

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการขึ้นรูปหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบเดิม

หม้อก๋วยเตี๋ยวนิยมผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลสที่มีการใช้เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในการผลิตมีการประสานตะเข็บรอยต่อป้องกันการรั่วซึมด้วยกระบวนการบัดกรีอ่อน (รูปที่ 2.1) กับวัสดุบัดกรี มีส่วนผสมของตะกั่วและดีบุกในอัตราส่วนประมาณ 60 ต่อ 40 ซึ่งตะกั่วของวัสดุบัดกรีนี้เองสามารถจะละลายปนเปื้อนออกมาในน้ำได้ที่อุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 190 องศาเซลเซียส ซึ่งสารตะกั่วที่ปนเปื้อนออกมาในน้ำได้ที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์นอกจากนี้ยังพบว่า ตะกั่วที่สะสมในปริมาณน้อย แต่สะสมเป็นเวลานานจะทำให้ระดับสติปัญญาลดลง หรือมีไอคิวต่ำกว่าเด็กปกติและที่สำคัญกว่านั้นคือพิษจากสารตะกั่วจะก่อให้เกิดโรคมะเร็งรวมถึงตะกั่วจะไปทำลายระบบประสาทส่วนปลายทำให้เป็นอัมพาตที่นิ้วเท้าและมือ ทำลายเซลล์สมอง ทำลายการทำงานของไต-กระดูก เป็นผลร้ายกับสุขภาพอีกด้วย [1]

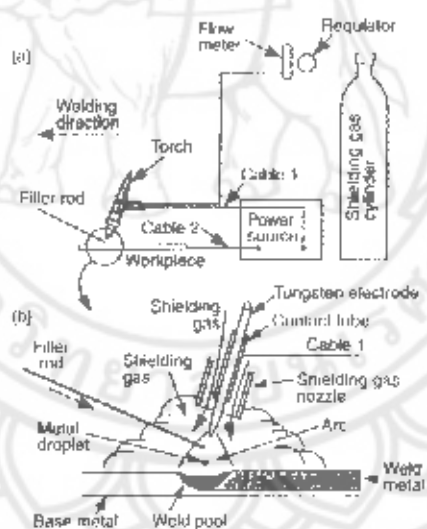


รูปที่ 2.1 แสดงการเชื่อมหม้อก๋วยเตี๋ยวแบบใช้ตะกั่วบัดกรีทน

2.2 การเชื่อม Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) หรือการเชื่อมแบบทิก

การเชื่อม Gas Tungsten Arc Welding เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าการเชื่อมแบบทิก (Tungsten Inert Gas Welding) การเชื่อมแบบทิกเป็นการเชื่อมที่ไม่มีการสูญเสียอิเล็กโทรดตั้งนั้นในการเชื่อม-โลหะด้วยวิธีการเชื่อมแบบทิกจึงต้องให้โลหะเติมจากภายนอก รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมแบบทิกและลักษณะของการเชื่อมทิก จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า Torch (หัวเชื่อมทิก) จะมีลักษณะที่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับการเชื่อมด้วยแก๊สอะซิโตน หรือการเชื่อมแบบ SMAW โดยภายในหัวเชื่อมจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ

1. อิเล็กโทรดทังสเตน ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งให้ความร้อนในการเชื่อม
2. Contact tube ทำหน้าที่ระบายความร้อนของ Electrode โดย Contact tube นั้นทำจากทองแดงซึ่งมีความสามารถระบายความร้อนได้ดีและมีน้ำหล่อเย็นตลอดเวลา
3. Shielding gas nozzle ทำหน้าที่ในการปล่อยแก๊สปกคลุมรอยเชื่อมโดยในการเชื่อมทิกจะใช้แก๊สเฉื่อยเช่น อาร์กอน หรือ ฮีเลียม ในการปกคลุมรอยเชื่อมชั่วคราวไฟฟ้าในการเชื่อม [2]



รูปที่ 2.2 การเชื่อมแบบ GTAW

(a) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมแบบ GTAW

(b) ลักษณะการเชื่อมแบบ GTAW

(ที่มา : ASM Metals Handbook Volume 6 Welding brazing and soldering, ASM International)

2.2.1 ขั้วไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ใช้ในการเชื่อมที่มีความสำคัญต่อสมบัติของการเชื่อมที่ต่างกันมากโดยในการเชื่อมจะมีการเลือกใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ชนิดคือ

2.2.1.1 Direct Current Electrode Negative (DCEN)

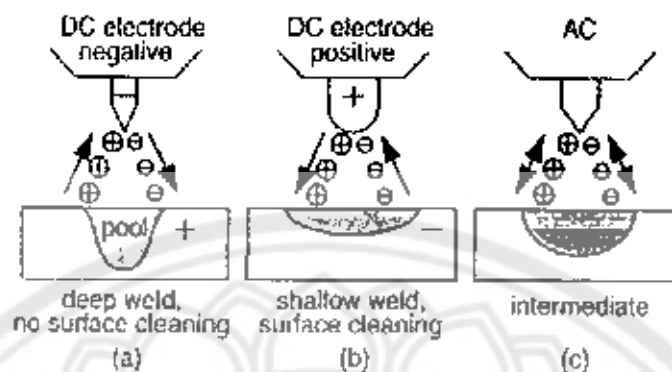
รูปที่ 2.3 a แสดงลักษณะของขั้วอิเล็กโทรดแบบ DCEN โดย DCEN จะใช้อย่างกว้างขวางในการเชื่อมโดยการเชื่อม DCEN อิเล็กตรอนจะวิ่งจากอิเล็กโทรดเข้าสู่ชิ้นงานซึ่งส่งผลให้รอยเชื่อมมีการซึมลึกที่ดีและนอกจากนี้ขั้ว tungsten ยังมีการสึกหรอน้อย

2.2.1.2 Direct Current Electrode Positive (DCEP)

รูปที่ 2.3 b แสดงลักษณะของขั้วอิเล็กโทรดแบบ DCEP โดยการเชื่อมชนิด DCEP อิเล็กตรอนจะวิ่งจากชิ้นงานเข้าสู่ปลายของอิเล็กโทรดโดยบริเวณรอยเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมแบบ DCEP จะมีการซึมลึกตื้นแต่รอยซึมลึกที่ได้จะมีขนาดกว้างกว่าการเชื่อมที่ใช้ขั้วแบบ DCEN การที่อิเล็กตรอนในการเลือกใช้ขั้วการเชื่อมแบบ DCEP วิ่งจากชิ้นงานเข้าสู่ปลายอิเล็กโทรดนั้นทำให้อิเล็กโทรดที่มีขั้วแบบ DCEP มีความร้อนในขณะการใช้งานสูงกว่าอิเล็กโทรดชนิด DCEN ดังนั้นการเชื่อมแบบ DCEP จึงจำเป็นต้องใช้อิเล็กโทรดที่มีขนาดใหญ่กว่าการเชื่อมแบบ DCEN ตลอดจนปลายของอิเล็กโทรดจะต้องมีมุมที่ปลายใหญ่กว่าในการเชื่อมแบบ DCEN และนอกจากนี้ก็จำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็นที่ดีเพื่อป้องกันการหลอมของอิเล็กโทรดในระหว่างการทำงานการเชื่อมแบบ DCEP นิยมใช้ในการเชื่อมอะลูมิเนียมหรือแมกนีเซียม ซึ่งมีการเกิดฟิล์มออกไซด์ได้ง่าย โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากชิ้นงานเข้าสู่ปลายของอิเล็กโทรดจะทำให้ฟิล์มออกไซด์ที่เกาะอยู่บนผิวโลหะหลอมเหลวแตกออก นอกจากนี้การหลุดออกของฟิล์มออกไซด์ในการเชื่อมแบบ DCEP ยังเกิดขึ้นเนื่องจากโดนไอของทังสเตมของอาร์กอนที่ใช้ในการปกคลุมรอยเชื่อม กระทั่งรูปที่ 2.4

2.2.1.3 Alternating Current (AC)

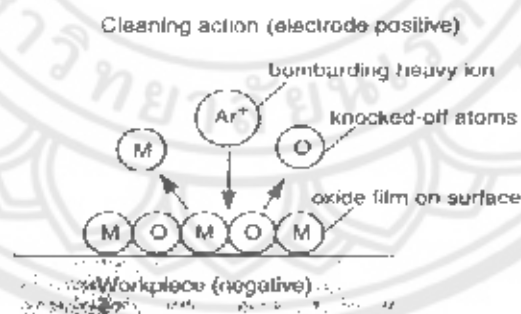
รูปที่ 2.3 c แสดงลักษณะของขั้วอิเล็กโทรดชนิด AC โดยขั้วอิเล็กโทรดชนิด AC จะนิยมใช้ในการเชื่อมโลหะผสมอะลูมิเนียมในงานที่ต้องการการซึมลึกที่ดีนอกเหนือจากการความสะดวก [3]



รูปที่ 2.3 แสดงขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ในการเชื่อมทิก

- (a) ขั้วอิเล็กโทรดแบบ DCEN
- (b) ขั้วอิเล็กโทรดแบบ DCEP
- (c) ขั้วอิเล็กโทรดแบบ AC

(ที่มา : ปริญญา นิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โมลิบดีนัม 0.03%)



รูปที่ 2.4 แสดงการหลุดออกของฟิล์มออกไซด์ในการเชื่อมด้วยอิเล็กโทรดแบบ DCEP

(ที่มา : ปริญญา นิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โมลิบดีนัม 0.03%)

2.2.2 ก๊าซปกคลุม Shielding Gas

ก๊าซที่ใช้ในการเชื่อมทิกเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการเชื่อมทิกตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของก๊าซปกคลุมที่ใช้ในการเชื่อมทิกโดยทั่วไปการเชื่อมทิกนิยมใช้ก๊าซอาร์กอน และฮีเลียมเป็นก๊าซปกคลุมในการเชื่อมโดยก๊าซอาร์กอนนิยมใช้มากที่สุดในการเชื่อมทิก เนื่องจากก๊าซอาร์กอนมีน้ำหนักมากกว่าก๊าซฮีเลียมทำให้การปกคลุมรอยเชื่อมของก๊าซอาร์กอนทำได้ดีกว่าก๊าซฮีเลียม นอกจากนี้ก๊าซอาร์กอนยังมีพลังงานในการถูกไอออไนซ์ต่ำกว่าก๊าซฮีเลียมทำให้ก๊าซอาร์กอนมีการแตกของศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าก๊าซฮีเลียม และนอกจากนี้ก๊าซอาร์กอนยังมีราคาแพงกว่าก๊าซฮีเลียมโดยทั่วไป ก๊าซอาร์กอนจะนิยมใช้ในการเชื่อมทิกโดยทั่วไปแต่ในการเชื่อมทิกแบบอัตโนมัติจะนิยมใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซปกคลุมการเชื่อมเนื่องจากก๊าซฮีเลียมมีพลังงานในการถูกไอออไนซ์สูง ทำให้ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระยะอาร์คต่ำ การเปลี่ยนแปลงระยะอาร์คที่ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซปกคลุมจึงไม่ส่งผลต่อการเชื่อมมากนัก [3]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของก๊าซที่ใช้ในการปกคลุมรอยเชื่อม [3]

Gas	Chemical Symbol	Molecular Weight (g/mol)	Specific Gravity with Respect to Air at 1 atm and 0°C	Density (g/L)	Ionization Potential (eV)
Argon	Ar	39.95	1.38	1.784	15.7
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	1.53	1.978	14.4
Helium	He	4.00	0.1368	0.178	24.5
Hydrogen	H ₂	2.016	0.0695	0.090	13.5
Nitrogen	N ₂	28.01	0.967	1.25	14.5
Oxygen	O ₂	32.00	1.105	1.43	13.2

(ที่มา : ปรียุณยานิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โสมิต วงศ์อินแก้ว)

2.2.3 ข้อดีและข้อเสียของการเชื่อมทิก

การเชื่อมทิกเป็นกระบวนการเชื่อมที่สะดวกมากโดยสามารถเชื่อมโลหะ reactive เช่น ไททาเนียม, เซอร์โคเนียมและอะลูมิเนียมตลอดจนเหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม โดยรอย-เชื่อมที่ได้จากการเชื่อมทิกจะมีคุณภาพสูงนอกจากนี้ในการเชื่อมชิ้นงานที่มีขนาดบางก็สามารถเชื่อมได้โดยไม่ต้องใช้ลวดเชื่อมเติมแต่การเชื่อมทิกก็มีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการเช่น ไม่สามารถเชื่อมชิ้นงานที่มีครวมหนาแน่นได้ เนื่องจากข้อจำกัดจากอิเล็กโทรดโดยอิเล็กโทรดที่ใช้ในการเชื่อมทิกไม่สามารถทนการเชื่อมที่ใช้พลังงานสูงมากได้เนื่องจากจะทำให้อิเล็กโทรดเกิดการหลอมละลายจากความร้อนสะสมที่เกิดจากการทำงาน นอกจากนี้การที่อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมทิกมีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ทำให้การเชื่อมทิกนอกสถานที่ทำได้ยากและราคาอุปกรณ์ เชื่อมทิกมีราคาสูง [3]

2.3 เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel)

เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เป็นอัลลอยของเหล็ก (iron-base alloys) ที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อการกัดกร่อนได้สูงกว่าเหล็กทั่วไป จึงทำให้ไม่เป็นสนิมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายในชีวิตประจำวัน อาทิ วัสดุก่อสร้าง อุปกรณ์ครัว อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่อง-เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เหล็กกล้าไร้สนิมทำมาจากเหล็ก (Fe) ซึ่งมีส่วนประกอบธาตุอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อยได้แก่ คาร์บอน (C) แมงกานีส (Mn) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) เนื่องจากเหล็กสามารถถูกกัดกร่อนและเป็นสนิมได้ง่ายจึงนำเหล็กมาผ่านกระบวนการเติมโลหะบางชนิดเช่น โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) หรือวานาเดียม (V) ลงไปทำให้คุณสมบัติของเหล็กดีขึ้นและไม่เป็นสนิมง่ายโลหะที่มักเติมลงไปปริมาณมากเพื่อทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีคือโครเมียม โดยเติมลงไปปริมาณร้อยละ 10 ถึง 30 เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิมจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มที่บางมากในรูปของโครมิคออกไซด์ (Cr_2O_3) ซึ่งเราไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าถ้าแผ่นฟิล์มนี้ถูกขูดขีดหรือทำลายก็จะเกิดชั้นบางๆ ของโครมิค-ออกไซด์ขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็ว ชั้นบางๆ ของฟิล์มนี้จะกันไม่ให้น้ำหรืออากาศซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเหล็ก ซึ่งช่วยในการป้องกันเหล็กจากการเกิดสนิมได้อย่างไรก็ตามเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถถูกกัดกร่อนได้เช่นกันโดยเฉพาะสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทำให้ไม่สามารถสร้างแผ่นฟิล์มของโครมิค-ออกไซด์ที่ช่วยป้องกันการเกิดสนิมได้ทันตงเดี๋ยวก่อนถ้าอยู่ในสภาวะที่มีคลอไรด์ไอออนในปริมาณมากจะทำให้เกิดการกัดกร่อนเป็นจุด (corrosion pit) และจะขยายวงกว้างขึ้นไปเรื่อยๆ การเชื่อมหรือการผ่านกระบวนการให้ความร้อนซึ่งทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถทำให้

ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลงเนื่องจากโครเมียมในเหล็กจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนเกิดเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr_3C_2) แทนโครมิกออกไซด์การยับยั้งการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์สามารถทำได้โดยการชุมน้ำเย็นหลังจากให้ความร้อนทันทีนอกจากนี้การใช้วิธีเติมโลหะบางชนิดเช่น แลนทานัม (La) ไททาเนียม (Ti) และนีโอเบียม (Nb) ลงไปในเนื้อเหล็กจะทำให้คาร์บอนทำปฏิกิริยากับโลหะเหล่านี้แทนการทำปฏิกิริยากับโครเมียม ซึ่งเป็นวิธียับยั้งการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ได้เช่นกัน

โครงสร้างของเหล็กกล้าไร้สนิมที่เหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ ความต้านแรงดึง ความแรงคราก การยืด ความแข็งและความเหนียวที่แตกต่างกันเนื่องจากมีลักษณะของโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันส่วนสำคัญที่ทำให้มีลักษณะโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันคือ ลักษณะของแลตทิซเฟสทรานซิชัน (phase transition) และองค์ประกอบทางเคมีในกระบวนการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม จะต้องควบคุมการเติมธาตุต่างๆและการให้ความร้อน (heat treatment) เป็นอย่างดีเพื่อควบคุมให้เหล็กกล้าไร้สนิมที่ผลิตออกมามีโครงสร้างผลึกและเฟสทรานซิชันตามที่ต้องการ เหล็กและอัลลอยของเหล็กมีแลตทิซหลายรูปแบบที่รู้จักกันทั่วไปเป็นแบบ บอดี-เซ็นเตอร์-คิวบิก (body center cubic) เรียกคำย่อว่าบีซีซี (bcc) และเฟส-เซ็นเตอร์-คิวบิก (face-centered-cubic) เรียกคำย่อว่าเอฟซีซี (fcc) สำหรับเหล็กที่บริสุทธิ์ แลตทิซแบบเอฟซีซีจะอยู่ที่อุณหภูมิ 910-1400 องศาเซลเซียส ส่วนแลตทิซแบบบีซีซีจะอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 910 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงกว่า 1400 องศาเซลเซียส จนถึงจุดหลอมเหลวที่ 1539 องศาเซลเซียส โลหะที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุมให้ได้เฟสทรานซิชัน (phase transition) ตามต้องการคือโครเมียมและนิกเกิลโดยที่โครเมียมเป็นธาตุที่ทำให้ได้โครงสร้างผลึกแบบเฟอร์ไรต์และนิกเกิลเป็นธาตุที่ทำให้ได้โครงสร้างผลึกแบบออสตีไนต์ [4]

2.3.1 การแบ่งประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสมที่มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันและมีความต้านการกัดกร่อนสูงโดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมมีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 12-27 เปอร์เซ็นต์และมีแมงกานีสผสมอยู่ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์และในเหล็กกล้าไร้สนิมมาชนิดก็มีการเติม निकเกิลและในบางเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมมีปริมาณคาร์บอนต่ำ [2]

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของเหล็กกล้าไร้สนิมบางเกรด

AISI Type	Nominal Composition (%)				
	C	Mn	Cr	Ni	Other
Austenitic grades					
301	0.15 max	2.0	16-18	6-8	
302	0.15 max	2.0	17-19	8-10	
304	0.08 max	2.0	18-20	8-12	
304L	0.03 max	2.0	18-20	8-12	
309	0.20 max	2.0	22-24	12-15	
310	0.25 max	2.0	24-26	19-22	
316	0.08 max	2.0	16-18	10-14	2-3%Mo
316L	0.03 max	2.0	16-18	10-14	2-3%Mo
321	0.08 max	2.0	17-19	9-12	(5 x %C) Ti min
347	0.08 max	2.0	17-19	9-13	(10 x %C) Nb-Ta min
Martensitic grades					
403	0.15 max	1.0	11.5-13		
410	0.15 max	1.0	11.5-13		
416	0.15 max	1.2	12-14		0.15% S min
420	0.15 min	1.0	12-14		
431	0.20 max	1.0	15-17	1.2-2.5	
440A	0.60-0.75	1.0	16-18		0.75% Mo max
440B	0.75-0.95	1.0	16-18		0.75% Mo max
440C	0.95-1.20	1.0	16-18		0.75% Mo max

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ตัวอย่างของเหล็กกล้าไร้สนิมบางเกรด

AISI Type	Nominal Composition (%)				
	C	Mn	Cr	Ni	Other
Ferritic grades					
405	0.08 max	1.0	11.5-14.5		0.1-0.3% Al
430	0.15 max	1.0	14-18		
446	0.20 max	1.5	23-27		

(ที่มา : ASM Metals Handbook Volume 6 Welding brazing and soldering, ASM International)

2.3.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกโดยทั่วไปจะมีโครงสร้างส่วนมากเป็น BCC โดยโครเมียมที่เติมลงในเหล็กกล้าไร้สนิมจะทำหน้าที่เพิ่มความเสถียรภาพให้แก่เฟสเฟอร์ไรต์ และทำให้บริเวณที่เกิดเฟสออสเทนไนต์มีบริเวณแคบลงดังแสดงในรูปที่ 2.7 และทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดนี้มีโครงสร้างเป็นเฟสเฟอร์ไรต์แม้จะอยู่ที่อุณหภูมิสูงเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกนั้นไม่สามารถทนอุณหภูมิร้อนเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้ แต่ความแข็งแรงของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกนั้นโดยทั่วไปก็มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ซึ่งเป็นผลจากราตุผลเสริมที่เติมลงในเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

เนื่องจากมีราคาถูกกว่ากลุ่มออสเทนนิติกและมีความต้านทานการผุกร่อนดีพอสมควรจึงสามารถนำมาใช้แทนกลุ่มออสเทนนิติกได้ในงานบางประเภทที่ไม่ต้องการคุณสมบัติสูงมากนักเช่น เครื่องใช้ในครัวเรือนชิ้นส่วนยานยนต์บางชนิด เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป (Wrought Products) ของเหล็กกลุ่มนี้จัดอยู่ในอนุกรม 4xx ได้แก่ AISI 405 และ AISI430 เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปไม่ลึกมากนักเช่น ข้อนและส้อม เป็นต้น รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel) [3]



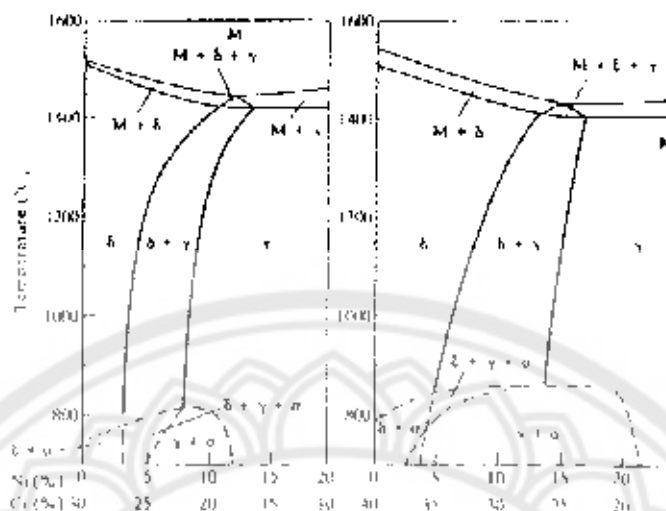
รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel)

(ที่มา : http://siweb.dss.go.th/dss_doc/fulltext/radio/T72.pdf)

2.3.1.2. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel)

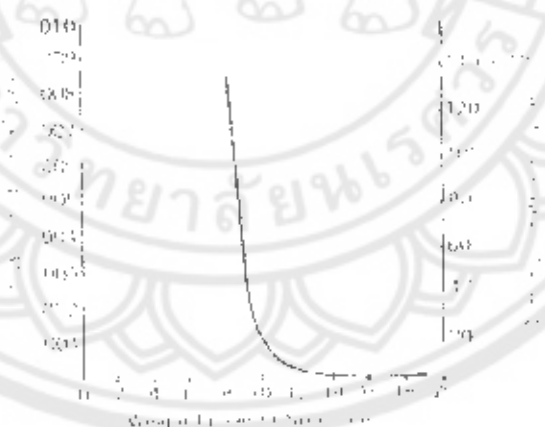
เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะมีการเติมนิกเกิลลงในเหล็กนอกเหนือจากการเติมโครเมียม โดยรูปที่ 2.6 แสดงแผนภูมิสมมูลของ เหล็ก-โครเมียม-นิกเกิล ที่มีปริมาณเหล็ก 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักการเติมนิกเกิลในปริมาณที่สูงพอจะทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมมีโครงสร้างเป็น FCC ทุกช่วงอุณหภูมิโดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะมีโครเมียมอย่างน้อย 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีนิกเกิลในปริมาณที่มากพอที่จะรักษาเสถียรภาพออสเทนไนท์ ไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นเฟสมาร์เทนไซต์เช่นสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีโครเมียม 15-16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต้องมียุติการเกิดผลอยู่ 6-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เนื่องจากโครเมียมที่อยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมจะช่วยลดอัตราการกัดกร่อนของเหล็กและป้องกันเนื้อเหล็กที่อยู่ภายในไม่ให้สัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งเป็นผลมาจากโครเมียมที่อยู่ในเนื้อเหล็กเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในบรรยากาศ ก็จะทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) ซึ่งมีความหนาแน่นและมีเสถียรภาพสูง การเพิ่มปริมาณธาตุโครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นจะช่วยทำให้อัตราการกัดกร่อนของเหล็กลดลงโดยเมื่อมีปริมาณโครเมียมสูงถึง 13 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะทำให้เกิดฟิล์มโครเมียมออกไซด์ที่มีเสถียรภาพและหนาแน่นปกคลุมทั่วทั้งชิ้นงาน รูปที่ 2.7 แสดงผลของโครเมียมต่อการกัดกร่อน รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel) [3]



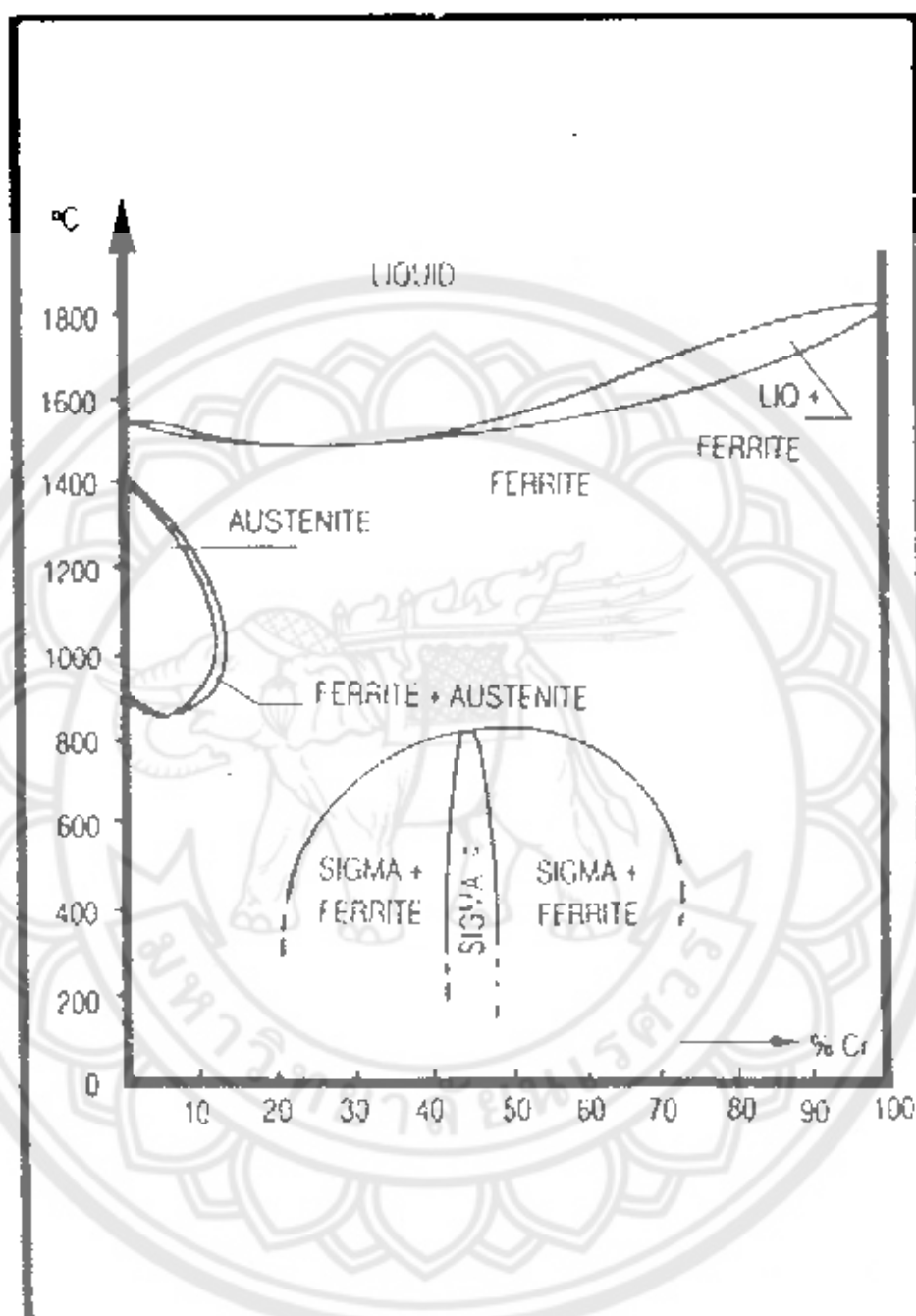
รูปที่ 2.6 แสดงแผนภูมิสมดุลของ เหล็ก-โครเมียม-นิกเกิล ที่มีปริมาณเหล็ก 70 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

(ที่มา : ปริมาณนิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โสมิตรี วงศ์โนแก้ว)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโครเมียมและอัตราการกัดกร่อน

(ที่มา : ปริมาณนิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โสมิตรี วงศ์โนแก้ว)



รูปที่ 2.8 แผนภูมิสมดุของเหล็กและโครเมียม

(ที่มา : ปริญญาทิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟสรีไรท์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โมลิบดีนัม 0.03%)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel)
(ที่มา : http://siweb.dss.go.th/dss_doc/fulltext/radio/T72.pdf)

2.3.1.3 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกปกติจะมีปริมาณคาร์บอนระหว่าง 11-18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและมีคาร์บอนไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกนั้นจะมีปริมาณคาร์บอนสูงเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่นๆ เนื่องจากต้องการความสามารถในการชุบแข็งและทำให้เกิดเฟสมาร์เทนไซต์ เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกนั้นจะใช้ในงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงและมีความต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้โดยทั่วไปได้แก่เหล็กกล้าไร้-สนิม AISI410 และ AISI420 [3]

2.3.1.4 เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel)

เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มักจะเลือกใช้งานแทนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ในกรณีที่ต้องการความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าและราคาไม่แพง เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ มีโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟส 2 เฟส คือออสเตไนต์ (Austenite) ซึ่งเป็นเฟสที่ให้ความเหนียวและความแกร่งสูงและเดลตาเฟอร์ไรท์ (Delta ferrite) ซึ่งเป็นเฟสที่ให้ความแข็งแรงสูง ในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์จะควบคุมให้มีปริมาณออสเตไนต์และเดลตาเฟอร์ไรท์ในอัตราส่วนประมาณ 1 : 1 โดยทำการอบชุบความร้อนเนื่องจากทำให้เหล็กกล้าไร้-สนิมดูเพล็กซ์มีสมบัติที่ดีทั้งในด้านความแข็งแรง และความต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับอุตสาหกรรมเคมีหรือปิโตรเคมีที่กระบวนการผลิตอาจอยู่ในสภาวะที่มีการกัดกร่อนอยู่ตลอดเวลาหรืออยู่ในช่วงอุณหภูมิใช้งานสูง [3]

2.3.2 แผนภูมิ Schaeffler และ De Long

เหล็กกล้าไร้สนิมที่ผ่านการเชื่อมนั้นสามารถทำนายโครงสร้างภายหลังจากการเชื่อมได้โดยใช้แผนภูมิ Schaeffler หรือ De Long ดังรูปที่ 2.10, 2.11 และรูปที่ 2.12 โดยรูปที่ 2.12 เป็นแผนภูมิ Schaeffler ที่นอกจากจะแสดงเฟสต่างๆภายหลังจากการเชื่อมยังแสดงถึงบริเวณต่างๆที่เป็นอันตรายในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมโดยบริเวณต่างๆที่สำคัญในแผนภูมิ Schaeffler มีดังนี้ [3]

2.3.2.1 บริเวณทั้งหมดที่มีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์จะไวต่อการเกิดการแตกในขณะร้อนหรือการแตกในขณะการแข็งตัว (Hot crack or solidification crack)

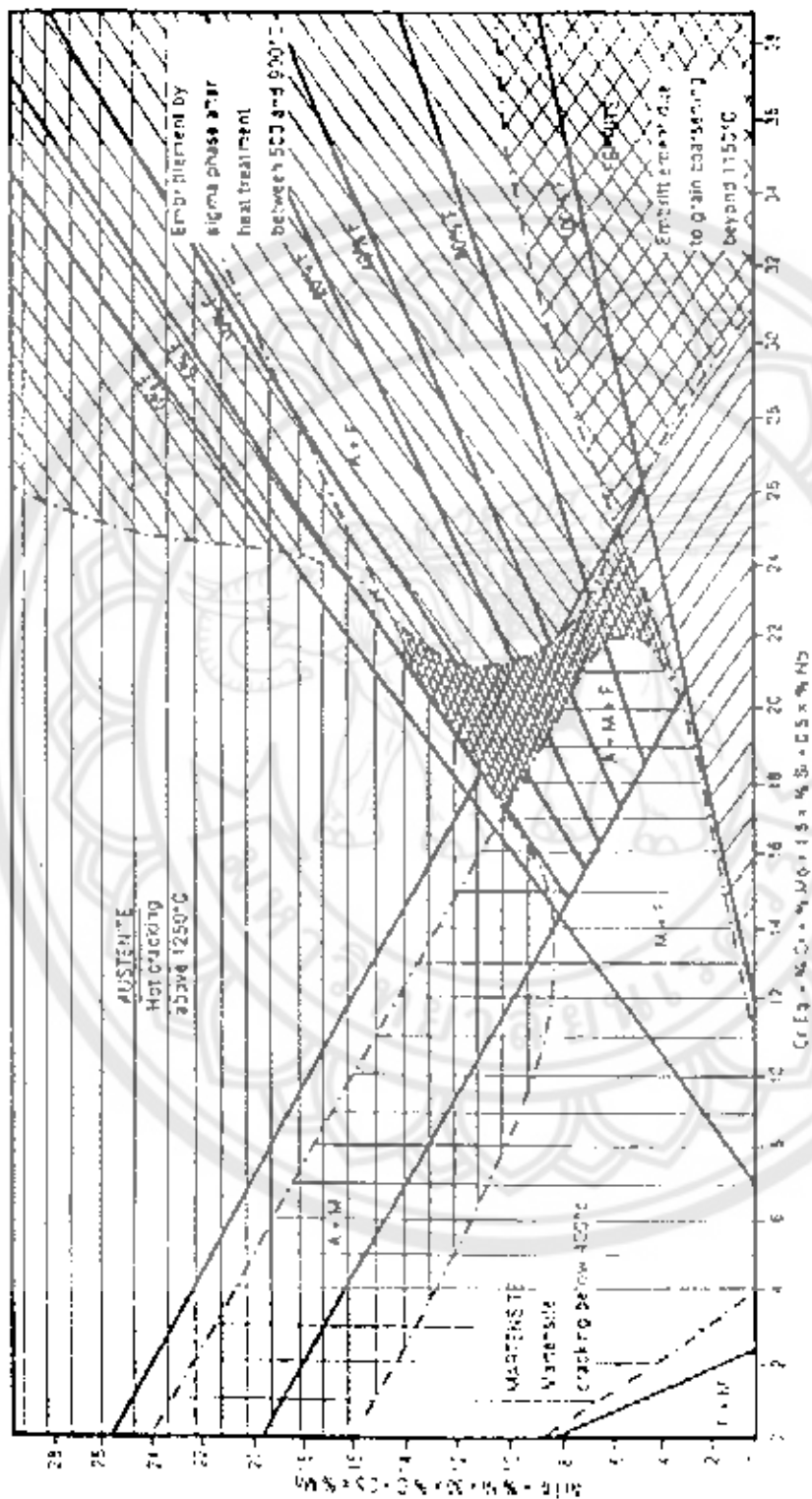
2.3.2.2 รอยเชื่อมที่มีค่าโครเมียมเทียบเท่า (Chromium equivalent) มากกว่า 25 จะไวต่อการเกิดสารประกอบเชิงโลหะที่มีความเปราะสูงเช่นเฟสซิกมา (sigma phase) เมื่อชิ้นงานอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 500-900 °C เป็นเวลานาน

2.3.2.3 รอยเชื่อมที่มีค่าโครเมียมเทียบเท่าสูงและมีค่านิกเกิลเทียบเท่าต่ำจะไวต่อการเกิดแกรนทไฟท์ที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 1150 °C) และเสี่ยงต่อการแตกเนื่องจากมีความแกร่งต่ำ

2.3.2.4 รอยเชื่อมที่เกิดเฟสมาร์เทนไซต์ 100 เปอร์เซ็นต์จะเสี่ยงต่อการแตกที่เรียกว่า Martensitic cracking ที่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 400 °C ซึ่งในการเชื่อมสามารถลดอันตรายจากการเกิด martensitic cracking ได้โดย

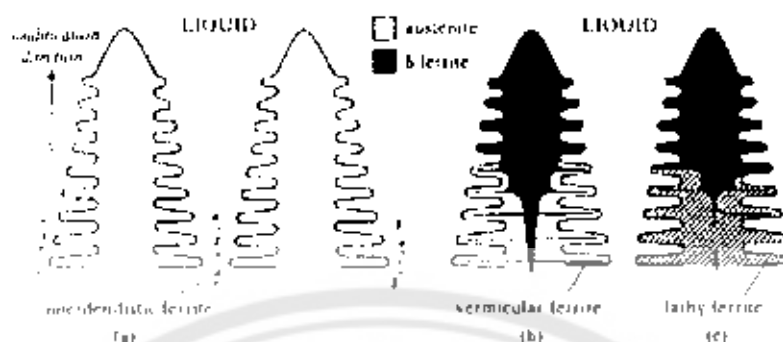
- 1) ลดปริมาณคาร์บอน
- 2) ลดปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่มีอยู่ในรอยเชื่อม
- 3) พยายามลดความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม

2.3.2.5 บริเวณที่เกิดการซ้อนทับกันในของบริเวณต่างๆในรูปที่ 2.12 (บริเวณที่มีสีเข้ม) นั้นถึงแม้จะเป็นบริเวณเล็กๆแต่เป็นบริเวณที่มีความสำคัญ เนื่องจากมีความสามารถในการเชื่อมสูง



รูปที่ 2.12 แผนภูมิ Schaeffler ที่แสดงบริเวณต่างๆที่เป็นอันตรายต่ออาร์เชื่อม

(ที่มา : ปรินญญานิพนธ์ ผลของ เบนไดรเจนในปริมาณโครงสร้างเพอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าใช้เติมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โชมิต วงศ์ปิ่นแก้ว)



รูปที่ 2.14 โหมดการแข็งตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม

- (a) การแข็งตัวในโหมดออสเทนิติก
- (b) การแข็งตัวในโหมดเฟอร์ริติก - ออสเทนิติก
- (c) การแข็งตัวในโหมดเฟอร์ริติก

(ที่มา : ASM Metals Handbook Volume 6 Welding brazing and soldering, ASM International)

ตารางที่ 2.3 ผลของส่วนผสมทางเคมีต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรท์

AFNOR/AISI designation	Nominal chemical composition	DeLong's Ferrite Number
Z11 CN 17.08 AISI 301	0.1%C-17%Cr-7%Ni	2.0
Z7 CN 18.09 AISI 304	0.06%C-19%Cr-10%Ni	3.0
Z15 CN 24.13 AISI 309	0.1%C-23%Cr-13%Ni	4.0
Z6 CNNb 18.10 AISI 347	0.06%C-18%Cr-10%Ni $8 \times C < Nb + Ta < 1.0\%$	6.0

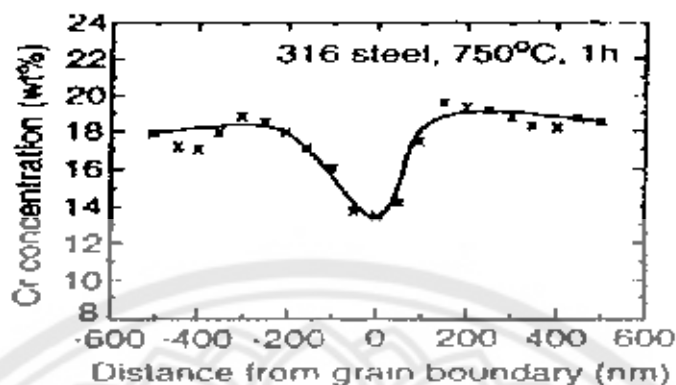
(ที่มา : ASM Metals Handbook Volume 6 Welding brazing and soldering, ASM International)

2.3.4 อิทธิพลของเฟอร์ไรต์

การแข็งตัวในโหมดเฟอร์ริติกของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกมีข้อดีคือสามารถลดการเกิดการแตกร้าวในขณะร้อน เนื่องจากเฟสเดลตาเฟอร์ไรต์สามารถละลายก๊าซมะถันและฟอสฟอรัสได้ในปริมาณสูงสำหรับการแข็งตัวในโหมดออสเทนนิติกจะเกิดสารประกอบของเหล็กกับมะถัน และเหล็กฟอสฟอรัสที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและจะทำให้เกิด micro segregates ขึ้นภายในเนื้อเชื่อม ดังนั้นจากนี้ปริมาณเฟสเฟอร์ไรต์ที่อุณหภูมิห้องนั้นมีความสำคัญคือสามารถนำมาใช้ทำนายการเสี่ยงต่อการแตกร้าวโดยตาราง 2.3 แสดงส่วนผสมทางเคมีของปริมาณเฟสเฟอร์ไรต์ที่น้อยที่สุดที่เสี่ยงต่อการเกิดการแตกในขณะร้อน แต่ปริมาณเฟอร์ไรต์ที่มากเกินไปก็จะทำให้ความแกร่งของเนื้อเชื่อมลดลง เนื่องจากเฟสเดลตาเฟอร์ไรต์ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเครือข่าย (Network) ซึ่งปริมาณเฟอร์ไรต์ที่มีอยู่ในเนื้อเชื่อมไม่ควรเกิน 12-14 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและปริมาณเฟอร์ไรต์ 3-5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสามารถการแตกร้าวในขณะร้อนได้ [3]

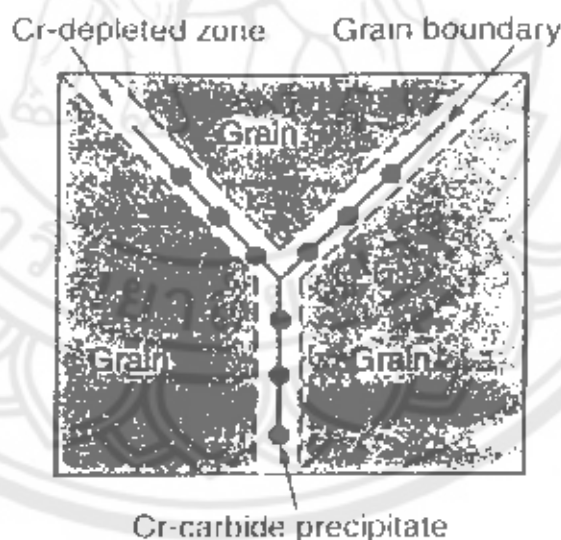
2.3.5 อิทธิพลของคาร์บอนในเหล็กกล้าไร้สนิม

ปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากคาร์บอนสามารถทำให้เกิดสารประกอบคาร์ไบด์ เช่น $(Cr, Fe)_2C$ หรือ Cr_3C_2 ตามบริเวณขอบเกรน ซึ่งจะทำให้บริเวณรอบๆที่เกิดการตกผลึกของสารประกอบคาร์ไบด์เหล่านี้ เป็นบริเวณพร่องโครเมียม (Chromium depletion zone) โดยรูปที่ 2.15 แสดงปริมาณโครเมียมที่บริเวณต่าง ๆ รอบขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ที่เกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ ดังนั้นการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม จึงจำเป็นต้องใช้ลวดเชื่อมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ และหลีกเลี่ยงการเชื่อม ด้วยเปลวไฟที่มีเปลวไฟชนิดรีดิวซิง เพื่อลดปริมาณคาร์บอนในเนื้อเชื่อม [3]



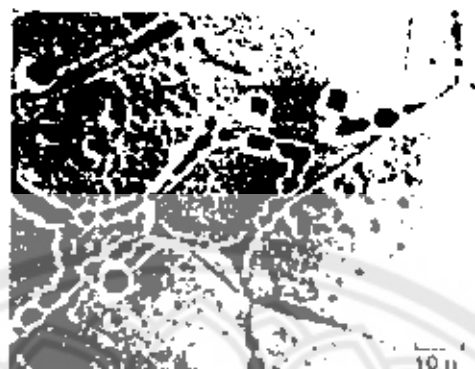
รูปที่ 2.15 ปริมาณโครเมียมที่บริเวณต่าง ๆ รอบขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิม 316 ที่เกิดการตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์

(ที่มา : ปรินญาณิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โชมิต วงศ์ปิ่นแก้ว)



รูปที่ 2.16 แสดงบริเวณที่เกิดการพร่องโครเมียม (Cr-depletion zone)

(ที่มา : ปรินญาณิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โชมิต วงศ์ปิ่นแก้ว)



รูปที่ 2.17 การตกตะกอนของโครเมียมคาร์ไบด์ของเหล็กกล้าไร้สนิม 316

(ที่มา : ปริญญาทิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมคู่เหล็กที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โสมิต วงศ์ปิ่นแก้ว)

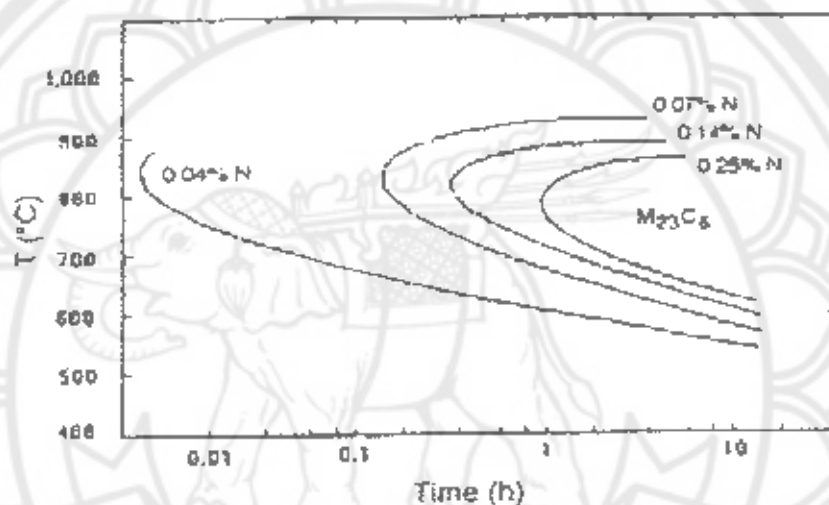
2.3.6 อิทธิพลของไนโตรเจนในเหล็กกล้าไร้สนิม

ไนโตรเจนนอกจากเป็นธาตุที่ผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุจากกลไกการละลายแบบแทรก (interstitial solid solution) และเพิ่มความต้านทานการเสียดสี (wear resistance) จากกลไกการเกิดสารประกอบไนไตรต์แล้วไนโตรเจนยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งความต้านทานการกัดกร่อนทั่วไป (general corrosion) การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting corrosion) การกัดกร่อนภายในช่อง (crevice corrosion) และการกัดกร่อนที่มีความเค้น (stress corrosion cracking) นอกจากนี้ไนโตรเจนยังเป็นธาตุที่ให้เสถียรภาพแก่เฟสออสเทนไนต์ (austenite stabilizer) และมีผลต่อการเกิดเซนซิไทเซชัน (sensitization) ของเหล็กกล้าไร้สนิมอีกด้วย

ไนโตรเจนมีผลในการชะลอความเร็วในการเกิดเฟสที่สองเช่นโค (chi) และซิกมา (sigma) ไนโตรเจนจะชะลอการตกผลึกของสารประกอบโลหะคาร์ไบด์ ($M_{23}C_6$) ซึ่งพบว่าเมื่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นถึง 0.14 % จะชะลอการเกิดเซนซิไทเซชันโดยจะมีการตกผลึกของโครเมียมไนไตรต์ (Cr_3N) อย่างชัดเจนเมื่อมีไนโตรเจนมากกว่า 0.14 % แต่ถ้าปริมาณไนโตรเจนมากกว่านี้จะเป็นผลเสียเนื่องจากการขาดโครเมียมในบางพื้นที่ (localized chromium depleted) เพราะการตกผลึกของสารประกอบโลหะคาร์ไบด์หรือโลหะไนไตรต์



นอกจากนี้ไนโตรเจนยังมีผลในการลดอัตราการกัดกร่อนทั่วไป (general corrosion) ในกรด-เข้มข้นที่มีคลอไรด์ผสมอยู่เช่น กรดซัลฟูริกที่ผสมด้วยโซเดียมคลอไรด์ โดยรูป 2.18 แสดงเส้นโค้งโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI304 ในสารละลายกรดซัลฟูริก 1 โมลต่อลิตร และโซเดียมคลอไรด์ 0.5 โมลต่อลิตรพบว่าไนโตรเจนลดความหนาแน่นกระแสวิกฤตของการเกิดพาส-สิเวชัน (critical density- i_{crit}) นอกจากนี้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting potential) สูงขึ้นเมื่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น [3]



รูปที่ 2.18 ผลของไนโตรเจนต่อเวลาในการตกผลึกของสารประกอบคาร์ไบด์ ($M_{23}C_6$)

(ที่มา : ปริญญานิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมซูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โมลิบดีนัม 0.03%)

2.4 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมมีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมในหลายกรณีจำเป็นต้องใช้การเชื่อมในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน โดยในตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของปัญหาที่เกิดขึ้นในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมประเภทต่างๆ [3]

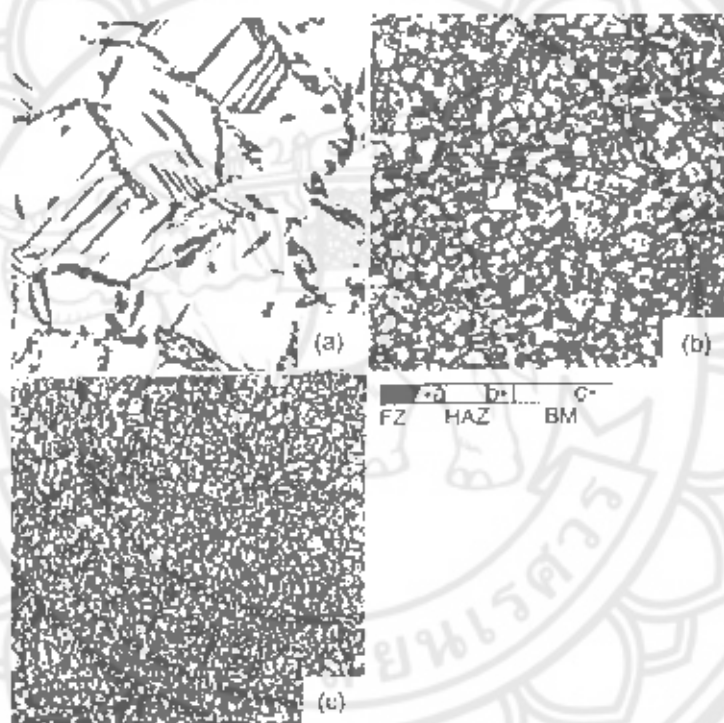
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้นในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมประเภทต่างๆ

	Typical Problems	Solutions
Austenitic	Solidification cracking	Use proper filler wires and dilution to keep 4-10% ferrite
	Weld decay	Use stabilized grades (321,347) or low-carbon grades (304L and 316L) Postweld heat-treat to dissolve carbides, followed by quenching
	Knife-line attack (in stabilized grades)	Use low-carbon grades Add La and Ce to stabilized grades Postweld heat-treat to dissolve carbides
	Hot cracking in partially melted zone	Switch from 347 to 304 or 316 Use low heat inputs
Ferritic	Low toughness due to HAZ grain growth and grain-boundary martensite	Use low heat inputs or add carbide and nitride formers to suppress grain growth Add Ti or Nb to reduce martensite
Martensitic	Hydrogen cracking	Preheat and postheat Use low-hydrogen or austenitic stainless steel electrodes

(ที่มา : ปริญญาพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอไรท์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โชมิต วงศ์ปิ่นแก้ว)

2.4.1 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกนั้นสามารถเชื่อมได้ง่ายเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติกหรือมาร์เทนซิติก เนื่องจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกไม่เสี่ยงต่อการแตกร้าว ในขณะร้อน เนื่องจากเฟสเฟอร์ไรต์นั้นสามารถละลายก๊าซมะกันหรือฟอสฟอรัสที่ทำให้เกิด สารประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำได้ดี และนอกจากนี้การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกยังไม่ต้องกังวลต่อการเกิดสารประกอบของโลหะคาร์ไบด์ภายหลังการเชื่อมแต่สิ่งที่สำคัญในการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกคือ ต้องระวังการเกิดเกรนหยาบและการเกิดมาร์เทนไซต์ภายหลังการ เชื่อมดังรูปที่ 2.19 [3]



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่าง ๆ ภายหลังการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

- (a) โครงสร้างจุลภาคบริเวณเกรนที่ร้อนใกล้กับแนวการหลอม
- (b) โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระพร้อน
- (c) โครงสร้างจุลภาคบริเวณโลหะพื้น

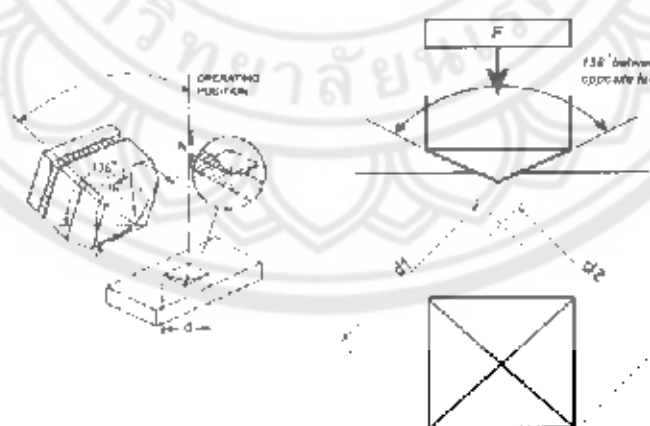
(ที่มา : ปรียญา นิพนธ์ ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์และความต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่มีส่วนผสมโครเมียม 28% นิกเกิล 7%, โชมิต วงศ์ปิ่นแก้ว)

2.4.2 การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกสามารถทำได้ยากเมื่อเทียบกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่นๆ เนื่องจากการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเสี่ยงต่อการแตกร้าวในขณะร้อนเนื่องจากเฟสออสเทนไนต์มีความสามารถในการละลายก๊าซและฟอสฟอรัสได้น้อย ดังนั้นในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจึงควรมีการใช้ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมที่ทำให้เกิดเฟสเฟอร์ไรต์ในปริมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อลดอันตรายจากการเกิดการแตกร้าวในขณะร้อน นอกจากนี้การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกยังเสี่ยงต่อการเกิดเฟสที่มีความเปราะสูงที่อุณหภูมิ 600-950 °C [3]

2.5 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test)

วิธีทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ประกอบด้วยการกดวัสดุทดสอบด้วยหัวกดเพชรรูปิระมิดฐานสี่เหลี่ยมและมุม 136 องศา ระหว่างผิวหน้าตรงกันข้ามภายใต้ภาระ 1-100 กิโลกรัมแรงเป็นระยะเวลา 10-15 วินาที เส้นทแยงที่หลงเหลือบนผิวหน้าของวัสดุภายหลังจากนำภาระออกจะถูกวัดโดยกล้องจุลทรรศน์และคำนวณค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงพื้นที่ผิวเอียงของรอยกดจะถูกคำนวณค่าความแข็งคำนวณจากผลหารภาระต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมของรอยกดเมื่อหาค่าเฉลี่ยเส้นทแยงมุมได้ค่าความแข็งวิกเกอร์คำนวณได้จากสูตร แต่จะสะดวกมากขึ้นเมื่อใช้ตาราง ค่าความแข็งวิกเกอร์ควรจะรายงานดังนี้ 800 HV/10 หมายความว่าความแข็งวิกเกอร์ 800 โดยใช้ภาระ 10 กิโลกรัมแรงการให้ภาระที่แตกต่างกันจะให้ค่าความแข็งที่เท่ากันบนวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งดีกว่าการเปลี่ยนสเกลด้วยวิธีทดสอบความแข็งแบบอื่น [5]



รูปที่ 2.20 แสดงหลักการความแข็งวิกเกอร์

(ที่มา : <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/vickers.htm>)

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$HV = \frac{\text{แรงกดทดสอบ (F)}}{\text{พื้นที่รอยกดบนผิวทดสอบ (S)}} \quad (2.1)$$

พื้นที่ผิวรอยกดรูปประมิต

$$S = \frac{d^2 \sin(\alpha/2)}{2} \quad (2.2)$$

เมื่อ 0.102 คือ ค่าคงที่ที่คูณเข้าเพื่อเปลี่ยนหน่วยจาก kp/mm^2 เป็น N/mm^2

ดังนั้น

$$\begin{aligned} HV &= \frac{0.102 \times 2F \sin(136/2)}{d^2} \\ &= \frac{0.1891F}{d^2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

เมื่อ F = Test Force (N)

d = ค่าเฉลี่ยของเส้นทแยงมุมของรอยกด (mm) = $(d_1 + d_2)/2$

เงื่อนไขการทดสอบ

1. เนื่องจากรอยกดบนผิวชิ้นทดสอบมีขนาดเล็กมากจึงต้องให้ผิวชิ้นทดสอบผิวเรียบปราศจากออกไซด์หรือผ่านการกัดกรดมาก่อนเพื่อที่จะได้เห็นโครงสร้างจุลภาคและสามารถเลือกกำหนดโครงสร้างที่ต้องการได้

2. ความหนาของชิ้นงานทดสอบจะต้องเพียงพอที่ไม่ให้เกิดรอยใต้ผิวชิ้นทดสอบกำหนดให้ความหนาดำสุดเท่ากับ 1.5 เท่าของขนาดเส้นทแยงมุมรอยกด (d)

3. อุณหภูมิที่ทดสอบอยู่ระหว่าง 10°C - 35°C

4. ระยะห่างระหว่างรอยกดให้ถือตามเกณฑ์ดังนี้เหล็กกล้า (steel) ทองเหลือง (Brass) และทองแดง (Copper) ห่างอย่างน้อยที่สุด 3 เท่าของค่าความยาวเฉลี่ยเส้นทแยงมุมรอยกด

5. การติดตั้งกล้องจะต้องมั่นคงไม่สั่นสะเทือนเพราะจะส่งผลให้ค่ารอยกดที่ได้คลาดเคลื่อน

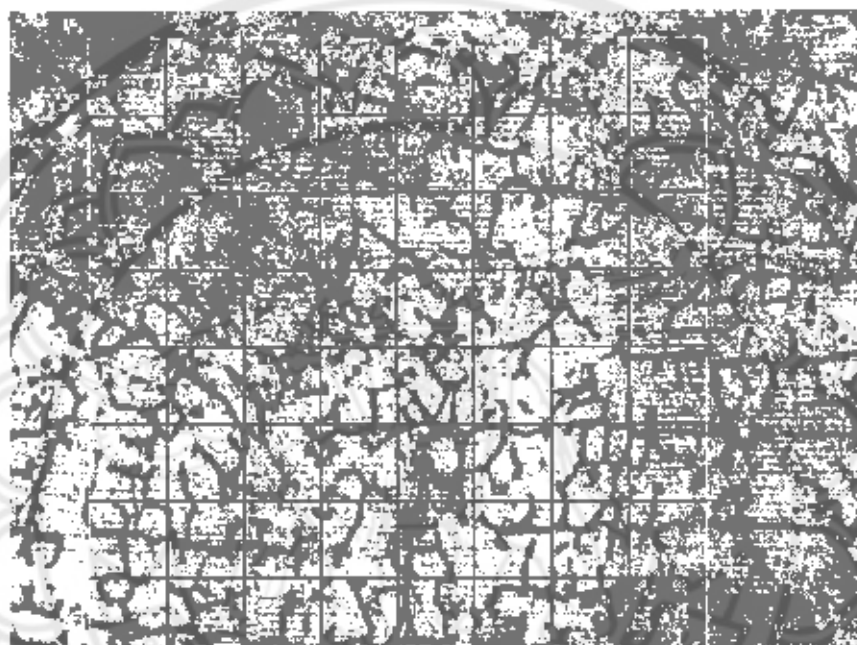
6. การให้แรงกดจะต้องสม่ำเสมอ

7. ให้เวลากดแทนผิวงานเท่ากันเมื่อต้องการเปรียบเทียบค่า

8. ขยายและมีแสงสว่างให้เพียงพอในการวัดขนาดเส้นทแยงมุมรอยกด

2.6 การหาปริมาณเดลต้าเฟอไรท์ด้วยวิธีการนับกริด

วิธีการหาปริมาณเดลต้าเฟอไรท์ (Delta ferrite) ด้วยวิธีการนับกริด (Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count) ได้โดยการนำภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคกำลังขยาย 500 เท่ามาทาบด้วยกริดแล้วนับปริมาณของเดลต้าเฟอไรท์ที่ผ่านกริดดังกล่าวจากนั้นจึงนำจำนวนที่ได้ไปคำนวณในสูตรสมการด้านล่าง



รูปที่ 2.21 แสดงภาพตัวอย่างในการนับปริมาณเดลต้าเฟอไรท์

P_t = จำนวนกริดทั้งหมดใน 1 ภาพ

P_f = จำนวนเดลต้าเฟอไรท์ทั้งหมดที่นับได้ใน 1 ภาพ

$$P_n(i) = \frac{P_f}{P_t} \times 100 \quad (2.4)$$

n = จำนวนภาพถ่ายที่ถ่ายในชั้นงาน 1 ชิ้น

$$\bar{P}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_n(i) = \text{ค่าเฉลี่ยของจำนวนเดลต้าเฟอไรท์ที่นับได้จากทุกภาพ} \quad (2.5)$$

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

V_v = ปริมาณสัดส่วนของเฟสเดลต้าเฟอร์ไรต์เป็นเปอร์เซ็นต์

t = ตัวคูณสัมพันธ์ ซึ่งหาได้จากจำนวนภาพที่หาค่าเดลต้าเฟอร์ไรต์เทียบกับได้จากตารางที่ 2.5

% RA = เปอร์เซนต์ความถูกต้อง

ตารางที่ 2.5 95 % Confidence Interval Multipliers

No. of Fields n	t	No. of Fields n	t
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.201	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048
16	2.131	30	2.045
17	2.120	40	2.020
18	2.110	60	2.000
		x	1.960

(ที่มา : ASM Metals Handbook E 562 – 02, ASM International)

$$95\% \text{ CI} = t \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

$$\bar{V_v} = P_p \pm 95\% \text{ CI} \quad (2.7)$$

$$\% \text{ RA} = \frac{95\% \text{ CI}}{\bar{P}_p} \times 100 \quad (2.8)$$

2.7 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)



รูปที่ 2.22 เครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ยี่ห้อ GBC รุ่น Aventa pm

(ที่มา : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p39/AAS.asp)

เทคนิค AAS นี้อาศัยหลักการการดูดกลืนแสงของอะตอมอิสระจะยอมเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นไปสู่สถานะกระตุ้นที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าเฉพาะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนในแต่ละความยาวคลื่นจะสามารถบ่งบอกถึงชนิดและปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ซึ่งการทำให้อะตอมภายในธาตุเกิดเป็นอะตอมอิสระได้นั้นจะต้องอาศัยพลังงานความร้อนไปกระตุ้นให้อะตอมเกิดการแตกตัวหรือกลายเป็นไอ [7]

เครื่อง AAS โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีส่วนประกอบที่สำคัญด้วยกัน 5 ส่วนได้แก่

1. แหล่งกำเนิดแสงโดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ในเครื่อง AAS มีด้วยกัน 2 ชนิด คือ Hollow cathode lamp (HCL) และ Electrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น HCL เพราะให้สเปกตรัมของแสงได้หลายค่าสามารถตรวจวัดธาตุได้เกือบทุกชนิดแต่มีอายุการใช้งานสั้นและไม่สามารถตรวจวัดสารที่กลายเป็นไอได้ง่ายเพราะวิเคราะห์สารเหล่านี้จึงจำเป็นต้องใช้ EDL เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งให้แสงที่มีความเข้มสูงกว่าและมีความไวกว่า HCL นอกจากนี้ EDL ยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า HCL แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้จาก EDL จะมีขนาดใหญ่กว่า HCL ดังนั้น EDL จึงเหมาะกับเครื่องมือที่มีระบบเรียงแสงที่สามารถรองรับภาพขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นเท่านั้น

2. ส่วนที่ทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระ (Atomizer) Atomizer เป็นส่วนที่จะทำให้ธาตุเกิดการแตกตัวกลายเป็นอะตอมอิสระโดยการใช้ความร้อนเป็นตัวทำลายพันธะที่ยึดอยู่ระหว่างอะตอม ซึ่งการทำให้ธาตุเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

2.1 Flame Atomization วิธีการนี้จะใช้เปลวไฟที่เหมาะสมในการทำให้สารตัวอย่างเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมเพราะเปลวไฟแต่ละชนิดให้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนการทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมอิสระด้วยวิธีการต่างๆ

1. วิธีการ Flame Atomization
2. วิธีการ Graphite Furnace Atomization
3. วิธีการ Flame Atomization

(ที่มา : http://www.thaiscience.com/lab_vol/p39/VAS.asp)

2.2 Flameless หรือ Non-flame Atomization วิธีการนี้เป็นวิธีการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยความร้อนที่ได้จากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) ซึ่งสามารถตั้งค่าอุณหภูมิในการเผาและเวลาให้มีค่าต่างๆกันได้ โดยสารตัวอย่างจะค่อยๆได้รับความร้อนเพื่อระเหยตัวทำลายของโมเลกุลแล้วให้ความร้อนเพิ่มสูงขึ้น (อาจสูงถึง 1,500 องศา เซลเซียส) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เหลือเพียงแค่สารอนินทรีย์ที่เสถียรเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของโลหะออกไซด์หลังจากนั้นสารที่เหลืออยู่จะถูกเผาที่อุณหภูมิสูง (อาจสูงถึง 3,000 องศาเซลเซียส) เพื่อให้สารเกิดการสลายตัวกลายเป็นอะตอมอิสระ วิธีการนี้มีความไวกว่าวิธีการแรกและใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อยกว่า แต่ต้องระวังการปนเปื้อน

หรือการสูญหายของสาร การเตรียมตัวอย่างทำได้ง่ายสามารถวิเคราะห์สารที่เป็นของแข็งได้โดยตรงจึงช่วยลดขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างได้มาก โดยละอองเล็กๆจะผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงและสารออกซิแดนท์ภายใน spray chamber หลังจากนั้นตัวทำละลายจะถูกกำจัดออกไปจนเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ ของสารประกอบ แล้วพลังงานความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้สารประกอบเหล่านี้เกิดการแตกตัวเป็นออกไซด์ โมเลกุล และอะตอมอิสระ วิธีการนี้ให้ผลการวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก และใช้ประโยชน์ได้มาก แต่มีความไวไม่สูงมากนัก

2.3 Hydride Generation หรือ Vapor Generation วิธีการทั้งสองวิธีที่กล่าวมาข้างต้นนั้นไม่สามารถทำให้ธาตุบางชนิดเกิดการแตกตัวได้ จึงต้องใช้วิธีที่ทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นสารที่เป็นไปได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้กลายเป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์ผ่านเปลวไฟไฮโดรเจนจนธาตุนั้นๆ กลายเป็นอะตอมอิสระ ซึ่งธาตุเหล่านี้ได้แก่ As, Se, Te, Ge, Bi และ Sb ซึ่งวิธีการนี้ให้ความไวในการวิเคราะห์สูงแต่สูญเสียวิธีการแรกไม่ได้

2.4 Cold Vapor Generation วิธีการนี้ถือว่าเป็นวิธีการของ Flameless Atomization แบบ Hydride Generation เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ธาตุที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ปรอทที่มีปริมาณน้อยวิธีการในการวิเคราะห์แต่ละวิธีต่างก็มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งวิธีการที่เป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปคือสองวิธีการแรก

3. โมโนโครเมเตอร์แสงจากแหล่งกำเนิดจะตกลงบนตัวอย่างแล้วผ่านมายังโมโนโครเมเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่ในการกระจายแสงออกตามค่าความยาวคลื่นต่างๆ ให้ไปตกยังเครื่องตรวจวัด

4. เครื่องตรวจวัดเครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ในเทคนิค AAS นี้คือ PMT เนื่องจากให้ผลการตรวจวัดที่รวดเร็ว มีความไวสูง สามารถตรวจวัดปริมาณแสงที่มีความเข้มต่ำได้ดี แต่ผู้ผลิตบางรายก็เลือกที่จะใช้ solid state เป็นเครื่องตรวจวัดเพราะให้ประหยัดการตรวจวัดที่ดีกว่า

5. เครื่องประมวลผลและอ่านผลสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องตรวจวัดมักจะมีค่าความแรงต่ำจึงมีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยขยายสัญญาณและแปลงให้เป็นค่า absorbance แล้วอ่านผลที่ได้ด้วย scale meter, digital meter, recorder/printer หรือคอมพิวเตอร์ซึ่งอยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันที และด้วยการพัฒนาทางซอฟต์แวร์ช่วยให้ได้รั้ข้อมูลในการวิเคราะห์ที่รวดเร็วขึ้น และเป็นไปตามมาตรฐาน GLP

2.8 การพัฒนาส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิมและราคา

เหล็กกล้าไร้สนิมโครเมียม - แมงกานีสและเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียมสูง ถูกพัฒนาขึ้นด้วยจุดประสงค์หลักเพื่อเป็นการลดปริมาณของนิเกิลในเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากในอดีตนั้นนิเกิลมีราคาสูง ดังนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมโครเมียม - แมงกานีสและเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียมสูงจึงเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถจะนำมาแทนที่เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

ทางเลือกแรกในการพัฒนาเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นจะมองในส่วนของคุณสมบัติของโครงสร้างของโลหะผสมซึ่งมีความคิดที่จะรักษาโครงสร้างของโลหะผสมโดยการแทนนิเกิลด้วยแมงกานีส อย่างไรก็ตามการเพิ่มแมงกานีสลงในเหล็กกล้าไร้สนิมส่งผลให้เกิดการลดคุณสมบัติของวัสดุโดยเฉพาะคุณสมบัติทางด้านการป้องกันการกัดกร่อน

ส่วนอีกทางเลือกหนึ่งคือเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียมสูงถูกพัฒนาขึ้นด้วยการเพิ่มโครเมียมและลดคาร์บอนเพื่อปรับปรุงและเพิ่มสมบัติการต้านทานการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามรูปแบบของส่วนผสมทางเคมีเหล่านี้นั้นที่ถูกทดลองอย่างเหมาะสมทำให้เกิดโครงสร้างทางจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์โดยปราศจากออกไซด์ไนท์ อย่างไรก็ตามยังคงมีคำถามหลงเหลืออยู่เกี่ยวกับส่วนผสมของโครงสร้างจุลภาคที่กล่าวมานั้นในด้านคุณสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เพราะฉะนั้นในปัจจุบันจึงมีการสนับสนุนในงานวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมโครเมียม - แมงกานีสและเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียมสูงให้ดียิ่งขึ้น [8]

ตารางที่ 2.6 แสดงธาตุส่วนผสมของเหล็กกล้าไร้สนิม

Wrought Stainless Steels								
Alloy	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Others
AISI304	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	9.25	-
AISI202	0.15	9.00	0.060	0.030	1.00	18.00	5.00	0.25N
NTKD-7	0.12	7.50	0.045	0.015	1.00	18.00	5.50	-
JFE443CT	0.01	1.00	0.040	0.030	1.00	21.00	-	0.4Cu,0.3Ti,0.01N

(ที่มา : http://www2.mtec.or.th/th/research/famd/center/ss_comp.html)

สำหรับราคาของเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นจะมีราคาขึ้นอยู่กับธาตุนิเกิล (Ni) เป็นหลักเช่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ใช้นิเกิล (Ni) เป็นส่วนผสมมากคือ 9.25% จะมีราคาแพงมากที่สุดรองลงมาคือเหล็กกล้าไร้สนิม NTKD / AISI202 และเหล็กกล้าไร้สนิม JFE 443CT ตามลำดับ