

## พฤติกรรมการสึกหรอแบบขูดขีดของลวดเชื่อมพอกผิวแข็งสเตย์ไลท์12 ในกระบวนการเชื่อม GMAW

### Abrasive Wear Behavior of Stellite12 Hard facing Electrode in GMAW Process

ภัสกร เลิศวิจิตรพันธุ์<sup>1</sup>, พิศธิษฐ์ธาวิณ เจริญประดับ<sup>1</sup>,  
ณรงค์เดช พัฒนไพบูลย์<sup>1</sup>, และ สิทธิพงษ์ แสงอินทร์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: pisakl@kmutnb.ac.th\*

Pisak Lertvijitpun<sup>1</sup>, Pisitthawin Rienpradub<sup>1</sup>,  
Narongdet Pattanaphiboon<sup>1</sup>, and Sittipong Sang-in<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Welding Engineering Technology, Faculty of College of Industrial Technology,  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

E-mail: pisakl@kmutnb.ac.th \*

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลจากแรงกด และระยะทางไกล ต่อความต้านทานการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive Wear Resistance) ของชั้นพอกผิวแข็งด้วยลวดเชื่อมสเตย์ไลท์12 ที่มีส่วนผสมทางเคมีเป็น โคบอลต์ 52.2% โครเมียม 30.0% ทังสเตน 8.5% คาร์บอน 1.5% ในกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม ตัวแปรที่ใช้ในการเชื่อมคือ อัตราเร็วป้อนลวดคงที่ 67.7 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเร็วในการเชื่อมที่ 4.2 มิลลิเมตรต่อวินาที อัตราการไหลของแก๊สอาร์กอนที่ 19 ลิตรต่อนาที โครงสร้างจุลภาคของชั้นพอกผิวแข็งถูกตรวจสอบรูปร่างและการกระจายตัวของเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และตรวจสอบชนิดของเฟสที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) โดยพบว่าโครงสร้างจุลภาคของชั้นพอกผิวแข็งประกอบไปด้วยเฟสสารละลายของแข็งของโคบอลต์ (Cr-rich Solid Solution : ICDD :04-006-4263) ที่อยู่ในลักษณะของเดนไดรต์ และเฟสสารประกอบโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> : ICDD :00-035-0804) ที่ตกตะกอนอยู่ในบริเวณระหว่างเดนไดรต์ ชั้นพอกผิวแข็งถูกตรวจสอบความแข็งด้วยวิธีวัดความแข็งแบบรอกเวลส์สเกลซี พบว่าความแข็งอยู่ในช่วง 42.6 ถึง 51.6 HRC ความต้านทานการสึกหรอแบบขูดขีดถูกวัดด้วยเครื่องทดสอบพินออนดิสก์ (Pin-on-disc) ที่แรงกระทำ 1.5, 3.5, 5.5 และ 15 กิโลกรัม ระยะทางกลิ้งและสิ้นไกลที่ 1, 2 และ 3 กิโลเมตร การประเมินการสึกหรอใช้การชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.0001 กรัม และการถ่ายภาพการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) โดยพบว่าอัตราการสึกหรอเกิดมากขึ้นตามแรงกดและระยะทางกลิ้งไกลที่สูงขึ้น รอยแผลการสึกหรอแสดงถึงกลไกการสึกหรอช่วงเริ่มต้นเป็นแบบยึดติด และแบบขูดขีด หลังจากนั้นการสึกหรอจะเป็นแบบล้าตัว

**คำหลัก** การสึกหรอแบบขูดขีด, สเตย์ไลท์12, กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุม

## Abstract

In this study, the effect of normal load and rolling-sliding distance on abrasive wear resistance of the Stellite12 hardfacing alloy with a chemical composition of Co-30Cr-8.5W-1.5C (at.%) by Gas Metal arc welding process was investigated. The welding parameters were wire feed speed of 67.7 mm/s and travel speed of 4.2 mm/s with the argon flow rate of 19 L/min. The phase distribution and shape of microstructure on hard facing layers was observed by scanning electron microscope (SEM), identified phase type by X-ray diffraction technique. It was found that the microstructure of hard facing alloy consist of dendritic (Co-rich Solid Solution: ICDD: 04-006-4263) and interdendritic region which is the mixer of solid solution and carbide precipitation ( $Cr_3C_2$ : ICDD: 00-035-0804). The hardness of hard facing layer was carried out by Rockwell hardness test, were in the range of 42.6 to 51.6 HRC. Abrasive wear resistance was performed on Pin-on-Disk apparatus with the normal load of 1.5, 3.5, 5.5 and 15kg and rolling-sliding distance of 1, 2 and 3 km. Moreover, the abrasive resistance were assessed by the mass loss of sample by using an electronic balance with the resolution of 0.0001g. Wear scars were observed by optical microscope (OM). It was found that the rate of wear was increased with increasing the normal load or rolling-sliding distance. The wear scars were showed adhesive and abrasive wear mechanism which occurs on initial period. When the rolling-sliding distance increased, the fatigue of surface occurred cause by the cyclic stress.

**Keywords:** Abrasive Wear, Stellite12, Gas Metal Arc Welding

## 1. บทนำ

โคบอลต์อัลลอยเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมใช้กับงานพอกผิวแข็งที่ต้องการความต้านทานการสึกหรอ และความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง โดยหนึ่งในกลุ่มของโคบอลต์อัลลอยด์คือกลุ่มที่มีการตกตะกอนสารประกอบคาร์ไบด์ ซึ่งสัดส่วนของสารประกอบคาร์ไบด์ที่เกิดขึ้นส่งผลต่อความแข็งแรงและความต้านทานการสึกหรอแบบขูดขีด [1] โคบอลต์อัลลอยด์รู้จักในชื่อของสเตย์ไลท์อัลลอยด์ (Stellite Alloy) [2] ซึ่งสามารถผลิตได้ด้วยกรรมวิธีการหล่อ (Casting), การขึ้นรูปด้วยโลหะผง (Powder Metallurgy), การเชื่อมพอกผิวแข็ง (Weld Hardfacing) เป็นต้น [3-5] ซึ่งการเชื่อมพอกผิวแข็งถูกนำมาใช้ในงานสร้างผิวแข็งที่ต้องการความต้านทานการสึกหรอไม่ว่าจะเป็นสร้างผิวแข็งสำหรับชิ้นส่วนใหม่ รวมถึงซ่อมบำรุงชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ได้รับการความเสียหายจากการใช้งานเช่น การซ่อมบำรุงแม่พิมพ์งานร้อน งานพอกผิวแข็งพื้นเพื่อ เป็นต้น [2] ลักษณะการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเหล่านี้เป็นกลไกการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive Wear) อันเนื่องมาจากการเสียดสีของวัตถุ 2 ชิ้นขึ้นไป รวมถึงกลไกการสึกหรอแบบ

ล้าตัวเนื่องมาจากการรับภาระสลับ (Rolling Contact Fatigue) อย่างไรก็ตามความต้านทานการสึกหรอแบบขูดขีดของโคบอลต์อัลลอยด์โดยทั่วไปแล้วขึ้นอยู่กับความแข็งและปริมาณสัดส่วนเฟสของเฟสสารประกอบคาร์ไบด์และ/หรือแมทริก โดยที่กรรมวิธีทางร้อนส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว [6]

งานวิจัยนี้ศึกษาได้ทำการศึกษาผลกระทบของระดับภาระกระทำ และระยะทางที่รับภาระกระทำต่อกลไกการสึกหรอแบบขูดขีดด้วยการทดสอบแบบพินออนดิสก์ (Pin-on-Disk) โดยทำการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นพอกผิวแข็งสเตย์ไลท์ 12 (Stellite 12) เพื่อใช้เป็นแนวทางพิจารณาถึงอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกัน

## 2. ขั้นตอนการทดลอง (Experimental

### Procedure)

#### 2.1 กระบวนการเชื่อม (Welding Process)

วัสดุโลหะงานที่เลือกใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A36 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มม. ความหนา 5 มม. เชื่อมพอกผิวแข็งด้วยลวด

เชื่อม Stellite 12 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มม. ส่วนผสมทางเคมีของโลหะงานและลวดเชื่อมพอกผิวแข็งแสดงดังตารางที่ 1

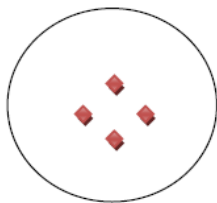
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของโลหะงานและลวดเชื่อมพอกผิวแข็ง (% โดยน้ำหนัก)

วัสดุ	C	Si	Cr	W	Fe	Ni	Co
ASTM A36	0.25	0.4	-	-	Bal.	8	
Stellite 12	1.5	1.5	30	8.5	<2.5	<3	Bal.

กระบวนการเชื่อมที่ใช้คือกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมชนิดกระแสพัลส์ (GMAW-P) ด้วยแขนกลอัตโนมัติรุ่น Fanuc Arc Mate100 iB ใช้แก๊สอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.5% ปกคลุมที่อัตราการไหล 19 ลิตรต่อนาที อัตราเร็วป้อนลวด 67.7 มม/วินาที ความเร็วในการเชื่อม 4.2 มม/วินาที การเชื่อมทำโดยเชื่อมซ้อนแนวจนเต็มพื้นที่หน้าตัดของโลหะงานจำนวน 1 ชั้น ชั้นงานเชื่อมทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองมีทั้งสิ้นจำนวน 12 ชั้น จากการบันทึกผลการทดลองพบว่า มีแรงดันอาร์ก (Arc Voltage) และกระแสเชื่อมอยู่ในช่วง 19.4-27.0 โวลท์ และ 121.9-125.3 แอมแปร์ ตามลำดับ มากกว่านั้นชั้นงานที่ 11 และ 12 จะถูกนำมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (PWHT) ที่ 450 และ 900 องศาเซลเซียส ตามลำดับเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั้นงานทั้งหมดถูกนำไปเตรียมพื้นผิวสำหรับการทดสอบการสึกหรอ

### 2.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

เครื่องทดสอบความแข็งยี่ห้อ Wolpertwgroup รุ่น 751N แบบรอกเวลล์สเกลซี ถูกใช้สำหรับการทดสอบความแข็งของชั้นพอกผิวแข็ง โดยทดสอบแบบสุ่มบริเวณพื้นผิวแข็งจำนวน 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยตำแหน่งที่ใช้ทดสอบความแข็งแสดงดังภาพที่ 1



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งในการทดสอบความแข็ง

### 2.3 การทดสอบการสึกหรอ (Pin-on-disk Test)

ภายหลังการเชื่อมชั้นงานเชื่อมถูกนำไปปรับความเรียบผิวหน้าด้วยการเจียรไนราบ ให้มีความหยาบผิวเฉลี่ยไม่เกิน 0.8 ไมโครเมตร จากนั้นทำความสะอาดด้วยอะซิโตนในเครื่องอัลตราโซนิกและชั่งน้ำหนักทั้งก่อนและหลังการทดสอบเพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากการสึกหรอ โดยเป็นเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นตามมาตรฐาน ASTM G99 (Wear Test with a Pin-on-Disk Apparatus) โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอ ดังตารางที่ 2 เงื่อนไขคงตัวอื่นๆ คือการทดสอบเป็นแบบแห้ง (Dry Sliding Friction) และใช้วัสดุสัมผัส (Pin) เป็นลูกบอลเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1085 มีความแข็งอยู่ในช่วง 60-65 HRC ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคู่สัมผัส (Friction Speed) คงที่ 0.036 เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอ

ชั้นงานที่	ภาระกระทำ (kg)	ระยะการหมุน (km)
1 (as welded)	1.5	1
2 (as welded)	1.5	2
3 (as welded)	1.5	3
4 (as welded)	3.5	1
5 (as welded)	3.5	2
6 (as welded)	3.5	3
7 (as welded)	5.5	1
8 (as welded)	5.5	2
9 (as welded)	5.5	3
10 (as welded)	15	1
11 (PWHT 450 °C)	15	1
12 (PWHT 900 °C)	15	1

### 2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure Examination)

ชั้นงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมถูกสุ่มนำมาทดสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ

แสง (OM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคและเฟสที่เกิดขึ้นของชั้นพอกผิวแข็งสเตียไลต์ 12 นอกจากนี้ทำการวัดระยะห่างเดนไดรต์ (Primary Dendrite Arm Spacing) และระยะห่างแขนเดนไดรต์ (Secondary Dendrite Arm Spacing) เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของชั้นพอกผิวแข็งภายหลังการเชื่อมและชั้นงานเชื่อม และภายหลังผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ทั้งนี้ภายหลังการทดสอบการสึกหรอชั้นงานทดสอบทุกชิ้นจะถูกนำมาตรวจสอบลักษณะรอยแผลจากการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงอีกครั้งหนึ่ง

### 3. ผลการทดลอง (Experimental Result)

#### 3.1 ความแข็ง (Hardness)

จากการทดสอบความแข็งบริเวณชั้นพอกผิวแข็งแบบสุ่มตลอดพื้นผิว จำนวน 4 จุดพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยของแนวเชื่อมแต่ละชั้นมีค่าใกล้เคียงกันดังตารางที่ 3

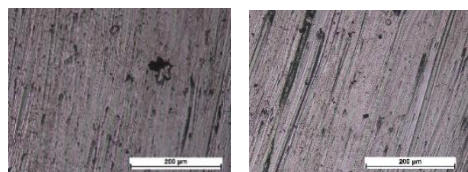
ตารางที่ 3 ค่าความแข็งของชั้นพอกผิวแข็งสเตียไลต์ 12

ชั้นงานที่	กระแสเชื่อม (A)	แรงดันอาร์ก (V)	ความแข็งเฉลี่ย (HRC)
1	25.1	124.5	43.4
2	24.3	125.3	43.2
3	23.4	123.5	43.6
4	27	123	42.3
5	23.9	124.5	44.8
6	20.3	123.6	45.9
7	19.4	122.7	42.6
8	21.3	121.9	44.0
9	24.9	123.7	42.7
10(as welded)	20.3	123.6	44.3
11(PWHT 450°C)	25.5	124.0	43.7
12(PWHT 900°C)	27	123	51.6

จากตารางที่ 3 แสดงถึงค่าความแข็งของชั้นพอกผิวแข็งที่สำหรับชั้นงานที่ 1 ถึง 12 มีค่าอยู่ในช่วง 42.3 ถึง 51.6 HRC โดยพบว่าชั้นงานที่ 1 ถึง 11 ค่าความแข็งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนชั้นงานที่ 13 นั้นผ่านกรรมวิธีทางความร้อนภายหลังกระบวนการเชื่อมที่ 900 องศาเซลเซียส มีความแข็ง 51.6 HRC ซึ่งสูงกว่าแนวเชื่อมชั้นงานอื่น

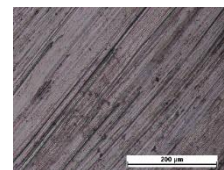
#### 3.2 การสึกหรอ (Wear)

ผลการทดสอบการสึกหรอแสดงดังภาพที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ภาวะกระทำคงที่ เมื่อระยะทางการเสียดสีสูงขึ้นทำให้เกิดการสึกหรอมากยิ่งขึ้น



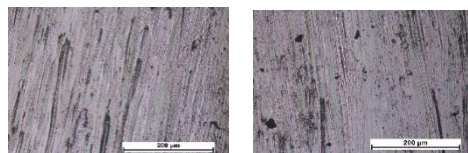
ก)

ข)



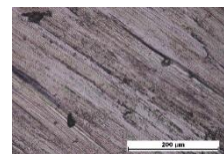
ค)

รูปที่ 2 รอยผลการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ภาวะกระทำ 1.5 kg



ก)

ข)

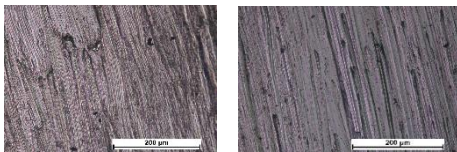


ค)

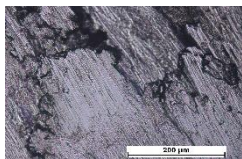
รูปที่ 3 รอยผลการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ภาวะกระทำ 3.5 kg

ก) 1 km ข) 2 km ค) 3 km

การสึกหรอสูงสุดเกิดขึ้นกับชั้นทดสอบที่รับภาระกระทำ 5.5 kg และมีระยะทางการเสียดสี 3 km ส่วนการสึกหรอต่ำสุดเกิดขึ้นกับชั้นทดสอบที่รับภาระกระทำ 1.5 kg และมีระยะทางการเสียดสี 1 km สำหรับชิ้นงานที่ 10 ถึง 12 ถูกทดสอบการสึกหรอที่ภาระกระทำ 15 กิโลกรัม ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานที่ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนกับชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังกระบวนการเชื่อม โดยรอยแผลจากการสึกหรอ แสดงดังรูปที่ 5

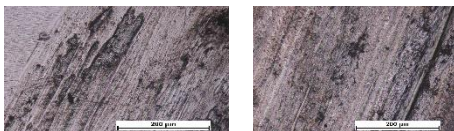


ก) ข)

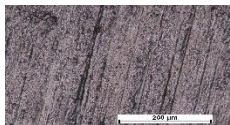


ค)

รูปที่ 4 รอยแผลการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ภาระกระทำ 5.5 kg  
ก) 1 km ข) 2 km ค) 3 km



ก) ข)

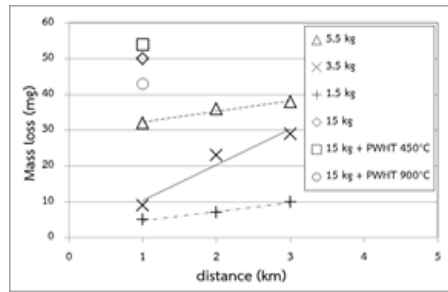


ค)

รูปที่ 5 รอยแผลการสึกหรอของแนวเชื่อมที่ภาระกระทำ 15 kg  
ก) As welded ข) PWHT 450 °C ค) PWHT 900 °C

จากรูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นรอยแผลจากการสึกหรอของชิ้นงานที่ 10 (as welded) และ

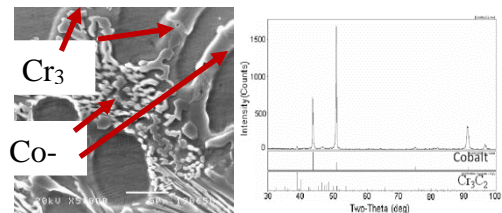
ชิ้นงานที่ 11 (PWHT 450 °C) ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะของการสึกหรอที่คล้ายคลึงกัน ส่วนภาพที่ 5 (ค) เป็นชิ้นงานที่ 12 (PWHT 900 °C) รอยแผลการสึกหรอมีระดับความรุนแรงลดลง แผนภาพแสดงการสึกหรอเนื่องจากภาระกระทำ ระยะทางการไถล และเงื่อนไขของกรรมวิธีทางความร้อนที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง Stellite12

### 3.3 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

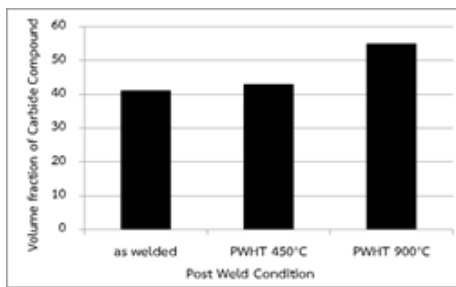
จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง Stellite12 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) (โดยเครื่องทดสอบของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ : MTEC) พบว่าโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟสเดนไดรต์ที่เป็นสารละลายของของโคบอลต์ (Co-rich Solid Solution) และบริเวณระหว่างเดนไดรต์ เป็นเฟสผสมระหว่างสารละลายของแข็งของโคบอลต์และสารประกอบคาร์ไบด์ (Cr-Carbide) ดังรูปที่ 7



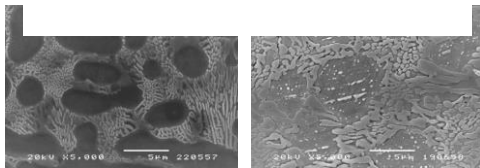
ก) ข)

รูปที่ 7 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค  
ก) SEM ข) XRD

จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีการประเมินปริมาณสัดส่วนเฟสเดนไดรต์ และเฟสระหว่างเดนไดรต์ (Interdendritic) พบว่าแนวเชื่อมพอกผิวมีปริมาณสัดส่วนเฟสระหว่างเดนไดรต์ สูงขึ้นอย่างชัดเจนที่อุณหภูมิอบ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความแข็งที่สูงขึ้น ส่วนกรณีอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เทียบกับแนวเชื่อมที่ไม่ผ่านการอบ มีความแตกต่างของสัดส่วนเฟสเล็กน้อยดังภาพที่ 8 ทั้งนี้รูปร่างของเฟสสารประกอบคาร์ไบด์จะมีลักษณะใหญ่และยาวขึ้นตามอุณหภูมิอบที่สูงขึ้นดังรูปที่

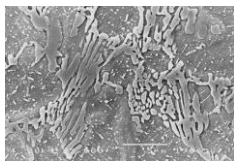


รูปที่ 8 แสดงสัดส่วนเฟสเดนไดรต์และเฟสระหว่างเดนไดรต์



ก)

ข)



ค)

รูปที่ 9 แสดงโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม  
ก) ไม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน ข) 450°C  
ค) 900°C

#### 4. สรุปผลการทดลอง (Conclusion)

จากการทดสอบความต้านทานการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง Stellite12 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิว

Stellite12 มีลักษณะเป็นเดนไดรต์ (Co-rich Solid Solution) ส่วนบริเวณระหว่างเดนไดรต์ ประกอบด้วยเฟสสารละลายของแข็ง (Co-rich Solid Solution) ผสมกับเฟสสารประกอบคาร์ไบด์ (Cr-rich Carbide)

2. ความแข็งของแนวเชื่อมพอกผิวมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนของสารประกอบคาร์ไบด์ที่สูงขึ้น

3. ที่ภาวะกระทำคงที่ การสึกหรอของแนวเชื่อมมีค่าสูงขึ้นตามระยะทางการไถล

4. กลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นประกอบด้วย การขูดขีดแบบ 2 และ 3 ผิวสัมผัส เนื่องจากการไถลของผิวสัมผัส และการล้าตัวเนื่องจากการล้าที่มีภาวะกระทำเป็นวัฏจักร

5. ปริมาณสัดส่วนเฟสสารประกอบคาร์ไบด์ที่สูงขึ้นกรณีผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ 900 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แนวเชื่อมพอกผิวแข็งมีความต้านทานการสึกหรอมากยิ่งขึ้น

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] asm metal handbook Vol.6 , Welding Brazing and Soldering p 1976.
- [2] H. Yu, R. Ahmed, H. de Villiers Lovelock, and S. Davies, "Tribo-Mechanical Evaluation of Cobalt-Based (Stellite4) Alloys Manufactured via HIPing and Casting," Proceedings of the World Congress on Engineering 2007 Vol II July 2 - 4,
- [3] P. Crook, "Cobalt and cobalt alloys," ASM Handbook, vol. 2, 1991, pp.446-454.
- [4] P. Crook, "Cobalt-base alloys resist wear, corrosion, and heat," Advanced Materials & Progress, vol. 145, 1994, pp. 27-30.
- [5] D. L. Klarstrom, "Wrought cobalt-base superalloys," Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 2, 1993, pp. 523-530.
- [6] asm metal handbook Vol.6 , Properties and Selection Nonferrous Alloys and Special-Purpose Material p 1411.

- [7] K. C. Antony, "Wear-resistant cobalt-based alloys," *Journal of Metals*, vol. 35, 1983, pp. 52-60
- [8] A. Frenk, W. Kurz, "Microstructural effects on the sliding wear resistance of a cobalt-based alloy," *Wear*, vol. 174, 1994, pp. 81-91.