บทที่ 3

การเชื่อม (Welding)

การเชื่อมหมายถึงวิธีการทำให้โลหะ 2 ชิ้นติดกันโดยการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่งานหลอมละลายรวมตัวเข้าด้วยกันอาจมีการเติมโลหะลงในรอยต่อด้วยหรือไม่ก็ได้ การเชื่อมอาจกระทำด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งหรือหลายวิธีก็ได้ (The Encyclopedia, sixteenth edition, Ted B.Jefferson, Monticello Books, Inc.(1968)

3.1 การแบ่งประเภทของการเชื่อม

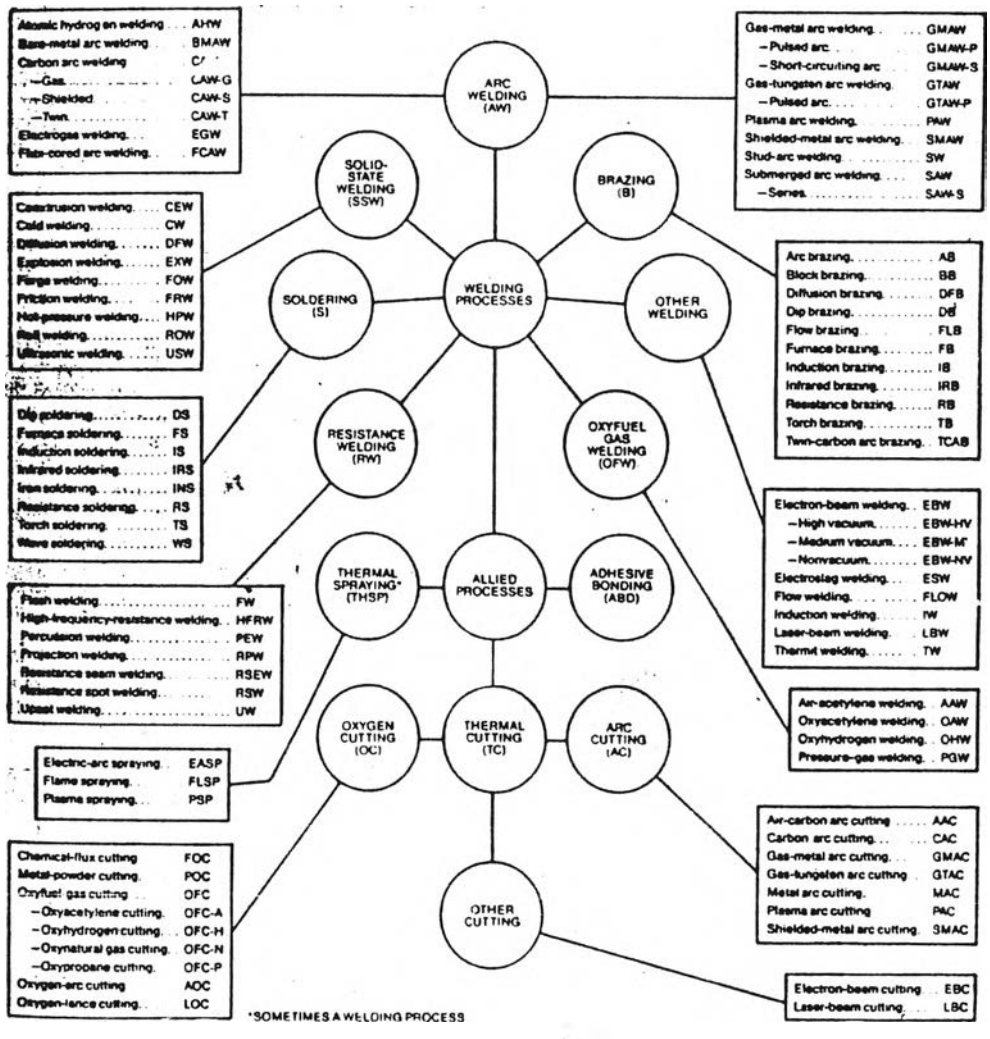
ประเภทของการเชื่อมแบ่งออกตามมาตรฐานของ AWS (American Welding Society) ซึ่งแบ่งออกเป็นชื่อเรียกต่าง 98 ชื่อดังในรูปที่ 9 (Dave Smith,1986)

จากรูปที่ 9 เป็นแผนภูมิหลักของวิธีการเชื่อมแบบต่าง ๆ ที่จำแนกโดยสมาคมการเชื่อมของอเมริกา (American Welding Society) วิธีการเชื่อมต่าง ๆ ไม่ได้จำแนกออกเป็นลำดับก่อนหลังแต่สามารถจะแยกออกด้วยวิธีการที่เหมาะสมกับงานแต่ละงานและการพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานอย่างเหมาะสม วิธีการเชื่อมอาจจะแบ่งออกตามแรงกด (Pressure) และอุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมดังต่อไปนี้

1. การเชื่อมที่ต้องใช้แรงกดจะกระทำโดยการเพิ่มอุณภูมิให้แก่โลหะ ในบริเวณที่จะเชื่อมให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงสภาวะหลอมตัว (fusion state) แล้วจึงให้แรงกดให้กับรอยเชื่อมจนกระทั่งติดกัน

2. งานเชื่อมที่ไม่ต้องใช้แรงกดจะกระทำโดยเพิ่มอุณหภูมิให้แก่โลหะชิ้นงานจนถึงจุดหลอมตัว (Fusion point) หรือสูงกว่าเล็กน้อยในบริเวณหรือตำแหน่งที่จะเชื่อมติดกันจนกระทั่งตำแหน่งนั้นเป็นเหมือนบ่อหลอมเหลว อาจมีการเติมวัสดุจากภายนอกลงไปถ้าจำเป็นแล้วปล่อยให้งานนั้นเย็นตัวลงจนติดเป็นเนื้อเดียวกัน

3. วิธีการบัดกรีแข็ง (Brazing) เป็นวิธีการต่อชิ้นงานโดยไม่ใช้แรงกดและชิ้นงาน



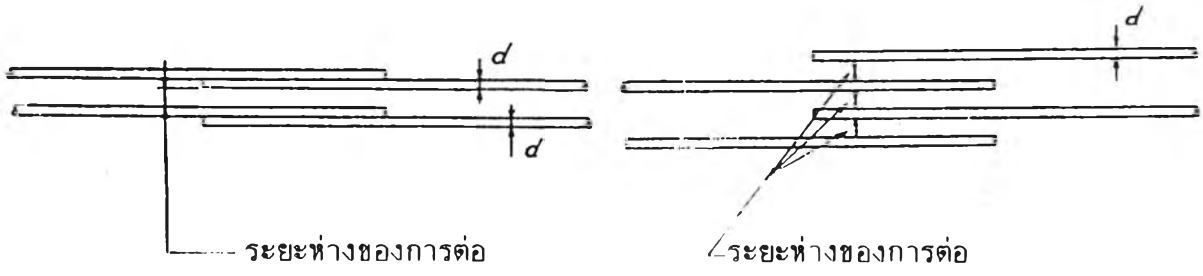
รูปที่ 9 ประเภทของงานเชื่อม

ก็จะไม่ถูกหลอมละลายแต่โลหะเติมจะถูกทำให้ร้อนและหลอมละลายเติมลงไปในรอยต่อเพื่อยึดรอยต่อให้ติดกันโดยมีตัวประสาน (Flux) ช่วยในการแทรกซึมของโลหะเติม (Filler metal) ไปตลอดทั่วพื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ ด้วยวิธีการเชื่อมทั้ง 3 วิธีนั้นในทุก ๆ กรณีความร้อนที่ใช้จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ซึ่งช่างเชื่อมจะต้องมีความรู้ในเรื่องเหล่านี้ความร้อนที่เหมาะสมจะช่วยให้รอยเชื่อมมีคุณภาพดีแล้วยังมีความเหมาะสมทั้งทางส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกล นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ ความสะดวกในการประกอบและผลกระทบต่าง ๆ อันอาจจะเกิดขึ้นได้

3.2 ความสำคัญของการเชื่อม

การประกอบงานทางวิศวกรรมมีวิธีการประกอบอยู่มากมายหลายวิธี เช่น การย้ำหมุด

การยึดด้วยสกรู การใช้โบลท์และนัท (Bolt and nut) การบัดกรีและการเชื่อมเป็นต้น อาจจำแนกความสำคัญของวิธีการประกอบแบบต่าง ๆ ตามประโยชน์ที่จะได้รับจากการประกอบนั้น ๆ โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมทั้งการประกอบและการใช้งานรวมทั้งค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นหรือความสามารถในการรับแรงต่าง ๆ เช่น งานย้ำหมุด แรงที่ส่งผ่านชิ้นงานทั้ง 2 จะผ่านที่หมุดย้ำเท่านั้น แต่การเชื่อมจะทำให้ชิ้นงานติดเป็นเนื้อเดียวกันแรงที่ส่งผ่านจะผ่านไปตามรอยเชื่อม หรือโลหะที่เชื่อมติดโดยตลอดในขนาดของแรงที่เท่ากันเราสามารถเปรียบให้เห็นได้ว่าในขนาดความยาวของชิ้นงานที่เท่ากันงานเชื่อมจะมีน้ำหนักเบากว่างานย้ำหมุด ในงานก่อสร้างก็เช่นกันการเชื่อมต่อเหล็กโครงสร้างเสริมคอนกรีตจะทำให้การส่งถ่ายแรงในเหล็กได้ดีกว่าการต่อด้วยวิธีผูกเหล็ก นอกจากการก่อสร้างอาคารขนาดเล็กซึ่งการประกอบเหล็กโครงสร้างจะใช้วิธีผูกเหล็กด้วยลวดโดยเหล็กที่ต่อกันจะต่อกันในลักษณะต่อเกย ตามวิธีการนี้แรงหรือน้ำหนักที่ผ่านไปในเหล็กโครงสร้างโดยอาศัยการเกาะยึดระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเส้นเท่านั้น ซึ่งอาจจะเพียงพอสำหรับสิ่งก่อสร้างหรืออาคารขนาดเล็ก (การผูกเหล็กด้วยลวดดังรูปที่ 10)

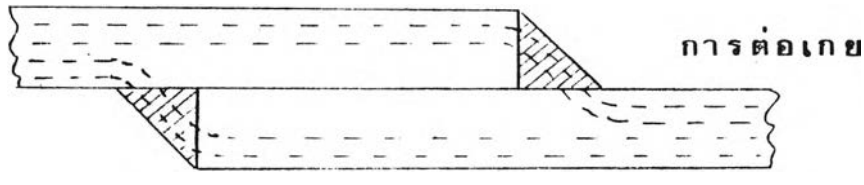


การต่อเกยแบบชิดกัน การต่อเกยแบบห่างกัน

รูปที่ 10 การต่อเกยเหล็กเส้นที่ผูกด้วยลวด(Rippstien,1970)

ในอาคารขนาดเล็กซึ่งมีน้ำหนักไม่มากนักวิธีการต่อเหล็กโครงสร้างด้วยการผูกด้วยลวดอาจใช้ได้ แต่ในงานก่อสร้างขนาดใหญ่น้ำหนักของอาคารมีมากการต่อด้วยวิธีการผูกด้วยลวดย่อมไม่เพียงพอต่อการรับแรงหรือน้ำหนักของอาคาร และเนื่องจากเหล็กเส้นที่ใช้มีขนาดใหญ่การต่อจะต้องต่อชนเท่านั้น ตามมาตรฐาน CRSI โดย Rippstein,(1970) กำหนดไว้ว่า เหล็กเส้นที่มีขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 12.7 มม. จะใช้วิธีการต่อชนเท่านั้นเพราะการต่อเกยจะทำให้บริเวณที่เหล็กเส้นเกยกันมีพื้นที่สำหรับคอนกรีตน้อยลงอาจทำให้ไม่เพียงพอต่อแรงหรือน้ำหนักที่ถ่ายทอดมาผ่านรอยต่อนี้ จากมาตรฐานของ CRSI (Concrete Reinforcing Steel Institute) โดย Rippstein,(1970) ได้แนะนำว่าการต่อปลายเหล็กเส้นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ การต่อเกยและการต่อชน (Lap Splice and Butt Splice) การต่อเกยจะกระทำกับเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5/8 นิ้ว (12.7 มม.) ส่วนการต่อชนจะกระทำกับเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 5/8 นิ้ว (12.7 มม.) การต่อเกยไม่ว่าจะใช้วิธีการเชื่อม หรือการผูกด้วยลวดจะรับแรงได้น้อยกว่าการต่อชนเพราะในรอยเชื่อมต่อเกยจะรับแรงเฉือนเนื่องจากทิศทางของเส้นแรงมีการหักเหเปลี่ยนทิศทาง (ดังรูปที่ 11)

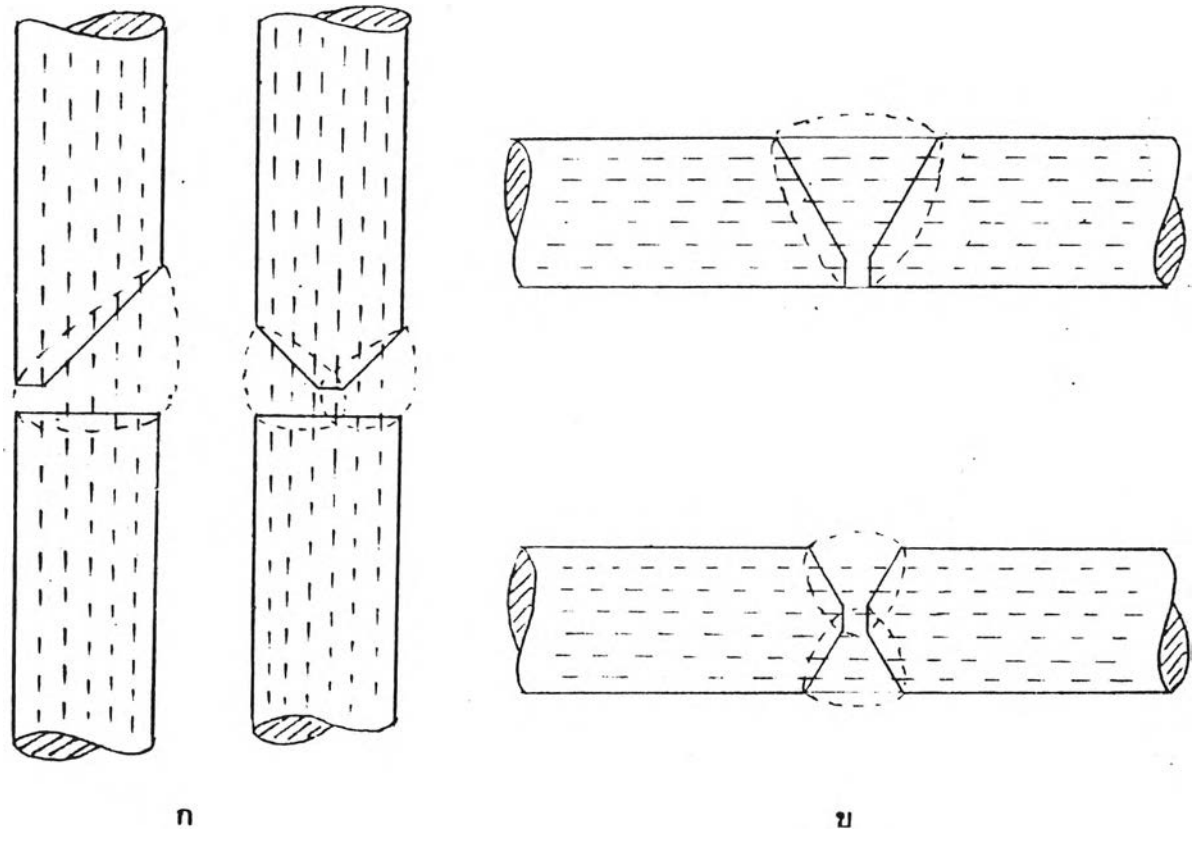


รูปที่ 11 แสดงทิศทางของเส้นแรงที่ผ่านรอยเชื่อมแบบต่อเกย(Harman,C. 1956)

แต่การต่อชนเส้นแรงจะผ่านรอยเชื่อมไปโดยตรงไม่มีการเปลี่ยนทิศทางดังแสดงในรูปที่ 12 (ก) และ (ข) ดังนั้นความแข็งแรงของรอยต่อชนจึงมีความแข็งแรงกว่าการต่อเกยเพราะแนวเชื่อมจะรับแรงดึงและแรงอัดเท่านั้น

3.3 การออกแบบงานเชื่อม

การออกแบบงานเชื่อมจำเป็นที่จะต้องตั้งวัตถุประสงค์ของงานที่ต้องการว่าจะให้มีคุณสมบัติอย่างไร และรูปร่างลักษณะชิ้นงานเป็นอย่างไร องค์ประกอบขั้นพื้นฐานที่สำคัญ คือ วิธีการที่จะใช้ในการเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม ค่าใช้จ่ายในงานเชื่อมและน้ำหนักที่จะเกิดขึ้นหลังเชื่อม ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อการออกแบบงานเชื่อมดังต่อไปนี้



รูปที่ 12 แสดงเส้นแรงที่ผ่านไปในรอยต่อชนแบบต่าง ๆ (Rippstien, 1970)

1. จะใช้วิธีการเชื่อมอย่างไรและอุปกรณ์ช่วยงานอะไรบ้างในงานเชื่อมนั้น ๆ

2. ต้องการผลอะไรจากการใช้วิธีการเชื่อมนั้น ๆ (จากข้อ 1) เช่น น้ำหนักของงาน ค่าใช้จ่าย เวลาที่ใช้ รูปร่างของงานเชื่อม การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติอื่น ๆ

3. มีขั้นตอนในการเชื่อมอย่างไร

4. ในการเชื่อมมีการจำกัดเวลาในการเชื่อมเพียงใด

5. งานเชื่อมนั้น ๆ ใช้สำหรับงานอะไรหรือใช้ทำหน้าที่อะไร

จากคำถามข้างต้นนี้ควรจะมีการวิเคราะห์และตอบคำถามอย่างละเอียด รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมจะต้องรวบรวมมาวิเคราะห์ให้ครบ เช่นถ้าตอบคำถามข้อ 1. เราจะต้อง

รู้ว่าจะใช้วิธีการเชื่อมอย่างไร เช่นต้องเชื่อมด้วยวิธีพิเศษ (Tig หรือ Mig) มีอุปกรณ์ช่วยอะไรบ้าง เช่น อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig & Figure) แล้วตอบคำถามข้ออื่น ๆ อีกอย่างละเอียด เพราะทุก ๆ อย่างมีผลกระทบต่อการออกแบบทั้งสิ้น นอกจากนี้เวลาและค่าใช้จ่ายในการเชื่อมก็มีประโยชน์ต่อการออกแบบเพราะถ้าหากค่าใช้จ่ายต่ำสุดจนไม่สามารถที่จะลดลงได้อีก ทางที่จะทำให้เกิดการประหยัดได้ก็คือการเพิ่มความเร็วในการเชื่อมเพราะสามารถที่จะออกแบบให้ใช้วิธีการเชื่อมแบบอัตโนมัติ ด้านน้ำหนักของโครงสร้างเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญมากในการออกแบบเพราะสามารถที่จะลดน้ำหนักของโครงสร้างลงโดยมีความแข็งแรงคงเดิม นอกจากนี้ปริมาณของแนวเชื่อมในโครงสร้างยังมีผลกระทบต่อการออกแบบเพราะเวลาที่ใช้ในการออกแบบจะแปรผันไปตามจำนวน หรือ ปริมาณของงานเชื่อม ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผลิตจะลดลงได้ต่อเมื่อผู้ออกแบบได้วิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ อย่างรอบคอบโดยต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเชิงกลของแนวเชื่อมให้เป็นไปตามต้องการ

นอกจากนี้ C.Rowland Harman,(1956) ได้แนะนำถึงการออกแบบงานเชื่อมว่าจะต้องพิจารณาองค์ประกอบที่สำคัญอีก 2 ประการ ต่อไปนี้

ก. ความสามารถที่จะเชื่อมได้ของวัสดุ (Weldability)

ข. คุณสมบัติของรอยเชื่อมรวมทั้งผลกระทบที่มีจากขั้นตอนในการเชื่อมซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานได้

ผู้ออกแบบงานเชื่อมต้องมีความรู้และเข้าใจองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จะมีผลกระทบต่องานเชื่อมรวมทั้งสามารถเลือกวัสดุงาน และ วิธีการใช้วัสดุนั้นๆอย่างเหมาะสมและความสำคัญขององค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากชิ้นงานนั้นเป็นไปอย่างคุ้มค่าองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งคือ ความสามารถที่จะเชื่อมได้และคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้น

ในด้านความสามารถที่จะเชื่อมได้มีผลโดยตรงจากธาตุที่ผสมอยู่ในวัสดุงานซึ่งมีผลกระทบต่อการหลอมละลายของชิ้นงาน การรวมตัวกันกับโลหะลวดเชื่อมที่เติมลงไปและการแข็งตัวในรูปของรอยต่อเพราะโลหะประเภทเหล็กจะมีผลกระทบต่อเรื่องนี้มาก สิ่งที่ควรระวังและหลีกเลี่ยงคือการแตกร้าวในบริเวณที่มีผลกระทบจากความร้อนของรอยเชื่อม (Heat affect zone) และผลจากการเย็นตัวของชิ้นงานในอากาศ (Cooling rate) ความไวต่อการแตกร้าวนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อคาร์บอนที่ผสมอยู่กับธาตุอื่น ๆ เพิ่มขึ้นแม้ว่าจะมีธาตุที่ผสมอยู่หลายชนิด นั่นคือผู้ออกแบบจะต้องเลือกวัสดุชิ้นงานเพื่อให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ รวมทั้งคุณสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการเป็นสนิม

ซึ่งล้วนแต่มีผลมาจากส่วนผสมทางเคมีของวัสดุนั้น ๆ ทั้งสิ้นควรมีการพิจารณาถึงการแตกร้าวที่อาจจะเกิดขึ้นในแนวเชื่อมและพยายามหาทางหลีกเลี่ยงการแตกร้าวที่อาจจะเกิดขึ้น ขนาดของชิ้นงาน อุณหภูมิที่ใช้เชื่อม ความหนาของชิ้นงาน จะมีส่วนที่ก่อให้เกิดการแตกร้าวในชิ้นงานได้

ดังนั้นส่วนที่จะต้องคำนึงถึงเพื่อป้องกันและแก้ไขการแตกร้าวที่อาจจะเกิดขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก

(ก) การออกแบบที่ไม่ดีก่อให้เกิดความเค้น (Stress) ในรอยต่อมากระหว่างการเย็นตัวลงของรอยเชื่อม

(ข) การรวมตัวของธาตุคาร์บอนและธาตุอื่น ๆ หรือสิ่งเจือปนจากชิ้นงานเข้าสู่รอยเชื่อม

3.4 ประเภทและคุณสมบัติของรอยต่อ

รอยต่อที่ใช้ในการต่อชิ้นงานโดยทั่วไปมักจะเป็นงานเชื่อมไฟฟ้าและเชื่อมแก๊สโดยใช้การเชื่อมด้วยมือ รอยต่ออาจแบ่งออกเป็นแบบตามพื้นฐานได้ 3 แบบด้วยกันคือ

1. รอยต่อแบบร่อง (Groove - welded Joints)
2. รอยต่อแบบมุม (Fillet - welded Joints)
3. รอยต่อผสมกันทั้งแบบร่องและแบบมุม

การเลือกใช้รอยต่อจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการเตรียมรอยต่อ คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพที่ต้องการ รวมทั้งตำแหน่งของรอยต่อที่จะทำการเชื่อม ยังไม่มีการทดสอบยืนยันว่าการต่อแบบใดดีที่สุดแต่มีการยอมรับกันว่ารอยต่อแบบมุม (Fillet welded) ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการต่อแบบร่อง (Groove welded) แต่ในแง่ของคุณสมบัติเชิงกลรอยต่อแบบรูปตัว "V" และรูปตัว "U" จะดีกว่าการต่อแบบมุม (Fillet welded) แต่การเชื่อมซึมลึกในรอยต่อรูปตัว "J" และรูปตัว "U" จะทำได้ดีกว่ารอยต่อรูปตัว "V" ซึ่งความเค้นและการบิดอาจจะเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการเชื่อม รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเตรียมงานจะสูงกว่าการเชื่อมแบบมุม (Fillet) การเชื่อมต่อแบบต่างนี้จะเชื่อมได้ 2 ท่าคือเชื่อมท่าตั้ง (ต่อในแนวดิ่ง) และเชื่อมท่าขนานนอน (ต่อตามแนวนอน) การเชื่อมในท่าตั้งค่อนข้างจะสะดวกกว่าเพราะมีการบากงานด้านบนเพียงด้านเดียวและมีขอบงานด้านล่างเป็นขอบสี่เหลี่ยม

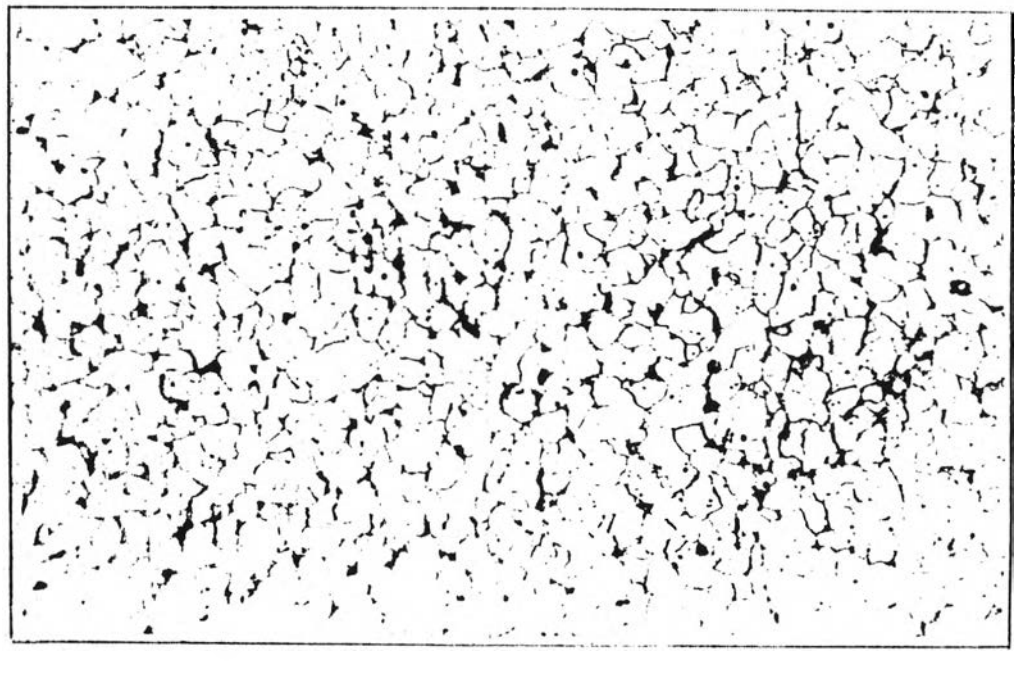
เทคนิค

รอยเชื่อมแบบต่อมุม (Fillet welded) มีการนำมาใช้บ่อย ๆ โดยที่ผู้ออกแบบมุ่งสนใจในแง่ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าถ้าสภาพของการรับน้ำหนักใช้งานได้ รอยต่อแบบร่อง (Groove welded) ตามปกติจะเสียเวลาเชื่อมและสิ้นเปลืองลวดเชื่อมน้อยแต่จะเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียมรอยต่อและการประกอบงานสูงมากกว่า

3.5 ผลกระทบของคาร์บอนที่มีต่องานเชื่อม

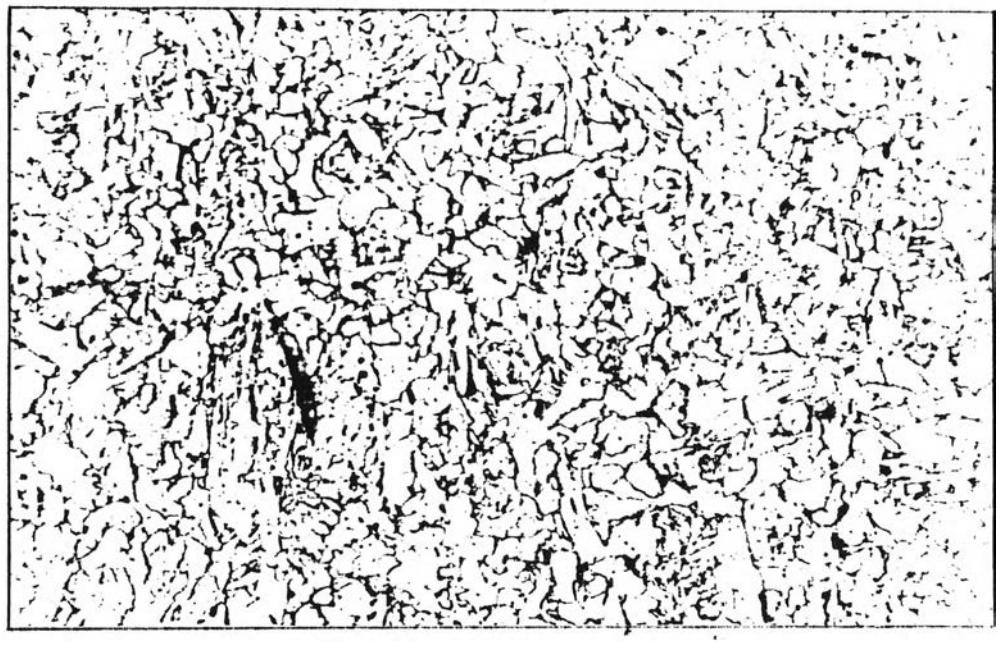
เหล็กชิ้นงานที่ใช้ในงานทางวิศวกรรมทุกชนิดเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนผสมอยู่และเมื่อจะต้องมีการเชื่อมต่อซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะสูงประมาณ 1,500°C ขึ้นไป ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหล็กหลอมละลายย่อมมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างในเหล็กเพราะการแตกตัวหรือแยกตัวของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำเหล็ก เหล็กที่มีคาร์บอนสูงไม่เหมาะที่จะนำมาเชื่อมเพราะคาร์บอนที่มีปริมาณสูงจะก่อให้เกิดการแตกร้าวภายในแนวเชื่อมและการแตกตัวของ % คาร์บอนในโครงสร้างเพียร์ไลท์เป็นเฟอร์ไรท์เพราะอุณหภูมิที่สูงของการเชื่อมจะทำให้ความแข็งแรงลดลง การทดลองในครั้งนี้เหล็กที่นำมาทดลองเป็นเหล็กคาร์บอนต่ำก็จะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลอยู่บ้างเพราะโครงสร้างจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไป (ดังในรูปโครงสร้างจุลภาค 13A, 13B, 13C, 13D, 13E และ 13F ตามลำดับ)

รูปที่ 13A โครงสร้างจุลภาคของ A_{50-3} ก่อนเชื่อม

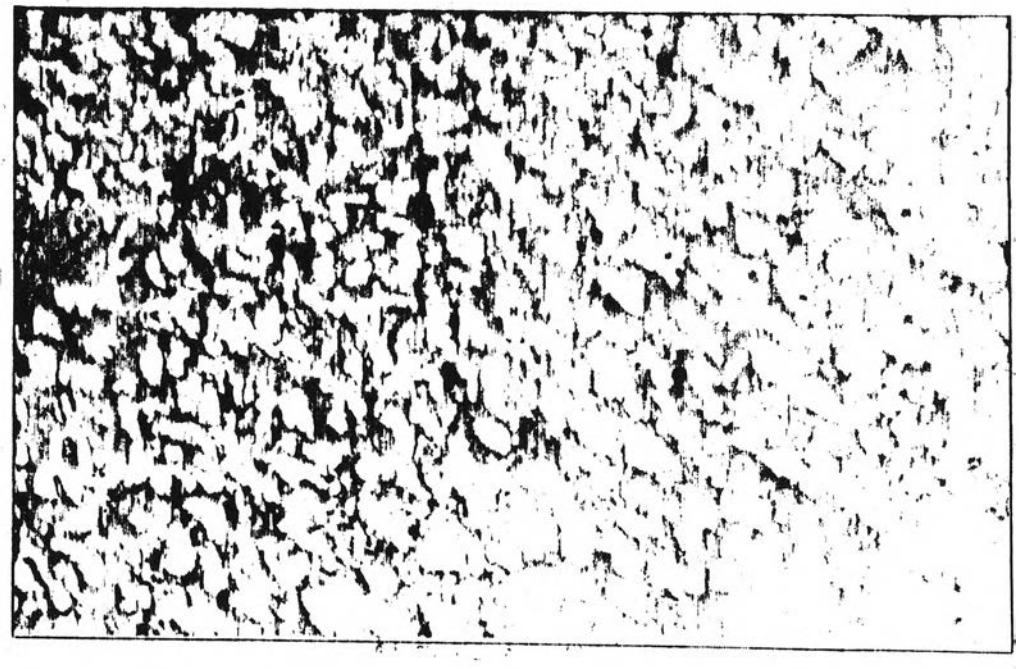


รูปที่ 13B โครงสร้างจุลภาคของ A_{50-3} หลังเชื่อม

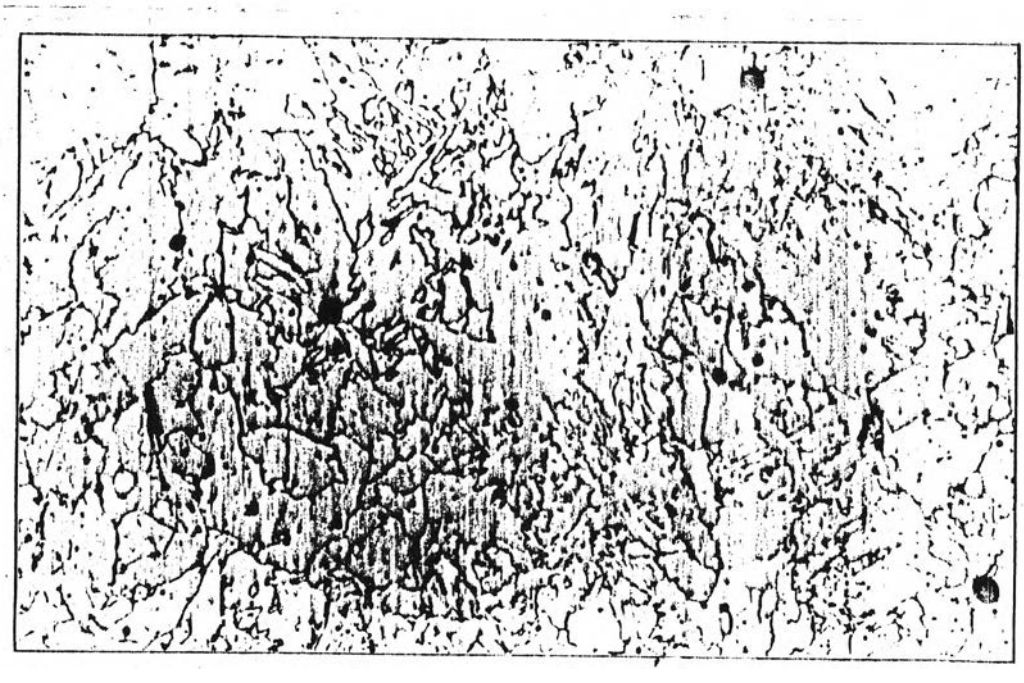
รูปที่ 13C โครงสร้างจุลภาคของ A_{60-2} ก่อนเชื่อม



รูปที่ 13D โครงสร้างจุลภาคของ A_{60-2} หลังเชื่อม



รูปที่ 13E โครงสร้างจุลภาคของ B_{80-1} ก่อนเชื่อม



รูปที่ 13F โครงสร้างจุลภาคของ B_{80-1} หลังเชื่อม