บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติดีทั้งทางด้านการต้านทานการกัดกร่อนและความร้อน อีกทั้งยังมีคุณสมบัติทางกลที่ดีเยี่ยมทั้งในอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้เหล็กกล้าไร้สนิมจึงถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องครัวอุปกรณ์ในโรงพลังงานนิวเคลียร์ โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและยานพาหนะ อย่างไรก็ตาม หากมีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาทำการเชื่อม คุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปหากมีการเชื่อมเกิดขึ้น เช่น การแตกร้าวร้อน delayed crack และสิ่งบกพร่องชนิดอื่นๆ อาจเกิดขึ้นได้ในการเชื่อมเหล็กกล้าไรสนิม การเลือกลวดเชื่อมและวิธีการเชื่อมจึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาเข้าใจอย่างถ่องแท้เสียก่อน

2.1 ธาตุและการให้คุณสมบัติของธาตุที่ผสมลงในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม

2.1.1 คาร์บอน (Carbon)

คาร์บอน (C) เป็นธาตุที่มีอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่วไปจะไม่เกิน 0.15% (ยกเว้นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก) เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีคาร์บอนต่ำ จะเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน ตามขอบเกรน เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็น ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมคาร์บอนอยู่ 2 ช่วง คือ 0.02% ($\leq$0.03%) และ 0.07% (0.04-0.15%) นอกจากนี้การผสมไทเทเนียม ไปในเหล็กกล้าไร้สนิมจะช่วยให้จับตัวกับคาร์บอนและให้ผลดีต่อคุณสมบัติทั้งสามข้อที่กล่าวมาเหมือนเหล็กกล้าไร้สนิมคาร์บอน 0.02% เหล็กกล้าไร้สนิมในเกรดที่มีอักษร “L” กำกับจะควบคุมคาร์บอนไม่ให้เกิน 0.03% ทำให้สามารถเชื่อมได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion) และความสามารถในการขึ้นรูปเย็นสูงกว่าเกรดที่มีคาร์บอนสูงกว่า

2.1.2 โครเมี่ยม (Chromium)

โครเมี่ยม (Cr) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศทั่วไป โดยผสมอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างน้อย 10.5% แต่เนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมมีการกระจายของโครเมี่ยมอย่างน้อย 10.5% อย่างสม่ำเสมอ เพราะว่า มีส่วนผสมของโครเมี่ยมมากกว่าเล็กน้อย เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโครเมี่ยม อยู่ 2 ช่วง คือ 12% (10.5-14.0%) และ 17% (16.0-24.0%) ถ้าผสมโครเมี่ยมเกินกว่า 30% จะทำให้เหล็กเปราะ

2.1.3 นิกเกิล (Nickel)

นิเกิล (Ni) ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบมุมอับในสารละลายกรด เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็น ตลอดจนเพิ่มความสามารถในการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมนิกเกิลอยู่ 2ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยติดมากับเหล็ก) และ 9% (6.0-15.0%)

2.1.4 โมลิบดินั่ม (Molybdenum)

โมลิบดินั่ม (Mo) ช่วยเสริมผลความต้านทานต่อการกัดกร่อนของโครเมี่ยม โดยเฉพาะการกัดกร่อนแบบมุมอับ และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนในสภาพคลอไรด์ด้วย เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโมลิบดินั่มอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยติดมากับเหล็ก) และ 2% (1.0-3.0%)

2.1.5 ไทเทเนียม (Ti)

ไทเทเนียม (Ti) ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบขอบเกรน(Intergranular corrosion) โดยสารทั้งสองตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโครเมี่ยมคาร์ไบด์ นอกจากนี้ไทเทเนียม ยังเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและความสามารถในการเชื่อมด้วย [2]

2.2 การเลือกใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม

คุณสมบัติด้านความต้านทานต่อการกัดกร่อน ความสามารถในการขึ้นรูป ความสามารถในการเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมอาจแบ่งเป็นระดับต่างๆ ได้ดังนี้ [2]

2.2.1 ความต้านทานต่อการกัดกร่อน

ปานกลาง เช่น ใช้สัมผัสกับน้ำสะอาด บรรยากาศตามชนบท
ดี เช่น น้ำตามอุตสาหกรรม บรรยากาศตามเมือง กรดอ่อนๆ
ดีมาก เช่น น้ำทะเล บรรยากาศตามทะเล กรดสูง

2.2.2 ความสามารถในการขึ้นรูป

ปานกลาง	ใช้กับงานทั่วไป
ดี	ยืดตัวได้สูง
ดีมาก	งานขึ้นรูปลึก (Deep drawing)

2.2.3 ความสามารถในการเชื่อม

ปานกลาง	งานที่ไม่ต้องเชื่อม
ดี	เชื่อมได้ในงานที่ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของการกัดกร่อนแบบขอบเกรน
ดีมาก	เชื่อมได้ในงานที่มีความเสี่ยงในเรื่องของการกัดกร่อนแบบขอบเกรน

2.3 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค

เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะมีปริมาณโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 16-25 % โดยน้ำหนัก และมีปริมาณนิกเกิลผสมอยู่ประมาณ 8-20% โดยน้ำหนัก มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Face-centered cubic(fcc) ซึ่งเรียกว่าออสเทนไนท์ และจะคงลักษณะโครงสร้างนี้ไว้ในทุกอุณหภูมิ เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะเป็นกลุ่มที่ไม่สามารถเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็กได้ และไม่สามารถทำให้แข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน เช่นเดียวกับกลุ่มเฟอร์ริติค ตามมาตรฐานของ America Iron and Steel Institute (AISI) ได้กำหนดไว้อยู่ในตระกูล 200 และตระกูล 300 เป็นกลุ่มที่มีความยืดตัวและความเหนียวดีมาก มีความสามารถในการขึ้นรูปได้ดีนอกจากนั้นยังสามารถทำให้แข็งได้ด้วยวิธีCold work การที่โครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้จะสามารถคงลักษณะเป็นออสเทนไนท์ได้ตลอดทุกอุณหภูมิ จึงจำเป็นที่ต้องมีธาตุผสมที่สามารถทำให้โครงสร้างออสเทนไนท์เสถียรในเหล็กกล้าไร้สนิมด้วย เช่น นิกเกิล ซึ่งเป็นธาตุหลัก นอกจากนั้นแล้วยังมีคาร์บอนและไนโตรเจนอีกด้วยเนื่องจากเป็นธาตุที่สามารถละลายอยู่ในโครงสร้าง fcc ได้ตามธรรมชาติเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติคสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 กลุ่มย่อย ตามลักษณะการผสมระหว่างโครเมียมกับธาตุอื่น คือกลุ่มโลหะผสมโครเมียม-นิกเกิล (Chromium-nickle alloys) ได้แก่ เกรด AISI 304 และAISI 316 และกลุ่มโลหะผสมโครเมียม-แมงกานีส-ไนโตรเจน (Chromium-manganese-nitrogenalloys) ได้แก่ เกรด AISI 201 และ AISI 241 โดยที่กลุ่มหลังนี้จะมีปริมาณนิกเกิลน้อยและจะใช้ปริมาณไนโตรเจนที่สูงเป็นตัวรักษาโครงสร้างเพิ่มความสามารถในการละลายในออสเทนไนท์ และป้องกันไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซท์ และการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนยังส่งผลให้เพิ่มความแข็งแรงแก่เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ด้วย ธาตุผสมต่าง ๆ ที่ผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมจะส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่นการผสมโมลิบดินัมลงในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และ AISI 317 เพื่อช่วยต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนในสภาพที่มีคลอไรด์ หรือในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มที่มีโครเมียมสูง เช่น AISI 309 และ AISI 310จะใช้ในลักษณะงานในสภาพที่มีการ oxidation และการใช้งานที่ระดับอุณหภูมิสูง ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนิกเกิลสูง เช่น กลุ่ม AISI 20Cb-3 มักจะใช้ในลักษณะงานที่เป็นกรดรุนแรงหรืองานที่ต้องการป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion) เมื่อใช้งานในระดับอุณหภูมิสูงจะมีการผสมไทเทเนียมหรือนีโอเบียม เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มAISI347 และ AISI321

สมบัติโดยรวมของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติค สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ไม่สามารถเหนี่ยวนำให้เป็นแม่เหล็กได้

2. มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนทั่วไปในระดับดี

3. ไม่สามารถใช้กระบวนการทางความร้อนได้ (ไม่สามารถอบชุบด้วยความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งหรือความแข็งแรงได้)

4. สามารถทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ด้วยวิธี Cold work

5. มีความยืดตัวและความเหนียวดีทั้งอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ (นิกเกิลเป็นธาตุที่ช่วยด้านสมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำมาก)

6. มีความต้านทานต่อสิ่งดังต่อไปนี้ไม่ดี

ก. Stress corrosion cracking

ข. Pitting corrosion

ค. Crevice corrosion

สำหรับส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติค ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติค เกรด AISI 304 (สภาพ Annealed) [3]

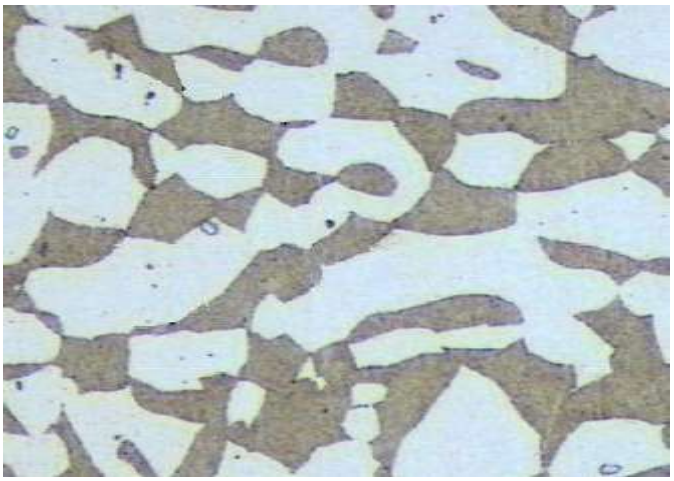
Density	(g/cm^3)	8.0
Elastic modulus	(GPa)	193
Thermal conductivity @ 100^0C	(W/m.k)	16.2
@ 500^0C	(W/m.k)	21.5
Mean coefficient of themal expansion from 0^0C –538^0C	($\mu m/m.^0C$)	18.4
Specific heat	(J/kg.k)	500
Electrical resistivity	($n\Omega.m$)	720
Magnetic permeability	(b)	1.02

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติค เกรด AISI 304 ต่อ (สภาพ Annealed) [3]

Melting range	(^{0}C)	1400-1450
Rockwell hardness (Scale B)	(HR_B)	81
Yield Strength , 0.2% offset	(ksi)	35
Ultimate Tensile Strength	(ksi)	85
Elongation (2.0 inch.)	(%)	60
Reduction of area	(%)	70
Charpy V-notch Impact Strength	(J)	>325

2.4 เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel)

เป็นเหล็กกล้าผสมโครเมียม นิกเกิล โมลิบดินัมและไนโตรเจน ซึ่งนิกเกิลและไนโตรเจนจะทำให้โครงสร้างออสเทนไนท์เสถียร อยู่ในภาวะสมดุลกับโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ทำให้โครงสร้างทั้งสองเฟสอยู่รวมกันได้อย่างเหมาะสม สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์จึงผสมผสานกันคือ ได้ความเหนียวจากโครงสร้างออสเทนไนท์ มีความต้านทานต่อการแตกร้าว ภายใต้แรงเค้นจากโครงสร้างเฟอร์ไรท์ ธาตุผสมโมลิบดินัมทำให้ฟิล์มบาง (passive film) แข็งแรง จึงมีความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือสนิมขุมสูง จากการมีแนวโน้มที่จะเกิดการตกตะกอนโครเมียมคาร์ไบด์ ที่รอยต่อขอบเกรนของทั้งสองเฟส จึงลดความเสี่ยงที่จะเกิดการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน ดังนั้น เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์จึงใช้ได้ในสิ่งที่แวดล้อมมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ทั้งจากอุณหภูมิและคลอไรด์ที่เหล็กกล้าไร้สนิมทั่วไป มีความเสี่ยงจะเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม แบบใต้รอยซ้อนและแบบแตกร้าวจากการกัดกร่อน ภายใต้แรงเค้น คำว่าเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ มาจากความหมายของเหล็กกล้าที่โครงสร้างผ่านการปรับปรุงคุณภาพอบเหนียว (annealed structure) ด้วยความร้อนมีโครงสร้างผสมระหว่าง ออสเทนไนท์และเฟอร์ไรท์เท่ากัน ขอบเขตที่ยอมรับได้ก็คือโครงสร้างแต่ละอย่างต้องมีผสมอยู่อย่างน้อยที่สุด 30% เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์จะมีข้อดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติค คือ เกรดดูเพล็กซ์มีความต้านทานแตกร้าวจากการกัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ ร่วมกับความเค้น (Cl^- SCC) สูงกว่า มีความต้านทานการกัดกร่อนแบบ pitting และแบบ crevice ได้ดีเยี่ยม มีความแข็งแรงสูงกว่า 2 เท่า และมีส่วนผสมของนิกเกิลน้อยกว่ากว่าเกรดออสเทนนิติค ประมาณครึ่งหนึ่ง ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงราคาเนื่องจากปริมาณนิกเกิลที่ใช้จึงไม่มาก



รูปที่ 2.1 โครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steels)
ที่มา : Joseph R. Davis & associates (1999)

การทำให้เฟสเฟอร์ริติคและออสเทนนิติคสมดุล โดยการจำกัดส่วนผสมของธาตุนิกเกิล มีผลดีทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ในหลายๆ สิ่งแวดล้อม ดังนั้น เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์จะมีสมบัติดีเด่นพิเศษผสมผสาน ระหว่างสมบัติดีเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเฟอริติก (Ferritic Stainless Steel) และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดออสเทนนิติค

ข้อดีของเหล็กกล้าไร้สนิมโครงสร้างเฟอริติค

- มีความต้านทานการกัดกร่อนสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ร่วมกับความเค้นดีมาก
- ใช้งานที่อุณหภูมิสูงโดยขึ้นกับปริมาณส่วนผสมของโครเมียมและโมลิบดินัม โดยเฉพาะถ้าปริมาณส่วนผสมโครเมียมยิ่งสูงมาก จะเสี่ยงต่อการแตกร้าวเนื่องจากการเกิด σ-phase
- มีความแข็งแรง (strength) สูงกว่าเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าออสเทนนิติค

ข้อเสียของเหล็กกล้าไร้สนิมโครงสร้างเฟอริติค

- มีความสามารถรับการเชื่อมต่ำ (poor weldability)
- มีความเหนียวแน่นต่ำ (poor toughness) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะงานเชื่อม

ข้อดีของเหล็กกล้าไร้สนิมโครงสร้างออสเทนนิติค

- มีความสามารถรับการเชื่อมดีเลิศ (excellent weldability)
- ทนต่อแรงกระแทกได้ดีมีความเหนียวแน่น (toughness) ที่อุณหภูมิปกติสูง
- สามารถใช้งานที่อุณหภูมิเย็นจัด (cryogenic temperature) โดยยังคงความแข็งแรง
- สามารถเพิ่มความแข็งได้จากการขึ้นรูปหรือจากการใช้งาน (hardened by cold working)

ข้อเสียของเหล็กกล้าไร้สนิมโครงสร้างออสเทนนิติค

- ทนต่อการกัดกร่อนในสารละลายคลอไรด์ร่วมกับความเค้นต่ำ
- ความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติค

2.5 สมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้าไร้สนิมต่อความสามารถในการเชื่อม

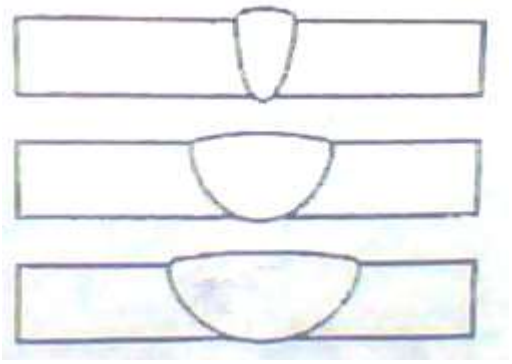
เหล็กกล้าไร้สนิมมีสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ที่สำคัญและแตกต่างจากเหล็กกล้าคาร์บอนอยู่สองประการคือการนำความร้อนและการขยายตัวเนื่องจากความร้อน

2.5.1 การนำความร้อน

เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติคมีความสามารถในการนำความร้อนประมาณ 1/3 ของเหล็กกล้าคาร์บอน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยค่าการเชื่อมเดียวกัน จะพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีการนำความร้อนออกไปจากบริเวณแนวเชื่อมช้ากว่าเหล็กกล้าคาร์บอน จึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมมีการบิดตัวมากกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และการเพิ่มธาตุผสม เช่น นิกเกิล โครเมียม หรือทองแดงลงในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเทนนิติค จะทำให้มีความสามารถในการนำความร้อนลดลง [4]

Type of Stainless	Thermal Conductivity*
Low Carbon Steel	35
410 Martensitic Stainless 430 Feritic Stainless	15-17
304 Austenitic Stainless	11-13

*Btu/hr-ft-F



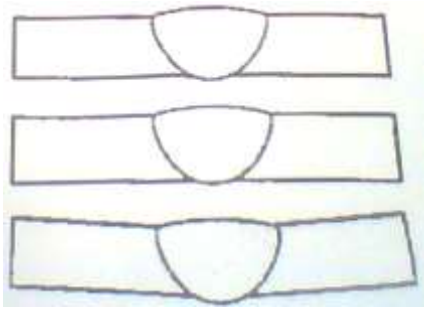
รูปที่ 2.2 ผลของสมบัติทางกายภาพต่อการเชื่อม [4]

2.5.2 การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

ระหว่างการเชื่อมจะมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อน และทำให้เกิดการบิดงอของโลหะที่ทำการเชื่อม ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกว่าโลหะนั้นจะมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและหดตัวเมื่อเย็นตัวมากน้อยเพียงใด หากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวมากก็จะมีการขยายตัวและหดตัวมากและส่งผลให้เกิดการบิดตัวมากขึ้นตามลำดับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนประมาณ 50% ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเฟอร์ริติคและมาร์เทนซิติคจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนใกล้เคียงกับเหล็กกล้าคาร์บอน ดังนั้นหากทำการปรับเปลี่ยนค่าการเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติคเพื่อให้ได้ขนาดรอยเชื่อมใกล้เคียงกับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนหรือมาร์เทนซิติค จะพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคจะมีการบิดตัวมากขึ้น และการเพิ่มธาตุผสม เช่น นิกเกิล หรือทองแดงลงในเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มออสเตนนิติค จะทำให้มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนลดลง การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมจะใช้เทคนิคการเชื่อมที่แตกต่างกับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน เนื่องจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นจะมีโอกาสเสี่ยงต่อการบิดตัวได้สูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน ดังนั้นการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมจะต้องควบคุมปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน (heatinput) ให้ต่ำที่สุด โดยการใช้กระแสเชื่อมที่ต่ำ ใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็ก เดินแนวเชื่อมให้เร็วขึ้นการเชื่อมชิ้นงานที่บางกว่า 0.25 นิ้ว (6.35 มม.) ควรจะใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และหากเป็นชิ้นงานที่หนาอาจจะใช้เทคนิคการเชื่อมแบบเว้นระยะ (Step Welding) หรืออาจใช้แผ่นโลหะที่นำความร้อนสูงประกบใต้ชิ้นงานที่ทำการเชื่อม [1]

Type of Stainless	Main Coefficient of Thermal Expansion
Low Carbon Steel	6.5
410 Martensitic Stainless	6.5
430 Feritic Stainless	
304 Austenitic Stainless	10

*From 30-1000°F (micro-in/in-F)



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการขยายตัวเนื่องจากความร้อนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กกล้าคาร์บอน
ที่มา : Joseph R. Davis & associates (1999)

2.6 การควบคุมปริมาณความร้อนในการเชื่อม (Heat input)

ความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมที่สูงเกินไปจะส่งผลเสียต่อสมบัติเชิงกล ปกติเหล็กกล้าสเตนเลสจะใช้ปริมาณความร้อนในการเชื่อมน้อยกว่าเหล็กคาร์บอน 20 - 30 % เนื่องจากเหล็กกล้าสเตนเลสมีค่าการนำความร้อนต่ำ การแผ่กระจายความร้อนจึงช้า ต้องแก้ไขโดยการใช้แผ่นทองแดงประกบชิ้นงานช่วยกระจายความร้อน นอกจากนี้อาจลดกระแสไฟเชื่อม, ลดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า, เพิ่มความเร็วการเดินแนวเชื่อมและเลือกใช้กระบวนการเชื่อมที่มีผลสะสมปริมาณความร้อนให้น้อยที่สุด

สมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าในการเชื่อม

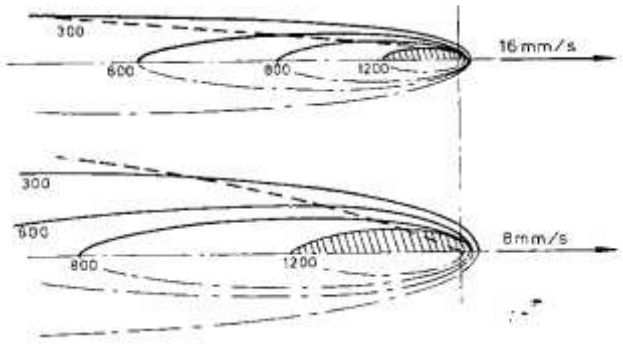
$$\text{Heat input (Kj/mm)} = \frac{\text{โวลท์} \times \text{แอมป์} \times 60}{\text{ความเร็วเชื่อม (มม./นาที)} \times 1000}$$

หมายเหตุ
- ปริมาณความร้อนเข้า [Heat input (Kj/mm)]
- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม [V = arc voltage]
- กระแสไฟฟ้าเชื่อม [A = welding current (A)]
- ความเร็วเชื่อม [S = welding speed (mm/ min)]

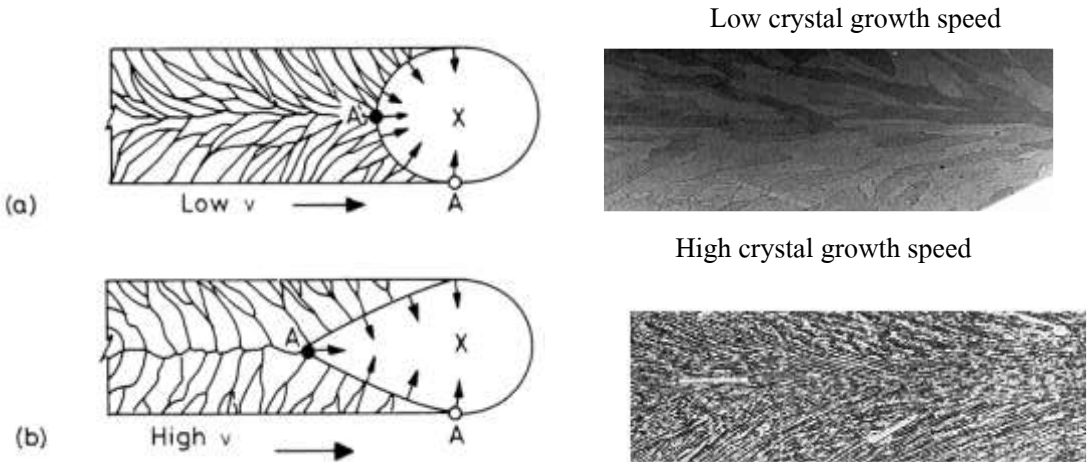
ที่มา : CIGWELD (2000)

2.7 อิทธิพลของความเร็วในการเชื่อม

ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมจะมีผลต่อลักษณะรูปร่างของวงจรกระแสความร้อน ก็จะส่งผลต่อขนาดและรูปร่างของแนวเชื่อมด้วย กล่าวคือจะทำให้แนวเชื่อมเล็กหรือใหญ่ตามต้องการ การที่ได้แนวเชื่อมที่มีขนาดต่างกันการหลอมละลายของงานเชื่อมก็จะต่างกันออกไป ถ้าเพิ่มความเร็วในการเชื่อม จะมีผลดังนี้ 1) ทำให้รูปร่างของวงจรพลังงานความร้อนต่อความยาวของแนวเชื่อมลดลง 2) การหลอมละลายของงานเชื่อมจะลดลง 3) การสิ้นเปลืองลวดเชื่อม ฟลั๊กซ์ ต่อความยาวแนวเชื่อมลดลง ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการรับภาระของแนวเชื่อมลดลงไปด้วย



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการแผ่กระจายของวงจรความร้อนเมื่อความเร็วในการเชื่อมต่างกัน [5]



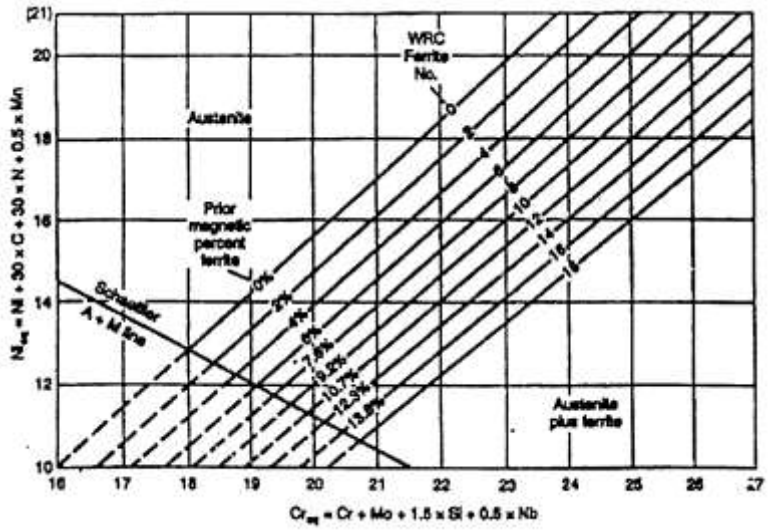
รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดโครงสร้างของรอยเชื่อมกรณีใช้ความเร็วต่างกัน) [5]

การใช้ความเร็วสูงหรือความเร็วต่ำในการเชื่อมจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะของการเกิดโครงสร้างของรอยเชื่อม กล่าวคือถ้าเป็นการเชื่อมด้วยความเร็วสูง ๆ รอยเชื่อมจะเกิดโครงสร้าง Columnar Dendrite ที่เล็กและละเอียด ซึ่งจะส่งผลดีต่อสมบัติทางกลของรอยเชื่อม แต่ถ้าเชื่อมด้วยความเร็วต่ำ ๆ ในเวลาที่เท่ากันโลหะงานจะได้รับพลังงานความร้อนเข้ามากกว่า และเย็นตัวช้ากว่าก็จะเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์เกิดขึ้นได้ และโครงสร้างของ Columnar Dendrite ที่ได้จะหยาบกว่าซึ่งไม่ส่งผลดีต่อสมบัติทางกลเลย [5]

2.8 โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ที่ได้หลังการเชื่อม

ชิ้นงานเชื่อมเมื่อได้รับความร้อนจากการเชื่อม จะทำให้โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของบริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) เกิดการเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคนี้ จะส่งผลให้สมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติทางกล ในการเชื่อม

ส่วนผสมของโลหะรอยเชื่อมก็จะแปรเปลี่ยนไป การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ถือได้ว่าเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลาย มีโอกาสเกิดโครงสร้างจุลภาคแบบดูเพล็กซ์ได้ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เนื้อโลหะรอยเชื่อมมีโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างกันคือ ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อโลหะรอยเชื่อม ดังนั้น ก่อนการเชื่อมประสานโลหะชนิดใดผู้ควบคุมการเชื่อม ควรรู้ส่วนผสมทางเคมีของโลหะชิ้นงานชนิดนั้นก่อน เพื่อสามารถเลือกกรรมวิธีการเชื่อมที่เหมาะสมได้ เพื่อได้โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมที่ดี เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแบบ GMAW และ GTAW มีการใช้แก๊สปกคลุมบ่อหลอมละลายขณะทำการเชื่อม เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น แก๊สไนโตรเจนจากสภาวะแวดล้อมก็ยังสามารถผสมไปในบ่อน้ำโลหะได้ ดังนั้น การทำนายโครงสร้างจุลภาคที่เกิดในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค จึงใช้แผนภูมิเดอลอง (DelongDiagram) เนื่องจากได้อธิบายผลของไนโตรเจนที่มีต่อค่านิเกิลเทียบเท่า ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณเดลต้าเฟอร์ไรท์ ในโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค เมื่อพิจารณาแผนภูมิเดอลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

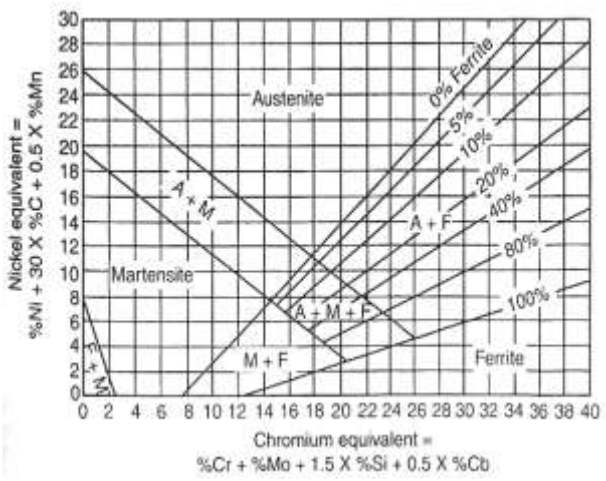


รูปที่ 2.6 แผนภูมิเดอลองแสดงอิทธิพลของส่วนผสมทางเคมี ต่อโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะเชื่อม

ที่มา : Hawkins and Hultgren (1995)

โลหะเชื่อมจะมีธาตุผสมหลักไม่น้อยกว่า 3 ชนิด เมื่อพิจารณาสถานะของโครงสร้างจากไดอะแกรมโลหะผสม 3 ธาตุ (Ternary Phase Diagram) ซึ่งต้องใช้ความรู้ ความชำนาญสูง ในการอ่านแปลผล เพื่อทำนายโครงสร้างที่นิยมใช้คือ เชฟเลอร์ไดอะแกรม (Schaeffler Diagram) แกนตั้งของ

ไดอะแกรมจะแสดงค่านิกเกิลเทียบเท่า (Nickel Equivalent : N_{eq}) และแกนนอนของไดอะแกรมจะแสดงค่าโครเมียมเทียบเท่า (Chromium Equivalent : Cr_{eq}) ทั้งสองค่าจะแสดงสมการที่ใช้คำนวณหาค่าปรากฏอยู่ที่ด้านบนและด้านล่างของไดอะแกรม จุดพิกัดที่เกิดจากการตัดกันของทั้งสองค่าเป็นโครงสร้างที่เกิดจากอัตราการเย็นตัวที่เหมาะสมจากการเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.7

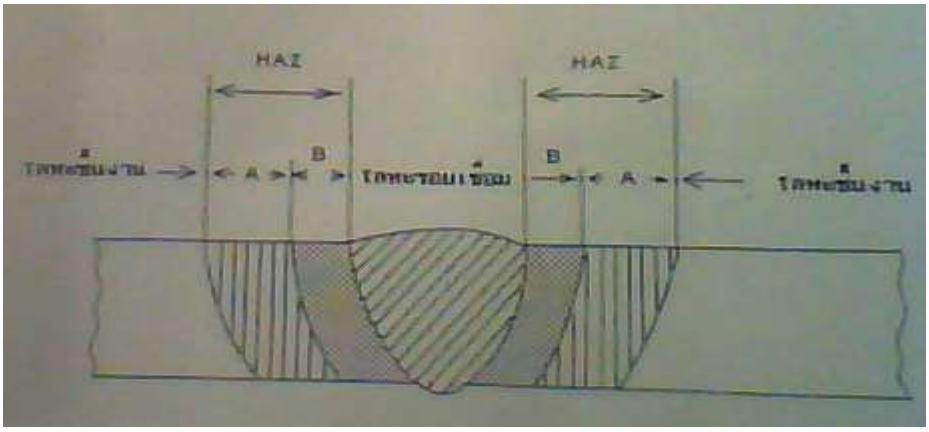


รูปที่ 2.7 แผนภาพเชฟเลอร์ไดอะแกรม (Schaeffler Diagram)

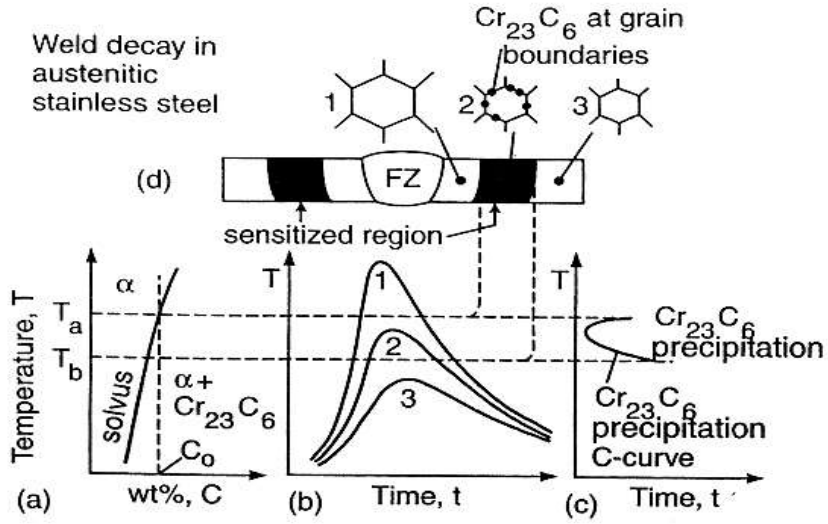
ที่มา : Hawkins and Hultgren (1995)

2.9 รอยเชื่อมเสื่อมลง

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติคที่ผ่านการรีดมาแล้วและถูกทำกรรมวิธีทางความร้อนด้วย โครงสร้างจุลภาคของโลหะชิ้นงานแสดงโครงสร้างที่ผ่านการรีดมาในเฟสของออสเตนไนท์เดี่ยว ตรงกันข้ามกับสิ่งนี้ บริเวณกระทบร้อน (HAZ) ประกอบด้วยพื้นที่สองแห่งที่แตกต่างกัน บริเวณส่วนที่ละลาย (solution part) ได้รับความร้อนถึง 1000 ^{o}C หรือ มากกว่านี้ และบริเวณส่วนที่คาร์ไบด์ตกผลึก (carbide crystallized) ได้รับความร้อน 500 ^{o}C ถึง 800^{o}C ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงรอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค A คือ บริเวณคาร์ไบด์ตกผลึก B คือ บริเวณอบละลาย) [6]



รูปที่ 2.9 แสดงการกระจายตัวของโครเมียมที่กระจุตัวใกล้กับขอบเกรน) [6]

ความสามารถในการละลายตัวของคาร์บอนในโลหะชิ้นงานจะลดลงอย่างมากที่อุณหภูมิต่ำกว่า900๐C โลหะชิ้นงานซึ่งถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในกระบวนการการละลายตัวของแข็งจะมีคาร์บอนอยู่ในสถานะของแข็งที่ไม่คงตัว (unstable) ในขอบเขตที่ได้รับความร้อนที่ 500 – 600๐C โดยความร้อนจากการเชื่อม (บริเวณคาร์ไบด์ตกผลึก ในรูปที่ 2.9 คาร์บอนจะผสมกับโครเมียมซึ่งมีความเกี่ยวพันกันมาก และโครเมียมคาร์ไบด์จะตกผลึกคงตัวในขอบเกรนออสเตนไนท์) การที่โครเมียมคาร์ไบด์ตกผลึกตามขอบเกรนก็ทำให้ปริมาณโครเมียมลดลงรอบ ๆ ขอบเกรน ขั้นที่มีโครเมียมต่ำตามขอบเกรนนี้ก็จะเป็นเหตุให้เกิดการกัดกร่อนและปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่ารอยเชื่อมเสื่อมลง การขยายตัวของการกัดกร่อน

ตามเกรนเป็นผลมาจากปริมาณคาร์บอน และยังได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิการให้ความร้อนกับเวลาในการให้ความร้อน และการกัดกร่อนตามเกรนจะเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีอุณหภูมิประมาณ 700_0 C ในบริเวณกระทบร้อน (HAZ) ของโลหะชิ้นงาน มีพื้นที่กว้างที่จะเกิดการกัดกร่อนตามเกรน เมื่อความร้อนเข้าของการเชื่อมเพิ่มขึ้น ซึ่งก็หมายความว่าความร้อนเข้าจากการเชื่อมมีปริมาณมาก ก็จะทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนตามเกรนของบริเวณกระทบร้อนด้อยลงอย่างมาก ในการเชื่อมแบบหลายชั้นเชื่อมของชิ้นงานที่หนาบริเวณ HAZ ก็จะได้รับความร้อนซ้ำ ๆ กันตลอด และจากที่กล่าวถึงข้างต้น กรณีของการเชื่อมชั้นเชื่อมเดียว ความร้อนเข้าไม่สามารถทำให้มีอิทธิพลต่อความต้านทานการกัดกร่อนของกรรมวิธีการเชื่อมนี้ [7]

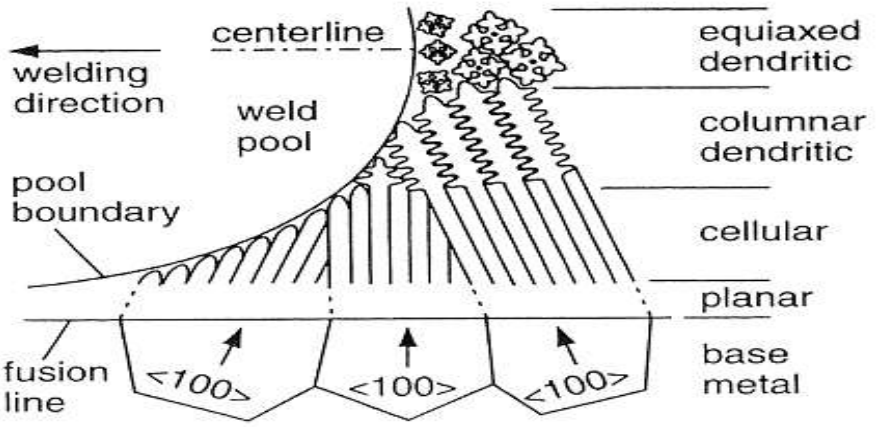
2.10 การแข็งตัวของโครงสร้างผลึกของแนวเชื่อม

2.10.1 การเกิดเกรนลักษณะ Epitaxial growth ที่ขอบของแอ่งรอยเชื่อม

ในกรณีของการเชื่อมแบบหลอมละลาย เกรนของโลหะฐาน (Base metal) จะทำหน้าที่เหมือนกับฐานรองรับ (Substrate) สำหรับการเกิด nucleation ของโลหะขณะที่มีการแข็งตัวจากสภาพหลอมเหลว ดังนั้นโลหะหลอมเหลวในแอ่งรอยเชื่อมจะสัมผัสติดกับฐานรองรับและเกิดเป็นเกรนโลหะในลำดับต่อมา

ในกรณีการเชื่อมแบบไม่เติมลวดเชื่อม (Autogenous welding) จะเกิด nucleation โดยการจัดเรียงตัวของอะตอมจากฐานรองรับ โดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวของผลึกที่เติบโต เรียกว่าการเติบโตแบบ Epitaxial growth หรือ Epitaxial nucleation โดยมีการเติบโตในทิศทาง <100>สำหรับโลหะที่มีโครงสร้างเป็นแบบ FCC หรือ BCC [4] และได้แสดงลักษณะการเติบโตของเกรนไว้ในรูปที่ 2.10

ในกรณีการเชื่อมแบบเติมลวดเชื่อมหรือการเชื่อมโลหะต่างกันสองชนิด ส่วนผสมของโลหะเชื่อมจะต่างจากส่วนผสมของโลหะฐาน และโครงสร้างผลึกของโลหะเชื่อมก็จะต่างจากโครงสร้างผลึกของโลหะฐานเช่นกัน เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะไม่มีการเกิดโครงสร้างลักษณะ Epitaxial growth ในการเชื่อมแบบเติมลวดเชื่อมและจะเกิดเป็นเกรนใหม่ที่ขอบของแอ่งรอยเชื่อม (Fusion boundary)



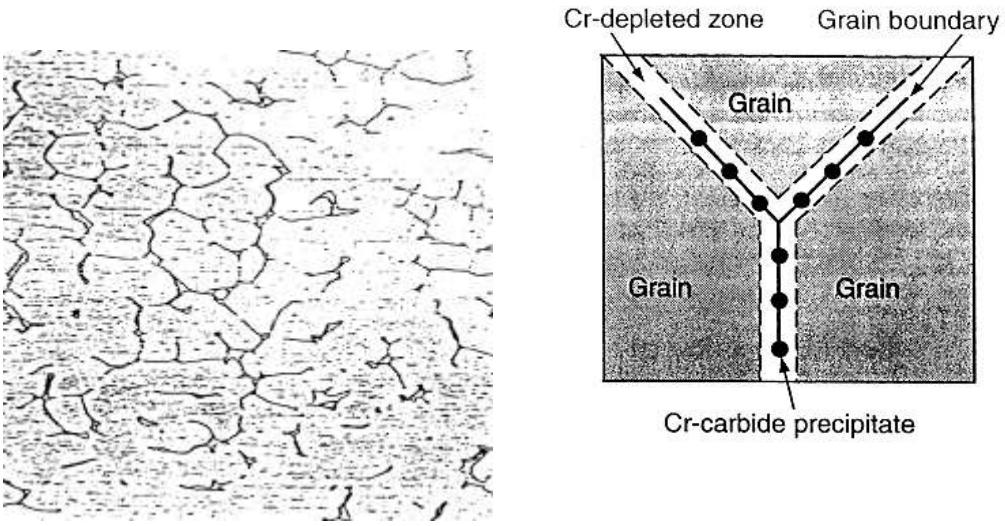
รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเติบโตของเกรนของโลหะเชื่อม) [1]

2.10.2 การเกิดเกรนลักษณะ Competitive growth ที่ขอบของแอ่งรอยเชื่อม

ในการเชื่อมโดยปกติ โครงสร้างผลึกจะเกิดในลักษณะ Epitaxial growth ที่ขอบของแอ่งรอยเชื่อมในกรณีที่โลหะเชื่อมและโลหะฐานมีโครงสร้างผลึกที่เหมือนกัน หรือเกิดเกรนใหม่เมื่อโลหะทีเชื่อมทั้งสองชิ้นนั้นมีโครงสร้างผลึกที่ไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตามในบริเวณถัดเข้ามาจากขอบของแอ่งรอยเชื่อมจะมีกลไกในการเกิดเกรนที่ต่างออกไปเรียกว่าการเกิดเกรนลักษณะ Competitive growth ระหว่างที่มีการแข็งตัวของโลหะหลอมเหลว เกรนที่แข็งตัวจะพยายามแข็งตัวและเติบโตในทิศทางที่ตั้งฉากกับแอ่งรอยเชื่อม เนื่องจากเป็นทิศทางที่มีค่า Temperature gradient และการนำความร้อนสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามเกรนของผลึกโลหะจะพยายามเติบโตในทิศทางที่เติบโตได้ง่ายที่สุด ซึ่งก็คือการเติบโตในทิศทางที่ตั้งฉากกับแอ่งรอยเชื่อม

2.11 การแตกร้าวร้อน (Hot cracking)

การแตกร้าวส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค ก็คือการแตกร้าวร้อนที่เกิดขึ้นตามขอบเกรนออสเตนนิติคหรือที่ขอบผลึกเสาเข็ม (columnar crystal) ตรงบริเวณส่วนที่มีอุณหภูมิสูงตรงโลหะรอยเชื่อมที่เปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง มาตรการที่มีผลมากที่สุดที่ใช้ในการป้องกันการแตกร้าวร้อนก็คือ เติมเฟอร์ไรท์จำนวนมากๆ ลงในโลหะรอยเชื่อม แต่เดิมวัสดุงานเชื่อมสิ้นเปลือง เช่น 308 , 316, 347 จะมีเฟอร์ไรท์ผสมอยู่ในโลหะรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และสามารถที่จะป้องกันการแตกร้าวร้อนได้อย่างผลดี เมื่อทำการเชื่อมในลำดับขั้นตอนการเชื่อมปกติ

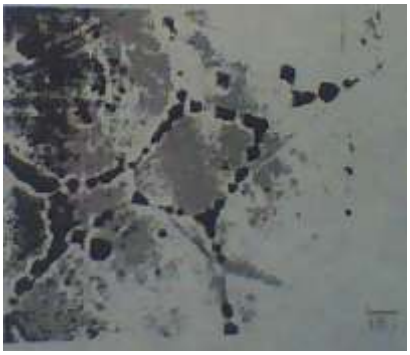


รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะรอยเชื่อม 304 (X 400)

การที่มีเฟอร์ไรท์อยู่ในโลหะรอยเชื่อมนี้ ไม่เพียงแต่จะเพิ่มการต้านทานการแตกร้าวร้อนเท่านั้น แต่ยังมีผลในการต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติเชิงกลของโลหะรอยเชื่อมด้วย โดยทั่วไปการควบคุมปริมาณของเฟอร์ไรท์ให้เหมาะสมจะมีความสำคัญมาก

2.12 การกัดกร่อนตามขอบเกรน

เนื่องจากในเหล็กทั่ว ๆ ไปจะมีคาร์บอนผสมอยู่ เมื่อผสมโครเมียมลงไปโครเมียมเป็นธาตุที่รวมกับคาร์บอนได้ดีให้โครเมียมคาร์ไบด์ ด้วยเหตุนี้ปริมาณของโครเมียมในเหล็กจะลดลงต่ำกว่า 12% (ถ้าผสมโครเมียมเพียง 12 %) ทำให้เหล็กไม่มีสมบัติต้านทานการเป็นสนิมได้ โดยทั่ว ๆ ไปจะผสมโครเมียมตั้งแต่ 15 –18 % เพื่อให้มีปริมาณโครเมียมสูงกว่า 12 % แม้ว่าจะมีโครเมียมรวมกับคาร์บอนเสียบ้างก็ตาม การเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ ส่วนใหญ่จะเกิดอยู่ตามขอบเกรน (grain boundary)ดังนั้น ถ้าในเหล็กมีโครเมียมต่ำกว่า 15 % อาจจะทำให้ตามบริเวณขอบเกรนของเหล็กมีโครเมียมต่ำกว่า 12 % อาจจะทำให้เหล็กเกิดการสึกกร่อนขึ้นได้ตามบริเวณขอบเกรน ซึ่งเรียกกว่า Intergranular Corrosion การเกิดผุกร่อนลักษณะนี้จะเกิดตามเกรน และกินลึกลงไปเมื่อเกรนที่ถูกกัดกร่อนหลุดไปทีละเกรน ดูที่ผิวอาจจะมองเห็นไม่มากแต่ลึกลงไปอาจจะลึกมากก็ได้ [6]



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน [5]

2.13 การเลือกใช้กระบวนการเชื่อม(Application Welding Process)

กระบวนการเชื่อมแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

2.13.1 การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Welding)

เหล็กกล้าไรสนิมส่วนใหญ่ใช้กระบวนการเชื่อมด้วยไฟฟ้าเช่น กระบวนการเชื่อมทังสเตนอาร์คอาร์กอน (GTAW) กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดหุ้มฟลั๊กซ์ (SMAW) กระบวนการเชื่อมฟลั๊กซ์คอร์ (FCAW) กระบวนการเชื่อมก๊าซเมลทัลอาร์ค (GMAW) กระบวนการเชื่อมใต้ฟลั๊ก (SAW) เป็นต้น ยกเว้นกระบวนการเชื่อมอาร์คที่ไม่ได้เติมลวดเชื่อม(Autogenously Welding)ในบางกรณีจำเป็นต้องให้ความร้อนหลังการเชื่อมเพื่อเป็นการปรับปรุงลักษณะโครงสร้างจุลภาคเกิดความสมดุลและขจัดการตกผลึกของสารประกอบโลหะที่ไม่ต้องการในการเชื่อมส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการเชื่อมทังสเตนอาร์คอาร์กอน(GTAW)ในการเชื่อมแนวรากและแนวที่สองในการเชื่อมเหล็กหนาเนื่องจากระบวนการเชื่อมทังสเตนอาร์คอาร์กอน(GTAW)มีข้อดีตรงสามารถควบคุมการเชื่อมให้ได้คุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนได้ดี

2.13.2 กระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding Process)

กระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งยังมีผลการศึกษาผลการเชื่อมน้อยมาก ตัวอย่างกระบวนการเชื่อมแบบระเบิดที่ใช้ในการเชื่อมพอกผิวเพื่อใช้ในการเพิ่มคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนแลกะคุณสมบัติทางกลที่ต้องการ ยังมีกระบวนการเชื่อมด้วยแรงเสียดทานโดยวิธีนี้จะทำให้ชิ้นงานมีความต้านทานการกัดกร่อนในบริเวณการเชื่อมดีการเชื่อมแบบหลอมละลายด้วยการอาร์คด้วยไฟฟ้าเพราะการเชื่อมแบบอาร์คด้วยไฟฟ้าจะเกิดการตกตะกอนของสารประกอบโลหะและการสูญเสียธาตุ

ไนโตรเจนของแนวเชื่อมแต่กระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็งก็ยังคงต้อทำการศึกษาวิจัยเพื่อที่จะนำมาใช้เชื่อมต่อไป[8]

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

T. W. NELSON, J. C. LIPPOLD AND M. J. MILLS (1999) [28] ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างจุลภาค(Microstructure) ในบริเวณของการหลอมละลาย (Fusion boundary) จากการเชื่อมโลหะต่างชนิดกัน(Dissimilar welds) ระหว่าง เหล็กกล้าสเตนเลสเฟอริติก และเหล็กกล้าสเตนเลสออสเทนนิติก ด้วยลวดเชื่อม 70Ni-30Cu (AWS A5.14 ERNiCu-7) หลักสำคัญในการศึกษาคือ ต้องเข้าใจธรรมชาติและปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่เกิดการหลอมละลาย จนกระทั่งมีการเย็นตัวลงของโลหะหลอมเหลวเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก หรือเกิดกระบวนการแข็งตัวของโลหะ (Solidification) ได้หลายรูปแบบ หลักการพื้นฐานคือ คุณลักษณะเฉพาะหรือคุณสมบัติขอธาตุผสมที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อความสามารถทางด้านการเชื่อมและความสามารถในการหลอมละลายต่างกันด้วย นอกจากนี้ปรากฏการณ์ดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อบริเวณข้างเคียงคือ บริเวณกรทบร้อน(Heat Affected Zone) ซึ่งจากการศึกษาสรุปได้ว่า โครงสร้างผลึกที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิออสเทนเนติก (Austenitic temperature) ซึ่งเกิดโครงสร้างผลึกแบบγ-FCC จะเป็นโครงสร้างเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงเป็นโครงสร้างอย่างอื่น เนื่องจากผลของอุณหภูมิ อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่บริเวณหลอมละลายสามารถมีผลกระทบต่อลักษณะของเกรณ(Grain)ที่บริเวณได้รับผลกระทบจากความร้อน(HAZ)ได้