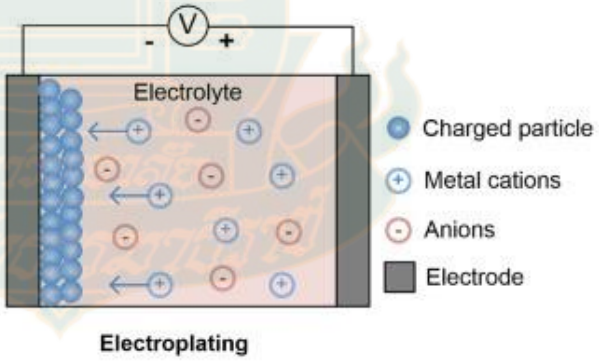
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) หรือที่เรียกว่ากรรมวิธีการผลิตด้วยวิธีเพิ่มวัสดุ (Additive Manufacturing) ถูกกล่าวถึงและมีแนวโน้มในการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ กรรมวิธีการผลิตนี้สามารถสร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนจากวัสดุที่เป็นโลหะ พอลิเมอร์ และเซรามิกส์ ได้ แต่ด้วยปัจจุบันราคาวัสดุ และค่าเครื่องจักรของกลุ่มวัสดุที่เป็นโลหะนั้นยังมีราคาที่สูงไม่เหมือนกลุ่มวัสดุที่เป็นพอลิเมอร์ ในทางอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องหาวิธีการปรับปรุงสมบัติของชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์เพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ต้องการบางอย่างที่สูงมากขึ้น เพื่อให้สามารถได้สมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่ผลิตจากวัสดุโลหะ โดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่ผลิตจากโลหะจะมีสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่สูงกว่าชิ้นงานที่ผลิตจากพอลิเมอร์ ในการใช้งานบางประเภทที่ต้องการน้ำหนักที่เบาและรับภาระไม่สูงมากนักชิ้นงานที่ผลิตจากพอลิเมอร์ก็ยังมีความต้องการ แต่สมบัติด้านความแข็งหรือความทนทานต่อการสึกหรอของพลาสติกก็ยังต่ำกว่าโลหะ ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยกรรมวิธีการเคลือบผิวภายนอกของพลาสติกด้วยวัสดุที่ทนต่อการสึกหรอ ซึ่งนิยมแพร่หลายในวัสดุพอลิเมอร์ของเอบีเอส [3]

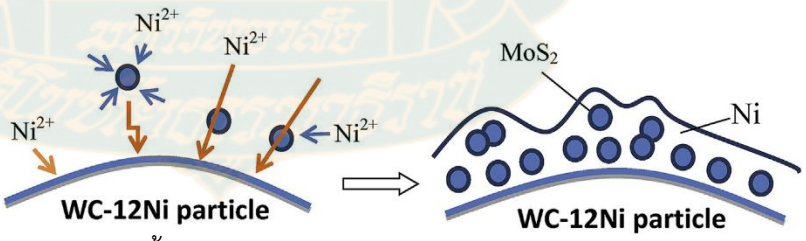
กระบวนการเคลือบผิวชิ้นงานพลาสติก สามารถทำได้ทั้งในลักษณะที่ใช้กระแสไฟฟ้า และไม่ใช่กระแสไฟฟ้า เข้ามาเกี่ยวข้อง สำหรับงานวิจัยนี้สนใจในส่วนของกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ซึ่งกระบวนการดังกล่าวทำในระบบซึ่งประกอบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าบวก และลบโดยขั้วลบคือชิ้นงานที่ต้องการเคลือบผิวที่ไอออนบวกของโลหะในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมารับอิเล็กตรอนเกิดเป็นชั้นเคลือบของโลหะบนผิวชิ้นงาน [4]



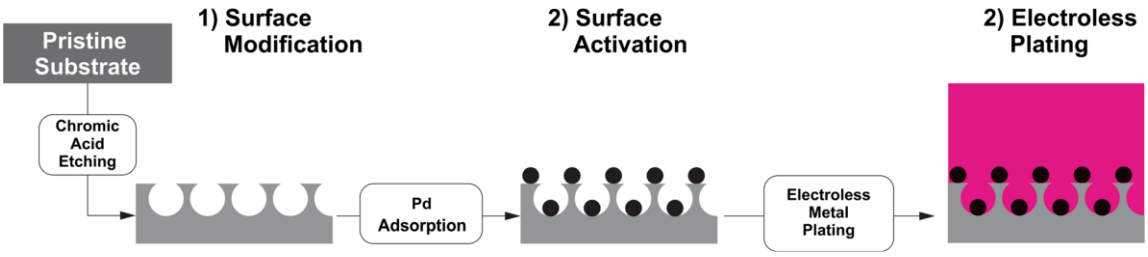
ภาพที่ 2.1 กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า [5]

โดยวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการเคลือบนิกเกิลร่วมกับโมลิบดินัมไดซัลไฟด์บนผิวชิ้นงานพิมพ์สามมิติเอบีเอสด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าแบบร่วม (Co-deposition) โดยมีโครงสร้างของชั้นเคลือบดังแสดงในภาพที่ 1.2 [6] ซึ่งจำเป็นต้องมีขั้นตอนการเตรียมผิว (Surface Pretreatment) เพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้าได้โดย การกัดทางเคมี (Chemical Etching) ให้ผิวชิ้นงานมีความหยาบและรูพรุนขนาดเล็กเพื่อให้ชั้นเคลือบยึดเกาะผิวชิ้นงาน (Adhesion) ดียิ่งขึ้น รวมถึงทำ

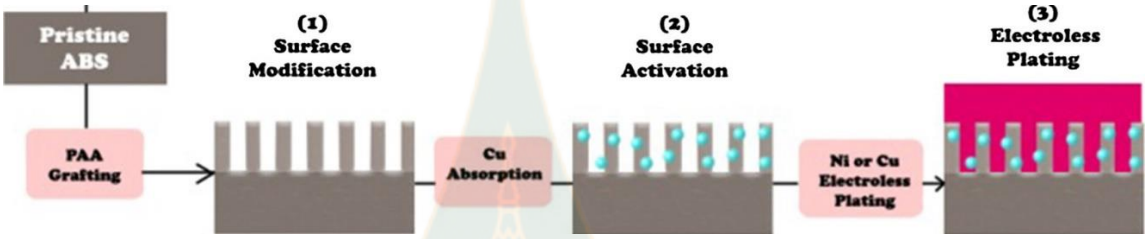
ให้ผิวชิ้นงานสัมผัสกับน้ำหรือสารละลายได้ดี (Hydrophilic Surface) จากนั้นทำการกระตุ้นผิวชิ้นงานดังกล่าวให้มีสมบัติการนำไฟฟ้าเพื่อให้ไอออนของโลหะในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มาจากอิเล็กตรอนเกิดเป็นชั้นเคลือบได้ จากนั้นจึงนำไปเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของนิกเกิลผสมกับผงสารโมลิบดินัมไดซัลไฟด์ ซึ่งผงดังกล่าวจะแขวนลอยอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขั้วไฟฟ้าและชิ้นงานซึ่งนำไฟฟ้า ไอออนของนิกเกิลจะถูกเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้าไปรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นชั้นเคลือบบนชิ้นงานโดยนำพาผงของโมลิบดินัมไดซัลไฟด์เข้าไปอยู่ในชั้นผิวดังกล่าวด้วย [7] วิธีดั้งเดิม (Conventional Method) ในการเตรียมผิวชิ้นงานเอบีเอสจะใช้กรดโครมิกในการกัดผิวโดยส่วนที่เป็น Butadiene ของเอบีเอสจะถูกกัดเป็นรูมีขนาดระดับนาโนเมตรถึงไมครอน จากนั้นจึงกระตุ้นผิวด้วยพาลาเดียม เช่น $PdCl_2$ + HCl จากนั้นจึงทำการเคลือบผิวด้วยวิธีไม่ใช้ไฟฟ้า (Electroless Plating) เช่น ทองแดง หรือ นิกเกิล เพื่อให้พื้นผิวมีความนำไฟฟ้าที่ดีต่อการนำไฟฟ้าเคลือบด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าต่อไป ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือพื้นผิวเอบีเอสจะมีลักษณะรูพรุนที่ยึดเกาะได้ดีเป็นปรากฏการณ์ “Anchoring Effect” เนื่องจากด้านใต้ผิวชิ้นงานเป็นโพรงที่ใหญ่กว่ารูบนผิวชิ้นงาน ดังภาพที่ 1.3 แต่กรดโครมิกก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและ Cr^{+6} มีความเป็นพิษ นอกจากนี้สารประกอบพาราเดียมมีราคาสูงเป็นมีความเป็นพิษเช่นกัน จึงมีความพยายามคิดค้นหาวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental-friendly Approach) โดยหลีกเลี่ยงการใช้โครเมียมและพาลาเดียม (Cr and Pd Free Process)ในการกัดผิวเอบีเอส เช่น จากการวิจัยของ Garcia A. และคณะ (2010) มีการใช้กรด Poly Acrylic แทนกรดโครมิก และกระตุ้นผิวเอบีเอสด้วยไอออนทองแดงกับสารละลายที่มีความเป็นด่าง เช่น Sodium Borohydrure ($NaBH_4$) [8] ดังภาพที่ 1.4 นอกจากนี้ Ma H. และคณะ (2014) [9] ศึกษาการใช้สารละลายที่มีส่วนผสมของฟอร์มัลดีไฮด์และกรดซัลฟุริกในการกัดผิวแทนกรดโครมิก และใช้อนุภาคนาโนทองคำเป็นตัวกระตุ้นผิวแทนพาลาเดียม ซึ่งใช้อนุภาคทองคำในปริมาณที่น้อยและนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง อนุภาคทองคำใช้กระตุ้นสำหรับการเคลือบนิกเกิลได้ดี [3] โดยงานวิจัยนี้จะใช้การกัดผิวด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามงานวิจัยของ Garcia A. และคณะ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของชั้นเคลือบนิกเกิลร่วมกับโมลิบดินัมไดซัลไฟด์ [6]



ภาพที่ 2.3 การเตรียมผิวด้วยวิธีดั้งเดิม [3]



ภาพที่ 2.4 การเตรียมผิวโดยปราศจากโครเมียมและพาลาเดียม [3]

ชั้นเคลือบที่ได้จะมีสมบัติด้านความแข็งและความต้านทานการสึกหรอซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของผงโมลิบดินัมไดซัลไฟด์กับนิกเกิล [10] และลักษณะทางกายภาพต่างๆของชั้นเคลือบ เช่น โครงสร้างผลึก ความหยาบผิว และความแข็งของชั้นเคลือบดังกล่าว ทั้งนี้ปริมาณของผงโมลิบดินัมไดซัลไฟด์ที่เหมาะสมจะทำให้ชั้นเคลือบมีความแข็งสูง สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และการสึกหรอต่ำ ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นงานให้ยาวนานและลดการชำรุดเสียหายให้น้อยลงได้ โดยลักษณะทางกายภาพและสมบัติของชั้นเคลือบบนผิวชิ้นงานดังกล่าวขึ้นอยู่กับตัวแปรควบคุมของกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า เช่น ความเข้มข้นของผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิของกระบวนการ มีการศึกษาถึงปัจจัยการเคลือบนิกเกิลร่วมกับผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดย Guler E. (2013) [11] ได้ศึกษาการเคลือบนิกเกิลร่วมกับผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าบนชิ้นงานสแตนเลสเพื่อให้มีความเค้นในชั้นเคลือบและสึกหรอต่ำ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบ ได้แก่ ความเข้มข้นและขนาดผงของผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เท่ากับ 30 g/L และ 1.44 μm ตามลำดับ ความเข้มข้น Sodiumlignosulfonate เท่ากับ 1 g/L อุณหภูมิการเคลือบเท่ากับ 50°C ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าเท่ากับ 4.8 A/dm^2 จากงานวิจัยของ Losiewicz B. และคณะ (2015) [7] ได้ศึกษาการเคลือบนิกเกิลร่วมกับผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าบนชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน S235 เพื่อให้ได้ปริมาณผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ในชั้นเคลือบมากที่สุดสำหรับเป็นสารเร่งปฏิกิริยาการผลิตก๊าซไฮโดรเจน พบว่าใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าเท่ากับ 25 A/cm^2 อุณหภูมิการเคลือบเท่ากับ 30°C โดยใช้ความเข้มข้นและขนาดของผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เท่ากับ 10 g/L และน้อยกว่า 2 μm ตามลำดับ นอกจากนี้งานวิจัยของ Trabelsi D. (2018) ได้ศึกษาการเคลือบนิกเกิลร่วมกับผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าบนชิ้นงาน

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Mild Steel) เพื่อให้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและสึกหรอต่ำ พบว่าความเข้มข้นของผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เท่ากับ 0.5 g/L ในสารละลายอิเล็คโทรไลต์จะทำให้มีปริมาณผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์โดยน้ำหนักในชั้นเคลือบร้อยละ 39 จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและสึกหรอต่ำที่สุด

อย่างไรก็ดี ยังไม่มีการศึกษาถึงการเคลือบนิกเกิลร่วมกับผงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์บนชิ้นงานเอบีเอสรวมถึงการศึกษาสมบัติด้านความทนทานต่อการสึกหรอของชิ้นงานดังกล่าว องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานทางกลของชิ้นส่วนที่ต้องเกี่ยวข้องกับการสัมผัสและเสียดสี สามารถใช้วัสดุเอบีเอสทดแทนการใช้โลหะหรือเซรามิกส์เพื่อลดต้นทุนการผลิตและความต้องการใช้งานได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ชิ้นงานเอบีเอสที่ผ่านการเคลือบผิวดังกล่าวจะช่วยลดต้นทุนด้านการหล่อลื่นและยืดอายุชิ้นงานได้เนื่องจากเป็นชิ้นงานที่หล่อลื่นได้เอง (Self-lubricating)