

การศึกษาความต้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบ 13% Cr โดยการพ่นเคลือบโดยเปลวเพลิงความเร็วสูง Study on wear resistance of coatings 13% Cr by high Velocity Oxy-Fuel

นพนันท์ สุกมาตา^{1*}, สมบูรณ์ สาระบูรณ์¹, สมพงษ์ เทพผื่น¹, ชานนท์ มุลวรรณ²

¹ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ; ie.engineer@kbu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบ 13% Cr โดยการพ่นเคลือบ โดยเปลวเพลิงความเร็วสูง (HVOF) ส่วนผสมทางเคมีของผงพ่น ประกอบด้วย เหล็กร้อยละ 83.03 โครเมียมร้อยละ 13.62 แมงกานีสร้อยละ 1.35 นิกเกิลร้อยละ 1.29 และ ซิลิคอนร้อยละ 0.67 ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ระยะพ่นใช้ 3 ระยะ ได้แก่ 10 นิ้ว 14 นิ้ว และ 18 นิ้ว ตามลำดับ โครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบไม่แตกต่างกัน ประกอบด้วยแผ่นแบนซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ ซึ่งเป็นเฟสของโครเมียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ปริมาณรูพรุนของ ระยะพ่นทั้ง 3 มีค่าใกล้เคียงกัน เฉลี่ยร้อยละ 1.9 ทำให้ค่าความต้านทานการสึกหรอของระยะพ่นทั้ง 3 มีค่าใกล้เคียงกันเฉลี่ย 0.063×10^{-6} g/m

คำสำคัญ : การพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูง, โครเมียมออกไซด์, เหล็กออกไซด์, ความต้านทานการสึกหรอ

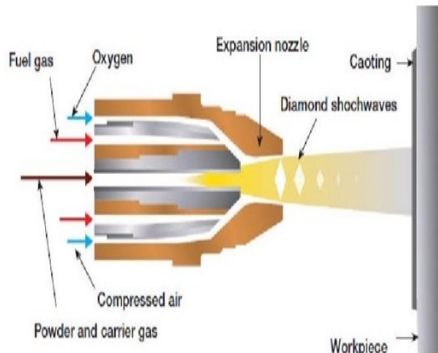
Abstract

This research aims to study on wear resistance of coating 13% Chrome by HVOF. The chemical composition of the spray powder contained 83.03% iron, by weight of 13.62% chromium, 1.35% manganese, 1.29% nickel, and 0.67% silicon. The specimens were S45C carbon steel. Three spray distances were used: 10 inches, 14 inches, and 18 inches, respectively. The microstructure of the coating was not different. It consists of overlapping splats which form a phase of chromium oxide. and iron oxide. The porosity of the 3 spray distances was no difference, averaged 1.9%, resulting in the wear resistance of the 3 spray distances being no difference, averaged 0.063×10^{-6} g/m.

Keywords: High Velocity Oxy-Fuel; chromium oxide; iron oxide; wear resistance.

1. บทนำ (Introduction)

การพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูง (High velocity Oxy-Fuel; HVOF) อาศัยการเผาไหม้ของ เชื้อเพลิง ในห้องเผาไหม้ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะขยายตัวเคลื่อนที่ผ่าน เข้าไปในหัวพ่นซึ่งมีขนาดเล็กทำให้เกิดความดันสูง ในสภาวะ เช่นนี้แก๊สเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก ผงพ่นถูกป้อนเข้าไป ในบริเวณเปลวไฟตรงหัวพ่น ความดันสูงมากทำให้อนุภาคมี ความเร็วถึง 800 เมตร/นาที่ [1]



ภาพที่ 1 แผนผังการพ่นด้วยกระบวนการ HVOF [2]

สำหรับผงพ่น 13% โครเมียม ใช้ได้หลายอุตสาหกรรม การผลิต เช่น การซ่อมแซมชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ที่สึกหรอ การพ่นในหม้อบดน้ำตาลที่มีมูลค่าหลายแสนบาท หม้อบด น้ำตาลเมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ความชื้น และอุณหภูมิในหม้อ บดทำให้ผนังถูกกัดกร่อนเป็นชั้นออกไซด์ เมื่อถูกแรงเสียดสี จากการบดจะแตกออกเป็นเศษออกไซด์เจือปนอยู่ในน้ำตาล การแก้ไขปัญหาก็ใช้การพ่นเคลือบ HVOF [3]

ระยะมีผลต่อความเร็วและอุณหภูมิของผงพ่นในขณะ ปะทะกับผิวชิ้นงาน ถ้าระยะทางในการพ่นมากจะทำให้แรง ยึดเกาะระหว่างผิวเคลือบและชิ้นงานไม่ดี มีรูพรุน และค่า สัมประสิทธิ์ของการเคลือบต่ำ ทำให้สูญเสียผงพ่นมาก [4] ถ้า ระยะพ่นสั้นเกินไปทำให้ผงพ่นได้รับความร้อนสูง การยึดเกาะ ไม่ดี เกิดความเค้นตึง (internal stress) สูง [5]

ปัจจุบันการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูง โดยใช้ ผงพ่น 13% Cr ได้นำไปใช้อย่างแพร่หลาย การศึกษาระยะ พ่นเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่ต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุดจึงมี ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตที่ช่วยลดต้นทุนและยืด อายุการใช้งานของชิ้นงาน

2. วิธีการวิจัย (Methodology)

2.1 การเตรียมผิวชิ้นงาน

- ชิ้นงานเป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความหนา 30 มิลลิเมตร จำนวน 9 ชิ้น
- นำชิ้นงานที่เชื่อมติดกับแผ่นเหล็ก ทำความสะอาดต้อง ใช้เครื่องพ่นทราย



ภาพที่ 2 ชิ้นงานหลังพ่นทรายเสร็จ

2.2 พ่นเคลือบชิ้นงานโดยใช้อุปกรณ์ ดังนี้

- ชุดป้อนผงเคลือบ (Powder Feeder Unit) TF- Model 1200
- ชุดควบคุม (Control Unit) TAFA รุ่น JP-5000 HP/HVOFSYSTEM MODEL 5120 CONTROL CONSLE
- โต๊ะสำหรับวางชิ้นงาน (Line Table)
- ปืนพ่นเคลือบ (Spray Gun) รุ่น JP-5000



ภาพที่ 3 ปืนพ่นเคลือบ (Spray Gun) รุ่น JP-5000

2.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

- การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน (SEM)

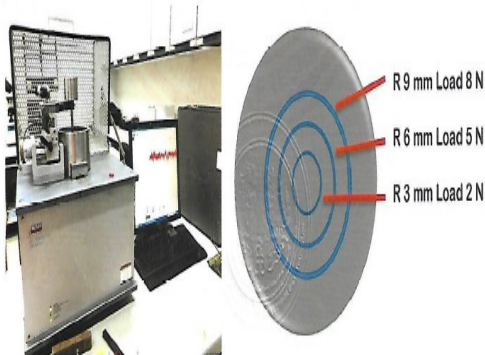
- การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์
แบบแสง (OM)



ภาพที่ 4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน

2.4 การทดสอบการสึกหรอ (Pin on disk)

การทดสอบการสึกหรอแบบไถในสภาวะไร้สารหล่อลื่น (dry sliding condition) กระทำโดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Pin on disk วิธีการทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน ASTM G99 DIAMETER BALL 6 mm รัศมี 3, 6, และ 9 mm ทดสอบ ภายใต้แรงกด 2 นิวตัน 5 นิวตัน และ 8 นิวตัน เป็นระยะทาง 15000Lap ความเร็วรอบ 300 rpm อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

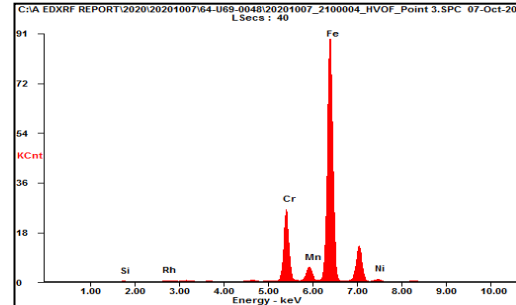


ภาพที่ 5 การทดสอบการสึกหรอ Pin on disk

3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 โครงสร้างและสัดส่วนผสมทางเคมีของผิวเคลือบก่อนพ่น
หลังพ่นที่ระยะ 10, 14, 18 นิ้วดังนี้

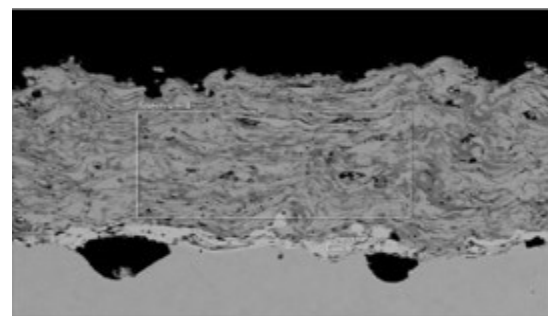
-ผสมทางเคมีของผิวเคลือบก่อนพ่น เหล็ก 83.03%,
โครเมียม 13.62%, แมงกานีส 1.35%, นิกเกิล 1.29%,
ซิลิคอน 0.67%



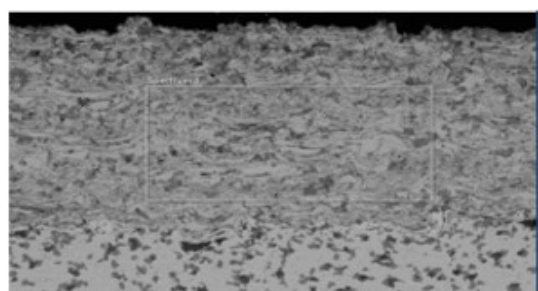
ภาพที่ 6 การวัดส่วนผสมทางเคมีของผงพ่นจากเครื่อง
EDXRF

3.2 โครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบ (Microstructure of Coating)

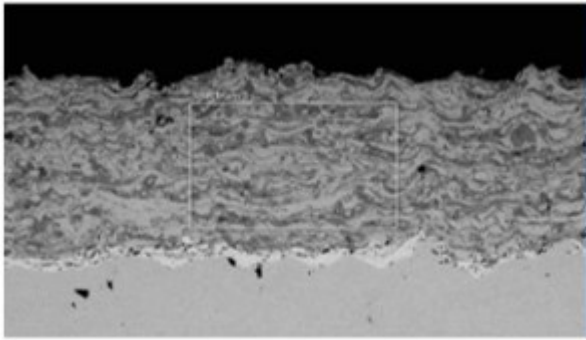
การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบ ทำการ
ตรวจสอบหาปริมาณส่วนผสมทางเคมี อนุภาคที่ไม่หลอม
ละลาย และรอยแยกระหว่างผิวเคลือบของชิ้นงานโลหะของ
ผิวเคลือบที่ระยะพ่น 10, 14, 18 นิ้ว ดังนี้



ภาพที่ 7 โครงสร้างจุลภาคจาก SEM กำลังขยาย 100 เท่า
10 นิ้ว

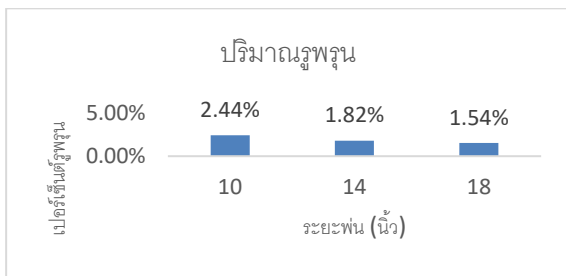


ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาคจาก SEM กำลังขยาย 100 เท่า
14 นิ้ว



ภาพที่ 9 โครงสร้างจุลภาคจาก SEM กำลังขยาย 100 เท่า 18 นิ้ว

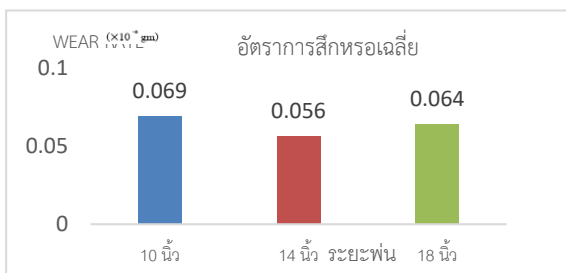
- 1) ตรวจสอบปริมาณรูพรุนที่ระยะพ่น 10 นิ้ว มีค่าเฉลี่ย 2.44%
- 2) ตรวจสอบปริมาณรูพรุนที่ระยะพ่น 14 นิ้ว มีค่าเฉลี่ย 1.82%
- 3) ตรวจสอบปริมาณรูพรุนที่ระยะพ่น 18 นิ้ว มีค่าเฉลี่ย 1.54%



ภาพที่ 10 ตรวจสอบปริมาณรูพรุนระยะ 10, 14, 18 นิ้ว

สรุปจากผลการวัดปริมาณรูพรุนบริเวณผิวเคลือบ ที่ระยะ 10, 14, 18 นิ้ว เฉลี่ย 1.9%

3.3 ตรวจสอบค่าความต้านทานการสึกหรอ (Wear) ที่ระยะพ่น 10, 14, 18 นิ้ว



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบความต้านทานการสึกหรอที่ระยะ 10, 14, 18 นิ้ว

สรุปจากผลความต้านทานการสึกหรอของผิวเคลือบทั้ง 3 ระยะการพ่น มีค่าเฉลี่ย $0.063 \times 10^{-6} \text{ g/m}$

4. การอภิปราย (Discussion)

4.1 ความสัมพันธ์โครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบ

การพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูง HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน S45C เป็นชิ้นงานทดลองการพ่นเคลือบและมีผงพ่น 13% Chrome แบ่งการพ่นเป็น 3 ระยะ 10 , 14 , 18 นิ้ว อัตราการไหลของผงพ่น 75 กรัมต่อนาที ความเร็วในการพ่น 10 มิลลิเมตรต่อวินาที อัตราความเร็วของหัวพ่น 2 และ 5 มิลลิเมตร/วินาที ระยะพ่นที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ในช่วงระยะพ่น 14 - 18 นิ้ว

- ในระยะการพ่น 14 นิ้ว พบรูพรุนในโครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบมีค่าเฉลี่ย 1.720 % ในระยะการพ่น 14 นิ้ว พบว่าความต้านทานการสึกหรอ $0.056 (\times 10^{-6} \text{ g/m})$
- ในระยะการพ่น 18 นิ้ว พบปริมาณรูพรุนในโครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบ มีค่าเฉลี่ย 1.511 % ในระยะการพ่น 18 นิ้ว พบว่าความต้านทานการสึกหรอ $0.064 (\times 10^{-6} \text{ g/m})$ หมายเหตุ: ในที่นี้ที่กล่าวมาข้างต้นค่าจากระยะมีการคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีที่ศึกษาเนื่องจากการพ่น เกิดจากตัวบุคคลทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้

5. สรุปผล (Conclusion)

5.1 โครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบทั้ง 3 ระยะการพ่น 10,14,18 นิ้ว ไม่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยแผ่นแบนซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ ซึ่งเป็นผลของโครเมียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ทำให้ปริมาณรูพรุนและอัตราการสึกหรอใกล้เคียงกัน ซึ่งปริมาณรูพรุนเฉลี่ย 1.51% และอัตราการสึกหรอเฉลี่ยเท่ากับ $0.063 \times 10^{-6} \text{ g/m}$

6. กิติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ชานนท์ มุลวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีระ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม และอาจารย์สมภพ ทิมดิษฐ์

อาจารย์ชัยพล ผ่องพลีสกาล ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และ
ข้อคิดเห็นต่างๆส่งผลให้โครงการสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กัณวีรัช พลุประาษฎ์ บุคคล
ที่เสียสละเวลามาเป็นประธานกรรมการ และรศ.ดร.ประยูร
สุรินทร์ และผศ.สพ.ดร.นงษ์ศรีษะ ที่สละเวลามาเป็น
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็น
ประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ และครอบครัว เพื่อน พี่
น้อง หรือบุคคลที่ให้คำปรึกษาพร้อมกับเป็นกำลังใจให้เสมอ
มา

ผู้จัดทำโครงการจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา
 ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Smith, R.W. and Novak, R., 1991, "Advance and
Applicaions in US Thermal Spray Technology, I.
Technology and Materials," Powder Metallurgy
International, Vol. 23, No. 3, pp. 147-155.
- [2]<http://asmcommunity.asminternational.org/porta>
V/site/tss/SprayTips/20/10/2022
- [3] ปันดดา นิรนาทล้ำพงค์. 2545 หน่วยปฏิบัติการพ่นเคลือบ
ด้วยเปลวความร้อน Thermal Spray Lab (TSL). ศูนย์
เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ: หน้า 51-53
- [4] Naval Ordnance Station, 1997, A Plasma Flame
Spray handbook, Kentucky, NOS, pp. 59-71.
- [5] Matejka, D. and Benko, B., 1989, Plasma Spraying
of Metallic and Ceramic Materials,
Czechoslovakia, John Wiley and Sons, pp. 119-
125
- [6] เสาวณีย์ สิงห์สร้อย. 2555. การศึกษาผิวเคลือบบนวัสดุ
ฐานเหล็กกล้าที่ได้จากกระบวนการพ่นเคลือบใช้เปลวไฟ
ที่อาศัยปฏิกิริยาก้าวหน้าด้วยตัวเองที่อุณหภูมิสูง.
ปริ ญู ญา วิ ศว ก ร ร ม ศ า ส ต ร ์ ม ห า บ ั ญ ฑิต ,
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: หน้า 64
- [7] สิทธิชัย วิโรจน์ปฐมภัก. 2001. The influence of HVOF
powder feedstock characteristics on the

abrasive wear behaviour of CrxCy-NiCr coating,
School of Mechanical, Materials, Manufacturing
Engineering and Management, University of
Nottingham: หน้า 1-67

- [8] นางสาวสุศิษฏา ภูบัณฑิตย์. 2545. ปัจจัยที่มีผลต่อผิว
เคลือบทั้งสแตนคาร์ไบด์-โคบอลต์ด้วย เปลวเพลิง
ความเร็วสูง.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหา
วิทยาลัยธรรมศาสตร์: หน้า 1-80
- [9] Maria Oksa, Erja Turunen, Tomi Suhonen, Tommi
Varis, Simo-Pekka Hannula. 1994. การหาค่าเหมาะ
ที่สุดและการศึกษาสมบัติของสารเคลือบผิวที่ฉีดพ่นด้วย
เปลวเพลิงความเร็ว สูง. Aalto University School of
Chemical Technology: หน้า 14-31
- [10] R. LAKHDARI, Y. MEBDOUA, H. LAHMAR, M.
LEGOUERA, A. TRICOTEAUX, 2001. กลไกการ
เคลือบผิวด้วยความร้อนจากเหล็ก 13Cr . Centre de
Development des Technologies Advances
(CDTA) Alger- Algeria: หน้า 4-15
- [11] Takeshi OGAWA, Keiro TOKAJI, Toshikatsu EJIMA,
Yoshifumi KOBAYASHI, Yoshio HARADA 1998. การ
ประเมินค่าความแข็งแรงของ FATIGUE ของวัสดุ
CERMETAND WC ที่มีสเปอร์ย์ 13%Cr. Materials
Science Research International: หน้า 10-18
- [12] Ji Liu, Xiuqin Bai, Tongzhou Chen, Chengqing
Yuan, 2019. ผลของโคบอลต์ต่อ โครงสร้างจุลภาค
สมบัติเชิงกลและการกัดเซาะของโพรงอากาศ ความ
ต้านทานของสารเคลือบผิวที่ พ่นด้วย HVOF. Wuhan
University of Technology: หน้า 1-8
- [13] Thomas Lindner, Pia Kutschmann, Martin Lobel,
Thomas Lampke, 2018. การ ชูบแข็งแบบออสเตน
นิติกแบบพ่น HVOF การเคลือบผิวสแตนเลสสตีลโดย
แก๊สไนโตรดิ่ง Materials and Surface Engineering
Group, Institute of Materials Science and
Engineering: 5-10