-00+60 % ซึ่งมีส่วนผสมส่วนผสม ผง Tungsten Base 44712-10 60% และ Nickel Base 40% จากกราฟพบว่าปริมาณการสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0157 กรัม ต่อ 60 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.6



ตาราง 4.3 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

ความหนา (mm)	มวลที่สูญเสีย (กรัม)									
	เวลา (นาที)									
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
1	0.0798	0.1635	0.2892	0.3177	0.3423	0.4743	0.5394	0.6187	0.7951	0.8050
2	0.0986	0.1865	0.2286	0.3986	0.5022	0.5988	0.6251	0.7760	0.8897	0.9359
3	0.1256	0.2360	0.3260	0.4872	0.5132	0.5728	0.6521	0.7153	0.8714	0.9018
4	0.1520	0.2001	0.2365	0.3298	0.4023	0.4996	0.6023	0.7603	0.8098	0.8782
5	0.1489	0.2003	0.2989	0.3589	0.5065	0.6262	0.7250	0.7958	0.8236	0.9125
เฉลี่ย	0.1206	0.1973	0.2758	0.3784	0.4533	0.5543	0.6289	0.7332	0.8379	0.8867



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษากระบวนการพ่นพอกผิวทั้งสแตนคาร์ไบด์ และวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ทดสอบสมบัติทางกลซึ่งประกอบด้วยการทดสอบความแข็งและการทดสอบการสึกหรอ ผลการศึกษาทดลองสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 สรุปผล

การเลือกกระบวนการพ่นพอกผิว ของวัสดุ AS3678-350 ใช้ผงโลหะชนิด HMSP12500-00+60% ซึ่งมีส่วนผสมของผงทั้งสแตนคาร์ไบด์ อยู่ 60% และ นิกเกิล(NI)อยู่ 40% ในการพ่นพอก โดยหลักการในกระบวนการพ่นพอกด้วยความร้อนจากเปลวไฟ คือ วัสดุเคลือบจะอยู่ในสภาพของของเหลวหรือกึ่งของเหลวแล้ววัสดุเคลือบดังกล่าวถูกพ่นออกไปด้วยแรงดันแก๊สให้ไปพอกที่ผิวของชิ้นงานที่ต้องการพอกผิว โดยสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา พบว่า ลักษณะรูปร่างของแนวพ่นพอก การซึมลึก การหลอมละลายของเนื้อพ่นพอกกับเนื้อโลหะ จะเห็นได้ว่าเนื้อพ่นพอกจะไม่หลอมละลายเข้ากับเนื้อโลหะแต่จะเป็นตัว Nikel Base เป็นตัวผสานให้ Tungsten Base ยึดเกาะกับเนื้อโลหะ และมีโพรงอากาศบ้างเล็กน้อยในบริเวณเนื้อพ่นพอก

5.1.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางกล พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งของแนวพ่นพอกจะอยู่ที่ 500 HV ซึ่งจะได้ค่าที่มีค่าความแข็งมากกว่าขบวนการเชื่อมพอก ที่มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 213.4 HV และกระบวนการพ่นพอกก็จะได้ค่าการสึกหรอที่ดีกว่าขบวนการเชื่อมพอกอีกด้วย [7]

นอกจากนี้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการพ่นพอกผิวเมื่อผ่านการใช้งานจนเกิดการเสื่อมสภาพหรือมีการสึกหรอนขนาดต้องเปลี่ยนไป ชิ้นงานดังกล่าวก็สามารถนำมาผ่านกระบวนการพ่นพอกผิวซ้ำใหม่ได้เรื่อย ๆ ด้วยความสามารถของกระบวนการพ่นพอกผิวด้วยความร้อนจากเปลวไฟ

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษากระบวนการพ่นพอกผิวทั้งสแตนคาร์ไบด์ สิ่งที่ต้องพึงระวังในการทดลองมีอยู่หลายปัจจัย ซึ่งล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการทดลองทั้งสิ้น จากการทดลองควรคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติที่ดี โดยสิ่งที่ต้องคำนึง คือ

5.2.1 หลังการเตรียมผิวงานเสร็จแล้ว ห้ามจับต้องโดยเด็ดขาด เพราะเหงื่อหรือน้ำมันที่มีอาจไปเกาะบนผิวงาน ทำให้การยึดเกาะตัวด้อยไป



5.2.2 ในการพ่นแต่ละครั้งควรปรับเปลวไฟให้เหมาะสมแก่ความหนาในการพ่นแต่ละครั้ง

5.2.3 ในการทดลองแต่ละครั้งควรสวมอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยทุกครั้ง





## บรรณานุกรม

- [1] Bhushan, B. and Gupta, K. (1997). **Handbook of tribology materials coating and surface B treatments**. Krieger Publishing Company Malabar, Florida.
- [2] Pawlowski, L. (2008). **The science and engineering of thermal spray coatings**. JohnWiley&Sons, Ltd., Second edition.
- [3] วินัย ทองบริบูรณ์. (2540). การศึกษาพฤติกรรมการต้านทานการสึกหรอของลวดเชื่อมพอกแข็ง. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] สุพร ฤทธิภักดี. (2547). การศึกษาการสึกหรอของผิวเชื่อมพอกผิวแข็งเพื่อหาอายุการใช้งานด้วยลวดเชื่อมพอกแข็งชนิดต่าง ๆ. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [5] เสาวนีย์ สิงห์สโรทัย. (2555). การศึกษาผิวเคลือบบนวัสดุฐานเหล็กกล้าที่ได้จากกระบวนการพ่นเคลือบแบบใช้เปลวไฟอาร์คศึกษาปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [6] เพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก. (2555). การศึกษาปัจจัยในการพ่นพอกด้วยความร้อนที่เหมาะสมต่อสมบัติเชิงกลของผิวงานพ่นพอกด้วยความร้อนชนิด WIRE ARC SPRAY ด้วยวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 420. มหาวิทยาลัยศิลปกร.
- [7] ยงยุทธ ดุลยกุล, เดช เหมือนขาว และสมยศ กวางดุง. (2555). ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของการเชื่อมพอกผิววัสดุเหล็ก AS3678 เกรด 350. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555 17-19 ตุลาคม 2555 พะอ้า เพชรบุรี.
- [8] Holmberg, K., Ronkainen, H. & Matthews, A. (2000). **Tribology of thin coatings**. Ceramics International. (26) : 787-795.
- [9] Shane, Y. H., & Yucheng, D. (2001). **Cooling approaches and cutting temperatures in cryogenic machining of Ti-6Al-4V**. International Journal of Machine Tools & Manufacture. (41) : 14171437.
- [10] Villier, H.V., Richter, P.W., Benson, J.M. & Yong, P.M. (2007). **Parameter study of HP/HVOF deposited WC-Co coating**. J. Thermal. Spray, Techno., 7, 97-106.



บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Baik, K.H., Kim, J.H. & Seong, B.G. (2007). **Improvements in hardness and Wear resistance of thermally sprayed WC-Co nanocomposite Coatings.** Mater. Sci. Eng. A, 449-451, 846-849.
- [12] Aykut, S., Bagci, E., Kentli, A. & Yazıcıoğlu, O. (2007). **Experimental observation of tool wear, cutting forces and chip morphology in face milling of cobalt based super-alloy with physical vapor deposition coated and uncoated tool.** Materials and Design. (28) : 1880-1888.
- [13] Gaitan, G.B., Caicedo, J.C., Balogh, A.G. & Gottschalk, S. (2007). **Cutting Tools performance enhancement by using a TiN/TiAlN multilayer coating system.** Physica Status Solidi (c). 4 (11) : 4260-4266.
- [14] Wang, Q., Chen, Z.H. & Ding, Z.X. (2009). **Performance of abrasive wear of WC-12Co coatings sprayed by HVOF.** Tribol. Inter., 42, 1046-1051.
- [15] Mo, J.L. and Zhu, M.H. (2009). **Tribological oxidation behavior of PVD hard coatings.** Tribology International. (42) : 1758-1764.
- [16] เดช เหมือนขาว. (2558). วัสดุวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, สงขลา. 346 น.
- [17] ผงฟันพอกผิวทางเลือกแห่งความสะดวกสบาย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://acme-inter.com/acmeinter/wp-content/uploads/2011/04/Thermal-Surfacing-Powder-choice-with-ease-TH.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 พฤษภาคม 2559).
- [18] อภิชาติ พานิชกุล, อุษณีย์ กิตกำธร. การทดสอบความแข็ง. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/CV/Lab\\_5\\_Hardness.pdf](http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/CV/Lab_5_Hardness.pdf). (วันที่ค้นข้อมูล : 3 พฤษภาคม 2559).
- [19] แม้น อมรสิทธิ์, สมชัย อัครทิวา และธรรมณูญ อุคมนตรี. (2551). วัสดุวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์แมคกร-ฮิล, กรุงเทพฯ.
- [20] Bharat Bhushan. (2001). Modern Tribology Handbook. CRC Press LLC, United States of America. 1760 p.



## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] “Tungsten carbide” [Online] Available [http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten\\_carbide](http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten_carbide) (10 August 2014)
- [22] “Tungsten carbide” [Online] Available <http://www.precisionballs.com/Tungsten-Carbide-Ball.php> (10 August 2014)





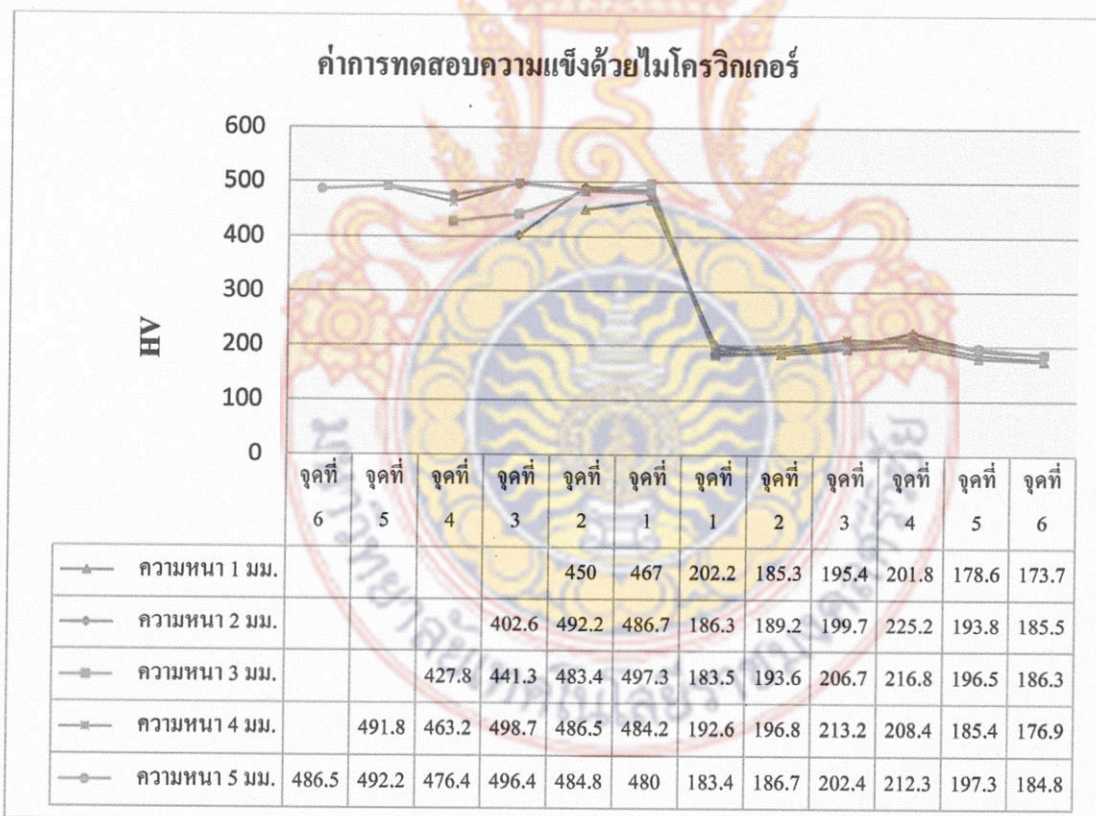
ภาคผนวก ก  
ผลการทดสอบสมบัติทางกล





ตาราง ก.1 ผลของการทดสอบความแข็ง

ความหนา (mm)	ตำแหน่งบริเวณจุดทดสอบความแข็ง (HV)											
	จุดที่ 6	จุดที่ 5	จุดที่ 4	จุดที่ 3	จุดที่ 2	จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6
1	-	-	-	-	450	467	422.2	185.3	195.4	201.8	178.6	173.7
2	-	-	-	402.6	492.2	486.7	476.3	189.2	199.7	225.2	193.8	185.5
3	-	-	427.8	441.3	483.4	497.3	183.5	193.6	206.7	216.8	196.5	186.3
4	-	493.8	403.2	498.7	486.5	484.2	192.6	196.8	213.2	208.4	185.4	176.9
5	486.5	492.2	406.4	496.4	484.8	480	183.4	186.7	202.4	212.3	197.3	184.8

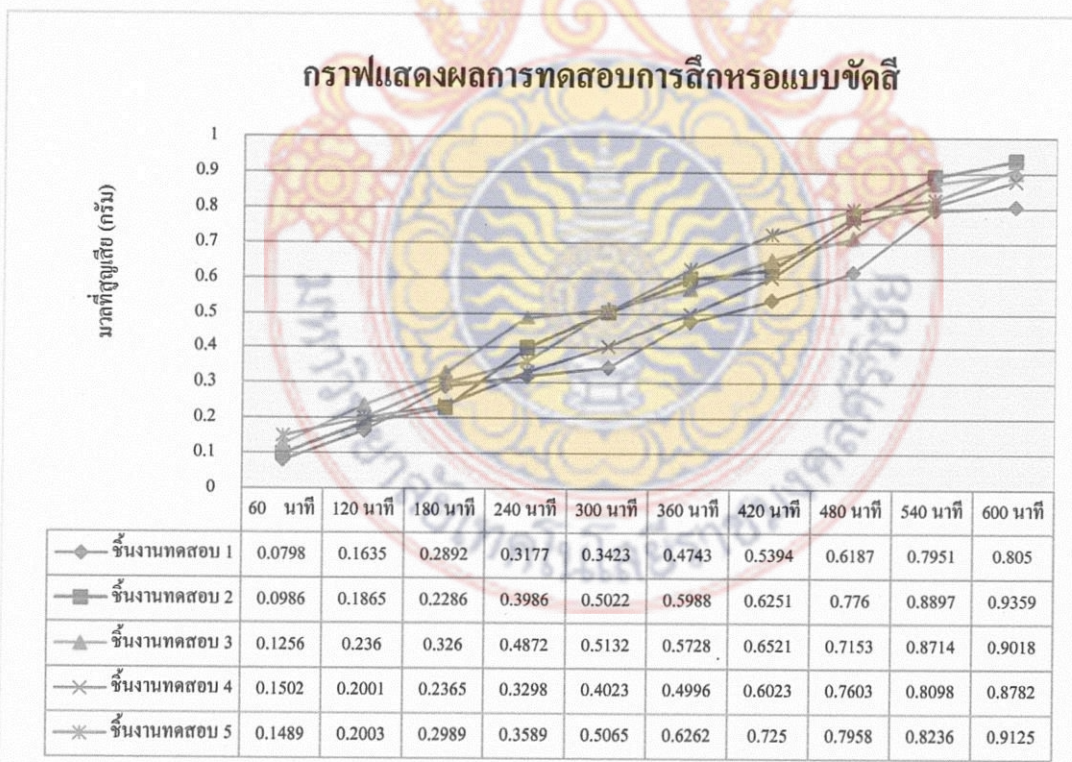


รูปที่ ก.1 ค่าการทดสอบความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์



ตาราง ก.2 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

ความหนา (mm)	เวลา (นาที) / มวลที่สูญเสีย (กรัม)									
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
1	0.0931	0.1710	0.2562	0.3177	0.3930	0.4743	0.5394	0.6187	0.6900	0.7532
2	0.1813	0.2800	0.3672	0.4524	0.5421	0.6164	0.6965	0.7760	0.8573	0.9359
3	0.1397	0.2360	0.3075	0.3992	0.4845	0.5728	0.6521	0.7432	0.8714	0.9018
4	0.1735	0.2487	0.3363	0.4016	0.4947	0.5663	0.6544	0.7477	0.8098	0.8782
5	0.1921	0.2929	0.3744	0.4681	0.5516	0.6507	0.7250	0.8096	0.8869	0.9553
เฉลี่ย (mm)	0.1559	0.2457	0.3283	0.4023	0.4932	0.5761	0.6535	0.7390	0.8231	0.8849



รูปที่ ก.2 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี



ภาคผนวก ข

มาตรฐาน ASTM E340 - 00 ASTM E407 - 99 เหล็ก AS3678-350 และแบบค้อนย่อไม้





## มาตรฐาน ASTM E340 - 00

Designation: E 340 – 00<sup>ε1</sup>

## Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 340; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

TABLE 1 Macroetchants for Aluminum and Aluminum Alloys

Alloy	Composition		Procedure	Comments
All	NaOH H <sub>2</sub> O	10 g 100 mL	Immerse sample 5 to 15 min in solution heated to 60 to 70°C (140 to 160°F). Rinse in water, and remove smut in strong HNO <sub>3</sub> solution. Rinse and repeat etching if necessary.	Good general-purpose etchant, can be used on almost all aluminum alloys. Does not require fine grinding.
3XXX 4XXX 5XXX 6XXX High Si castings	HCl (concentrated) HNO <sub>3</sub> (concentrated) HF (48 %)	75 mL 25 mL 5 mL	Mix fresh before using. Use at room temperature. May be used as immersion etch or swabbed over specimen surface. Rinse specimen in warm water and dry.	Used to develop grain structure. May be diluted with 25 % water to slow down etching. Does not require fine grinding.
High purity A1 1XXX 3XXX 4XXX 5XXX 6XXX	HCl (concentrated) HNO <sub>3</sub> (concentrated) HF (48 %) H <sub>2</sub> O	45 mL 15 mL 15 mL 25 mL	Immerse specimen at room temperature until desired contrast is developed. Rinse in warm water and dry.	Tucker's etch. General purpose etch for revealing microstructure of both cast and wrought aluminum. Does not require fine grinding.
All except high Si castings	HCl (concentrated) HNO <sub>3</sub> (concentrated) HF (48 %) H <sub>2</sub> O	15 mL 5 mL 5 mL 75 mL	Same as above.	1 + 2 Tucker's. Same as above, but slower acting.
2XXX High Cu alloys	HCl (concentrated) HF (48 %) H <sub>2</sub> O	15 mL 10 mL 90 mL	May be used as an immersion etch or swabbed over the specimen surface. When desired contrast is obtained, rinse in water and remove deposits with concentrated HNO <sub>3</sub> . Rinse in warm water and dry.	Flick's reagent. Best results are obtained with a ground surface. 180 grit will suffice.

TABLE 2 Macroetchants for Beryllium and Beryllium Alloys

Metal	Composition		Procedure	Comments
Be	HCl NH <sub>4</sub> Cl H <sub>2</sub> O	10 mL 4 g 90 mL	Either swab or immerse at room temperature for a few minutes, rinse in water and dry.	Works best on coarse grained Be.
Be	HCl NH <sub>4</sub> Cl Picric acid H <sub>2</sub> O	10 mL 2 g 2 g 90 mL	As above.	An alternative when No. 1 does not work. Fine-grained metal may not give good results in either case.



## มาตรฐาน ASTM E407 - 99



Designation: E 407 - 99

## Standard Practice for Microetching Metals and Alloys<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 407; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

TABLE 2 Numerical List of Etchants

Etchant	Composition	Procedure
1	1 mL HF 200 mL water	(a) Swab with cotton for 15 s. (b) Alternately immerse and polish several minutes. (c) Immerse 3–5 s. (d) Immerse 10–120 s.
2	3 mL HF 100 mL water	(a) Swab 10 s to reveal general structure. (b) Immerse 15 min, wash 10 min in water to form film with hatching which varies with grain orientation.
3	2 mL HF 3 mL HCl 5 mL HNO <sub>3</sub> 190 mL water	(a) Immerse 10–20 s Wash in stream of warm water. Reveals general structure. (b) Dilute with 4 parts water-colors constituents—mix fresh.
4	24 mL H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 50 mL Carbitol (diethylene glycol monoethyl ether) 4 g boric acid 2 g oxalic acid 10 mL HF 32 mL water	Electrolytic: Use carbon cathode raising d-c voltage from 0–30 V in 30 s. Total etching time 3 min with agitation. Wash and cool. Repeat if necessary.





เหล็ก AS3678-350

TEST CERTIFICATE



BLUESCOPE STEEL

Page 1 of 2  
Certificate No : 707277  
Transmission Date 06/05/12

Customer:	Supplier: BLUESCOPE STEEL (AS) PTY LTD PORT KEMBLA, N.S.W., AUSTRALIA A.B.N. 19 000 019 625
Cust Order No: 4202073245	Sales Order No: B2930 Printed At: Supplier MWS on: 18/05/2012

<p>The document is issued in accordance with NATA's accreditation requirements. Accredited for compliance with ISO/IEC 17025.</p>	I certify that the original records of the company show that the item(s) referred to on this certificate conform to the specification as stated
	<p>J. BAZLEY - APPROVED SIGNATORY Mechanical LAB 0631 K. ANNETT - APPROVED SIGNATORY Chemical LAB 0632</p>

STEELMAKING: Basic Oxygen - Slab Cast  
SPECIFICATION: AS/NZS 3678-350  
PRODUCT: XLERPLATE  
INSPECTION: Supplier  
CERTIFICATION: Supplier

CHEMICAL ANALYSIS

Percentage of element by mass (L=Cast, P=Product, S=Soluble, T=Total, C=Chemical Formula, n=Min, x=Max)

Item No	Heat / Unit No	NATA Lab	LP	C	P	Mn	Si	S	Ni	Cr	Mo	Cu	As-T
1879	7299348	0632	L	098	020	1.40	35	015	012	024	003	023	036
1917	6294709	0632	L	092	019	1.52	34	009	014	027	002	017	039
1917	6297359	0632	L	095	013	1.51	33	010	012	015	<002	018	039
1917	6298709	0632	L	096	015	1.53	33	008	011	017	002	017	029
1917	7305429	0632	L	094	014	1.50	33	009	015	019	003	024	033
1917	7305449	0632	L	096	015	1.54	33	010	013	019	002	019	034

Item No	Heat / Unit No	NATA Lab	LP	Ti	Nb	V	CF1	CF2	CF3
1879	7299348	0632	L	016	026	<003	35	06	04
1917	6294709	0632	L	018	026	003	35	09	05
1917	6297359	0632	L	019	027	<003	35	04	05
1917	6298709	0632	L	016	026	<003	36	05	05
1917	7305429	0632	L	019	026	<003	35	06	05
1917	7305449	0632	L	010	029	<003	35	06	05



CF1=C+(Mn/6) + ((Cr+Mo+V)/5) + (Cu+Ni)/15 CF2=Ni + Cr + Cu + Mo CF3=Nb + Ti + V

MECHANICAL TESTING

Tensile A31391

Item No	Heat No	Tested Unit	NATA Lab	Cal	Loc	THICK mm	RuH MPa	Rm MPa	Lo	ELONGON %
1879	7299348	DP548	0631	B	TOP	49.00	385	490	A	33
1917	6294709	DF608	0631	B	TOP	50.00	395	500	A	31
1917	6297359	DR808	0631	B	TOP	50.00	405	500	A	32
1917	6298709	DR857	0631	B	TOP	50.00	415	510	A	32
1917	6298709	DR857	0631	B	TOP	50.00	395	500	A	33
1917	7305429	DP208	0631	B	TOP	50.00	375	500	A	33
1917	7305449	DP202	0631	B	TOP	50.00	400	510	A	32
1917	7305449	DR243	0631	B	TOP	50.00	395	500	A	31

ITEMS COVERED BY THIS CERTIFICATE

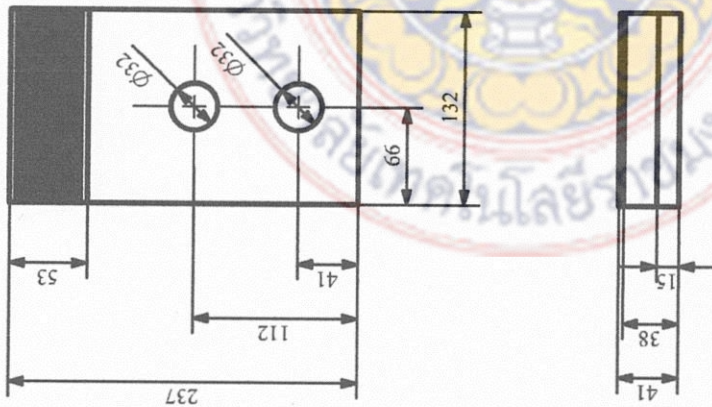
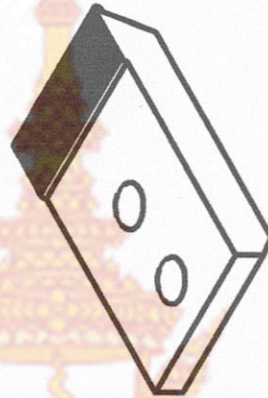
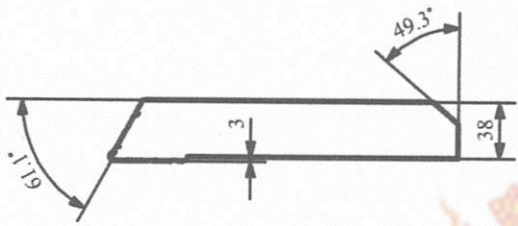
Item No	Heat No	Ordered Dimensions (mm)	No of Units	Mass (Tonnes)	Unit Identifiers
1879	7299348	2400.0X40.00X7600	1	5.727	DP548A1
1917	6294709	2400.0X50.00X7600	1	7.159	DF608A1
1917	6297359	2400.0X50.00X7600	1	7.159	DR201A1
1917	6298709	2400.0X50.00X7600	5	25.795	DR857A1 DR854A1 DR255A1 DR857A1 DR858A1



แบบค่อนย่อไม้







1	STRIKER	132x237x38	AS3678-350	1	STR-001
Pos.	Part Name and Remark	Dimension	Material	Req	Drawing No.
Scale: 1:5	Drawn	A.KAJORNSAK			
Gen.Tolerances	Checked	M.DECH			
ISO 2768	Checked	S.SUHAIDEE			
	Title		Rajamangala University of Technology Srivijaya		
	STRIKER		Drawing No. STR-001		