บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เทคนิคการพ่นเคลือบด้วยความร้อนเป็นหนึ่งในวิศวกรรมพื้นผิว ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของชิ้นส่วนต่างๆ โดยการผลิตผิวเคลือบวัสดุชนิดเดียวกันหรือวัสดุอื่นลงบนชิ้นงานดังกล่าว โดยหลักการของการพ่นเคลือบด้วยความร้อนเริ่มต้นจากการหลอมวัสดุเคลือบให้อยู่ในสภาวะหลอมเหลว หรือ กึ่งหลอมเหลว แล้วพ่นด้วยแรงดันแก๊สเพื่อเร่งให้ไปตกกระทบบนผิวชิ้นงานที่ต้องการจะเคลือบ ซึ่งในปัจจุบันเทคนิคการพ่นเคลือบด้วยความร้อนนี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงการประยุกต์พ่นเคลือบกับชิ้นส่วนของยานอวกาศและชิ้นส่วนทางการแพทย์ โดยเน้นเพื่อการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังใช้พ่นเคลือบชิ้นงานเพื่อให้มีสภาพนำไฟฟ้า หรือ ฉนวนไฟฟ้า หรือ เพื่อป้องกันความร้อน การพ่นเคลือบด้วยความร้อนเป็นกระบวนการที่สะดวก รวดเร็ว ช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นงานได้ยาวนานขึ้น ไม่จำกัดขนาดของชิ้นงานและประเภทของวัสดุที่ใช้เคลือบ ซึ่งอาจจะเป็นพอลิเมอร์ เซรามิก โลหะ หรือ วัสดุผสมก็ได้ นอกจากนี้ผิวเคลือบเมื่อถูกใช้งานจนเสื่อมสภาพ หรือ มีขนาดลดลงก็สามารถนำมาพ่นเคลือบซ้ำใหม่ได้เรื่อยๆ ข้อดีในข้อนี้นับได้ว่าเป็นการช่วยประหยัดต้นทุนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม การพ่นเคลือบด้วยความร้อนมีหลายแบบ กล่าวคือ (1) การพ่นเคลือบแบบเปลวไฟ (2) การพ่นเคลือบแบบเพลิงออกซิเจน–ความเร็วสูง (3) การพ่นเคลือบแบบปืนจุดระเบิด (4) การพ่นเคลือบแบบพลาสมา และ (5) การพ่นเคลือบแบบอาร์คไฟฟ้า จากวิธีการพ่นเคลือบทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น การพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบเปลวไฟเป็นเทคนิคการพ่นเคลือบที่สะดวก เนื่องจากวัสดุที่ใช้เคลือบสามารถเป็นได้ทั้งแบบผงและเส้นลวด มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับการพ่นเคลือบแบบอื่นๆ แต่อุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงมากนัก อยู่ในช่วงประมาณ 2000–3000 องศาเซลเซียส [1] จึงสามารถใช้ได้สำหรับการเตรียมผิวเคลือบโลหะและอัลลอย

ผิวเคลือบในกลุ่มโลหะและอัลลอย เป็นวัสดุจำพวกหนึ่งที่มีการศึกษาและประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย การพัฒนาผิวเคลือบของโลหะและอัลลอยชนิดใหม่ๆ ก็เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมและผิวเคลือบที่มีเหล็กเป็นฐานหลักเป็นผิวเคลือบที่ถูกนิยมศึกษาอย่างแพร่หลาย ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมและผิวเคลือบที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ในปี ค.ศ. 1998 P. Gu และคณะ [2] ศึกษาความต้านทานการโพลาไรซ์ของผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งเตรียมด้วยการอาร์คไฟฟ้าแบบลวดคู่ (twin–wire electric arc)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบความดันสูงและแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูง (high pressure/high velocity oxy–fuel spraying; HP/HVOF) อีกทั้งทำการศึกษาความหนาแน่นของผิวเคลือบและปริมาณออกไซด์ พบว่า ผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมที่เตรียมด้วยการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบความดันสูงและแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูง มีค่าการต้านทานโพลาไรซ์สูงกว่าผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมที่เตรียมด้วยการอาร์คไฟฟ้าแบบลวดคู่ กระบวนการสร้างผิวเคลือบที่มีความหนาแน่นสูงและผิวเคลือบมีปริมาณออกไซด์ต่ำ ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 K. Dobler และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาออกซิเดชันของเหล็กกล้าไร้สนิม (316L) ในกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูง โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลสำหรับระบบการพ่นแบบ JP–5000 และระบบผสม Diamond Jet พบว่า ผิวเคลือบที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่า 1 wt% สามารถใช้ได้ง่ายกับระบบ JP–5000 จากทั้งสองระบบ พบว่า อนุภาคที่มีอุณหภูมิต่ำจะให้ผิวเคลือบที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการทำลายพันธะและความแข็งแรงในการยึดเกาะได้ ซึ่งกรรมวิธีทางความร้อนของผิวเคลือบหลังกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนจะช่วยลดความแข็ง เพิ่มความแข็งแรงพันธะ และทำให้เกิดคาร์ไบด์ก้อนกลมของชั้นออกไซด์รอบๆ อนุภาคที่ไม่หลอม ในปี ค.ศ. 2002 L. Zhao และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่สร้างขึ้นโดยกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบพลาสมาบรรยากาศ (atmosphere plasma spraying) แบบบรรยากาศปกคลุมด้วยอาร์กอน (Ar–shrouded plasma spraying) และแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูง มีการศึกษาอิทธิพลของกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนและตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของผิวเคลือบ ผิวเคลือบจะถูกศึกษาด้านโครงสร้างทางจุลภาค การออกซิเดชันและพฤติกรรมการกัดกร่อน จากผลการทดลอง พบว่า สามารถผลิตผิวเคลือบที่มีความหนาแน่นสูงได้โดยใช้กระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนทั้งสามแบบ ผิวเคลือบที่เตรียมด้วยการพ่นแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ มีค่าความแข็งสูงกว่า และมีพฤติกรรมการต้านทานการสึกหรอสูงกว่าผิวเคลือบที่เตรียมด้วยการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบพลาสมาบรรยากาศและแบบบรรยากาศปกคลุมด้วยอาร์กอน

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งผิวเคลือบที่เตรียมได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ตลับลูกปืน (bearing journals) มอเตอร์ปั๊มน้ำมัน (fuel pump rotors) ลูกสูบ (pistons) เครื่องอัดไฮโดรลิก (hydraulic rams) ลูกสูบของปั๊ม (pump plungers) ตลับลูกปืนเพลาข้อเหวี่ยง (crankshaft bearings) กระบอกสูบ (sleeves) พัดลมท่อไอเสีย (exhaust fans) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผิวเคลือบเพื่อให้มีสมบัติต่างๆ ที่ดีขึ้น โดยการเตรียมเป็นผิวเคลือบนาโนคอมโพสิต การนำวัสดุที่มีโครงสร้างระดับนาโนหลากหลายรูปร่าง เช่น ผงระดับนาโน เส้นใยนาโนมาผสมกับวัสดุหลัก (matrix) ของผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมเองก็มีการนำอนุภาคนาโนมาช่วยเสริมแรง ดังงานวิจัยของ M.L. Lau และคณะ [5] ในปี ค.ศ. 1999 ได้ศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคนาโนของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ในระหว่างกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูง ซึ่งผงพ่นถูกเตรียมด้วยการบดเชิงกลเพื่อทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันทำให้เกิดอนุภาคเล็กขนาดเกรนเฉลี่ยต่ำกว่า 50 นาโนเมตร จากงานวิจัยดังกล่าว พบว่า ผิวเคลือบที่มีการนำโครงสร้างระดับนาโนมาช่วยเสริมแรงจะช่วยปรับปรุงความแข็ง การต้านทานการสึกหรอ ความต้านทานการเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างเฉียบพลัน ค่ามอดูลัสของยัง ความต้านทานต่อการล้า และความต้านทานต่อการขยายตัวของรอยแตกให้ดีขึ้นกว่าผิวเคลือบที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยโครงสร้างระดับนาโน

ตัวอย่างงานวิจัยของผิวเคลือบนาโนคอมโพสิตที่มีเหล็กเป็นฐานหลัก เช่น ในปี ค.ศ. 2001 T. Grosdidier และคณะ [6] ทำการศึกษาผิวเคลือบผลึกนาโนของเหล็ก–40 อะลูมิเนียม (Fe–40Al) ที่เตรียมด้วยกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนของผงที่ถูกบด พบว่า ค่าความแข็งของผิวเคลือบผลึกนาโนมีค่ามากกว่าความแข็งของผิวเคลือบเดิมถึง 35% และมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับวัสดุก้อน (bulk materials) ต่อมา Y. Wang [7] ได้ศึกษาผิวเคลือบ FeS_2 ที่มีโครงสร้างระดับนาโน ซึ่งเตรียมโดยเทคนิคการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบเชื้อเพลิง–ออกซิเจนความเร็วสูง โดยจะทำการเตรียมผงพ่นจากการบดย่อยซึ่งมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 50–100 นาโนเมตร แล้วทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันด้วยเทคนิคการทำให้แห้งแบบละออง (spray drying) พบว่าผิวเคลือบนาโน FeS_2 มีความหนาแน่น และมีโครงสร้างคล้ายเพอร์ไลต์แบบชั้น (lamellar pearlite) โดยช่องว่างระหว่างอนุภาคแผ่น้อยกว่า 150 นาโนเมตร ทำให้ผิวเคลือบนาโน FeS_2 มีความแข็ง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบผลการสึกหรอแบบไถลภายใต้แรงกดเท่ากันกับชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการพ่น พบว่า ชิ้นงานที่ทำการพ่นเคลือบมีปริมาณการสึกหรอหรือน้ำหนักที่สูญเสียไปน้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการพ่น นอกจากนี้ผิวเคลือบนี้ยังสามารถทนแรงกดได้มากกว่าชิ้นงานที่ไม่ได้พ่นเคลือบและมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่าด้วย

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นโครงสร้างระดับนาโนโครงสร้างหนึ่งที่นำมาช่วยเสริมแรงในวัสดุหลักเป็นวิธีการหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมใน เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติที่โดดเด่นทั้งสมบัติทางไฟฟ้า ทางแม่เหล็ก และสมบัติเชิงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติเชิงกล [8–10] ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผิวเคลือบด้วยความร้อนที่เสริมแรงด้วยท่อนาโนคาร์บอนมีดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

T. Laha และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาผิวเคลือบคอมโพสิตอะลูมิเนียมที่เสริมแรงด้วยท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งผิวเคลือบถูกเตรียมด้วยการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบพลาสมา โดยการผสมผงอะลูมิเนียม–ซิลิกอนกับท่อนาโนคาร์บอนด้วยวิธีการบดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบพลาสมา จากผลการทดลอง พบว่า ผิวเคลือบอะลูมิเนียม–ซิลิกอนมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าค่าความหนาแน่นทางทฤษฎีของอะลูมิเนียม–ซิลิกอน และมีค่าความแข็งสูงขึ้น (146 ± 10 VHN) จากผิวเคลือบที่ไม่ผสมท่อนาโนคาร์บอน (85 ± 10 VHN)

ในปี ค.ศ 2007 K. Balani และคณะ [12] ทำการศึกษาผิวเคลือบไฮดรอกซีอะพาไทท์ที่เสริมแรงด้วยท่อนาโนคาร์บอน โดยทำการเตรียมผิวเคลือบถูกเตรียมด้วยกระบวนการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบพลาสมา พบว่า HA–CNT 4 wt% มีค่าความทนทานต่อการแตกหักสูงขึ้นถึง 56% และโครงสร้างมีความเป็นผลึกสูงขึ้นจาก 53.7% เป็น 80.4% นอกจากนี้ยังศึกษาพฤติกรรมทางไทรโบโลยี (tribological behavior) ก็พบว่าผิวเคลือบ HA–CNT มีความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าผิวเคลือบ HA ด้วย และนอกจากนี้ ในปี ค.ศ. 2008 K. Balani และคณะ [13] ศึกษาการสึกหรอของผิวเคลือบนาโนคอมโพสิตอะลูมินาที่เสริมแรงด้วยท่อนาโนคาร์บอนซึ่งเตรียมด้วยการพ่นเคลือบแบบพลาสมา พบว่า ท่อนาโนคาร์บอนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการต้านทานการสึกหรอแบบไถลได้ดีกว่าผิวเคลือบอะลูมินาบริสุทธิ์

จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้น พบว่า ผิวเคลือบที่เสริมแรงด้วยโครงสร้างนาโนมีสมบัติด้านต่างๆ ดีกว่าผิวเคลือบที่ไม่ได้เสริมแรงด้วยโครงสร้างนาโน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการเตรียมผงเหล็กกล้าไร้สนิมนาโนคอมโพสิต โดยทำการเสริมแรงเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยโครงสร้างนาโนต่างชนิด ได้แก่ ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotubes; CNTs) ซึ่งถูกเตรียมด้วยเทคนิคการตกสะสมไอเคมี (chemical vapor deposition; CVD) และนาโนวิสเกอร์ (nanowhiskers) ที่เตรียมด้วยเทคนิคปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เพื่อนำไปใช้ในการพ่นเคลือบด้วยความร้อนเพื่อสร้างเป็นผิวเคลือบนาโนคอมโพสิตเหล็กกล้าไร้สนิม/ท่อนาโนคาร์บอน และผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมนาโนวิสเกอร์ ซึ่งนับว่าเป็นงานวิจัยที่ใหม่และคาดว่าผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมที่เสริมแรงด้วยโครงสร้างนาโนทั้งสองชนิดที่จะศึกษานี้จะมีสมบัติเชิงกลที่ดี และต้านทานการสึกหรอได้ดีกว่าผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมที่ไม่ถูกเสริมแรง และคาดว่าสามารถนำไปประยุกต์เป็นผิวเคลือบทางเลือกใหม่สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) สังเคราะห์ผงเหล็กกล้าไร้สนิมโครงสร้างนาโน 2 ชนิด ได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม/ท่อนาโนคาร์บอน และเหล็กกล้าไร้สนิมนาโนวิสเกอร์
2) ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมีของผงเหล็กกล้าไร้สนิมนาโนคอมโพสิตที่เตรียมได้
3) เตรียมผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมนาโนคอมโพสิตด้วยเทคนิคการพ่นเคลือบด้วยความร้อนแบบเปลวไฟ
4) ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ ความแข็ง และการสึกหรอของผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิม และผิวเคลือบเหล็กกล้าไร้สนิมนาโนคอมโพสิต
5) เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมผิวเคลือบนาโนคอมโพสิตชนิดอื่นๆ เพื่อประยุกต์ในอุตสาหกรรมพ่นเคลือบด้วยความร้อนต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved