

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าคาร์บอนชุบแข็ง เกรด AISI 4140 [4]

เหล็กกล้าคาร์บอน AISI 4140 เป็นกลุ่มเหล็กกล้าผสมคาร์บอนความแข็งแรงสูงที่มีโครเมียมและโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมสำคัญมีส่วนผสม ดังนี้

Fe=97.3329%,S=0.011%,C=0.396%,Cr=0.915%,Si=0.215%,Ni=0.120%,Sn=0.011%,Mn=0.634%,
Mo=0.157%,Al=0.019%,Cu=0.167%

และอื่นๆในการเพิ่มความแข็งแรงมีความสามารถในการชุบแข็งเมื่อชุบแข็งแล้วจะมีค่าประมาณ 54 HRC มีความต้านทานต่อการสึกหรอและความเหนียวกว้างที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าเหล็กกล้าผสมคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนผสมใกล้เคียงกันและยังสามารถทำการชุบแข็งผิวเพื่อเพิ่มความแข็งแรงผิวได้เหล็กกล้าคาร์บอน AISI 4140 ไม่ควรใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 480 °C เนื่องจากความแข็งแรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังไม่ควรอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิ 230-370 °C เนื่องจากเหล็กกล้าจะมีความเปราะมากจากการเกิดบรูบริทเทิลเนส ดังนั้นจึงควรอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่านี้ การอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง จะทำให้เหล็กมีค่าการยืดตัว (ductility) ดีมากเพียงพอต่อการใช้งานทั่วไป

เหล็กกล้าคาร์บอน AISI 4140 [5] สามารถนำไปใช้งานสำหรับชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น เพลาข้อเหวี่ยง ข้อต่อก้านพวงมาลัย เพลาล้อ ก้านสูบ ดอกสว่านเจาะบ่อน้ำมัน ชิ้นส่วนปั๊ม น้ำ ท่อทนแรงดันสูง เฟืองเครื่องจักร หน้าจาน ประแจ ปากกาจับชิ้นงาน และยังมีนิยมนำมาใช้ทำชิ้นส่วนรถไฟ เพลาเครื่องจักร แกนกลางเครื่องอัด แกนกลางของแม่แรงไฮดรอลิก สกรูและน็อตสำหรับงานอุตสาหกรรมน้ำมัน รวมทั้งชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความแข็งแรงสูง คุณสมบัติของธาตุที่ใช้ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 4140 มีดังนี้

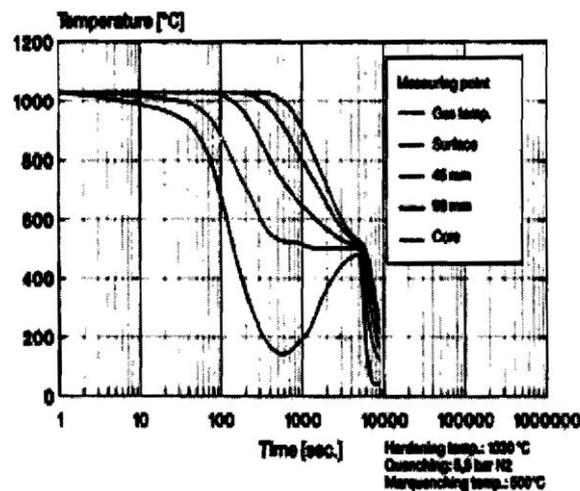
1. คาร์บอน (Carbon, C) เป็นสารที่ทำให้เหล็กมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและทนต่อการสึกหรอได้ดี จำนวนคาร์บอนในเหล็ก สามารถนำไปชุบแข็งได้
2. แมงกานีส (Manganese, Mn) เมื่อผสมลงในเหล็กกล้าจะทำให้เหล็กกล้าทนต่อแรงกระแทกได้ดี มีจุดหลอมละลายต่ำลงเพิ่มความเหนียวและทนต่อการสึกหรอได้
3. ซิลิกอน (Silicon, Si) ใช้เป็นตัวลดออกไซด์ในน้ำเหล็กเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรง
4. นิกเกิล (Nickel, Ni) เมื่อผสมลงในเหล็กกล้าจะทำให้มีความต้านทานการล้าตัว ทนต่อการกัดกร่อน มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ทนแรงกระแทกได้ดีมาก

5. โครเมียม (Chromium,Cr) เป็นสารที่นิยมนำมาผสมกับเหล็กกล้ามากโครเมียมจะรวมตัวกับคาร์บอนได้โครเมียมคาร์ไบด์ (Chromium Carbide) มีความแข็งแรงมากทนต่อการสึกหรอ มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กได้ดีเมื่อชุบแข็งจะทำให้ได้ความแข็งแรง รักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง

6. โมลิบดีนัม (Molybdenum,Mo) เมื่อผสมเข้าไปในเหล็กกล้าจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการชุบแข็งมากขึ้น ทนความร้อนได้สูง โดยไม่สูญเสียความแข็งแรงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดี

2.2 กรรมวิธีการชุบแข็ง (Hardening) [6]

การชุบเคลือบผิวและการชุบแข็งเป็นเทคโนโลยีที่มีมานานมีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงผิวชิ้นงานให้มีความแข็งแรงเพื่อทนต่อการสึกหรอ การเสียดสี ความร้อน รวมถึงป้องกันการกัดกร่อน การชุบเคลือบเป็นการเอาวัสดุมาเคลือบติดกับผิวชิ้นงาน ได้แก่ การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า การเคลือบผิวด้วยไอกายภาพและไอเคมี การทาสี การเคลือบสารแม่เหล็กลงบนแผ่นดิสก์ อุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทมักผ่านการชุบเคลือบทั้งสิ้น ได้แก่ อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี ตลอดจนชิ้นส่วนทางการแพทย์ส่วนการชุบแข็งเหล็กกล้าเป็นการทำให้เหล็กกล้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยการให้ความร้อนเพื่อทำให้เหล็กกล้าเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากนั้นจึงทำให้เย็นตัวลง โดยอัตราการเย็นตัวต้องเร็วพอที่จะทำให้เหล็กกล้าเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นมาร์เทนไซต์ซึ่งมีความแข็งแรงสูง



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโครงสร้างของเหล็กกล้า [6]

2.2.1 การชุบแข็งเหล็กกล้าแบ่งเป็น 2 วิธี

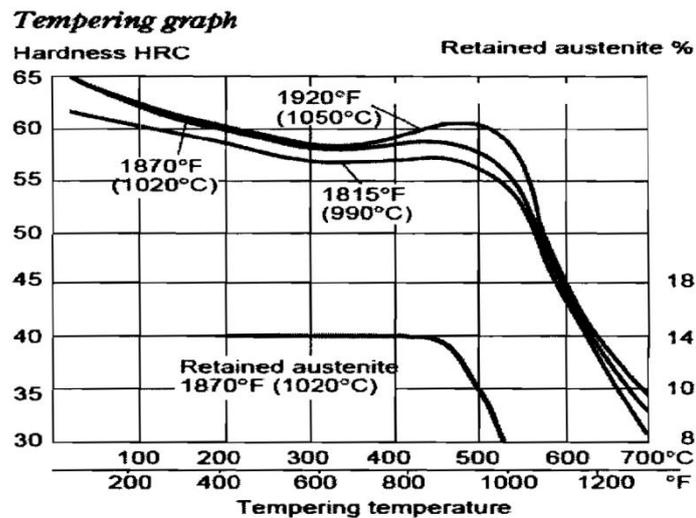
2.2.1.1 การชุบแข็งทั้งชิ้นงาน สามารถทำได้โดยการชุบโดยตรงในสารชุบ ซึ่งได้แก่ น้ำ น้ำเกลือ น้ำมัน ก๊าซไนโตรเจน หรือ อากาศขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็กกล้านั้นๆ การเลือกสารชุบ พิจารณาจากความร้อนในการเย็นตัวของเหล็กกล้าขณะชุบลงในสารชุบ ต้องสูงกว่าอัตราเย็นตัววิกฤติของเหล็กกล้าชนิดนั้นๆ เพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ นอกจากนี้ควรคำนึงถึง การเสียรูป การแตกร้าวซึ่งอาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานในขณะที่ชุบด้วยปัจจัยดังกล่าวทำให้ได้ความลึกของผิวแข็ง

2.2.1.2 การชุบผิวแข็ง เป็นการชุบแข็งชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานมีความแข็งเฉพาะผิว โดยบริเวณแกนกลางยังคงความเหนียวอยู่ชิ้นงานที่ผ่านการชุบจะทนต่อการเสียดสีและสามารถรับแรงกดอัดที่ผิวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผิวที่ผ่านการชุบแข็งยังสามารถป้องกันการแตกร้าวจากความล้าได้ดี การชุบผิวแข็งมีหลายวิธี ได้แก่ การชุบผิวแข็งด้วยเปลวไฟ การชุบผิวแข็งด้วยกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ การชุบผิวแข็งแบบคาร์บูไรซิ่ง การชุบผิวแข็งแบบคาร์โบไนไตรด์ดิ่ง การชุบผิวแข็งแบบไนไตรด์ดิ่ง ภายหลังการชุบแข็ง ต้องทำการตรวจสอบคุณภาพ ชิ้นงานชุบแข็งได้แก่ การเกิดออกซิเดชันที่ผิว การเสียรูป การบิดตัว การขยายตัว การหดตัวของชิ้นงาน การแตกร้าว นอกจากนี้ยังต้องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและวัดค่าความแข็งที่เกิดขึ้นด้วยการชุบเคลือบและการชุบแข็งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันบางกรณี อาจต้องใช้เทคโนโลยีหลายอย่างผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติของชิ้นงานที่ดีที่สุดและราคาถูกที่สุดซึ่งต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทั้งด้านเทคนิค เศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

2.2.2 กระบวนการชุบแข็ง [6]

เป็นกรรมวิธีทางความร้อนที่สร้างขึ้นเพื่อให้เหล็กกล้าหลังจากผ่านการชุบมีความแข็งเพิ่มขึ้นสามารถทนต่อการเสียดสีในขณะที่ใช้งาน

1. เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้โครงสร้างเหล็กเป็น Martensite (หรือ Bainite ขึ้นอยู่กับความแข็งสุดท้ายที่ต้องการ)
2. ลักษณะโครงสร้าง ความแข็งและความแข็งแรงของวัสดุที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งจะขึ้นอยู่กับอัตราการเย็นตัวที่เกิดขึ้นจริงในขั้นตอนของการชุบภายหลังจากการให้ความร้อนถ้าอัตราการเย็นตัวมีค่ามากกว่า (เร็วกว่า) อัตราการเย็นตัววิกฤติ โครงสร้างที่เกิดขึ้นจะมีเพียง Martensite แต่ถ้าอัตราการเย็นตัวน้อยกว่า (ช้ากว่า) อัตราการเย็นตัววิกฤติโครงสร้างบางส่วนที่เกิดขึ้นจะเป็นโครงสร้างที่อ่อน เช่น Ferrite Pearlite ทำให้การชุบแข็งเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์



รูปที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิในการทำ Tempering ต่อความแข็งแรงของเหล็กกล้า [6]

3. ขั้นตอนหรือกลไกในการดึงความร้อนในขั้นตอนของการชุบวัสดุหลังจากให้ความร้อนจนกลายเป็น Austenite หหมดแล้ว (Mechanism of Heat Removal during Quenching) จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหรือ 3 ช่วงด้วยกันได้แก่

- ช่วงที่ 1 (Stage A) : Vapor Blanket Cooling State
- ช่วงที่ 2 (Stage B): Vapor Transport Cooling State
- ช่วงที่ 3 (Stage C): Liquid Cooling State

ช่วงที่ 1 (Stage A) : การเย็นตัวผ่านไอของสารตัวกลางที่ปกคลุมชิ้นงาน (Vapor Blanket Cooling State) ในช่วงนี้ได้แก่ช่วงแรกที่นำวัสดุซึ่งร้อนจัดชุบ/จุ่ม/แช่ลงในตัวกลางที่ใช้ในการชุบ (Quenching Medium) ทำให้ตัวกลางที่สัมผัสกับผิวของชิ้นงานเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วกลายเป็นไอบางๆ ล้อมรอบตัวชิ้นงานในลักษณะคล้ายฟิล์มปกคลุมชิ้นงาน ในช่วงนี้การถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานจะเป็นในลักษณะของการนำความร้อน (Conduction) และการแผ่รังสี (Radiation) อย่างไรก็ตามเนื่องจากไอของตัวกลางที่ล้อมชิ้นงานอยู่จะมีค่าการนำความร้อนค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ช่วงแรกนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงานจึงมีค่าค่อนข้างต่ำ (ถ่ายเทความร้อนได้ช้า)

ช่วงที่ 2 (Stage B) การเย็นตัวผ่านการเคลื่อนที่ของไอของสารตัวกลาง (Vapor Transport Cooling State) ในช่วงนี้ฟิล์มของไอที่เกิดขึ้นเริ่มไม่เสถียรและจางลงจนทำให้ส่วนที่เป็นของเหลวสัมผัสกับผิวของชิ้นงาน ซึ่งถึงแม้ชิ้นงานจะมีอุณหภูมิลดลงจากช่วงแรก แต่อุณหภูมิของชิ้นงานก็ยังสูงพอที่จะทำให้ของเหลวเกิดการเดือดอย่างรุนแรง ความร้อนจะถูกดึงออกจากชิ้นงานในรูปของความร้อนแฝงของ

การกลายเป็นไอของสารตัวกลางโดยไอที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะระเหยออกไปอย่างรวดเร็วทำให้ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด(เร็วที่สุด)

ช่วงที่ 3 (Stage C) การเย็นตัวผ่านตัวกลางในสถานะของเหลว (Liquid Cooling State) เมื่ออุณหภูมิขึ้นงานลดต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารตัวกลางสารตัวกลางจะไม่สามารถกลายเป็นไอได้ต่อไปอีกดังนั้นในช่วงนี้การถ่ายเทความร้อนออกจากชิ้นงาน จะอาศัยกระบวนการนำความร้อน (Conduction) และการพาความร้อน (Convection) ผ่านตัวกลางที่อยู่ในสถานะของเหลวซึ่งทำให้อัตราระบายความร้อนค่อนข้างต่ำ (ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับช่วงอื่น)

2.3 กระบวนการชุบแข็ง เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 [4]

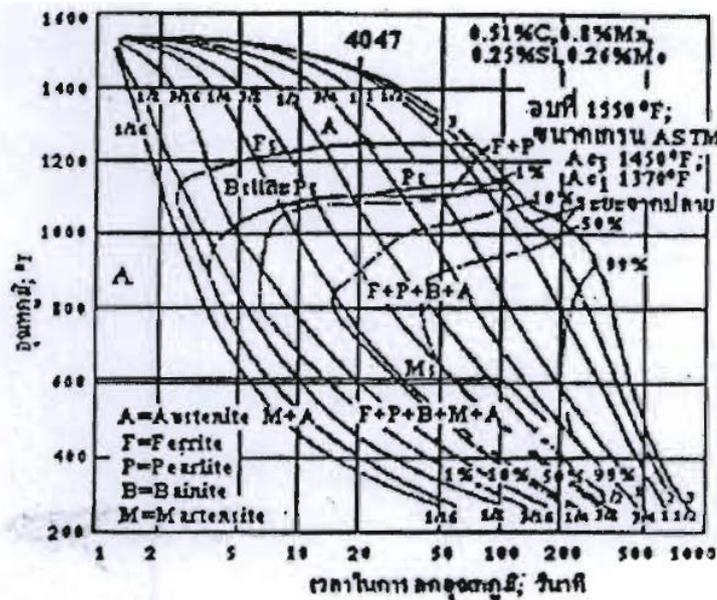
2.3.1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI4140

เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 เป็นเหล็กโครเมียมชนิด 0.5-0.95%Cr ที่มีโมลิบดีนัมผสมรวมอยู่ด้วยโดยปริมาณเล็กน้อยระหว่าง0.13-0.20%เหล็กเหนียวคาร์บอนจะมีความสามารถในการชุบแข็ง ความแข็งแรง และความสามารถทนทานต่อแรงเสียดสีค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าเปลี่ยนเหล็กที่โครเมียมผสมรวมอยู่ด้วยแม้ปริมาณคาร์บอนจะเท่ากัน โครเมียมจะทำให้เหล็กมีความสามารถดังกล่าวสูงกว่าเหล็กเหนียวคาร์บอน โมลิบดีนัมจะช่วยลดการเกิด Temper Brittleness ให้กับเหล็กที่มีโครเมียมผสมรวมอยู่ในการอบคืนไฟ(Tempered) ซึ่งจะเกิดกับเหล็กที่มีโครเมียมผสมเสมอ ดังตารางที่ 2.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีและการใช้งานของเหล็กในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด AISI 4140

ตารางที่ 2.1 เหล็กโครเมียม-โมลิบดีนัม ส่วนผสมทางเคมีและการนำไปใช้งาน [4]

AISI-SAE No.	ส่วนผสมทางเคมี				การใช้งาน
	% C	% Mn	% Cr	% Mo	
4118	0.18	0.80	0.50	0.13	ถึงบรรจุภัณฑ์ความดัน, ชิ้นส่วนอากาศยาน ชิ้นส่วนโครงสร้างเหล็กต่างๆ, เพลาขับรถยนต์, Steering Knuckle
4130	0.30	0.50	0.55	0.20	
4140	0.40	0.88	0.95	0.20	
4150	0.50	0.88	0.95	0.20	

เหล็กเหนียว Low Alloy Steel ที่มีโครเมียม-โมลิบดีนัม ผสมอยู่กับเนื้อเหล็กพร้อมกันจะทำให้เหล็กมีความสามารถในการชุบแข็งสูงกว่าเหล็กเหนียวคาร์บอนธรรมดา การที่เหล็กมีความสามารถในการชุบแข็งนี้ทำให้การชุบเหล็กสามารถทำให้การชุบให้เย็น โดยใช้น้ำมันแทนการทำให้เย็นด้วยน้ำเป็นข้อดี เนื่องจากน้ำมันมีความสามารถหรือมีกำลังในการดึงความร้อนของเหล็กออกจากเหล็กได้ไม่ดีเท่าน้ำ เป็นผลทำให้อัตราลดอุณหภูมิของเหล็กในน้ำมันช้ากว่าน้ำ ภาวะดังกล่าวทำให้เกิดความต่างอุณหภูมิระหว่างผิวเหล็กกับเนื้อภายในต่ำกว่า ทำให้ความเค้นตกค้างในเนื้อเหล็กน้อยกว่า จากการที่มีความเค้นตกค้างน้อยกว่านี้ทำให้การหดตัวและการขยายตัวของปริมาณของเหล็กในระหว่างการชุบน้อยกว่าตามไปด้วย ดังนั้นเหล็กจึงมีโอกาสแตกร้าวและการบิดน้อยกว่าการชุบให้เย็นด้วยน้ำ



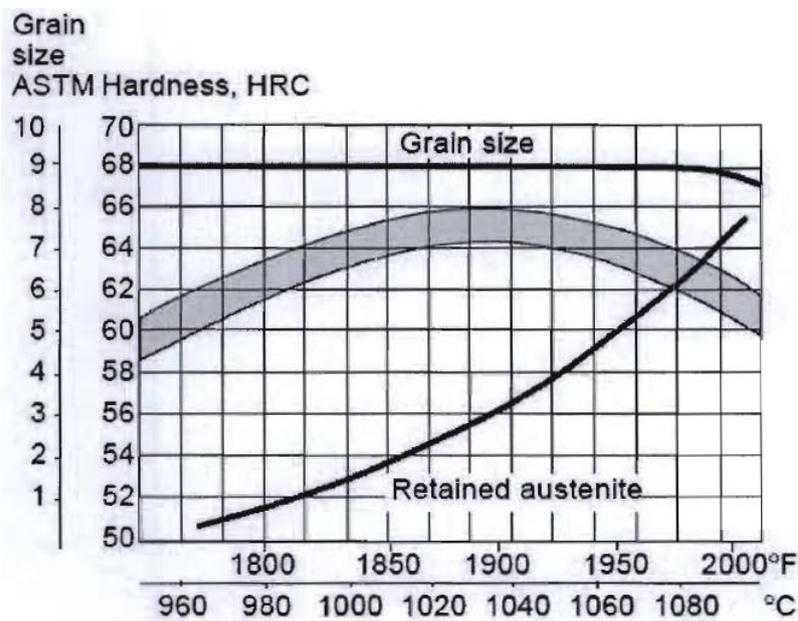
รูปที่ 2.3 C-C-T diagram ของเหล็ก 4140 [4]

ในที่นี้จะใช้เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4140 เป็นตัวแทนในการกล่าวถึงโครงสร้างของเหล็กในกลุ่มเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 ทั้งนี้เพราะเหล็กเบอร์นี้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางมาก โดยทั่วไปจะนิยมใช้เป็นชิ้นส่วนประกอบทั้งในเครื่องจักรกล และยานยนต์ต่างๆ โดยเฉพาะชิ้นส่วนที่มีความหนาหรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 40 มิลลิเมตร

2.3.2 กลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระหว่างการลดอุณหภูมิต่อเนื่อง

การที่มีโมลิบดีนัมผสมอยู่ในเนื้อเหล็กนั้น โมลิบดีนัมจะมีผลทำให้แผนภูมิ C-C-T Diagram ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4140 แสดงอยู่ในรูป 2.3 ขยับตัวไปทางขวามือมากขึ้นเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4140 เมื่อเหล็กดังกล่าวมีโครเมียมผสมรวมอยู่ด้วยผลกระทบบดังกล่าวจะยิ่งดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อปริมาณโครเมียมมากขึ้นถึง 0.7 % ผลกระทบบดังกล่าวจะทำให้ช่วงระยะเวลาที่

เหล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจาก Austenite Martensite และ Austenite Bainite ขยายกว้างยาวออก นอกจากนี้โครเมียมยังทำให้อุณหภูมิเริ่มเกิด Bainite(Bs) ชับต่ำลง พร้อมทั้งทำให้ความสามารถในการชุบแข็งของเหล็กสูงขึ้นตามปริมาณโครเมียมที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบ C-C-T Diagram ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4140 แสดงในรูป 2.3 กับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4047 จะเห็นได้ว่าการที่โครเมียมกับ โมลิบดีนัมผสมในเหล็กพร้อมๆกันจะขัดขวางการที่เนื้อเหล็กจะเปลี่ยนโครงสร้างจาก Austenite Pearlite ให้ช้าลงหรือยืดยาวนานออกไป เป็นผลทำให้เหล็กเกิดมีโครงสร้าง Bainite หรือ Martensite ได้ง่ายจะเป็นการลดอุณหภูมิทั่ว ๆ ไปก็ตาม



รูปที่ 2.4 แสดงค่าความแข็งที่อุณหภูมิ Austenitizing [6]

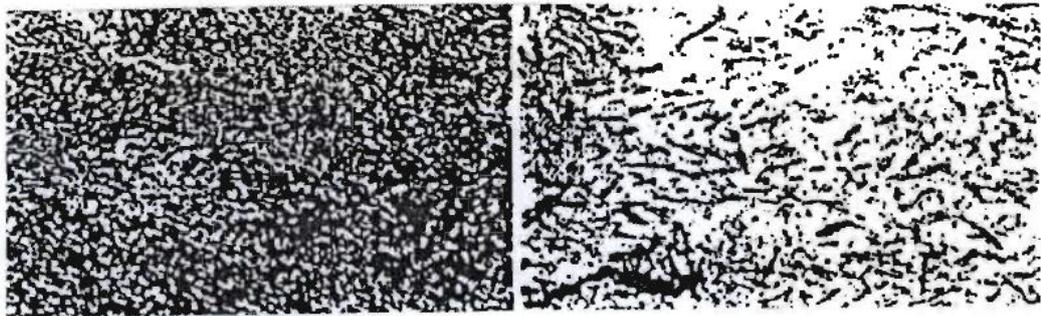
2.3.3 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140

เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 ที่ผ่านการ Annealed ที่อุณหภูมิ 840°C แล้วลดอุณหภูมิลงถึง 691°C ภายในเตาก่อนจะนำออกเย็นในอากาศ ซึ่งเป็นการทำ Full Annealing ใช้กับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4140 จะทำให้เนื้อเหล็กมีโครงสร้างจุลภาคที่ประกอบ Ferrite ที่แยกตัวออกจาก Austenite มีลักษณะเป็นกลุ่มๆติดต่อกัน(Blocky Ferrite) โดยมี Pearlite หยาบแทรกในพื้นที่จำกัดเฉพาะส่วนดังรูป 2.5



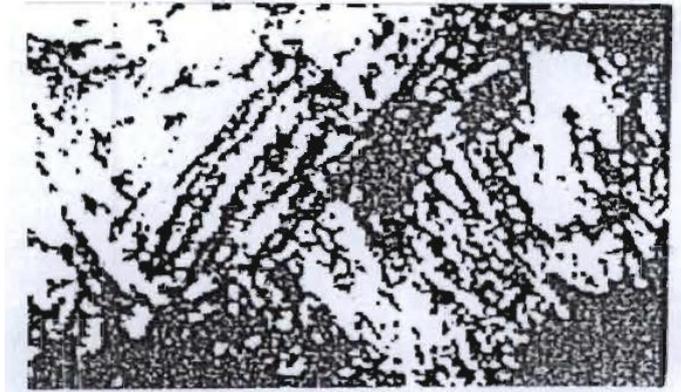
รูปที่ 2.5 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 อบทำ Full Annealing ที่ 845 °c [4]

โดยปล่อยอุณหภูมิให้ลดลงถึง 690°C แล้วอบแข็งที่อุณหภูมิ ดังกล่าวนาน 24 ชั่วโมง แล้วให้เย็นลงกับเตา โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย Ferrite + pearlite กัดด้วย 2% Nital[4]ถ้าชุบเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 ลงในน้ำมันจากระดับอุณหภูมิ 845°C เหล็กจะมีโครงสร้าง Martensite ดังรูป 2.6



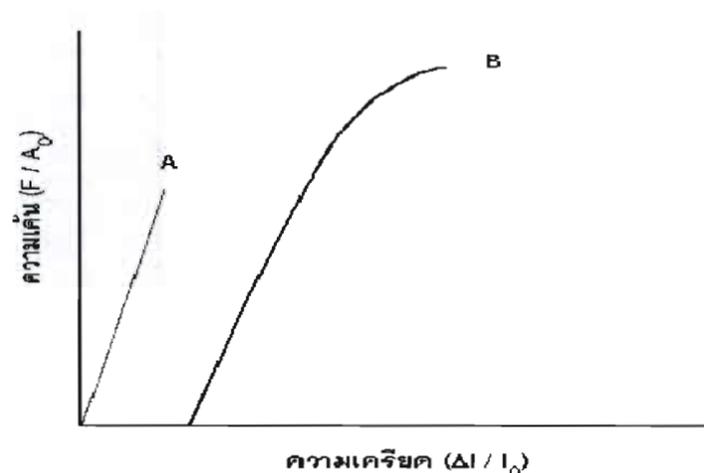
รูปที่ 2.6 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 หลังการชุบแข็งโดยอบที่ 843 °c [4]

โดยชุบเย็นในน้ำมัน โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย Martensite 2% Nital 880x(ขวา)เช่นเดียวกับภาพซ้าย นำกลับไปอบใหม่ที่ 315°C นาน 1 ชั่วโมง หลังการชุบโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย Tempered Martensite, 2% Nital 880x[4]เมื่อนำเหล็กกลับไปอบใหม่ที่ 315°C อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้ Martensite เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยคาร์บอนที่ละลายใน Martensite จะแยกออกจากสถานะสารละลายของแข็งที่อิ่มตัวยิ่งยวด หรือเปลี่ยนจาก High Carbon Martensite ไปเป็น Low Carbon Martensite ที่เรียกกันทางเทคนิคว่า Tempered Martensite ซึ่งมีลักษณะที่ละเอียดมากจนไม่สามารถจะมองเห็นได้จากกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา(Optical Microscope)ลักษณะที่มองเห็นจะเป็นพื้นที่สีเข้มต่อเนื่องกัน

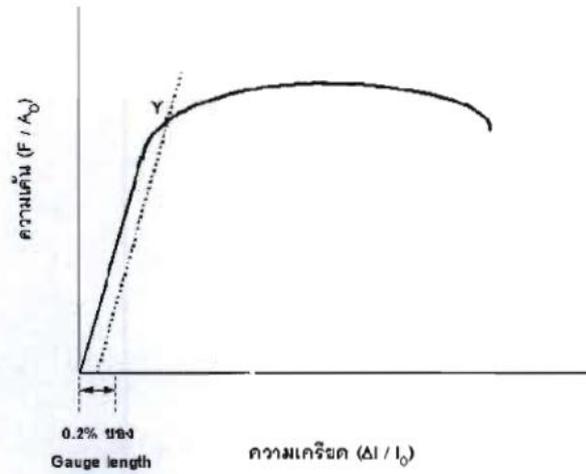


รูปที่ 2.7 โครงสร้าง Laths Martensite จากล่องจูลทรสน์อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด 4140 ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยน้ำมันจากอุณหภูมิ 834 °c และทำ Tempered ที่ 315 °c [4]

Krauss, Materkowsli และ Schupmann ได้ใช้ล่องจูลทรสน์อิเล็กตรอนชนิด Transmission Electron Microscope ทำการตรวจสอบโครงสร้าง Tempered Martensite ของ Low Alloy Steel ทำให้สามารถทราบรายละเอียดของโครงสร้างที่ละเอียดมากๆ ได้ดังรูปที่ 2.7 ที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI4140 ที่โครงสร้างจุลภาคเป็นกลุ่มของ Martensite ละเอียด เรียกว่า Laths Marten site ที่ผลึกของ Martensite จัดเรียงตัวขนานกัน โดยที่ผลึกจะมีการจัดตัวได้ในขอบเขตจำกัดและLaths ขนาดใหญ่ที่มีปริมาณมากมักจะจัดตัวในทิศทางเดียวกัน ดังรูป 2.7 หรือจัดเรียงต่างมุมกันน้อยมากจนอาจกล่าวได้ว่าผลึก Martensite ในกลุ่มเดียวกันจะจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

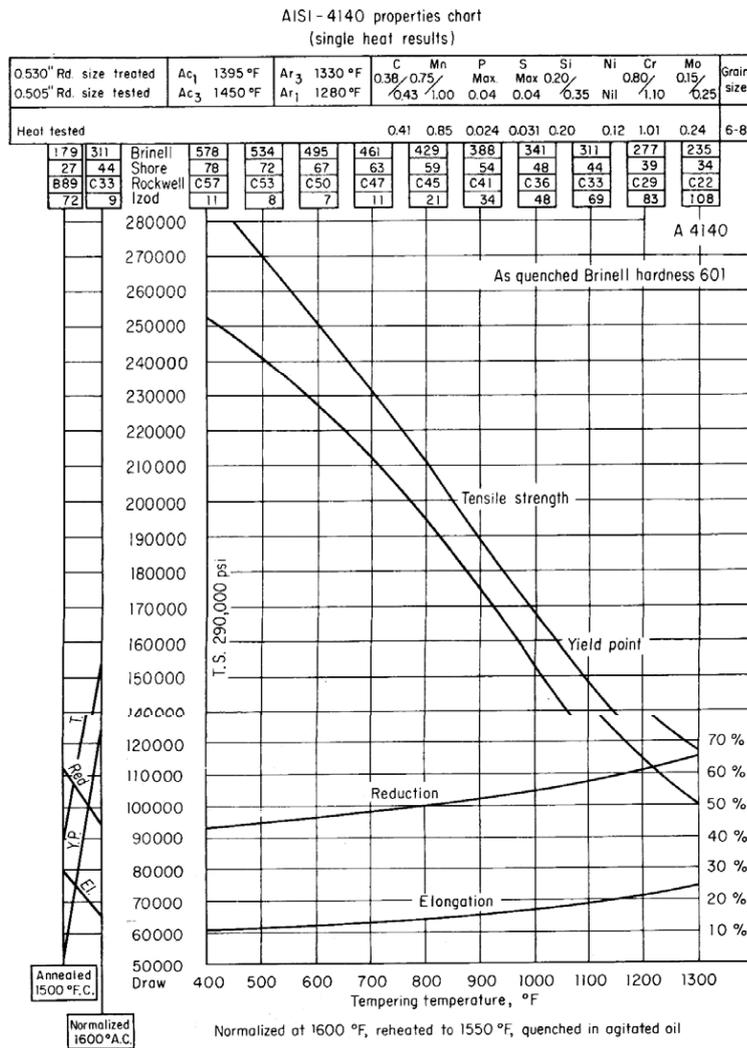


รูปที่ 2.8 แสดงกราฟความเค้น-ความเครียดของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการชุบแข็ง (A) และที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัว (B)[6]



รูปที่ 2.9 แสดงกราฟความเค้น-ความเครียดของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ผ่านการอบอ่อนและรีดปรับผิว (As Annealed & Skin Pass Rolled) [6]

2.3.4 คุณสมบัติทางกลเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 4140

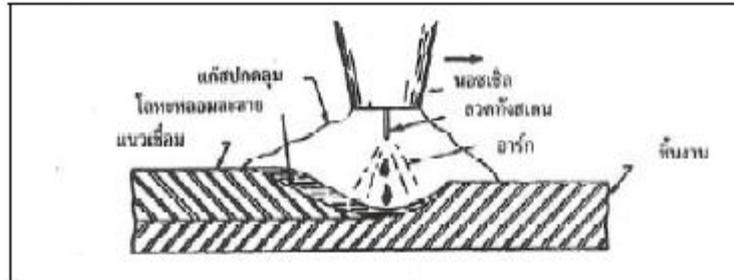


รูปที่ 2.10 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้า Cr-Mo-low alloy steel AISI 4140 หลังการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลด้วยการอบ-ชุบและ tempered ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆกัน [4]

2.4 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม (Gas Metal Arc Welding)

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม เป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมเส้นเปลือยขนาดเล็กจากม้วนลวดซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อม (Torch or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำลวดและท่อนำกระแส(Contact Tip) ลวดเชื่อมจะสัมผัสกับผิวท่อนำกระแสทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเชื่อม เมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวโลหะชิ้นงานจะเกิดการอาร์คขึ้นความร้อนจากอาร์คจะหลอมผิวโลหะชิ้นงานและปลายลวดเชื่อมให้เป็นหยด โลหะถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวของรอยเชื่อม ในขณะที่เดียวกันก๊าซจากท่อบรรจุจะไหลเข้าที่จ่ายสู่หัวฉีดพุ่งออกมาปกคลุมบ่อหลอมเหลว

และบริเวณรอบเปลวอาร์ค เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจนหรือก๊าซอื่นในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์คและโลหะที่กำลังหลอมเหลวก๊าซปกคลุมที่เลือกใช้ได้แก่ ก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) แอคทีฟก๊าซ (Active Gas) อันรีแอคทีฟก๊าซ (Unreactive Gas) และก๊าซผสม (Mix Gas) [7]



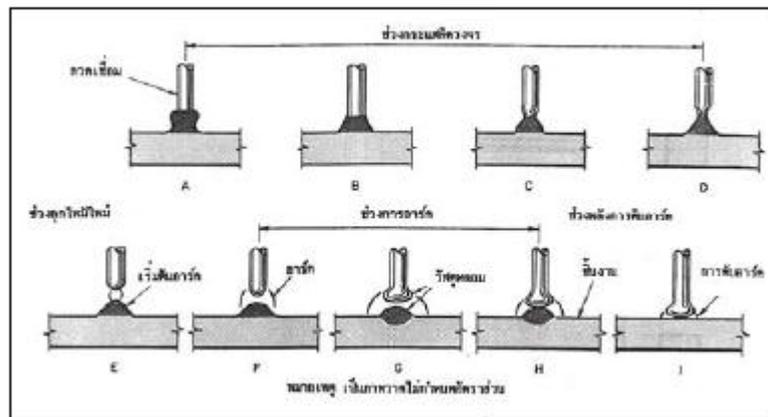
รูปที่ 2.11 แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม [8]

หลักการอาร์คในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม ความร้อนที่หลอมละลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานได้จากการอาร์คระหว่างปลายลวดเชื่อมเคลื่อนที่กับชิ้นงานเชื่อมการอาร์คจะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของก๊าซที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุลและอะตอมของก๊าซจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อีออนก๊าซที่เป็นบวก จะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ปริมาณความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่านโดยอิเล็กตรอนและยังคงส่งผ่านของอีออนบวก (Positive Ions) ความร้อนจากการอาร์คจะหลอมโลหะชิ้นงานและลวดเชื่อมปลายลวดเชื่อมส่วนที่หลอมเหลวจะถูกถ่ายโอน (Transfer) ผ่านการอาร์คเข้าสู่บ่อหลอมเหลวบริเวณกระทบความร้อน และลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมให้พ้นจากบรรยากาศรอบนอกโดยก๊าซที่ไหลพุ่งออกจากหัวนิต ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการอาร์คของกระบวนการนี้จะสูงกว่ากระบวนการอาร์คแบบอื่น [7]

2.4.1 การส่งถ่ายน้ำโลหะ (Metal Transfer) หมายถึง การที่ลวดเชื่อมได้รับความร้อนจนเกิดการหลอมตัว มีลักษณะคล้ายกับหยดน้ำแล้วหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านการอาร์คเข้าสู่บริเวณการหลอมละลายของโลหะชิ้นงาน ซึ่งการส่งถ่ายน้ำโลหะได้นั้นจะเกิดจากแรงกระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อม โดยมีปฏิกริยารวมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ชนิดของก๊าซปกคลุม กระแสไฟเชื่อม แรงดันเชื่อม ขนาดของลวดเชื่อม และแรงที่กระทำต่อหยดโลหะ

2.4.1.1 การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบลัดวงจร (Short Circuit Metal Transfer) วงจรการถ่ายโอนจะเริ่มขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงาน ถูกทำให้เกิดการอาร์คและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวด

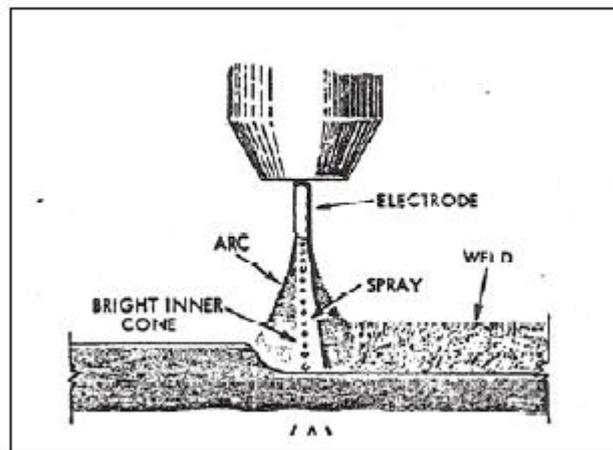
เป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมจะถูกป้อนเข้าสู่บ่อหลอมเหลวด้วยอัตราเร็วสูง ทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมเหลวก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุของการลัดวงจรไฟฟ้า (Short Circuit) การอาร์คจะดับไปชั่วขณะจังหวะที่ลัดวงจรอยู่นี้กระแสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเป็นหยดจะถูกกัดออกแล้วถ่ายโอนสู่บ่อหลอมเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว จากพฤติกรรมดังกล่าวหยดโลหะที่ปลายลวดจึงเปรียบเสมือนสะพานเชื่อมต่อระหว่างช่องว่างปลายลวดเชื่อมกับบ่อหลอมเหลวเมื่อหยดโลหะหยดแรกหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วก็จะเริ่มต้นอาร์คใหม่อีกครั้งหนึ่ง ขณะที่ลวดเชื่อมสัมผัสกับบ่อหลอมเหลวนั้น จะมีหน้าที่คล้ายกับฟิวส์ไฟฟ้าและเกิดการระเบิดเรียงต่อกันไปเพราะความหนาแน่นของกระแสสูง การระเบิดก่อให้เกิดช่องว่างอาร์ค (Arc Gap) ระหว่างปลายลวดเชื่อมกับผิวชิ้นงานเมื่อเริ่มต้นอาร์คใหม่ สถานะอย่างนี้จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันไปอย่างรวดเร็วมากคือ มีความถี่ของการลัดวงจรราว 20-200 ครั้งต่อวินาที



รูปที่ 2.12 แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบลัดวงจร [9]

2.4.1.2 การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบละออง (Spray Metal Transfer) กระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบละอองเกิดจากการหลอมของลวดเชื่อมเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก วงจรการถ่ายโอนจะเริ่มขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเหลวแล้วก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อม หยดโลหะจะรีวเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อมและจะแยกตัวหรือถูกกัดหลุดออก (Pinched Off) จากปลายลวดเชื่อมด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Forces) หยดโลหะถูกถ่ายโอนอย่างรวดเร็วลงสู่บ่อหลอมเหลวอย่างคงที่ ต่อเนื่องไปไม่หยุดตลอดเวลาที่กระแสเชื่อมยังไหลผ่านลวดเชื่อมอยู่ ปริมาณหยดโลหะที่ถ่ายโอนอาจต่ำกว่าหรือสูงกว่าเป็น

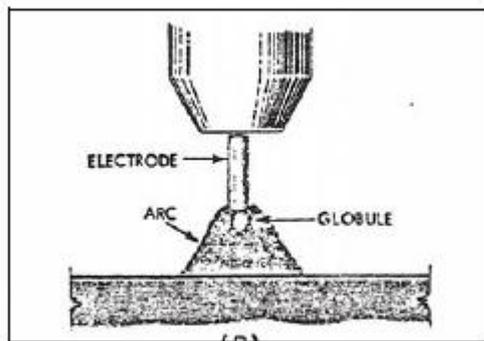
หลายร้อยหยดในเวลาหนึ่งนาทีกระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบละอองต้องใช้ความหนาแน่นกระแสสูง เพื่อลวดเชื่อมจะได้หลอมเป็นหยดขนาดเล็ก หยดโลหะที่มีขนาดเล็กนี้ไม่มีผลต่อเสถียรภาพของการอาร์ค เช่น กรณีการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่แต่อย่างใด การไหลพุ่งของหยดโลหะจึงเป็นเส้นตรงจากกลางปลายลวดเชื่อมสู่บ่อหลอมเหลว ทำให้กำหนดทิศทางการถ่ายโอนได้ตามต้องการ ปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูง แม้อลวดเชื่อมจะมีขนาดใหญ่ก็สามารถหลอมเป็นหยดขนาดเล็กได้ทันทีที่ส่งผลให้เกิดการซึมลึกของรอยเชื่อมมาก การถ่ายโอนโลหะแบบละอองใช้เชื่อมรอยต่อได้ทุกชนิดสามารถเชื่อมโลหะแผ่นหนาตั้งแต่ 3.2 มิลลิเมตรหรือหนากว่าขึ้นไปได้ ไม่เหมาะกับการเชื่อมโลหะแผ่นบางเพราะจะเกิดรอยหลอมทะลุ (Burn-Through) กระแสเชื่อมต้องสูงเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนแบบละอองระดับกระแสที่ใช้เปลี่ยนไปตามชนิดโลหะชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อมตั้งแต่ 1.6 มิลลิเมตร ถึง 2.4 มิลลิเมตร อัตราการเติมเนื้อโลหะสูง ลักษณะตะเข็บเชื่อมแบนราบและเรียบสนิท เชื่อมรอยต่อรูปที (T-Joint) ได้เฉพาะแนวราบและแนวระดับ



รูปที่ 2.13 แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบละออง [10]

2.4.1.3 การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบหยดขนาดใหญ่ (Globular Transfer) วงจรถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่ จะเริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเป็นหยดโลหะ และก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางลวดเชื่อมประมาณ 1.5-2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้วถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมากและความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร กระแสและแรงดันเชื่อมที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จะต่ำแต่ก็อยู่ในช่วงที่สูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจรคือ กระแสจะไม่เกินระดับของกระแสช่วงเปลี่ยน (Transition Current) โดยพิสัยของกระแสช่วงเปลี่ยนจะเพิ่มจากค่าต่ำสุด ขณะที่ปลายลวดเชื่อมกำลังหลอมไปถึงจุดที่มีค่าสูงสุด เพื่อชักนำให้เกิดการถ่ายโอนเหมือนแบบละออง ดังนั้นพฤติกรรมถ่ายโอนโลหะแบบนี้จึงอยู่ระหว่างการถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจรและแบบละออง ลักษณะการถ่ายโอนเป็นการผสมกันระหว่าง แบบลัดวงจรและแบบละออง แต่มีหยดโลหะใหญ่กว่า

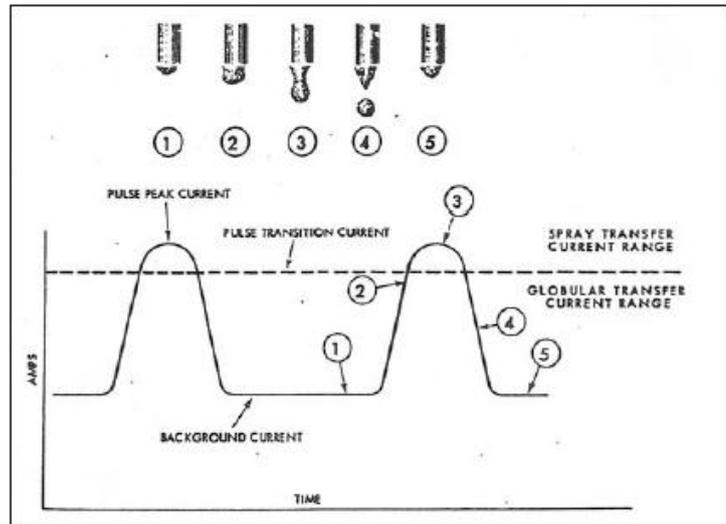
แบบละออง อัตราการถ่ายโอนโลหะต่อวินาทีที่กระแสต่ำ จะมีเพียง 2-3 หยดเท่านั้น ขณะที่หยดโลหะขนาดเล็กจำนวนมากถูกปล่อยออกไปแล้วตอนที่กระแสเพิ่มสูงขึ้นเมื่อหยดโลหะมีขนาดโตพอแล้วก็จะยกตัวออกจากปลายลวดถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลวหยดโลหะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอและไม่เสถียรที่หมุนรอบตัวเอง เนื่องจากแรงกายภาพของการอาร์ค (Physical Force) จึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หยดโลหะนี้กลมไม่สม่ำเสมอ โดยหยดที่มีขนาดใหญ่กว่าจะไปแตะกับบ่อหลอมเหลว ทำให้เกิดการลัดวงจรผ่านอาร์คและอาร์คจะดับไปชั่วขณะพฤติกรรมนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เสถียรภาพการอาร์คต่ำ การอาร์คจะรุนแรง การอาร์คผิดพลาดในบางจังหวะ ทำให้ระยะชิมลึกขึ้นและเกิดคลื่นการอาร์ค (Arc Wave) รอบหยดโลหะบนปลายลวดเชื่อม ซึ่งเป็นเหตุให้มีประกายโลหะกระเด็นมาก ดังนั้นกระบวนการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการคุณภาพงานเชื่อมสูง มีขอบเขตการใช้งานจำกัดเพราะปริมาณความร้อนเข้าสู่งานต่ำ (Low Heat Input) ก๊าซปกคลุมใช้คาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซผสมคาร์บอนไดออกไซด์กับอาร์กอน ถ้าใช้คาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมระยะอาร์คจะยาวกว่ากรณีที่ใช้อาร์กอน และระดับกระแสกับแรงดันที่ใช้สูงกว่าก๊าซผสมและก๊าซชนิดอื่น หยดโลหะที่มีขนาดใหญ่และเป็นการถ่ายโอนด้วยแรงโน้มถ่วงจึงไม่เหมาะกับการเชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งนอกเหนือจากแนวราบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวเหนือศีรษะ เพราะหยดโลหะมีแนวโน้มต่อการตกลงในหัวเชื่อม เชื่อมได้ดีกับงานที่อยู่ในแนวราบและแนวระดับ



รูปที่ 2.14 แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบหยดขนาดใหญ่ [10]

2.4.1.4 การส่งถ่ายน้ำโลหะแบบพัลส์ (Pulsed Transfer) เป็นกระบวนการที่พัฒนามาแทนการถ่ายโอนโลหะแบบละออง เพราะข้อจำกัดการใช้งานแต่ยังคงเป็นการถ่ายโอนโลหะแบบละอองอยู่ (Pulsed Spray) การพัลส์ของกระแสเชื่อมจากระดับต่ำสุดถึงระดับสูงสุดที่ 60 ไซเคิลต่อวินาที จังหวะการพัลส์แต่ละครั้งจะทำให้ปลายลวดเชื่อมหลอมเป็นหยดโลหะได้หนึ่งหยดแล้วถ่ายโอนผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมละลายด้วยความถี่สม่ำเสมอต่อเนื่องกันไประดับกระแสต่ำสุดจะตั้งในช่วงการถ่ายโอนโลหะแบบละออง การถ่ายโอนโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อการพัลส์กระแสถึงระดับสูงสุด หลังการถ่ายโอนโลหะแล้ว กระแสจะลดลงต่ำสุดเท่าที่ตั้งไว้ กระแสต่ำจะช่วยคงให้การอาร์คเกิดอยู่ตลอดเวลาและการ

พัลส์เพิ่มขึ้นถึงระดับสูงสุดได้ ช่วงจังหวะนี้การถ่ายโอนโลหะจะไม่เกิดขึ้น การพัลส์ของกระแสสูงแล้วต่ำลง จะมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานเชื่อม โดยความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่าการถ่ายโอนน้ำโลหะแบบละอองจึงเหมาะกับการเชื่อมงานบางที่มีปัญหาการหลอมทะลุ เนื่องจากความร้อนสูงเชื่อมงานที่อยู่ในตำแหน่งแนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐานได้ง่ายกว่า งานบิตตัวน้อย ใช้ลวดเชื่อมขนาดใหญ่ได้ แต่การถ่ายโอนหยดโลหะผ่านการอาร์คยังคงเป็นหยดขนาดเล็กอยู่ จึงประหยัดกว่าการใช้ลวดขนาดเล็กซึ่งมีปัญหาการป้อนลวดเชื่อมด้วยการเกิดกระแสพัลส์ได้จากการปิดเปิดวงจร (Switching) ระหว่างกระแสต่ำสุดกับกระแสสูงสุด ดังนั้นในเครื่องเชื่อมตัวเดียวจึงมีต้นกำลังแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ทำให้กระแสต่ำสุด (Back Ground Current) และส่วนที่ให้กระแสพัลส์สูงสุด (Pulsing Current) ราคาเครื่องเชื่อมจะแพงกว่าแบบธรรมดาถึง 2 เท่า แต่ให้ผลคุ้มค่าต่อการลงทุนเหมาะกับการเชื่อมผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมากๆ เพื่อให้ได้กระแสพัลส์สูงสุดต้องตั้งให้สูงกว่าระดับกระแสช่วงเปลี่ยน (Transition Current) ของการถ่ายโอนโลหะแบบละออง และกระแสต่ำสุดตั้งในช่วงการถ่ายโอนโลหะแบบหยดขนาดใหญ่ ปลายลวดเชื่อมจะหลอมที่วงจรถ้าสุด เมื่อกระแสเพิ่มขึ้นสูงกว่าจุดช่วงเปลี่ยน (Transition Point) หยดโลหะจะแยกตัวออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านอาร์คสู่บ่อหลอมเหลว วงจรนี้จะเกิดขึ้นซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่อง ขณะปฏิบัติงานเชื่อมบ่อหลอมเหลวจะแข็งตัวเร็วกว่า การถ่ายโอนโลหะแบบละออง การอาร์ครุนแรงกว่า แต่ความถี่ของการถ่ายโอนลดลง กระแสพัลส์สามารถเชื่อมได้ทั้งโลหะและอโลหะ เพราะมีปริมาณความร้อนเข้าสู่งานต่ำ ทำให้สามารถเชื่อมงานที่มีตำแหน่งแนวเชื่อมนอกเหนือมาตรฐาน เพราะกระแสพัลส์และบ่อหลอมละลายแข็งตัวเร็ว เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าเจอนิกเกิลสูง เหล็กกล้าไร้สนิม ทองแดง ทองแดงเจืออะลูมิเนียม และโลหะเจือชนิดอื่นๆ เชื่อมงานหน้าตัดบางกับหนาปานกลางได้ดีและเชื่อมกับรอยต่อได้ทุกชนิด ก๊าซปกคลุม ใช้ได้เฉพาะก๊าซเฉื่อยหรือก๊าซผสมอาร์กอนกับฮีเลียม อาร์กอน 95% กับออกซิเจน 2% อาร์กอนกับฮีเลียมและคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าใช้คาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซผสมที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง จะทำให้แรงกัณหุดของหยดโลหะจากปลายลวดน้อย แรงดึงผิวสูงและมีประกายโลหะกระเด็นมาก ใช้ขนาดลวดเชื่อม 1.2-2.4 มิลลิเมตร [7]



รูปที่ 2.15 แสดงการอาร์คของกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุมแบบพัลส์ [10]

2.5 ก๊าซปกคลุม (Shielding Gas)

กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม ก๊าซปกคลุมจะมีผลต่อคุณสมบัติของเนื้อโลหะเชื่อม ก๊าซที่ใช้ปกคลุมบ่อหลอมละลาย จะช่วยป้องกันความเสียหายและการปนเปื้อนจากการสัมผัสกับบรรยากาศรอบนอก ที่มีส่วนประกอบของก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไอน้ำก๊าซเหล่านี้ถือว่าเป็นสารมลทิน ที่เป็นสาเหตุความบกพร่องในตะเข็บเชื่อม โดยจะรวมเข้ากับเนื้อโลหะเชื่อมที่กำลังจะแข็งตัว ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดออกไซด์โลหะ (Oxide) และสแลก (Slag) หลอมรวมกับอะตอมไฮโดรเจน ทำให้เนื้อโลหะเชื่อมมีความต้านแรงสูงขึ้น นำไปสู่การเกิดรอยร้าว (Crack) และความพรุนของตะเข็บเชื่อม ดังนั้นการเลือกใช้ก๊าซปกคลุมแนวเชื่อมควรให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะที่ใช้ก๊าซปกคลุม สามารถเลือกใช้ก๊าซปกคลุมชนิดเดียวหรือแบบผสมก็ได้ เพื่อให้การปกคลุมของแนวเชื่อมเป็นไปได้ดีที่สุด [7]

กรรมวิธีการเชื่อม GMAW จะมีการใช้ก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) เป็นก๊าซปกคลุมเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อม อากาศที่ปกคลุมบริเวณอาร์คจะถูกแทนที่ด้วยก๊าซปกคลุมเพื่อป้องกันไม่ให้บ่อหลอมละลายเกิดการปนเปื้อน ซึ่งจะมีผลทำให้สมบัติด้าน Ductility, Impact และ Strength ของรอยเชื่อมลดลง ซึ่งเป็นเหตุให้รอยเชื่อมเกิดการแตกร้าวได้

2.5.1 อาร์กอน (Argon)

อาร์กอนเป็นก๊าซเฉื่อยนำความร้อนต่ำ จึงเกิดเปลวอาร์คแคบและมีความเข้มสูงทำให้ได้รับพลังงานและความร้อนสูง ดังนั้นแนวเชื่อมที่ได้จะแคบและซึมลึกดี การที่ก๊าซอาร์กอนให้เปลวอาร์คที่เข้ม ทำ

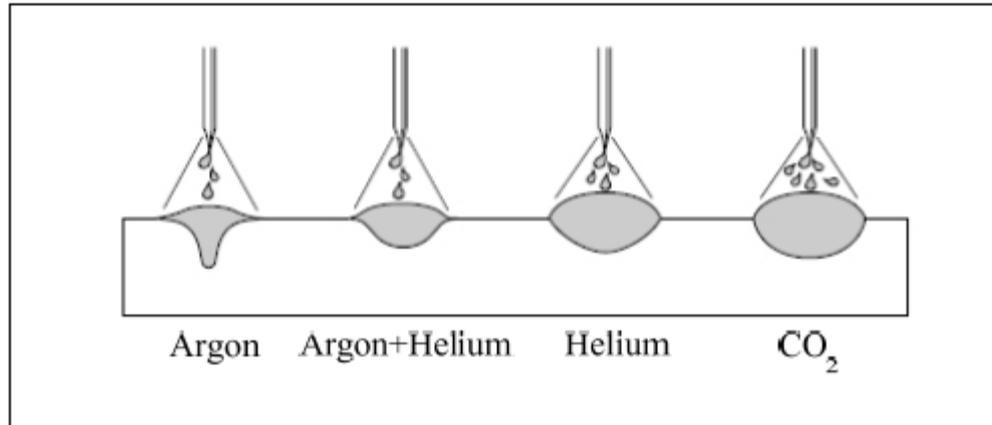
ให้เกิดปฏิกิริยาทำความสะอาดออกไซด์บนผิวของชิ้นงานเชื่อม โดยเฉพาะในการเชื่อมอลูมิเนียม ก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซปกคลุมสำหรับการเชื่อม MIG ซึ่งใช้ในการเชื่อมโลหะนอกกลุ่มเหล็กและโลหะผสมได้แก่ อลูมิเนียม แมกนีเซียม อลูมิเนียมผสมกับแมกนีเซียมและทองแดง

2.5.2 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ซึ่งอยู่ในลักษณะของสารประกอบ ที่ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจน ซึ่งมีใช้เป็นก๊าซเนื้อเยื่อเหมือนกับก๊าซอาร์กอนและก๊าซฮีเลียมดังนั้นในบริเวณอาร์คที่มีความร้อนสูงจะเกิดออกซิเจนอิสระ เมื่อใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซปกคลุม และเปลวอาร์คที่เกิดขึ้นจะกว้างกว่าการใช้ก๊าซอาร์กอน แต่จะแคบกว่าการใช้ก๊าซฮีเลียม แนวเชื่อมที่ปกคลุมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีความกว้างปานกลาง การซึมลึกดีและการหลอมละลายดี ลักษณะแนวเชื่อมดีและไม่เกิดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อม แต่การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดสะเก็ดเชื่อมและอาร์คไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะเมื่อใช้กับการส่งถ่าน้ำโลหะลวดเชื่อมแบบ Open Arc ดังนั้นการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปกคลุมจึงเหมาะกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมขนาดเล็ก โดยนำไปเชื่อมเหล็กกล้าละมุน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีราคาถูกกว่าก๊าซปกคลุมชนิดอื่นๆ จึงทำให้ต้นทุนในการเชื่อมต่ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะบรรจุไว้ในถังอาจเป็นรูปของเหลวหรือก๊าซ แต่สำหรับก๊าซที่นำมาใช้ในการเชื่อมจะมีความชื้นต่ำและปริมาณของก๊าซที่ใช้ปกคลุมแนวเชื่อมโดยทั่วไปจะใช้ 25 C.F.H. (ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง) [8]

2.5.3 ก๊าซอาร์กอนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Ar+ CO₂)

การผสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้ากับอาร์กอนมีจุดประสงค์เช่นเดียวกับอาร์กอนกับออกซิเจน การผสมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปจะทำให้การอาร์คมีความเสถียร การถ่ายโอนโลหะจากลวดเชื่อมไปยังชิ้นงานได้ดี มีแรงเกาะยึดบ่อหลอมดีกว่าและลดประกายโลหะกระเด็น เมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็กให้คุณสมบัติการอาร์คดีขณะเชื่อมบ่อหลอมเหลวจะขยายออกไปถึงขอบรอยต่อ จึงไม่ทำให้เกิดรอยกินลึกที่ขอบรอยเชื่อมใช้ปริมาตรผสม 3-10% คาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าใช้ส่วนผสม 20-30% คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเชื่อมเหล็กกล้าจะทำให้การถ่ายโอนโลหะแบบลัดวงจร ถ้าระดับกระแสเชื่อมสูงจะส่งผลให้การถ่ายโอนโลหะเป็นแบบหยดขนาดใหญ่ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผสมมากเกินไปจะมีผลเสียต่อการเชื่อมเหล็กกล้าบางชนิด ถ้านำไปเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมอาจมีคาร์บอนเพิ่มในเนื้อโลหะเชื่อม ทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนของงานเชื่อมลดลง และก๊าซผสมนี้ไม่เลือกใช้ในการเชื่อมโลหะที่ไม่ใช่เหล็กเพราะคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นสาเหตุปนเปื้อนของเนื้อโลหะเชื่อม [7]



รูปที่ 2.16 แสดงผลการชิมลิกจากการใช้ก๊าซปกคลุมชนิดต่างๆ [11]

2.5.4 อาร์กอนกับออกซิเจน

การผสมออกซิเจนจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอน จะทำให้เกิดออกซิไดซ์ขึ้นแต่ไม่มากนัก ลวดเชื่อมที่เลือกใช้ต้องมีธาตุออกซิไดเซอร์เพื่อขจัดออกซิเจนออกจากบ่อหลอมเหลวป้องกันความพรุนของเนื้อโลหะ การใช้อาร์กอนบริสุทธิ์จะทำให้คุณสมบัติการอาร์คที่ไม่ดีเมื่อเชื่อมโลหะที่เป็นเหล็ก และลวดเชื่อมที่หลอมเหลวมีแนวโน้มต่อการไหลพุ่งไม่เป็นเส้นตรงแต่การผสมออกซิเจนปริมาณเพียงเล็กน้อย (ออกซิเจน 1 ถึง 5% ของปริมาตรก๊าซผสม) จะช่วยให้การอาร์คมีความเสถียรดีประกายโลหะกระเด็นน้อยตะเข็บเชื่อมมีลักษณะดีขึ้น การชิมลิกของรอยเชื่อมกว้างกว่าการใช้อาร์กอนอย่างเดียวไม่ทำให้เกิดรอยกินลึกขอบตะเข็บเชื่อมเมื่อเชื่อมเหล็กกล้า (ถ้าใช้อาร์กอนอย่างเดียวในการเชื่อมเหล็กกล้าจะเกิดรอยกินลึกที่ขอบตะเข็บเชื่อม)

2.5.5 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนนำมาใช้เป็นก๊าซปกคลุมสำหรับการเชื่อมทองแดง ทองแดงเจือให้คุณสมบัติการเชื่อมคล้ายกับอิลเลียม แต่การชิมลิกดีกว่าอาร์กอน และการถ่ายโอนโลหะเป็นแบบหยดขนาดใหญ่ ไนโตรเจนใช้แทนอิลเลียมได้กรณีไม่มีอิลเลียม และอาจผสมกับอาร์กอนโดยใช้ปริมาณอาร์กอน 70% และไนโตรเจน 30% ก๊าซผสมนี้จะให้การอาร์คเสถียรและราบเรียบ เพื่อลดความปั่นป่วนในบ่อหลอมเหลวขณะทำการเชื่อม ก๊าซผสมนี้อาจใช้เชื่อมอลูมิเนียมเจือได้เช่นกัน [7]

2.5.6 อีเลียม

เป็นก๊าซเฉื่อยเช่นเดียวกับอาร์กอน มีศักย์การเกิดไอออน 24.5 eV จึงนำความร้อนได้ดีเปลวอาร์คแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้าง การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่งานเชื่อมสูง เมื่อใช้อีเลียมคลุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันอาร์คจะเกิดขึ้นพร้อมกัน โดยแรงดันอาร์คจะค่อยๆ ลดลงขณะความยาวอาร์คเพิ่มขึ้น ความ

ร้อนที่เกิดจากการอาร์คจะถูกถ่ายออกจากลำหรือไส้อาร์ค ซึ่งหมายความว่าพลังงานอาร์ค (Arc Energy) จำนวนมากสูญเสียไปกับการอาร์คตัวมันเอง ไม่มีการถ่ายโอนสู่งานเชื่อมดังนั้นความเข้มของการอาร์คจึงลดลง ทำให้รูปหน้าตัดรอยเชื่อมกว้างและตื้นกว่าอาร์คก่อน (ในการเชื่อมทิกจะตรงกันข้ามกับการเชื่อมมิก) ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้แรงดันอาร์คสูงกว่าทั้ง ๆ ที่ความยาวอาร์คเท่ากัน และผลที่ได้รับจะตรงกันข้ามกับการใช้อาร์คก่อน ฮีเลียมเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบาเป็นลำดับสองรองจากไฮโดรเจน คือหนักประมาณ 1/7 เท่าของอากาศ จึงมีแนวโน้มต่อการลอยตัวออกจากบริเวณอาร์คได้รวดเร็ว จึงเกิดความเปลี่ยนแปลงมากในบรรยากาศจะมีฮีเลียมเพียง $5.2 \times 10^{-4}\%$ ในก๊าซธรรมชาติอาจมีถึง 7% ก๊าซฮีเลียมมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ -269°C (-452°F) ฮีเลียมเหมาะกับงานหน้าตัดหน้าวัสดุที่มีจุดหลอมเหลวสูงหรือวัสดุนำความร้อนสูง ใช้ผสมกับก๊าซอื่นเพื่อหลีกเลี่ยงการอุ่นงานก่อนเชื่อม เฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมทองแดง [7]

2.5.7 อาร์โกซิล 50

เป็นก๊าซอาร์คก่อนผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ $5 \pm 1\%$ และออกซิเจน $2 \pm 0.2\%$ คุณสมบัติเด่นคือสะกัดโลหะน้อยลดความร้อนสะสมในชิ้นงานการอาร์คเสถียรชิ้นงานบิดเสียรูปน้อย สำหรับงานเชื่อมเหล็ก GMAW ทั่วไป (พื้นผิวเรียบ แนวราบ) เหมาะสำหรับชิ้นงานบางมากจนถึง 3 มิลลิเมตร [12]

2.5.8 อาร์โกซิล 63

เป็นก๊าซอาร์คก่อนผสมกับก๊าซไฮโดรเจน $1.5 \pm 0.5\%$ คุณสมบัติเด่นคือใช้ง่าย เชื่อมซึมลึก แนวเชื่อมสะอาด ไม่มีรอยดำบนแนวเชื่อม เหมาะสำหรับงานเชื่อม TIG ของ Austenitic Stainless Steel ซึ่งให้แนวเชื่อมซึมลึกกว่า อาร์คร้อนกว่า และเชื่อมได้เร็วกว่าอาร์คก่อนเหมาะกับทุกความหนา

2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อม MIG

เครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานของการเชื่อมของ GMAW มีส่วนประกอบที่สำคัญ

1. เครื่องเชื่อม (Welding Machine) จะเป็นเครื่องเชื่อมกระแสตรง ชนิดแรงเคลื่อนคงที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับการเชื่อม ซึ่งจะมีการต่อวงจรเชื่อม โดยให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวกและชิ้นงานเป็นขั้วลบ
2. ชุดป้อนลวดเชื่อม (Wire Feed Unit) จะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการป้อนลวดเชื่อมและส่งลวดเชื่อมไปยังหัวเชื่อม เพื่อใช้ในการเชื่อม
3. ชุดหัวเชื่อมและท่อนำลวด (Welding Gun and Cable) จะเป็นส่วนที่นำลวดเชื่อมก๊าซปกคลุมและกระแสไฟเชื่อมไปยังชิ้นงาน

เชื่อมเป็นระบบกระแสคงที่ (Constant Current) จะปรับเปลี่ยนกระแสเชื่อมที่ป้อนด้านหน้าของเครื่องเชื่อม เมื่อทำการเพิ่มปริมาณกระแสเชื่อมจะทำให้อัตราการหลอมของลวดเชื่อมเพิ่มขึ้น และอัตราการเดินน้ำโลหะสู่แนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้นเช่นกันถ้าปริมาณกระแสที่ใช้เชื่อมกับลวดเชื่อมมีค่าน้อยเกินไป เป็นผลให้การถ่ายโอนน้ำโลหะจากลวดเชื่อมสู่แนวเชื่อมช้า จะส่งผลให้ระยะการซึมลึกของแนวเชื่อมและการหลอมของโลหะชิ้นงานไม่ดีแนวเชื่อมขรุขระเปราะแข็งมาก ถ้าใช้กระแสเชื่อมสูงเกินไป ระยะซึมลึกของตะเข็บเชื่อมจะซึมลึกมากอาจเกิดรอยหลอมทะลุที่อีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน และรอยกินลึกที่ข้างตะเข็บมีลักษณะไม่สวยงามถ้าปริมาณกระแสสูงเกินไปการอาร์คไม่เสถียร การใช้ปริมาณกระแสเชื่อมต่ำหรือสูงเกินไปยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ในส่วนที่เป็นเนื้อโลหะเชื่อม (Weld Metal) ด้วยโดยที่ค่าความต้านทานแรงดึงและความอ่อนตัวจะลดลงอาจเกิดความพรุนในเนื้อโลหะเชื่อมได้

2.7.2 แรงดันเชื่อม (Welding Voltage)

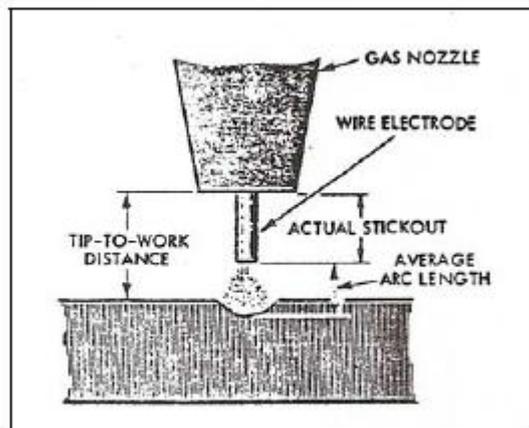
แรงดันเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม จะขึ้นอยู่กับขนาดของลวดเชื่อม ชนิดของก๊าซปกคลุมตำแหน่งแนวเชื่อม ชนิดของรอยต่อและความหนาของชิ้นงาน แรงดันในการเชื่อมจะมีผลต่อรูปร่างของรอยเชื่อม เมื่อลดแรงดันเชื่อมตะเข็บเชื่อมจะแคบและนูนสูง แรงดันเชื่อมต่ำเกินไป ลวดเชื่อมจะหลอมติดกับชิ้นงานเกิดรอยพรุนและรอยเกย (Over Lapping) ที่รอยเชื่อม

2.7.3 อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อม (Travel Speed)

อัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมคืออัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมต่อ 1 หน่วยเวลา อัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะถูกควบคุมโดยผู้ปฏิบัติการเชื่อมกรณีเป็นการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ ถ้าเป็นแบบอัตโนมัติ จะถูกควบคุมด้วยกลไก อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะมีผลกระทบต่อระยะซึมลึกของแนวเชื่อม ขนาดของตะเข็บและลักษณะของรูปร่างของรอยเชื่อม เมื่อทำการเพิ่มหรือลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อม ถ้าทำการเพิ่มอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมมากเกินไป จะส่งผลทำให้การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานลดลง ทำให้การหลอมของโลหะชิ้นงานไม่ดี ระยะซึมลึกตื้น ตะเข็บเชื่อมกว้างและนูนสูง และจะเกิดรอยกินลึกที่ขอบตะเข็บเชื่อมเพราะการเติมเนื้อโลหะหลอมเหลวไม่เต็มรอยต่อ เกิดประกาย การลดอัตราเร็วเคลื่อนที่หัวเชื่อมจะเพิ่มความสูงของตะเข็บ จะเกิดรอยเกยของเนื้อโลหะที่ขอบแนวเชื่อม และอาจเกิดความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานสูงมาก ส่งผลให้บริเวณกระทบบร้อนกว้าง การหลอมตัวของโลหะชิ้นงานไม่ดีมีระยะซึมลึกมากเกินไป ความพรุนเนื้อโลหะเชื่อมมากมีสารมลทินฝังอยู่ภายในและตะเข็บเชื่อมขรุขระ

2.7.4 ระยะโผล่ลวดเชื่อม (Electrode Stick Out)

ระยะ โผล่ลวดเชื่อมคือระยะห่างระหว่างปลายท่อนำกระแส (Contact Tip) และปลายลวดเชื่อม ซึ่งถ้าระยะ โผล่ลวดเชื่อมเพิ่มขึ้นความต้านทานไฟฟ้าของลวดจะเพิ่มขึ้นตาม ทำให้ลวดเชื่อมถูกอุ่นก่อนที่จะหลอมเหลว เป็นการลดลงอย่างอัตโนมัติ (Automatically Decreased) ขณะที่ความเร็วลวดเท่าเดิม จะทำให้การซึมลึกน้อยลงในทางกลับกันถ้าระยะ โผล่สั้นลง การอุ่นลวดเชื่อมก่อนที่ลวดเชื่อมจะหลอมละลายก็ลดลงด้วยเครื่องเชื่อมก็จะจ่ายกระแสออกมาปริมาณที่มากขึ้น เพื่อให้มีการหลอมละลายของลวดเชื่อมมากขึ้นจึงทำให้การซึมลึกของแนวเชื่อมก็มากขึ้น แต่ถ้าระยะ โผล่ลวดเชื่อมยาวเกินไปจะมีผลให้อัตราการเติมเนื้อ โลหะมากที่ความร้อนต่ำ ตะเข็บเชื่อมจะไม่ค่อยสวยงาม ระยะซึมลึกตื้น เสถียรภาพการอาร์คลดลง



รูปที่ 2.18 แสดงระยะ โผล่ลวดเชื่อม [11]

2.7.5 ขนาดของลวดเชื่อม (Electrode Size)

จะมีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม เนื่องจากลวดเชื่อมที่มีขนาดโตจะต้องใช้กระแสไฟเชื่อมขั้นต่ำมากกว่าลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็ก เพื่อใช้สำหรับการส่งถ่ายน้ำโลหะ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พีรณัฐ กล้าหาญ [13] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติงานในการเจียรไนกลม เหล็กกล้าคาร์บอนสูง แข็งเกรด AISI 4140 โดยใช้วิธีการเจียรไนกลม มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยความเร็วรอบชิ้นงาน ความลึกในการเจียรไนกลม มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยความเร็วรอบชิ้นงาน ความลึกในการเจียรไนและอัตราการป้อน ตัวแปรตามคือความเรียบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

สมบัติ จุงจิตรดำรง [14] ศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอแบบกัดเซาะของเหล็กกล้า AISI 4140 เนื่องจากการกระทบของลำน้ำความเร็วสูง ที่ได้รับการปรับสภาพผิวแตกต่างกัน ได้แก่ ผิวอบชุบ ผิวที่พ่นเคลือบด้วยความร้อน ผิวที่เชื่อมพอกผิวแข็ง และผิวสภาพปกติโดยทำการทดสอบที่มุมชนของน้ำ 30,60 และ 90 องศา อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G73-04 ผลจากการศึกษาพบว่าผิวที่อบชุบมีความต้านทานต่อการสึกหรอแบบกัดเซาะสูงสุด รองลงมาคือผิวที่ผ่านการเชื่อมพอกผิวแข็ง และผิวที่พ่นเคลือบด้วยความร้อนต้านทานการสึกได้ต่ำสุด มุมชนที่ 30 องศา จะได้อัตราการสึกสูงกว่ามุมชนที่ 60 และ 90 องศาในทุกผิวที่ทดสอบ ผิวที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้กับ Stripper มากที่สุดคือเหล็กกล้า AISI4140 ที่อบชุบ โดยจะทนต่อการสึกหรอแบบกัดเซาะที่เกิดจากการพุ่งชนของลำน้ำความเร็วสูงในทุกมุมของการชน

อรศิริ จันทร์เมือง [15] การศึกษาผลกระทบของก๊าซที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อม MIG กรณีศึกษา : การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI. เบอร์ 304 นี้ เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของก๊าซที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึง ของการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม ในกระบวนการเชื่อม MIG โดยใช้ก๊าซเพื่อการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ก๊าซอาร์กอน ก๊าซอาร์โกซิล 50 และก๊าซอาร์โกซิล 63 พร้อมทั้งกำหนดอัตราการไหลของก๊าซที่ 15, 20 และ 25 ลิตรต่อนาที และใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS. A5.9 308LSi; MIG ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร โดยทำการเชื่อมบนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI. เบอร์ 304 ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ใช้แขนกลควบคุมการเชื่อม โดยเป็นการเชื่อมแบบเดินบนชิ้นงานในตำแหน่งการเชื่อมทำราบ ชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นมีมุมบากเท่ากับ 30 องศา (หรือเท่ากับมุมรวม 60 องศา) ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 90 ชิ้น แบ่งเป็น 30 ชิ้นต่อก๊าซแต่ละชนิดและใช้ตัวอย่างชิ้นงาน 10 ชิ้นต่ออัตราการไหลแต่ละระดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมมินิแท็บ พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบด้วยการเชื่อมก๊าซ 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงของก๊าซอาร์โกซิล 50 เท่ากับ 607.19 MPa ก๊าซอาร์โกซิล 63 เท่ากับ 600.03 MPa และก๊าซอาร์กอนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 588.51 MPa สำหรับอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงควรใช้ก๊าซอาร์โกซิล 50 และปรับอัตราการไหลที่ 15 ลิตรต่อนาที ในกระบวนการเชื่อม MIG สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมทั่วไป

Rajasekaran (1998) [16] ได้ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของแนวเชื่อม ในการเชื่อม GMAW-P ต่อ Al-Mg Alloy. โดยมีจุดประสงค์ทำการสำรวจความสัมพันธ์ของตัวแปรกระแสพัลส์ ที่เหมาะสมต่อคุณภาพการเชื่อมของขนาดแนวเชื่อม ซึ่งอิทธิพลของตัวแปรกระแสพัลส์มีผลกระทบต่อลักษณะเฉพาะของแนวเชื่อม โดยการนำชิ้นงานไปตัด ขัดและการกัดกรด เพื่อศึกษาภาพตัดขวางของรูปร่างแนวเชื่อมผลการทดลองพบว่าที่อัตราการป้อนลวดเชื่อมเปลี่ยน ค่าของกระแสสูงสุด กระแสต่ำ

และกระแสเฉลี่ยเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งอัตราการป้อนลวดเชื่อมสูงทำให้ขนาดของหยดโลหะเล็กลง ความถี่ของการส่งถ่านน้ำโลหะมีเพิ่มขึ้น ทำให้ผิวหน้าแนวเชื่อมราบเรียบและความร้อนเข้าสู่ชิ้นงาน มากดังนั้นลักษณะของรูปร่างแนวเชื่อมและที่ช่วงเวลากการถ่ายโอนโลหะลดลง อัตราการป้อนลวด เชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะว่าเป็นการทำให้กระแสสูงขึ้น ความสัมพันธ์ของพื้นที่ภาพตัดของการหลอม ละลายลึก และพื้นที่ทั้งหมดของการเชื่อมสามารถให้การประมาณที่สัมพันธ์กับการคำนวณ แต่ในการ วิจัยนี้จะควบคุมการปรับตัวแปรกระแสพัลส์ ให้เกิดการส่งถ่านน้ำโลหะที่หนึ่งหยดต่อพัลส์เพื่อให้ได้ แนวเชื่อมที่สมบูรณ์มากที่สุด จากการเลือกการปรับเปลี่ยนตัวแปรของกระแสพัลส์ที่เหมาะสมที่สุด จากการกำหนดโซนของพัลส์ (Pulse Parametric Zone) เป็นเกณฑ์

French and Bosworth (1995) [17] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเชื่อมด้วยกระแสพัลส์และแบบ กระแสคงที่ในกระบวนการเชื่อม GMAW ด้วยลวดเชื่อมตันและลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ เพื่อหาพฤติกรรม การเชื่อม และลักษณะแนวเชื่อมสำหรับการเชื่อมท่าระดับและการเชื่อมท่าตั้งเชื่อมขึ้นใช้เครื่องเชื่อมที่ ไม่มีกระแสพัลส์และเครื่องเชื่อมที่มีกระแสพัลส์ควบคุมด้วยการเชื่อมด้วย Microprocessor ใช้ก๊าซ ผสมระหว่างก๊าซอาร์กอน 82% กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 18% เป็นก๊าซปกคลุมพบว่า ที่ระยะทาง ระหว่างท่อนำลวดถึงชิ้นงานเปลี่ยนไป ทำให้รูปร่างแนวเชื่อมเปลี่ยนไปจากผลการคำนวณของรูปร่าง แนวเชื่อมที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับการทดลอง เนื่องจากอิทธิพลของระยะอาร์คและกระแสไฟเชื่อม ดังนั้นรูปร่างบ่อหลอมละลายที่เปลี่ยนแปลงจากการเชื่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแนวเชื่อม ของขนาดของการหลอมละลายลึก ความกว้างและความสูงที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อ

Uygur and Gulenc (2004) [18] ได้ศึกษาผลกระทบของการใช้ก๊าซผสมสำหรับกระบวนการเชื่อม MIG ในด้านพฤติกรรมคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ พบว่า ในการทดสอบหาค่า Tensile Strength ถ้าใช้ก๊าซผสมระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซปกคลุมเมื่อมีการ เพิ่มปริมาณส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ค่า Tensile Strength ของแนวเชื่อมก็จะ สูงขึ้นด้วย แต่ค่า Ductility จะลดลง ในการทดสอบ Fatigue ถ้าใช้ก๊าซผสมระหว่างก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซปกคลุมเมื่อมีการเพิ่มปริมาณส่วนผสมของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น ค่า Fatigue Strength จะลดลงและมีโอกาสเกิดการแตกร้าวได้สูงในการ ทดสอบ Impact Toughness ถ้าใช้ก๊าซผสมระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับก๊าซอาร์กอนเป็นก๊าซ ปกคลุม เมื่อมีการเพิ่มปริมาณส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้น จะทำให้ค่า Impact Toughness ลดลงในทุกอุณหภูมิด้วย

สมศักดิ์ แก้วพลอย [3] การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบชุบเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อน เป็น การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบชุบเหล็กกล้าผสมด้วยความร้อนในการอบคืนตัวของเหล็กกล้า ผสม AISI 4140 เพื่อศึกษาหาค่าเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่จะให้ค่าความแข็งแรงและความเหนียวที่

ใช้งานได้ดีที่สุด การศึกษาเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีของการอบชุบ คุณสมบัติของเหล็กกล้าผสม AISI 4140 แล้วดำเนินการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง จากนั้นนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการชุบแข็งที่ระดับอุณหภูมิ 850°C ชุบแข็งด้วยน้ำมัน มาทำการอบคืนตัว โดยใช้ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 250°C - 650°C ซึ่งเพิ่มระดับอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 100°C ใช้เวลาในการอบคืนตัว 3 ระดับคือ 30 นาที 60 นาที และ 90 นาที จากนั้นทำการวัดค่าความแข็ง และค่าพลังงานกระแทก จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบคืนตัวมีผลต่อค่าพลังงานกระแทก ส่วนอุณหภูมิมิมีผลต่อค่าความแข็ง และเวลาในการอบคืนตัวไม่มีผลต่อค่าความแข็ง ดังนั้นจะได้ว่าอุณหภูมิที่ให้ค่าความแข็งและความเหนียวที่ใช้งานได้ดีที่สุดคือที่ระดับ 550°C และเวลาในการอบคืนตัวที่ 60 นาที

อาณัติ หาททรัพย์ และ มงคล มงคลวงศ์โรจน์ [19] การศึกษาผลของรอยบากที่มีต่ออายุของชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกนที่ทำจากวัสดุ เอไอเอสไอ 4140 อลูมิเนียม 7075 และ โพลีเอไมด์ 6 การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของรอยบากที่มีต่ออายุของชิ้นส่วนรับแรงตามแนวแกนที่ทำจากวัสดุ 3 กลุ่มคือ เอไอเอสไอ 4140 อลูมิเนียม 7075 และ โพลีเอไมด์ 6 โดยทำการทดลองเตรียมชิ้นทดสอบจากวัสดุดังกล่าวให้มีค่าเฟลเตอร์ความเค้นสะสมต่างกันคือ 1.2, 1.6, 2.0, 4.0 และ 6.0 โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบรูปร่างของชิ้นทดสอบ แล้วเปรียบเทียบผลการคำนวณอายุการรับแรงตามแนวแกนโดยสมการ “อายุความเครียด” และสมการ “บาสควิน” กับอายุที่ได้จากการทดสอบการรับแรงจริง ผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินอายุของชิ้นส่วนวิศวกรรมที่ทำจากกลุ่มวัสดุดังกล่าวได้