

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทองแดงและทองแดงผสม (Copper alloys) [2]

ทองแดงและทองแดงผสมมีโครงสร้างทางผลึกเป็น FCC ซึ่งมีความอ่อน ง่ายต่อการดัดแปลงขึ้นรูป ทองแดงบริสุทธิ์มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.32 lb/in^3 (8.94 Mg/m^3) ซึ่งเป็น 3 เท่าของอลูมิเนียม (Aluminium) ในส่วนการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนของทองแดงต่ำกว่าเงิน (Silver) เล็กน้อย แต่เป็น 1 ถึง 1.5 เท่าของอลูมิเนียม ทองแดงและทองแดงผสมถูกนำมาใช้ในด้านงานการนำไฟฟ้า, การนำความร้อน, งานที่ต้องการการต้านทานการกัดกร่อน, การตัดทานการขัดสีระหว่างโลหะกับโลหะ และงานที่ต้องการลักษณะที่มีความสวยงามและโดดเด่น

คุณสมบัติทางด้านการนำไฟฟ้าที่สูงของทองแดง จึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการสร้างตัวนำไฟฟ้าและอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในด้านการต้านทานการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) การต้านทานการกัดกร่อนจากน้ำทะเล, สารละลายที่เป็นด่าง และสารเคมีอินทรีย์ทั้งหลาย (Organic chemical) ซึ่งคุณสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนที่ดีเหล่านี้ จึงมีความคิดในการสร้างทองแดงผสม ที่เหมาะสำหรับการนำมาทำเป็นท่อส่งน้ำ, วาล์ว, ชิ้นส่วนเครื่องประกอบ (Fitting), อุปกรณ์ที่ใช้กับสารเคมี และดัลล์ลูกปืน (Bearing) แต่ทองแดงมีการเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ (Sulfur) และสารประกอบแอมโมเนีย (Ammonia) โดยเฉพาะสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) มีการเกิดปฏิกิริยากับทองแดงและทองแดงผสมอย่างรวดเร็วด้วยสีสนิมที่สวยงาม ความแข็งแรงค่อนข้างดี และง่ายต่อการดัดขึ้นรูป ทองแดงและทองแดงผสมจึงได้รับความนิยมสูงที่นำมาใช้ในด้านงานสถาปัตยกรรม เช่น ของประดับตกแต่ง เป็นต้น

2.1.1 ประเภทของทองแดงและทองแดงผสม

ทองแดงและทองแดงผสมได้ถูกจัดไว้เป็นประเภท 9 ประเภทด้วยกันคือ

- (1) Copper - 99.3% Cu Minimum
- (2) High-Copper Alloys - up to 5% Alloying Element
- (3) Copper - Zinc Alloys (Brass)

- (4) Copper - Tin Alloys (Phosphor Bronze)
- (5) Copper - Aluminum Alloys (Aluminum Bronze)
- (6) Copper - Silicon Alloys (Silicon Bronze)
- (7) Copper - Nickel Alloys
- (8) Copper - Nickel - Zinc Alloys (Nickel Silvers)
- (9) Special Alloys

โลหะผสมเหล่านี้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มอย่างละเอียด โดยแบ่งเป็นประเภทโลหะผสม และโลหะผสมหล่อ (Cast Alloys) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ระบบแบบครบวงจรนับ (The Unified Numbering System ; UNS) มีการกำหนดเป็นหมายเลข 5 หลัก โดยที่ C1xxxx ถึง C7xxxx เป็นโลหะผสมขึ้นรูปเย็น (Wrought Alloys) และ C8xxxx ถึง C9xxxx เป็นโลหะผสมหล่อ (Cast Alloys) ดังนั้นการกำหนดหมายเลขของโลหะผสมทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับวิธีการการผลิต อีกทั้งทองแดงและทองแดงผสมยังมีชื่อสามัญ(Common Name) เช่น Oxygen-Free Copper, Beryllium Copper, Muntz Metal, Phosphor Bronze และ Low-Fuming Bronze ชื่อสามัญหรือชื่อทางการค้า (Trade Name) ถูกแทนที่หมายเลขระบบแบบครบวงจรนับ

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทโลหะผสมและโลหะผสมหล่อ [2]

Category	Descriptions	Range of UNS Numbers ^a
Wrought alloys		
Copper	Copper-99.3 percent minimum	C10100-C15760
High-copper alloys	Copper-96 to 99.2 percent	C16200-C19750
Leaded brasses	Copper-zinc alloys	C20500-C28580
Tin brasses	Copper- zinc-lead alloys	C31200-C38590
Phosphors bronzes	Copper-tin alloys	C40400-C49080
Leaded phosphors bronzes	Copper-tin-lead-alloys	C50100-C52400
Aluminum bronzes	Copper-aluminum-alloys	C53200-C54800
Silicon bronzes	Copper-silicon-alloys	C60600-C66100
Miscellaneous brasses	Copper-zinc alloys	C66400-C69950
Copper -nickel	Copper-3 to 30 percent	C70100-C72950
Nickel-silvers	Copper-nickel- zinc- alloys	C73150-C79900
Cast alloys		
Copper	Copper-99.3 percent minimum	C80100-C82800
High-copper alloys	Copper-94 to 99.2 percent	C81300-C82800
Red brasses	Copper-tin-zinc and Copper-tin-zinc-lead alloys	C83300-C83810
Semi-red brasses		C84200-C84800
Yellow brasses		C85200-C85800
Manganese bronze	Copper-zinc-iron alloys	C86100-C86800
Silicon bronzes and silicon brasses	Copper-zinc –silicon-alloys	C87300-C87900
Tin bronzes	Copper-tin-alloys	C90200-C91700
Leaded tin bronzes	Copper- tin-lead alloys	C92200-C94500
Nickel-tin bronzes	Copper- tin-nickel alloys	C94700-C94900
Aluminum bronzes	Copper- aluminum-iron and copper- aluminum-Irons- nickel- alloys	C95200-C95900
Copper- nickels	Copper- nickel- irons-alloys	C96200-C96900
Nickel-silvers	Copper- nickel- zinc-alloys	C97300-C97800
Leaded-copper	Copper-lead- alloys	C98200-C98840
Special-alloys		C99300-C99750

2.2 นิกเกิลและนิกเกิลผสม [2]

นิกเกิลมีโครงสร้างทางผลึกเป็น FCC (Face Centered Cubic) ตลอดอุณหภูมิจนถึงจุดหลอมเหลว นิกเกิลสามารถผสมกับธาตุต่างๆ แต่ต้องปราศจากการเปลี่ยนเป็นเฟสอันตราย ในบางมุมของนิกเกิลมีส่วนคล้ายคลึงกับเหล็ก ซึ่งเห็นได้ว่าในตารางธาตุเหล็กกับนิกเกิลอยู่ใกล้กัน โดยนิกเกิลมีความหนาแน่นมากกว่าเหล็กเพียงเล็กน้อยและมีความคล้ายคลึงกันในส่วนความเป็นแม่เหล็กและคุณสมบัติทางกล แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างทางผลึกของนิกเกิลบริสุทธิ์และเหล็กมีความแตกต่างกัน ดังนั้นนิกเกิลบริสุทธิ์และนิกเกิลผสม (Nickel Alloy) มีโครงสร้างทางโลหะวิทยาแตกต่างกับเหล็กและเหล็กผสม

เนื่องจากนิกเกิลสามารถละลายจำนวนโลหะอื่นๆ ได้อย่างกว้างขวาง จึงได้มีโลหะผสมในเชิงพาณิชย์ (Commercial Alloys) ที่แตกต่างกัน นิกเกิลและทองแดงมีการละลายในรูปแบบของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งเหล็กและโคบอลต์สามารถละลายในนิกเกิลได้ในระดับสูง โครเมียมสามารถละลายในนิกเกิลได้ในปริมาณ 35%-40% และประมาณ 20% สำหรับโมลิบดีนัม อีกทั้งสำหรับการเติมธาตุผสม เช่น ทองแดง โครเมียม โมลิบดีนัม เหล็ก และโคบอลต์ ไม่ผลเสียต่อความสามารถในการเชื่อม และในบางกรณียังส่งผลดีต่อความสามารถในการเชื่อมอีกด้วย โดยทั่วไปนิกเกิลบริสุทธิ์และนิกเกิล-ทองแดงผสมในเชิงพาณิชย์มีความสามารถในการเชื่อมที่คล้ายคลึงกันและนิกเกิลผสมอื่นๆ ส่วนใหญ่ประพฤติตัวเหมือนกับเหล็กกล้าไร้สนิม

นิกเกิลผสมเหมือนกับเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนไนติก (Austenitic) ตรงที่มีหนึ่งผลึกโครงสร้างจนถึงอุณหภูมิจุดหลอมเหลว เมื่อนิกเกิลผสมไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส ขนาดเกรนของโลหะฐานและแนวเชื่อมไม่สามารถกลั่น (Refined) โดยการให้ความร้อน (Heat treatment) เพียงอย่างเดียว ขนาดเกรนสามารถทำให้ลดลงได้โดยงานร้อน (Hot work) หรือ (Cold work) เช่นการรีด การตีขึ้นรูป ตามด้วยการให้อบอ่อนที่เหมาะสม (Annealing treatment)

นิกเกิลไวต่อการแตกร้าวเมื่อทำการเชื่อม อันเนื่องมาจากธาตุตกค้างเช่น Sulfur, Lead, Zirconium, Boron, Phosphorus และ Bismuth สาเหตุมาจากการผลิตเป็นการยากในการควบคุมปริมาณธาตุ

เหล่านี้ให้ได้อย่างเหมาะสม ธาตุเหล่านี้ละลายในนิกเกิล และรับปฏิกิริยายูเทคติก (Eutectic) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกร้อนเกิดขึ้นระหว่างการแข็งตัวของแนวเชื่อม

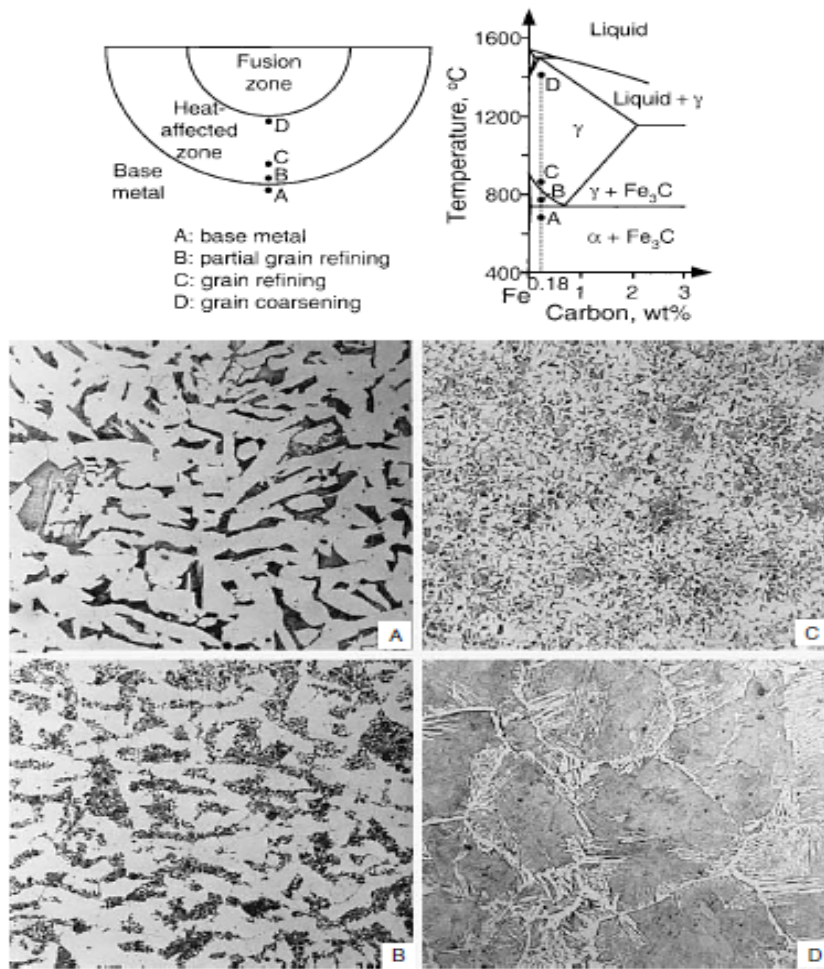
2.3 เหล็กกล้าคาร์บอน [4]

เหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน AISI (American Iron and Steel Institute) หมายถึงเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมเคมีดังนี้ คือ มี Mn ไม่เกิน 1.65%, Si ไม่เกิน 0.60%, Cu ไม่เกิน 0.60% และมีธาตุผสมอื่นๆ ที่มีจำนวนน้อยมาก ทั้งนี้เกรดของเหล็กกล้าคาร์บอนที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิดคือ 10XX ซึ่งมี Mn ไม่เกิน 0.9% และเหล็กกล้าคาร์บอนแมงกานีส 15XX ซึ่งมี Mn ไม่เกิน 1.7% ส่วนตัวเลขสองตัวท้ายหมายถึงคาร์บอน เช่น 1040 คือมีคาร์บอนผสมอยู่ 0.4% เป็นต้น ทั้งนี้แมงกานีสนิยมเติมในเหล็กเพราะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการชุบแข็ง

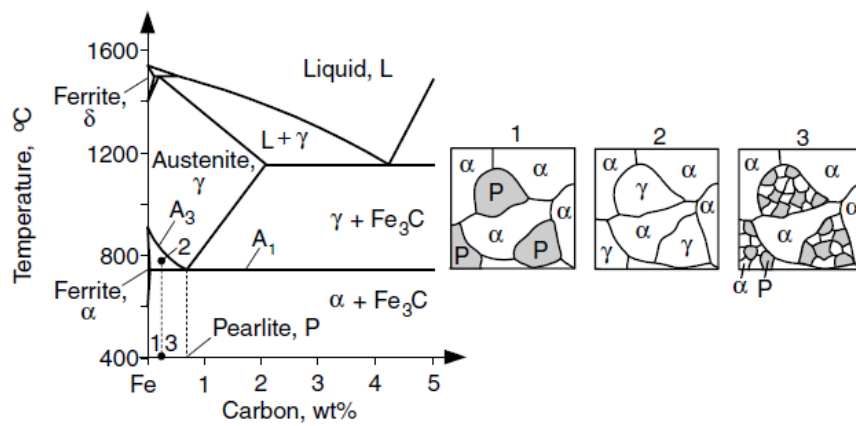
2.3.1 ผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 0.15% ถือว่าเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และหากมีคาร์บอนระหว่าง 0.15-0.3% ถือว่าเป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ในที่นี้มีการยกตัวอย่างเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของคาร์บอน 0.18% (AISI 1018) เพื่อใช้ในการอธิบายรูปที่ 2.1 เป็นบริเวณกระทบร้อน (Heat Affected Zone) ที่ได้จากการเชื่อมเหล็กกล้า 1018 โดยกระบวนการเชื่อมทิก ทั้งนี้พบว่าชิ้นงานที่อยู่นอก ที่ได้จากการเชื่อมเหล็กกล้า 1018 ซึ่งเป็นเนื้อเชื่อมของเหล็กที่อยู่ในส่วน A ประกอบด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพอร์ไลต์ (Pearlite) ส่วนในบริเวณที่เป็นบริเวณกระทบร้อน นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วนคือ Partial Grain-Refining, Grain-Refining และ Grain Coarsening (ส่วน B ถึง D) ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ กับอุณหภูมิระหว่างการเชื่อมแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

มีส่วนที่น่าสนใจคือในบริเวณ Partial Grain-Refining ทั้งนี้บริเวณดังกล่าวมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิสูงกว่า A_{C1} รูปที่ 2.3 เป็นการอธิบายโครงสร้างเดิมของเหล็กก่อนการเชื่อมที่เป็นเพอร์ไลต์ ซึ่งหลังจากอุณหภูมิที่สูงกว่า A_{C1} ทำให้โครงสร้างเป็นเพอร์ไลต์ (P) เปลี่ยนเป็นออสเตไนต์ (γ) และมีการขยายตัวเล็กน้อยในส่วนที่เป็นเพอร์ไรท์ (α) ทั้งนี้เมื่อโครงสร้างออสเตไนต์ (Austenite) เย็นตัวลงจึงเกิดการเปลี่ยนเฟสเป็นโครงสร้างเพอร์ไลต์ที่ละเอียด โดยที่บริเวณที่เป็นเพอร์ไรท์ยังคงอยู่เช่นเดิม โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง



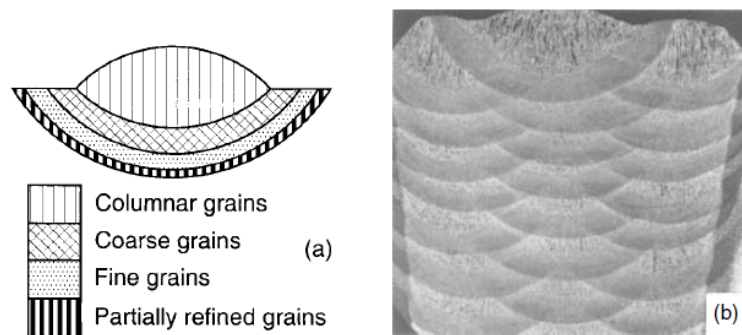
รูปที่ 2.1 แสดงบริเวณกระทบร้อนที่ได้จากการเชื่อมเหล็กกล้า 1018 โดยกระบวนการเชื่อมทิก [5]



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการเกิดบริเวณ Partial Grain Refining [5]

ส่วนในกรณีที่อุณหภูมิขึ้นสูงมาก เช่น ส่วน D เกิดการโตของเกรน ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าสูงมาก (เหนือเส้น A_{C3}) นอกจากนั้นแล้วการที่มีอัตราการเย็นตัวสูงและการมีเกรนขนาดใหญ่ทำให้เฟอไรต์ออกมาในลักษณะแผ่นพุ่งออกมาจากขอบเกรน โดยเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า วิทแมนสแททเทินเฟอไรต์ (Widmanstätten Ferrite)

การโตของเกรนใกล้บริเวณหลอมละลายทำให้ได้โครงสร้างเกรนหยาบในบริเวณนี้เองงานเชื่อมซึ่งพบว่าเกรนหยาบกว่าบริเวณกระทบร้อนเสียอีก ในรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงผลของการเชื่อม โดยหากพิจารณาบริเวณที่เป็นเนื้องานเชื่อม พบว่ามีลักษณะเป็นเกรนหยาบ Columnar อย่างไรก็ตามหากทำการเชื่อมหลายแนวทำให้ปรับขนาดเกรนให้ละเอียดขึ้นได้

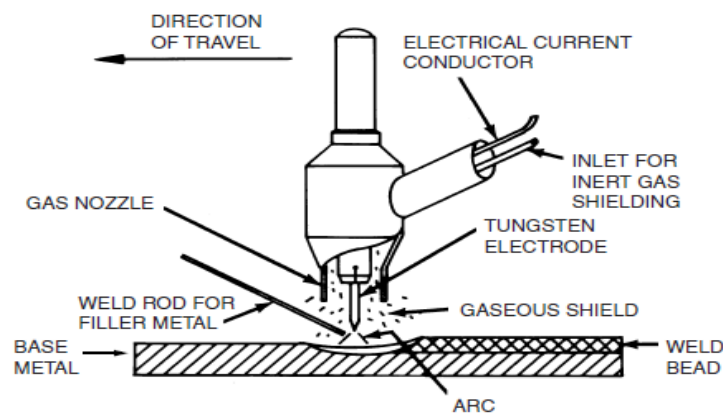


รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดการปรับขนาดเกรนให้ละเอียดโดยการเชื่อมหลายแนว (a) กรณีการเชื่อมแนวเดียว (b) โครงสร้างที่ได้จากการเชื่อมหลายแนว [5]

2.4 กระบวนการเชื่อมทิก (TIG) [6]

กระบวนการเชื่อมแก๊สทังสเตนอาร์คเป็นกระบวนการเชื่อมอาร์ค ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกันของโลหะ โดยความร้อนที่ได้มาจากการอาร์คระหว่างทังสเตนอิเล็กโทรด (Tungsten Electrode) ซึ่งเป็นวัสดุไม่สิ้นเปลืองมีการปกคลุมโดยแก๊ส อาจทำการเชื่อมโดยการป้อนเติมโลหะหรือไม่ก็ได้ โดยหลักการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.4 ในเฉพาะกลุ่มใช้งานอาจเรียกกระบวนการเชื่อมทิกว่า การเชื่อมฮีลิ (Helium Welding) การเชื่อมอาร์คอาร์กอน (Argon-Arc Welding) หรือ การเชื่อมทังสเตนอาร์ค (Tungsten Arc Welding)

กระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนเลสอาร์ค เป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้เชื่อมโลหะโดยทั่วไป ประกอบด้วย เหล็กกล้า แมกนีเซียม ทองแดง นิกเกิล ไททาเนียม และอื่นๆ กระบวนการเชื่อมชนิดนี้สามารถใช้เชื่อม ชิ้นงานที่หนาและบาง นิยมใช้ในการเชื่อมแนวราก (Root Pass) แนวร้อน (Hot Pass) ในงานเชื่อมท่อ (Pipe) และหลอด (Tube) อีกทั้งยังสามารถเชื่อมได้ในทุกท่าเชื่อมสำหรับงานที่ต้องการแนวเชื่อมที่มีคุณภาพในการเชื่อมโลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรม ด้วยเหตุที่กระบวนการเชื่อมชนิดนี้ใช้การปกคลุมด้วย แก๊สเป็นผลให้ช่างเชื่อมสามารถมองบ่อหลอมละลายได้ชัดเจนขณะเชื่อมจึงง่ายต่อการควบคุมบ่อ หลอมละลายเพื่อให้ได้ซึ่งแนวเชื่อมที่มีคุณภาพ ทั้งนี้ข้อดีสำหรับกระบวนการเชื่อมนี้คือ ลด ขั้นตอนการทำความสะอาดแนวเชื่อมเนื่องจากไม่มีตะกรัน (Slag) เกิดขึ้นและไม่เกิดสะเก็ดโลหะ (Spatter) ในการเชื่อม



รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของกระบวนการเชื่อมทิก [7]

2.5 การอุ่นชิ้นงาน [6]

การอุ่นชิ้นงานเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่โลหะฐานก่อนการเชื่อม, บัดกรีอ่อน (Brazing), บัดกรีแข็ง (Soldering), การพ่นความร้อน (Thermal spraying) หรือการตัด ขนาดของอุณหภูมิในการอุ่นชิ้นงานขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะฐาน, ความหนาของโลหะฐาน, อุณหภูมิห้องและกระบวนการเชื่อม

ทั้งนี้การให้อุ่นชิ้นงานเป็นสิ่งที่ช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างโลหะฐาน ซึ่งมีผลต่อการลดโอกาสการเกิดรอยแตกร้าว, ลดค่าความแข็งสูงสุด (Maximum Hardness), ลดการหดตัวเนื่องจากความเค้นอันมีผลต่อการบิดตัวของชิ้นงานเชื่อมและช่วยให้แก๊สไฮโดรเจนหลุดออกโลหะ เนื่องจากการอุ่นชิ้นงานช่วยแก้ปัญหาข้างต้นดังที่กล่าวมาจึงมีผลทำให้ชิ้นงานเชื่อมทนต่อสภาพการใช้งานเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งในชิ้นงานเชื่อมที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนสูง หากมีการอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อมสามารถคงความร้อนในบริเวณเชื่อมที่เพียงพอ

การอุ่นชิ้นงานสามารถทำได้โดยการใช้หัวเผาแก๊ส (Gas Torch), เตาแก๊ส (Gas Burners), เตาอบ (Heat Treating Furnaces), เครื่องให้ความร้อนโดยอาศัยความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance Heater), อุปกรณ์เหนี่ยวนำความร้อนความถี่ต่ำ (Low Frequency Induction Heating) และเตาอบชั่วคราว (Temporary Furnace) การเลือกวิธีอุ่นชิ้นงานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น อุณหภูมิการอุ่น, ระยะเวลาในการอุ่น, ขนาด และลักษณะของชิ้นงานและลักษณะการทำงานที่ต้องการการผลิตอย่างต่อเนื่องหรือไม่

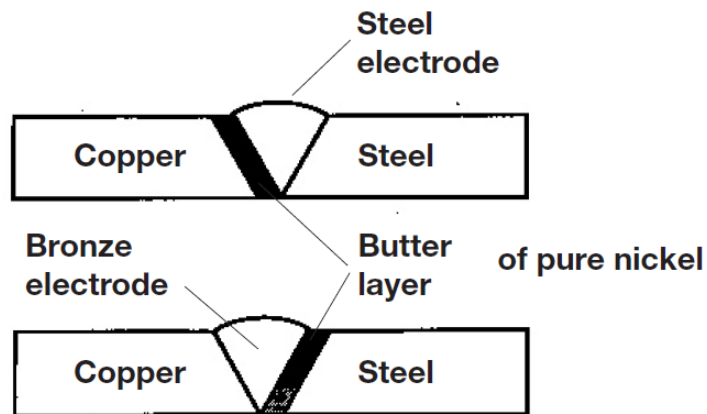
2.5.1 ข้อแนะนำทั่วไปในการอุ่นชิ้นงาน

1. ไม่ควรเชื่อมเมื่ออุณหภูมิห้องต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส และเมื่อโลหะฐานมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โลหะฐานควรทำการอุ่นให้มีอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ซึ่งโค้ดงานเชื่อม (Welding code) ต่างๆ มีการกำหนดออกไปต่างกันเล็กน้อย
2. เมื่อวัสดุเชื่อมเป็นเหล็ก อุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอน และอัลลอยในเหล็กเพิ่ม เพราะการเพิ่มขึ้นของคาร์บอน และอัลลอย เป็นการเพิ่มโอกาสการแตกร้าวมากขึ้น
3. โดยทั่วไปอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของโลหะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาของโลหะที่เพิ่มขึ้นการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นช่วยชดเชยการสูญเสียความร้อนของชิ้นงาน โลหะที่มีความหนาไม่มากต้องการการอุ่นชิ้นงานแค่บริเวณเฉพาะจุด
4. เมื่อรอยต่อ (Joint) ของชิ้นงานเชื่อมมีการเหนี่ยวรั้ง (Restraint) หรือ ความเค้น (Stress) ณ ขณะเย็นตัวมีปริมาณสูง การให้อุณหภูมิอุ่นชิ้นงานที่มีสูง ถูกนำมาใช้เพื่อลดโอกาสการเกิดรอยแตกร้าว

2.6 การเชื่อมทองแดงและทองแดงผสมกับเหล็กหรือเหล็กกล้าไร้สนิม [8]

เมื่อต้องการเชื่อมการเชื่อมทองแดงและทองแดงผสมกับเหล็กหรือเหล็กกล้าไร้สนิมเทคนิคการเชื่อมรองพื้น ควรนำมาพิจารณาสำหรับการนำมาใช้ เนื่องจากทองแดงที่มีสถานะเป็นของเหลวและบรอนซ์แพร่ (Diffusion) เข้าสู่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนของเหล็กและเกิดการตกผลึกตามขอบเกรน การแพร่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีขนาดความยาวมากกว่า 1 มิลลิเมตรและผลกระทบจากความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในการเชื่อม อาจก่อให้เกิดการแตกร้าวเกิดขึ้นได้ หากการแพร่ทองแดงดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดการแตกร้าวกับบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน ก็อาจไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานบางประเภท แต่อย่างไรก็ตามหากงานเชื่อมดังกล่าวนำไปใช้งานในการรับแรงหรืองานที่รับความร้อนสูง ส่งผลทำให้เกิดการแตกเปราะบริเวณของเกรนของบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน การแพร่ของน้ำทองแดงดังกล่าวยังสามารถเกิดขึ้นได้ในโลหะฐานนิกเกิลผสม (Nickel-base alloy) แต่ไม่เกิดขึ้นในนิกเกิลบริสุทธิ์และนิกเกิลทองแดง (Nickel-copper) ด้วยเหตุผลนี้นิกเกิลบริสุทธิ์และนิกเกิลทองแดงสามารถนำมาใช้ในการเชื่อมรองพื้นเพื่อป้องกันการแทรกซึมของน้ำทองแดงได้

การเชื่อมรองพื้นสามารถเชื่อมได้ทั้งทางด้านทองแดงและเหล็กขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งจากรูป เห็นได้ว่าการเชื่อมต่อด้วยลวดเชื่อมเหล็ก (Steel electrode) การเชื่อมรองพื้นต้องเชื่อมทางด้านทองแดง ทั้งนี้ก่อนทำการเชื่อมรองพื้นต้องทำการอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม โดยปริมาณอุณหภูมิที่ให้อุ่นขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของชิ้นงานทองแดงและกระบวนการเชื่อมที่ใช้ หากชิ้นงานหนาทำให้ความร้อนต้องมีอุณหภูมิเท่ากันทั้งชิ้น และหากชิ้นงานมีขนาดบาง การให้ความร้อนก่อนการเชื่อมอาจให้ความร้อนเฉพาะส่วนที่เริ่มต้นการเชื่อม ในกรณีที่เชื่อมต่อด้วยลวดเชื่อมบรอนซ์ (Bronze Electrode) การเชื่อมรองพื้นต้องเชื่อมทางด้านเหล็ก ส่วนการอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อมรองพื้นก็ขึ้นอยู่กับความหนาและชนิดของเหล็ก

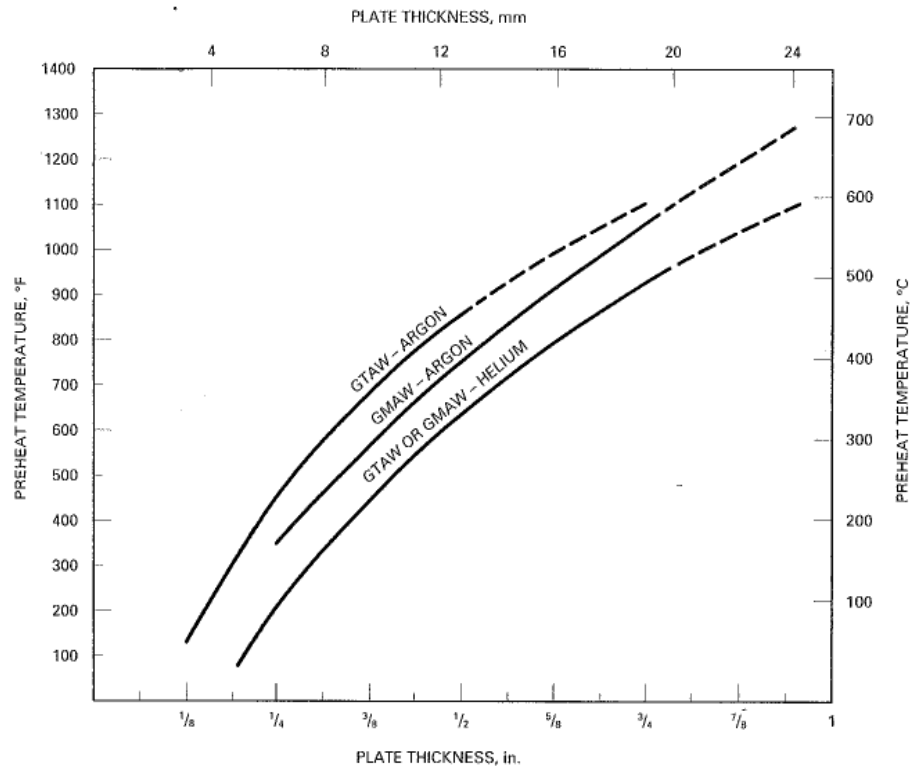


รูปที่ 2.5 แสดงตำแหน่งของการเชื่อมรองพื้นด้วยลวดนิกเกิลบริสุทธิ์ (Pure Nickel) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของลวดเชื่อมที่ทำการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนกับทองแดง [8]

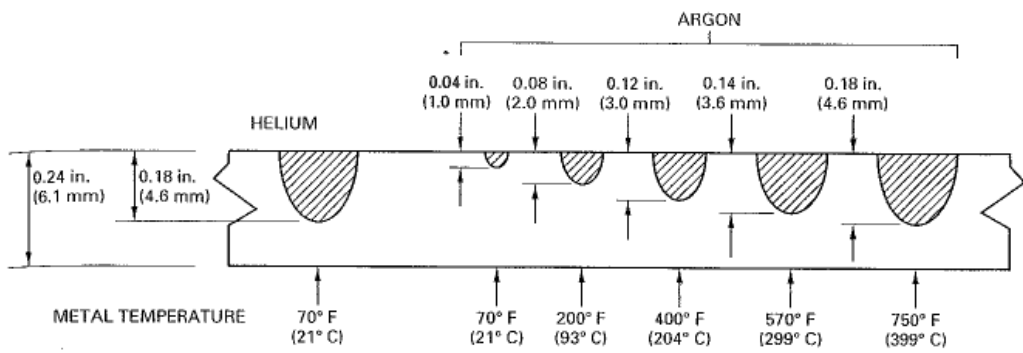
ในการเชื่อมต่อระหว่างเหล็กกับทองแดงที่ผ่านการเชื่อมรองพื้น การอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อมต้องขึ้นอยู่กับด้านที่ทำการเชื่อมรองพื้น หากเชื่อมรองพื้นด้านทองแดงไม่จำเป็นต้องอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม เนื่องจากแนวเชื่อมรองพื้นนิกเกิลหรือนิกเกิลผสมทำตัวเป็นฉนวนป้องกันการเหนียวนำความร้อนจากทองแดง แต่หากเชื่อมรองพื้นด้านเหล็กจำเป็นต้องอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม โดยปริมาณอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานทองแดงและกระบวนการเชื่อมที่ใช้

2.7 การอุ่นชิ้นงานทองแดงก่อนการเชื่อม [2]

การอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อมเพื่อให้ได้มาซึ่งการหลอมติดกันอย่างสมบูรณ์และได้การหลอมลึกตาม (Penetration) ที่ต้องการ ขนาดของอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานการเชื่อมขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานกระบวนการเชื่อม ชนิดของแก๊สปกคลุมและปริมาณความร้อนขาเข้า โดยปริมาณอุณหภูมิที่ต้องการในการอุ่นชิ้นงานที่ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานทองแดงและชนิดของแก๊สปกคลุมในแต่ละกระบวนการเชื่อม และผลกระทบจากอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานทองแดงและชนิดของแก๊สปกคลุมในกระบวนการเชื่อมที่ส่งผลต่อระยะหลอมลึก แสดงดังรูปที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 แสดงขนาดอุณหภูมิที่ต้องการในการอุ่นชิ้นงานทองแดงที่ขึ้นอยู่กับความหนาชิ้นงานและชนิดของแก๊สปกคลุมในแต่ละกระบวนการเชื่อม [2]



รูปที่ 2.7 แสดงผลกระทบจากอุณหภูมิการอุ่นชิ้นงานทองแดงและชนิดของแก๊สปกคลุม ที่ส่งผลต่อระยะหลอมลึก ในการเชื่อมบนผิวหน้าชิ้นงาน (Bead on Plate) โดยกระบวนการเชื่อมทิก [2]

2.8 กลไกการเกิดน้ำโลหะ (Liquation Mechanism) [9]

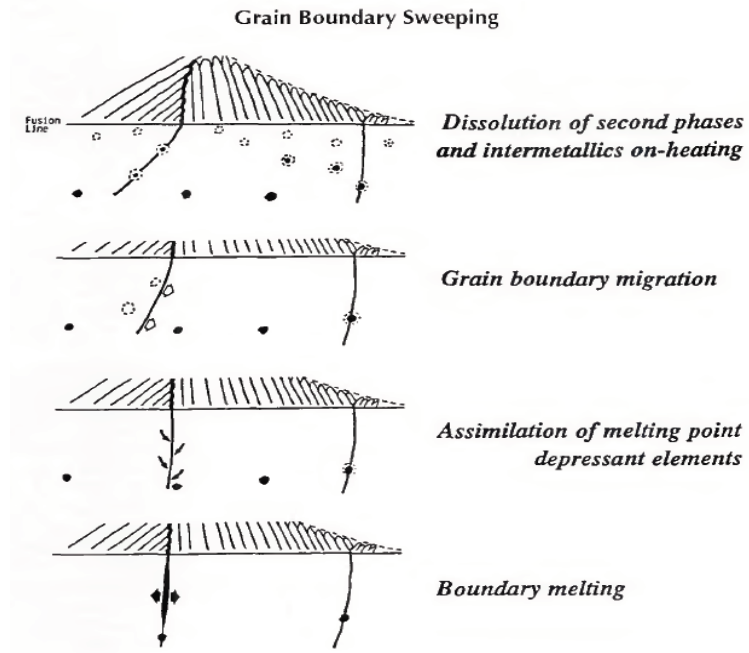
กลไกการเกิดน้ำโลหะ คือ การที่เกิดน้ำโลหะตามขอบเกรน โดยเฉพาะบริเวณกระทบร้อนของโลหะ ซึ่งงาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลไกคือ กลไกการแทรกซึม (Penetration Mechanism) กลไกการแยกตัว (Segregation Mechanism)

2.8.1 กลไกการแทรกซึม (Penetration Mechanism)

องค์ประกอบที่ทำให้เกิดกลไกการแทรกซึม คือ ของเหลวจากอนุภาค (Particle) สารประกอบโลหะ เช่น คาร์ไบด์ (Carbide), ซัลไฟด์ (Sulfide) เป็นต้น อนุภาคที่มีสถานะเป็นของแข็งใน โลหะฐานเกิดการหลอมเหลวเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน (Heating) จากการเชื่อมเมื่อขอบเกรนที่สามารถเคลื่อนย้าย (Migrated Grain Boundary) มีการเคลื่อนมาพบกับของเหลวดังกล่าว ทำให้เกิดการแพร่และการเปียก (Wetting) ครอบคลุมตามขอบเกรน ซึ่งเสี่ยงต่อการแตกร้าได้

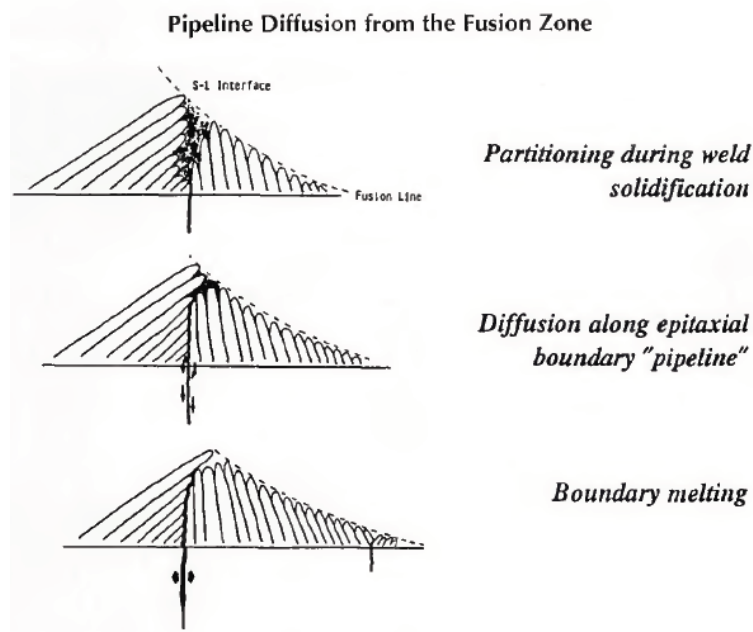
2.8.2 กลไกการแยกตัว (Segregation Mechanism)

การเคลื่อนย้ายของขอบเกรนบริเวณกระทบร้อนทำให้เกิดการกวาด (Sweeping) ธาตุมลทิน (Impurity) เกิดการแยกตัว (Segregation) ของธาตุมลทินตามขอบเกรน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ส่งผลให้ขอบเกรนมีจุดหลอมเหลวต่ำลง เมื่อความร้อนจากการเชื่อมแพร่เข้าสู่บริเวณกระทบร้อน ทำให้ขอบเกรนบริเวณกระทบร้อนเกิดการหลอมละลาย ซึ่งเสี่ยงต่อการแตกร้าขณะเย็นตัว



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการกวาด (Sweeping) ของขอบเกรนในบริเวณกระทบร้อน [9]

ทั้งนี้การแพร่ในลักษณะท่อ (Pipe Line Diffusion) เป็นส่วนหนึ่งของกลไกการแยกตัว ซึ่งเกิดจากการแข็งตัวของบ่อหลอมละลายเป็นลักษณะการแข็งตัวในทิศทางที่ง่าย (Easy Growth Direction) ทำให้เกรนของแนวเชื่อมมีการเชื่อมโยงกับเกรนในบริเวณกระทบร้อน ธาตุมลทินที่ยังคงสถานะเป็นของเหลวตามขอบเกรนของแนวเชื่อมเกิดการแพร่เข้าสู่บริเวณกระทบร้อนตามขอบเกรนที่เชื่อมโยงกันและเกิดการหลอมละลายของขอบเกรนในบริเวณกระทบร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

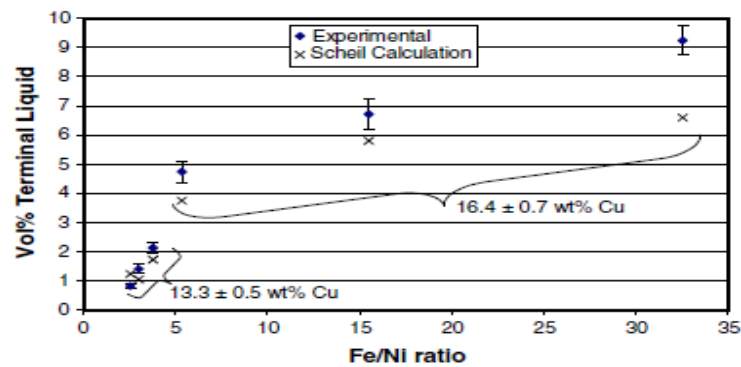


รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการแพร่แบบท่อ (Pipeline Diffusion) จากบริเวณบ่อหลอมละลายสู่บริเวณ กระทบร้อน [9]

2.9 งานวิจัยที่ผ่านมา

Fredrick F. Noecker II and John N. DuPont [10] ได้ศึกษาการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทองแดง (Cu Wire) บนผิวหน้าเหล็กกล้าแม่พิมพ์ตอกโลหะ (Die) โดยกระบวนการเชื่อมทิก เพื่อปรับปรุงการจัดการทางความร้อน (Thermal Management) ของอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตาม การเชื่อมด้วยวิธีดังกล่าวก่อให้เกิด การการแพร่ของทองแดงเข้าสู่บริเวณโลหะฐาน ซึ่งก่อให้เกิดการแตกร้าวที่อุณหภูมิสูงในบริเวณ ดังกล่าวได้ เป้าหมายในงานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อระบุช่วงของเปอร์เซ็นต์ทองแดงในเหล็กกล้าคาร์บอนที่ทำให้ เกิดการแตกร้าว จากผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้น (Concentrate) ของทองแดงต่ำกว่า 5% โดย น้ำหนัก (%wt) และ สูงกว่า 52% โดยน้ำหนัก ไม่ก่อให้เกิดการแตกร้าว ช่วงความเข้มข้นของทองแดง ระหว่าง 5% ถึง 43% โดยน้ำหนัก ก่อให้เกิดการแตกร้าว

Fredrick F. Noecker II and John N. DuPont [11] ได้ศึกษาการปรับปรุงความสามารถในการเชื่อม (Weldability) ด้วยลวดเชื่อมทองแดงบนผิวหน้าเหล็กกล้าแม่พิมพ์ตอกโลหะ โดยการนำลวดเชื่อม นิกเกิลเชื่อมรองพื้นบนผิวหน้าโลหะฐานก่อนทำการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมทองแดง จากผลการวิจัย พบว่าในบริเวณแนวเชื่อมรองพื้นที่มีการผสมกับโลหะฐาน มีการแยกตัว (Segregation) ของทองแดง ตามขอบเกรน ทั้งนี้ในบริเวณผิวพื้น (Matrix) ของแนวเชื่อมรองพื้น ที่มีอัตราส่วนของเหล็กกับนิกเกิล (Fe to Ni Ratio) สูง มีการแยกตัวของทองแดงตามขอบเกรนในปริมาณสูง ซึ่งเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดการ แตกร้าวที่อุณหภูมิสูงในบริเวณดังกล่าว และในทางกลับกันในบริเวณผิวพื้นที่มีอัตราส่วนของเหล็ก กับนิกเกิลต่ำ มีการแยกตัวของทองแดงตามขอบเกรนในปริมาณต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ทั้งนี้ เนื่องจากทองแดงสามารถละลายเข้ากับนิกเกิลได้ดี การเพิ่มขึ้นของปริมาณนิกเกิลเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพในการละลายทองแดงในผิวพื้นที่มีการผสมกันระหว่างเหล็กกับนิกเกิล (Fe-Ni Matrix)



รูปที่ 2.10 แสดงปริมาณของทองแดงที่มีสถานะเป็นของเหลว เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเหล็ก กับนิกเกิลในบริเวณแนวเชื่อมรองพื้น [11]