

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาผลกระทบของกระบวนการสร้างผิวแข็งสำเร็จต่อการสึกหรอแบบขัดถูในการใช้งานของใบกวนสำหรับกระบวนการผสม การทำงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแบบขัดถูด้วยกรรมวิธีในการสร้างผิวแข็งสำเร็จที่ต่างกัน โดยวัสดุที่นำมาใช้สำหรับการเพิ่มความต้านทานการสึกหรอที่ผิวหน้าด้วยกรรมวิธีในการสร้างผิวแข็งสำเร็จเป็นโลหะผสมกลุ่มโคบอลต์ (Cobalt Based Alloys) คือ Stellite 6 ซึ่งการเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแบบขัดถูจะนำน้ำหนักที่หายไปมาทำการวิเคราะห์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับชนิดของการสึกหรอ (Type of Wear) [1]

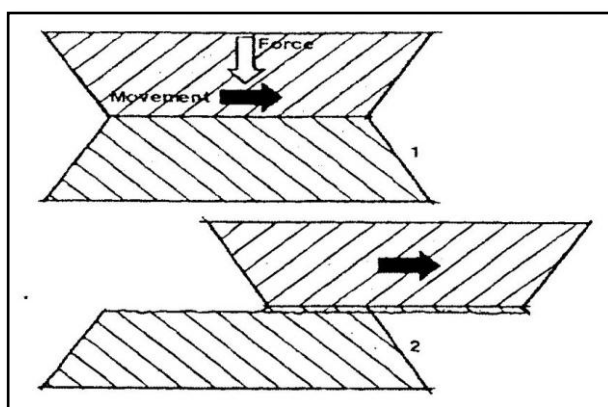
การสึกหรอเป็นปัญหาสำคัญที่พบบ่อยที่สุด ๆ ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมจนอาจส่งผลทำให้ต้องเปลี่ยนชิ้นงาน ดังนั้นการป้องกันการเกิดการสึกหรอจึงจำเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรม ซึ่งการสึกหรอที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าชิ้นส่วนเครื่องมือและเครื่องจักรต่าง ๆ นั้น เกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกันออกไปไม่ว่าจะเกิดจากลักษณะทางกล เช่นการกระแทก การขีดข่วน เกิดจากลักษณะทางเคมี เช่น การกัดกร่อน และเกิดจากลักษณะทางความร้อน เช่น ใอน้ำของเหลวร้อน เป็นต้น ในตารางที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นการแบ่งชนิดของการสึกหรอ โดยแบ่งตามลักษณะการสัมผัสที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 ลักษณะการแบ่งชนิดการสึกหรอตามลักษณะการสัมผัส

Classification by Nature of Contacting Substance	Classification by Applies Stress	Typical Machinery Parts
1. Wear by metal-to-metal contact	a) Adhesive wear	Gear, Shafts and bearing
	b) Rolling wear	Ball bearing's and shafts
	c) Impact wear	Forging hammer heads and anvils
	d) Thermal Impact wear	Hotrolls, Continuous castingrolls
2. Wear by sand ,oil and stoncs	a) Scratching abrasion	Chutes, Plows, Screw conveyer
	b) Grinding abrasion	Bulldozer blades, Bulldozer shoes
	c) Gouging abrasion	Bulldozer ripper tips, Crushers
3. Wear by high – speed fluids	a) Erosion	Mud pumps, pipelines
	b) Cavitations erosion	Hydraulic power turbines, Ship's propellers, Regulating valves

2.1.1 การสึกหรอแบบขัดสี (Adhesive Wear)

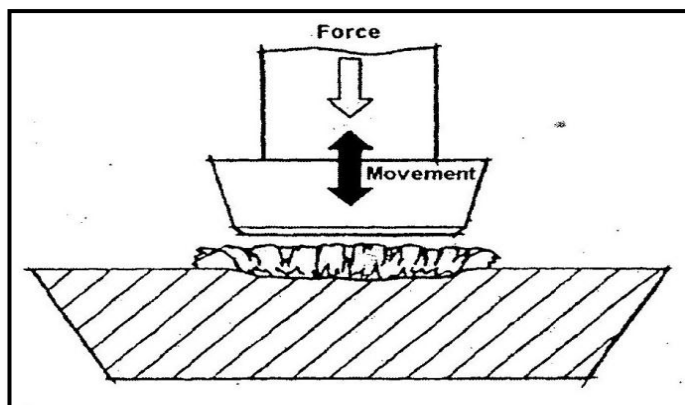
การสึกหรอแบบขัดสีเกิดจากผิวสัมผัสที่ไม่เรียบสม่ำเสมอของโลหะทั้งสองชิ้นถูกทำให้สัมผัสกัน โดยมีแรงกดที่เพียงพอต่อการทำให้ผิวหน้าสัมผัสกันและมีการเคลื่อนที่ขนานกันกับทิศทางที่ผิวหน้าสัมผัสกันภายใต้แรงกดนั้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอ บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าจะเกิดการหลุดออกแล้วเคลื่อนที่ไปกับชิ้นงานที่มีความแข็งแรงมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบขัดสี [1]

2.1.2 การสึกหรอแบบการกระแทก (Impact Wear)

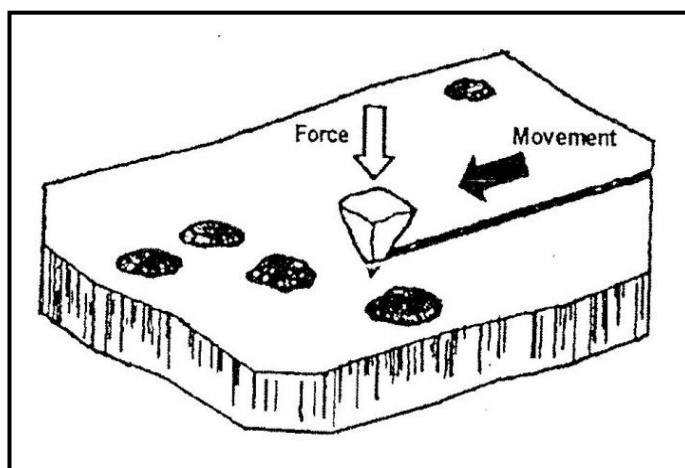
การสึกหรอแบบการกระแทกเกิดจากการกระทำที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ จากแรงกระแทกที่บริเวณผิวของของแข็งทำให้เกิดความเสียหาย โดยบริเวณดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างจากความล้าจนเกิดเป็นหลุมหรือรูที่บริเวณผิวดังแสดงในรูปที่ 2.2



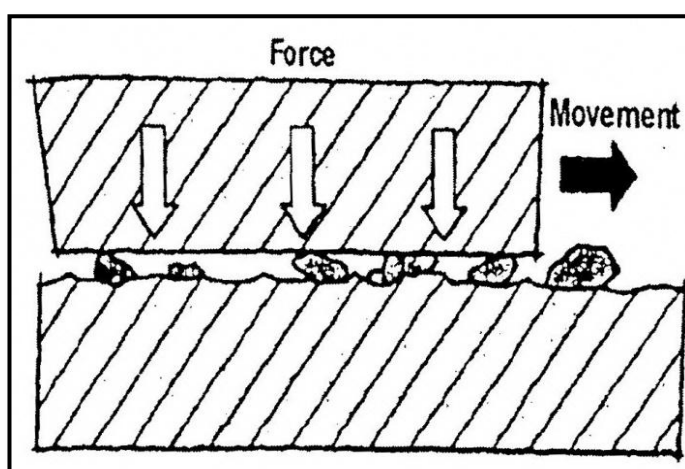
รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดสึกการหรอจากการกระแทก [1]

2.1.3 การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear)

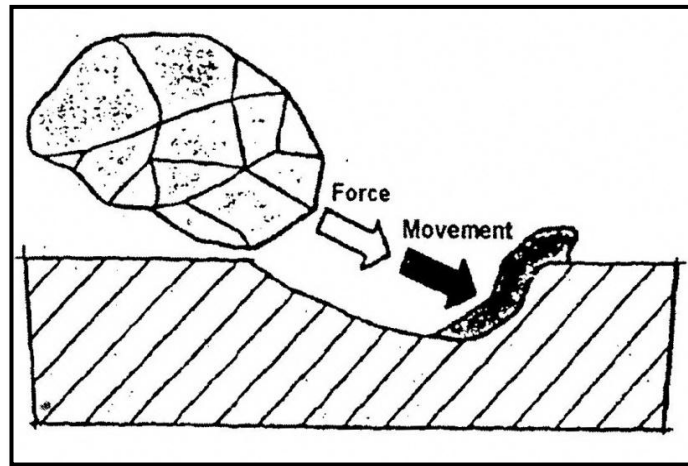
การสึกหรอแบบขัดถูเกิดจากที่ของแข็งที่มีขนาดเล็ก ๆ ปะทะกับผิวหน้าของชิ้นงานทำให้ผิวหน้าชิ้นงานเกิดเป็นรอยข่วนที่ละน้อยจนเกิดเป็นร่องรอยขนาดใหญ่ การสึกหรอแบบขัดถูสามารถถูกแบ่งประเภทเป็นการสึกหรอ (Abrasion) และการกัดกร่อน (Erosion) แต่สำหรับการสึกหรอสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวจากการที่มีของแข็งที่มีขนาดเล็ก ๆ ปะทะกับผิวหน้าของชิ้นงาน คือ 1. การสึกหรอจากการขีดข่วน (Scratching Abrasion) 2. การสึกหรอจากการเจียรไน (Grinding Abrasion) 3. การสึกหรอจากการเซาะร่อง (Gouging Abrasion) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 รูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดการสึกหรอจากการขีดข่วน [1]



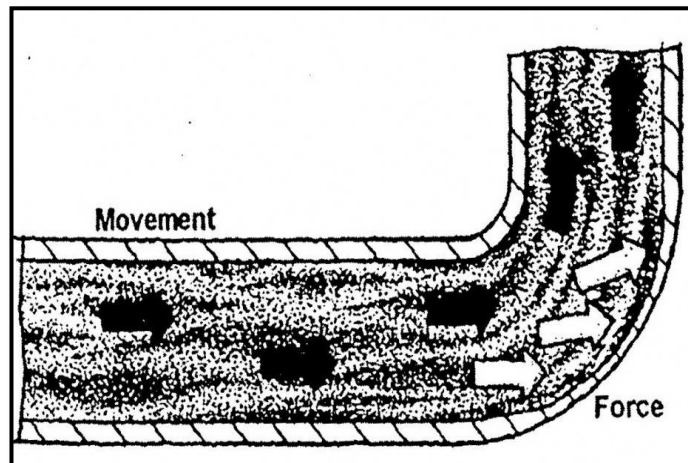
รูปที่ 2.4 ลักษณะการเกิดการสึกหรอจากการเจียรไน [1]



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดการสึกหรือจากการเซาะร่อง [1]

2.1.4 การสึกหรือแบบการกัดกร่อน (Erosion)

การสึกหรือแบบขัตุประเทการกัดกร่อนเกิดจากกลไกการสึกหรือของโลหะสาเหตุโดยจากการปะทะของของไหล เช่น การกระแทก แต่ในกรณีนี้เป็นการกระแทกของเหลวซึ่งมีทั้งที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิสูง ณ บริเวณที่ปะทะ จากการกระแทกของของเหลวส่งผลทำให้บริเวณผิวหน้ามีการสึกหรือทำให้ความหนาบริเวณที่ปะทะลดน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะการเกิดการสึกหรือแบบการกัดกร่อน [1]

2.2 การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear)

ปัญหาหลักที่ส่งผลทำให้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้เครื่องกวน (Agitator) และเครื่องผสม (Mixer) ต้องมีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาบ่อยครั้งทำให้โรงงานต้องเสียค่าใช้จ่าย ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) สำหรับการเกิดการสึกหรอแบบขัดถูนั้นมีหลายชนิด โดยในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้เครื่องกวน (Agitator) และเครื่องผสม (Mixer) จะเกิดการสึกหรอแบบขัดถูชนิดที่เกิดจากความเค้นต่ำ (Low Stress Scratching) ที่พบบ่อยมากที่สุด การสึกหรอจะเกิดจากส่วนประกอบซึ่งเป็นวัตถุดิบของการผลิต เช่น กรณีในการผสมอาหารสัตว์มีการนำสารอาหารต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นผงมาผสมกัน ส่งผลทำให้เกิดการสึกหรอเกิดขึ้นโดยผงทำนมาผสมจะปะทะกับผิวหน้าของชิ้นส่วนใบกวนของเครื่องกวนหรือเครื่องผสมทำให้ผิวหน้าชิ้นส่วนใบกวนเกิดเป็นรอยข่วนและเป็นร่องโดยเริ่มทำให้ผิวที่เป็นรอยข่วนค่อย ๆ ทำให้เนื้อบริเวณที่โดนปะทะหายไปทีละน้อย จนเกิดเป็นร่องรอยขนาดใหญ่ตามลักษณะสิ่งที่ทำมาปะทะ การจัดประเภทของการสึกหรอแบบขัดถูที่พบในอุตสาหกรรมในสภาวะการทำงานต่างๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดหลัก ตามแบบของ Avery [2] คือ

2.2.1 การสึกหรอจากการเจาะร่อง (Gouging Abrasion)

การสึกหรอขั้นรุนแรงจากการชนของอนุภาคหรือวัตถุแข็งหรือการสึกหรอแบบการเจาะร่อง (Gouging Abrasion) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 คือ การสึกหรอแบบขัดถูที่เกิดจากความเค้นสูงมาก มักมีแรงปะทะ (Impact Force) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ผิวที่สึกหรอจะมีลักษณะสึกเป็นร่องใหญ่สามารถมองเห็นได้ค่อนข้างชัดเจน การสึกหรอแบบการเจาะร่องเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่มีความแข็งและความเป็นสารขัด (Abrasive) สูงเข้ามาตัดเฉือนที่ผิวของชิ้นงานด้วยแรงตัดเฉือนที่สูงพอจะทำให้ผิวของชิ้นงานถูกขูดหรือขูดเป็นร่องและมีเศษของการสึกหรอนขนาดใหญ่หลุดออกมา เมื่อสังเกตที่ผิวชิ้นงานจะพบร่องขูดที่เรียกว่า ร่อง (Gouge) มีอยู่เป็นจำนวนมาก การสึกหรอแบบการเจาะร่องสามารถเกิดได้ทั้งที่ความเร็วปะทะค่อนข้างต่ำ เช่น ที่ผิวหัวตักของเครื่องขุด (Digger) เมื่อขุดดินก้อนหิน หรือเกิดที่ความเร็วสูง เช่น ที่ผิวแท่นบดในเครื่องย่อยหิน เป็นต้น

2.2.2 การสึกหรอแบบขัดถูที่เกิดจากความเค้นสูงหรือการสึกหรอจากการเจียรไน (High Stress or Grinding Abrasion)

การสึกหรอแบบขัดถูที่ความเค้นสูงหรือการสึกหรอจากการเจียรไน (High Stress or Grinding Abrasion) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เกิดจากการที่ผิวสองผิวขัดถูกันที่ความเค้นสูงจนกะเทาะหลุดออกมาเป็นเศษผงที่จะไปทำให้เกิดการสึกหรอต่อไปได้อีก ถึงแม้ว่าในสภาวะการสึกหรอจะดูเหมือนไม่มีความเค้นสูงมากกระทำที่ผิวแต่ถ้าความเค้นเฉพาะที่จุดสัมผัสสูงมากพอเรียกว่า การสึกหรอแบบขัดถูที่ความเค้นสูงเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ในหม้อบดโดยใช้ลูกบด ถ้าความเค้นที่จุดสัมผัสระหว่างผนังหม้อ

บดและลูกบดมีค่าสูงเกินค่าความแข็งแรงต่อการบดของลูกบด (Crushing Strength) จะทำให้ลูกบดแตกหรือทำให้ผิวลูกบดเกิดการสึกหรอขึ้น เศษของลูกบดที่แตกจะทำให้เกิดการสึกหรอต่อไป

2.2.3 การสึกหรอแบบขัดถูที่เกิดจากความเค้นต่ำหรือการสึกหรอจากการขีดข่วน (Low Stress Scratching or Scratching Abrasion)

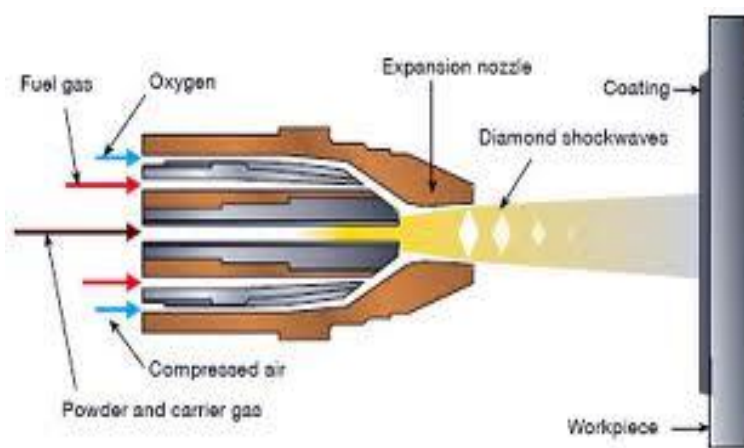
การสึกหรอแบบขัดถูที่เกิดจากความเค้นต่ำหรือการสึกหรอจากการขีดข่วน (Low Stress Scratching or Scratching Abrasion) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 หมายถึง การสึกหรอในกรณีที่มีความเค้นที่จุดสัมผัสมีค่าต่ำกว่าค่าความแข็งแรงของอนุภาคที่เข้ามาขัดถูให้เกิดการสึกหรอ การสึกหรอลักษณะนี้จะเกิดในสถานะที่อนุภาคแข็งขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ โดยอนุภาคแข็งขนาดเล็กวิ่งเข้ามาปะทะผิวชิ้นงานทำให้มีการชนระหว่างอนุภาคแข็งและผิวชิ้นงานที่ความเค้นต่ำเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในท่อลำเลียงทรายหรือสารละลาย ปัม และอุปกรณ์พ่นทราย เป็นต้น โดยทั่วไปแรงในการปะทะจะค่อนข้างต่ำเพราะอนุภาคแข็งมีขนาดเล็กมาก ยกเว้นถ้าอนุภาคแข็งไปเกาะตัวกับสิ่งปลอมปนขนาดใหญ่ในอากาศหรือของเหลวก็จะมีมวลสูงขึ้นซึ่งจะทำให้แรงในการปะทะสูงขึ้นได้ ดังนั้น

2.3 กระบวนการสร้างผิวแข็งสำเร็จ (Hard Surface Finish Processes)

การป้องกันการสึกหรอของชิ้นงานมีด้วยกันหลากหลายทางเลือก ทางเลือกหนึ่งคือ การเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการสร้างผิวแข็งสำเร็จให้กับชิ้นงานเฉพาะที่พื้นผิวภายนอกเท่านั้น เนื่องจากการสึกหรอมักจะเริ่มเกิดจากผิวภายนอกทั้งสิ้น ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานหนึ่ง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ความแข็งและความลื่นของผิวชิ้นงาน โดยความแข็งจะช่วยลดการเปลี่ยนรูปของผิวชิ้นงานและความลื่นจะช่วยลดแรงเสียดทาน นอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความต้านทานการกัดกร่อนและความต้านทานการล้าตัวก็อาจมีผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอด้วยในบางกรณี ทำให้ในบางครั้งอาจต้องเพิ่มคุณสมบัติบางตัวร่วมด้วย เช่น ความต้านทานการกัดกร่อน เป็นต้น [2] สำหรับในงานวิจัยเล่มนี้ปัญหาหลักคือ การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive wear) ชนิดที่เกิดการสึกหรอแบบขัดถูที่เกิดจากความเค้นต่ำหรือการสึกหรอจากการขีดข่วน ซึ่งเป็นปัญหาหลักในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้เครื่องกวน (Agitator) และเครื่องผสม (Mixer) โดยใช้วิธีการเพิ่มความต้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการสร้างผิวแข็งสำเร็จเพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเครื่องกวนและเครื่องผสม ซึ่งวิธีการการเพิ่มความต้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการสร้างผิวแข็งสำเร็จนั้นมีอยู่หลายวิธีในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการที่นำมาใช้ในงานวิจัยเล่มนี้เท่านั้น

2.3.1 กระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูง (High Velocity Oxy Fuel Spraying; HVOF)

กระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูงเป็นส่วนหนึ่งของกรรมวิธีการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal Spraying) โดยกรรมวิธีการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ตามแหล่งพลังงาน (Source) ที่ใช้หลอมวัสดุเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งกระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูงใช้เปลวไฟ (Flame) เป็นแหล่งพลังงานในการหลอมวัสดุเคลือบ โดยความร้อนจะต้องสูงเพียงพอจนวัสดุเคลือบสามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวหรือเป็นของแข็งกึ่งเหลวได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงใช้แรงดันก๊าซพ่นวัสดุเคลือบที่กำลังหลอมเหลวให้เป็นฝอย อนุภาคหลอมเหลวของวัสดุเคลือบเมื่อถูกดันไปปะทะกับผิวชิ้นงานจะแผ่แบนออกบนผิวตามแรงอัด (คล้ายน้ำหยดลงพื้น) และจะแข็งตัวอย่างเฉียบพลันตามรูปร่างของพื้นผิว เนื่องจากชิ้นงานมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำจึงสามารถดึงความร้อนออกจากอนุภาคหลอมเหลวได้อย่างรวดเร็ว อนุภาคแบนที่แข็งตัวบนผิวจะเรียกว่า Splat ซึ่งมีลักษณะแบน ๆ เมื่อ Splat มาทับถมกันหลายชั้น โครงสร้างผิวเคลือบที่ได้จึงมีลักษณะเป็นชั้น ๆ ที่เรียกว่าโครงสร้างแบบ Lamellar สำหรับแรงยึดเกาะของผิวพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูงจะเกิดจากการยึดเกาะทางกล (Mechanical Locking) ระหว่าง Splat กับผิวชิ้นงานทั้งสิ้น เช่น การที่ผิวเกี่ยวกันไว้หรือมีแรงเสียดทานระหว่างผิว เป็นต้น การยึดเกาะทางเคมีและการแพร่ของอะตอมเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้น การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนการพ่นเคลือบเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะทางกลจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ [3]

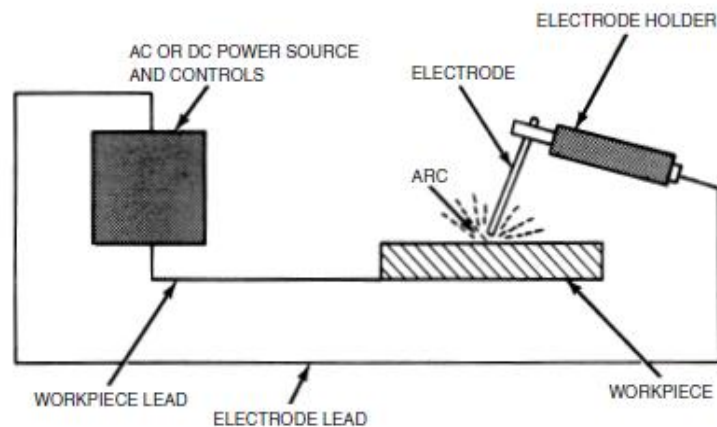


รูปที่ 2.7 กระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวเพลิงความเร็วสูง [3]

2.3.2 กระบวนการเชื่อมอาร์กถวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW)

กระบวนการเชื่อมอาร์กถวดหุ้มฟลักซ์คือ กระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลายที่อาศัยความร้อนจากการอาร์คระหว่างถวดเชื่อมและโลหะงาน ช่วงเริ่มต้นขณะที่โลหะเดิมสัมผัสกับชิ้นงานเกิดการ

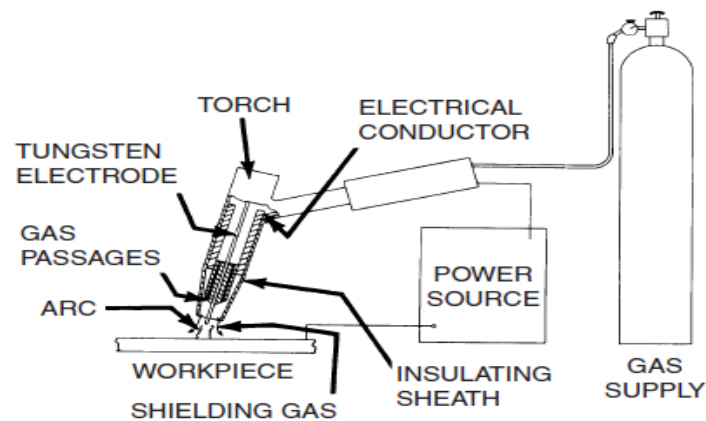
ลัดวงจร ความร้อนในช่วงนี้จะทำให้ส่วนหนึ่งของฟลักซ์แตกตัวเป็นแก๊ส แก๊สดังกล่าวจะมาแทนที่อากาศที่อยู่โดยรอบบรรยากาศของการเชื่อม ขนาดความต่างศักย์ระหว่างลวดเชื่อมและโลหะงานร่วมกับความร้อนดังกล่าวข้างต้นนั้นมากพอที่จะทำให้แก๊สปกคลุมแตกตัวอีกครั้งเป็นแก๊สร้อนที่มีประจุ ทำให้บรรยากาศขณะเชื่อมเป็นสถานะพลาสมา ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ ในสถานะนี้อิเล็กตรอนจะวิ่งจากลบไปบวก ในกรณีที่ต่อขั้วไฟฟ้าให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวกจะทำให้ความร้อนเกิดที่ลวดเชื่อมมาก ลวดเชื่อมหลอมละลายลงด้านล่างเกิดเป็นบ่อหลอมละลาย การถ่ายโอนน้ำโลหะจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในกรณีต้องการมากกว่าการประสานวัสดุให้ติดกัน เช่น การพอกผิวแข็ง อาจเลือกใช้โลหะเดิมที่มีธาตุโคบอลเป็นหลัก เมื่อรวมกับอัตราการเย็นตัวสูงจากการเชื่อมจะทำให้ผิวของเนื้อเชื่อมที่ได้แข็งแรงขึ้น [4]



รูปที่ 2.8 ภาพรวมของกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์ [4]

2.3.3 กระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุม (Gas Tungsten Arc Welding; GTAW)

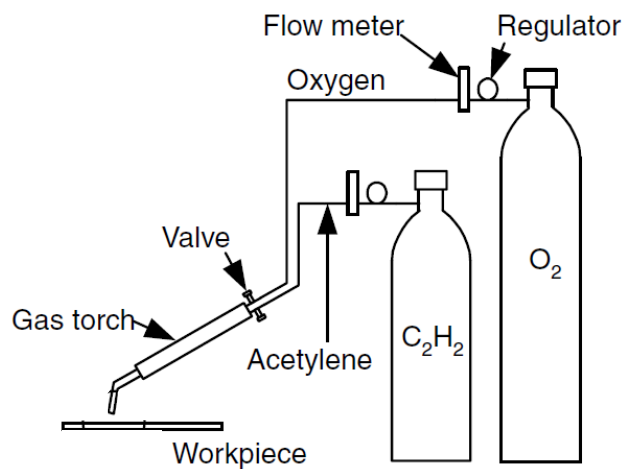
กระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สคลุมคือ กระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย โดยอาศัยความร้อนจากการอาร์กระหว่างแท่งทังสเตนและโลหะงานมาใช้หลอมละลายโลหะงานและโลหะเดิมเป็นเนื้อเชื่อม บรรยากาศขณะเชื่อมจะถูกปกคลุมด้วยแก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน เป็นต้น ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ฟลักซ์ รอยเชื่อมที่ได้จากกระบวนการเชื่อมนี้จึงค่อนข้างสะอาด ไม่มีเม็ดโลหะและสแลกฝังใน เนื่องจากกระบวนการเชื่อมนี้ลวดทังสเตนทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าให้เกิดความร้อนเพียงอย่างเดียวทำให้เลือกใช้โลหะเดิมได้ตามความต้องการและสามารถกำหนดปริมาณธาตุเจือได้อย่างแม่นยำกว่ากระบวนการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลักซ์เพราะไม่ต้องคำนึงถึงผลกระทบจากฟลักซ์ จึงทำให้สามารถนำกระบวนการนี้ไปใช้กับการเชื่อมพอกผิวแข็งได้ [4]



รูปที่ 2.9 ภาพรวมของกระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนเลสและเหล็ก [4]

2.3.4 กระบวนการเชื่อมประสานหรือการบัดกรีแข็ง (Brazing)

การเชื่อมประสานคือ กระบวนการประสานรอยต่อโดยที่วัสดุไม่เกิดการหลอมละลาย สิ่งที่หลอมละลายจะมีเพียงโลหะเติมที่เป็นตัวประสานเท่านั้น แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักตามจุดหลอมละลายของโลหะเติม หากโลหะเติมหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงกว่า 450 องศาเซลเซียส จะเรียกเป็นการเชื่อมประสานหรือการบัดกรีแข็งและหากโลหะเติมหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียสจะเรียกเป็นการบัดกรีหรือการบัดกรีอ่อน เมื่อโลหะเติมหลอมเหลวจะแทรกตัวเข้าไประหว่างรอยต่อด้วยปฏิกิริยาท่อเล็ก (Capillary Attraction) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเชื่อมประสาน เช่น ชนิดของวัสดุงาน ชนิดของโลหะเติม ลักษณะของรอยต่อ ระยะห่างระหว่างรอยต่อ และสภาพผิวของรอยต่อ [4, 5]



รูปที่ 2.10 ภาพรวมของกระบวนการเชื่อมประสาน [5]

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุโลหะผสมกลุ่มโคบอลต์ (Cobalt Base Alloys)

โดยทั่วไปโลหะผสมกลุ่มโคบอลต์มีความสามารถต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistant) ต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistant) และต้านทานความร้อน (Heat Resistant) นอกจากนี้โลหะผสมกลุ่มโคบอลต์สามารถคงค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงได้ คุณสมบัติของโลหะผสมกลุ่มโคบอลต์เป็นผลมาจากผลึกธรรมชาติของโคบอลต์ โดยความแข็งแรงแบบการละลายของแข็ง (Solid-Solution Strengthening) เป็นผลที่เกิดจากโครเมียม (Cr) ทังสเทน (W) และ โมลิบดีนัม (Mo) ที่จะมีการรวมตัวกับคาร์บอน (C) กลายเป็นโลหะคาร์ไบด์ และการต้านทานการกัดกร่อนได้จากคุณสมบัติของโครเมียม สำหรับระดับความแข็งแรงจะถูกใช้สำหรับการต้านทานการสึกหรอ [6]

2.4.1 การแบ่งประเภท

วัสดุโลหะผสมกลุ่มโคบอลต์ (Cobalt-Base Alloys) สามารถแบ่งประเภทตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้ [6]

1. High - Carbon Alloys เหมาะสำหรับการใช้งานในสถานะที่ต้องการสมบัติความต้านทานการสึกหรอ (Wear Resistance)
2. Low - Carbon Alloys เหมาะสำหรับการใช้งานสถานะการใช้งานในที่มีอุณหภูมิสูง (High-Temperature Service)
3. Low - Carbon Alloys เหมาะสำหรับการใช้งานในที่มีสถานะการกัดกร่อน (Corrosion) หรือ สถานะการกัดกร่อนและการสึกหรอ (Wear) เกิดขึ้นพร้อมกัน

วัสดุโลหะผสมกลุ่มโคบอลต์สำหรับใช้งานในสถานะที่ต้องการสมบัติความต้านทานการสึกหรอสามารถแบ่งตามโครงสร้างของเฟสที่ผสมอยู่ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังต่อไปนี้ [2]

1. โคบอลต์อัลลอยที่มีเฟสของสารประกอบคาร์ไบด์ผสมอยู่ (Carbide Containing Alloys) คือ โคบอลต์อัลลอยที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูง เช่น โคบอลต์อัลลอยที่มี Co - Cr - W - C (มีชื่อทางการค้าว่า Stellite 6 และ Stellite 6B) ซึ่งจะเกิดเฟสคาร์ไบด์แข็งของโลหะต่าง ๆ ระหว่างการเย็นตัวมาที่อุณหภูมิห้อง เฟสคาร์ไบด์ทำให้โลหะผสมมีความแข็งแรงสูงขึ้นสามารถต้านทานทั้งการสึกหรอแบบขัดถูและการสึกกร่อนได้ดี ใช้ได้ทั้งในรูปของผิวแข็งสำเร็จและวัสดุแท่งตัน
2. โคบอลต์อัลลอยที่มีเฟสเลฟส์ผสมอยู่ (Alloys Containing Laves Phase) คือ โคบอลต์อัลลอยที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำมากจนไม่สามารถเกิดเป็นเฟสคาร์ไบด์แข็งได้ แต่จะเกิดเป็นสารประกอบโลหะแข็งเฟสเลฟส์ (Laves Phase) แทนโคบอลต์อัลลอย เฟสเลฟส์ที่มีใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ อัลลอย Co - Mo - Cr - Si (มีชื่อทางการค้าว่า Tribaloy) โดยชนิด

ที่มีเปอร์เซ็นต์ Cr สูงกว่ามีความต้านทานการกัดกร่อนที่ดีกว่าชนิดที่มีเปอร์เซ็นต์ Cr ต่ำ อัลลอยที่มีวัตถุประสงค์ตั้งต้นเป็นผงสามารถใช้สำหรับการหล่อขึ้นรูปหรือพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน โลหะผสมกลุ่มนี้สามารถต้านทานการสึกหรอและกัดกร่อนได้ที่อุณหภูมิถึง 1,000 องศาเซลเซียส

2.5 สมบัติเบื้องต้นของลวดเชื่อมและลวดเติม Stellite 6

งานวิจัยเล่มนี้ใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ECoCr-A และ ลวดเติม ERCoCr-A มีชื่อทางการค้าคือ Stellite 6 เป็นลวดเชื่อมและลวดเติมกลุ่มโคบอลต์สำหรับการเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing)

เนื้อเชื่อมที่ถูกเติมลงไปของลวดเชื่อมและลวดเติม Stellite 6 จะมีลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างไฮเปอร์ยูเทคติก (Hypereutectic Structure) ซึ่งโครงสร้างนี้จะประกอบด้วยเครือข่ายของยูเทคติกโครเมียมคาร์ไบด์ (Eutectic Chromium Carbides) ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ที่แพร่กระจายในโครงสร้างเนื้อพื้น (Matrix) ที่เป็นสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ที่ประกอบด้วย โคบอลต์ (Co) โครเมียม (Cr) และทังสเตน (W) เป็นต้น ส่งผลให้เนื้อเชื่อมสามารถต้านทานการสึกหรอแบบขัดถูที่มีความเค้นต่ำได้ควบคู่กับสามารถต้านทานต่อความแกร่ง (Toughness) ที่จำเป็นได้ในระดับหนึ่งและสามารถคงความแข็งได้ที่อุณหภูมิ โดยสามารถรักษาค่าความแข็งเดิมได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 650 องศาเซลเซียส (1200 องศาฟาเรนไฮต์) [7]

2.6 สมบัติเบื้องต้นของลวดเชื่อมและลวดเติม 309L

งานวิจัยเล่มนี้ใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ E309L-16 และ ลวดเติม ER309L ซึ่งเป็นลวดเชื่อมกลุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิมประเภทออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steels) สำหรับการเชื่อมเป็นชั้นรองพื้น (Buttering Layer)

โดยทั่วไปส่วนผสมของเนื้อเชื่อมที่ถูกเติมจะมี 23.5 wt% Cr และ 13 wt% Ni ซึ่งจะมีปริมาณของคาร์บอน (C) ได้มากที่สุดคือ 0.04 wt% C โดยปกติระดับเฟอร์ไรท์ (Ferrite Levels) ใหญ่กว่า 8 FN ทำให้ช่วยลดโอกาสการเกิดการกัดกร่อนตามบริเวณขอบเกรน (Intergranular Corrosion) เนื่องจากการตกผลึกของคาร์ไบด์ตามบริเวณขอบเกรน โดยไม่จำเป็นต้องใช้ในโอเบียม (Niobium; Nb) หรือไทเทเนียม (Titanium; Ti) ซึ่งลวดเชื่อมและลวดเติม 309L มีปริมาณของคาร์บอนน้อยทำให้ทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้น้อยกว่าเชื่อมและลวดเติม 309 หรือที่มีการเติมในโอเบียม โดยทั่วไปจะถูกใช้สำหรับการเชื่อมวัสดุต่างชนิดกัน ซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานเชื่อมสำหรับเป็นชั้นรองพื้น (Buttering Layer) ระหว่างวัสดุพื้นกับลวดที่ถูกเติมที่ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดรอยแตกหรือการไม่ยึดจับกันที่รอยต่อ

ระหว่างวัสดุพื้นกับลวดเดิมที่ถูกเดิมลงไป สำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ E309L-16 ตัวเลข 16 บ่งบอกถึงฟลักซ์ที่หุ้มแกนลวดนั้นจะมีการบรรจุธาตุช่วยต่อการแตกตัวเป็นไอออน เช่น โพแทสเซียม (Potassium) เพื่อที่จะทำให้การอาร์คเสถียรสำหรับการเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้าสลับ [7]

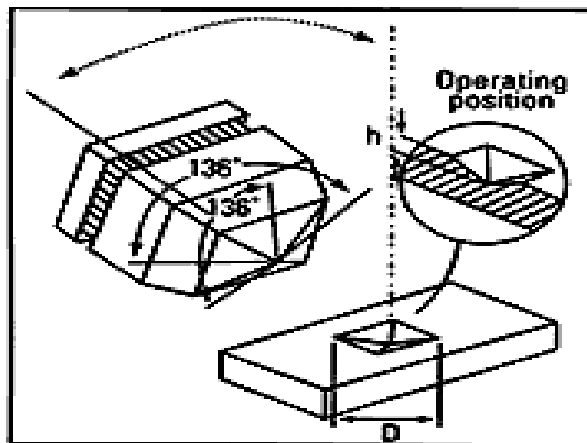
2.7 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers's Hardness Test)

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์เป็นการทดสอบความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก ซึ่งมีองศาของปลายแหลม 136 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และน้ำหนักกดที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 5-120 กิโลกรัม โดยจะเพิ่มครั้งละ 5 กิโลกรัม ซึ่งค่าความแข็งที่ได้คิดจากน้ำหนักกดที่กระทำต่อพื้นที่ของรอยกดทำให้สามารถหาค่าพื้นที่รอยกดได้ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมเพื่อหาพื้นที่ของรอยกดตามสมการที่ 2-1 หรือหาค่าประมาณของพื้นที่รอยกดได้ตามสมการที่ 2-2

$$\text{Area} = \frac{d_1^2}{2\sin\left(\frac{136}{2}\right)} \quad (2-1)$$

$$\text{Area} = \frac{d_1^2}{1.8544} \quad (2-2)$$

เมื่อ Area = ขนาดพื้นที่ของรอยกด (หน่วย: ตารางมิลลิเมตร)
 d_1 = เส้นทแยงมุมของรอยกด (หน่วย: มิลลิเมตร)



รูปที่ 2.11 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ [8]

ดังนั้น ค่าความแข็งแบบวิกเกอร์หัวกดเพชรพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Vickers Diamond Pyramid) จะคำนวณจากน้ำหนักที่กระทำกับผิววัสดุงานเทียบกับขนาดพื้นที่ของรอยกดดังแสดงในสมการที่ 2-3

[8] ค่าความแข็งที่ได้จะกำหนดให้อยู่ในหน่วย DPH (Vickers Diamond Pyramid Hardness) หรือ หน่วย HV (Vickers Hardness)

$$HV = \frac{1.854P}{d_1^2} \quad (2-3)$$

เมื่อ	HV	=	ความแข็งแบบวิกเกอร์ (หน่วย: วิกเกอร์)
	P	=	ขนาดของน้ำหนักกด (หน่วย: กิโลกรัมแรง)
	d ₁	=	เส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด (หน่วย: มิลลิเมตร)

ในการทดสอบจะนำชิ้นทดสอบวางบนแท่นแล้วปรับความสูงของแท่นจนชิ้นงานเข้าใกล้หัวกด จากนั้นปลดล็อกคานหน่วง ทำให้หัวกดสัมผัสกับชิ้นงานและมีแรงกดเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อปลดน้ำหนักออกแล้วจึงวัดขนาดของรอยกด ข้อดีของการทดสอบนี้คือการวัดขนาดของเส้นทแยงมุมจะแม่นยำกว่าการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งเป็นการวัดความแข็งของการทดสอบวิธีอื่น ๆ ข้อเสียคือ เสียเวลาเตรียมชิ้นทดสอบนานเพราะต้องทำการขัดเงาก่อนนำมาทดสอบ

2.8 การวัดปริมาณการสึกหรอ

การวัดปริมาณการสึกหรอสำหรับการทดสอบการต้านทานการสึกหรอแบบขัดถู อาศัยการคำนวณจากปริมาตรที่หายไปของชิ้นงานแต่ละชิ้นงานทดสอบในหน่วยลูกบาศก์มิลลิเมตร นำค่าปริมาตรที่หายไปของชิ้นงานมาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรที่หายไปของชิ้นงานเทียบกับเวลาหรือระยะทางของการทดสอบ เพื่อดูแนวโน้มอัตราการสึกหรอของชิ้นงานที่เกิดขึ้นภายหลังการทดสอบ โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาตรที่หายไป (Volume Loss) จากมวลน้ำหนักที่หายไป (Mass Loss) และความหนาแน่น (Density) ดังแสดงในสมการที่ 2-4 [9]

$$\text{Volume Loss (mm}^3\text{)} = \frac{\text{Mass Loss (g)}}{\text{Density (g/cm}^3\text{)}} \times 1000 \quad (2-4)$$

2.9 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Buchely และคณะ [10] ศึกษาเกี่ยวกับการสึกหรอแบบขัดถูของการเชื่อมพอกผิวแข็ง โดยทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของการเชื่อมพอกผิวแข็งที่ทำให้แข็งด้วยโครเมียมคาร์ไบด์ปฐมภูมิ (Primary Chromium Carbides) คาร์ไบด์ที่มีการแทรกตัวของธาตุ (Complex Carbides หรือ ทังสเทนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbides) ชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมพอกผิวแข็งคือ แผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน กระบวนการที่ใช้การเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing) คือ การเชื่อมอาร์กถวดหุ้ม

ฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW) การทดสอบการขัดถูดำเนินการโดยใช้เครื่อง Dry Sand-Rubber Abrasion ตามมาตรฐาน ASTM G65 ส่วนลักษณะทางโครงสร้างจุลภาคและพื้นผิวทำการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope; OM) และกล้องจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy; SEM) จากผลการทดลองพบว่า ความต้านทานการสึกหรอจะถูกกำหนดโดยขนาด รูปร่าง การกระจายและองค์ประกอบทางเคมีของคาร์ไบด์ ความต้านทานการขัดถูที่ดีที่สุดได้มาจากโครงสร้างที่ประกอบด้วย โครงสร้างพื้นแบบยูเทคติก (Eutectic Matrix) และคาร์ไบด์ปฐมภูมิชนิด M_7C_3 หรือ MC กลไกการสึกหรอหลักที่พบที่ผิวประกอบด้วย การตัดขนาดเล็ก (Micro-cutting) ของเมทริกซ์และการแตกแบบเปราะของคาร์ไบด์

Wilson และคณะ [11] ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการสึกหรอแบบการกระแทก ซึ่งมีการแนะนำเรื่องเกี่ยวกับขั้นตอนการทดสอบชิ้นงานซึ่งประกอบด้วยการทดสอบแบบ 1 ชั่วโมง (1-hour Test) และการทดสอบแบบหลายชั่วโมง (Multiple-hour Test) รวมไปถึงศึกษาการสึกหรอแบบการกระแทกในวัสดุที่มีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบปริมาตรที่หายไปของวัสดุกับเวลาที่ใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ในการสึกหรอแบบการกระแทกกับเวลาทดสอบที่มากขึ้น และอีกส่วนหนึ่งของงานวิจัยคือ การทดสอบวัสดุที่ใช้ในการกระแทกกับชิ้นงานทดสอบเพื่อศึกษาถึงวัสดุกระแทกที่แตกต่างกันว่าส่งผลกับชิ้นงานอย่างไร โดยได้ทำการศึกษาวัสดุกระแทกจำนวน 3 ชนิดคือ High-silica quartzite, Granitic Ore และ Limestone เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์กับการสึกหรอของชิ้นงานทดสอบ จากผลการทดสอบพบว่า ในการทดสอบที่เป็นแบบหลายชั่วโมงให้ผลที่เป็นจริงมากกว่า และให้ข้อมูลที่เสถียรมากกว่าทดสอบแบบ 1 ชั่วโมง ในการทดสอบวัสดุกระแทกชิ้นงานนั้นพบว่า High-silica quartzite จะให้อัตราการสึกหรอที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุกระแทกชนิดอื่น

Coronado และคณะ [12] ศึกษาผลกระทบของกระบวนการเชื่อมความต้านทานการสึกหรอแบบขัดถูสำหรับการเชื่อมพอกผิวแข็ง (Hardfacing) โดยนำผลสำหรับการเชื่อมพอกผิวแข็ง 4 ชนิดมาทำการทดลองเพื่อประเมินผล ใช้กระบวนการเชื่อมในพอกผิวแข็งที่แตกต่างกันคือ การเชื่อมอาร์กถวดไส้ฟลักซ์ (Flux Cored Arc Welding; FCAW) และการเชื่อมอาร์กถวดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW) ตัวแปรอื่น ๆ ของการทดสอบคือ จำนวนชั้นของแนวเชื่อมที่ถูกเติมเนื้อเชื่อม โดยการประเมินผลใช้ The Dry Sand-Rubber Wheel Machine ตามมาตรฐาน ASTM G65 สำหรับลักษณะของโครงสร้างจุลภาคและผิวของการสึกหรอจะทำการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) และกล้องจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) ผลจากการทดสอบพบว่า การใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กถวดไส้ฟลักซ์จะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอแบบขัดถูมากกว่าการเชื่อมอาร์กถวดหุ้มฟลักซ์ และยังพบอีกว่าการต้านทานการสึกหรอแบบขัดถูจะสูงมากขึ้นเมื่อเชื่อมแบบแนวเชื่อม 3 ชั้น ยกเว้นสำหรับการเชื่อม

อาร์กวดหุ้มฟลักซ์ด้วยลวดชนิดดี (SMAW-D) ซึ่งการต้านทานการสีกหรือแบบขัดถูสำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์กวดไส้ฟลักซ์ด้วยลวดชนิดบี (FCAW-B) มีความสามารถในการต้านทานการสีกหรือแบบขัดถูได้สูงที่สุด โครงสร้างจุลภาคจะประกอบด้วย โครงสร้างพื้นแบบยูเทคติก (Eutectic Matrix) กับคาร์ไบด์ที่มีไทเทเนียมอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งทำหน้าที่เป็นสิ่งขัดขวางอนุภาคที่มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดการสีกหรือแบบขัดถู