

Unit 7

ลวดเชื่อมและมาตรฐานลวดเชื่อม Welding Consumables & Standardisation



ที่มา :Carbone : Electrodes –Wire rolls–Filler Material, 2017

จุดประสงค์การเรียนรู้ บทที่ 7 ลวดเชื่อมและมาตรฐานลวดเชื่อม

- รู้และเข้าใจถึงความหมายและความสำคัญของลวดเชื่อมประเภทต่าง ๆ
- รู้จักมาตรฐานและรหัสต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นของแต่ละประเภทของลวดเชื่อม
- เข้าใจและสามารถอธิบายถึงหลักการแบ่งประเภทของลวดเชื่อมชนิดต่าง ๆ
- สามารถแปลความหมายของรหัสหรือโค้ดที่ระบุบนลวดเชื่อมของมาตรฐานต่าง ๆ
- สามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมตามคำแนะนำของผู้ผลิตได้ถูกต้อง หรือสามารถประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสมในกรณีที่มีลวดเชื่อมให้เลือกจำกัด
- สามารถเทียบเคียงรหัสลวดเชื่อมที่เป็นชนิดเดียวกันที่แต่มาตรฐานต่างกัน
- ตระหนักและมีจิตได้สำนึกในการให้ความสำคัญกับการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่ถูกต้อง
- มีจรรยาบรรณในการพิจารณาและตัดสินใจกับปัญหาการเลือกใช้ลวดเชื่อมเมื่อต้องตัดสินใจร่วมกับผู้อื่นที่เกี่ยวข้อง และต้องยอมรับผลการตัดสินใจที่ปราศจากอคติ

“Welding Consumable” หมายถึง ลวดที่ใช้ในการเชื่อม หรือการประสานเนื้อของโลหะให้ติดกัน ด้วยวิธีการเติมเนื้อโลหะลงไป ในรอยต่อของโลหะชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม โดยจัดว่าเป็นวัสดุสิ้นเปลือง (Consumable) ของกระบวนการเชื่อมแบบหลอมละลายเติมเนื้อเชื่อม

สาระที่น่าสนใจและประเด็นที่ต้องรู้จักของบทเรียนนี้ ผู้เขียนมีเจตนาที่จะรวบรวมองค์ความรู้ และประสบการณ์ที่ผ่านมาในงานด้านวิศวกรรมการเชื่อม ที่จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับประเภท หรือชนิดของลวดเชื่อม และรวมถึงมาตรฐานของลวดเชื่อมตามสากลนิยมเพื่อการสื่อสารและการเข้าใจ ถึงบทบาทและความสำคัญของโลหะลวดเชื่อมที่นำมาใช้ในการหลอมละลายเพื่อเติมเต็มลงในรอยต่อที่ต้องการเชื่อมให้ติดกัน ที่มีคำเรียกโลหะลวดเชื่อมกันหลากหลาย เช่น บ้างก็เรียกลวด Consumable บ้างก็เรียกลวด Electrode บ้างก็เรียก Electrode cover flux บ้างก็เรียก Filler rod และ บ้างก็เรียก Filler wire ซึ่งไม่มีคำเรียกใดที่ผิดเพราะคำเรียกเหล่านี้ล้วนมีความหมายเดียวกัน

R. Scott Funderburk (1999) ได้กล่าวไว้ว่าลวดเชื่อมถือว่าเป็นตัวการสำคัญที่จะเป็นตัวบังคับถึงประสิทธิภาพของรอยเชื่อมต่อและหลักการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่ถูกต้อง ข้างเชื่อมจะต้องเลือกลวดเชื่อมที่เป็นชนิดเดียวกันกับโลหะที่ต้องการเชื่อมที่เราเรียกกันว่า “Similar welding” ซึ่งจะได้เนื้อเชื่อมที่เป็นโลหะชิ้นเดียวกันตลอดโครงสร้าง และปัญหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นก็จะน้อย แต่ในความเป็นจริงของงานวิศวกรรมการเชื่อมมีงานเชื่อมมากมายที่ไม่สามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เป็นชนิดเดียวกับโลหะชิ้นงานได้ ด้วยเหตุผลมากมาย เช่น ไม่มีผู้ผลิตลวดเชื่อมได้ตรงกับโลหะได้ทุกชนิด หรือ มีความจำเป็นในการออกแบบรอยต่อที่ต้องใช้วัสดุต่างชนิด ซึ่งรวมไปถึงความต้องการสมบัติที่พิเศษบางประการของเนื้อเชื่อม ได้แก่ สมบัติที่ทนการสึกหรอ มีความคงทนต่อแรงสั่นสะเทือน หรือ ทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น ในงานเชื่อมที่มีข้อกำหนดแบบนี้ต้องอาศัยความสามารถของช่างหรือวิศวกรงานเชื่อมที่จะต้องพิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสม การที่ต้องเชื่อมโดยโลหะด้วยลวดเชื่อมกับโลหะชิ้นงานที่จะเชื่อมต่างชนิดกัน เราเรียกว่า “Disimilar welding” การเชื่อมงานในลักษณะนี้ต้องมีความเข้าใจถึงคุณลักษณะของลวดเชื่อมที่ต้องเลือกใช้เป็นอย่างดี บทเรียนนี้ได้นำเอาข้อมูลของลวดเชื่อมในทุก ๆ มิติที่จะเป็นความรู้ให้แก่ผู้อ่านได้นำไปใช้พิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสมและถูกต้อง

แต่ด้วยปัจจุบันลวดเชื่อมได้มีการพัฒนาปรับปรุงและผลิตออกมาให้สามารถเลือกใช้งานกันมาก นอกจากจะมีความหลากหลายของชนิด ประเภท หรือเกรดของลวดเชื่อมแล้ว ยังมีมาตรฐานลวดเชื่อมของแต่ละประเทศที่ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดขึ้นเพื่อใช้ในการสื่อสารที่ตรงกัน ดังนั้นการที่รู้เพียงสมบัติของลวดเชื่อมคงไม่เพียงพอ จำเป็นต้องทราบและเข้าใจถึงข้อกำหนดของมาตรฐานลวดเชื่อมต่าง ๆ ที่นิยมใช้งานและยอมรับกัน ดังนั้นบทเรียนนี้จึงนำเรื่องของลวดเชื่อมและข้อกำหนดที่เป็นมาตรฐานสากลที่วิศวกรงานเชื่อม ช่างเชื่อม ผู้ออกแบบงานเชื่อม และ ผู้ทดสอบงานเชื่อม ต้องรู้และเข้าใจในมาตรฐานที่ตรงกัน ไม่เช่นนั้นจะเกิดความผิดพลาดและเกิดการโต้แย้งกัน โดยเฉพาะกรณีที่มีความจำเป็นที่อาจต้องใช้สัญลักษณ์งานเชื่อมของมาตรฐานที่มากกว่าหนึ่งมาตรฐานร่วมกัน ผู้ปฏิบัติงานร่วมกันต่างก็ต้องรู้ และต้องแปลความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ อย่างถูกต้องและมีจรรยาบรรณในการพิจารณาดัดสนใจ

ลวดเชื่อม (Welding consumable) เป็นวัสดุสิ้นเปลืองที่นำมาใช้เป็นตัวประสานหรือเชื่อมชิ้นงานโลหะสองชิ้นให้ติดกัน โดยจะเกิดขึ้นกับการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion welding) และจะต้องเป็นขบวนการเชื่อมแบบชนิดเติมเนื้อโลหะ (Filling weld) ซึ่งจะไม่ใช้กับการเชื่อมแบบหลอมละลายโลหะหลักติดกัน (Autogenous welding) ลวดเชื่อมแบบสิ้นเปลืองนี้บางครั้งก็จะเรียกกันว่า Consumable electrode จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลวดเชื่อมพบว่าด้วยความหลากหลายของการผลิตลวดเชื่อมออกมาเพื่อรองรับกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน จึงได้มีการแบ่งชนิดของกลุ่มลวดเชื่อมตามหลักเกณฑ์ที่ต่างกันได้หลายลักษณะ ซึ่งสามารถพบเห็นได้ในเอกสารเผยแพร่หรือประชาสัมพันธ์มากมาย โดยเฉพาะผู้ผลิตลวดเชื่อมเองที่มักจะจัดแบ่งกลุ่มตามผลิตภัณฑ์ของตนเอง ทำให้การสื่อสารมักเกิดความสับสนต่อการสร้างข้อกำหนดต่าง ๆ ของขบวนการเชื่อม จากการที่ผู้เขียนได้ศึกษาเรียนรู้ศาสตร์ทางด้านงานเชื่อมมาตลอด และได้สนใจทำงานวิจัยด้านวิศวกรรมงานเชื่อมอย่างต่อเนื่องบวกกับประสบการณ์ทำงานด้านงานเชื่อมในภาคอุตสาหกรรม พอที่จะจัดแบ่งประเภทของลวดเชื่อมตามลักษณะรูปแบบของการนำไปใช้งานโดยอิงควบคู่กับขบวนการเชื่อมอ้างอิง KOBELCO (2009) ดังนี้

- **ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Covered electrode)** ลวดเชื่อมประเภทนี้จะหมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมที่ใช้ฟลักซ์ที่เป็นผงของแข็งพอกหุ้มแกนลวดโลหะไว้ เมื่อเกิดการอาร์กหลอมละลายจะกลายเป็นแก๊สใช้ทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อม (Shielding gas) โดยที่มีมากมายและหลากหลาย ตามชนิดของแกนกลางลวดโลหะที่ฟลักซ์หุ้ม และตามชนิดของสารฟลักซ์ที่พอกหุ้ม ดังแสดงตัวอย่างลวดเชื่อมในรูปที่ 7.1 (ก)

- **ลวดเชื่อมเปลือย (Filler electrode)** ลวดเชื่อมประเภทนี้จะหมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมที่ไม่มีสารพอกหุ้มใด ๆ จึงเรียกว่าลวดเปลือย โดยมีทั้งที่เป็นเส้นลวดยาวประมาณ 1000 มม. และที่เป็นลวดม้วนอยู่ในดรัม (Roll) ที่มีความยาวสามารถเชื่อมได้ต่อเนื่องมีหลายขนาดตามน้ำหนักของแต่ละม้วนดังแสดงตัวอย่างลวดเชื่อมในรูปที่ 7.1 (ข)

- **ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux core electrode)** ลวดเชื่อมประเภทนี้จะหมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมที่มีลักษณะของการใช้แผ่นโลหะม้วนให้เป็นท่อเล็กแกนกลางซึ่งไว้บรรจุผงฟลักซ์ (Powder flux) ไว้แกนกลางภายใน เมื่อเกิดการอาร์กผงฟลักซ์ก็จะหลอมละลายกลายเป็นแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม โดยจะมีทั้งลักษณะเป็นเส้นยาวอยู่ในม้วนดรัม สามารถป้อนเชื่อมได้ต่อเนื่อง และชนิดที่เป็นเส้นตรงยาวประมาณ 500 มม. ดังแสดงตัวอย่างลวดเชื่อมในรูปที่ 7.1 (ค)

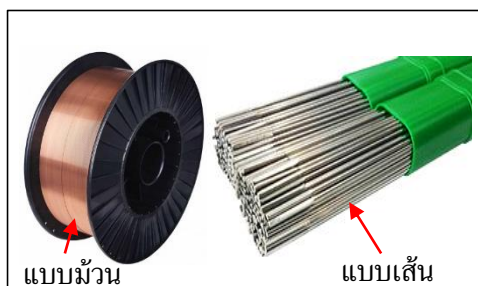
- **ลวดเชื่อมเจาะร่อง (Gouging electrode)** หรือที่เรียกกันว่า ลวดเชื่อมเกาจ์ ลวดเชื่อมประเภทนี้เป็นแบบพิเศษที่ไม่ได้ใช้สำหรับการเติมเนื้อโลหะลงในรอยเชื่อม แต่จะเป็นลวดเชื่อมที่ใช้ในการกำจัดเนื้อโลหะที่ไม่ได้คุณภาพให้ออกไปจากชิ้นงาน เช่น การจัดแนวเชื่อมที่มีข้อบกพร่องเพื่อทำการเชื่อมซ่อมแซมใหม่ และยังใช้ในการทำความสะอาดแนวเชื่อมเพื่อเตรียมชิ้นงานก่อนทำการเชื่อม ซึ่งจะเหมาะสำหรับใช้ในการเจาะร่อง เจาะรู หรือใช้ในงานตัด โดยลักษณะจะเป็นแท่งยาวเหมือนลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ขนาดความยาวจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เช่น ขนาด Ø 3.2 มม. จะยาว 350 มม. ขนาดโตขึ้นที่ขนาด Ø 4.0 มม. จะยาว 400 มม. เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างลวดเชื่อมในรูปที่ 7.1 (ง)

โดยประเภทที่จัดแบ่งไว้ข้างต้นนั้นถือว่าเป็นกลุ่มใหญ่ของประเภทลวดเชื่อม เพราะว่ามีโลหะประเภทยังสามารถแบ่งแยกออกเป็นชนิดย่อย ๆ อีกหลายชนิด เช่น แบ่งตามชนิดของวัสดุเส้นลวดเชื่อม (Type of metal materials) หรือ แบ่งตามชนิดของผงฟลักซ์ที่ใช้พอกหุ้ม/บรรจุไว้ภายใน (Type of flux) หรือ แบ่งตามชนิดของขบวนการเชื่อม (Welding process) ซึ่งรายละเอียดปลีกย่อยของแต่ละประเภทของลวดเชื่อมดังจะได้กล่าวถึงเชิงบรรยายและภาพประกอบเพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยจะอ้างอิงตามมาตรฐานสากลนิยม (มีหลายมาตรฐาน) ร่วมกับข้อมูลจากผู้ผลิตลวดเชื่อมโดยตรง และจากองค์ความรู้จากงานวิจัยของผู้เขียนที่ได้เผยแพร่อยู่ในวารสารต่าง ๆ ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ



(ก) ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Covered electrode)

ที่มา : The Sun Thai Tool, 2018.



(ข) ลวดเชื่อมเปลือย (Filler electrode)

ที่มา : Siam Part Products, 2019.



(ค) ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux core electrode)

ที่มา : The Sun Thai Tool, 2018.



(ง) ลวดเชื่อมเจาะร่อง (Gouging electrode)

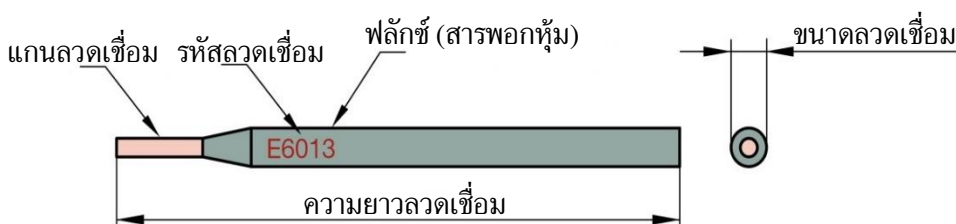
ที่มา : Siam Part Products, 2019.

รูปที่ 7.1 การจัดแบ่งประเภทของลวดเชื่อมตามลักษณะรูปแบบของการนำไปใช้งาน

7.1 มาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Standard covered electrodes)

เป็นลวดเชื่อมพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีการเชื่อมที่ทำได้ ด้วยเพราะเป็นลวดเชื่อมที่นิยมใช้งานกันจำนวนมาก สามารถพบเห็นการใช้งานกันทั่วไป ใช้งานไม่ยุ่งยาก โดยสมาคมการเชื่อมแห่งอเมริกา (AWS) ได้ให้นิยามความหมายของลวดเชื่อมประเภทนี้ว่า “ลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับการเติมลงในแนวเชื่อมและเป็นตัวทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จากขั้วจ่ายไฟฟ้าผ่านตัวลวดเองไปยังการอาร์ก” โดยมีลักษณะเฉพาะของลวดคือ มีฟลักซ์แข็งที่พอกหุ้มแกนลวดโลหะ (Cover flux) ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์จะเป็นลวดเชื่อมที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้กับขบวนการเชื่อมอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW/MMAW) หรือที่

รู้จักกันดีในชื่อของ ขบวนการเชื่อมไฟฟ้า หรือการเชื่อมรูป ดังแสดงลักษณะของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ใน **รูปที่ 7.2** ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์นี้สามารถเชื่อมได้กับชิ้นงานโลหะตระกูลเหล็ก (Ferrous) ได้ทุกชนิดและรวมถึงโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous) บางชนิด โดยต้องทำการพิจารณาเลือกใช้ชนิดของลวดให้เหมาะสมตามข้อระบุคุณสมบัติของลวดเชื่อม ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่เป็นแกนลวดกับชนิดของฟลักซ์ที่นำมาพอกหุ้ม



รูปที่ 7.2 ส่วนประกอบของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์หรือลวดเชื่อมไฟฟ้า (Cover electrode)

ที่มา: ปราโมทย์ อุทัยวัฒน์, 2558

โดยพื้นฐานหรือมาตรฐานการผลิตลวดเชื่อม ชนิดของโลหะแกนลวดจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงชนิดของโลหะที่สามารถเชื่อมได้ ด้วยเพราะหลักพื้นฐานการเชื่อมโลหะที่เหมาะสม คือ โลหะชิ้นงานที่นำมาเชื่อมควรเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับลวดเชื่อม (Similar welding) จนมีผู้ผลิตบางรายได้แบ่งประเภทของลวดเชื่อมตามชนิดของโลหะแกนลวด ดังตัวอย่างลวดเชื่อมที่นิยมใช้งานกันและจำหน่ายในท้องตลาด ดังนี้

- ลวดเชื่อมไฟฟ้าเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel electrodes)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าเหล็กกล้าผสมต่ำ (Low alloy steel electrodes)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel electrode)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าเหล็กหล่อ (Cast iron electrode)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าทองแดงและผสม (Copper and copper alloy electrode)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าอลูมิเนียมและผสม (Aluminum and aluminum alloy electrode)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้านิกเกิลและผสม (Nickel and nickel alloy electrode)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าไทเทเนียมและผสม (Titanium and alloy electrode)
- ลวดเชื่อมไฟฟ้าเซอร์โคเนียมและผสม (Zirconium and alloy electrode)

แต่พบว่าชื่อเรียกเหล่านี้ไม่เป็นมาตรฐานสากลนิยมของวงการอุตสาหกรรมเชื่อม แต่อาจจะใช้สื่อสารกันในเฉพาะกลุ่มงานในบางประเภทหรือในบางมาตรฐาน เช่น กลุ่มงานประเภทของการเชื่อมโลหะท่อ (Pipe welding group) หรือเป็นข้อกำหนดในมาตรฐานเฉพาะใช้ในประเทศของตนเอง จากการศึกษารวบรวมข้อมูลการเลือกใช้ลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เป็นมาตรฐานสากลนิยม จะใช้ชนิดของสารฟลักซ์พอกหุ้มเป็นตัวกำหนดที่สำคัญ ด้วยเพราะสารพอกหุ้มจะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของแนวเชื่อมเป็นสำคัญ โดยสารฟลักซ์ที่นำมาพอกหุ้มนั้นหลายคน

มักจะเข้าใจว่าทำหน้าที่หลัก คือ การปกป้องบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม (Shielding weld pool) ในระหว่างที่ทำการเชื่อมเพียงอย่างเดียว แต่แท้จริงแล้วฟลักซ์ที่พอกอยู่ที่ผิวของแกนลวดเชื่อมมีหน้าที่และประโยชน์มากกว่าที่เข้าใจ และชนิดของฟลักซ์ที่นำมาพอกก็จะมึบทบาทต่อการเชื่อมที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงมีการยอมรับกับการแบ่งชนิดหรือเกรดของลวดเชื่อมไฟฟ้าหุ้มฟลักซ์ที่แบ่งด้วยเกณฑ์ของชนิดสารฟลักซ์พอกหุ้ม ซึ่งผู้เขียนจะขอกล่าวถึงสมบัติและหน้าที่ของสารฟลักซ์ที่นำมาใช้ประโยชน์ในแง่มุมต่าง ๆ ของขบวนการเชื่อมก่อน เพื่อที่จะเป็นพื้นฐานแนวทางการทำความเข้าใจในเหตุผลของหลักการแบ่งชนิดลวดเชื่อมตามชนิดของสารพอกหุ้มในหัวข้อถัดไป ดังนี้

1. สมบัติและหน้าที่ของสารฟลักซ์พอกหุ้ม (Properties and functions of cover flux)

● **สมบัติของสารฟลักซ์พอกหุ้ม (Properties of cover flux)** สารพอกหุ้มหรือฟลักซ์จะมีสมบัติพื้นฐานที่พึงประสงค์ หรือเป็นสารพอกหุ้มที่ดีนั้นจะต้องมีลักษณะเฉพาะตัว ดังนี้ คือ

- ต้องมีความถ่วงจำเพาะที่ต่ำมากวัสดุโลหะ (Low specific gravity) หรือความหนาแน่นต่ำ (Low density) เพราะจะสามารถลอยตัวเหนือน้ำโลหะเหลวได้ดีในระหว่างการอาร์กหลอมละลาย
- ต้องมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำและสามารถหลอมละลายได้ง่าย ซึ่งต้องเกิดการหลอมละลายไปพร้อม ๆ กันกับลวดแกนกลางในขณะที่เกิดการอาร์กของเชื่อม
- ขณะอาร์กเป็นของเหลวจะต้องปล่อยแก๊สที่มีความหนาแน่นสูง (แก๊สเฉื่อย) หรือควันออกมาเพื่อทำหน้าที่ปกป้อง (Shielding) น้ำโลหะเหลวที่กำลังหลอมละลายในแนวเชื่อม ให้ปราศจากแก๊สหรืออากาศจากบริเวณโดยรอบเข้ามารวมตัวกับน้ำโลหะได้
- เมื่อน้ำโลหะในแนวเชื่อมเย็นตัวลง ฟลักซ์จะต้องลอยขึ้นและครอบคลุมอยู่ที่ผิวของแนวเชื่อมในสภาพของแข็ง และสามารถเคาะหรือกำจัดออกได้ง่าย
- ต้องไม่ดูดซับหรือสะสมความชื้นไว้ภายใน และถ้ามีความชื้นก็ต้องกำจัดออกได้ง่าย
- ต้องยึดเกาะกับผิวของโลหะแกนลวดได้ดี ไม่หลุดหรือแตกออกได้ง่าย
- ต้องมีน้ำหนักที่เบา และพอกติดผิวแกนลวดได้ดี (ไม่หนาเกินไป)
- ต้องมีสภาพไม่เป็นควันพิษที่มีผลกระทบต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม

จากสมบัติของฟลักซ์ที่ควรจะเป็นดังที่กล่าวมานั้น จะเห็นได้ว่าวัสดุที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นฟลักซ์เพื่อพอกลวดเชื่อม หรือเป็นแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมนั้นจะต้องผ่านการวิจัยและทดลองหาสมบัติดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เพื่อที่จะได้ฟลักซ์ตามสมบัติที่พึงประสงค์ โดยภายในองค์ประกอบของผงฟลักซ์ที่ต้องการจะต้องผสมด้วยสารต่าง ๆ ที่มีหน้าที่ตามวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันดังแสดงใน **ตารางที่ 7.1** โดยจะใช้โซเดียม (Na) และโปแตสเซียมซิลิเกต (K_2SiO_3) ทำเป็นกาวประสานผงฟลักซ์ และใช้สารจำพวกเฟอร์โรและผงโลหะบริสุทธิ์เพื่อทำหน้าที่ดึงแก๊สออกซิเจนออกจากแนวเชื่อม พร้อมทั้งทำหน้าที่เดิมเป็นสารประกอบเชิงโลหะที่เป็นต่าง ซึ่งจะช่วยให้การอาร์กสม่ำเสมอ และใช้จำพวก ซีลีเนียม เยื่อไม้ ฝ้าย เซลลูโลส ผสมเพื่อทำหน้าที่สร้างแก๊สปกคลุม ส่วนสารจำพวก ซิลิกา อลูมิเนียม แร่เหล็ก หิน แม่เหล็ก ดินเหนียว และสารประกอบ โปแตสเซียมไดโครเมต กับ โทเทเนียมไดออกไซด์ จะทำหน้าที่

เป็นสแลกปกคลุมแนวเชื่อม ซึ่งเมื่อทำการผสมสารที่เป็นองค์ประกอบ รวมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อผลิตออกมาเป็นผงฟลักซ์ที่จะนำไปพอกหุ้มแกนลวดให้ได้ออกมาเป็นลวดเชื่อมไฟฟ้านั้น พบว่าชนิดของผงฟลักซ์หรือสารพอกหุ้มที่ผลิตออกมาใช้งานกันในปัจจุบันสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด คือ

1. ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นกรด (Acid type cover flux)
2. ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นด่าง (Basic type cover flux)
3. ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นรูไทล์ (Rutile type cover flux)
4. ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นเซลลูโลส (Cellulose type cover flux)

ซึ่งแต่ละชนิดของฟลักซ์ที่พอกหุ้มนี้จะเหมาะกับการเชื่อมวัสดุโลหะแต่ละชนิดแต่ละเกรดแตกต่างกัน โดยจะสัมพันธ์กับสารที่มีอยู่ในส่วนผสมของตัวผงฟลักซ์ ดังนั้นช่างเชื่อมก็ต้องเลือกใช้ชนิดของผงฟลักซ์บนลวดเชื่อมให้ถูกต้อง เพราะผงฟลักซ์ที่หุ้มอยู่บนลวดเชื่อมจะมีหน้าที่สำคัญ ๆ ของแต่ละตัวผสมที่เป็นองค์ประกอบอยู่ภายในซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 7.1 องค์ประกอบของสารที่ผสมอยู่ในฟลักซ์ที่นำมาใช้พอกหุ้มลวดเชื่อม

ที่มา : ESAB-Welding Handbook. Consumable for Manual & Automatic welding, 2014

องค์ประกอบของสารที่ผสมอยู่ในฟลักซ์พอกหุ้มลวดเชื่อม (Component of cover flux)

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| - สารตั้งต้นที่เป็นผงฟลักซ์ | - สารผสมเพิ่มความเสถียรในการอาร์ก |
| - สารลดออกซิเจน ไนโตรเจน และ ไฮโดรเจน | - สารเพิ่มปริมาณแก๊สเฉื่อยเพื่อปกคลุม |
| - สารผสมให้สแลกแข็งตัว | - สารตัวประสานการเกาะยึดของฟลักซ์ |
| - ธาตุผสมที่เพิ่มในลวดเชื่อม | |

● **หน้าที่ของสารฟลักซ์พอกหุ้ม (Function of cover flux)** สารพอกหุ้มหรือฟลักซ์หุ้มลวดเชื่อมจะมีบทบาทและหน้าที่ต่อเมื่อเกิดการอาร์กเชื่อมขึ้น โดยเมื่อได้รับความร้อนจากการอาร์กก็จะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว จากนั้นก็จะทำหน้าที่ต่อขบวนการเชื่อมอาร์กในแต่ละด้านดังต่อไปนี้ อ้างอิงข้อมูลจาก Avesta Welding (2004)

1. **หน้าที่สร้างขบวนการอาร์ก (Stabilizes arc)** โดยในส่วนประกอบของฟลักซ์หุ้ม สารหลักในกลุ่มของคาร์บอนेटเมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวกลายเป็นแก๊สและจะถูกทำให้แตกตัว (Ionization) โดยตัวของอิเล็กตรอนจากการไหลของกระแสไฟฟ้าเชื่อมที่ขั้วผ่านการอาร์ก จะช่วยทำให้การอาร์กมีความเสถียรมากขึ้นและเริ่มต้นการอาร์กได้ง่ายขึ้น

2. **หน้าที่เป็นแก๊สปกคลุม (Shielding gas)** เป็นหน้าที่หลักที่สำคัญของสารพอกหุ้ม โดยสารที่ผสมอยู่ในฟลักซ์จะหลอมละลายกลายเป็นแก๊สที่มีความหนาแน่นหรือมีน้ำหนักมากกว่าอากาศโดยรอบบ่อหลอมละลาย ซึ่งจะฟุ้งกระจายอยู่รอบ ๆ ดัดกับแนวเชื่อม เช่น เกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้บรรดาเหล่าแก๊สออกซิเจน (O₂) กับ แก๊สไนโตรเจน (N₂) ที่

เป็นส่วนประกอบหลักของบรรยากาศโดยรอบเข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อมที่กำลังหลอมละลายจากการอาร์ก ซึ่งแก๊สปกป้องนี้จะเกิดจากสสารออร์แกนิก กับ สารกลุ่มคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่อยู่ในผงฟลักซ์

3. *หน้าที่ลดออกซิเจน (Deoxidizer)* ในขณะที่เกิดการอาร์กเนื้อโลหะก็จะหลอมละลายและก็จะเกิดการละลายของออกซิเจนออกมาด้วย ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อความเหนียวของแนวเชื่อมจึงจำเป็นที่จะต้องลดหรือกำจัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเติมธาตุในกลุ่มของเฟอร์โรซิลิกอน และเฟอร์โรแมงกานีสลงไปในฟลักซ์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวลดออกซิเจน ซึ่งก็จะช่วยเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวและสมบัติทางกลด้านอื่น ๆ ของแนวเชื่อมดีขึ้น

4. *หน้าที่กำจัดสารมลทินและสารปนเปื้อน (Impurity and contaminate)* ข้อบกพร่องของงานเชื่อมจำนวนไม่น้อยที่เกิดจากสารมลทินและสารปนเปื้อนติดอยู่ในแนวเชื่อม ดังนั้นหน้าที่ในการทำ ความสะอาดของฟลักซ์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยการเติมธาตุผสมลงไปในผงฟลักซ์และเมื่อเกิดการหลอมละลายก็จะไปจับตัวกับสารมลทินและสารปนเปื้อนต่าง ๆ ที่ปะปนอยู่ในน้ำโลหะเหลวและด้วยสมบัติของธาตุผสมที่มีความถ่วงจำเพาะที่ต่ำก็จะนำสารมลทินและสารปนเปื้อนลอยสู่ผิวด้านบนของบ่อหลอมละลายเป็นลักษณะของสแลกเหลว

5. *หน้าที่สร้างสแลกปกคลุมแนวเชื่อม (From slag after melting and covers weld)* หลักการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เมื่อเกิดการอาร์กจะเกิดการหลอมละลายทั้งแกนลวดและฟลักซ์หุ้มลวดพร้อม ๆ กัน โดยแกนลวดจะทำหน้าที่เติมเนื้อโลหะในรอยต่อ ส่วนฟลักซ์ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวปกป้อง แต่เมื่อน้ำโลหะเย็นตัว สารผสมในฟลักซ์จะทำหน้าที่ในการทำให้สแลกแข็งตัวก่อนน้ำโลหะเชื่อม เพื่อต้องการแยกออกจากน้ำโลหะที่แข็งตัวออกจากสแลก ไม่เช่นนั้น สแลกจะฝังตัวไปกับการแข็งตัวของแนวเชื่อม และสแลกต้องมีสมบัติที่สามารถเคาะออกได้ง่าย

6. *หน้าที่เติมธาตุผสมในแนวเชื่อม (Increases alloy element)* สมบัติเฉพาะบางอย่างที่ต้องการให้เกิดขึ้นในแนวเชื่อม นอกจากที่ได้มากับแกนลวดเชื่อมแล้วนั้นจะมาจากการเพิ่มเติมเข้าไปผสมไว้ในผงฟลักซ์หุ้มลวด เมื่อเกิดการอาร์กก็จะหลอมละลายเข้าไปรวมตัวกับเนื้อโลหะหลักในแนวเชื่อม ซึ่งจะส่งผลทำให้แนวเชื่อมมีสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น มีสมบัติทางกลที่ดี มีความต้านทานการกัดกร่อนและสึกหรอ มีความต้านทานความร้อนสูง หรือความสามารถในการขึ้นรูปได้ดี เป็นต้น

7. *หน้าที่ช่วยให้แนวเชื่อมซึมลึกดี (Increases penetration)* การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์จะมีผลต่อแนวเชื่อมที่ซึมลึก (Root weld) และแนวเชื่อมด้านหน้า (Face weld) โดยถ้าขณะอาร์กแกนของลวดเชื่อมหลอมละลายเร็วกว่าฟลักซ์พอกหุ้ม พฤติกรรมการอาร์กจะเป็นแบบที่พุ่งลงบ่อหลอมด้วยความเร็วสูง ที่เรียกว่า Jetting action จะช่วยให้เกิดการซึมลึกได้ดี ซึ่งมีชนิดของผงฟลักซ์ที่หลอมละลายยากกว่าแกนลวดโลหะ ในทางกลับกันก็มีผงฟลักซ์ชนิดที่หลอมละลายเร็วกว่าแกนลวด จะใช้กับการเชื่อมที่ไม่ต้องการแนวซึมลึกแต่ประสงค์เพื่อความสวยงามของผิวและรูปร่างของแนวเชื่อม

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์จะประกอบด้วยสองส่วนหลัก ๆ ที่มีบทบาทสำคัญและมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน นั่นก็คือ ส่วนของแกนลวดโลหะ (Rod) กับ ส่วนของฟลักซ์ที่พอกหุ้ม (Cover flux) โดยที่

แกนลวดจะต้องเป็นวัสดุโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะหลักที่จะทำการเชื่อมจึงไม่เป็นปัญหาในแง่ของการที่จะเลือกวัสดุมาผลิตลวดเชื่อมสำหรับในภาคส่วนของผู้ผลิต (Manufacturers) และในแง่ของการที่จะเลือกใช้งานลวดเชื่อมสำหรับในภาคส่วนของช่างเชื่อม (Welder) แต่ที่เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพแนวของเชื่อมและข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในแนวเชื่อม คือ ส่วนของฟลักซ์ที่หุ้มแกนลวดเชื่อม (Type of flux) ซึ่งชนิดของฟลักซ์จะมีอิทธิพลต่อการควบคุมคุณภาพของแนวเชื่อม ทั้งในแง่ของสมบัติที่พึงประสงค์และแง่มุมของการปกป้องข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นในแนวเชื่อม ด้วยเหตุผลในส่วนนี้จึงนิยมที่จะแบ่งชนิดของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ตามชนิดของฟลักซ์ที่หุ้ม ดังรายละเอียดของแต่ละชนิดที่จะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2. การแบ่งลวดเชื่อมตามชนิดของสารฟลักซ์หุ้ม (Type of electrode flux)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ หรือที่รู้จักกันดีในนามของ “ลวดเชื่อมไฟฟ้า หรือลวดเชื่อมรูป” ผลิตออกมารองรับกับการเชื่อมวัสดุโลหะได้หลายชนิดหลายเกรด ทั้งเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steels) เหล็กกล้าผสม (Alloy steels) เหล็กหล่อ (Cast iron) และโลหะนอกกลุ่มเหล็กบางชนิด (Non-ferrous) โดยมีมาตรฐานที่รองรับก็หลากหลายเช่นกัน และลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดคือ ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมกลุ่มของโลหะเหล็กกล้า ทั้งเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสม โดยแบ่งตามชนิดของสารฟลักซ์หุ้ม อ้างอิงตาม ESAB Repair & Maintenance Welding Handbook (2012) ดังนี้

- **ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดกรด (Acid welding electrode)** ลวดเชื่อมชนิดนี้จะใช้ฟลักซ์พอกหุ้มที่มีส่วนผสมของสารจำพวกเหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ และซิลิกา สแลกเมื่อแข็งตัวแล้วหลุดร้อนหรือเคาะออกได้ง่าย เกิดการหลอมละลายที่ลึกใช้ได้ทั้งเครื่องเชื่อมกระแสไฟตรง (DC) และกระแสไฟสลับ (AC) ลวดเชื่อมชนิดนี้มีแนวโน้มในการเกิดการแตกร้าขณะร้อน (Hot crack) ได้ จึงเหมาะกับการเชื่อมโลหะที่มีความเหนียวสูง ดังแสดงลักษณะพฤติกรรมของการอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดนี้ในรูปที่ 7.3 (ก) โดยในทางการผู้ผลิตลวดเชื่อม ได้ผลิตลวดเชื่อมชนิดนี้ออกมาใช้งานมีอยู่ 2 ประเภท คือ

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กออกไซด์ผสมโซเดียม (EXX20) ลวดเชื่อมชนิดนี้สามารถเชื่อมด้วยความเร็วที่สูงได้ดี เพราะลวดเชื่อมมีอัตราการหลอมเหลวสูงซึ่งสังเกตได้ว่าปลายแกนลวดที่หลอมจะหดลึกเข้าไปข้างใน มีฟลักซ์ยื่นออกมาหุ้มอยู่ มีการหลอมลึกกระดับปานกลาง เกิดสะเก็ดเชื่อมน้อย เหมาะกับการเชื่อมในท่าราบและการเชื่อมมุม (Fillet)

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กออกไซด์ผสมผงเหล็ก (EXX27) ลวดเชื่อมชนิดนี้มีอัตราการป้อนเติมเนื้อโลหะลงในรอยต่อได้ในอัตราที่สูงและรวดเร็ว มีอัตราการหลอมเหลวสูง ด้วยเหตุเพราะมีปริมาณของโลหะผงเหล็ก (Power ferrous) ผสมอยู่มากสูงถึง 50% ของส่วนผสมฟลักซ์

- **ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดด่าง (Basic welding electrode)** หรือลวดเชื่อมชนิดไฮโดรเจนต่ำ (Low hydrogen) ฟลักซ์ที่นำมาใช้พอกหุ้มลวดเชื่อมชนิดนี้จะมีส่วนผสมของสารจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือคาร์บอเนตประเภทอื่น ๆ และฟลูออไรด์ (CaF_2) หรือชื่อในทางการค้าว่าฟลูออรัสปาร์ส

(Fluorspar) โดยสารคาร์บอนेटที่เป็นตัวผสมหลักเมื่อได้รับความร้อนจากการอาร์ก จะทำให้เกิดเป็น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีไฮโดรเจนต่ำปกคลุมบ่อหลอมละลาย ทำให้เนื้อเชื่อมมีปริมาณของแก๊ส ออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปรวมตัวได้น้อยลง ฟลักซ์ชนิดนี้จะทำให้สแลกมีความหนา เป็นเงาและมีสี เข้ม เคาะหรือกำจัดออกได้ยาก ขณะเชื่อมเกิดควันมาก มีข้อเสนอแนะจากผู้ผลิตเสมอว่าก่อนนำไปเชื่อม ต้องทำการอบไล่ความชื้นก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการเกิดรูพรุนและการแตกร้าวของรอยเชื่อมได้เป็นอย่างดี โดยลวดเชื่อมสามารถใช้กับเครื่องเชื่อมทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ และเหมาะสมอย่างยิ่ง กับการนำไปเชื่อมโลหะเหล็กกล้าความผสมแข็งแรงสูง (High strength alloy) เพราะขณะเชื่อมเกิด แก๊สไฮโดรเจนในปริมาณที่ต่ำ ดังแสดงลักษณะพฤติกรรมของการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดนี้ใน **รูปที่ 7.3 (ข)** ลวดเชื่อมชนิดนี้ผู้ผลิตได้ผลิตออกมา 3 ประเภท คือ

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ไฮโดรเจนต่ำผสมโซเดียม (EXXX5) ลวดเชื่อมประเภทนี้จะใช้แคลเซียม คาร์บอนेटหรือแคลเซียมฟลูออไรด์เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งเป็นสารที่สภาพเป็นด่าง จนนิยมเรียกกันว่า ลวดเชื่อมประเภทด่าง สารพอกหุ้มประเภทนี้จะไม่ใช้ร่วมกับสารพอกหุ้มประเภทอื่นที่มีน้ำร่วมผสมอยู่ เพื่อสร้างจุดเด่นของลวดที่สามารถลดแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากการอาร์กของลวดเชื่อม โดยลวดเชื่อม ประเภทนี้จะค่อนข้างให้สมบัติของแนวเชื่อมที่ดี มีความแข็งแรงสูง (ต้องเก็บไว้ในตู้อบเพื่อป้องกัน ความชื้น) ซึ่งมีความรุนแรงของการอาร์กอยู่ในระดับปานกลาง การหลอมลิกปานกลาง และอัตราการ หลอมละลายเติมลวดก็อยู่ในระดับปานกลาง จะเหมาะสมกับการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบกระแสตรง ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก (DCEP)

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ไฮโดรเจนต่ำผสมโพแทสเซียม (EXXX6) ลวดเชื่อมประเภทนี้จะมีสมบัติและ ความสามารถใกล้เคียงกับ ประเภทผสมโซเดียมข้างต้น แต่จะมีความพิเศษกว่าที่สามารถใช้กับเครื่อง เชื่อมได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับที่ลวดเชื่อมต่อขั้วบวกได้ จึงเป็นที่นิยมเลือกใช้งานกัน มาก การอาร์กก็สม่ำเสมอ

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ไฮโดรเจนต่ำผสมโพแทสเซียม-ผงเหล็ก (EXXX8) ลวดเชื่อมประเภทนี้จะมี ความสามารถโดยพื้นฐานเหมือนกับสองประเภทที่กล่าวมา เพียงแต่มีการเพิ่มปริมาณของผงเหล็กเข้า ไปผสมในปริมาณที่มากสูงถึง 25-40% ทำให้ลวดเชื่อมประเภทนี้มีความสามารถในการบ่อนเติมเนื้อ เชื่อมได้สูง อัตราการหลอมเหลวสูง เหมาะกับการเชื่อมโลหะที่ต้องการปริมาณเนื้อโลหะเพื่อเติมเต็มลง ในรอยต่อในปริมาณที่มาก

- **ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดรูไทล์ (Rutile welding electrode)** ลวดเชื่อมประเภทนี้ใช้สารพอกหุ้ม จำพวกไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารผสมหลัก ที่มีความโดดเด่นในเรื่องของการช่วยให้สแลก หรือขี้ตะกรันไหลตัวได้ดี โดยที่การอาร์กไม่ต้องรุนแรง การหลอมลิกปานกลาง และผิวหน้าของแนวเชื่อม จะราบเรียบ ซึ่งมีข้อดีอยู่เรื่องของการป้องกันแก๊สไฮโดรเจนแทรกตัวเข้ามารวมตัวกับแนวเชื่อมจึงให้ แนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น จึงไม่นิยมนำมาใช้เชื่อมเหล็กกล้า ดังแสดงลักษณะพฤติกรรมของการ

อาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดนี้ในรูปที่ 7.3 (ค) ลวดเชื่อมประเภทนี้เป็นที่นิยมกันมาก ผู้ผลิตได้จัดแบ่งออกเป็นประเภทย่อย ได้ 3 ประเภท คือ

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์รูไทล์ผสมโซเดียม (EXX12) ลวดเชื่อมประเภทนี้จะมีสมบัติที่เชื่อมที่อาร์กง่าย การไหลตัวของฟลักซ์ที่หลอมละลายไปรวมตัวกับสารมลทินการการไหลตัวที่ต่ำมาก ทำให้การควบคุมบ่อหลอมละลายก็เสถียร และเกิดสะเก็ดเชื่อมน้อยมาก ลวดเชื่อมประเภทนี้มักจะเพิ่มเติมส่วนผสมของผงเหล็กเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหลอมละลายให้สามารถบ่อนเติมน้ำโลหะได้มากและรวดเร็วขึ้น แต่การหลอมลึกลึกค่อนข้างน้อย สามารถใช้ได้กับเครื่องเชื่อมชนิดกระแสไฟตรงสลับและกระแสไฟตรงที่ลวดเชื่อมต่อเป็นขั้วลบ (DCEN)

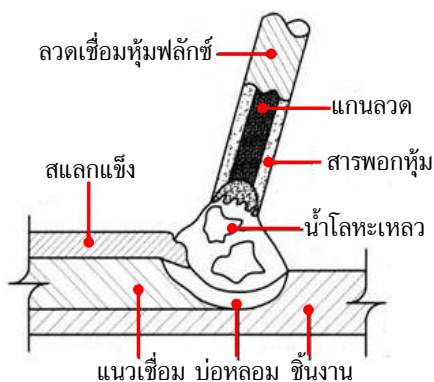
- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์รูไทล์ผสมโพแตสเซียม (EXX13) ลวดเชื่อมประเภทนี้จะมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับประเภทฟลักซ์รูไทล์ผสมโซเดียม จะต่างกันที่มีการอาร์กที่ราบเรียบและสม่ำเสมอมากกว่าและสามารถใช้ได้ดีกับทั้งการต่อขั้วแบบ DCEP และ แบบ DCEN

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์รูไทล์ผสมผงเหล็ก (EXXX4) ลวดเชื่อมประเภทนี้ปรับปรุงมาจากสองชนิดแรกโดยการผสมผงเหล็กมากขึ้นสูงถึง 25-40% ซึ่งเพิ่มความโดยเด่นในด้านการหลอมละลายและอัตราการบ่อนเติมน้ำเชื่อมที่สูง ชีตเกรนน้อยและขจัดออกได้ง่าย การหลอมลึกลึกต่ำ ผิวหน้าแนวเชื่อมเป็นคลื่นเล็กน้อย ที่สำคัญสามารถใช้ได้กับเครื่องเชื่อมทุกชนิดของกระแสไฟเชื่อม

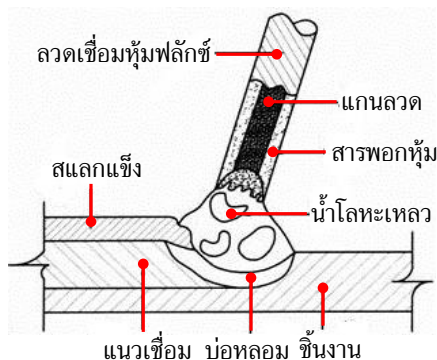
● **ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดเซลลูโลส (Cellulose welding electrode)** ลวดเชื่อมประเภทนี้จะใช้สารพอกหุ้มที่ได้จากสารอินทรีย์ที่เป็นเซลลูโลสจำพวกเยื่อไม้หรือส่วนที่เหลือจากการผลิตกระดาษ โดยเซลลูโลสเมื่อได้รับความร้อนจากการอาร์กจะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนปกคลุมจำนวนมาก ปกป้องแก๊สจากภายนอกได้ดี ขณะเดียวกันการอาร์กก็ค่อนข้างรุนแรง ทำให้เกิดการหลอมลึกลึกที่สูง ผิวแนวเชื่อมมีลักษณะเป็นคลื่นไม่ราบเรียบ เกิดสะเก็ดเชื่อมมาก ส่งผลให้เกิดสแลกน้อยและเคาะออกได้ง่าย มีความพิเศษที่สามารถใช้เชื่อมได้ทั้งแนวราก (Root) และ แนวทับหน้า (Face) ดังแสดงลักษณะพฤติกรรมของการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดนี้ในรูปที่ 7.3 (ง) ลวดเชื่อมชนิดนี้ผู้ผลิตได้แบ่งออกมาเป็น 2 ประเภทที่สำคัญ ๆ คือ

- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เซลลูโลสผสมโซเดียม (EXX10) ลวดเชื่อมประเภทนี้จะมีสมบัติของสารพอกหุ้มที่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนช่วยในการปกคลุมแนวเชื่อมได้เป็นอย่างดี แนวเชื่อมที่ได้มีความแข็งแรงสูงมาก และยังหลอมละลายได้ลึก จะสามารถใช้ได้กับการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟกระแสตรง ลวดเชื่อมต่อขั้วบวก (DCEP) การอาร์กจึงค่อนข้างที่จะรุนแรง ส่งผลเสียทำให้แนวเชื่อมเกิดสะเก็ดโลหะ (Spatter) บริเวณแนวเชื่อมมาก

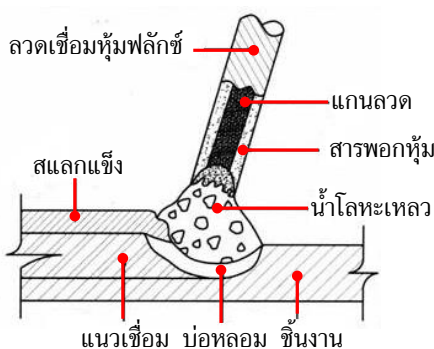
- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เซลลูโลสผสมโพแตสเซียม (EXX11) ลวดเชื่อมประเภทนี้พัฒนาขึ้นมาจากประเภทแรกดังที่กล่าวมา ดังนั้น สมบัติและความสามารถเหมือนกันกับประเภทแรก แต่ที่แตกต่างกันคือเป็นลวดเชื่อมที่สามารถใช้กับเครื่องเชื่อมทั้งชนิดกระแสไฟสลับและกระแสไฟตรงลวดเชื่อมต่อขั้วบวก (DCEP)



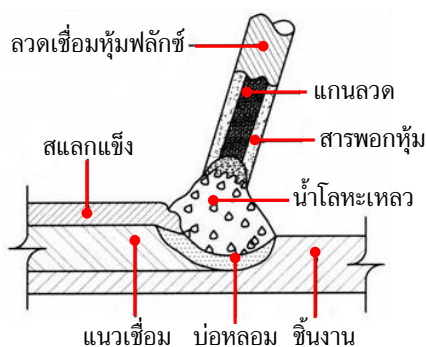
(ก) การอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดกรด



(ข) การอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดต่าง



(ค) การอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดรูไทล์



(ง) การอาร์กลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดเซลลูโลส

รูปที่ 7.3 ลักษณะการอาร์กของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่ใช้สารพอกหุ้มต่างชนิด

ที่มา: บทเรียนออนไลน์ทวิชาวัสดุประสานงานเชื่อม, 2011

3. การจัดเก็บและการอบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Stored and Oven electrode)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ผลิตขึ้นมาจากการนำสารแร่ธาตุและสารประกอบออกไซด์ในประเภทต่าง ๆ นำมาผสมกันแล้วทำการบดให้เป็นรูปแบบผง (Powder) จากนั้นก็นำมาผสมกับน้ำแก้ว (Water glass) ทำเป็นฟลักซ์เพื่อใช้พอกหุ้มแกนลวดโลหะ จนได้เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ซึ่งด้วยเพราะองค์ประกอบของฟลักซ์และขบวนการพอกหุ้มที่มีไม่แข็งแรงมากนัก มีโอกาสที่ฟลักซ์พอกจะหลุดร่อนออกได้ง่าย และเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นต่าง ๆ จะมีสมบัติที่ดูดซับความชื้นได้มาก ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์สำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ดังนั้นวิธีการจัดเก็บที่จะทำให้คงสภาพใช้งานได้ดีและวิธีการอบไล่ความชื้นออกไปจากลวดเชื่อมจะต้องปฏิบัติให้ถูกวิธี

● **วิธีการจัดเก็บลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์** ควรจัดเก็บให้อยู่ในกล่องบรรจุ (Packaging) จากผู้ผลิตในสภาพที่ดีมีการห่อหุ้มด้วยวัสดุป้องกันความชื้น สถานที่จัดเก็บควรมีระดับความชื้นที่ต่ำ มีระบบระบายอากาศที่ดี และมีชั้นวางเรียงไม่ซ้อนทับกัน กรณีที่เปิดกล่องลวดเชื่อมไปแล้วส่วนที่เหลือใช้จะต้องจัดเก็บในห้องที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ที่ความแปรผันต้องไม่เกิน $\pm 5^{\circ}\text{C}$

ความชื้นสัมพัทธ์ต้องไม่เกิน 60% ที่ 15–25°C หรือที่ 50% ที่ 25–35°C และหากลวดเชื่อมเปียกน้ำ น้ำมัน หรือจาระบี จะต้องจัดแยกเก็บและนำไปทำความสะอาด (กรณีที่สามารถยังใช้งานได้) หรืออาจต้องทิ้งเพราะลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เมื่อสัมผัสกับสารปนเปื้อนจะทำให้คุณภาพลดลงซึ่งจะส่งผลทำให้แนวเชื่อมเกิดข้อบกพร่องได้ง่าย จึงเป็นข้อที่ต้องพิจารณาและไม่แนะนำให้เอาไปใช้กับงานเชื่อมที่ต้องการประสิทธิภาพของแนวเชื่อมสูง ดังแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์กล่องบรรจุลวดเชื่อมซึ่งมีทั้งที่เป็นวัสดุพลาสติก และเป็นวัสดุกระดาษ ในรูปที่ 7.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

● **วิธีการอบลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode drying)** ความชื้นของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์จะมีอิทธิพลต่อขบวนการเชื่อมอาร์กเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของความสม่ำเสมอของการอาร์ก คุณภาพของแนวเชื่อม การแตกร้าวของแนวเชื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องในรูปแบบต่าง ๆ บนแนวเชื่อม ดังนั้นการจัดความชื้นออกไปจากลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ก่อนที่จะไปใช้เชื่อมจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งช่างเชื่อมหรือวิศวกรงานเชื่อมต้องรู้และเข้าใจถึงวิธีการปฏิบัติ เช่น อบอุ่นอย่างไร อบด้วยเครื่องมือหรืออุปกรณ์ชนิดใด ลวดเชื่อมประเภทไหนที่ต้องอบบ้างและจะต้องอบที่ระดับอุณหภูมิเท่าไร สิ่งเหล่านี้ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น การอบลวดเชื่อมครั้งต่อไปเมื่ออบแล้วใช้ไม่หมด จะแนะนำให้อบครั้งใหม่ที่ระดับอุณหภูมิ 140–200°C เป็นเวลา 2–12 ชั่วโมง (จากประสบการณ์ที่นิยม คือ 6 ชั่วโมงที่ 150°C และอบใหม่ได้ไม่ควรเกินจำนวน 6 รอบ) โดยปกติทั่วไปเป็นที่ทราบกันดีในกลุ่มงานวิชาชีพช่างเชื่อมว่าการอบลวดเชื่อมจะใช้เตาอบ (Electrode drying oven) ที่ได้รับความร้อนจากขดลวดความต้านทานไฟฟ้า โดยจะมีทั้งที่เป็นเตาอบที่มีขนาดใหญ่ติดตั้งประจำตำแหน่ง (Stationary) อบได้ในปริมาณลวดเชื่อมที่มากตั้งแต่ปริมาณ 50 ถึง 200 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 260 ถึง 425 °C และ ดังแสดงในรูปที่ 7.5 (ก) และกระบอกอบลวดที่เป็นแบบเคลื่อนที่ (Portable electrode drying oven) ที่นิยมใช้เป็นตัวใส่ลวดเชื่อมที่เอาออกจากเตาอบหลักไปใช้หน้างานที่เชื่อม เพราะอบได้ที่อุณหภูมิ 30 ถึง 140 °C และในปริมาณที่ไม่มาก (ประมาณ 5 กิโลกรัม) จนในปัจจุบันมักเรียกกระบอกอบแบบนี้ว่า กระบอกอุ่นลวดเชื่อม โดยมีทั้งแบบวางตั้งตรง และแบบวางแนวนอน ดังแสดงในรูปที่ 7.5 (ค) และ (ง) ตามลำดับ

สำหรับประเภทของลวดเชื่อมที่ต้องผ่านการอบไล่ความชื้นก่อนนำไปใช้งานนั้น จะเป็นลวดเชื่อมประเภทไฮโดรเจนต่ำ (Low hydrogen electrodes) ซึ่งก็คือลวดเชื่อมชนิดต่าง (Basic electrode) ด้วยเพราะลวดเชื่อมประเภทนี้ออกแบบมาใช้งานที่ต้องการสมบัติของแนวเชื่อมที่ต้องการความแข็งแรงสูง เช่น งานท่อส่งแก๊ส ท่อส่งน้ำมัน ถึงภาชนะความดัน ซึ่งเนื้อเชื่อมของงานกลุ่มนี้มักเกิดการแตกร้าวจากแก๊สไฮโดรเจน (H₂ Crack) จึงต้องเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีไฮโดรเจนต่ำมาใช้งาน นอกจากนี้ลวดเชื่อมประเภทนี้ยังโดดเด่นในด้านความเหนียวทนแรงกระแทก (Toughness) ที่ไม่ใช้ความเหนียวทนแรงดึง (Tensile strength) ได้ดีกว่าลวดเชื่อมชนิดอื่น ๆ ดังนั้นลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมต้องไม่มีความชื้นปะปนอยู่ในเนื้อฟลักซ์หุ้ม (ยอมให้มีได้แต่ต้องน้อยที่สุดเท่าที่สามารถกำจัดออกได้) เราจึงนิยมเรียกลวดเชื่อมชนิดนี้ว่า ลวดไฮโดรเจนต่ำ ส่วนลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ประเภทรูไทล์ ที่ออกแบบมาใช้โดยไม่ต้องอบไล่ความชื้นเนื่องจากฟลักซ์ดูดซับความชื้นได้ดี และนิยมใช้กับงานที่เชื่อมโลหะบาง (Sheet metal) ซึ่งเนื้อ

เชื่อมไม่มากพอที่จะสะสมแก๊สไฮโดรเจนแล้วเกิดการแตกร้าว จึงไม่มีความจำเป็นต้องอบไล่ความชื้น ก่อนนำไปใช้งาน (แต่ถ้าต้องการที่อบไล่ความชื้นก็สามารถทำได้) มีข้อแนะนำจากผู้ผลิตให้จัดวางกล่อง ลวดเชื่อมขณะปฏิบัติงานในแนวตั้งและเป็นช่องแคบ ๆ การดูดซับไฮโดรเจนจะต่ำลง แต่ดีที่สุดถ้า จัดเก็บไว้ในกระบอกอุณหภูมิลด (ตามมาตรฐาน AWS D1.1 อุณหภูมิต้องไม่ต่ำกว่า 120°C)



(ก) บรรจุภัณฑ์ลวดเชื่อมกล่องพลาสติก

ที่มา : Castolin Eutectic, 2021



(ข) บรรจุภัณฑ์ลวดเชื่อมกล่องกระดาษ

ที่มา : KOBE Steel, 2020

รูปที่ 7.4 ตัวอย่างการจัดเก็บลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ในบรรจุภัณฑ์ของผู้ผลิต



(ก) เตอบลวดเชื่อม

(ข) กระบอกอบลวดเชื่อมนอน

(ค) กระบอกอุณหภูมิลดเชื่อมตั้ง

รูปที่ 7.5 อุปกรณ์อบไล่ความชื้นและอุ่นในลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ที่มา : Product of Speed arc, 2019

4. มาตรฐานต่าง ๆ ของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Classification standards code of covered electrode)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์หรือลวดเชื่อมไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจำหน่ายและใช้งานกันมีหลายมาตรฐานที่ รู้จักกันดี ได้แก่ มาตรฐาน AWS (มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา) มาตรฐาน EN DIN ISO (มาตรฐานของประเทศในกลุ่มยุโรป) มาตรฐาน JIS (มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น) และ มาตรฐาน มอก. (TIS) (มาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย) และยังมีมาตรฐานอื่น ๆ อีกที่ไม่ได้กล่าวถึง เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีหลายมาตรฐาน แต่สาระสำคัญที่ระบุถึงลวดเชื่อมจะไม่แตกต่างกันมาก ส่วน

ใหญ่จะต่างกันที่การระบุรหัส (Code) จากประสบการณ์ที่ผ่านมาของผู้เขียนพบว่า งานเชื่อมในประเทศไทยจะนิยมอ้างอิงตามมาตรฐาน AWS กับมาตรฐาน JIS และมาตรฐาน มอก. ซึ่งจะได้แสดงในรายละเอียดต่าง ๆ ของแต่ละมาตรฐานดังนี้

4.1 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน AWS (American Welding Society)

มาตรฐานที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้จัดกลุ่มแบ่งรหัสลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็ก ดังนี้

1) **AWS A5.1/A5.1M:2012** ข้อกำหนดสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ของเหล็กกล้าคาร์บอน (Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding) ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือโค้ดออกมาดังนี้

AWS A5.1/A5.1M:2012 **E XX X X** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

A5.1/A5.1M หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน

2012 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน (2012)

E	XX	X	X
---	----	---	---

- หมายถึง = ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้ม และชนิดของกระแสไฟเชื่อม
- หมายถึง = ตำแหน่งท่าเชื่อม
- หมายถึง = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด กิโลปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้หมายเลข 2-5
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode)

ตำแหน่งท่าเชื่อม

หมายเลข 0 หรือ 1 = เชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม

หมายเลข 2 = เชื่อมได้ในตำแหน่งท่าราบ และท่าแนวระดับ

หมายเลข 3 = เชื่อมได้ในตำแหน่งท่าราบ

หมายเลข 4 = เชื่อมได้ในตำแหน่งท่าราบ ท่าแนวระดับ และท่าเหนือศีรษะ

ชนิดของของฟลักซ์พอกหุ้มและชนิดกระแสไฟเชื่อม

หมายเลข 0 = ฟลักซ์เซลลูโลส-โซเดียม กระแสไฟเชื่อม DCEP

หมายเลข 1 = ฟลักซ์เซลลูโลส-โพแตสเซียม กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP

หมายเลข 2 = ฟลักซ์รูไทล์-โซเดียม กระแสไฟเชื่อม AC/DCEN

หมายเลข 3 = ฟลักซ์รูไทล์-โพแตสเซียม กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP/DCEN

หมายเลข 4 = ฟลักซ์รูไทล์-ผงเหล็ก กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP/DCEN

หมายเลข 5 = ฟลักซ์ไฮโดรเจนต่ำ-โซเดียม กระแสไฟเชื่อม DCEP

หมายเลข 6 = ฟลักซ์ไฮโดรเจนต่ำ-โพแตสเซียม กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP

หมายเลข 7 = ฟลักซ์เหล็กออกไซด์-ผงเหล็ก กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP/DCEN

หมายเลข 8 = ฟลักซ์ไฮโดรเจนต่ำ-ผงเหล็ก กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP

จากที่ได้บ่งชี้ถึงความหมายของรหัสหรือโค้ด (Code) ที่ใช้จัดแบ่งประเภทของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ตามมาตรฐานของ AWS ในช่วงต้นแล้วนั้น ผู้เขียนใคร่จะขอยกตัวอย่างชนิดลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์บางชนิดเพื่อเป็นตัวอย่างในการแปลความหมายของโค้ดที่แสดงอยู่บนลวดเชื่อม และตัวอย่างการแสดงโค้ดที่ผู้ผลิตระบุไว้บนลวดเชื่อมในรูปที่ 7.6 และลวดเชื่อมตัวอย่างที่จะแสดงมีความหมายมีดังนี้

ลวดเชื่อมชนิด E6010 หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดเซลลูโลส มีความเค้นแรงดึงสูงสุด 60,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว เชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม ใช้กระแสไฟเชื่อม DCEP การอาร์กรุนแรง หลอมลึกสูง (Deep)

ลวดเชื่อมชนิด E6013 หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดรูโทล์-โพแตสเซียม มีความเค้นแรงดึงสูงสุด 60,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว เชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม ใช้กระแสไฟเชื่อม AC/DCEP/DCEN การอาร์กรุนนุ่มนวลไม่รุนแรง หลอมลึกต่ำ

ลวดเชื่อมชนิด E6016 หมายถึง ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิด มีความเค้นแรงดึงสูงสุด 60,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว เชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม ใช้กระแสไฟเชื่อม DCEP การอาร์กรุนแรง หลอมลึกสูง

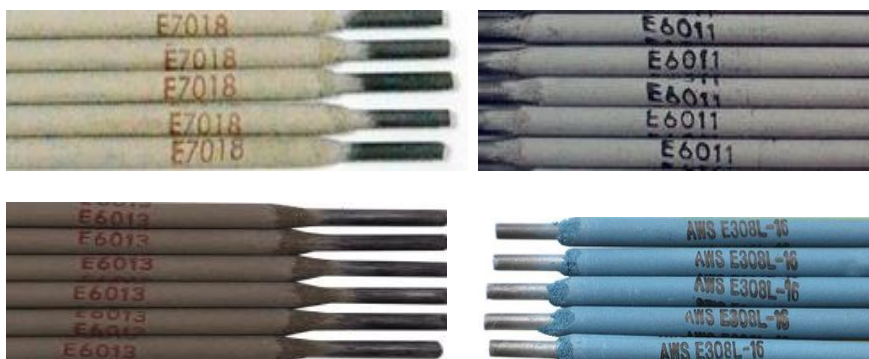
นอกจากนี้ยังมีรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์อื่น ๆ ของประเภท E 60 และ E 70 ที่แสดงถึงโค้ด ชนิดของสารพอกหุ้ม ท่าเชื่อมและชนิดของกระแสไฟเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 7.2

ปัจจุบันผู้ผลิตลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ได้พัฒนาลวดเชื่อมชนิดแปลกใหม่ขึ้นมาเรื่อยๆ เพื่อต้องการให้สามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น มาตรฐานก็มีการเพิ่มเติมรหัสโค้ดบนลวดเชื่อมสำหรับลวดเชื่อมที่ใช้งานพิเศษเฉพาะทาง เช่น ลวดเชื่อมประเภท E 70 ยกตัวอย่าง E7018-1 H4 R รหัสพิเศษเพิ่มเติม คือ

1 หมายถึง เหมาะสำหรับงานเชื่อมที่รับแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature impact)

H4 หมายถึง ไฮโดรเจนผสมน้อยกว่า 4 มิลลิกรัม/100 กรัม (Hydrogen content)

R หมายถึง ผ่านการทดสอบการดูดซับความชื้น (Absorbed moisture test) ลวดเชื่อมบางชนิดกำหนดเป็นตัว M ซึ่งจะหมายถึงใช้ในงานด้านการทหาร (Military)



รูปที่ 7.6 ตัวอย่างการระบุรหัสหรือโค้ดบนลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

ที่มา : KOBEL Steel Welding Electrode, 2017

ตารางที่ 7.2 การแบ่งประเภทลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน AWS A5.1

ที่มา : ANSI/AWS A5.1/A5.1M, 2012

ลวดเชื่อมประเภท E60	สารพอกหุ้ม	ทำเชื่อม	กระแสไฟเชื่อม
E6010	เซลลูโลส-โซเดียมสูง	F/V/OH/H	AC/DCEP
E6011	เซลลูโลส-โปแตสเซียมสูง	F/V/OH/H	AC/DCEP
E6012	ไทเทเนียม-โปแตสเซียมสูง	F/V/OH/H	AC/DCEN
E6013	ไทเทเนียม-โปแตสเซียมสูง	F/V/OH/H	AC/DCEP/DCEN
E6020	เหล็กออกไซด์สูง	H/FIL	AC/DCEP/DCEN
E6022	เหล็กออกไซด์สูง	F	AC/DCEN
E6027	ผงเหล็กออกไซด์สูง	H/FIL/F	AC/DCEN
E6028	ผงเหล็ก-เหล็กออกไซด์	H/FIL/F	AC/DCEN
ลวดเชื่อมประเภท E70	สารพอกหุ้ม	ทำเชื่อม	กระแสไฟเชื่อม
E7014	ผงเหล็ก-ไทเทเนียม	F/V/OH/H	AC/DCEP/DCEN
E7015	ไฮโดรเจนต่ำ	F/V/OH/H	AC/DCEP
E7016	ไฮโดรเจนต่ำ-โปแตสเซียมสูง	F/V/OH/H	AC/DCEN
E7017	ผงเหล็ก-ไฮโดรเจนต่ำ	F/V/OH/H	AC/DCEP
E7018	ผงเหล็กไทเทเนียม	H/FIL/F	AC/DCEP/DCEN
E7024	เหล็กออกไซด์สูง-ผงเหล็ก	H/FIL/F	AC/DCEN
E7027	ผงเหล็ก-ไฮโดรเจนต่ำ	H/FIL/F	AC/DCEP
E7028	ไฮโดรเจนต่ำ	F/OH/H/FIL	AC/DCEP
E7028	ไฮโดรเจนต่ำ-โปแตสเซียม- ผงเหล็ก	F/OH/H V-Down	AC/DCEP

หมายเหตุ

- อักษรย่อแสดงทำเชื่อม ดังนี้

F = ทำราบ H = ทำขนานนอน FIL = เชื่อมมุมทำระดับ V = ทำตั้ง V-Down = ทำตั้งเชื่อมลง
OH = ทำเหนือศีรษะ

- DCEP คือ กระแสไฟตรงลวดเชื่อมขั้วบวก และ DCEN คือ กระแสไฟตรงลวดเชื่อมขั้วลบ
- AC คือ กระแสไฟสลับ

มาตรฐานลวดเชื่อม AWS A5.1 นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นในเรื่องของชนิดสารพอกหุ้ม ทำเชื่อม และชนิดของกระแสไฟเชื่อมของแต่ละชนิดลวดเชื่อมให้สามารถเลือกใช้แล้วนั้น มาตรฐานยังบอกถึงสมบัติทางกลที่ได้จากการเลือกใช้ลวดเชื่อมของแต่ละชนิด ได้แก่ สมบัติความต้านทานแรงดึง ความเค้นฉีกที่จุด 0.2% Offset และ เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังแสดงเป็นตัวอย่างลวดบางชนิดใน**ตารางที่ 7.3**

ตารางที่ 7.3 สมบัติทางกลจากลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน AWS A5.1

ที่มา : ANSI/AWS A5.1/A5.1M, 2012

ประเภทลวดเชื่อม E60	ความต้านทานแรงดึง		ความเค้นจํานนที่ 0.2 Offset		การยืดตัว
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E6010	60	414	48	331	22
E6011	60	414	48	331	22
E6012	60	414	48	331	17
E6013	60	414	48	331	17
E6019	60	414	48	331	22
E6020	60	414	48	331	22
E6022 ^a	60	414	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
E6027	60	414	48	331	22
ประเภทลวดเชื่อม E70					
E7014	70	482	58	399	17
E7015	70	482	58	399	22
E7016	70	482	58	399	22
E7018	70	482	58	399	22
E7024	70	482	58	399	17 ^b
E7027	70	482	58	399	22
E7028	70	482	58	399	22
E7048	70	482	58	399	22
E7018M	70 ^d	482	53–72 ^c	365–496 ^c	24

หมายเหตุ

- ขึ้นทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน AWS A5.1/A5.1M:2012
- สภาพของชิ้นงานทดสอบไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (As weld)
- ค่าทดสอบที่ระบุเป็นค่าต่ำสุด (Minimum)
- ข้อบ่งชี้ของตัวอักษร

a = การทดสอบแรงดึงและแรงดัดโค้ง อ้างอิงตามมาตรฐานที่กำหนดใน AWS 5.1/A5.1M:2012

b = กรณีเนื้อเชื่อมที่ได้จาก E7024–1 จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำสุด 22%

c = กรณีขนาดลวดเชื่อม 2.4 มม. ค่าความเค้นจํานนสูงสุด 77 ksi (531 MPa)

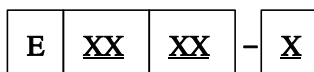
d = ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเนื้อเชื่อมปกติ 70 ksi (MPa)

2) AWS A5.5/A5.5M:2014 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำ (Specification for Low Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding) ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือโค้ดออกมาดังนี้

AWS A5.5/A5.5M:2014 **E XX XX-X** ตัวอักษร และตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

A5.5/A5.5M หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าผสมต่ำ

2014 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน (2014)



- หมายถึง = ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม (%wt)
- หมายถึง = ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้ม และชนิดของกระแสไฟเชื่อม
- หมายถึง = ตำแหน่งท่าเชื่อม
- หมายถึง = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด กิโลปอนด์/ตารางนิ้ว (ksi)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode)

มาตรฐานข้อกำหนดลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ AWS ชุดนี้ใช้สำหรับการนำไปเลือกนำไปใช้กับการเชื่อมโลหะกลุ่มเหล็กกล้าผสมต่ำ (Low alloy steels) โดยในมาตรฐานจะมีการระบุถึงประเภทลวดเชื่อม ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้ม ตำแหน่งท่าเชื่อม ชนิดของกระแสไฟเชื่อม ส่วนผสมทางเคมี และสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมที่ได้ ซึ่งรายละเอียดของข้อกำหนดหรือข้อบ่งชี้ของแต่ละด้านที่กล่าวถึงจะได้แสดงในรูปแบบตารางที่อ้างอิงมาจากคู่มือมาตรฐานของ AWS A5.5/A5.5M:2014 10th Edition ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7.4 แสดงถึงข้อกำหนดที่ว่าด้วยประเภทของลวดเชื่อม ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้ม ตำแหน่งท่าเชื่อม และชนิดของกระแสไฟเชื่อมกับข้อเชื่อม ซึ่งช่างเชื่อมหรือวิศวกรงานเชื่อมสามารถใช้ตารางในการพิจารณาเลือกใช้ประเภทลวดเชื่อมและกำหนดปัจจัยการเชื่อมให้ถูกต้องและเหมาะสมกับโลหะชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม ลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับแนวเชื่อม ลดการแก้ไขซ่อมแซมแนวเชื่อมที่เกิดข้อบกพร่องจากการกำหนดหรือเลือกใช้ลวดเชื่อมที่ผิดพลาด

สำหรับข้อกำหนดมาตรฐานที่ระบุอยู่ใน **ตารางที่ 7.5** เป็นการแสดงถึงส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อมของลวดเชื่อมแต่ละประเภทที่ช่างเชื่อมสามารถที่จะเลือกลวดเชื่อมที่ต้องการส่วนผสมทางเคมีของเนื้อหลังการเชื่อมเสร็จ ที่มีสมบัติตามความต้องการ เช่น ต้องการแนวเชื่อมที่มีส่วนผสมทางเคมีที่ทนการกัดกร่อน ด้านทานการสึกหรอ มีโครงสร้างจุลภาคที่มีเกรนที่ละเอียด/เรียงตัวเป็นระเบียบ หรือความทนต่อการใช้งานอุณหภูมิที่สูง เป็นต้น

ส่วนข้อกำหนดมาตรฐานสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมแต่ละประเภทดังแสดงใน **ตารางที่ 7.6** เป็นค่าจากการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ของเนื้อเชื่อม ที่ระบุถึงค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความเค้นจำนนที่ 0.2% offset และค่าความสามารถในการยืดตัว พร้อมระบุสภาพการปรับปรุงสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment)

ตารางที่ 7.4 การแบ่งประเภทลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา : ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม ^a	ชนิดฟลักซ์พอกหุ้ม	ตำแหน่งทำเชื่อม ^b	ชนิดกระแสไฟเชื่อม ^c
E7010-X	High-cellulose sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E7010-X	High-cellulose potassium	F/V/ OH/ H	AC / DCEP
E7015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E7016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F/V/ OH/ H	AC / DCEP
E718-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E7020-X	High-iron oxide	{ H-fillets F	AC / DCEP AC / DCEP / DCEN
E7027-X	High-iron oxide, iron powder	{ H-fillets F	AC / DCEP AC / DCEP / DCEN
E810-X	High-cellulose sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E8011-G	High-cellulose potassium	F, V, OH, H	AC / DCEP
E8013-G	High-titania potassium	F /V/ OH/ H	AC / DCEP / DCEN
E8015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E8016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E8018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E9010-G	High-cellulose sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E9011-G	High-cellulose potassium	F/V/ OH/ H	AC / DCEP
E9013-G	High-titania potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP / DCEN
E9015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E9016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E9018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E9018M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen	F/ V/ OH/ H	DCEP
E10010-G	High-cellulose sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E10011-G	High-cellulose potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E10013-G	High-titania potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP / DCEN
E10015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E10016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E10018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E10018M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen	F/ V/ OH/ H	DCEP
E11010-G	High-cellulose sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP

ตารางที่ 7.4 (ต่อ) การแบ่งประเภทลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา : ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม ^a	ชนิดฟลักซ์พอกหุ้ม	ตำแหน่งท่าเชื่อม ^a	ชนิดกระแสไฟเชื่อม ^c
E11011-G	High-cellulose potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E11013-G	High-titania potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP / DCEN
E11015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E11016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E11018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E11018M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen	F/ V/ OH/ H	DCEP
E12010-G	High-cellulose sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E12011-G	High-cellulose potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E12013-G	High-titania potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP / DCEN
E12015-X ^{d,e}	Low-hydrogen sodium	F/ V/ OH/ H	DCEP
E12016-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E12018-X ^{d,e}	Low-hydrogen potassium, iron powder	F/ V/ OH/ H	AC / DCEP
E12018M ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen	F/ V/ OH/ H	DCEP
E12018M1 ^{d,e}	Iron powder, low hydrogen	F/ V/ OH/ H	DCEP

หมายเหตุ ของตาราง 7.4

- a = อักษรที่ต่อท้าย “X” ใช้แทนอักษรได้แก่ A₁ B₁ B₃ เป็นต้น และธาตุผสมทางเคมีดูได้จาก**ตารางที่ 7.5**
- b = ตำแหน่งท่าเชื่อม F = ท่าราบ H = ท่าระดับ H-FIL = เชื่อมมุมท่าระดับ V = ท่าตั้ง OH = ท่าเหนือศีรษะ
- c = กระแสไฟเชื่อม DCEP หมายถึง กระแสตรงลวดเชื่อมขั้วบวก และ DCEN หมายถึง กระแสตรงลวดเชื่อมขั้วลบ
- d = ลวดเชื่อมที่กำหนดปริมาณของคาร์บอนที่อยู่ในฟลักซ์พอกหุ้ม
- e = ลวดเชื่อมที่กำหนดปริมาณของไฮโดรเจนที่แพร่ซึมอยู่ในเนื้อเชื่อม

การกำหนดมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ รหัสนี้หรือโค้ดที่อยู่บนลวดเชื่อมนอกจากจะระบุให้ทราบถึงชนิดฟลักซ์หุ้ม ท่าเชื่อม และชนิดของกระแสไฟเชื่อมแล้วนั้น ยังจะบอกถึงส่วนผสมทางเคมีที่จะได้ในเนื้อเชื่อมด้วย โดยจะบอกถึงชนิดของธาตุ (Type of elements) ที่ผสมหลัก ๆ และธาตุอื่น ๆ ที่เสริมเพื่อต้องการสมบัติที่พิเศษบางอย่างของเนื้อเชื่อม ซึ่งจะระบุจำนวนปริมาณของธาตุที่ผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%wt.) ดังแสดงส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5/A5.5:M2014 ใน**ตารางที่ 7.5** อย่างไรก็ตามในการปฏิบัติงานจริง การเชื่อมอาร์กเป็นเชื่อมแบบหลอมละลายที่มีอุณหภูมิของบ่อหลอมละลายที่สูงมาก ซึ่งมีโอกาสสูงมากที่จะทำให้ธาตุผสมบางตัวที่จุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของโลหะหลักเกิดการสูญเสียไปในบรรยากาศ (Lose elements) เป็นต้นเหตุของการที่เนื้อเชื่อมมีส่วนผสมทางเคมีที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ และจะส่งผลกระทบต่อสมบัติของเนื้อเชื่อมที่พึงประสงค์ ปัญหานี้แก้ไขด้วยการควบคุมแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมด้วยการเชื่อมในสถานที่ป้องกันแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมไม่ให้กระจายตัวออกเร็วเกินไป

ตารางที่ 7.5 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา: ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Carbon–Molybdenum Steel Electrodes											
E7010–A1	W17010	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
E7011–A1	W17011	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
E7015–A1	W17015	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
E7016–A1	W17016	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
E7018–A1	W17018	0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
E7020–A1	W17020	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
E7027–A1	W17027	0.12	1.00	0.40	0.03	0.03	--	--	0.40– 0.65	--	--
Chromium–Molybdenum Steel Electrodes											
E8016–B1	W51016	0.05– 0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	--	0.4– 0.65	0.40– 0.65	--	--
E8018–B1	W51018	0.05– 0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	--	0.4– 0.65	0.40– 0.65	--	--
E8016–B2	W51016	0.05– 0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	--	1.0– 1.50	0.40– 0.65	--	--
E8018–B2	W51018	0.05– 0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	--	1.0– 1.50	0.40– 0.65	--	--
E7015–B2L	W52115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	--	1.0– 1.50	0.40– 0.65	--	--
E7016–B2L	W52116	0.05	0.90	0.60	0.03	0.03	--	1.0– 1.50	0.40– 0.65	--	--
E7018–B2L	W52118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	--	1.0– 1.50	0.40– 0.65	--	--
E9015–B3	W53015	0.05– 0.12	0.90	1.00	0.03	0.03	--	2.0– 2.50	0.90– 1.20	--	--

ตารางที่ 7.5 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา: ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Chromium–Molybdenum Steel Electrodes											
E9016–B3	W53016	0.05– 0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	—	2.0– 2.50	0.90– 1.20	—	—
E9018–B3	W53018	0.05– 0.12	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.0– 2.50	0.90– 1.20	—	—
E8015–B3L	W53115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	2.0– 2.50	0.90– 1.20	—	—
E8018–B3L	W53118	0.05	0.90	0.80	0.03	0.03	—	2.0– 2.50	0.90– 1.20	—	—
E8015–B4L	W53115	0.05	0.90	1.00	0.03	0.03	—	1.75 – 2.25	0.40– 0.65	—	—
E8016–B5	W51316	0.07– 0.15	0.4– 0.7	0.3– 0.6	0.03	0.03	—	0.4– 0.6	1.00– 1.25	V	0.05
Chromium–Molybdenum Steel Electrodes											
ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
E8015–B6 ^c	W50215	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0– 6.0	0.45– 0.65	—	—
E8016–B6 ^c	W50216	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0– 6.0	0.45– 0.65	—	—
E8018–B6 ^c	W50218	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0– 6.0	0.45– 0.65	—	—
E8015–B6L ^c	W50205	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0– 6.0	0.45– 0.65	—	—
E8016–B6L ^c	W50206	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0– 6.0	0.45– 0.65	—	—
E8018–B6L ^c	W50208	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	4.0– 6.0	0.45– 0.65	—	—
B8015–B7 ^c	W50315	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0– 8.0	0.45– 0.65	—	—

ตารางที่ 7.5 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา: ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
B8016-B7 ^c	W50316	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0– 8.0	0.45– 0.65	--	--
B8018-B7 ^c	W50318	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0– 8.0	0.45– 0.65	--	--
B8015-B7L ^c	W50305	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0– 8.0	0.45– 0.65	--	--
B8016-B7L ^c	W50306	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0– 8.0	0.45– 0.65	--	--
B8018-B7L ^c	W50308	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	6.0– 8.0	0.45– 0.65	--	--
B8015-B8 ^c	W50415	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0– 10.5	0.85– 1.20	--	--
B8016-B8 ^c	W50416	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0– 10.5	0.85– 1.20	--	--
B8018-B8 ^c	W50418	0.05– 0.10	1.0	0.90	0.03	0.03	0.40	8.0– 10.5	0.85– 1.20	--	--
ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
B8015– B8L ^c	W50405	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.4	8.0– 10.5	0.85– 1.20	--	--
B8016– B8L ^c	W50406	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.4	8.0– 10.5	0.85– 1.20	--	--
B8018– B8L ^c	W50408	0.05	1.0	0.90	0.03	0.03	0.4	8.0– 10.5	0.85– 1.20	--	--
E9015-B9	W50425	0.08– 0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	1.0	8.0– 10.5	0.85– 1.20	V Cu Al Nb N	0.15–0.30 0.25 0.04 0.02–0.10 0.02–0.07

ตารางที่ 7.5 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา : ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
E9016-B9	W50426	0.08– 0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	1.0	8.0– 10.5	0.85– 1.20	V	0.15–0.30
										Cu	0.25
										Al	0.04
										Nb	0.02–0.10
										N	0.02–0.07
E9018-B9	W50428	0.08– 0.13	1.25	0.30	0.01	0.01	1.0	8.0– 10.5	0.85– 1.20	V	0.15–0.30
										Cu	0.25
										Al	0.04
										Nb	0.02–0.10
										N	0.02–0.07
ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Nickel Steel Electrodes											
E8016-C1	W22016	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	2.00– 2.75	--	--	--	--
E8018-C1	W22018	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	2.00– 2.75	--	--	--	--
E8015-C1L	W22115	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00– 2.75	--	--	--	--
E8016-C1L	W22116	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00– 2.75	--	--	--	--
E8018-C1L	W22118	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00– 2.75	--	--	--	--
E8016-C2	W23016	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	3.00– 3.75	--	--	--	--
E8018-C2	W23018	0.12	1.25	0.80	0.03	0.03	3.00– 3.75	--	--	--	--
E7015-C2L	W23115	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00– 3.75	--	--	--	--
E7016-C2L	W23116	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00– 3.75	--	--	--	--
E7018-C2L	W23118	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00– 3.75	--	--	--	--

ตารางที่ 7.5 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา : ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Nickel Steel Electrodes											
E8016-C3	W21016	0.12	0.40	0.80	0.03	0.03	0.80– 1.10	0.15	0.35	V	0.05
			– 1.25								
E8018-C3	W21018	0.12	0.40	0.80	0.03	0.03	0.80– 1.10	0.15	0.35	V	0.05
			– 1.25								
E7018– C3L	W20918	0.08	0.40	0.50	0.03	0.03	0.80– 1.10	0.15	0.35	V	0.05
			–1.4								
E816-C4	W21916	0.10	1.25	0.60	0.03	0.03	1.10– 2.00	--	--	--	--
E818-C4	W21918	0.10	1.25	0.60	0.03	0.03	1.10– 2.00	--	--	--	--
E9015– C5L	W25018	0.05	0.4– 1.0	0.5	0.03	0.03	6.00– 7.25	--	--	--	--
Nickel–Molybdenum Steel Electrodes											
E8018– NM1	W2118	0.10	0.80– 1.25	0.60	0.02	0.02	0.80– 1.10	0.10	0.40– 0.65	V Cu Al	0.02 0.10 0.05
Manganese–Molybdenum Steel Electrodes											
E8018-D1	W18118	0.12	1.00– 1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	--	0.25– 0.45	--	--
E8015-D1	W19015	0.12	1.00– 1.75	0.60	0.03	0.03	0.90	--	0.25– 0.45	--	--
E9018-D1	W19018	0.12	1.00– 1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	--	0.25– 0.45	--	--

ตารางที่ 7.5 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา : ANSI/AWS A5.5/A5.5M. 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
E10015-D2	W10015	0.15	1.65– 2.00	0.60	0.03	0.03	0.90	--	0.25– 0.45	--	--
E10016-D2	W10016	0.15	1.65– 2.00	0.60	0.03	0.03	0.90	--	0.25– 0.45	--	--
E10018-D2	W10018	0.15	1.65– 2.00	0.80	0.03	0.03	0.90	--	0.25– 0.45	--	--
E8016-D3	W18016	0.12	1.00– 1.80	0.60	0.03	0.03	0.90	--	0.40– 0.65	--	--
E8018-D3	W18018	0.12	1.00– 1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	--	0.40– 0.65	--	--
E8018-D3	W19018	0.12	1.00– 1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	--	0.40– 0.65	--	--
ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
General Low –Alloy Steel Electrodes											
EXX10-G ⁸	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
EXX11-G ⁸	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
EXX13-G ⁸	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
EXX15-G ⁸	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
EXX16-G ⁸	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
EXX18-G ⁸	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
E7020-G	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min
E7027-G	--	--	1.00 ^h min	0.80 ^h min	--	--	0.50 ^h min	0.30 ^h min	0.20 ^h min	V Cu	0.10 ^h min 0.20 ^h min

ตารางที่ 7.5 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา: ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Military–Similar Electrodes											
E9018M ⁱ	W21218	0.10	0.60– 1.25	0.80	0.03	0.03	1.40– 1.80	0.15	0.35	V	0.05
E10018M ⁱ	W21318	0.10	0.75– 1.70	0.60	0.03	0.03	1.40– 2.10	0.35	0.25– 0.50	V	0.05
E11018M ⁱ	W21418	0.10	1.30– 1.80	0.60	0.03	0.03	1.25– 2.50	0.40	0.25– 0.50	V	0.05
E12018M ⁱ	W22218	0.10	1.30– 2.25	0.60	0.03	0.03	1.75– 2.50	0.30– 1.50	0.30– 1.50	V	0.05
E12018M ⁱ	W23218	0.10	0.80– 1.60	0.65	0.01	0.01	3.00– 3.80	0.65	0.20– 0.30	V	0.05
ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Pipeline Electrodes											
E7010–P1	W17110	0.20	1.20	0.60	0.30	0.03	1.00	0.30	0.50	V	0.10
E8010–P1	W18110	0.20	1.20	0.60	0.30	0.03	1.00	0.30	0.50	V	0.10
ประเภทลวดเชื่อม		ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}								ธาตุอื่น ๆ	
AWS	SAE/ ASTM ^d	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	ธาตุ	จำนวน
Weathering Steel Electrodes											
E7018–WP	W20018	0.12	0.40– 0.70	0.40– 0.70	0.025	0.025	0.20– 0.40	0.15– 0.30	—	V Cu	0.08 0.30–0.60
E8018–W2	W20118	0.12	0.50– 1.30	0.35– 0.80	0.03	0.03	0.40– 0.80	0.45– 0.70	—	Cu	0.30–0.75

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.5

- a = ค่ากำหนดมาค่าเดียว เป็นค่าสูงสุด นอกจากกำหนดเป็นค่าอื่น
- b = การวิเคราะห์ที่จะพิจารณาธาตุที่ระบุในตารางเท่านั้น
- c = รหัสต่อท้าย A₁ B₃ C₃ หมายถึงส่วนผสมของเนื้อเชื่อม
- d = Unified Numbering System for Metals and Alloys
- e = รหัสลวดเชื่อมออกใหม่แทนตัวเดิมใน AWS A5.4–81
- f = อักษร “XX” ของ EXX13–G หมายถึง ค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดในเนื้อเชื่อม ได้แก่ 80 90 100 110 และ 120 ksi
- g = อักษร “XX” ของรหัสลวดเชื่อม ยกเว้น EXX13–G หมายถึง ค่าความต้านแรงดึงต่ำสุดในเนื้อเชื่อม ได้แก่ 70 80 90 100 110 และ 120 ksi
- h = เนื้อเชื่อมต้องมีธาตุตามตารางอย่างน้อย 1 ธาตุ
- i = ผลิตมาคล้ายกับ MIL–E22200/1 และ MIL–E22200/10
- j = E7018–W1 คือ E7018–W และ E7018–W2 คือ E7018–W

ตารางที่ 7.6 ค่าทดสอบแรงดึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา: ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม	ความต้านแรงดึง		ความเค้นจํานน 0.2% Offset		การยืดตัว	สภาพการปรับปรุงสมบัติทางความร้อน
AWS	ksi	MPa	ksi	MPa	%	
E7010-P1	70	480	60	415	22	AW
E7010-A1	70	480	57	390	22	PWHT
E7010-G	70	480	57	390	22	AW / PWHT
E7011-A1	70	480	57	390	22	PWHT
E7011-G	70	480	57	390	22	AW / PWHT
E7015-X	70	480	57	390	25	PWHT
E7015-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7015-G	70	480	57	390	25	AW / PWHT
E7016-X	70	480	57	390	25	PWHT
E7016-B2L	75	520	57	390	19	PWHT
E7016-G	70	480	57	390	25	AW / PWHT
E7018-X	75	480	57	390	25	PWHT
E7018-B2L	70	520	57	390	19	PWHT
E7018-C3L	70	480	57	390	25	AW
E7018-W1	70	480	60	415	25	AW
E7018-G	70	480	57	390	25	AW / PWHT
E7020-A1	70	480	57	390	25	PWHT
E7020-G	70	480	57	390	25	AW / PWHT
E7027-A1	70	480	57	390	25	PWHT
E7027-G	70	480	57	390	25	AW / PWHT
E8010-P1	80	550	67	460	19	AW
E8010-G	80	550	67	460	19	AW / PWHT
E8011-G	80	550	67	460	19	AW / PWHT
E8013-G	80	550	67	460	16	AW / PWHT
E8015-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8015-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8015-G	80	550	67	460	19	AW / PWHT
E8016-X	80	550	67	460	19	PWHT
E8016-C3	80	550	68-80	470-550°	24	AW
E8016-C4	80	550	67	460	19	AW
E8016-G	80	550	67	460	19	AW / PWHT
E8018-X	80	550	67	460	19	PWHT

ตารางที่ 7.6 (ต่อ) ค่าทดสอบแรงดึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา: ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม	ความต้านแรงดึง		ความเค้นจํานน 0.2% Offset		การยืดตัว	สภาพการปรับปรุง สมบัติทางความร้อน
AWS	ksi	MPa	ksi	MPa	%	
E8018-B3L	80	550	67	460	17	PWHT
E8018-C3	80	550	68-80	470-550 ^c	24	AW
E8018-C4	80	550	67	460	19	AW
E8018-NM1	80	550	67	460	19	AW
E8018-W2	80	550	67	460	19	AW
E8018-G	80	550	67	460	19	AW / PWHT
E9010-G	90	620	77	530	17	AW / PWHT
E9011-G	90	620	77	530	17	AW / PWHT
E9013-G	90	620	77	530	14	AW / PWHT
E9015-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9015-G	90	620	77	530	17	AW / PWHT
E9016-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9016-G	90	620	77	530	17	AW / PWHT
E9018M	90	620	78-90	540-620 ^c	24	AW
E9018-X	90	620	77	530	17	PWHT
E9018-G	90	620	77	530	17	AW / PWHT
E10010-G	100	690	87	600	16	AW / PWHT
E10011-G	100	690	87	600	16	AW / PWHT
E10013-G	100	690	87	600	13	AW / PWHT
E10015-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10015-G	100	690	87	600	16	AW / PWHT
E10016-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10016-G	100	690	87	600	16	AW / PWHT
E10018M	100	690	88-100	610-690 ^c	20	AW
E10018-X	100	690	87	600	16	PWHT
E10018-G	100	690	87	600	16	AW / PWHT
E11010-G	110	760	97	670	15	AW / PWHT
E11011-G	110	760	97	670	15	AW / PWHT
E11013-G	110	760	97	670	13	AW / PWHT
E11015-G	110	760	97	670	15	AW / PWHT
E11016-G	110	760	97	670	15	AW / PWHT

ตารางที่ 7.6 (ต่อ) ค่าทดสอบแรงดึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าผสมต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.5

ที่มา : ANSI/AWS A5.5/A5.5M, 2014

ประเภทลวดเชื่อม	ความต้านแรงดึง		ความเค้นจํานน 0.2% Offset		การยืดตัว	สภาพการปรับปรุงสมบัติทางความร้อน
AWS	ksi	MPa	ksi	MPa	%	
E11018-G	110	760	97	670	15	AW / PWHT
E11018M	110	760	98-110	680-760 ^c	20	AW
E12010-G	120	830	107	740	14	AW / PWHT
E12011-G	120	830	107	740	14	AW / PWHT
E12013-G	120	830	107	740	11	AW / PWHT
E12015-G	120	830	107	740	14	AW / PWHT
E12016-G	120	830	107	740	14	AW / PWHT
E12018-G	120	830	107	740	14	AW / PWHT
E12018M	120	830	108-120	745-830	18	AW
E12018M1	120	830	108-120	745-830	18	AW

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.6

- ขนาดของลวดเชื่อมที่ทำการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด
- ค่าที่แสดงเป็นค่าผลการทดสอบค่าที่ต่ำสุด นอกจากจะกำหนดเป็นอย่างอื่น
- อักษร X ต่อท้าย แทน A₁ B₁ B₂ เป็นต้น ทดสอบในสภาพไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน (As welded)
- AW = เนื้อเชื่อมสภาพเดิมไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน
- PWHT = เนื้อเชื่อมผ่านการปรับปรุงด้วยความร้อน
- “G” = AS หรือ PWHT เป็นตามข้อตกลงของผู้ผลิตกับลูกค้า

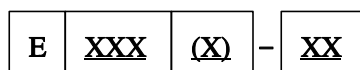
- “c” = สำหรับลวดเชื่อมขนาด 2.4 มม. (3/32 นิ้ว) ค่าความเค้นจํานนอาจสูงถึง 5 ksi (3.5 MPa) ซึ่งสูงกว่าที่กำหนดไว้

3) AWS A5.4/A5.4M:2012 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิม (Specification for Stainless Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding) ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือไค้ดออกมาดังนี้

AWS A5.4/A5.4M:2012 **E XXX (X) - XX** ตัวอักษร และตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

A5.4/A5.4M หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม

2012 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน (2012)



- หมายถึง = ชนิดของกระแสไฟเชื่อมและตำแหน่งท่าเชื่อม
- หมายถึง = ธาตุผสมพิเศษ
- หมายถึง = ชนิดและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode)

มาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีรหัสหรือโค้ดเพิ่มเติมที่ต่างจากลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมดังที่กล่าวมา คือ มีโค้ดระบุธาตุผสมพิเศษ (X) ตามมาตรฐาน AWS A5.4/A5.4:2012 ได้จัดกลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ของเหล็กกล้าไร้สนิม ตามชนิดของกระแสไฟเชื่อมและตำแหน่งท่าเชื่อม ออกเป็น 5 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 7.7 และตัวอย่างลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมในรูปที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 ประเภทลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS A5.4

ที่มา : ANSI/AWS A5.4/A5.4M, 2012

ประเภทลวดเชื่อม AWS	กระแสไฟเชื่อม ^a	ตำแหน่งท่าเชื่อม ^b
EXXX(X)-15	DCEP	All ^c
EXXX(X)-25	DCEP	H/F
EXXX(X)-16	AC/DCEP	All ^c
EXXX(X)-17	AC/DCEP	All ^c
EXXX(X)-26	AC/DCEP	H/F

a หมายถึง DCEP = กระแสไฟตรงต่อขั้วบวก และ AC = กระแสไฟสลับ

b หมายถึง ตำแหน่งท่าเชื่อม F = ท่าราบ H = ท่าระดับ และ All = เชื่อมได้ทุกท่า

c หมายถึง ลวดเชื่อมขนาด 4.8 มม (3/16 นิ้ว) และใหญ่กว่าไม่แนะนำให้ใช้เชื่อมทุกท่าเชื่อม



รูปที่ 7.7 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel cover electrode)

ที่มา : Stainless steel/Alloys International, 2015

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้ ชนิดของฟลักซ์ที่ใช้พอกหุ้มจะเป็นตัวกำหนดสมบัติของลวดเชื่อมที่จะเลือกนำไปใช้ โดยในมาตรฐานได้กำหนดเป็นสัญลักษณ์หมายเลข 2 ตัวท้าย ของรหัสที่ระบุบนเส้นลวดเชื่อม ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวถึงของแต่ละประเภทของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์กลุ่มนี้ เพื่อความเข้าใจในการแปลความหมายของรหัสลวดเชื่อม ดังต่อไปนี้

● ลวดเชื่อมประเภท EXXX-15 → ตัวเลข -15 บนลวดเชื่อม มีความหมายว่า เป็นลวดเชื่อมชนิดที่ใช้ได้กับกระแสไฟตรงลวดเชื่อมต่อขั้วบวก (DCEP) เท่านั้น ไม่แนะนำให้ใช้กับไฟเชื่อมกระแสสลับกับงานที่ต้องการคุณภาพแนวเชื่อมที่สูง และลวดเชื่อมที่มีขนาดความโตไม่เกิน 4.0 มม. (5/32 นิ้ว) สามารถทำการเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม

● ลวดเชื่อมประเภท EXXX-16 → ตัวเลข -16 บนลวดเชื่อม มีความหมายว่า เป็นลวดเชื่อมที่มีธาตุที่ช่วยในการเกิดไอออนผสมอยู่ เช่น โปแตสเซียม เพื่อเป็นตัวช่วยให้การอาร์กสม่ำเสมอสำหรับการเชื่อมด้วยกระแสไฟสลับ (AC) ลวดเชื่อมที่มีขนาดความโตไม่เกิน 4.0 มม. (5/32 นิ้ว) สามารถทำการเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม

● ลวดเชื่อมประเภท EXXX-17 → ลวดเชื่อมประเภทนี้พัฒนาปรับปรุงมาจาก EXXX-16 โดยวิธีการเพิ่มเติมธาตุซิลิกา (Silica/SiO₂) เข้าไปแทน ธาตุไทเทเนียม (Titanium) ซึ่งตัวเลข -17 บนลวดเชื่อม มีความหมายว่า เป็นลวดเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อมุมในท่าระดับ (HF) ด้วยเพราะโดดเด่นในส่งถ่ายน้ำโลหะแบบสเปรย์ที่ทำให้ผิวหน้าแนวเชื่อมมีเกล็ดที่ละเอียด และมีรูปร่างของแนวเชื่อมมุมที่ได้จะเรียบแบนหรือเว้า สำหรับในกรณีที่เชื่อมต่อมุมทำตั้ง (Vertical upwards fillet) จะต้องใช้เทคนิคการสายลวดเชื่อมเข้ามาช่วยเสริม เพราะเนื่องจากลวดเชื่อมประเภทนี้สแลกจะเย็นตัวช้า ข้อดีของลวดเชื่อมประเภทนี้ที่สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม แต่ถ้าขนาดของลวดเชื่อมโตกว่า 4.8 มม. (3/16 นิ้ว) จะไม่แนะนำให้เชื่อมทำตั้ง (V) และทำเหนือศีรษะ (OH)

● ลวดเชื่อมประเภท EXXX-25 → ลวดเชื่อมประเภทนี้จะมีฟลักซ์พอกหุ้มคล้ายกับลวดเชื่อม EXXX-15 ทั้งส่วนผสมและสมบัติในการนำไปใช้งาน จะแตกต่างกันที่ส่วนผสมทางเคมีของเนื้อโลหะลวดแกนกลาง เช่น แกนกลางเป็นโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน ตัวเลข -25 บนลวดเชื่อม มีความหมายว่า เป็นลวดเชื่อมที่ต้องกระแสไฟเชื่อมอาร์กที่สูง ธาตุที่ต้องการผสมลงไปเนื้อเชื่อมจะเติมไว้ในฟลักซ์พอกหุ้ม ลวดเชื่อมประเภทนี้จะแนะนำให้ใช้ในการเชื่อมท่าราบ (F) และท่าระดับ (H) เท่านั้น (ลวดเชื่อม-25 จะมีขนาดที่โตกว่า ลวดเชื่อม -15)

● ลวดเชื่อมประเภท EXXX-26 → ลวดเชื่อมประเภทนี้พัฒนามาจาก EXXX-16 โดยมีชนิดของฟลักซ์พอกหุ้มที่เหมือนกันทั้งในส่วนส่วนของส่วนผสมทางเคมีและสมบัติความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน จะแตกต่างกันที่ลวดแกนกลางที่นำมาพอกหุ้มฟลักซ์ และขนาดของแกนลวดเชื่อมจะมีขนาดที่โตมากกว่า -16 จึงเหมาะและแนะนำให้ใช้ลวดเชื่อมประเภทนี้กับการเชื่อมในตำแหน่งท่าราบ (F) และท่าระดับ (H) เท่านั้น

จากการแปลความหมายของรหัสที่ระบุบนลวดเชื่อม ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่ารหัสของลวดเชื่อมกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีความแตกต่างกันในสภาพความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสมบัติของเนื้อเชื่อมเป็นสำคัญ โดยสมบัตินี้จะมาจากอิทธิพลของชนิดและปริมาณของธาตุผสมทางเคมีที่มีอยู่ในเนื้อเชื่อม มาตรฐานลวดเชื่อมจึงมีระบุส่วนผสมทางเคมีที่จะได้ในเนื้อเชื่อมเป็นเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 7.8 และแสดงสมบัติทางกลด้านแรงดึงในตารางที่ 7.9

ตารางที่ 7.8 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS A5.4

ที่มา : ANSI/AWS A5.4/A5.4M, 2012

ประเภท ลวดเชื่อม AWS ^c	SAE/ ASTM ^d	ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}										
		C	Cr	Ni	Mn	Cb(Nb) Plus Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E209-XX ^c	W32210	0.06	20.5– 24.0	9.5– 12.0	1.5– 3.0	--	4.0– 7.0	0.90	0.04	0.03	0.10– 0.30	0.75
E2199-XX	W32310	0.06	19.0– 21.5	5.5– 7.0	0.75	--	8.0– 10.0	1.00	0.04	0.03	0.10– 0.30	0.75
E240-XX	W32410	0.06	17.0– 19.0	4.0– 6.0	0.75	--	10.5– 13.5	1.00	0.04	0.03	0.10– 0.30	0.75
E307-XX	W30710	0.04– 0.14	18.0– 21.5	9.0– 10.7	0.5– 1.5	--	3.30– 4.75	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E308-XX	W30810	0.08	18.0– 21.0	9.0– 11.0	0.75	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E308H-XX	W30810	0.04– 0.08	18.0– 21.0	9.0– 11.0	0.75	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E308L-XX	W30813	0.04	18.0– 21.0	9.0– 11.0	0.75	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E308Mo– XX	W30820	0.08	18.0– 21.0	9.0– 12.0	2.0– 3.0	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E308MoL– XX	W30823	0.04	18.0– 21.0	9.0– 12.0	2.0– 3.0	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E309-XX	W30910	0.15	22.0– 25.0	12.0– 14.0	0.75	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E309L-XX	W30913	0.04	22.0– 25.0	12.0– 14.0	0.75	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E309Cb– XX	W30917	0.12	22.0– 25.0	12.0– 14.0	0.75	0.70– 1.00	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E309Mo– XX	W30920	0.12	22.0– 25.0	12.0– 14.0	2.0– 3.0	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E309MoL– XX	W30923	0.04	22.0– 25.0	12.0– 14.0	2.0–30	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E310-XX	W31010	0.08– 0.20	25.0– 28.0	20.0– 22.5	0.75	--	1.0– 2.5	0.75	0.03	0.03	--	0.75
E310H-XX	W31015	0.35– 0.45	25.0– 28.0	20.0– 22.5	0.75	--	1.0– 2.5	0.75	0.03	0.03	--	0.75
E310Cb– XX	W31017	0.12	25.0– 28.0	20.0– 22.0	0.75	0.70– 1.00	1.0– 2.5	0.75	0.03	0.03	--	0.75
E310Mo– XX	W31020	0.12	25.0– 28.0	20.0– 22	2.0– 3.0	--	1.0– 2.5	0.75	0.03	0.03	--	0.75
E312-XX	W31310	0.15	28.0– 32.0	8.0– 10.5	0.75	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E316-XX	W31610	0.08	17.0– 20.0	11.0– 14.0	2.0– 3.0	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E316H-XX	W31610	0.04– 0.08	17.0– 20.0	11.0– 14.0	2.0– 3.0	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75
E316L-XX	W31613	0.04	17.0– 20.0	11.0– 14.0	2.0– 3.0	--	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	--	0.75

ตารางที่ 7.8 (ต่อ) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS A5.4

ที่มา: ANSI/AWS A5.4/A5.4M, 2012

ประเภท ลวดเชื่อม AWS ^c	SAE/ ASTM ^d	ส่วนผสมทางเคมี (%wt) ^{a,b}										
		C	Cr	Ni	Mn	Cb(Nb) Plus Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E317-XX	W31710	0.08	18.0– 21.0	12.0– 14.0	3.0– 4.0	—	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E317L-XX	W31713	0.04	18.0– 21.0	12.0– 14.0	3.0– 4.0	—	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E318-XX	W31910	0.08	17.0– 20.0	11.0– 14.0	2.0– 3.0	6xC, min to 1.00 max	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E320-XX	W88021	0.07	19.0– 21.0	32.0– 36.0	2.0– 3.0	8xC, min to 1.00 max	0.5– 2.5	0.60	0.04	0.03	—	3.0– 4.0
E20LR-XX	W388022	0.03	19.0– 21.0	32.0– 36.0	2.0– 3.0	8xC,min to 0.40 max	1.50– 2.5	0.30	0.02	0.015	—	3.0– 4.0
E330-XX	W88331	0.18– 0.25	14.0– 17.0	33.0– 37.0	0.75	—	1.0– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E330H-XX	W88335	0.35– 0.45	14.0– 17.0	33.0– 37.0	0.75	—	1.0– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E347-XX	W34710	0.08	18.0– 21.0	9.0– 11.0	0.75	8xC, min to 1.00 max	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E349-XX ^{c,f,g}	W34910	0.13	18.0– 21.0	8.0– 10.0	0.35– 0.65	0.75– 1.20	0.5– 2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E383-XX	W88028	0.03	26.5– 29.0	30.0– 33.0	3.2– 4.2	—	0.5– 2.5	0.90	0.02	0.02	—	0.6– 1.5
E385-XX	W88904	0.03	19.5– 21.5	24.0– 26.0	4.2– 5.2	—	1.0– 2.5	0.75	0.03	0.02	—	1.2– 2.0
E410-XX	W41010	0.12	11.0– 13.5	0.7	0.75	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E410Nimo- XX	W41016	0.06	11.0– 12.5	4.0– 5.0	0.40– 0.70	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E430-XX	W43010	0.10	15.0– 18.0	0.6	0.75	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E502-XX ^h	W50210	0.10	4.0– 6.0	0.4	0.45– 0.65	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E505-XX ^h	W50410	0.10	8.10– 10.5	0.4	0.85– 1.20	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E630-XX	W37410	0.05	16.00– 16.75	4.5– 5.0	0.75	0.15– 0.30	0.25– 0.75	0.75	0.04	0.03	—	3.25– 4.0
E16-8-2- XX	W36810	0.10	14.5– 16.5	7.5– 9.5	1.0– 2.0	—	0.5– 2.5	0.60	0.03	0.03	—	0.75
E7Cr-XX ^b	W50310	0.10	6.0– 8.0	0.4	0.45– 0.65	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.75
E2209-XX	W39209	0.04	21.5– 23.5	8.5– 10.5	2.5– 3.5	—	0.5– 2.0	0.90	0.04	0.03	0.08– 0.20	0.75
E2553-XX	W39553	0.06	24.0– 27.0	6.5– 8.5	2.9– 3.9	—	0.5– 1.5	1.0	0.04	0.03	0.10– 0.25	1.5– 2.5

<p>หมายเหตุ ของตารางที่ 7.8</p> <ul style="list-style-type: none"> ● a = ธาตุอื่น ๆ ที่ไม่ได้แสดงในตารางยกเว้นธาตุ Fe ต้องไม่เกิน 0.5% ● b = ค่าที่ให้มาค่าเดียวเป็นค่าที่สูงสุด ● c = รหัสต่อท้าย -XX หมายถึง -15 -16 -17 -25 หรือ -26 ● d = SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys ● e = วานเนียมผสมอยู่ระหว่าง 0.1–0.3 % ● f = โทเทเนียมผสมสูงสุด 0.15% 	<ul style="list-style-type: none"> ● g = ทั้งสแตน ผสมอยู่ระหว่าง 1.25–1.75% ● h = เกรดนี้จะปรากฏอยู่ใน AWS A5.5
---	---

ตารางที่ 7.9 ค่าทดสอบแรงดึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS A5.4

ที่มา : ANSI/AWS A5.4/A5.4M, 2012

ประเภทลวดเชื่อม	ความต้านแรงดึงต่ำสุด		% การยืดตัวต่ำสุด	การปรับปรุงสมบัติ
AWS	ksi	MPa		ด้วยความร้อน
E209-XX	100	690	15	None
E219-XX	90	620	15	None
E240-XX	100	690	15	None
E307-XX	85	590	30	None
E308-XX	80	550	35	None
E308H-XX	80	550	35	None
E308L-XX	75	520	35	None
E308Mo-XX	80	550	35	None
E308MoL-XX	75	520	35	None
E309-XX	80	550	30	None
E309L-XX	75	520	30	None
E309Cb-XX	80	550	30	None
E309Mo-XX	80	550	30	None
E309MoL-XX	75	520	30	None
E310-XX	80	550	30	None
E310H-XX	90	620	10	None
E310Cb-XX	80	550	25	None
E310Mo-XX	80	550	30	None
E312-XX	95	660	22	None
E316-XX	75	520	30	None
E316H-XX	75	520	30	None
E316L-XX	70	490	30	None
E317-XX	80	550	30	None
E317L-XX	75	520	30	None
E318-XX	80	550	25	None

ตารางที่ 7.9 (ต่อ) ค่าทดสอบแรงดึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS A5.4

ที่มา : ANSI/AWS A5.4/A5.4M, 2012

ประเภทลวดเชื่อม AWS	ความต้านแรงดึงต่ำสุด		% การยืดตัวต่ำสุด	การปรับปรุงสมบัติ ด้วยความร้อน
	ksi	MPa		
E320-XX	80	550	30	None
E320LR--XX	75	520	30	None
E330-XX	75	520	25	None
E330H-XX	90	620	10	None
E347-XX	75	520	30	None
E349-XX	100	690	25	None
E383-XX	75	520	30	None
E385-XX	75	520	30	None
E410-XX	75	450	20	a
E410NiMo-XX	110	760	15	c
E430-XX	65	450	20	d
E502-XX	60	420	20	b
E505-XX	60	420	20	b
E630-XX	135	930	7	e
E16-8-2-XX	80	550	35	None
E7Cr-XX	60	20	420	b
E2209-XX	100	690	20	None
E2553-XX	110	760	15	None

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.9

- a = ให้ความร้อน 730–760 °C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วเย็นตัวในเตาด้วยอัตรา 55°C/ชม. จนถึง 315°C ออกจากเตาปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง
- b = ให้ความร้อน 840–870 °C เป็นเวลา 2 ชม. แล้วเย็นตัวในเตาด้วยอัตรา 55°C/ชม. จนถึง 595°C ออกจากเตาปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง
- c = ให้ความร้อน 595–620 °C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วเย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง

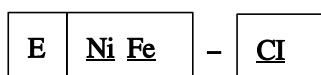
- d = ให้ความร้อน 760–790 °C เป็นเวลา 2 ชม. แล้วเย็นตัวในเตาด้วยอัตรา 55°C/ชม. จนถึง 595°C ออกจากเตาปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง
- e = ให้ความร้อน 1,025–1,050 °C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วเย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง ต่อจากนั้นให้ตกผลึกแข็งที่อุณหภูมิ 610–630°C แช่ไว้เป็นเวลา 4 ชม. เอาออกจากเตาปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับงานเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมมีการใช้งานกันไม่มากเมื่อเทียบกับลวดเชื่อมสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าผสมต่ำ เนื่องการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมมีปัญหาเรื่องการควบคุมคุณภาพเนื้อเชื่อมที่นอกจากความแข็งแรง ความต้านทานการกัดกร่อนแล้ว งานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมยังต้องการความสะอาดและความสวยงามของแนวเชื่อมที่ปรากฏบนโครงสร้างของ

ผลิตภัณฑ์ จึงมักนิยมใช้ลวดเชื่อมเปลือย (Filler rod) กับขบวนการเชื่อมทิก (GTAW) หรือ ขบวนการเชื่อมมิก/แม็ก (GMAW) เพราะการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมเปลือยไม่ต้องการกำจัดสแลกที่จะเกิดอยู่บนผิวของแนวเชื่อม

4) AWS A5.15:1990 (R2016) ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อ (Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron) ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือโค้ดออกมาดังนี้

AWS A5.15/A5.15M:R2016 **E XXX (X) –XX** ตัวอักษร และตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้
 A5.15/A5.15M หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กหล่อ
 1990(R2016) หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 1990 ปรับปรุงปี 2016



- หมายถึง = โลหะเหล็กหล่อ (Cast Iron)
- หมายถึง = ธาตุผสมหลัก คือ โลหะผสมนิกเกิล-เหล็ก (Nickel-Fe alloy)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อ เป็นชนิดลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับงานซ่อมแซมชิ้นส่วนโลหะเหล็กหล่อ เป็นสำคัญ ที่หล่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์มาแล้วเกิดความเสียหาย เช่น เกิดการแตกหักหรือแตกร้าว จากการใช้งาน ด้วยเพราะเหล็กหล้อมีสมบัติที่แข็งเปราะ และที่เป็นปัญหาที่ช่างเชื่อมมักจะกังวล คือ โลหะเหล็กหล้อมีความสามารถในการเชื่อมที่ต่ำมาก ผู้ผลิตจึงมีการผลิตลวดเชื่อมเหล็กหล่อโดยเฉพาะขึ้นที่จะใช้เชื่อมซ่อมแซมกับเหล็กหล่อชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เหล็กหล่อสีเทา (Gray cast iron) เหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) เหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Spheroidal graphite cast iron) และเหล็กหล่อผสม (Alloy cast iron) เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อในรูปที่ 7.8 โดยที่แกนลวดเชื่อมจะเป็นโลหะเหล็กที่มีธาตุคาร์บอนสูงที่มีส่วนผสมของนิกเกิลเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นการแบ่งประเภทของลวดเชื่อมจะพิจารณาจากปริมาณของธาตุนิกเกิลที่ผสมอยู่เป็นสำคัญ ดังแสดงประเภทของลวดเชื่อมเหล็กหล่อตามส่วนผสมทางเคมีที่อ้างอิงมาตรฐาน AWS A5.15/A5.15 ในตารางที่ 7.10 ซึ่งเป็นเพียงตัวอย่างของลวดเชื่อมบางประเภทเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างความเข้าใจถึงรหัสที่กำหนดอยู่บนลวดเชื่อม โดยในปัจจุบันได้มีการผลิตลวดเชื่อมออกมามากหลายเพื่อตอบสนองต่อการเพิ่มความสามารถในการเชื่อมเหล็กหล่อได้มากขึ้น ซึ่งมีทั้งการเชื่อมกันระหว่างเหล็กหล่อเชื่อมกับเหล็กหล่อ และเหล็กหล่อเชื่อมกับเหล็กกล้า และยังรวมไปถึงการเชื่อมเหล็กหล่อกับโลหะนอกกลุ่มเหล็กก็สามารถมีลวดเชื่อมที่สามารถเชื่อมได้ เมื่อพิจารณาจากรหัสหรือโค้ดของลวดที่แสดงในตาราง

เพื่อความเข้าใจถึงความหมายที่ถูกต้องจึงขออธิบายแปลความของรหัสของลวดเชื่อมที่เน้นให้ทราบถึงการที่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนงานหล่อที่จะเชื่อม ดังนี้

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อเป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของโลหะนิกเกิลเป็นหลัก (Nickel–Base Electrodes) จนบางครั้งเรียกกันว่า ลวดนิกเกิล ซึ่งแบ่งเป็นชนิด ๆ ดังนี้

ตารางที่ 7.10 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กหล่อตามมาตรฐาน AWS A5.15

ที่มา : ANSI/AWS A5.15/A5.15M, 2016

ประเภทลวดเชื่อม	SAE/ASTM ^d	ส่วนผสมทางเคมี (% wt) a,b,c										
		C	Min	Si	P	S	Fe	Ni ^e	Mo	Cu ^f	Al	Other
ENi–CI	W82001	2.0	2.5	4.0	–	0.03	8.0	85 min	–	2.5	1.0	1.0
ENi–CI–A	W82003	2.0	2.5	4.0	–	0.03	8.0	85 min	–	2.5	1.0–3.0	1.0
ENiFe–CI	W82002	2.0	2.5	4.0	–	0.03	Rem.	45–60	–	2.5	1.0	1.0
ENiFe–CI–A	W82004	2.0	2.5	4.0	–	0.03	Rem.	45–60	–	2.5	1.0–3.0	1.0
ENiFeMn–CI	W82006	2.0	10–14	1.0	–	0.03	Rem.	35–45	–	2.5	1.0	1.0
ENiCu–A	W84001	0.35–0.55	2.3	0.75	–	0.025	3.0–6.0	50–60	–	35–45	–	1.0
ENiCu–B	W84002	0.35–0.55	2.3	0.75	–	0.025	3.0–6.0	60–70	–	225–35	–	1.0

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.10

- a = ส่วนผสมทางเคมีของแกนลวดเชื่อมหรือเนื้อเชื่อม
- b = ค่าที่แสดงค่าเดียวเป็นค่าสูงสุด
- c = ‘Rem’ หมายถึง ปริมาณที่เหลือนจนครบปริมาณ 100%
- d = SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys
- e = นิกเกิลรวมกับโคบอลต์
- f = ธาตุทองแดงผสมกับธาตุเงิน



รูปที่ 7.8 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กหล่อ (Cast iron cover electrode)

ที่มา : Gemini Welding/Cast iron electrode, 2012

- ลวดเชื่อมประเภท ENi-CI → ลวดเชื่อมชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้ในการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อสีเทาเพื่อให้ติดกับเหล็กหล่อสีเทาชนิดเดียวกันเป็นสำคัญ แต่ก็ยังสามารถที่จะนำไปใช้เชื่อมเหล็กหล่อสีเทากับโลหะเหล็กชนิดอื่น ๆ ได้ หรือเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กก็สามารถเชื่อมได้ ในทางปฏิบัติการเชื่อมซ่อมโลหะเหล็กหล่อจะทำได้ยากและมีขีดจำกัดมาก เช่น ไม่เหมาะกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่เกินไป หรือต้องเป็นชิ้นงานที่ไม่มีความเค้นสะสมที่สูง (Stress concentration) หรือต้องมีกำมะถันผสมที่ต่ำ เป็นต้น เนื่องจากลวดเชื่อมประเภทนี้เมื่อเชื่อมแล้วเนื้อเชื่อมจะมีความแข็งแรงสูงมาก ซึ่งมีความเหนียวต่ำ (เปราะแตกง่าย)

- ลวดเชื่อมประเภท ENi-CI-A → ลวดเชื่อมชนิดนี้จะมีปริมาณของธาตุอลูมิเนียมผสมอยู่มาก เมื่อเชื่อมแล้วเนื้อเชื่อมจะมีความเหนียวสูง ซึ่งเป็นจุดเด่นของลวดชนิดนี้ที่ใช้เชื่อมเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียว ลดโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวอันเนื่องจากความแข็งแรงเปราะของเหล็กหล่อ นอกจากนี้ยังช่วยในการปกคลุมและการไหลตัวของสแลกจากการเชื่อมได้ดี

- ลวดเชื่อมประเภท ENiFe-CI → ลวดเชื่อมชนิดนี้เหมาะสำหรับที่จะนำไปใช้กับการเชื่อมซ่อมแซม หรือเชื่อมต่อกันของโลหะเหล็กหล่อทุกชนิด รวมถึงเหล็กหล่อกราไฟต์กลม โดยสามารถเชื่อมได้ทั้งเหล็กหล่อกับเหล็กหล่อที่เป็นชนิดเดียวกัน และกับเหล็กหล่อต่างชนิดกัน นอกจากนี้ยังสามารถที่จะนำไปใช้เชื่อมเหล็กหล่อกับเหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กกล้าผสมชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงโลหะนอกกลุ่มเหล็กบางชนิด และจะเหมาะสมมากกับการนำไปเชื่อมกับเหล็กหล่อที่มีฟอสฟอรัสผสมอยู่มากกว่า 0.2%

- ลวดเชื่อมประเภท ENiFeMn-CI → ลวดเชื่อมชนิดนี้มีความพิเศษกว่าชนิดอื่นที่มีแมงกานีสผสมสูงถึง 12% เจตนา ก็เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติในการไหลตัวของน้ำโลหะเหลว (Flow ability) และเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวของเนื้อเชื่อม (Crack) นอกจากนี้แมงกานีสยังจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึง และเพิ่มความเหนียวได้ดียิ่งด้วย เนื้อเชื่อมที่ได้จากลวดเชื่อมชนิดนี้จะมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับเนื้อของโลหะเหล็กหล่อกราไฟต์กลม ลวดเชื่อมชนิดนี้ยังนิยมนำไปใช้เชื่อมพอกเสริมผิวบนบริเวณที่ต้องการให้มีความคงทนต่อการสึกหรอ ซึ่งมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำมาก

- ลวดเชื่อมประเภท ENiCu-A และ ENiCu-B → ลวดเชื่อมชนิดนี้มีส่วนผสมที่พิเศษของโลหะทองแดงที่ผสมกับโลหะเงินมาแล้ว และมีนิกเกิล-โคบอลต์ผสมสูง เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อทุกชนิด แต่ต้องระวังเนื้อเชื่อมเกิดการแตกร้าวได้งานในกรณีที่เนื้อเชื่อมมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงเหมาะกับการเชื่อมที่บ่อหลอมละลายไม่กว้างมาก และชิ้นงานเล็ก ๆ ด้วยเพราะลวดเชื่อมชนิดนี้ขณะทำการเชื่อมบ่อหลอมละลายจะค่อนข้างเล็ก (เนื้อโลหะงานหลอมละลายน้อย)

ถึงแม้ว่าจะมีการผลิตลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อออกมาให้เลือกใช้ก็ตาม แต่ช่างเชื่อมก็ต้องระมัดระวังเสมอว่า แนวเชื่อมเหล็กหล่อมีความไวที่จะเกิดการแตกร้าวได้สูงมาก จึงต้องคอยควบคุมและระมัดระวังปัจจัยของการเชื่อมด้านต่าง ๆ ที่จะเป็นต้นเหตุของการเพิ่มความเค้นในเนื้อเชื่อมและความเค้นที่บริเวณกระทบร้อน (HAZ) ด้วยเพราะเหล็กหล่อมีคาร์บอนผสมสูงและจะเคลื่อนย้าย (Diffusion) ไปรวมตัวกันที่บริเวณเกิดความร้อนจากการอาร์กได้ง่ายและรวดเร็วทำให้

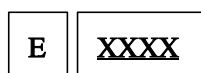
บริเวณดังกล่าวมีโครงสร้างที่เป็นคาร์ไบด์มากขึ้น (Fe_3C) นอกจากอิทธิพลทางส่วนผสมทางเคมีแล้วนั้น การออกแบบรอยต่อของการเชื่อมต่อเตรียมรอยบากหน้างานที่สามารถหลีกเลี่ยงมุมแหลมที่จะเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวได้ง่าย เช่น บากงานเป็นรูปตัว U หลีกเลี่ยงตัว V เป็นต้น

5) AWS A5.3/A5.3M:1999(R2007) เป็นข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ โลหะอลูมิเนียม (Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Electrodes for Shielded Metal Arc Welding) ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือโค้ดออกมาดังนี้

AWS A5.3/A5.3M:1999(R2007) **E XXXX** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

A5.3/A5.3M หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะอลูมิเนียม

1999(R2007) หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 1999 ปรับปรุงปี 2007



- หมายถึง = ส่วนผสมทางเคมีธาตุหลักของแกนลวดโลหะอลูมิเนียม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode)

อ้างอิงตามมาตรฐานของ AWS A5.3 A5.3M:1999(R2007) ได้กำหนดรหัสตัวเลขบ่งชี้ถึงธาตุผสมหลัก (Main alloy element) ที่นอกเหนือจากเนื้อโลหะหลักที่เป็นธาตุอลูมิเนียมของแกนลวดเชื่อมโลหะอลูมิเนียม ซึ่งจะสอดคล้องกับการแบ่งเกรดโลหะอลูมิเนียมโครงสร้าง ดังที่ได้แสดงใน **ตารางที่ 7.11** และสามารถแบ่งชนิดของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะอลูมิเนียมตามส่วนผสมทางเคมีดังแสดงใน **ตารางที่ 7.12** ควบคู่กับการแสดงผลสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมของแต่ละชนิดลวดเชื่อมที่คาดว่าจะได้หลังเสร็จสิ้นการเชื่อมใน **ตารางที่ 4.13** และตัวอย่างลวดเชื่อมใน **รูปที่ 7.9**

ตารางที่ 7.11 รหัสธาตุผสมหลักของแกนลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะอลูมิเนียมตาม AWS A5.3

ที่มา : ANSI/AWS A5.3/A5.3M, 2007

สัญลักษณ์	ธาตุผสมหลัก (Main element)
1XXX	ธาตุอลูมิเนียมบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99% (Al-pure)
2XXX	ธาตุทองแดง (Al-Cu) ปริมาณทองแดง 1.9–6.8%
3XXX	ธาตุแมงกานีส (Al-Mn) ปริมาณแมงกานีส 0.3–1.5%
4XXX	ธาตุซิลิกอน (Al-Si) ปริมาณซิลิกอน 3.6–13.5%
5XXX	ธาตุแมกนีเซียม (Al-Mg) ปริมาณแมกนีเซียม 0.5–5.5%
6XXX	ธาตุแมกนีเซียมและซิลิกอน (Al-Mg-Si) ปริมาณ Mg 0.4–1.5% Si 0.2–1.7%
7XXX	ธาตุสังกะสี (Al-Zn) ปริมาณซิลิกอน 1.0–8.2%
8XXX	ธาตุลิเทียม (Al-Li) ปริมาณลิเทียม 2.5%

ตารางที่ 7.12 ชนิดและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะอลูมิเนียมตาม AWS A5.3

ที่มา : ANSI/AWS A5.3/A5.3M, 2007

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (%wt)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Be	Other	Al
E1100	(1)	(1)	0.05–0.20	0.05	(–)	0.10	(–)	0.0008	0.15	ต่ำสุด 9
E3003	0.6	0.7	0.05–0.20	1.0–1.5	(–)	0.10	(–)	0.0008	0.15	(2)
E4043	4.5–6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	0.10	(–)	0.0008	0.15	(2)

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.12

- (1) = ธาตุซิลิกอนรวมกับธาตุเหล็กไม่ 0.95%
- (2) = ปริมาณธาตุที่เหลือรวมจนครบ 100%

- (–) = ค่าแสดงค่าเดียวเป็นค่าสูงสุด

ตารางที่ 7.13 สมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมลวดด้วยเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะอลูมิเนียมตาม AWS A5.3

ที่มา : ANSI/AWS A5.3/A5.3M, 2007

ประเภทลวดเชื่อม	ความต้านแรงเค้นดึงต่ำสุด	
	psi	Mpa
E1100	12000	82.7
E3003	14000	96.5
E4043	14000	96.5

จากข้อมูลมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะอลูมิเนียมที่กล่าวมาข้างต้นช่างเชื่อมสามารถใช้เป็นแนวทางในการที่จะเลือกใช้ลวดเชื่อมได้ถูกต้อง โดยต้องพิจารณาร่วมกับเกรดของโลหะหลัก (Base metal) ที่ต้องการเชื่อมและรวมถึงลักษณะงานที่นำไปใช้ เช่น

- กรณีโลหะอลูมิเนียมที่ใช้ในงานโครงสร้างเกรด 5052 ที่มีปริมาณของแมกนีเซียมผสม 2.5% สามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมชนิด E4043 เชื่อมง่าย มีอัตราความไวต่อการแตกร้าวต่ำ แนวเชื่อมสวยงาม สะเก็ดเชื่อมเกิดน้อย

- กรณีอลูมิเนียมโครงสร้างเกรดที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมเป็นหลัก (รหัส 5XXX) ได้แก่ เกรด 5086 หรือ เกรด 5083 จะไม่แนะนำให้เลือกใช้ลวดเชื่อมชนิด E4043 ด้วยเหตุผลเพราะลวดเชื่อมชนิดนี้มีส่วนผสมของปริมาณซิลิกอนมากถึง 5% เมื่อเชื่อมกับอลูมิเนียมที่มีแมกนีเซียมผสมหลักจะส่งผลทำให้เนื้อเชื่อมมีสมบัติทางกลที่แย่งลง

- กรณีต้องการแนวเชื่อมไปผ่านขบวนการอโนไดซ์ (Anodizing) หลังการเชื่อม ไม่แนะนำให้เลือกใช้ลวดเชื่อม 4043 เพราะซิลิกอนจะทำให้สีที่บริเวณของเนื้อเชื่อมเข้มกว่าสีของชิ้นงานโลหะหลัก ลวดเชื่อมที่เหมาะสมต้องเป็นชนิด E5356 จะเหมาะสมมากถ้าโลหะหลักเป็นอลูมิเนียมโครงสร้างเกรดที่มีธาตุแมกนีเซียมและซิลิกอนเป็นธาตุผสมหลัก (6XXX)

● กรณีต้องการปรับปรุงสมบัติแนวเชื่อมหรือเนื้อเชื่อมด้วยกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment) หลังจากการเชื่อมเสร็จ ไม่สามารถทำได้กับแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม E1100 และ E4043 และ E 4365 โดยจะเหมาะกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม E4643 บนอลูมิเนียมเกรด 6XXX และ ลวดเชื่อม E5180 บนอลูมิเนียมเกรด 7XXX ที่สามารถนำแนวเชื่อมไปทำการปรับปรุงสมบัติทางกลได้ดี เช่น การเชื่อมอลูมิเนียมโครงรถจักรยานที่ใช้อลูมิเนียมโครงสร้างเกรด 7005 เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังมี เกรดอื่น ๆ ที่สามารถทำได้ เช่น เกรด 2319 เกรด 2060 เกรด 4009 เกรด 4145 เกรด A356.0 เกรด C355.0 เกรด 357.0 เป็นต้น

จากกรณีตัวอย่างของการเลือกใช้ลวดเชื่อมให้เหมาะสมและข้อควรระวังที่แนะนำจากประสบการณ์ของผู้เขียนนั้น จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ช่างเชื่อมต้องมีความรู้และความเข้าใจถึงเหตุผลของการที่จะนำมาพิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อม ดังนั้นจากข้อมูลที่ศึกษาค้นคว้ารวมกับทักษะประสบการณ์ด้านงานเชื่อมพอจะรวบรวมหลักเกณฑ์ที่จะนำมาใช้พิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมดังนี้

- (1) ความแข็งแรงของเนื้อเชื่อมหรือแนวเชื่อมที่ต้องการ
- (2) อัตราความไวที่จะเกิดการแตกร้าวของแนวเชื่อม
- (3) สภาพแวดล้อมหรือระดับของอุณหภูมิที่จะนำแนวเชื่อมไปใช้งาน
- (4) ความสามารถในการยึดตัวหรือยึดหยุ่นของแนวเชื่อม
- (5) ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อม
- (6) ความสามารถในการปรับปรุงสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อนภายหลังการเชื่อม
- (7) ความสวยงามหรือความสมดุลของสีผิวแนวเชื่อมกับผิวโลหะชิ้นงานหลัก

อย่างไรก็ตามหลักเกณฑ์พิจารณาเหล่านี้ที่จะนำมาใช้ได้อย่างสมบูรณ์และสามารถเสริมสร้างคุณภาพของแนวเชื่อมได้ตามต้องการนั้น จะต้องสัมพันธ์กับผู้ออกแบบข้อกำหนดในการเชื่อมเป็นสำคัญที่ต้องเข้าใจในลักษณะเฉพาะของโลหะอลูมิเนียมแต่ละประเภทรวมทั้งลักษณะของการนำไปใช้งาน



รูปที่ 7.9 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะอลูมิเนียม (Aluminum cover electrode)

ที่มา : Lincoln Electric/Aluminum cover electrode. 2013

4.2 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standard)

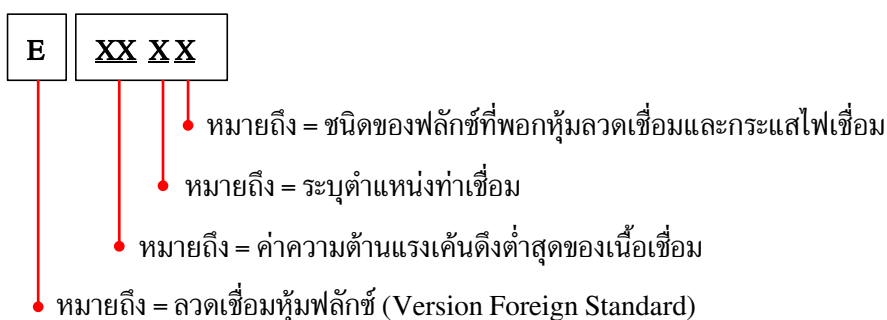
ประเทศญี่ปุ่นเป็นประเทศหนึ่งที่มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีการเชื่อมได้อย่างก้าวหน้ามาก จึงได้มีการสร้างหรือกำหนดมาตรฐานขึ้นเป็นของตนเอง และก็เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ จึงได้มีการนำมาตรฐานญี่ปุ่นมาใช้เป็นข้อกำหนดการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมการเชื่อมกันมากขึ้น โดยเฉพาะประเทศไทย ดังนั้นผู้เขียนจึงมีเจตนาที่จะนำมาเขียนเป็นข้อมูลสำหรับความรู้ความเข้าใจถึงมาตรฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ของมาตรฐานลวดเชื่อมของแต่ละประเภทและแต่ละชนิดลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ดังนี้

1) JIS Z 3211-2008 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานงานเย็น (Covered Electrodes for Mild Steel, High Tensile Strength Steel and Low Temperature Service Steel : Foreign Standard) โดยเป็นเวอร์ชันระดับสากล ซึ่งได้ทำการกำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานออกมาดังนี้

JIS Z 3211-1991(R2008) **E XX XX** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

JIS Z 3211 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานงานเย็น

1991(R2008) หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 1991 ปรับปรุงปี 2008



ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานงานเย็น ตามมาตรฐาน JIS Z 3211 นี้ จะมีรหัสหรือโค้ดที่ระบุไว้บนลวดเชื่อม โดยจะสามารถทราบถึงชนิดของฟลักซ์ที่พอกหุ้ม ท่าเชื่อม และชนิดของกระแสไฟเชื่อมที่สามารถเลือกใช้ได้ ดังแสดงใน **ตารางที่ 7.14** และยกตัวอย่างเป็นเบื้องต้น ตัวอย่างเช่น ลวดเชื่อม E4313 มีความหมายดังนี้

เป็นลวดเชื่อมที่พอกหุ้มฟลักซ์ชนิดไทเทเนียมออกไซด์ มีค่าความต้านทานแรงเค้นดึงของเนื้อเชื่อมต่ำสุด 420 N/mm^2 (43) โดยสามารถทำการเชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม (1) ซึ่งสามารถเลือกใช้กระแสไฟเชื่อม AC และ DCEN (3) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติมาตรฐาน JIS จะไม่ค่อยคุ้นเคยกันเนื่องจากเมื่อเทียบความเป็นมาตรฐานสากลจะยังนิยมอ้างอิงกับมาตรฐานของชาติสหรัฐอเมริกา (AWS) หรือไม่ก็เป็นมาตรฐานของกลุ่มชาติประเทศยุโรป (EN ISO) ซึ่งโดยปกติผู้ผลิตส่วนใหญ่มักจะระบุมาตรฐานไว้ในข้อแนะนำการใช้งานภายในกล่องบรรจุไว้มากกว่าหนึ่งมาตรฐานเพื่อการสอบ

เทียบเคียงมาตรฐาน ดังแสดงตัวอย่างเอกสารประกอบการใช้งานจากผู้ผลิตลวดเชื่อมของบริษัท KISWEL LTD. ของประเทศเกาหลีใต้ ในรูปที่ 7.10



■ Description

- Covering is high cellulose type for welding of sheet, pipes in building
- As the welding in poor groove fit up and vertical down welding can be performed easily, it is used in all position welding
- Good mechanical properties and the weld metal needs requirement X-ray
- Gives high ductility root weld and easy slag removal
- Stables arc performance in almost welding current

■ Classification

• AWS A5.1	: E6011	• EN ISO 2560-A	: E 38 2 C 12
• JIS Z 3211	: E4311	• EN ISO 2560-B	: E 43 11 A

■ Welding Position



■ Base Materials

Industry	Steel Grades	Type
General structural	EN 10025	S185, S235, S275
Ship	ASTM A131	A, B, D
Cast	EN 10213-2	GP240R
Pipe	EN 10208	L210, L240, L290
	API 5LX	X42, X46
Boiler & Pressure vessel	EN10028-2	P235, P265, P295

รูปที่ 7.10 แสดงการระบุมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่หลากหลายมาตรฐานของผู้ผลิต

ที่มา : KISWEL Premium Arc Weldung Electrode, 2019

ตารางที่ 7.14 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน JIS Z 3211

ที่มา : JIS Z 3211:1991 (R2008) (Version Foreign Standard), 2008

ประเภทลวดเชื่อม	ชนิดฟลักซ์หุ้ม	ตำแหน่งที่เชื่อม	กระแสไฟเชื่อม
E4301	อีลเมโรต์	F/ V/ O/ H	AC/DCEP/DCEN
E4303	โลม-ไมเทเนีย	F/ V/ O/ H	AC/DCEP/DCEN
E4311	เซลลูโลสสูง	F/ V/ O/ H	AC/DCEP/DCEN
E4313	ไทเทเนียมออกไซด์	F/ V/ O/ H	AC/DCEN
E4316	ไฮโดรเจนต่ำ	F/ V/ O/ H	AC/DCEP
E4324	ไทเทเนียมออกไซด์-ผงเหล็ก	F/ H	AC/DCEP/DCEN
E4326	ไฮโดรเจนต่ำ-ผงเหล็ก	F/ H	AC/DCEP
E4327	เหล็กออกไซด์-ผงเหล็ก	F	AC/DCEP/DCEN
		H	AC/DCEN
E4340	ฟลักซ์พิเศษ	F/ V/ O/ H	AC/DCEP/DCEN

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.14

- F = การเชื่อมท่าราบ
- V = การเชื่อมท่าตั้ง
- H = การเชื่อมท่าระดับ
- O = การเชื่อมท่าเหนือศีรษะ
- E = ตัวอักษรที่แสดงถึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ของมาตรฐานญี่ปุ่นที่ใช้ในระดับสากล (Foreign Standard) แต่ถ้าเป็นระดับชาติของญี่ปุ่นจะใช้ตัวอักษรตัว D (เดงโกะ โยเซชิโนะ)

2) JIS Z 3221-2013 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Covered Electrodes : Foreign Standard) เป็นเวอร์ชันระดับสากล ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานออกมดังนี้

JIS Z 3221-1991(R2013) **ES XXL X X** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

JIS Z 3221 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม

1991(R2013) หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 1991 ปรับปรุงปี 2013

E	S	XXL X X
---	---	---------

- หมายถึง = ระบุตำแหน่งท่าเชื่อม
- หมายถึง = ธาตุผสมสูงพิเศษ
- หมายถึง = ปริมาณธาตุคาร์บอนผสมต่ำ (Low Carbon)
- หมายถึง = ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Version Foreign Standard)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน JIS Z 3221 จะจัดแบ่งลวดเชื่อมออกเป็นประเภทต่าง ๆ โดยอ้างอิงตามกลุ่มและเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่เป็นโลหะรูปพรรณที่มีการใช้งานกันทั่ว ๆ ไป ได้แก่ กลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steel) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติค (Martensitic stainless steel) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic stainless steel) เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex stainless steel) ซึ่งได้นำแสดงมาเป็นตัวอย่างของประเภทลวดเชื่อมใน **ตารางที่ 7.15** เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้เมื่อข้อกำหนดของงานอ้างอิงตามมาตรฐาน JIS ซึ่งในรหัสหรือโค้ดมาตรฐานนั้นจะระบุให้ทราบถึง เกรดของลวดแกนกลางเหล็กกล้าไร้สนิม ทำเชื่อม และ ชนิดของกระแสไฟเชื่อมที่สามารถเลือกใช้ได้ รวมถึงการระบุถึงธาตุผสมพิเศษเพิ่มเติมและปริมาณธาตุคาร์บอนที่ต่ำ (L) เป็นต้น และได้แสดงตัวอย่างลวดเชื่อมที่ผลิตโดยบริษัทญี่ปุ่นอิงตามมาตรฐาน JIS Z 3221 ใน **รูปที่ 7.11** นอกจากนี้มาตรฐานของลวดเชื่อมยังบอกถึงส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ที่จะทำนายได้ว่าเนื้อเชื่อมหลังการเชื่อมเสร็จสิ้นจะมีส่วนผสมทางเคมีของธาตุใดบ้างและมีปริมาณเท่าไรของการเลือกใช้ลวดเชื่อมแต่ละประเภท ดังแสดงใน **ตารางที่ 7.16** รวมไปถึงสามารถทราบสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมด้านการทดสอบแรงดึง ดังแสดงใน **ตารางที่ 7.17**

เป็นที่ทราบกันดีว่าการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมนอกจากความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม (Perfect weld bead) ความแข็งแรงของแนวเชื่อม และความสวยงามของแนวเชื่อมที่ต้องคำนึงแล้วนั้น ที่จำเป็นต้องพิจารณา คือ ความทนทานต่อการกัดกร่อนของเนื้อเชื่อมหรือโดยรวม ๆ แนวเชื่อม เพราะเป็นข้อเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งต้องพิจารณากันถึงระดับโครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อม โดยจะสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมที่เลือกใช้และส่วนผสมทางเคมีของโลหะหลักที่ต้องการเชื่อม โดยเหล็กกล้าไร้สนิมแต่ละเกรดแต่ละประเภทก็จะต้องการปริมาณและชนิดธาตุผสมที่เพียงพอต่อการป้องกันการกัดกร่อนที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการที่ผู้ผลิตได้พยายามระบุส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไว้ ถือว่าเป็นปัจจัยเครื่องมืออันสำคัญและมีประโยชน์ยิ่งต่อการพิจารณาเลือกใช้เลือกเชื่อมได้ถูกต้อง ดังแสดงเป็นตัวอย่างของลวดเชื่อมบางประเภทใน **ตารางที่ 7.16**



รูปที่ 7.11 ตัวอย่างลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐานของผู้ผลิตญี่ปุ่น (JIS Z 3221)

ที่มา : YAWATA Welding Electrode, 2015

ตารางที่ 7.15 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน JIS Z 3221-2013

ที่มา : JIS Z 3221-2013 (Version Foreign Standard), 2013

ประเภทลวดเชื่อม	ทำเชื่อม	ชนิดของ กระแสไฟฟ้า	ประเภทลวดเชื่อม	ทำเชื่อม	ชนิดของ กระแสไฟฟ้า
E307	15	F/V/O/H	E316L	15	F/V/O/H
	16	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E308	1.5	F/V/O/H	E316JIL	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E308L	1.5	F/V/O/H	E317	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E309	1.5	F/V/O/H	E317L	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E309L	1.5	F/V/O/H	E318	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E309 Nb	1.5	F/V/O/H	E329 JL	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E309 NbL	1.5	F/V/O/H	E347	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E309 Mo	1.5	F/V/O/H	E347L	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E309 MoL	1.5	F/V/O/H	E349	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E310	1.5	F/V/O/H	E410	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E310 Mo	1.5	F/V/O/H	E410 Nb	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E312	1.5	F/V/O/H	E430	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E16-9-8-2	1.5	F/V/O/H	E430 Nb	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H
E316	1.5	F/V/O/H	E630	15	F/V/O/H
	1.6	F/V/O/H		16	F/V/O/H

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.15

- F = การเชื่อมท่าราบ
- V = การเชื่อมท่าตั้ง
- H = การเชื่อมท่าระดับ
- O = การเชื่อมท่าเหนือศีรษะ
- AC = ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative current)
- DCEP = ไฟฟ้ากระแสตรง โดยลวดเชื่อมเป็นขั้วบวก (+)

ตารางที่ 7.16 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน JIS Z 3221-2013

ที่มา : JIS Z 3221-2013 (Version Foreign Standard), 2013

ประเภท ลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (% wt)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mb	Others
E307	0.13	0.9	3.0 to 8.0	0.04	0.03	9.0 to 11.0	18.0 to 21.0	0.5 to 1.5	–
E308	0.08	0.9	2.5	0.04	0.03	12.0 to 14.0	18.0 to 21.0	–	–
E308 L	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	18.0 to 21.0	–	–
E309	0.15	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	20.0 to 25.0	–	–
E309 L	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	20.0 to 25.0	–	–
E309 Nb	0.12	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	20.0 to 25.0	–	Nb 0.70 to 1.00
E309 NbL	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	20.0 to 25.0	–	Nb 0.70 to 1.00
E309 Mo	0.12	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	20.0 to 25.0	2.0 to 3.0	–
E309 MoL	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 14.0	20.0 to 25.0	2.0 to 3.0	–
E310	0.2	0.75	2.5	0.04	0.03	20.0 to 22.0	20.0 to 25.0	–	–
E310 Mo	0.12	0.75	2.5	0.04	0.03	20.0 to 22.0	25.0 to 28.0	2.0 to 3.0	–
E312	0.15	0.9	2.5	0.04	0.03	8.0 to 10.5	28.0 to 32.0	–	–
E16-8-2	0.1	0.9	2.5	0.04	0.03	7.5 to 9.5	14.5 to 16.5	1.0 to 3.0	–
E316	0.08	0.9	2.5	0.04	0.03	11.0 to 14.0	17.0 to 20.0	20.0 to 2.75	–
E316 L	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	11.0 to 14.0	17.0 to 20.0	12.0 to 2.75	–
E316 JIL	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	11.0 to 16.0	17.0 to 20.0	12.0 to 2.75	–
E317	0.08	0.9	2.5	0.04	0.03	12.0 to 14.0	18.0 to 21.0	3.0 to 4.0	–
E317 L	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	12.0 to 16.0	18.0 to 21.0	3.0 to 4.0	–
E318	0.08	0.9	2.5	0.04	0.03	11.0 to 14.0	17.0 to 20.0	2.0 to 2.5	Cu 1.0 to 2.50
E329 JL	0.08	0.9	2.5	0.04	0.03	6.0 to 8.0	23.0 to 28.0	1.0 to 3.0	–
E347	0.08	0.9	2.5	0.04	0.03	9.0 to 11.0	18.0 to 21.0	–	Nb 8xC% to 1.0
E347 L	0.04	0.9	2.5	0.04	0.03	9.00 to 11.0	18.0 to 21.0	–	Nb 8xC% to 1.0
E349	0.13	0.9	2.5	0.04	0.03	8.0 to 11.0	18.0 to 21.0	0.35 to 0.65	W 1.25 to 1.75 Nb 0.75 to 1.20
E410	0.12	0.9	1	0.04	0.03	0.06	11.0 to 14.0	–	–
E410 Nb	0.12	0.9	1	0.04	0.03	0.06	11.0 to 14.0	–	Nb 0.50 to 1.50
E430	0.1	0.9	1	0.04	0.03	0.06	15.0 to 18.0	–	–
E430 Nb	0.1	0.9	1	0.04	0.03	0.06	15.0 to 18.0	–	Nb 0.50 to 1.50
E630	0.05	0.75	2.50– 0.75	0.04	0.03	4.50 – 5.0	16.0 to 16.75	0.35 to 0.65	Nb 0.15 to 0.30 Cu 3.25 to 4.0

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.16

- ค่าที่แสดง กรณีที่เป็นเดียวจะหมายถึง ค่าที่มากที่สุดของปริมาณธาตุผสม

ตารางที่ 7.17 สมบัติด้านแรงดึงลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน JIS Z 3221-2013

ที่มา : JIS Z 3221-2013 (Version Foreign Standard), 2013

ประเภทของลวดเชื่อม	การทดสอบแรงดึง (Tensile test)	
	ความเค้นแรงดึงต่ำสุด (N/mm ²)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำสุด (%)
E307	590	30
E308	550	35
E308L	510	35
E309	550	30
E309L	510	30
E309 Nb	550	30
E309 Mo	510	30
E309LMo	510	30
E310	510	30
E310Mo	550	30
E312	660	22
E16-8-2	550	35
E316	550	30
E316L	510	35
E316JIL	510	35
E317	550	30
E317L	510	30
E318	550	25
E329JI	590	18
E347	550	30
E347L	510	30
E349	690	25
E410() ¹	480	25
E410 Nb() ¹	480	25
E430() ²	480	20
E430 Nb() ²	480	20
E630() ³	930	7

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.17

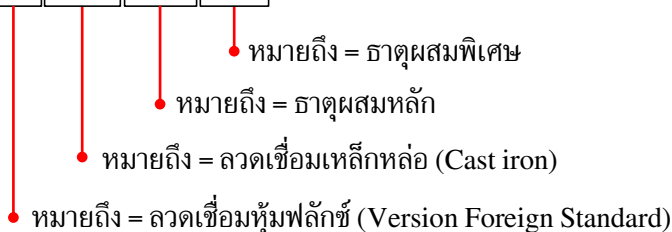
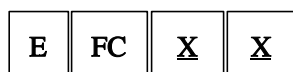
- ()¹ = ชี้นงานอบที่ 840–870°C เวลา 2 ชม ปลดปล่อยเย็นตัวถึง 590°C ที่ 55°C/ชม และให้เย็นตัวในอากาศ
- ()² = ชี้นงานอบที่ 760–785°C เวลา 2 ชม ปลดปล่อยเย็นตัวถึง 590°C ที่ 55°C/ชม และให้เย็นตัวในอากาศ
- ()³ = ชี้นงานอบที่ 1,025–1050°C เวลา 1 ชม ปลดปล่อยเย็นตัวในอากาศ จากนั้นอบต่อที่ 601–630°C เป็นเวลา 4 ชม และก็ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

3) JIS Z 3252-2012 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กหล่อ (Covered Electrodes, Solid Wire, Rods and Flux Cored Wires for Cast Iron : Foreign Standard) โดยเป็นมาตรฐานเวอร์ชันระดับสากล ซึ่งได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานออกมาดังนี้

JIS Z 3252-2012 **EFCX** ตัวอักษร และตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

JIS Z 3221 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ

1991(R2013) หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 1991 ปรับปรุงปี 2013



ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อจะมีการผลิตออกมาไม่หลากหลายเหมือนลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ประเภทอื่น ๆ คงเป็นเหตุผลที่โลหะเหล็กหล่อมีความสามารถในการเชื่อมที่ต่ำ เชื่อมยากและมีโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวจากการเชื่อมค่อนข้างสูง จะมีการเชื่อมบ้างก็จะเป็นการเชื่อมเพื่อซ่อมแซมที่เกิดการใช้งานชิ้นส่วนเหล็กหล่อแล้วเกิดความแตกร้าวหรือแตกหักเสียหาย ดังนั้นประเภทของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเหล็กหล่อมีให้เลือกใช้น้อย โดยจะขอยกตัวอย่างลวดเชื่อมเหล็กหล่อบางชนิดที่นิยมใช้กันดังนี้

1) ลวดเชื่อม JIS Z 3252 EFCNi → เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่มีผงฟลักซ์ที่พอกหุ้มเป็นชนิดกราไฟต์ และแกนลวดเชื่อมเป็นโลหะนิกเกิลบริสุทธิ์ รอยเชื่อมที่ได้และบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (Heat Affected Zone : HAZ) จะมีค่าความแข็งต่ำที่สุด ดังนั้น เนื้อเชื่อมที่ได้จะมีความสามารถในการกลึงตกแต่งด้วยเครื่องจักรได้ค่อนข้างดี (ไม่แข็งมาก) ในแง่ของความสามารถในการเชื่อมก็ค่อนข้างที่จะเชื่อมได้ดี การอาร์กคงที่สม่ำเสมอ สดלקำจัดออกได้ง่าย เชื่อมได้โดยไม่ต้องทำการ PWHT โดยลวดเชื่อมประเภทนี้จะรู้จักกันดีในชื่อ Ni Cast 98 ดังแสดงใน **รูปที่ 7.12 (ก)** ซึ่งหมายถึงเป็นลวดเชื่อมที่มีธาตุโลหะนิกเกิล 98% (นิกเกิลบริสุทธิ์)

2) ลวดเชื่อม JIS Z 3252 EFCNiFe → เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่มีผงฟลักซ์พอกหุ้มเป็นชนิดกราไฟต์ โดยมีแกนลวดเชื่อมที่มีโลหะนิกเกิล (Ni) ผสมอยู่ที่ปริมาณ 55% ที่ผสมรวมกับโลหะเหล็ก (Fe) ดังแสดงใน **รูปที่ 7.12 (ข)** จุดประสงค์เพื่อให้ความร้อนที่ลวดเชื่อมจะไม่สูงเกินไป และจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติขณะทำการเชื่อม ซึ่งมีความสามารถในการเชื่อม (Welding abilities) ที่ดี เนื้อเชื่อมจะมีความแข็งแรงสูงกว่าลวดเชื่อม JIS Z 3252 EFCNi ทนทานต่อการแตกร้าว มีสมบัติทางกลที่ดี เหมาะกับการเชื่อมเหล็กหล่อทั่วไปและเหล็กหล่อเหนียว

3) ลวดเชื่อม JIS Z 3252 EFCFe → เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่มีผงฟลักซ์เป็นชนิดไฮโดรเจนต่ำ โดยมีแกนลวดเชื่อมเป็นเหล็กบริสุทธิ์ เนื้อเชื่อมที่ได้จะมีความแข็งที่สูงมาก สูงกว่าลวดเชื่อมประเภท JIS Z 3252 EFCNi และ JIS Z 3252 EFCNiFe ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ดังนั้น ลวดเชื่อมชนิดนี้จะเหมาะสมกับการเชื่อมชิ้นงานเหล็กหล่อที่ไม่ต้องผ่านการตกแต่งด้วยเครื่องจักรหลังการเชื่อม



(ก) ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อ 98%Ni (ข) ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อ 55%Ni

รูปที่ 7.12 ตัวอย่างลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อมาตรฐานของผู้ผลิตญี่ปุ่น (JIS Z 3252)

ที่มา : YAWATA Welding Electrode, 2015

จากรหัสหรือโค้ดที่ระบุบนก้านลวดเชื่อมเหล็กหล่อของแต่ละชนิดสามารถที่จะระบุถึงส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมที่จะได้ในเนื้อเชื่อม โดยสามารถตรวจสอบได้จากคู่มือลวดเชื่อมจากผู้ผลิตตามมาตรฐาน ดังแสดงเป็นตัวอย่างส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อบางชนิดในตารางที่ 7.18 และแสดงสมบัติทางกลทางด้านแรงดึงของเนื้อเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 7.19 นอกจากนี้มาตรฐานยังบอกถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมที่สัมพันธ์กับขนาดความยาวของลวดเชื่อม ที่ช่างเชื่อมสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับลักษณะงานที่จะทำการเชื่อม (แต่โดยในเชิงการพาณิชย์ผู้ผลิตจะระบุข้างกล่องบรรจุเป็นน้ำหนักของลวดเชื่อมทั้งกล่อง (กิโลกรัม/กล่อง เช่น ระบุ 2 กก./กล่อง หรือ 1 กก./กล่อง) เป็นต้น

ตารางที่ 7.18 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อมาตรฐาน JIS Z 3252-2012

ที่มา : YAWATA Welding Electrode อิงมาตรฐาน JIS Z 3252 (Version Foreign Standard), 2012

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe
JIS Z 3252 EFCNi	0.99	0.11	0.57	0.002	0.001	Bal.	1.71
JIS Z 3252 EFCNiFe	1.15	0.31	1.96	0.004	0.001	54.8	Bal.
JIS Z 3252 EFCFe	0.04	0.50	0.48	0.006	0.002	—	Bal.

ตารางที่ 7.19 สมบัติทางกลและขนาดลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อมาตรฐาน JIS Z 3252-2012

ที่มา : YAWATA Welding Electrode อิงมาตรฐาน JIS Z 3252 (Version Foreign Standard), 2012

ประเภทลวดเชื่อม	สมบัติทางกลของเนื้อเชื่อม		ขนาดของลวดเชื่อม			
	ความเค้นดึงต่ำสุด (MPa)	การยืดตัว (%)	ขนาด φ ลวดเชื่อม/ความยาว (มม)/(มม)			
JIS Z 3252 EFCNi	480	–	2.6/–	3.2/350	4.0/350	5.0/350
JIS Z 3252 EFCNiFe	520	–	2.6/300	3.2/300	4.0/350	5.0/–
JIS Z 3252 EFCFe	490	33	2.6/300	3.2/350	4.0/400	5.0/–

ข้อแนะนำหรือข้อเสนอนี้มาจากประสบการณ์ของผู้เขียนในขบวนการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ ด้วยลวดเชื่อมนิกเกิล 55% (NiCast 55) และนิกเกิลบริสุทธิ์ 98% (NiCast 98) ควรเลือกใช้กระแสไฟเชื่อมที่ต่ำ และต้องรักษาระดับอุณหภูมิขณะเชื่อมไม่ให้เกิดความร้อนสะสมมากเกินไป เพราะถ้าเกิดมีปริมาณความร้อนสะสมมากจะมีผลทำให้แนวเชื่อมมีการแตกร้าวหลังการเย็นตัว ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้ง่ายและเป็นปัญหามากในการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ นอกจากนี้การทำความสะอาดบริเวณผิวชิ้นงานก่อนเชื่อมก็เป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะช่วยลดปัญหาการเกิดการแตกร้าวของการเชื่อมชิ้นงานโลหะเหล็กหล่อได้ โดยเฉพาะงานเชื่อมพอกอะไหล่ชิ้นส่วนจักรกล หรือการเชื่อมเสริมเนื้อลูกทียบ ลูกรีดต่าง ๆ ที่ต้องการผิวงานที่แข็งและทนทานต่อการสึกหรอไปใช้งาน นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอนี้ในทางเทคนิคการเชื่อมต่าง ๆ ได้แก่ ลวดเชื่อมต้องแห้งสนิทปราศจากความชื้นด้วยการอบที่อุณหภูมิ 80 – 120°C เป็นเวลาอย่างน้อย 60 นาที ผิวชิ้นงานต้องกำจัดชั้นผิวที่เสื่อมสภาพออกให้หมด การเชื่อมควรเชื่อมแนวสั้น ๆ ไม่ควรเชื่อมแนวต่อเนื่อง เพื่อลดความร้อนสะสมในโลหะชิ้นงานที่เชื่อม

สำหรับท่าเชื่อมของการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ รหัสหรือโค้ดจะไม่ระบุด้วยเหตุผล เพราะว่าลวดเชื่อมเหล็กหล่อทุกประเภทสามารถเชื่อมได้ทุกตำแหน่งที่เชื่อม (All position welding) ไม่มีปัญหาในเรื่องของการไหลตัวของน้ำเหล็กเหลวที่หลอมจากการอาร์ก เพราะสมบัติพื้นฐานการไหลตัวของโลหะเหล็กหล่อมีสูงมาจากอิทธิพลของธาตุที่ผสมอยู่ในโลหะเหล็กหล่อ ดังนั้นมีข้อแนะนำว่ากรณีที่เชื่อมด้วยท่าเชื่อมลงในแนวตั้ง (Vertical Downwards : VD) ทั้งแบบต่อชนและแบบต่อตัวที่ ช่างเชื่อมต้องควบคุมหัวเชื่อมอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษเพราะน้ำโลหะเหลวจะไหลตัวเร็วมาก ซึ่งโดยปกติการเชื่อมซ่อมแซมโลหะเหล็กหล่อส่วนใหญ่เป็นการเชื่อมโลหะที่เป็นชนิดและเกรดส่วนผสมเดียวกัน (Similar welding) จะเกิดปัญหาน้อยมากในเชิงโลหะวิทยางานเชื่อม แต่พบว่าผู้ผลิตมักจะระบุว่าสามารถเชื่อมโลหะเหล็กหล่อกับโลหะกับเหล็กเหนียวได้ ซึ่งในกรณีที่เป็นโลหะต่างเกรดส่วนผสมทางเคมีในลักษณะนี้ (Dissimilar welding) ถึงแม้ว่าลวดเชื่อมเหล็กหล่อจะสามารถเชื่อมได้ก็ตามแต่ในทางปฏิบัติการเชื่อม ต้องใช้ทักษะในการควบคุมการเชื่อม และปัจจัยการเชื่อมที่ถูกต้องแม่นยำ ไม่เช่นนั้นจะเกิดความไม่สมบูรณ์หรือเกิดข้อบกพร่องของแนวเชื่อมหรือเนื้อเชื่อมได้ง่าย

4.3 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐานสากล ISO (International Organization for Standardization)

มาตรฐานลวดเชื่อมนี้จะใช้กันแพร่หลายในประเทศแถบยุโรปที่อาจถือได้ว่าเป็นมาตรฐานหลักของกลุ่มชาติทางโซนยุโรปในชื่อมาตรฐาน EUROPEAN STANDARDS : EN ซึ่งเมื่อสร้างกำหนดที่อิงกับ ISO จึงเกิดเป็นมาตรฐานยุโรปที่รู้จักกันดีในรหัส EN ISO นอกจากนี้บางประเทศที่ได้มีข้อกำหนดแยกออกมาก็จะสร้างรหัสเพิ่มเติม เช่น ประเทศสหราชอาณาจักร ใช้รหัส BS EN ISO ซึ่ง BS คือ British Standards สำหรับการนำเสนอมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ในหัวข้อนี้จะอ้างอิงมาตรฐานสากล (International Standard)

1) ISO 2560 : 2020 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Non-Alloy and Fine Grain Steels)

มาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สากล (ISO) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานออกมาประกอบด้วย 4 ส่วนสัญลักษณ์ ดังนี้

- ส่วนสัญลักษณ์ของลวดเชื่อม
- ส่วนสัญลักษณ์แสดงส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม
- ส่วนสัญลักษณ์แสดงสมบัติทางกล
- ส่วนสัญลักษณ์บ่งชี้ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้ม

ISO 2560 : 2012 **E X X X X X X X** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

ISO 2560 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

2012 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 2012

E	X	X	X	X	X	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---

- หมายถึง = ปริมาณไฮโดรเจนในเนื้อเชื่อม
- หมายถึง = กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเชื่อม
- หมายถึง = ตำแหน่งท่าเชื่อม
- หมายถึง = ประสิทธิภาพหรือความสามารถในการเชื่อม
- หมายถึง = ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้มลวดเชื่อม
- หมายถึง = ความต้านทานการกระแทกและการยึดตัวของเนื้อเชื่อม
- หมายถึง = ความต้านทานแรงเค้นดึงของเนื้อเชื่อม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

จากการแสดงถึงความหมายของข้อกำหนดรหัสหรือโค้ดตามมาตรฐาน ISO 2560 : 2012 ในข้างต้นนั้น ซึ่งรหัสแต่ละตำแหน่งที่ระบุบนลวดเชื่อมจะบ่งชี้ถึงความหมายที่ชัดเจน เพื่อเสริมความเข้าใจถึงรหัสต่าง ๆ ของลวดเชื่อมและสามารถแปลความหมายได้ถูกต้อง จึงขอยกตัวอย่างลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์มาตรฐาน ISO 2560 ที่สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้า ดังนี้

ลวดเชื่อม **E 42 5 B 42 H5** แปลความหมายเพื่อการเลือกใช้โดยอ้างอิงตามข้อมูลตามมาตรฐานสากล (ISO) ดังที่แสดงในรูปที่ 7.13

- **E** = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับการเชื่อมอาร์กไฟฟ้า
- **42** = ความต้านทานแรงเค้นดึงของเนื้อเชื่อม 500 ถึง 640 MPa
- **5** = ความต้านทานการกระแทก -50 J และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว 20%
- **B** = เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่ใช้ฟลักซ์ชนิดต่างพอกหุ้ม (Basic)
- **4** = มีความสามารถในการยืดตัว 105 ถึง 125% และสามารถเชื่อมได้ด้วยกระแสไฟ DC
- **2** = สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม ยกเว้น ท่าตั้งเชื่อมลง (Vertical-down)
- **H5** = ปริมาณไฮโดรเจนผสมอยู่ในเนื้อเชื่อมไม่เกิน 5 ml/100g

Symbol	Tensile strength (MPa)	Minimum yield strength (MPa)	Minimum elongation (%)
35	440 to 570	355	22
38	470 to 600	380	20
42	500 to 640	420	20
46	530 to 680	460	20
50	560 to 720	500	18

Symbol	Impact energy Charpy-V at 47 J (°C)
Z	no requirements
A	+20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

Symbol	Coating type
A	Acid
B	Basic
C	Cellulosic
R	Rutile
RR	Rutile (thick coated)
RC	Rutile-Cellulosic
RA	Rutile-Acid
RB	Rutile-Basic

Covered electrode for manual metal arc welding

E 42 5 B 42 H5

Symbol	Metal recovery (%)	Current type
1	≤ 105	AC and DC
2		DC
3	≤ 125	AC and DC
4		DC
5	≤ 160	AC and DC
6		DC
7	> 160	AC and DC
8		DC

Symbol	Welding position
1	PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG (all positions)
2	PA, PB, PC, PD, PE, PF (all positions, except vertical-down)
3	PA, PB (flat butt weld, flat fillet weld, horizontal-vertical weld)
4	PA (flat butt weld, flat fillet weld)
5	PA, PB, PG (vertical-down and positions according to symbol 3)

Symbol	Max. hydrogen content in weld metal (ml/100g)
H5	5
H10	10
H15	15

รูปที่ 7.13 ความหมายของรหัสหรือโค้ดลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้ามาตรฐานสากล (ISO)

ที่มา : Guide to EN ISO 2560:2012, MMA Electrode, 2012

เป็นที่ทราบกันดีว่าลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมอาร์กด้วยไฟฟ้าหรือที่เรียกกันว่าเชื่อมไฟฟ้า นิยมใช้งานกันมากด้วยเพราะสามารถเชื่อมโลหะได้เกือบทุกชนิดโดยเฉพาะโลหะกลุ่มเหล็ก ผู้ผลิตลวดเชื่อมก็ผลิตออกมารองรับกับการเลือกใช้ลวดเชื่อมมากมายหลายเกรด ซึ่งไม่อาจที่นำมาแสดงไว้ในบทเรียนนี้ได้ทั้งหมด โดยจะคัดเลือกมาบางชนิดเพื่อเป็นตัวอย่างของลวดเชื่อมซึ่งจะแสดงถึงรหัสหรือโค้ดของลวดเชื่อมพร้อมส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 7.20 และแสดงสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมที่จะได้หลังการเชื่อมของแต่ละรหัสหรือโค้ดลวดเชื่อมในตารางที่ 7.21 พร้อมกับแสดงตัวอย่างการระบุมาตรฐานที่สามารถตรวจสอบได้บริเวณข้างกล่องบรรจุลวดเชื่อมในรูปที่ 7.14

ตารางที่ 7.20 ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้ามาตรฐาน ISO 2560:2012

ที่มา : International Standard ISO 2560:2012, 2012

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)										
	C	Min	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al
E4310	0.20	1.20	1.00	NS	NS	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4311	0.20	1.20	1.00	NS	NS	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4316	0.20	1.20	1.00	NS	NS	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4319	0.20	1.20	1.00	NS	NS	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4903	0.15	1.25	0.90	NS	NS	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4911	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4913	0.20	1.20	1.00	NS	NS	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4915	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4916-1	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4918-1	0.15	1.60	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E4927	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	NS	NS
E5716	0.12	1.60	0.90	0.03	0.03	1.00	0.30	0.35	NS	NS	NS
E5728	0.12	1.60	0.90	0.03	0.03	1.00	0.30	0.35	NS	NS	NS
E4910-P1	0.20	1.20	0.60	0.03	0.03	1.00	0.30	0.50	0.10	NS	NS
E5510-P1	0.20	1.20	0.60	0.03	0.03	1.00	0.30	0.50	0.10	NS	NS
E5518-P2	0.12	0.90-1.70	0.80	0.03	0.03	1.00	0.20	0.50	0.05	NS	NS
E4910-1M3	0.12	0.60	0.40	0.03	0.03	NS	NS	0.40-0.65	NS	NS	NS
E4915-1M3	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	NS	NS	0.40-0.65	NS	NS	NS
E4918-1M3	0.12	0.90	0.60	0.03	0.03	NS	NS	0.40-0.65	NS	NS	NS
E4920-1M3	0.12	0.90	0.40	0.03	0.03	NS	NS	0.40-0.65	NS	NS	NS
E5518-3M2	0.12	1.00-1.75	0.80	0.03	0.03	0.90	NS	0.25-0.45	NS	NS	NS
E5516-3M3	0.12	1.00-1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	NS	0.40-0.65	NS	NS	NS
E5518-3M3	0.12	1.0-1.80	0.80	0.03	0.03	0.90	NS	0.40-0.65	NS	NS	NS
E5516-N1	0.12	0.60-1.60	0.90	0.03	0.03	0.30-1.00	NS	0.35	0.05	NS	NS
E4916-N2	0.08	0.40-1.40	0.50	0.03	0.03	0.80-1.10	0.15	0.35	0.05	NS	NS
E5516-N2	0.12	0.40-1.25	0.80	0.03	0.03	0.80-1.10	0.15	0.35	0.05	NS	NS
E5516-N3	0.10	1.25	0.60	0.03	0.03	1.10-2.00	NS	0.35	NS	NS	NS
E5516-3N3	0.10	1.60	0.60	0.03	0.03	1.10-2.00	NS	NS	NS	NS	NS
E4916-N5	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	2.00-2.75	NS	NS	NS	NS	NS
E5516-N5	0.12	1.25	0.60	0.03	0.03	2.00-2.75	NS	NS	NS	NS	NS
E4916-N7	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00-3.75	NS	NS	NS	NS	NS
E4918-N7	0.05	1.25	0.50	0.03	0.03	3.00-3.75	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.20

● a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงที่สุด (Values are maximum) ● b = ไม่ระบุค่า (Not specified : NS)

ตารางที่ 7.21 สมบัติทางกลของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้ามาตรฐาน ISO 2560:2012

ที่มา : International Standard ISO 2560:2012, 2012

ประเภทลวดเชื่อม	แรงต้านความเค้นแรงดึง ^a MPa	ความแข็งแรงที่จุดคราก ^a MPa	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ^a (%)	อุณหภูมิการทดสอบแรงกระแทก (Charpy V-notch) ^b (°C)
E4310	430	330	20	0
E4311	430	330	20	-30
E4316	430	330	20	-30
E4319	430	330	20	-20
E4903	490	400	20	0
E4911	490 to 650	400	20	-30
E4913	490	400	16	NS
E4915	490	400	20	-30
E4916-1	490	400	20	-45
E4918-1	490	400	20	-45
E4927	490	400	20	-30
E5716	570	490	16	-30
E5728	570	490	16	-20
E4910-P1	490	420	20	-30
E5510-P1	550	460	17	-30
E5518-P2	550	460	17	-30
E4910-1M3	490	420	20	NS
E4915-1M3	490	400	20	NS
E4918-1M3	490	400	20	NS
E4920-1M3	490	400	20	NS
E5518-3M2	550	460	17	-50
E5516-3M3	550	460	17	-50
E5518-3M3	550	460	17	-50
E5516-N1	550	460	17	-40
E4916-N2	490	390	20	-40
E5516-N2	550	470 to 550	20	-40
E5516-N3	550	460	17	-50
E5516-3N3	550	460	17	-50
E4916-N5	490	390	20	-75
E5516-N5	550	460	17	-60
E4916-N7	490	390	20	-100
E4918-N7	490	390	20	-100

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.21

● a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าสูงสุดที่ต้องการ (Requirements) ● b = ไม่ระบุค่า (Not specified : NS)



รูปที่ 7.14 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้ามาตรฐานสากล (ISO 2560)

ที่มา : TIANJIN BRIDGE WELDING MATERIAL GROUP CO.,LTD, 2010

2) ISO 3581 : 2016 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทนความร้อนสูง (Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Stainless and Heat-Resisting Steels) เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่อ้างอิงตามมาตรฐานสากล (ISO) โดยได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานออกมาดังนี้

ISO 3581:2012 **E X X X X X X X** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

ISO 3581 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าทนความร้อนสูง

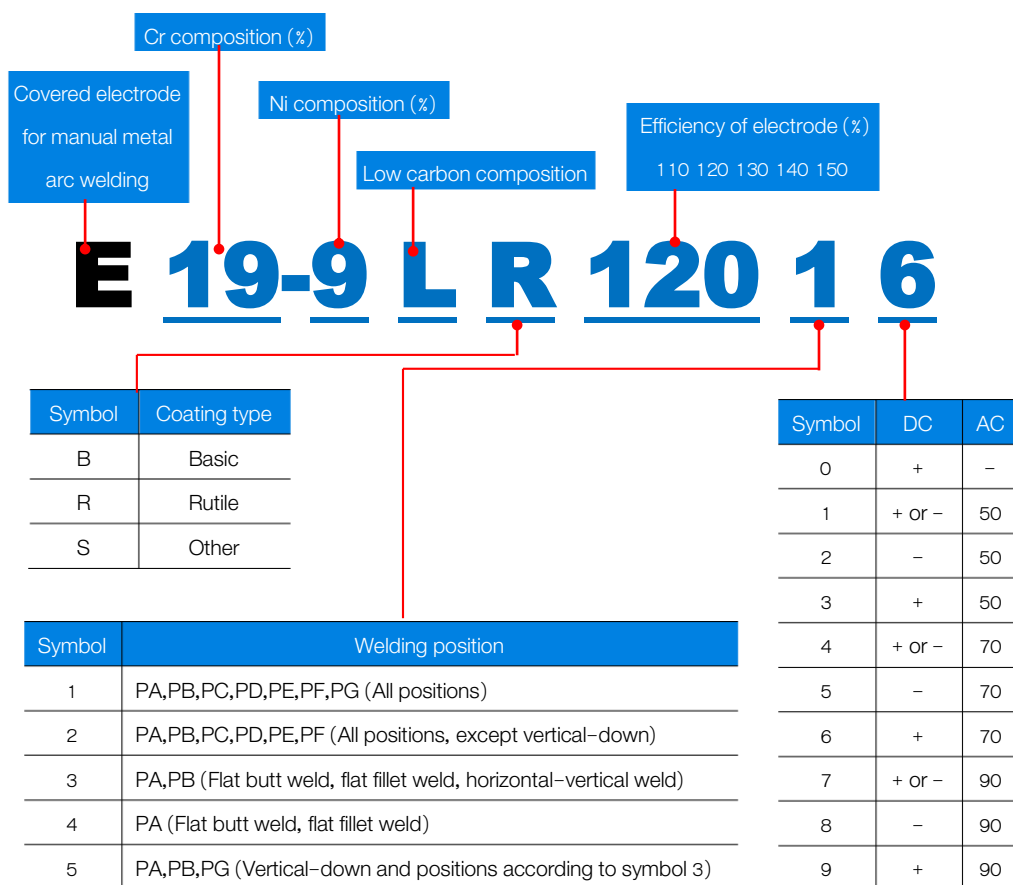
2012 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 2012

E	X	X	X	X	X	X	X
---	---	---	---	---	---	---	---

- หมายถึง = กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเชื่อม
- หมายถึง = ตำแหน่งท่าเชื่อม
- หมายถึง = ประสิทธิภาพการเติมน้ำโลหะเชื่อม
- หมายถึง = ชนิดของฟลักซ์พอกหุ้มลวดเชื่อม
- หมายถึง = ปริมาณธาตุคาร์บอนที่ต่ำ
- หมายถึง = ปริมาณธาตุนิกเกิล (%)
- หมายถึง = ปริมาณธาตุโครเมียม (%)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

จากข้อกำหนดตามมาตรฐาน ISO 3581:2016 รหัสของแต่ละตำแหน่งที่ระบุบนลวดเชื่อมจะแสดงค่าปริมาณและความหมายที่เฉพาะเจาะจง ดังที่แสดงในรูปที่ 7.15 โดยการแสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมจะแสดงไว้ในตารางที่ 7.22 เป็นที่น่าสังเกตว่าลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน ISO เมื่อพิจารณาเทียบรหัสหรือโค้ดกับมาตรฐานอื่น ๆ ที่ยอมรับกันในวงการงานเชื่อมอาจจะเทียบรหัสกันไม่ได้ทุกประเภทของลวดเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 7.23 ลวดเชื่อม

หุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมีราคาแพงกว่าลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าผสมอื่น ๆ และมักจะพบว่าไม่มีบรรจุภัณฑ์ที่ค่อนข้างได้มาตรฐาน ดังแสดงตัวอย่างบรรจุภัณฑ์และการระบุรหัสหรือโค้ดบนกล่องของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมในรูปที่ 7.16



รูปที่ 7.15 ความหมายของรหัสหรือโค้ดลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐานสากล (ISO)

ที่มา : Guide to EN ISO 2581:2016, MMA Electrode, 2016



รูปที่ 7.16 แสดงรหัสหรือโค้ดที่ระบุบนกล่องของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐานสากล (ISO)

ที่มา : Welding Supplies Ireland, MMA Electrode, 2010

ตารางที่ 7.22 ส่วนผสมเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน ISO 3581:2016

ที่มา : International Standard ISO 3581:2016, 2016

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)				
	C (max)	Cr	Ni	Mo	ธาตุอื่น ๆ
13	0.12	11-14	-	-	-
13.1	0.07	12-15	18-1.5	-	-
13.4	0.07	12-15	3-5	1	-
17	0.10	15-18	-	-	-
17.01	0.25	15-18	-	1-1.5	-
19.9	0.08	18-21	8-11	-	-
19.9L	0.04	18-21	8-11	-	-
19.9Nb	0.08	18-21	8-11	-	Nb
19.9L Nb	0.04	18-21	8-11	-	Nb
19.12.2	0.08	17-20	11-14	2-2.5	-
19.12.2L	0.04	17-20	11-14	2-2.5	-
19.12.2 Nb	0.08	17-20	11-14	2-2.5	Nb
19.12.3	0.08	17-20	10-14	2.5-3.5	-
19.12.3L	0.04	17-20	10-14	2.5-3.5	-
19.12.3 Nb	0.08	17-20	10-14	2.5-3.5	Nb
19.13.4	0.08	17-21	11-15	3.5-5.5	-
19.13.4L	0.04	17-21	11-15	3.5-5.5	-
19.13.4 Nb	0.08	17-21	11-15	3.5-5.5	Nb
22.12	0.15	20-23	10-13	-	-
23.12	0.15	22-26	11-15	-	-
23.12L	0.04	22-26	11-15	-	-
23.12 Nb	0.12	22-25	11-15	-	Nb
23.12W	0.20	22-25	11-15	-	W 2-4
23.12.2	0.12	22-25	11-15	2-3	-
16.8.2	0.10	14.5-16.5	7.5-9.5	1-2	-
17.8.2	0.10	16.5-8.5	8-9.5	1.5-2.5	-
18.8 Min	0.20	17-20	7-10	-	Min 5-8
18.15.3 L	0.04	16.5-19.5	13-16	2.5-3.5	-
25.2	0.20	24-28	18-22	-	-
25.20 L	0.04	24-28	18-22	-	-
25.20 Nb	0.12	24-28	18-22	-	Nb
25.20.2	0.12	25-28	20-22	2-3	-
25.20 C	0.25/45	24-28	18-22	-	-
25.25.2 Nb	0.10	24-27	24-26	2-2.5	Nb
18.20.2 Cu Nb	0.10	17-20	19-22	2-2.5	Cu 1.8-2.2 Nb
20.25.5 L Cu	0.04	19-22	24-26	4-6	Cu 1-3
23.27.3 L Cu Nb	0.04	21-25	25-29	2.5-4.3	Cu 2.5-3.5 Nb
25.16 C Min	0.25/45	23-26	14.5-17	-	Min 5-8
20.9 Nb	0.13	18-21	8-10	0.35-0.65	Nb
29.9.3	0.10	18.5-21	8-10	2-4	-
25.4	0.15	24-27	4-6	-	-
29.9	0.15	28-32	8-12	-	-
18.36	0.25	14-19	33-38	-	-
17.12 Si	0.15	17-19	11-13	-	Si 3.8-4.8
24.14 Si	0.12	22-25	13-15	-	Si 15-2.2

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.22

- ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงที่สุด

ตารางที่ 7.23 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิม เทียบมาตรฐาน ISO กับมาตรฐานอื่น ๆ

ที่มา : International Standard ISO 3581:2016, 2016

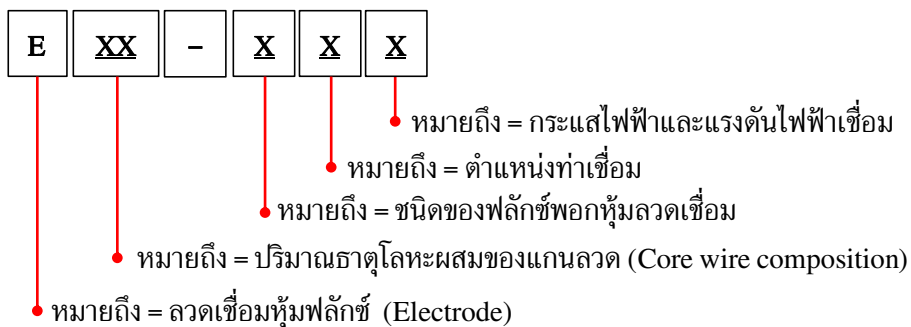
สัญลักษณ์ลวดเชื่อม มาตรฐาน	เทียบเคียงกับมาตรฐานลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์อื่น ๆ		
	AWS	BS	DIN
ISO 3581:2016			
13	410	13	13
13.1	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
13.4	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	13.4
17	430	17	17
17.0.1	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
19.9	308	19.9	19.9
19.9 L	308 L	19.9 L	19.9 NC
19.9 Nb	347	19.9 Nb	19.9 Nb
19.9 L Nb	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
19.1.2.2	316	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
19.1.2.2 L	316 L	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
19.1.2.2 Nb	318	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
19.12.3	ไม่ระบุ	19.12.3	19.12.3
19.12.3 L	ไม่ระบุ	19.12.3 L	19.12.3 NC
19.12.3 Nb	ไม่ระบุ	19.12.3 Nb	19.12.3 Nb
19.13.4	317	19.13.4	19.13.4
19.13 AL	ไม่ระบุ	19.13.4 L	ไม่ระบุ
19.13.4 Nb	ไม่ระบุ	19.13.4 Nb	ไม่ระบุ
22.12	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	22.12
23.12	309	23.12	ไม่ระบุ
23.12 L	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	23.12 NC
23.12 Nb	309 Cb	23.12 Nb	23.12 Nb
23.12 W	ไม่ระบุ	13.12	ไม่ระบุ
23.12.2	209 Mo	23.12.2	ไม่ระบุ
16.8.2	16.8.2	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
17.8.2	ไม่ระบุ	17.8.2	ไม่ระบุ
18.8 Min	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	18.8 Min 6
18.15.3 L	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	18.15.3 NC
25.2	310	25.20	25.20
25.20 Nb	310 Cb	25.20 Nb	ไม่ระบุ
25.20.2	310 Mo	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
25.20 C	ไม่ระบุ	25.20 H	ไม่ระบุ
25.25.2 Nb	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	25.25.2 Nb
18.20.2 Cu Nb	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	18.20.2 Cu Nb
20.25.5 L Cu	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
23.27.3 L Cu Nb	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
25.1.6 C Mn	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
20.9 Nb	349	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
20.9.3	ไม่ระบุ	20.9.3	ไม่ระบุ
25.4	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	25.4
29.9	312	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
18.36	330	ไม่ระบุ	18.36

3) ISO 1071 : 2015 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์โลหะเหล็กหล่อ (Welding Consumables –Covered Electrodes, Wires, Rods and Tubular Cored Electrodes for Fusion Welding of Cast Iron) ตามมาตรฐานลวดเชื่อมสากล (ISO) เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ที่ว่าด้วยมาตรฐานรายละเอียดของลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมโลหะเหล็กหล่อ (Cast iron) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานออกมาดังนี้

ISO 1071:2015 **E X XX - X X X** ตัวอักษรและตัวเลขของรหัส มีความหมายดังนี้

ISO 1071 หมายถึง กลุ่มลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ

2015 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 2015



จากรหัสข้อกำหนดมาตรฐาน ISO ของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ ได้แสดงให้เห็นถึงความหมายของรหัสในแต่ละตำแหน่งอย่างชัดเจน ซึ่งในแต่ละตำแหน่งจะมีข้อกำหนดที่เพิ่มเติม ดังแสดงในรูปที่ 7.17 และจะได้อธิบายเพิ่มเติมในแง่ของความหมายของรหัสดังนี้

– ปริมาณธาตุโลหะผสมของแกนลวด ซึ่งก็จะหมายถึงธาตุที่ผสมหลักของแกนลวดเชื่อม เช่น NiFe ก็คือเป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของนิกเกิลเป็นหลักที่ผสมเพิ่มเติมโลหะเหล็ก

– ตัวอักษรเป็นบอกถึงชนิดของสารฟลักซ์พอกหุ้ม เช่น ตัว G เป็นรหัสที่บ่งชี้ถึงสารพอกหุ้มชนิดกรไฟต์ หรือตัว B หมายถึงสารพอกหุ้มชนิดต่าง เป็นต้น

– ตัวเลขก่อนตัวสุดท้าย จะบ่งบอกถึงตำแหน่งของท่าเชื่อม เช่น เลข 2 หมายถึง เชื่อมได้ทุกท่า ยกเว้นท่าตั้งเชื่อมลง หรือ เลข 3 ใช้เชื่อมท่าราบต่อมุมทำตั้งและท่าขนานนอน เป็นต้น

– ตัวเลขตัวสุดท้าย จะใช้บ่งบอกถึงชนิดของขั้วเชื่อมและชนิดของกระแสไฟฟ้าเชื่อม เช่น เลข 2 สามารถเชื่อมด้วยกระแสตรง DCEP หรือ DCEN และกระแสลับ (AC) ซึ่งจะมีการระบุไว้ในมาตรฐาน และโดยปกติผู้ผลิตก็จะระบุไว้ชัดเจนในคู่มือแนะนำการใช้งานลวดเชื่อม ดังแสดงตัวอย่างใบคู่มือแนะนำการใช้งานลวดเชื่อม ISO 1071-A ECNiFe-CI ในรูปที่ 7.18 และตัวอย่างการระบุรหัสมาตรฐานลวดเชื่อมที่ข้างกล่องบรรจุภัณฑ์ของลวดเชื่อม ในรูปที่ 7.19

ขอแนะนำเพิ่มเติมสำหรับข้อกำหนดชนิดของสารฟลักซ์พอกหุ้ม (Cover flux) ถึงการนำใช้งาน

– อักษรตัวรหัส B (Basic) เป็นลวดเชื่อมที่สารฟลักซ์เป็นต่าง โดยใช้สารชนิดฟลูออร์สปาร์ (Fluorspar) ซึ่งตะกั่วเป็นเกล็ดหยาบ ๆ มีสีน้ำตาลสามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม การหลอมละลายลึกปานกลาง โดยสามารถใช้เชื่อมได้กับไฟฟ้ากระแสตรง DCEP

– อักษรตัวรหัส G (Graphite) เป็นลวดเชื่อมที่สารฟลักซ์เป็นกราไฟต์ มีส่วนผสมของคาร์บอนและเหล็ก (Ferroalloys) ซึ่งตะกั่วเป็นเกล็ดละเอียดเล็ก ๆ มีสีดำง่ายต่อการกำจัดออก

– อักษรตัวรหัส S (Salt) เป็นลวดเชื่อมที่สารฟลักซ์เป็นคลอไรด์และฟลูออไรด์ ที่ใช้เชื่อมเหล็กหล่อกับโลหะนอกกลุ่มเหล็กและโลหะผสมต่ำ

– อักษรตัวรหัส V เป็นลวดเชื่อมที่สารฟลักซ์ชนิดพิเศษอื่น ๆ

Symbol	Coating type	Symbol	ตำแหน่งท่าเชื่อม (Welding position)
B	Basic	1	PA,PB,PC,PD,PE,PF,PG (All positions)
G	Graphite	2	PA,PB,PC,PD,PE,PF (All positions, except vertical-down)
S	Salt	3	PA,PB (Flat butt weld, flat fillet weld, horizontal-vertical weld)
V	Other	4	PA (Flat butt weld, flat fillet weld)
		5	PA,PB,PG (Vertical-down and positions according to symbol 3)

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ **E NiFe - G 4 9**

Symbol	ชนิดของแกนลวดเชื่อม (Type of core wire)	Symbol	DC	AC
FeC-1	โลหะเหล็กหล่อสีเทา (Gray cast iron)	0	+	–
FeC-2	โลหะเหล็กหล่อสีเทาสมเหล็กกล้า (Gray cast iron alloy steel)	1	+	50
Fe	โลหะเหล็กกล้า (Steel)	2	+or–	50
NiFe	โลหะนิกเกิลผสมกับเหล็ก (Nickel alloy with ferrous)	3	+	50
NiCu-1	โลหะนิกเกิลผสมกับทองแดง (Nickel alloy with copper)	4	+ or –	70
NiCu-2	โลหะนิกเกิลผสมกับทองแดง (Nickel alloy with copper)	5	–	70
Ni	โลหะนิกเกิล (Nickel)	6	+	70
CuAl	โลหะทองแดงผสมกับอลูมิเนียม (Copper alloy with aluminum)	7	+ or –	90
CuSn-1	โลหะทองแดงผสมกับดีบุก (Copper alloy with tin)	8	–	90
CuSn-2	โลหะทองแดงผสมกับดีบุก (Copper alloy with tin)	9	+	90
Z	โลหะอื่น ๆ			

รูปที่ 7.17 ความหมายของรหัสลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อมาตรฐานสากล (ISO)

ที่มา : Guide to EN ISO 1071:2015, MMA Electrode, 2015

PRODUCT INFORMATION

SIFTRODE CAST NIFE

EN ISO 1071-A E C NiFe-CI
AWS A5.15 E NiFe-CI
DIN 8573 E NiFe BG1

DESCRIPTION

Cast iron electrode with NiFe bimetal core wire. Dedicated for cold welding grey, nodular and malleable cast iron and for joining cast iron with steel. Excellent welding properties, does not overheat, the speed of welding is high, almost no spatters, slag removes easily. Can be welded with AC Uo < 50V and DC (+) and (-).

WELDING POSITIONS



Welding Current: AC, DC+
Suitable positions: PA, PB, PC, PE, PF, PG

TYPICAL WELD METAL COMPOSITION

Ni	54.0 %
Fe	42.0 %

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES

Ult Tensile Strength	≥ 450 N/mm2
Redrying	180° / 1h
Hardness	160-190 [HB]

MATERIAL TO BE WELDED

Grey cast, malleable cast iron, nodular cast iron

AVAILABLE FORMATS

ELECTRODE RODS (MMA / SMAW)			
Dia	1.0kg Pkt		Approx Pcs/KG
2.5mm	RE4002501		
3.2mm	RE4003201		
4.0mm	RE4004001		

CURRENT RANGE	
Dia (mm)	Amps
2.5	60-80
3.2	80-110
4.0	110-150

รูปที่ 7.18 ข้อแนะนำจากผู้ผลิตของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อมาตรฐานสากล (ISO 1071)

ที่มา: *Welding & Welder, 2014*



รูปที่ 7.19 ตัวอย่างรหัสบน
กล่องลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
เหล็กหล่อมาตรฐานสากล
(ISO 1071: 2015)

ที่มา: *KISWEL Welding
electrode, 2011*

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อตามมาตรฐาน ISO ที่ผลิตออกมาใช้งานสำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อมีจำนวนไม่มากนัก ด้วยเพราะเกรดของโลหะเหล็กหล่อที่ต้องการเชื่อมก็มีไม่กี่ชนิด (ชนิดของเหล็ก) และด้วยปัญหาที่ทราบกันดีว่าเหล็กหล่อทำการเชื่อมยาก อย่างไรก็ตามมาตรฐานก็ได้มีการกำหนดประเภทของลวดเชื่อมเหล็กหล่อออกมาซึ่งมีทั้งประเภทที่ใช้เชื่อมโลหะเหล็กหล่อกับโลหะต่างชนิดอื่น ๆ (Dissimilar cover electrode) และประเภทที่ใช้เชื่อมโลหะเหล็กชนิดเดียวกัน (Similar cover electrode) โดยทั้งสองประเภทมีส่วนผสมทางเคมีที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 7.24 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 7.24 (ก) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กหล่อกับโลหะต่างชนิด

ที่มา : International Standard ISO 1071:2015, 2015

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^a									
เชื่อม	C	Si	Min	P	S	Fe	Ni ^b	Cu ^c	Remark	other
Fe-1	2.0	1.5	0.5–1.5	0.04	0.04	Rem.	–	–	–	1.0
St	2.0	1.0	1.0	0.04	0.04	Rem.	–	0.35	–	1.0
Fe-2	0.2	1.5	0.3–1.5	0.04	0.04	Rem.	–	–	Nb + Vi	1.0
									5.0–10.0	
Ni-CI	2.0	4.0	2.5	–	0.03	8.0	min 85	2.5	Al:1.0	1.0
	1.0	0.75	2.5	–	0.03	4.0	min 90	4.0	–	1.0
Ni-CI-A	2.0	4.0	2.5	–	0.03	8.0	min 85	2.5	Al:1.0–	1.0
									3.0	
NiFe-1	2.0	4.0	2.5	0.03	0.03	Rem.	45–75	4.0	Al:1.0	1.0
NiFe-2	2.0	4.0	1.0–5.0	0.03	0.03	Rem.	45–60	2.5	Al:1.0	1.0
NiFe-CI	2.0	4.0	2.5	–	0.03	Rem.	45–60	2.5	Al:1.0	1.0
NiFeT3-CI	2.0	1.0	3.0–5.0	–	0.03	Rem.	45–60	2.5	Al:1.0	1.0
NiFe-CI-A	2.0	4.0	2.5	–	0.03	Rem.	35–45	2.5	Al:1.0–	1.0
									3.0	
NiFeMin-CI	2.0	1.0	10–14	–	0.03	Rem.	35–45	2.5	Al:1.0	1.0
	0.50	1.0	10–14	–	0.03	Rem.	35–45	2.5	Al:1.0	1.0
NiCu	1.7	1.0	2.5	–	0.04	5.0	50–75	Rem.	–	1.0
NiCu-A	0.35–	0.75	2.3	–	0.025	3.0–6.0	50–60	35–	–	1.0
	0.55							45		
NiCu-B	0.35–	0.75	2.3	–	0.025	3.0–6.0	60–70	25–	–	1.0
	0.55							35		

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.24 (ก)

- a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงที่สุด
- b = ค่าที่ต่ำสุดของนิกเกิลที่อาจรวมกับโคบอลต์
- c = ค่าที่ต่ำสุดของทองแดงที่อาจรวมกับโลหะเงิน

ตารางที่ 7.24 (ข) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์สำหรับเชื่อมเหล็กหล่อชนิดเดียวกัน

ที่มา : International Standard ISO 1071:2015, 2015

ประเภท	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^a									
ลวดเชื่อม	C	Si	Min	P	S	Fe	Ni ^b	Cu ^c	Remark	Other
FeC-1	3.0-3.6	2.0-3.5	0.8	0.5	0.1	Rem.	-	-	Al:3.0	1.0
FeC-2	3.0-3.6	2.0-3.5	0.8	0.5	0.1	Rem.	-	-	Al:3.0	1.0
FeC-3	2.5-5.0	2.5-9.5	1.0	0.2	0.04	Rem.	-	-	-	1.0
FeC-4	3.2-3.5	2.7-3.0	0.6- 0.75	0.5- 0.75	0.10	Rem.	-	-	-	1.0
FeC-5	3.3-3.5	2.9-2.5	0.5- 0.7	0.2- 0.4	0.10	Rem.	1.2- 1.6	-	Mo:0.5 -0.45	1.0
FeC-GF	3.0-4.0	2.0-3.7	0.6	0.05	0.015	Rem.	1.5	-	Mg:0.02 -0.10 Ce:0.20	1.0
FeC-Gp1	3.2-4.0	3.2-3.8	0.1- 0.4	0.05	0.015	Rem.	0.50	-	Mg:0.04 -0.10 Ce:0.20	1.0
FeC-Gp2	2.5-3.5	1.5-3.0	1.0	0.05	0.015	Rem.	2.5	1.0	Mg:0.02 -0.10 Ce:0.20	1.0

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.24 (ข)

- a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงที่สุด
- b = ค่าที่ต่ำสุดของนิกเกิลที่อาจรวมกับโคบอลต์
- c = ค่าที่ต่ำสุดของทองแดงที่อาจรวมโลหะเงิน

ผู้ผลิตลวดเชื่อมเหล็กหล่อหลายราย ได้มีข้อแนะนำเทคนิคที่ควรปฏิบัติแก่ช่างเชื่อมในการที่จะเชื่อมโลหะเหล็กหล่ออย่างไรที่จะไม่เกิดปัญหา โดยมีข้อควรปฏิบัติดังนี้

1) ต้องรู้และเข้าใจชนิดและส่วนผสมของเหล็กหล่อที่จะเชื่อม เช่น เหล็กหล่ออบเหนียวเชื่อมแล้วคุณสมบัติจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสูญเสียความเหนียวไป หรือ เหล็กหล่อสีขาวแทบจะเชื่อมไม่ได้เลย หรือ เหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Nodular cast iron) เชื่อมได้แต่ไม่ควรเชื่อมบ่อย หรือ เหล็กหล่อสีเทาสามารถเชื่อมได้ดีกว่าเหล็กหล่อชนิดอื่น ๆ เป็นต้น

2) ต้องทำความสะอาดผิวชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม

3) เลือกวิธีการอุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อมอย่างถูกวิธี เช่น ใช้อุณหภูมิสูงเท่าไร และนานแค่ไหน

4) เลือกขบวนการเชื่อมที่เหมาะสมกับชนิดของเหล็กหล่อ เช่น เหล็กหล่อ Ni-Resist จะเชื่อมได้เฉพาะขบวนการเชื่อม SMAW หรือเหล็กหล่อสีเทาสามารถเชื่อมได้ทุกวิธีการเชื่อม เป็นต้น

7.2. มาตรฐานของลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม (Standards of filler electrode)

มาตรฐานลวดเชื่อมนี้ จะหมายถึงลวดเชื่อมที่ผลิตออกมาใช้สำหรับขบวนการเชื่อมที่ต้องใช้แหล่งแก๊สจากภายนอกป้อนเข้ามาปกคลุมบ่อหลอมละลายขณะทำการเชื่อม เป็นลวดเชื่อมที่ไม่มีสารพอกหุ้มใด ๆ เป็นเนื้อโลหะเส้นตันสำหรับการเติมอย่างเดียวกันกล่าวขานกันในชื่อของ ลวดเชื่อมเปลือย โดยลวดเชื่อมกลุ่มนี้จะมีทั้งชนิดที่เป็นแบบเส้นลวดม้วนอยู่ในลวดม้วนลวด (Filler wire) และชนิดที่เป็นแบบเส้นลวดยาวเป็นเส้น ๆ (Filler rods) ดังแสดงในรูปที่ 7.20 (ก) และ (ข) ตามลำดับโดยชนิดที่เป็นแบบลักษณะเส้นลวดม้วนจะใช้กับขบวนการเชื่อมที่มีระบบการป้อนเติมลวดเชื่อมอย่างต่อเนื่อง (Continuous wire feeding) ได้แก่ ขบวนการเชื่อมมิก/แม็ก (GMAW) ขบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) และขบวนการเชื่อมอิเล็กโทรสแลก (ESW) ส่วนชนิดที่เป็นแบบแท่งลวดตันยาวเป็นเส้น ๆ จะผลิตออกมาเพื่อใช้กับขบวนการเชื่อมที่เติมลวดด้วยช่างเชื่อมเอง (Filler) ได้แก่ ขบวนการเชื่อมทิก (GTAW) ขบวนการเชื่อมพลาสมา (PAW) และขบวนการเชื่อมแก๊สอะเซทิลีน (OAW) เป็นต้น

ลวดเชื่อมประเภทไม่มีฟลักซ์หุ้มหรือลวดเชื่อมเปลือยนี้ปัจจุบันเป็นที่นิยมและมีการเลือกนำมาใช้งานกันหลากหลายมากมาย และแต่ละมาตรฐานก็จะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันไป ซึ่งก็จะมีบางส่วนที่เหมือนกัน คล้ายกัน และก็มีในบางส่วนที่ต่างกันตามแต่ละมาตรฐาน โดยจะได้นำเสนอในรายละเอียดไว้ในแต่ละมาตรฐานและในแต่ละชนิดของโลหะลวดเชื่อม ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในระดับสากล และเป็นที่นิยมนำมาอ้างอิงกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการเชื่อมภายในประเทศไทย มักจะอ้างอิงกับมาตรฐานของ AWS และ JIS รวมถึง EN ISO เป็นต้น และจะเน้นข้อมูลมาตรฐานของลวดเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กหล่อ และ โลหะนอกกลุ่มเหล็กประเภทอลูมิเนียมเป็นสำคัญ ดังที่จะได้กล่าวต่อไป



(ก) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน (Filler wire)

(ข) ลวดเชื่อมแบบแท่งยาว (Filler rod)

รูปที่ 7.20 ตัวอย่างลักษณะของลวดเชื่อมสำหรับแก๊สปกคลุม (ลวดเชื่อมเปลือย)

ที่มา : KOBELCO Welding electrode, 2013

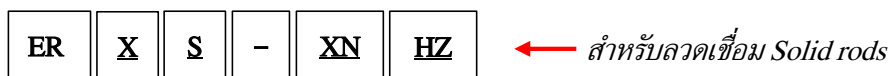
1. ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมมาตรฐาน AWS (American Welding Society)

ลวดเชื่อมสำหรับขบวนการเชื่อมที่ใช้แก๊สจากแหล่งภายนอกเข้ามาปกคลุมตามมาตรฐานของสมาคมการเชื่อมแห่งสหรัฐอเมริกา ได้สร้างข้อกำหนดขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานคุณภาพของงานเชื่อมและความเข้าใจที่ตรงกันในการสื่อสารทางภาษาศาวกรรมการเชื่อม โดยมีรหัสหรือโค้ดที่กำหนดไว้ดังนี้

1.1) AWS A5.18/A5.18:2017 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน (Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielding Arc Welding) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.18/A5.18:2017 ตัวอักษรและตัวเลขของรหัสของมาตรฐานแยกออกตามประเภทของลวดเชื่อมแบบที่เป็นลวดเชื่อมเส้นตัน (Solid rod) กับแบบที่เป็นเส้นตันผสม (Composite rod) มีความหมายของแต่ละประเภทดังนี้

AWS A5.18/A5.18 หมายถึง ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมสำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน 2017 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 2017



- หมายถึง = ปริมาณไฮโดรเจนในเนื้อเชื่อม
H16 = 16 ml/100g, H8 = 8 ml/100g
- หมายถึง = ใช้กับงานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์
- หมายถึง = ส่วนผสมทางเคมีโลหะลวดเชื่อม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมเส้นตัน (Solid rod)
- หมายถึง = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด (ksi) x 1,000 = ปอนด์/ตารางนิ้ว
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไฟฟ้า (E) หรือลวดเชื่อมเติม (R) หรือเป็นทั้งคู่ (ER)



- หมายถึง = ปริมาณไฮโดรเจนในเนื้อเชื่อม
H16 = 16 ml/100g, H8 = 8 ml/100g
- หมายถึง = ใช้กับงานเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์
- หมายถึง = แก๊สปกคลุม (C= 100%CO₂) (M=75-80Ar+CO₂)
- หมายถึง = ส่วนผสมทางเคมีโลหะลวดเชื่อม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมเส้นตัน ผสม (Composite rod)
- หมายถึง = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด (ksi) x 1,000 = ปอนด์/ตารางนิ้ว
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไฟฟ้า (E) หรือลวดเชื่อมเติม (R) หรือเป็นทั้งคู่ (ER)

จากมาตรฐานรหัสหรือโค้ดที่กำหนดความหมายไว้จะแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมในตารางค่าต่าง ๆ ดังนี้ **ตารางที่ 7.25 (ก)** แสดงตัวอย่างประเภทและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมชนิดเส้นลวดตัน (Solid rod) **ตารางที่ 7.25 (ข)** แสดงตัวอย่างประเภทและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมชนิดเส้นลวดผสม (Composite rod) และ **ตารางที่ 7.26** แสดงสมบัติทางกลพร้อมระบุชนิดแก๊สปกคลุมที่เหมาะสม สำหรับ **รูปที่ 7.21** ต้องการแสดงเป็นตัวอย่างลักษณะผลิตภัณฑ์ของลวดเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนที่ระบุมาตรฐาน AWS อย่างชัดเจนบนลวดเชื่อม

ตารางที่ 7.25 (ก) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าคาร์บอน (Solid rod)

ที่มา: AWS A5.18/A5.18:2017, 2017

ประเภท ลวดเชื่อม ^b	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^a												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu ^c	Ti	Zr	Al
ER70S-2	0.07	0.40– 0.70	0.9– 1.4	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	0.05– 0.15	0.02– 0.12	0.05– 0.15
ER70S-3	0.06– 0.15	0.45– 0.75	0.9– 1.4	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.05	–	–	–
ER70S-4	0.07– 0.15	0.65– 0.85	1.0– 1.5	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.05	–	–	–
ER70S-5	0.07– 0.19	0.3– 0.6	0.9– 1.4	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.05	–	–	0.5– 0.9
ER70S-6	0.06– 0.15	0.8– 1.15	1.4– 1.85	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.05	–	–	–
ER70S-7	0.07– 0.15	0.5– 0.8	1.5– 2.0 ^d	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.05	–	–	–
ER70S-G ^f	ลวดเชื่อมประเภทนี้กำหนดไว้สำหรับลวดเชื่อมพิเศษที่กำหนดส่วนผสมทางเคมีตามข้อตกลงระหว่างผลิตภัณฑ์กับผู้ใช้ลวดเชื่อม												

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.25 (ก)

- a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงที่สุด
- b = ตัวเลขต่อท้ายสัญลักษณ์ (N) ใช้งานปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ที่จำกัด P < 0.012%, V < 0.05% และ Cu < 0.08%
- c = โลหะทองแดงรวมทั้งที่เคลือบผิวลวดเชื่อมไม่เกิน 0.05%
- d = ลวดเชื่อมชนิดนี้แมงกานีสอาจเกิน 2% จึงต้องลด C ลงจาก 0.01% ต่อการเพิ่มแมงกานีส 0.05%
- e = ธาตุที่เหลืออื่น ๆ รวมไม่เกิน 0.05%

ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมหรือที่เรียกกันว่าลวดเชื่อมเปลือยเป็นที่นิยมเลือกใช้งานกันมาก ด้วยมีข้อดีของการที่ไม่ต้องกำจัดสแลกออก เชื่อมง่าย เกิดข้อบกพร่องน้อย เชื่อมได้รวดเร็ว และเหตุผลด้านอื่น ๆ อีกหลายอย่าง และยังสามารถเชื่อมโลหะได้ทุกชนิด ดังนั้น การที่จะเลือกลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับโลหะงานที่จะเชื่อมมีความจำเป็นอย่างยิ่ง จึงขอชี้แนะแนวทางการเลือกใช้ลวดเชื่อมบางประเภทเพื่อเป็นตัวอย่างของเหตุผลในการพิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมที่ถูกต้อง โดยเหตุผลที่จะนำมาชี้แนะนี้ได้

ตีความหมายมาจากมาตรฐานรหัสหรือโค้ดที่ระบุไว้บนลวดเชื่อม ซึ่งเป็นตัวอย่างสำหรับการเลือกลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อม MIG/MAG ดังนี้

ลวดเชื่อม ER70S-1 เหมาะสำหรับใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) จะใช้คู่กับแก๊สปกคลุมชนิด $Ar+O_2$ ผิวชิ้นงานต้องมีความสะอาด ไม่มีสนิมหรือสิ่งสกปรก

ลวดเชื่อม ER70S-2 เหมาะสำหรับใช้เชื่อมเหล็กที่กำจัดออกซิเจนแล้ว (Killed steel) เหล็กที่มีออกซิเจนเจือปนต่ำ (Semi killed steel) และเหล็กที่มีออกซิเจนเจือปนสูง (Rimmed steel) หรือเหล็กที่มีผิวไม่ค่อยสะอาดมากนัก สามารถเชื่อมแบบถ่ายโอนลัดวงจร (Short Circuit Transfer) ได้ทุกท่าเชื่อม (All position)

ลวดเชื่อม ER70S-3 เหมาะสำหรับใช้เชื่อมเหล็กในแนวยึดไส้ (Root pass) และสามารถเชื่อมเหล็กที่มีออกซิเจนเจือปนที่ต่ำ ในแนวที่ 2 และ แนวที่ 3 โดยใช้ขนาดลวดเชื่อมที่เล็ก ซึ่งสามารถเชื่อมแบบถ่ายโอนลัดวงจร (Short Circuit Transfer) ได้ทุกท่าเชื่อม (All position) ลวดเชื่อมชนิดนี้เป็นที่นิยมเลือกใช้งานกันมากที่สุด

ลวดเชื่อม ER70S-4 เป็นลวดเชื่อมที่มีปริมาณของธาตุ Si และ Mn ผสมสูง และเหมาะกับการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สปกคลุม เนื้อแนวเชื่อมที่ได้จะมีสมบัติที่สามารถรับแรงดึงได้สูง โดยไม่เหมาะกับการนำไปเชื่อมโลหะงานที่ต้องรับแรงกระแทก (Impact load)

ลวดเชื่อม ER70S-5 เป็นลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับการเชื่อมเหล็กกล้าที่มีออกซิเจนผสมต่ำ ในการเชื่อมจะต้องใช้กระแสไฟเชื่อมที่สูง และสามารถเชื่อมบนผิวงานที่มีสารปนเปื้อนสนิมได้ แต่ไม่เหมาะกับการเชื่อมงานในลักษณะที่ต้องรับแรงแบบไดนามิก (Impact load)

ลวดเชื่อม ER70S-6 เป็นลวดเชื่อมชนิดที่มีปริมาณของธาตุ Si และ Mn ผสมในปริมาณที่สูง สามารถเชื่อมได้กับเหล็กกล้าทุกชนิด และผิวงานที่มีออกไซด์ ไม่เหมาะที่จะนำไปเชื่อมโลหะเหล็กที่มีออกซิเจนเจือปนสูง และสามารถเชื่อมได้กับกระแสไฟเชื่อมที่สูง ๆ

ลวดเชื่อม ER70S-7 เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุ Mn สูงมาก เหมาะกับการเชื่อมที่ใช้แก๊สผสม $Ar+CO_2$ หรือ 100% CO_2 เนื้อเชื่อมที่ได้จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า ลวดเชื่อม ER70S-6 แต่สูงกว่า ER70S-3

ลวดเชื่อม ER70S-G เป็นรหัสที่สร้างขึ้นใช้เป็นตัวแทนของการกำหนดลวดเชื่อมตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้กับผู้ผลิตลวดเชื่อม

ลวดเชื่อม ER70S-1B เป็นลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับการเชื่อมโลหะที่มีธาตุกำจัดออกซิเจนสามารถนำไปเชื่อมได้กับทุกท่าเชื่อม ยกเว้นท่าราบ และสามารถเชื่อมได้ทั้งการเชื่อมแบบแนวเดียว (Single pass) และแบบหลายแนวซ้อนกัน (Multi pass)

จากการชี้แนะความเหมาะสมของความสามารถของลวดเชื่อมจะเห็นได้ว่ามีลวดเชื่อมหลายชนิดที่มีสมบัติที่ใกล้เคียงกัน สามารถใช้ทดแทนกันได้ในกรณีที่มีความจำเป็น และบางชนิดเป็นข้อห้าม

สำหรับการเชื่อมกับโลหะงานบางประเภท ดังนั้น การทำความเข้าใจและเลือกใช้ลวดเชื่อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวิศวกรและช่างเชื่อม

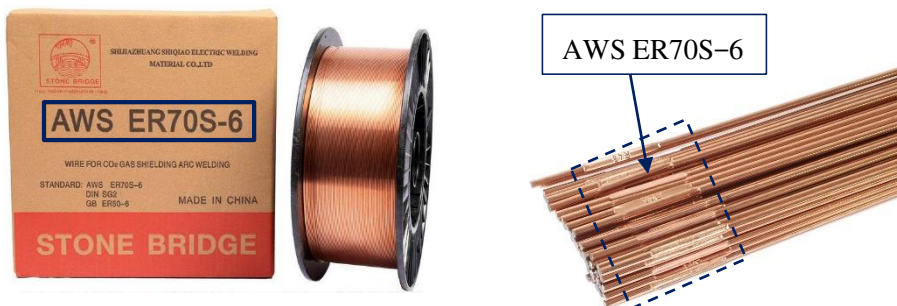
ตารางที่ 7.25 (ข) ส่วนผสมทางเคมีลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าคาร์บอน (Composite rod)

ที่มา : AWS A5.18/A5.18:2017, 2017

ประเภทลวดเชื่อม ^b	ชนิดแก๊สปกคลุม ^c	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^a									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมหลายแนว (Multiple pass welding)											
E70C-3X	75-80% Ar+CO ₂ หรือ %CO ₂	0.12	0.90	1.75	0.03	0.03	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50
E70C-6X	75-80% Ar+CO ₂ หรือ %CO ₂	0.12	0.90	1.75	0.03	0.03	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50
E70C-G(X)	(d)	ไม่ระบุส่วนผสมเคมี ^f									
ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมแนวเดียว (Single pass welding)											
E70C-GS(X)	(d)	ไม่ระบุส่วนผสมเคมี ^g									

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.25 (ข)

- a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงที่สุด
- b = ตัวอักษร “X” ต่อท้าย แทนอักษร “C” หรือ “M” ซึ่งหมายถึงชนิดของแก๊สคลุม C คือ 100%CO₂ และ M คือ แก๊สผสม 75-80%Ar ที่เหลือเป็น CO₂ สำหรับลวดเชื่อม E70C-G และ E70C-GS เมื่อไม่เติม C หรือ M ต่อท้าย หมายความว่า ไม่ใช้แก๊สคลุมจากภายนอก (ใช้แก๊สคลุมในตัวเอง)
- c = ถ้าใช้แก๊สปกคลุมนอกเหนือจากที่กำหนด เนื้อเชื่อมที่ได้จะมีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างออกไป
- d = แก๊สปกคลุมมีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้จัดหา
- e = ให้รายงานเมื่อต้องการเติม Ni, Cr, Mo และ V รวมแล้วไม่เกิน 0.05%
- f = ส่วนผสมจะต้องรายงาน เมื่อต้องการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้จัดหา
- g = ลวดเชื่อมชนิดนี้ไม่กำหนดส่วนผสมทางเคมี เพราะต้องการเชื่อมเพียงแนวเดียว



(ก) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน ER70S-6

(ข) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดตรง ER70S-6

รูปที่ 7.21 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าคาร์บอน มาตรฐาน AWS

ที่มา : SHIJIAZHANG SHIQIAO ELECTRIC WELDING MATERIAL, 2012

ตารางที่ 7.26 สมบัติทางกลและแก๊สปกคลุมสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมชนิดเหล็กกล้าคาร์บอน

ที่มา : AWS A5.18/A5.18:2017, 2017

ประเภทลวดเชื่อม ^a	ชนิดแก๊สปกคลุม ^c	ความเค้นแรงดึงต่ำสุด		ความเค้นจํานน ^b		การยืดตัว %
		psi	Mpa	psi	Mpa	
ER70S-2	CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70S-3	CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70S-4	CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70S-5	CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70S-6	CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70S-7	CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70S-G	(d)	70,000	480	58,000	400	22
ER70C-3X	75-80%Ar+CO ₂ หรือ 100%CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70C-6X	75-80%Ar+CO ₂ หรือ 100%CO ₂	70,000	480	58,000	400	22
ER70C-G(X)	(d)	70,000	480	58,000	400	22
ER70C-GS(X)	(d)	70,000	480	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ

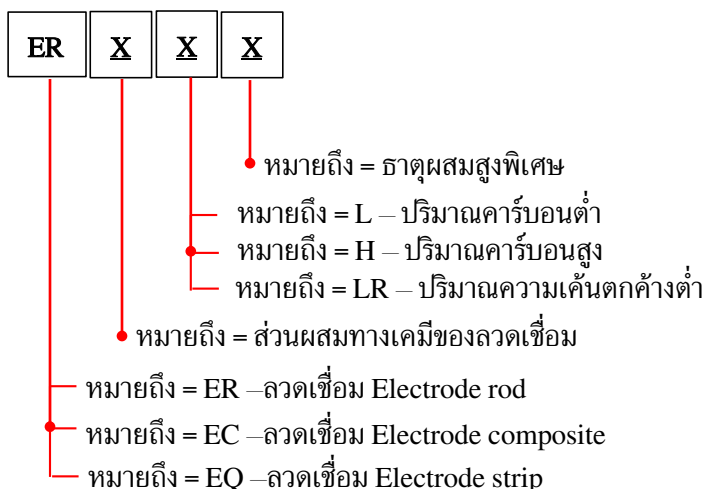
หมายเหตุ ของตารางที่ 7.26

- a = ตัวอักษร “X” ต่อท้าย แทนอักษร “C” หรือ “M” ซึ่งหมายถึง ชนิดของแก๊สคลุม C คือ 100%CO₂ และ M คือ แก๊สผสม 75-80%Ar ที่เหลือเป็น CO₂ สำหรับลวดเชื่อม E70C-G และ E70C-GS เมื่อไม่เติม C หรือ M ต่อท้าย หมายความว่า ไม่ใช้แก๊สคลุมจากภายนอก (ใช้แก๊สคลุมในตัวเอง)
- b = ค่าความเค้นจํานน 0.25% offset และการยืดตัวของชิ้นทดสอบในความยาว 2 นิ้ว (51 มม.)
- c = แก๊ส CO₂ หมายถึง แก๊สปกคลุมคาร์บอนไดออกไซด์ และถ้าผสมแก๊ส Ar+O₂ หรือ Ar+CO₂ เนื้อเชื่อมจะมีความแข็งแรงและมีความสามารถในการยืดตัวต่ำลง
- d = แก๊สปกคลุมมีการตกลงกันระหว่างผู้ซื้อและผู้จัดหา

1.2) AWS A5.9/A5.9:2017 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (Specification for Wire Electrodes, Strip Electrodes, Wires and Rods for Arc Welding of Stainless and Heat Resisting Steels) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.9/A5.9:2017 มาตรฐานของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อมโลหะงานที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมนี้ จะรวมทั้งหมดของลักษณะลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ทั้งประเภทที่เป็นเส้นลวดม้วน (Electrode wire) ลวดเส้นตรง (Electrode rod) แผ่นแบน (Electrode strip) ที่รองรับกับขบวนการเชื่อม GMAW ขบวนการเชื่อม GTAW ขบวนการเชื่อม PAW และ ขบวนการเชื่อม SAW โดยมีการกำหนดตัวอักษรและตัวเลขรหัสของมาตรฐานที่มีความหมายดังต่อไปนี้

AWS A5.9/A5.9 หมายถึง ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมสำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม
2017 หมายถึง ปีที่กำหนดมาตรฐาน 2017



ลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมได้ผลผลิตออกมาใช้งานที่หลากหลายมากมาย ซึ่งมีทั้งที่เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (AWS A5.4) ลวดเชื่อมเส้นตัน (AWS A5.9) และลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (AWS A5.22) เป็นต้น โดยแต่ละประเภทของลวดเชื่อมก็จะพยายามผลิออกมาเพื่อให้สามารถเลือกใช้งานกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมได้ทุกชนิดของโลหะหลักที่ต้องการเชื่อม ซึ่งในกรณีที่เกิดของลวดเชื่อมตรงกันกับเกรดของโลหะหลักเหล็กกล้าไร้สนิม (ลวดเชื่อม ER304 ใช้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด AISI 304) ลักษณะแบบนี้ไม่ต้องพิจารณาเลือกใช้ แต่พบว่าลวดเชื่อมจะผลิออกมาไม่ตรงกันกับโลหะหลักที่เชื่อมทุกประเภทที่มี (ลวดเชื่อม ER309 ใช้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด AISI 201) กรณีแบบนี้ช่างเชื่อมต้องพิจารณาเลือกใช้เกรดของลวดเชื่อมให้เหมาะสม จะมุ่งเน้นถึงส่วนผสมทางเคมีและโครงสร้างของเนื้อเชื่อมที่ได้เป็นสำคัญ โดยมีหลักการเลือกลวดเชื่อมที่ต้องมีส่วนผสมที่เจือสูงกว่าโลหะหลักที่จะเชื่อม เช่น การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนเนติกจะเลือกลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของ Cr และ Ni ที่ผสมอยู่ในปริมาณที่สูงจะลดปัญหาเกิดการสูญเสียธาตุผสมในปริมาณที่เพียงพอต่อการป้องกันการเกิดกร่อนได้ดี ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาร่วมกับขบวนการเชื่อม (Welding process) และปัจจัยการเชื่อมด้วย (Welding parameter) เพราะทั้งประเด็นจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของแนวเชื่อมที่จะได้ ทั้งสมบัติทางกลและสมบัติทางด้านความต้านทานการกัดกร่อน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการเลือกใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ และสามารถทำนายโครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมได้ด้วย ซึ่งก็คือ Schaeffler diagram ซึ่งจะทำนายจากสัดส่วนส่วนผสมทางเคมีที่อยู่ในลวดเชื่อม ดังแสดงชนิดของลวดเชื่อมและส่วนผสมทางเคมีใน **ตารางที่ 7.27** พร้อมกับตัวอย่างการแสดงรายละเอียดของลวดเชื่อมที่แนะนำจากผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมใน **รูปที่ 7.22** และลักษณะรูปแบบของลวดเชื่อมเปลือยเหล็กกล้าไร้สนิมใน **รูปที่ 7.23**

ตารางที่ 7.27 ชนิดและส่วนผสมเคมีลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมมาตรฐาน AWS

ที่มา : AWS A5.9/A5.9:2017, 2017

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^{a,b}									
เชื่อม	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	N	Cu
ER209	0.05	20.5–24.0	9.5–24.0	1.5–3.0	4.0–7.0	0.90	0.03	0.03	0.10–0.30	0.75
ER218	0.10	16.0–18.0	8.0–9.0	0.75	7.0–9.0	4.5	0.03	0.03	0.08–0.18	0.75
ER219	0.05	19.0–21.5	5.5–7.0	0.75	8.0–1.0	1.0	0.03	0.03	0.10–0.30	0.75
ER240	0.05	17.0–19.0	4.0–6.0	0.75	10.5–13.5	1.0	0.03	0.03	0.10–0.30	0.75
ER307	0.14	19.5–22.0	8.0–10.7	0.5–1.5	3.3–4.75	0.3–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER308	0.08	19.5–22.0	9.0–11.0	0.75	1.0–2.5	0.3–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER308H	0.08	19.5–22.0	9.0–11.0	0.50	1.0–2.5	0.3–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER308L	0.03	19.5–22.0	9.0–11.0	0.75	1.0–2.5	0.3–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER308Mo	0.08	18.0–21.0	9.0–11.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.3–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER308Si	0.08	19.5–22.0	9.0–12.0	0.75	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER308LSi	0.03	19.5–22.0	9.0–11.0	0.75	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER309	0.12	23.0–25.0	9.0–11.0	0.75	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER309L	0.03	23.0–25.0	12.0–14.0	0.75	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER309Mo	0.12	23.0–25.0	12.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER309LMo	0.03	23.0–25.0	12.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER309Si	0.12	23.0–25.0	12.0–14.0	0.75	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER309LSi	0.03	23.0–25.0	12.0–14.0	0.75	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER310	0.15	25.0–28.0	20.0–22.5	0.75	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER312	0.15	28.0–32.0	8.0–10.5	0.75	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER316	0.08	18.0–20.0	11.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER316H	0.08	18.0–20.0	11.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER316L	0.03	18.0–20.0	11.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER316Si	0.08	18.0–20.0	11.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER316LSi	0.03	18.0–20.0	11.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER317	0.08	18.5–20.5	13.0–15.0	3.0–4.0	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER317L	0.03	18.5–20.5	13.0–15.0	3.0–4.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER318	0.08	18.0–20.0	11.0–14.0	2.0–3.0	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER320	0.07	19.0–21.0	32.0–36.0	2.0–3.0	2.5	0.60	0.03	0.03	–	3.0–4.0
ER320LR	0.025	19.0–21.0	32.0–36.0	2.0–3.0	1.5–2.0	0.15	0.015	0.03	–	3.0–4.0
ER321	0.08	18.5–20.5	9.0–10.5	0.75	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER330	0.25	15.0–17.0	34.0–37.0	0.75	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER347	0.08	19.0–21.5	9.0–11.0	0.75	1.0–2.5	0.30–0.65	0.03	0.03	–	0.75
ER347Si	0.08	19.0–21.5	9.0–11.0	0.75	1.0–2.5	0.65–1.00	0.03	0.03	–	0.75
ER383	0.025	26.5–28.5	30.0–33.0	3.2–4.2	1.0–2.5	0.50	0.02	0.03	–	0.70–1.5
ER385	0.025	19.52–21.5	24.0–25.0	4.2–6.2	1.0–2.5	0.50	0.03	0.03	–	1.2–2.0

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.27

- a = เป็นการกำหนดธาตุผสมหลักของลวดเชื่อม ส่วนธาตุอื่นที่ผสมรวมแล้วไม่เกิน 0.5%
- b = ค่าที่กำหนดค่าเดียว หมายถึง เป็นค่าสูงสุด

ST-309L

AWS A5.9 / ASME SFA5.9 ER309L
JIS Z3321 YS309L
EN ISO 14343-A-W 23 12L

Applications

TIG welding of low carbon 22%Cr-12%Ni steel and a dissimilar metals.
Clad side of 18%Cr-8%Ni clad steel.

Characteristics on Usage

ST-309L is a filler rod for TIG welding with pure Ar gas.
As the weld metal contains ferrite, its crack resistibility is excellent.
Furthermore, resistance to corrosion and heat is extremely good.

Typical Chemical Composition of Wire (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni
0.03	0.40	1.74	24.2	12.6

Typical Mechanical Properties of All-Weld Metal

TS MPa(lbs/in ²)	EL (%)	CVN-Impact Value J(ft.lbs) 0°C (32°F)
600 (87,000)	38	150 (110)

Typical Welding Conditions (DC-)

Size mm(in)	Currents A	Gas Flow (ℓ /min.)	Shielding gas
1.2 (.045) ~ 2.0 (5/64)	50 ~ 100		
1.6 (1/16) ~ 3.2 (1/8)	100 ~ 200		
2.4 (3/32) ~ 3.2 (1/8)	200 ~ 300	25	Ar
3.2 (1/8)	300 ~ 400		

Approval

ABS, DNV, LR, NK, BV, CCS

GTAW

177

รูปที่ 7.22 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS 5.9

ที่มา : HYUNDAI Welding Electrode, 2015

เหล็กกล้าไร้สนิมทุกชนิดมีส่วนผสมหลักที่มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนคือธาตุโครเมียม (Cr) และต้องผสมอยู่ในปริมาณที่มากเพียงพอในการสร้างฟิล์มเพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่จะเกิดขึ้น ส่วนธาตุผสมรองอื่น ๆ ผสมเข้าไปเพื่อที่จะมีหน้าที่ในการเสริมสมบัติพิเศษบางประการ ดังนั้น การพิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมจะต้องตอบสนองหรือยังคงรักษาสสมบัติพื้นฐานของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดนั้น ๆ ไว้ ซึ่งผู้ผลิตเองก็มักจะมีข้อแนะนำแก่ผู้ใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสม ดังแสดงใน **ตารางที่ 7.28** ที่เป็นตัวอย่างคำแนะนำการเลือกลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับโลหะหลักที่ต้องการเชื่อม ซึ่งโดยพื้นฐานการเลือกลวดเชื่อมจะเลือกลวดเชื่อมที่เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มเดียวกัน เช่น กลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิมซีรีส์ 300 ก็ต้องเลือกลวดเชื่อมกลุ่มที่ขึ้นต้นรหัส 3XX เป็นต้น ด้วยเหตุผลเพราะว่าพื้นฐานส่วนผสมหลักจะเหมือนกัน



(ก) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดตรง ER 316L (ข) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน ER 316L

รูปที่ 7.23 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS

ที่มา : Lincoln Electric Blue Max, 2018

ตารางที่ 7.28 คำแนะนำในการเลือกใช้ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมชนิดเหล็กกล้าไร้สนิม

ที่มา : ThaiNox Stainless steel คู่มือเกี่ยวกับกระบวนการเชื่อมสแตนเลส, 2016

เกรดโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels)	เกรดลวดเชื่อม (Filler electrode)
Austenitic stainless steel	
304/304L	308/308L
308	308
309/309S	308
310/310S	310
316/316L	316/316L
321/347	321/347/308
Ferritic stainless steel	
409/409L	430/409/409L/308L/309LSi
430	430/308L/309L
439	430/430Ti
Martensitic stainless steel	
403	410/309
410	410/309
414	410/309
420	410/309
Duplex stainless steel	
2205	2209

1.3) AWS A5.15/A5.15:R2016 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมของโลหะเหล็กหล่อ (Specification for Wire Electrodes and Rods for Cast Iron) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.15/A5.15:R2016 หมายถึง ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมสำหรับเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ
R2016 หมายถึง ปีที่กำหนดปรับปรุงมาตรฐาน 2016



ลวดเชื่อมเส้นตัน (Rod) สำหรับใช้เชื่อมโลหะเหล็กหล่อมียุติออกมามากน้อยเพราะโดยปกติแล้วเหล็กหล่อก็ไม่นิยมทำการเชื่อม จะมีไว้สำหรับงานเชื่อมซ่อมแซมเป็นสำคัญ โดยมีการผลิตออกมามีทั้งที่เป็นแบบเส้นลวดตรง (Filler rod) ที่ใช้กับการเชื่อมทิกหรือเชื่อมพลาสมา และเป็นแบบม้วน (Filler wire) ที่ใช้กับการเชื่อมมิก/แม็ก ดังแสดงเป็นตัวอย่างของลวดเชื่อม ERNi-CI ของทั้งสองแบบในรูปที่ 7.24 ส่วนผสมทางเคมีจะมีธาตุникเกิดเป็นธาตุผสมหลัก ดังแสดงชนิดของลวดเชื่อมเหล็กหล่อและส่วนผสมทางเคมีในตารางที่ 7.29 และข้อแนะนำของผู้ผลิตในรูปที่ 7.25

ตารางที่ 7.29 ชนิดและส่วนผสมเคมีลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมชนิดเหล็กหล่อ มาตรฐาน AWS A5.15

ที่มา: AWS A5.15/A5.15, 2016

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^{a,b,c}									
	C	Si	Mn	P	S	Ni ^d	Fe	Cu ^e	Al	Total
ERNi-CI	1.0	0.75	2.5	-	0.03	90min	4.0	4.0	-	1.0
ERNiFeMn-CI	0.5	1.0	10-14	-	0.03	35-45	Rem	2.5	1.0	1.0

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.29

- a = การวิเคราะห์ธาตุในแกนลวดและเนื้อเชื่อม สำหรับธาตุอื่น ๆ จะรวมอยู่ในช่องรวม (Total)
- b = ค่าที่แสดงค่าเดียวเป็นค่าสูงสุด
- c = "Rem" หมายถึง ปริมาณที่เหลือจนครบ 100%
- d = ธาตุникเกิดรวมกับธาตุโคบอลต์
- e = ธาตุทองแดงรวมกับธาตุเงิน

การเลือกใช้ลวดเชื่อมเหล็กหล่อไปใช้งาน

ERNi-CI (นิกเกิล) เป็นลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุникเกิดสูงถึง 99% ไม่มีธาตุลุดออกซิเจน ใช้ได้กับการเชื่อมเหล็กหล่อทุกชนิด เนื้อเชื่อมที่ได้จะผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกับโลหะที่เชื่อม ดังนั้นแนวเชื่อมจึงสามารถทำการตกแต่งด้วยเครื่องจักรได้

ERNiFeMn-CI (นิกเกิล-เหล็ก-แมงกานีส) เป็นลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับการเชื่อมเหล็กหล่อที่มีความแข็งแรงสูง จำพวกเหล็กหล่อกราไฟต์กลม แนวเชื่อมไม่สามารถทำการตกแต่งด้วยเครื่องจักรได้



(ก) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดตรง ERNi-CI (ข) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน Nife 55
รูปที่ 7.24 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมเหล็กหล่อ มาตรฐาน AWS

ที่มา : Welding Materials Sales, 2019

GMAW and GTAW	For Cast Iron
MC-Ni100M (MIG)	
MC-Ni100R (TIG)	

WELDING POSITIONS :



DESCRIPTION AND APPLICATIONS

High strength Fe-Ni Alloy for welding of cast iron and for joining cast iron to steel. Also suitable for welding ductile iron of which strength is required.

NOTES ON USAGE

- 1) For GTAW process, use DC-EN, Pure Argon.
- 2) For GMAW process, Spray Transfer or Short Circuit Transfer mode can be used.
- 3) Pure Argon, 98% Argon + 2% O₂ and 80% Argon + 20% O₂.

WIRE ANALYSIS (Wt%)							
C	Si	Mn	P	Cu	Ni	Fe	Special Element
0.01	0.46	0.4	0.010	Max 0.2	99.2	0.2	Max 0.5

TYPICAL ALL WELD METAL MECHANICAL PROPERTIES •			
YIELD STRESS	TENSILE STRENGTH	ELONGATION	CVN IMPACT VALUES
-	600 N/mm ²	38%	-

• in "as welded" condition.

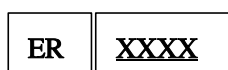
PRODUCT NAME	SIZE (mm)	PACKAGING (Kg)
MC-Ni100M (MIG)	1.2	12.5
MC-Ni100R (TIG)	1.6/2.4	5

รูปที่ 7.25 ตัวอย่างข้อมูลแนะนำผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กหล่อ

ที่มา : HYUNDAI Welding Electrode, 2015

1.4) AWS A5.10/A5.10M:2017 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมของ โลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม (Welding Consumables–Wire Electrodes, Wires and Rods for Welding of Aluminum and Aluminum Alloy–Classification) ที่เป็นลวดเชื่อมเดิมที่ใช้สำหรับ ขบวนการเชื่อมมิก/แม็ก ขบวนการเชื่อมทิก และขบวนการเชื่อมพลาสมา ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของ มาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.10/A5.10 หมายถึง ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมสำหรับเชื่อมโลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม R2017 หมายถึง ปีที่กำหนดปรับปรุงมาตรฐาน 2017



หมายถึง = กลุ่มหมายเลขที่แสดงถึงส่วนผสมของ
ธาตุ Al หรือ ชนิดของ Al โดยมีหมายเลข 1–8
ดังที่แสดงในตาราง

- E = Electrode ใช้กับลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน สำหรับการเชื่อมมิก/แม็ก
- R = Rod ใช้กับลวดเชื่อมแบบเส้นลวดตรง สำหรับการเชื่อมทิก
- ER = ใช้กับทั้งลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และลวดเชื่อมแบบเดิม

สัญลักษณ์	ธาตุที่ผสมหลัก
1xxx	อลูมิเนียมบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99%
2xxx	ทองแดง
3xxx	แมงกานีส
4xxx	ซิลิคอน
5xxx	แมกนีเซียม
6xxx	แมกนีเซียมและซิลิคอน
7xxx	สังกะสี
8xxx	ธาตุอื่น ๆ

ลวดเชื่อมโลหะอลูมิเนียมที่เป็นชนิดลวดเดิม มีการใช้งานกันมากที่สามารถใช้เชื่อมได้ทั้ง โลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์ และอลูมิเนียมผสม ผู้ผลิตจึงมีการผลิตลวดเชื่อมออกมาให้ตรงกับชนิดของ อลูมิเนียมโลหะหลัก ดังแสดงในตารางที่ 7.30 จึงไม่ต้องยุ่งยากในการพิจารณาเลือกใช้ ซึ่งโดยหลักการ เลือกลวดเชื่อมก็จะเลือกชนิดที่เป็นเกรดเดียวกัน จะทำให้ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมและเนื้อเชื่อม ที่ได้เป็นเนื้อเดียวกันได้ดี เช่น อลูมิเนียมเกรด 1100 สามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมได้ทั้ง ER1100 และ R1100 เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้างเชื่อมก็สามารถเลือกลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับโลหะอลูมิเนียมใน ลักษณะงานที่ต้องการสมบัติพิเศษบางอย่างได้ และก็ยังมีข้อห้ามในการเลือกใช้ลวดเชื่อมบางเกรดกับ โลหะอลูมิเนียมบางเกรด เช่น ไม่ควรใช้ลวดเชื่อม ER4043 กับงานอลูมิเนียมที่ต้องนำไปชุบโนไดซ์ เพราะธาตุซิลิคอนจะทำให้สับริเวณที่เป็นแนวเชื่อมเข้มกว่าบริเวณอื่นบนผิวของชิ้นงานอลูมิเนียม

ตารางที่ 7.30 ชนิดและส่วนผสมเคมีลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม

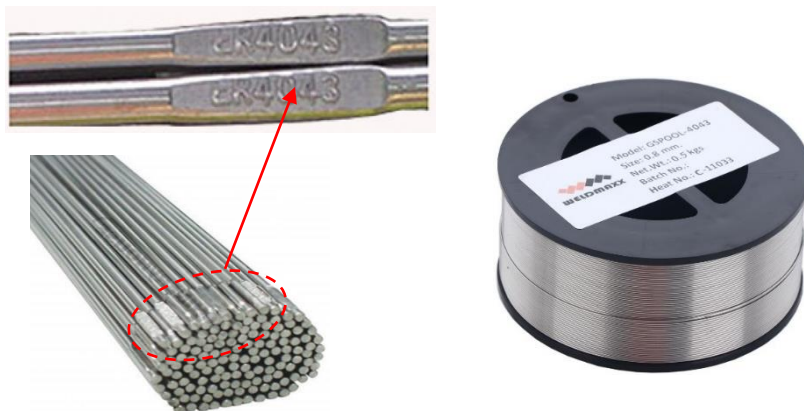
ที่มา : AWS A5.10/A5.10. 2017

ประเภท ลวดเชื่อม ^b	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^{a,b}										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Each ^d	Total	Al
ER1100	c	c	0.05–0.2	0.05	–	–	0.1	–	0.5	0.15	99min ^e
R1100	c	c	0.05–0.2	0.05	–	–	0.1	–	0.5	0.15	99min ^e
ER1188 ^f	0.06	0.06	0.005	0.01	0.01	–	0.03	0.1	0.01	–	99.9min ^e
R1188 ^g	0.06	0.06	0.005	0.01	0.01	–	0.03	0.1	0.01	–	99.9min ^e
ER2319 ^f	0.02	0.3	5.8–6.8	0.2–0.4	0.02	–	0.10	0.1–0.2	0.5	0.15	Rema.
R2319 ^f	0.02	0.3	5.8–6.8	0.2–0.4	0.02	–	0.10	0.1–0.2	0.5	0.15	Rema.
ER4009	4.5–5.5	0.02	1.0–1.5	0.1	0.45–0.6	–	0.10	0.2	0.5	0.15	Rema.
R4009	4.5–5.5	0.02	1.0–1.5	0.1	0.45–0.6	–	0.10	0.2	0.5	0.15	Rema.
ER4010	6.5–7.5	0.02	0.02	0.1	0.3–0.45	–	0.10	0.2	0.5	0.15	Rema.
R4010	6.5–7.5	0.02	0.02	0.1	0.3–0.45	–	0.10	0.2	0.5	0.15	Rema.
R4011	6.5–7.5	0.02	1.02	0.1	0.45–0.7	–	0.10	0.4–0.2	0.5	0.15	Rema.
ER4043	4.5–6.0	0.8	0.3	0.05	0.05	–	0.10	0.2	0.5	0.15	Rema.
R4043	4.5–6.0	0.8	0.3	0.05	0.05	–	0.10	0.2	0.5	0.15	Rema.
ER4047	1.0–13.0	0.8	0.3	0.15	0.1	–	0.20	–	0.5	0.15	Rema.
R4047	1.0–13.0	0.8	0.3	0.15	0.1	–	0.20	–	0.5	0.15	Rema.
ER4145	9.3–10.7	0.8	3.3–4.7	0.15	0.15	0.15	0.20	–	0.5	0.15	Rema.
R4145	9.3–10.7	0.8	3.3–4.7	0.15	0.15	0.15	0.20	–	0.5	0.15	Rema.
ER4643	3.6–4.6	0.8	0.1	0.05	0.1–0.3	–	0.10	0.15	0.5	0.15	Rema.
R4643	3.6–4.6	0.8	0.1	0.05	0.1–0.3	–	0.10	0.15	0.5	0.15	Rema.
ER5183	0.4	0.4	0.1	0.5–1.0	4.3–5.2	0.05–0.25	0.25	0.15	0.5	0.15	Rema.
R5183	0.4	0.4	0.1	0.5–1.0	4.3–5.2	0.05–0.25	0.25	0.06–0.2	0.5	0.15	Rema.
ER5356	0.25	0.4	0.1	0.05–0.2	4.5–5.5	0.05–0.2	0.10	0.06–0.2	0.5	0.15	Rema.
R5356	0.25	0.4	0.1	0.05–0.2	4.5–5.5	0.05–0.2	0.10	0.05–0.2	0.5	0.15	Rema.
ER5554	0.25	0.4	0.1	0.5–1.0	2.4–3.0	0.05–0.2	0.25	0.05–0.2	0.5	0.15	Rema.
R5554	0.25	0.4	0.1	0.5–1.0	2.4–3.0	0.05–0.2	0.25	0.05–0.2	0.5	0.15	Rema.
ER5556	0.25	0.4	0.1	0.5–1.0	4.7–5.5	0.05–0.2	0.25	0.05–0.2	0.5	0.15	Rema.
R5556	0.25	0.4	0.1	0.5–1.0	4.7–5.5	0.05–0.2	0.25	0.05–0.2	0.5	0.15	Rema.
ER5654	i	h	0.05	0.01	3.1–3.9	0.15–0.35	0.2	0.05–0.15	0.5	0.15	Rema.
R5654	i	h	0.05	0.01	3.1–3.9	0.15–0.35	0.2	0.05–0.15	0.5	0.15	Rema.

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.30

- a = โลหะผสมหลักที่กำหนดตามตาราง ส่วนผสมอื่น ๆ จะไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ตามตาราง
- b = ค่าที่แสดงค่าเดียวเป็นค่าสูงสุด ยกเว้นนอกจากกำหนดเป็นอย่างอื่น
- c = ปริมาณซิลิกอนรวมกับธาตุเหล็กต้องไม่เกิน 0.95%
- d = ธาตุแบริลเลียมต้องไม่เกิน 0.0008%
- e = เป็นปริมาณอลูมิเนียมผสมสำหรับลวดเชื่อมอลูมิเนียมไม่ผสม
- f = วานเนียมผสมสูงสุด 0.05% แกลเลียมผสมสูงสุด 0.03%
- g = วานเนียมผสมอยู่ระหว่าง 0.05–0.15% และเซอร์โคเนียมผสมอยู่ 0.1–0.25%
- h = ซิลิกอนรวมกับเหล็กไม่เกิน 0.45%
- i = ดีบุกผสมไม่เกิน 0.05%

ลักษณะของลวดเชื่อมโลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสมชนิดที่เป็นเส้นหรือแท่งตันจะมีรหัสหรือโค้ดแสดงอยู่ที่ปลายของเส้นลวดดังแสดงในรูปที่ 7.26 (ก) ส่วนชนิดที่เป็นม้วนก็จะระบุไว้ที่ล้อม้วนลวดเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 7.26 (ข)



(ก) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดตรง R4043 (ข) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน ER4043

รูปที่ 7.26 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม

ที่มา : WELDMAXX Welding Electrode, 2018

2. ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมมาตรฐาน JIS (Japanese Industrial Standards)

ลวดเชื่อมสำหรับขบวนการเชื่อมที่ใช้แก๊สจากแหล่งภายนอกเข้ามาปกคลุมหรือที่นิยมเรียกกันว่าลวดเชื่อมเปลือยด้วยเพราะไม่มีฟลักซ์หุ้ม ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (JIS) ได้สร้างข้อกำหนดขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานคุณภาพของงานเชื่อมและความเข้าใจที่ตรงกันในการสื่อสารทางภาษาวิศวกรรมการเชื่อม โดยมีรหัสหรือโค้ดที่กำหนดไว้ดังนี้

2.1) JIS Z 3312 :2018 ข้อกำหนดมาตรฐานลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน (เหล็กกล้าละมุน) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงและเหล็กกล้าสำหรับงานอุณหภูมิต่ำ ที่ใช้สำหรับขบวนการเชื่อมมิก/แม็ก (Solid wires for MAG and MIG welding of mild steel, high strength steel and low temperature service steel) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

Y	GW	XX
---	----	----

- หมายถึง = กลุ่มหมายเลขที่แสดงถึงชนิดของแก๊สปกคลุม ชนิดของโลหะงานที่เชื่อม และส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม โดยมีหมายเลขดังที่ แสดงในตารางที่ 7.31
- หมายถึง = สำหรับการเชื่อมมิก/แม็ก
- หมายถึง = เป็นลวดเชื่อมที่ใช้ไฟฟ้า

ข้อกำหนดตามมาตรฐาน JIS ก็ได้สร้างรหัสของตัวเลขและตัวอักษรเพื่อระบุถึงตัวตนของลวดเชื่อมแต่ละชนิด ซึ่งมีความหมายตามที่แสดงไว้ข้างต้น โดยชุดตัวเลขท้ายจะใช้ระบุถึงชนิดของแก๊สปกคลุม ชนิดของโลหะงานที่เชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 7.31 และส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 7.32 ซึ่งมาตรฐานจะกำหนดไว้เป็นพื้นฐานของการเลือกชนิดของลวดเชื่อมให้เหมาะสมกับโลหะงานที่จะเชื่อม ที่รวมถึงการเลือกใช้แก๊สปกคลุมที่ถูกต้อง แต่ในบางกรณีอาจมีเงื่อนไขของการเชื่อมที่ต้องการสมบัติพิเศษบางอย่างของเนื้อเชื่อม ซึ่งช่างเชื่อมหรือวิศวกรงานเชื่อมก็สามารถใช้ข้อกำหนดของมาตรฐานนี้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมได้ หรือกรณีของแก๊สปกคลุมก็สามารถสร้างข้อตกลงจากผู้ผลิตให้ผลิตแก๊สปกคลุมชนิดพิเศษขึ้นได้ตามต้องการ

จากข้อกำหนดตามมาตรฐานลวดเชื่อมข้างต้นจะรองรับเฉพาะขบวนการเชื่อม MIG/MAG นั้นก็หมายถึงเป็นลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน (Filler wire) ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 7.27 และผู้ผลิตก็ยังมีข้อเสนอถึงรายละเอียดด้านต่าง ๆ ของลวดเชื่อม เช่น การเทียบรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานต่าง ๆ ส่วนผสมทางเคมี สมบัติทางกล กระแสไฟเชื่อม รวมถึงแก๊สปกคลุม ดังตัวอย่างลวดเชื่อมชนิดที่ใช้เชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน (ละมุน) ความเค้นแรงดึง 490 N/mm² ลวดเชื่อม YGW11แสดงในรูปที่ 7.28

ตารางที่ 7.31 ชนิดลวดและการใช้งานของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง สำหรับเชื่อมมิก/แม็ก ตามมาตรฐาน JIS Z 3312

ที่มา : JIS Z 3312:2018, 2018

ประเภทลวดเชื่อม	ชนิดแก๊สปกคลุม ^a	ชนิดของโลหะงานเชื่อม
YGW11	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ที่ระดับ 490 N/mm ²
YGW12		
YGW13		
YGW14		
YGW15	แก๊สผสมอาร์กอน 80% และคาร์บอนไดออกไซด์ 20% (80Ar+20CO ₂)	เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ที่ระดับ 590 N/mm ²
YGW16		
YGW17		
YGW21	คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ที่ระดับ 490 N/mm ²
YGW22		
YGW23	แก๊สผสมอาร์กอน 80% และคาร์บอนไดออกไซด์ 20% (80Ar+20CO ₂)	เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ที่ระดับ 590 N/mm ²
YGW24		

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.31

- a = กรณีที่มีการเลือกใช้แก๊สปกคลุมนอกไปจากนี้จะหมายถึงการตกลงกันของผู้ใช้และผู้ผลิต

Gas Metal Arc Welding

ZO-26

For mild steel and 490MPa tensil strength steel

Classifications

EN ISO 14341-A:2008	: G 46 2 C G0	AWS A5.18-05	: ER70S-G
	: G 46 2 M G0	KS D 7025	: YGW11
EN ISO 14341-B:2008	: G 49A 2 C G11	JIS Z 3312	: YGW11
	: G 49A 2 M G11		

Description

- For butt and fillet welding of ship-building, bridges, structural steel, steel buildings, machineries and vehicles
- Excellent defect resistant on high heat input
- Possible to achieve higher productivity due to low spatter and deep penetration
- Beautiful weld appearance on flat or horizontal welding position

Typical chemical composition of wire (%)

C	Si	Mn	P	S	Ti
0.06	0.80	1.53	0.014	0.010	0.18

Typical mechanical properties of all-weld metal

	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	El. (%)	IV (J) -20°C	Remarks
AWS A5.18	min. 400	min. 480	min. 22		
EN ISO 14341-B	min. 390	490~670	min. 18	≥ 27	CO ₂
Example	490	570	30	110	CO ₂
	520	590	31	120	Mix

Operating data

	Dia.(mm)	1.2	1.4
Current	Flat (PA/1G)	100 ~ 350	140 ~ 400
(Amp.)	Vertical (PF/3G)	70 ~ 200	100 ~ 250
	Overhead (PE/4G)	70 ~ 200	100 ~ 250

Polarity and Shielding gas

- DCEP (DC+)
- CO₂ : 100% CO₂
- Mix : Ar+20% CO₂ (15~25ℓ /min.)

Approvals

Shielding gas	ABS	BV	DNV	GL	LR	KR	NK
CO ₂	3YSA	SA3YM	III YMS	3YS	3YS H15	RSW53G	KSW53G

* Others : KS, JIS

160 KISWEL

รูปที่ 7.28 ขั้วแนะนำลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน JIS Z 3312 ชนิด YGW11

ที่มา : KISWEL Welding Electrode, 2013

ตารางที่ 7.32 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง สำหรับเชื่อมมิก/แม็ก ตามมาตรฐาน JIS Z 3312

ที่มา : JIS Z 3312:2018, 2018

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu ^a	Ni	Cr	Mo	Al	Ti+Zr
YGW11	0.15	0.55–1.10	1.4–1.9	0.03	0.03	0.5	–	–	–	0.1	0.3
YGW12	0.15	0.55–1.10	1.25–1.9	0.03	0.03	0.5	–	–	–	–	–
YGW13	0.15	0.55–1.10	1.3–1.9	0.03	0.03	0.5	–	–	–	0.1	0.3
YGW14	0.15	–	–	0.03	0.03	0.5	–	–	–	–	–
YGW15	0.15	0.40–1.00	1.0–1.6	0.03	0.03	0.5	–	–	–	0.1	0.3
YGW16	0.15	0.40–1.00	0.8–1.6	0.03	0.03	0.5	–	–	–	–	–
YGW17	0.15	–	–	0.03	0.03	0.5	–	–	–	–	–
YGW21	0.15	0.5–1.1	1.3–2.6	0.025	0.025	0.5	–	–	0.6	0.1	0.3
YGW22	0.15	–	–	0.025	0.025	0.5	–	–	–	–	–
YGW23	0.15	0.3–1.0	0.9–2.3	0.025	0.025	0.5	1.8	0.7	0.6	–	0.3
YGW24	0.15	–	–	0.025	0.025	0.5	–	–	–	–	–

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.32

● a = โลหะทองแดงที่เคลือบลวดเชื่อมจะรวมอยู่ในปริมาณส่วนผสมนี้ด้วย



รูปที่ 7.27 ผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน JIS Z 3312 ชนิด YGW11

ที่มา : KISWEL Welding Electrode, 2013

2.2) JIS Z 3316:2017 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน (เหล็กกล้าละมุน) เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานอุณหภูมิต่ำ ที่ใช้สำหรับขบวนการเชื่อมทิก (Solid wires and rods for TIG welding of mild steel, high strength steel and low temperature service steel) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

Y	GT	XX
----------	-----------	-----------

- หมายถึง = เป็นลวดเชื่อมแบบที่ใช้เดิม
- หมายถึง = สำหรับการเชื่อมทิก (TIG)
- หมายถึง = กลุ่มหมายเลขที่แสดงถึงชนิดของโลหะงานที่เชื่อม และส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม โดยมีหมายเลขดังที่แสดงในตารางข้างล่างนี้

มาตรฐานลวดเชื่อม JIS Z 3316 นี้เป็นข้อกำหนดรหัสหรือโค้ดที่ใช้ระบุถึงลวดเชื่อมแบบเส้นตันหรือแท่งตัน (Filler rod) ที่ใช้สำหรับขบวนการเชื่อม GTAW หรือ การเชื่อม TIG โดยกำหนดชุดตัวเลขท้ายเป็นตัวบ่งชี้ถึงชนิดของลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับโลหะงานที่ต้องการเชื่อม ดังแสดงไว้ใน **ตารางที่ 7.33** และส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมแต่ละชนิด ดังแสดงไว้ใน **ตารางที่ 7.34** โดยผู้ผลิตจะระบุรหัสหรือโค้ดไว้ที่ปลายของเส้นลวดดังแสดงตัวอย่างลักษณะรูปแบบของเส้นลวดใน **รูปที่ 7.29** พร้อมๆกับข้อแนะนำเพื่อการพิจารณาเลือกใช้ดังตัวอย่างลวดเชื่อม ชนิด YGT 50 ใน **รูปที่ 7.30**

ตารางที่ 7.33 ชนิดและการใช้งานของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง สำหรับเชื่อมทิก ตามมาตรฐาน JIS Z 3316

ที่มา : JIS Z 3316:2017, 2017

ประเภทลวดเชื่อม	ชนิดของโลหะงานเชื่อม
YGT 50	
YGT 60	
YGT 62	เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน (เหล็กกล้าละมุน)
YGT 70	และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง
YGT 80	
YGT M	
YGT ML	
YGT 1 CM	
YGT 1 CML	เหมาะสำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าโมลิบดีนัม และเหล็กกล้า
YGT 2 CM	โครเมียม-โมลิบดีนัม
YGT 2 CML	
YGT 3 CM	
YGT 5 CM	

ตารางที่ 7.34 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงสำหรับเชื่อมทิก ตามมาตรฐาน JIS Z 3316

ที่มา : JIS Z 3316:2017, 2017

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu ^a	Ni	Cr	Mo	Al	Ti+Zr
YGT 50	0.15	1.0	1.9	0.03	0.03	0.5	–	–	–	0.15	0.27
YGT 60	0.15	1.0	2.0	0.025	0.025	0.5	1.8	0.7	0.65	–	0.2
YGT 62	0.15	1.0	2.25	0.025	0.025	0.5	1.8	0.7	0.65	–	0.2
YGT 70	0.15	0.8	2.25	0.025	0.025	0.5	2.6	0.6	0.65	–	
YGT 80	0.15	0.8	2.25	0.025	0.025	0.5	3.8	0.6	0.9	–	
YGT M	0.05–0.15	0.8	2.0	0.025	0.025	0.4	–	–	0.4–0.65	–	
YGT ML	0.05–0.15	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	–	0.4–0.65	–	
YGT 1 CM	0.05–0.15	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	1–1.5	0.4–0.65	–	
YGT 1 CML	0.05	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	1–1.5	0.4–0.65	–	
YGT 2 CM	0.05–0.15	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	2–2.7	0.9–1.2	–	
YGT 2 CML	0.05	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	2–2.7	0.9–1.2	–	
YGT 3 CM	0.15	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	2.7–3.5	0.9–1.2	–	
YGT 5 CM	0.15	0.8	1.6	0.025	0.025	0.4	–	4–6	0.45–0.65	–	

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.34

- a = โลหะทองแดงที่เคลือบลวดเชื่อมจะรวมอยู่ในปริมาณส่วนผสมนี้ด้วย



รูปที่ 7.29 ขั้วแนะนำลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน JIS Z 3316 ชนิด YGT50

ที่มา : KISWEL Welding Electrode, 2013



Classifications

EN 636-A:2008	: W 46 3 W3Si1	K S D 7140	: YGT50
EN 636-B:2008	: W 49A 3 U W6	JIS Z 3316	: YGT50
AWS A5.18-05	: ER70S-6		

Description

- For mild steel and 490MPa tensile strength steel welding of structural steels, machineries and vehicles.
- Excellent mechanical and toughness properties in low temperature conditions.
- It is generally used in root pass welding of pipes in all positions.
- Proper tungsten electrode extension from the tip of torch is 4~6mm in general.

Typical chemical composition of rod (%)

C	Si	Mn	P	S
0.07	0.82	1.52	0.012	0.015

Typical mechanical properties of all-weld-metal

	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	El. (%)	IV (J) -30℃	Remarks
AWS A5.18	min. 400	min. 460	min. 22	≥ 27	Ar
EN 636-A	min. 460	530~680	min. 20	≥ 47	Ar
Example	490	580	30	130	Ar

Operating data

Dia.(mm)	2.4~3.2
Current (Amp.)	200 ~ 300

Polarity and Shielding gas

- DCEN (DC-)
- Ar : 100%Ar (15~25ℓ/min)

Approvals

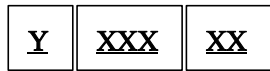
Shielding gas	ABS	LR	KR
Ar	2YSA	I YMH15	RSW54G

KISWEL 293

รูปที่ 7.30 ข้อนแนะนำลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน JIS Z 3316 ชนิด YGT50

ที่มา : KISWEL Welding Electrode, 2013

2.3) JIS Z 3321:2013 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมหรือลวดเชื่อมเปลือยของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel rods, wires and strip electrodes for welding) ที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเติมสำหรับขบวนการเชื่อมทิก (GTAW) การเชื่อมมิก (GMAW) และการเชื่อมพลาสมา (PAW) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้



- หมายถึง = ธาตุผสมสูงหรือธาตุผสมพิเศษ
- หมายถึง = ตัวเลขแสดงถึงเกรดหรือส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม
- หมายถึง = เป็นลวดเชื่อมเปลือยแบบม้วน และแบบแท่งตัน (Wire and Rod)

มาตรฐานลวดเชื่อมเปลือยของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน JIS 3321 ได้มีข้อกำหนดให้สามารถใช้ได้กับลวดเชื่อมทั้งแบบชนิดที่เป็นเส้นแท่งตัน (Rod) เส้นลวดม้วนตัน (Wire) และแบบแผ่นสติป ดังแสดงในรูปที่ 7.31 ซึ่งแสดงเป็นตัวอย่างลวดเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดรหัสหรือโค้ด Y 308 โดยมีอีกหลายชนิดพร้อมกับแสดงส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมในตารางที่ 7.35 เป็นที่น่าสังเกตว่ามาตรฐาน JIS มีการกำหนดรหัสด้วยสี (Colour) บนลวดเชื่อม เช่น Y 312 กำหนดเป็นสีเขียว เป็นต้น ที่ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐานอื่น ๆ และสีอื่น ๆ ตามชนิดของลวดเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 7.35



(ก) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดตรง Y308

(ข) ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน Y 308



(ค) ลวดเชื่อมแบบแผ่นสติป Y 308

รูปที่ 7.31 ตัวอย่างลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม JIS Z 3321 ชนิด Y 308

ที่มา : UNIMIG Welding Supplies, 2012

ตารางที่ 7.35 ชนิดและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม

ตามมาตรฐาน JIS Z 3321:2013 *ที่มา: JIS Z 3321:2013, 2013*

ประเภท	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^a									
ลวดเชื่อม	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	อื่น ๆ	รหัสสี
Y 308 ^b	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	9-11	19.5-22	-	-	เหลือง
Y 308 L ^b	0.03	0.65	1-2.5	0.03	0.03	9-11	19.5-22	-	-	แดง
Y 309 ^b	0.12	0.65	1-2.5	0.03	0.03	12-14	23-25	-	-	ดำ
Y 309 L	0.03	0.65	1-2.5	0.03	0.03	12-14	23-25	-	-	เขียวอ่อน
Y 309 Mo	0.12	0.65	1-2.5	0.03	0.03	12-14	23-25	2-3	-	เงิน
Y 310	0.15	0.65	1-2.5	0.03	0.03	20- 22.5	25-28	-	-	ทอง
Y 310 S	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	20- 22.5	25-28	-	-	ชมพู
Y 312	0.15	0.65	1-2.5	0.03	0.03	8-10.5	28-32	-	-	เขียว
Y 16-8-2	0.1	0.65	1-2.5	0.03	0.03	7.5-9.5	14.5-16.5	1-2	-	ขาว
Y 316 ^b	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	11-14	18.-20	2-3	-	ขาว
Y 316 L ^b	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	11-14	18-20	2-3	-	เขียว
Y 316 JIL	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	11-14	18-20	2-3	Cu 1-2.5	เทา
Y 317	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	13-15	18-20.5	3-4	-	น้ำตาลเข้ม
Y 317 L	0.03	0.65	1-2.5	0.03	0.03	13-15	18-20.5	3-4	-	น้ำตาลเข้ม
Y 321	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	9-10.5	18-20.5	-	Ti 9xC to 1.0	เขียวอ่อน
Y 347 ^b	0.08	0.65	1-2.5	0.03	0.03	9-11	19-21.5	-	Nb 10xC to 1.0	น้ำเงิน
Y 347 L	0.03	0.65	1-2.5	0.03	0.03	9-11	19-21.5	-	Nb 10xC to 1.0	น้ำเงิน
Y 410	0.12	0.5	0.6	0.03	0.03	0.6	11.5-13.5	0.75	-	ม่วง
Y 430	0.1	0.5	0.6	0.03	0.03	0.6	13.5-17	-	-	น้ำตาลอ่อน

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.35

- a = ค่าที่แสดงค่าเดียว เป็นค่าที่สูงสุด
- b = ลวดเชื่อมที่สามารถใช้เป็นมาตรฐานซิลิกอนสูงได้ โดยซิลิกอนผสมได้สูงถึง 0.65-1.00%

สำหรับลวดเชื่อมแบบแผ่นสติป (Strip electrode) จะผลิตออกมาใช้งานไม่มากนักเนื่องจากเป็นลวดเชื่อมที่ใช้กับขบวนการเชื่อมได้ฟลักซ์ (SAW) ขบวนการเชื่อมอิเล็กโทรสแลก (ESW) และขบวนการเชื่อมแบบไฮบริด (Hybrid) ซึ่งเหมาะกับงานขนาดใหญ่ต้องการเนื้อเชื่อม จะไม่ค่อยได้พบเห็นการใช้ลวดเชื่อมแบบแผ่นสติปกับงานเชื่อมทั่ว ๆ ไป โดยจะมีทั้งประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม (Strip electrode stainless steel) และ เหล็กกล้าสมนิกเกิลสูง (Strip electrode nickel base alloys)

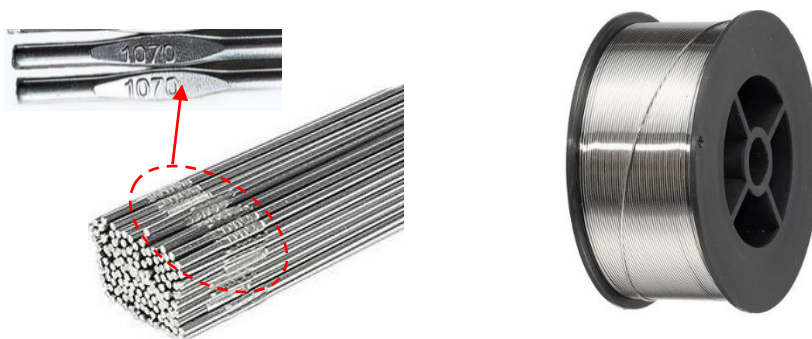
2.4) JIS Z 3232:2019 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมหรือลวดเชื่อมเปลือยของโลหะอะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม (Aluminium and aluminium alloy welding rods and wires) ที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเติมสำหรับขบวนการเชื่อมทิก (GTAW) การเชื่อมมิก (GMAW) และการเชื่อมพลาสมา (PAW) ซึ่งรองรับทั้งขบวนการเชื่อมด้วยมือช่างเชื่อมและขบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมที่มีส่วนที่ต่างกันระหว่าง ลวดเชื่อมแบบแท่งตัน (Rod/Bar electrode) ที่ระบุถึง ชนิดของลวดเชื่อม และขนาดความโตของแท่งลวดเชื่อม ลวดเชื่อมแบบแท่งนี้จะมีรหัสหรือโค้ดสีเพิ่มเติมที่ใช้อธิบายชนิดของลวดเชื่อมแท่งตันดังแสดงในตารางข้างล่าง ส่วนลวดเชื่อมแบบเส้นม้วน (Wire electrode) จะระบุถึง ชนิดของลวดเชื่อม ขนาดความโตของเส้นลวดเชื่อม และน้ำหนักของลวดเชื่อม ลวดเชื่อมแบบม้วนจะไม่รหัสหรือโค้ดสี



- หมายถึง = ขนาดความ Ø ของลวดเชื่อม
- หมายถึง = BY คือ ลวดแบบแท่ง และ WY คือ ลวดแบบม้วน
ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้
- หมายถึง = เป็นลวดเชื่อมเปลือยแบบแท่งตัน และแบบ ม้วน (Rod and Wire)

ลวดเชื่อมแบบแท่งตัน (Filler rod)	ลวดเชื่อมแบบเส้นลวดม้วน (Filler wire)
A 1070-BY (สีที่ปลายลวด = ดำ)	A 1070-WY
A 1100-BY (สีที่ปลายลวด = แดง)	A 1100-WY
A 1200-BY (สีที่ปลายลวด = น้ำตาล)	A 1200-WY
A 2319-BY (สีที่ปลายลวด = ม่วง)	A 2319-WY
A 4043-BY (สีที่ปลายลวด = ส้ม)	A 4043-WY
A 4047-BY (สีที่ปลายลวด = ขาว)	A 4047-WY
A 5554-BY (สีที่ปลายลวด = เหลือง)	A 5554-WY
A 5654-BY (สีที่ปลายลวด = ชมพู)	A 5654-WY
A 5356-BY (สีที่ปลายลวด = เหลืองเขียว)	A 5356-WY
A 5556-BY (สีที่ปลายลวด = เขียว)	A 5556-WY
A 5183-BY (สีที่ปลายลวด = น้ำเงิน)	A 5183-WY

ตัวอย่างเช่น รหัสลวดเชื่อม A 1070 BY-3.2 หมายถึง ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์แบบแท่งตันขนาดเส้น 3.2 มิลลิเมตร ดังแสดงลักษณะของลวดเชื่อมในรูปที่ 7.32 (ก) และตัวอย่างเช่น รหัสลวดเชื่อม A 4047 WY-2.4 หมายถึง ลวดเชื่อมอะลูมิเนียมซิลิกอนที่เป็นแบบม้วน มีขนาดเส้น 3.2 มิลลิเมตร ขนาดน้ำหนัก 1 กก. (2.5ปอนด์) ในรูปที่ 7.32 (ข) พร้อมสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 7.36



(ก) ลวดเชื่อมแท่งตัน A 1070 BY-3.2 (ข) ลวดเชื่อมเส้นม้วน A 4047 WY-2.4

รูปที่ 7.32 ตัวอย่างลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม JIS Z 3232

ที่มา : HARRIS Welding Supplies, 2012

ตารางที่ 7.36 สมบัติทางกลลวดเชื่อมแก๊สปกคลุมโลหะอลูมิเนียมและอลูมิเนียมผสม

ตาม มาตรฐาน JIS Z 3232:2019 ที่มา : JIS Z 3232:2019, 2019

ประเภทลวดเชื่อมชนิด แบบแท่งและแบบม้วน	สัญลักษณ์และชั้นการทดสอบ โลหะงาน	ความแข็งแรงดึงของเนื้อเชื่อม kgf/mm ² (N/mm ²)
A 1070-BY	A 1070 P-O	5.5 (54)
A 1070-WY		
A 1100-BY	A 1100 P-O	7.5 (74)
A 1100-WY		
A 1200-BY	A 1200 P-O	7.5 (74)
A 1200-WY		
A 2319-BY	A 2014 P-O	25 (74)
A 2319-WY		
A 4043-BY	A 6061 P-O	17 (167)
A 4043-WY		
A 4047-BY	A 6061 P-O	17 ^b (167)
A 4047-WY		
A 5554-BY	A 5454 P-O	22 (216)
A 5554-WY		
A 5654-BY	A 5254 P-O	21 (206)
A 5654-WY		
A 5356-BY	A 5083 P-O	27 (265)
A 5356-WY		
A 5556-BY	A 5083 P-O	28 (275)
A 5556-WY		
A 5183-BY	A 5083 P-O	28 (275)
A 5183-WY		

7.3 มาตรฐานของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Standards code flux cored electrode)

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ หรือเรียกอีกอย่างลวดเชื่อมแกนฟลักซ์ ซึ่งก็หมายถึง ลวดเชื่อมโลหะที่เป็นเส้น ท่อกลวงแล้วบรรจุหรืออัดผงฟลักซ์ไว้ภายในท่อที่เรียกกันว่า “Flux cored” ลวดเชื่อมประเภทนี้อาจจะยังมีการใช้งานกันไม่แพร่หลาย ด้วยเพราะเป็นลวดเชื่อมที่พัฒนาขึ้น โดยเป็นการนำเอาข้อดีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Cover electrode) กับลวดเชื่อมมิก (Filler electrode) มารวมกัน ซึ่งช่วยทำให้แนวเชื่อมมีความสมบูรณ์สวยงาม เพราะมีผงฟลักซ์อยู่ในท่อลวดทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมได้ดี ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์นี้มีทั้งชนิดที่ไม่ต้องแก๊สปกคลุมจากถังภายนอก ที่เรียกกันว่า “Self Shielding Flux Core Wire” หรือ “Inner Shielding Flux Core Wire” และชนิดที่ต้องใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือ ผสมกับแก๊สอาร์กอน $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ ปกคลุมขณะเชื่อม ที่เรียกกันย่อๆ ว่า “Gas Shielding Flux Cored Wire” หรือ “Outer Shielding Flux Cored Wire” ลวดเชื่อมแบบไส้ฟลักซ์นี้สามารถใช้กับขบวนการเชื่อม MIG/MAG ซึ่งเหมาะกับงานเชื่อมที่ต้องการคุณภาพของแนวเชื่อมที่สูง ดังแสดงตัวอย่างของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ในรูปที่ 7.33 ที่ผลิตออกมาจำหน่ายและใช้งานกัน มีหลายมาตรฐานที่รู้จักกันดี ได้แก่ มาตรฐาน AWS (มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา) มาตรฐาน JIS (มาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น) มาตรฐาน EN ISO (มาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรป) ดังที่จะได้กล่าวในมาตรฐานต่าง ๆ และในแต่ละชนิดของโลหะลวดเชื่อม ดังต่อไปนี้



ลวดเหล็กกล้าไร้สนิม

ลวดเหล็กกล้าคาร์บอน

ลวดเหล็กหล่อ

รูปที่ 7.33 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux cord wire)

ที่มา : NICETECH Welding electrode, 2014 และ Clarke Weld International, 2015

1. ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มาตรฐาน AWS (Flux cord wire of American Welding Society)

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์หรือแกนฟลักซ์ตามมาตรฐานของสมาคมการเชื่อมแห่งสหรัฐอเมริกา (AWS) ได้สร้างข้อกำหนดและรหัสหรือโค้ดขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานและความเข้าใจที่ตรงกันในการสื่อสารทางภาษาศาวกรรมการเชื่อม มาตรฐาน AWS นี้เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศไทยที่ใช้มาตรฐานนี้กันมาก โดยมีรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานที่กำหนดไว้แยกตามชนิดของโลหะเชื่อม เช่น ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้า เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กหล่อ และโลหะอลูมิเนียม ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

1.1) AWS A5.20/A5.20 M:2005 (R2015) ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ แก๊สปกคลุมของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน (Specification for Carbon Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.20/A5.20 หมายถึง ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน
M:2005(R2015) หมายถึง เป็นมาตรฐานของปี 2005 ปรับปรุงขึ้นใหม่ปี 2015

E	XXT	-	X	X	I	X	HX
---	-----	---	---	---	---	---	----

- หมายถึง = ค่าไฮโดรเจนในเนื้อเชื่อม
- หมายถึง = “D” หรือ “G” ใช้บ่งชี้ถึงการควบคุมความร้อนในการเชื่อม
- หมายถึง = ค่าความต้านทานแรงกระแทกต้องมีค่าที่สูงกว่า 27 จูลที่อุณหภูมิ -40°C
- หมายถึง = “C” คือ ใช้แก๊ส CO_2 100%
“M” คือ ใช้แก๊ส $\text{CO}_2 + 75-80\% \text{Ar}$
ถ้าไม่มีระบุคือ ไม่ใช้แก๊สจากภายนอก
- หมายถึง = ตัวเลข 1-14 หรือ “G” หรือ “GS”
เป็นค่าความสามารถของลวดในการเชื่อม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์
- หมายถึง = ตำแหน่งท่าเชื่อม เลข 0 คือ ท่าราบและท่าระดับ เลข 1 คือ ทุกท่าเชื่อม
- หมายถึง = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดของเนื้อเชื่อม (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไฟฟ้า (Electrode)

การแบ่งประเภทของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับลวดเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนตามมาตรฐาน AWS จะแบ่งได้เป็นชนิดต่าง ๆ ตามเงื่อนไขของท่าเชื่อม เงื่อนไขความสามารถในการใช้งาน รวมถึงการใช้หรือไม่ใช้แก๊สปกคลุม และสภาพการต่อข้อเชื่อมกระแสไฟ ดังแสดงใน **ตารางที่ 7.37** ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะไม่มีข้อกำหนดส่วนผสมทางเคมีของลวดที่จะเชื่อม ด้วยเพราะส่วนผสมทางเคมีที่จะได้ในเนื้อเชื่อมนั้นมาจากการผสมธาตุ ๆ ผสมไปกับผงฟลักซ์ที่บรรจุอยู่ภายในท่อลวดเชื่อม ซึ่งธาตุที่ผสมแต่ละตัวก็จะมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป ดังแสดงชนิดของธาตุที่ผสมพร้อมกับบทบาทหน้าที่ใน **ตารางที่ 7.38** นอกจากนี้มาตรฐานยังระบุถึงสมบัติทางกลของเนื้อเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ชนิดต่าง ๆ ทั้งความเค้นแรงดึง ความสามารถในการยึดตัว และความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก ดังแสดงอยู่ใน **ตารางที่ 7.39**

ตารางที่ 7.37 ชนิดของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน มาตรฐาน AWS A 5.20:2005

ที่มา: AWS A5.20/A5.20:2005(R2015), 2015

ตัวกำหนดใช้งาน	ประเภทลวดเชื่อม	ท่าเชื่อม ^{a,b}	แก๊สปกคลุม ^c	หัวเชื่อม ^d	การใช้งาน
1	E70T-1C	H,F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-1M	H,F	CO ₂ +75-80%Ar		M
	E71T-1C	H,F,VU,OH	CO ₂		M
	E71T-1M	H,F,VU,OH	CO ₂ +75-80%Ar		M
2	E70T-2C	H,F	CO ₂	DCEP	S
	E70T-2M	H,F	CO ₂ +75-80%Ar		S
	E71T-2C	H,F,VU,OH	CO ₂		S
	E71T-2M	H,F,VU,OH	CO ₂ +75-80%Ar		S
3	E70T-3	H,F	None	DCEP	S
4	E70T-4	H,F	None	DCEP	M
5	E70T-5C	H,F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-5M	H,F	CO ₂ +75-80%Ar		M
	E71T-5C	H,F,VU,OH	CO ₂	DCEP	M
	E71T-5M	H,F,VU,OH	CO ₂ +75-80%Ar	or DCEN	M
6	E70T-6	H,F	None	DCEP	M
7	E70T-7	H,F	None	DCEN	M
	E71T-7	H,F,VU,OH	None	DCEN	M
8	E70T-8	H,F	None	DCEN	M
	E71T-8	H,F,VU,OH	None	DCEN	M
9	E70T-9C	H,F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-9M	H,F	CO ₂ +75-80%Ar		M
	E71T-9C	H,F,VU,OH	CO ₂		M
	E71T-9M	H,F,VU,OH	CO ₂ +75-80%Ar		M
10	E70T-10	H,F	None	DCEN	S
11	E70T-11	H,F	None	DCEN	M
	E71T-11	H,F,VU,OH	None	DCEN	M
12	E70T-12C	H,F	CO ₂	DCEP	M
	E70T-12M	H,F	CO ₂ +75-80%Ar		M
	E71T-12C	H,F,VU,OH	CO ₂		M
	E71T-12M	H,F,VU,OH	CO ₂ +75-80%Ar		M
13	E61T-13	H,F,VU,OH	None	DCEN	S
	E71T-13	H,F,VU,OH	None	DCEN	S
14	E71T-14	H,F,VU,OH	None	DCEN	S
G	E60T-G	H,F	Not Specified	Not Specified	M
	E70T-G	H,F	Not Specified	Not Specified	M
	E61T-G	H,F,VD,VU,OH	Not Specified	Not Specified	M
	E71T-G	H,F,VD,VU,OH	Not Specified	Not Specified	M
	E60T-GS	H,F	Not Specified	Not Specified	S
	E70T-GS	H,F	Not Specified	Not Specified	S
	E61T-GS	H,F,VD,VU,OH	Not Specified	Not Specified	S
	E71T-GS	H,F,VD,VU,OH	Not Specified	Not Specified	S

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.37

- a = ตำแหน่งท่าเชื่อม H คือ ท่าแนวนอน F คือ ท่าราบ OH คือ ท่าเหนือศีรษะ VU คือ ท่าตั้งเชื่อมขึ้น VD คือ ท่าตั้งเชื่อมลง
- b = ขนาดลวดเชื่อมที่เหมาะสมนอกเหนือจากท่าเชื่อมที่กำหนด จะเหมาะกับขนาดลวดเชื่อมที่เล็กกว่า 2.4 มม.
- c = สมบัติของเนื้อเชื่อมจากลวดที่ใช้แก๊สภายนอกจะแตกต่างกันกับลวดเชื่อมที่ใช้แก๊สภายในตัวลวดเอง
- d = DCEP คือ กระแสไฟตรงลวดเชื่อมต่อขั้วบวก DCEN คือ กระแสไฟตรงลวดเชื่อมต่อขั้วลบ
- e = “M” หมายถึง ใช้เชื่อมได้ทั้งแนวเดียวและแนวซ้อน “S” หมายถึง ใช้เชื่อมได้แนวเดียวเท่านั้น

ตารางที่ 7.38 ธาตุต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ในผงฟลักซ์เพื่อปรับปรุงภายในลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์

ที่มา : LINCOLN Electric : Cored Wires Overview, 2013

ธาตุที่ผสม	สภาพที่ใช้งาน	จุดประสงค์การใช้ในการเชื่อม
อลูมิเนียม (Al)	ลักษณะเป็นผงโลหะ (Power)	เป็นตัว Deoxidize และ Denitrify
แคลเซียม (Ca)	กลุ่มแร่ เช่น Fluorspar (CaF_2) และ Limestone (CaCO_3)	ช่วยให้เกิดแก๊สปกคลุม และฟอรม์ตัวเป็นสแลก
คาร์บอน (C)	เป็นธาตุผสมหรือทำเป็นผงโลหะ เช่น Ferromanganese	ช่วยให้เกิดความแข็งและความแข็งแรงสูงขึ้น
โครเมียม (Cr)	เป็นธาตุผสมหรือทำเป็นผงโลหะ (Metal power)	ช่วยให้เกิดความต้านทานการคืบตัว และเพิ่มความแข็งแรงพร้อมกับความต้านทานการกัดกร่อน
เหล็ก (Fe)	เป็นธาตุผสม (Ferroatloys) และ เป็นผงเหล็ก (Iron powder)	เป็นตัวเสริมให้เกิดอัตราการเพิ่มเนื้อเชื่อม โดยผสมกับนิกเกิลหรือโลหะนอกกลุ่มเหล็ก
แมงกานีส (Mn)	เป็นธาตุผสม เช่น Ferromanganese หรือ เป็นผงโลหะ	เป็นตัว Deoxidize ช่วยป้องกันการแตกร้อน (Hot crack) ผสมกับซิลเฟอร์ฟอรม์ตัวเป็นสแลก
โมลิบดีนัม (Mo)	เป็นธาตุผสม (Ferroatloy)	ผสมในเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนเนติก เพื่อเพิ่มค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) และยังให้ค่าความแข็งและความแข็งแรงที่สูงขึ้น
นิกเกิล (Ni)	เป็นผงโลหะ (Metal power)	เป็นโลหะผสมช่วยเพิ่มความแข็ง ความแข็งแรง ความเหนียว และทนทานการกัดกร่อน
โพแทสเซียม (K)	เป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งสีขาวรวมเป็นฐานอยู่ใน Feldspars และ Silicates	ช่วยให้เกิดการอาร์กที่เสถียร และฟอรม์ตัวเป็นสแลกได้ดี
ซิลิกอน (Si)	เป็นธาตุผสม เช่น Ferrosilicon หรือ Silicomangnes เป็นแร่ Silicates เช่น Feldspar	เป็นตัว Deoxidize และฟอรม์ตัวเป็นสแลกได้ดี
โซเดียม (Na)	เป็นแร่ เช่น โซเดียม รวมเป็นฐานอยู่ใน Feldspars และ Silicate	ช่วยให้เกิดการอาร์กที่เสถียร และฟอรม์ตัวเป็นสแลกได้ดี
ไทเทเนียม (Ti)	เป็นธาตุผสม เช่น Ferrotitanium รวมตัวอยู่ในแร่ที่เรียกว่า Rutile	เป็นตัว Deoxidize และตัว Denitrify ฟอรม์ตัวเป็นสแลก และช่วยให้คาร์บอนเสถียรในเหล็กกล้าไร้สนิมบางชนิด
เซอร์โคเนียม (Zr)	เป็น Oxide หรือเป็นผงโลหะ	เป็นตัว Deoxidize และตัว Denitrify ฟอรม์ตัวเป็นสแลก
วานาเดียม (V)	เป็น Oxide หรือเป็นผงโลหะ	ช่วยให้เกิดความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 7.39 สมบัติทางกลลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน มาตรฐาน AWS A 5.20:2005

ที่มา: AWS A5.20/A5.20:2005(R2015), 2015

ประเภทลวดเชื่อม	ความเค้นแรงดึง (ksi)	ความเค้นคราก ต่ำสุด ^a (ksi)	การยืดตัว ต่ำสุด ^b (%)	ด้านทานแรงกระแทก (V –notch)
E7XT-1C,-1M	70-95	58	22	20ft.lbf at 0°F
E7XT-2C ^c , -2M ^c	70 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E7XT-3	70 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E7XT-4	70-95	58	22	Not Specified
E7XT-5C,-5M	70-95	58	22	20ft.lbf at 20°F
E7XT-6	70-95	58	22	20ft.lbf at 20°F
E7XT-7	70-95	58	22	Not Specified
E7XT-8	70-95	58	22	20ft.lbf at 20°F
E7XT-9C,-9M	70-95	58	22	20ft.lbf at 20°F
E7XT10 ^c	70 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E7XT11	70-95	58	20	Not Specified
E7XT12C,-12M	70-90	58	22	20ft.lbf at 20°F
E6XT-13 ^c	60 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E7XT-13 ^c	70 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E7XT-14 ^c	70 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E6XT-G	60-80	48	22	Not Specified
E7XT-G	70-95	58	22	Not Specified
E6XT-GS ^c	60 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified
E7XT-Gs ^c	70 min	Not Specified	Not Specified	Not Specified

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.39

- a = ค่า Yield strength at 0.2% offset
- b = เป็นการทดสอบดึงขึ้นงานตามมาตรฐาน AWS B4.0
- c = ใช้สำหรับการเชื่อมแนวเดียวและการทดสอบความเค้นแรงดึงเท่านั้น

ข้อกำหนดตามมาตรฐาน AWS A5.20:2005 ของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มีรายละเอียดที่มากกว่าที่กล่าวมาข้างต้น ด้วยเพราะบทบาทของผงฟลักซ์ที่บรรจุอยู่ภายในเป็นตัวกำหนดสมบัติของเนื้อเชื่อม และยังมีความแตกต่างของแต่ละผู้ผลิตลวดเชื่อม ดังนั้นผู้ที่ต้องการใช้งานลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์จะต้องทำความเข้าใจเพิ่มเติมถึงมาตรฐานและข้อแนะนำจากผู้ผลิตเป็นสำคัญ ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ปัจจุบันมีการผลิตออกมาใช้งานกันหลากหลาย ดังแสดงเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อม ชนิด E71T –GS (เหมาะสำหรับใช้เชื่อมแนวเดียว) และ ชนิด E71T-11(เหมาะสำหรับใช้เชื่อมซ้อนแนว) ในรูปที่ 7.34 ซึ่งโดยปกติก็จะมีหลายขนาดของลวดให้เลือกใช้



ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ E17T-GS
ที่มา : VULCAN Consumables, 2017

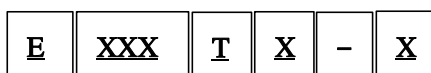


ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ E17T-11
ที่มา : ONGEVITY Welder, 2016

รูปที่ 7.34 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ตามรหัสมาตรฐาน AWS A5.20:2005

1.2) AWS A5.22/A5.22 M:2012 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมที่รองรับกับขบวนการเชื่อม FCAW และ GTAW และ PAW (Specification for Stainless Steel Flux Cored and Metal Cored Welding Electrodes and Rods) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.22/A5.22 หมายถึง ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม
M:2012 หมายถึง เป็นมาตรฐานที่เผยแพร่ปี 2012



- หมายถึง = ระบุการใช้แก๊สจากภายนอกปกคลุม
ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้
- หมายถึง = ตำแหน่งท่าเชื่อม เลข 0 คือ ท่าราบและท่าระดับ
เลข 1 คือ ทุกท่าเชื่อม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์
- หมายถึง = ระบุส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อมที่จะได้
- หมายถึง = ลวดเชื่อม (E = ลวดม้วนสำหรับ FCAW, R = ลวดเส้นตรงสำหรับ GTAW)

ประเภทลวดเชื่อม	แก๊สปกคลุมภายนอก	สภาพหัวเชื่อม	ขบวนการเชื่อม
EXXXTX-1	CO ₂	DCEP	FCAW
EXXXTX-3	None (Self shielding)	DCEP	FCAW
EXXXTX-4	CO ₂ + 75-80% Ar	DCEP	FCAW
EXXXTX-G	Not specified	Not specified	FCAW
RXXXT1-5	100% Ar	DCEN	GTAW
EXXXTX-G	Not specified	Not specified	FCAW
RXXXT1-G	Not specified	Not specified	GTAW

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับใช้เชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS A5.22:M2012 ได้สร้างข้อกำหนดเป็นรหัสหรือโค้ดขึ้นโดยอาศัยองค์ประกอบร่วมกันของ แก๊สปกคลุม ทำเชื่อม และส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงการแบ่งชนิดของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐานในตารางที่ 7.40 และสมบัติทางกลด้านการทดสอบแรงดึงดังแสดงในตารางที่ 7.41

ตารางที่ 7.40 ชนิดของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS A 5.22:2005

ที่มา : AWS A5.22/A5.22:M2012, 2012

ประเภทลวดเชื่อม ^c	ส่วนผสมทางเคมี (wt%) ^{a,b}										
	C	Cr	Ni	Mo	Cb(Nb) +Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E307TX-X	0.13	18.0-20.5	9.0-10.5	0.5-1.5	-	3.30- 4.75	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308TX-X	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308LTX-X	0.04	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308HTX-X	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308MoTX-X	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308LMoTX-X	0.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309TX-X	0.10	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LCbTX-X	0.04	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	0.7-1.0	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LTX-X	0.04	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309MoTX-X	0.12	21.0-25.0	12.0-16.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LMoTX-X	0.04	21.0-25.0	12.0-16.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LNiMoTX-X	0.04	20.5-23.5	15.0-17.0	2.0-3.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E310TX-X	0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	-	1.0-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E312TX-X	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E316TX-X	0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E316LTX-X	0.04	17.0-20.0	11.0-14.0	3.0-4.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E317LTX-X	0.04	18.0-21.0	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E347TX-X	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	8xC min 1 max	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E3409TX-X ^d	0.10	10.5-13.5	0.60	0.5	-	0.80	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E410TX-X	0.12	11.0-13.5	0.60	0.4-0.7	-	1.2	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E410NiMoTX-X	0.06	11.0-12.5	4.0-5.0	0.5	-	1.0	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E410NiTiTX-X ^d	0.04	11.0-12.0	3.6-4.5	0.5	-	0.70	0.5	0.04	0.03	--	0.5
E430TX-X	0.10	15.0-18.0	0.60	0.65	-	1.2	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E502TX-X ^c	0.10	4.0-6.0	0.40	0.8-1.2	-	1.2	1.0	0.04	0.03	--	0.5

ตารางที่ 7.40 (ต่อ) ชนิดลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS A 5.22:2005

ที่มา : AWS A5.22/A5.22:M2012, 2012

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)										
	C	Cr	Ni	Mo	Cb(Nb) +Ta	Mn	Si	P	S	N	Cu
E505TX-X ^c	0.10	8.0-10.5	0.40	0.5-1.5	-	1.2	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E307T0-3	0.13	19.5-22.0	9.0-10.5	0.5	-	3.3-4.7	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308T0-3	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308LT0-3	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308HT0-3	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308MoT0-3	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308LMoT0-3	0.03	18.0-21.0	9.0-12.0	1.8-2.4	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E308HMoT0-3	0.12	19.0-21.5	9.0-10.7	0.5	-	12.25	0.9	0.04	0.03	--	0.5
E309T0-3	0.10	23.0-25.5	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LT0-3	0.03	23.0-25.5	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LCbT0-3	0.03	23.0-25.5	12.0-14.0	2.0-3.0	0.7-1.0	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309MoT0-3	0.12	21.0-25.0	12.0-16.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E309LMoT0-3	0.04	21.0-25.0	12.0-16.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E310T0-3	0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E312T0-3	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E316T0-3	0.08	18.0-20.5	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E316LT0-3	0.03	18.0-20.5	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E316LKT0-3	0.04	17.0-20.0	11.0-14.0	3.0-4.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E317LT0-3	0.03	18.5-21.0	13.0-15.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E347T0-3	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0		8 x C min 1.0 max	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E490T0-3 ^d	0.10	10.5-13.5	0.60	0.5	-	0.80	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E410T0-3	0.12	11.0-13.5	0.60	0.5	-	1.0	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E410NiMoT0-3	0.06	11.0-12.5	4.0-5.0	0.4-0.7	-	1.0	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E410NiTiT0-3 ^d	0.04	11.0-12.0	3.6-4.5	0.5	-	0.70	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E430T0-3	0.10	15.0-18.0	0.60	0.5	-	1.0	1.0	0.04	0.03	--	0.5
E2209T0-X	0.04	21.0-24.0	7.5-10.0	2.5-4.0	-	0.5-2.0	1.0	0.04	0.03	0.2	0.5
E2553T0-X	0.04	24.0-27.0	8.5-10.5	2.9-3.0	-	0.5-1.5	1.0	0.04	0.03	0.2	2.5
R308LT1-5	0.03	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.2	0.04	0.03	-	0.5
R309LT1-5	0.03	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.2	0.04	0.03	-	0.5
R316LT1-5	0.03	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.2	0.04	0.03	-	0.5
R347T1-5	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	8 x C min 1.0 max	0.5-2.5	1.2	0.04	0.03-	-	0.5

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.40

- a = เป็นส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อมจากกาน้ำไปวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมี
- b = ปริมาณส่วนผสมที่เป็นค่าเดียว จะเป็นค่าที่สูงที่สุด
- c = ตัวอักษร “X” ที่ตามหลังตัวอักษร “T” หมายถึงตำแหน่งท่าเชื่อม 1 คือ เชื่อมได้ทุกท่า 0 คือ เชื่อมท่าราบและทำขนานนอน
- d = โทเทเนียม 10 x C min., 1.5% Max.
- e = ใช้สำหรับการเชื่อมแนวเดียวและการทดสอบความเค้นแรงดึงเท่านั้น

ตารางที่ 7.41 สมบัติทางกลลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS A 5.22 *ที่มา*
: AWS A5.22/A5.22:M2012, 2012

ประเภทลวดเชื่อม	ความเค้นแรงดึงต่ำสุด		เปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำสุด (%)	การให้ความร้อนหลังเชื่อม (PWHT)
	ksi	MPa		
E307TX-X	85	590	30	None
E308TX-X	80	550	35	None
E308LTX-X	75	520	35	None
E308HTX-X	80	550	35	None
E308MoTX-X	80	550	35	None
E308LMoTX-X	75	520	35	None
E309TX-X	80	550	30	None
E309LCbTX-X	75	520	30	None
E309LTX-X	75	520	30	None
E309MoTX-X	80	550	25	None
E309LMoTX-X	75	520	25	None
E309LNiMoTX-X	75	520	25	None
E310TX-X	80	550	30	None
E312TX-X	95	660	22	None
E316TX-X	75	520	30	None
E316LTX-X	70	485	30	None
E317LTX-X	75	520	20	None
E347TX-X	75	520	30	None
E409TX-X	65	450	15	None
E410TX-X	75	520	20	732–760°C/ 1 ชม./Air cooled
E410NiMoTX-X	110	760	15	593–612°C/ 1 ชม./Air cooled
E410NiTiTX-X	110	760	15	593–612°C/ 1 ชม./Air cooled
E430TX-X	65	450	20	760–788°C/ 4 ชม./Furnace cooled

ตารางที่ 7.41 (ต่อ) สมบัติทางกลลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS A 5.22

ที่มา : AWS A5.22/A5.22:M2012, 2012

ประเภทลวดเชื่อม	ความเค้นแรงดึงต่ำสุด		เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ต่ำสุด (%)	การให้ความร้อนหลังเชื่อม (PWHT)
	ksi	MPa		
E502TX-X	60	415	20	840–870°C/ 2 ชม./ Furnace cooled
E505TX-X	60	415	20	840–870°C/ 2 ชม./ Furnace cooled
E308HMoT0-3	80	550	30	None
E316LKT0-3	70	485	30	None
E2209TX-X	100	690	20	None
E2553TX-X	110	760	15	None
EXXXXTX-G	Not Specified			
R308LT1-5	75	520	35	None
R309LT1-5	75	520	30	None
R316LT1-5	70	485	30	None
R347T1-5	75	520	30	None

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.41

- a = ตัวอักษร “X” ที่ตามหลังตัวอักษร “T” หมายถึงตำแหน่งทำเชื่อม 1 คือ เชื่อมได้ทุกท่า 0 คือ เชื่อมท่าราบ และท่าขนานนอน และตัวเลขที่ตามหลังตำแหน่งทำเชื่อม -1, -3, -4 และ -5 หมายถึง แก๊สปกคลุมตามรหัสข้อกำหนดในตาราง

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิมตามมาตรฐาน AWS ที่ระบุในข้อกำหนดมีทั้งแบบที่เป็นม้วนและแบบที่เป็นเส้นตรง โดยแบบม้วนจะใช้ตัวอักษร “E” ส่วนแบบเส้นตรงจะใช้ตัวอักษร “R” ดังแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมในรูปที่ 7.35



ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์แบบม้วน E 308LT1-5 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์แบบเส้นตรง R308LT1-5

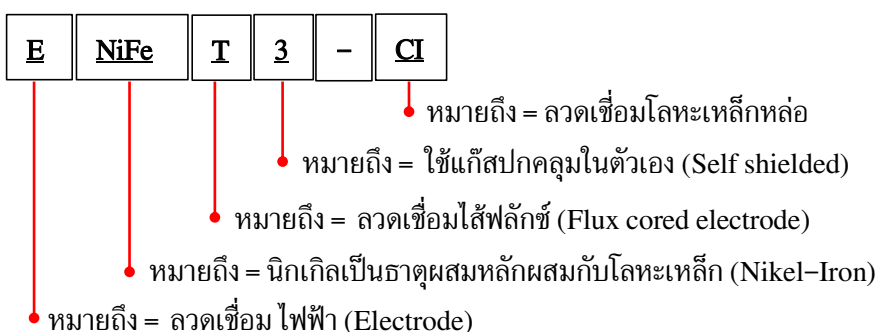
รูปที่ 7.35 ตัวอย่างลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน AWS A5.22:M2012

ที่มา : LINKWELD Welding Electrode, 2017

1.3) AWS A5.15/A5.15 :1990(R2016) เป็นมาตรฐานลวดเชื่อมประเภทที่ใช้สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ (Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron) ข้อกำหนดของมาตรฐานนี้จะครอบคลุมทุกชนิดของลวดเชื่อมที่ใช้สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กหล่อของทุกขบวนการเชื่อม แต่หัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะลวดประเภทลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Electrode for flux cored arc welding) ที่ใช้ในการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อทุกชนิดและเป็นลวดเชื่อมที่รองรับกับขบวนการเชื่อมแบบ SMAW ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

AWS A5.15/A5.15 หมายถึง ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ

1990(R2016) หมายถึง ข้อกำหนดมาตรฐานปี 1990 ปรับปรุงปี 2016



ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กหล่อจะใช้แก๊สปกคลุมภายในตัวเอง (Self-shielded) แต่ก็สามารถใช้แก๊สปกคลุมจากภายนอกก็ได้ขึ้นอยู่กับคำแนะนำของผู้ผลิตลวดเชื่อม ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เหล็กหล่อมีชนิดเดียวสามารถใช้เชื่อมได้กับเหล็กหล่อทุกชนิด ดังแสดงใน **ตารางที่ 7.42** และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อม ENiFeT3-CI ดังแสดงใน **รูปที่ 7.36**

ตารางที่ 7.42 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กหล่อ มาตรฐาน AWS A 5.15:R2016

ที่มา : AWS A5.15/A5.15:1990(R2016), 2016

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)									
	C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni	Mo	Cu	Al
ENiFeT3-CI	0.10	8.0-10.5	0.40	0.5-1.5	-	1.2	1.0	0.04	0.03	--



รูปที่ 7.36 ตัวอย่างลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กหล่อ ENiFeT3-CI

ที่มา : ESAB Welding Electrode, 2012

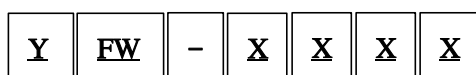
2. ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มาตรฐาน JIS (Flux cord wire of Japanese Industrial Standards)

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ หรือแกนฟลักซ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ของสมาคมมาตรฐานญี่ปุ่น (JSA : Japanese Standards Association) ได้สร้างข้อกำหนดและรหัสหรือโค้ดขึ้นเพื่อเป็นมาตรฐานทางด้านอุตสาหกรรมการเชื่อม มาตรฐาน JIS นี้เป็นที่ยอมรับและใช้กำหนดงานเชื่อมกันในประเทศไทย ในส่วนของหัวข้อนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานของการเลือกใช้ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ของโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน กับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าไร้สนิม แยกตามชนิดของโลหะเชื่อม ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

2.1) JIS Z 3313:2009 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมชนิดลวดไส้ฟลักซ์ของโลหะ เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น (Flux Cored Wires for Gas Shielded and Self-Shielded Metal Arc Welding of Mild Steel, High Strength Steel and Low Temperature Service Steel) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

JIS Z 3313 หมายถึง ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน

2009 หมายถึง เป็นมาตรฐานของปี 2009



- หมายถึง = ชนิดของฟลักซ์ปกคลุม (1)
- หมายถึง = อุณหภูมิและพลังงานของการทดสอบ แรงกระแทกของเนื้อเชื่อม (2)
- หมายถึง = ค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดของเนื้อเชื่อม (3)
- หมายถึง = ชนิดของแก๊สปกคลุม (4)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไฟฟ้า

(1) = R คือ ฟลักซ์รูไทล์, B คือ ฟลักซ์ด่าง, M คือ ฟลักซ์ที่โลหะผสมเป็นหลัก, G คือ ฟลักซ์อื่น ๆ

(2) = อุณหภูมิและพลังงานของการทดสอบแรงกระแทกของเนื้อเชื่อม ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

(3) = 43 คือ 420 N/mm², 50 คือ 490 N/mm², 60 คือ 590 N/mm²

(4) = C คือ แก๊ส CO₂, A คือ แก๊ส CO₂+Ar, S คือ ใช้แก๊สปกคลุมภายในตัวเอง (Self shielded)

รหัส	อุณหภูมิทดสอบ (°C)	พลังงานการทดสอบ (J)
O	0	27
D	0	47
E	-5	27
F	-5	47
2	-20	27
G	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับการเชื่อมโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น ตามมาตรฐาน JIS ได้สร้างข้อกำหนดหรือโค้ดของชนิดลวดเชื่อมเป็นกลุ่มตามชนิดของแก๊สปกคลุม และความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน ดังแสดงชนิดของลวดเชื่อมตามมาตรฐานที่กำหนดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 7.43 และแสดงส่วนผสมทางเคมีในตารางที่ 7.44

ตารางที่ 7.43 ชนิดของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น มาตรฐาน JIS Z 3313:2009 ที่มา: JIS Z 3313:2009, 2009

ประเภทลวดเชื่อม	ชนิดแก๊สปกคลุม	ชนิดของโลหะเหล็กที่เชื่อม
YFW-C430X	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เหล็กกล้าคาร์บอน
YFW-C500X		
YFW-C50DX	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงระดับ 490N/mm ²
YFW-C502X		
YFW-C50GX		
YFW-C60EX		
YFW-C60FX	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงระดับ 590N/mm ²
YFW-C602X		
YFW-C60GX		
YFW-A430X	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) + แก๊สอาร์กอน (Ar)	เหล็กกล้าคาร์บอน
YFW-A500X		
YFW-A50DX	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) + แก๊สอาร์กอน (Ar)	เหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงระดับ 490N/mm ²
YFW-A502X		
YFW-A50GX		
YFW-A60EX		
YFW-A60FX	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) + แก๊สอาร์กอน (Ar)	เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงระดับ 590N/mm ²
YFW-A602X		
YFW-A60GX		
YFW-S430X	ใช้แก๊สปกคลุมภายในตัวเอง (Self shielded)	เหล็กกล้าคาร์บอน
YFW-S500X		
YFW-S50DX	ใช้แก๊สปกคลุมภายในตัวเอง (Self shielded)	เหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงระดับ 490N/mm ²
YFW-S502X		
YFW-S50GX		

ตารางที่ 7.44 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น มาตรฐาน JIS Z 3313:2009

ที่มา: JIS Z 3313:2009, 2009

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu ^a	Ni	Mo	Al
YFW-C430X	0.2	0.09	1.5	0.03	0.04	0.5	–	–	–
YFW-C500X	0.2	0.09	2.0	0.03	0.04	0.5	–	–	–
YFW-C50DX	0.2	0.09	2.0	0.03	0.04	0.5	–	–	–
YFW-C502X	0.2	0.09	2.0	0.03	0.04	0.5	1.0	–	–
YFW-C50GX	–	–	–	0.03	0.04	–	–	–	–
YFW-C60EX	0.15	0.80	2.0	0.03	0.03	0.5	–	–	–
YFW-C60FX	0.15	0.80	2.0	0.03	0.03	0.5	0.2	0.65	–
YFW-C602X	0.15	0.80	2.0	0.03	0.03	0.5	0.2	0.65	–
YFW-C60GX	0.15	–	–	0.03	0.04	–	–	–	–
YFW-A430X	0.2	0.09	1.5	0.03	0.04	0.5	–	–	–
YFW-A500X	0.2	0.09	2.0	0.03	0.04	0.5	–	–	–
YFW-A50DX	0.2	0.09	2.0	0.03	0.04	0.5	–	–	–
YFW-A502X	0.2	0.09	2.0	0.03	0.04	0.5	1.0	–	–
YFW-A50GX	–	–	–	0.03	0.04	–	–	–	–
YFW-A60EX	0.15	0.80	2.0	0.03	0.03	0.5	–	–	–
YFW-A60FX	0.15	0.80	2.0	0.03	0.03	0.5	0.2	0.65	–
YFW-A602X	0.15	0.80	2.0	0.03	0.03	0.5	0.2	0.65	–
YFW-A60GX	–	–	–	0.03	0.04	–	–	–	–
YFW-S430X	0.2	0.50	1.2	0.03	0.04	–	0.2	–	2.0
YFW-S500X	0.2	0.90	2.0	0.03	0.04	–	2.0	–	2.0
YFW-S50DX	0.2	0.90	2.0	0.03	0.04	–	2.0	–	2.0
YFW-S502X	0.2	0.90	2.0	0.03	0.04	–	2.0	–	2.0
YFW-S50GX	–	–	–	0.03	0.04	–	–	–	–

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.44

- a = ส่วนผสมนี้รวมปริมาณของทองแดงที่เคลือบผิวลวด

สมบัติทางกลของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น ของเนื้อเชื่อมที่ทดสอบด้วยแรงดึงและการทดสอบแรงกระแทกที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงใน**ตารางที่ 7.45** และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ YFW-C50DR ใน**รูปที่ 7.37**

ตารางที่ 7.45 สมบัติทางกลของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าความ
แข็งแรงสูง และเหล็กกล้าสำหรับงานเย็น มาตรฐาน JIS Z 3313:2009

ที่มา : JIS Z 3313:2009, 2009

ประเภทลวดเชื่อม	ความเค้นแรงดึง ต่ำสุด (N/mm ²)	ความเค้นพิสูจน์ 0.2% (N/mm ²)	การยืดตัว ต่ำสุด (%)	การทดสอบแรงกระแทกแบบ ชาร์ปี (V-notch)	
				อุณหภูมิ ทดสอบ (°C)	การดูดซับ พลัง (J)
YFW-C430X	420	340	22	0	47
YFW-C500X	490	390	22	0	27
YFW-C50DX	490	–	–	0	47
YFW-C502X	490	390	22	–20	27
YFW-C50GX	490	–	–	–	–
YFW-C60EX	590	490	19	–5	27
YFW-C60FX	590	–	–	–5	47
YFW-C602X	590	490	19	–20	27
YFW-C60GX	590	–	–	–	–
YFW-A430X	420	340	22	0	27
YFW-A500X	490	390	22	0	27
YFW-A50DX	490	–	–	0	47
YFW-A502X	490	390	22	–20	27
YFW-A50GX	490	–	–	–	–
YFW-A60EX	590	490	19	–5	27
YFW-A60FX	590	–	–	–5	47
YFW-A602X	590	490	19	–20	27
YFW-A60GX	590	–	–	–	–
YFW-S430X	420	340	22	0	27
YFW-S500X	490	390	22	0	27
YFW-S50DX	490	390	22	0	47
YFW-S502X	490	–	–	–20	27
YFW-S50GX	490	–	–	–	–



รูปที่ 7.37 ตัวอย่างลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน YFW-C50DR

ที่มา : YAWATA Welding Electrode, 2014

2.2) JIS Z 3323:2003 ข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับลวดเชื่อมชนิดลวดไส้ฟลักซ์ของโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Flux Cored Wires) ได้กำหนดรหัสหรือโค้ดของมาตรฐานลวดเชื่อมออกมาดังนี้

JIS Z 3323 หมายถึง ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม

2003 หมายถึง เป็นมาตรฐานของปี 2003

Y	F	XXX	X
----------	----------	------------	----------

- หมายถึง = ชนิดของฟลักซ์ปกคลุม ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้
- หมายถึง = ส่วนผสมทางเคมีเนื้อเชื่อม (เกรดของเหล็กกล้าไร้สนิม)
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม
- หมายถึง = ลวดเชื่อมไฟฟ้า

รหัส	ชนิดแก๊สปกคลุม	ชนิดกระแสไฟเชื่อม
C	แก๊ส 100%CO ₂ และ แก๊ส Ar +CO ₂ อย่างน้อย 20 %	ใช้กระแสไฟเชื่อม DCEP
S	ใช้แก๊สปกคลุมภายในตัวเอง (Self shielded)	ใช้กระแสไฟเชื่อม AC และ DCEP
G	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับเชื่อมโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมมีผลออกมาใช้งานอ้างอิงตามเกรดหรือชนิดของเหล็กไร้สนิมที่เป็นโลหะหลักที่ใช้งานกันทั่ว ๆ ไป เช่น เกรด308 เกรด309 เกรด316 เกรด317 เกรด309L หรือ เกรด309LMO เป็นต้น ซึ่งโดยมาตรฐาน JIS ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ได้จัดแบ่งชนิดลวดเชื่อมออกเป็นกลุ่มตามชนิดของแก๊สปกคลุม คือ กลุ่มที่ต่อท้ายรหัสด้วยอักษรตัว C ตัว S และตัว G ดังแสดงในตารางที่ 7.46 พร้อมแสดงส่วนผสมทางเคมีของเนื้อเชื่อมที่ควรจะได้ ซึ่งมาตรฐานลวดเชื่อมรหัสหรือโค้ดนี้จะเป็นลวดเชื่อมแบบเส้นลวดที่รองรับการเชื่อม GMAW หรือ MIG/MAG ดังแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ลวดเชื่อมชนิด YF309LC พร้อมขอแนะนำจากผู้ผลิตในรูปที่ 7.38 และ 7.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.46 ชนิดของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน JIS Z 3323:2003

ที่มา : JIS Z 3323:2003, 2003

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	อื่น ๆ
YF308C	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–11.0	18.0–21.0	–	–
YF308G	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–11.0	18.0–21.0	–	–
YF308LC	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–12.0	18.0–21.0	–	–
YF308LG	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–12.0	18.0–21.0	–	–
YF309C	1.00	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	–	–
YF309G	1.00	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	–	–
YF309LC	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	–	–
YF309LG	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	–	–
YF309JC	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	25.0–28.0	–	–
YF309JG	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	25.0–28.0	–	–
YF309MoC	12.0	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	2.0–3.0	–
YF309MoG	12.0	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	2.0–3.0	–
YF309MoLC	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	2.0–3.0	–
YF309MoLG	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	2.0–3.0	–
YF316C	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–14.0	17.0–20.0	2.0–3.0	–
YF316G	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–14.0	17.0–20.0	2.0–3.0	–
YF316LC	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–14.0	17.0–20.0	2.0–3.0	–
YF316LG	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–14.0	17.0–20.0	2.0–3.0	–
YF316JILC	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–16.0	17.0–20.0	1.2–2.75	Cu1–2.5
YF316JILG	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–16.0	17.0–20.0	1.2–2.75	Cu1–2.5
YF317LC	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–16.0	18.0–21.0	3.0–4.0	–
YF317LG	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–16.0	18.0–21.0	3.0–4.0	–
YF347C	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–11.0	18.0–21.0	–	Nb8xC –1.0
YF347G	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–11.0	18.0–21.0	–	Nb8xC –1.0
YF410C	0.12	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	0.6	11.0–13.5	0.5	–
YF410G	0.12	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	0.6	11.0–13.5	0.5	–
YF430C	0.10	1.0	1.2	0.04	0.03	0.6	15.0–18.0	0.5	–
YF430G	0.10	1.0	1.2	0.04	0.03	0.6	15.0–18.0	0.5	–

ตารางที่ 7.46 (ต่อ) ชนิดลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม มาตรฐาน JIS Z 3323:2003

ที่มา : JIS Z 3323:2003, 2003

ประเภทลวดเชื่อม	ส่วนผสมทางเคมี (wt%)								อื่น ๆ
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
YF308S	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–11.0	19.5–22.0	–	–
YF308LS	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–12.0	19.5–22.0	–	–
YF309S	0.10	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	23.0–25.5	–	–
YF309LS	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	23.0–25.5	–	–
YF309JS	0.03	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	25.5–28.5	–	–
YF309MoS	0.12	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	2.0–3.0	–
YF309MoLS	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–14.0	22.0–25.0	2.0–3.0	–
YF316S	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–14.0	18.0–20.5	2.0–3.0	–
YF316LS	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–14.0	18.0–20.5	2.0–3.0	–
YF316JLS	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	11.0–16.0	18.0–20.5	1.2–2.75	Cu1–2.5
YF317LS	0.04	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	12.0–16.0	18.5–21.0	3.0–4.0	–
YF347S	0.08	1.0	0.5–2.5	0.04	0.03	9.0–11.0	19.0–21.5	–	Nb8xC–1.0
YF410S	0.12	1.0	1.0	0.04	0.03	0.6	11.0–13.5	0.5	–
YF430S	0.10	1.0	1.0	0.04	0.03	0.6	15.0–18.0	0.5	–

หมายเหตุ ของตารางที่ 7.46

- a = ค่าส่วนผสมที่แสดงค่าเดียวเป็นค่าที่สูงสุด



รูปที่ 7.38 ตัวอย่างลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าคาร์บอน YF309LC

ที่มา : YAWATA Welding Electrode, 2014

Coremax 309LP

AWS A5.22 E309LT1-1/4

JIS Z3323 YF309LC

Stainless Steel Flux Cored Wire



↘ *Welding Position* ↙

Characteristics and Applications

[illegible]

For all position operation flux cored wire for joining similar 309L alloy or joining 300 series stainless steel to carbon or low alloy steels. It is also recommended for use as the first layer in a single or multilayer surfacing of non-alloy steels to give a 304L deposit.

Typical Mechanical Properties of Weld Metal

[illegible]

YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)
515	570	40

➤ **Shielding Gas – 100% CO₂, Mixture of 20-25% CO₂**

Typical Chemical Composition of Weld Metal (WT%)

Typical Chemical Composition of Weld Metal (%)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0.030	1.42	0.45	0.018	0.012	23.46	12.67

Recommended Welding Parameters

Recommended Reading: [Parameters](#)

Diameter (mm) Parameters	Ø 0.9mm	Ø 1.2mm	Ø 1.6mm
Voltage (Volt)	18-25	23-33	27-32
Current (Amp)	70-160	140-220	200-300
Spool (Kg)	5	12.5	12.5

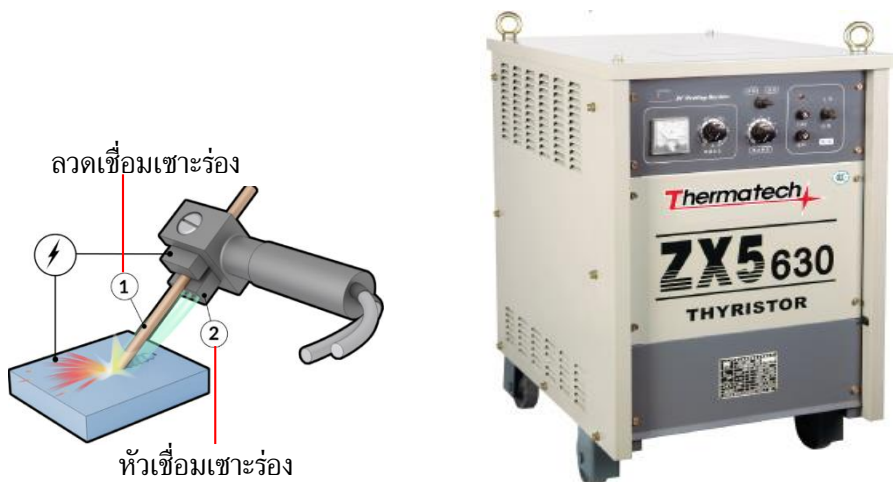
รูปที่ 7.39 ตัวอย่างคำแนะนำของผู้ผลิตขวดเชื่อมใส่ฟลักซ์โลหะเหล็กกล้าไร้สนิม YF309LC

ที่มา : Leeden Powerweld Sdn Bhd, 2015

7.4 ลวดเชื่อมเซาะร่อง (Gouging electrode) การเชื่อมเซาะร่องหรือที่เรียกกันว่า “การเก้าจ” เป็นขบวนการตัดหรือการขจัดเนื้อโลหะออกด้วยการอาร์กของลวดเชื่อม ซึ่งลวดเชื่อมที่ใช้จะแตกต่างกับลวดเชื่อมทั่ว ๆ ไป โดยลวดเชื่อมประเภทนี้จะไม่ใช่เป็นการเพิ่มเนื้อโลหะแต่จะเป็นการอาร์กเพื่อเอาเนื้อโลหะออกไป จึงเรียกลวดเชื่อมประเภทนี้ว่า ลวดเชื่อมตัดหรือเซาะร่อง ซึ่งจะมีเครื่องเชื่อมเซาะร่อง (Gouging machine) โดยเฉพาะ หรือสามารถใช้กับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าทั่วไปก็ได้ ดังแสดงหลักการเชื่อมเซาะร่องและเครื่องเชื่อมเซาะร่องในรูปที่ 7.40 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ลวดเชื่อมเขาะร่องหรือลวดเขาะ เป็นลวดเชื่อมที่ผลิตจากการนำผงคาร์บอนมาอัดแน่นให้เป็นแท่ง โดยส่วนผสมของผงอัดจะประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ซึ่งแต่ละผงผลิตก็จะมีสูตรผสมที่เป็นเอกลักษณ์

ของตัวเอง ดังนั้นลวดเชื่อมเซาะร่องยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานออกมาที่ชัดเจน จะกำหนดรหัสขึ้นตามความต้องการของผู้ผลิตเอง แต่พบว่าลักษณะทางกายภาพของลวดเชื่อมจะคล้ายกันหรือเหมือนกันก็ว่าได้ คือ ตัวของลวดเชื่อมจะถูกเคลือบด้วยโลหะทองแดงเพื่อต้องการให้นำกระแสไฟฟ้าได้ดี และช่วยในการป้องกันความชื้น



(ก) หลักการเชื่อมเซาะร่อง

(ข) เครื่องเชื่อมเซาะร่อง (Gouging machine)

รูปที่ 7.40 หลักการเชื่อมเซาะร่องและเครื่องเชื่อมเซาะร่อง

ที่มา : Thematech, 2016

ลวดเชื่อมเซาะร่องมีทั้งแบบที่เป็นรูปร่างแท่งกลม (Rod gouging carbon air) และแบบรูปร่างแท่งแบน (Flat gouging carbon air) ดังแสดงในรูปที่ 7.41 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งแต่ละแบบก็จะมีหลายขนาดให้เลือกใช้ตามลักษณะความหนาของชิ้นงาน โดยแต่ละขนาดความหนาจะมีความยาวแต่ที่สัมพันธ์กัน คือขนาดที่โตขึ้นจะมีความยาวที่มากขึ้น เช่น ขนาด \varnothing คูณ ความยาว ได้แก่ 3.2 x 305 มม. 7.9 x 356 มม. หรือ 25.4 x 432 (ผู้ผลิต Arcair ESAB) ดังตัวอย่างแสดงขนาดลวดเชื่อมในรูปที่ 4.42 พร้อมตัวอย่างคำแนะนำจากผู้ผลิตในรูปที่ 4.43



(ก) ลวดเชื่อมเซาะร่องแบบแท่งกลม

(ข) ลวดเชื่อมเซาะร่องแบบแท่งแบน

รูปที่ 7.41 ประเภทของเชื่อมเซาะร่องตามรูปทรงของเส้นลวด

ที่มา : ARCAIR ESAB, 2013



รูปที่ 7.42 ตัวอย่างของ
ลวดเชื่อมเขาระรองตาม
ขนาดของเส้นลวด
*ที่มา: ARCAIR ESAB,
2014*



ลวดเชื่อมสำหรับงานเชื่อมตัด เขาระรอง

GEMINI CHAMFERTRODE

ลวดเชื่อมเจมินี CHAMFERTRODE เป็นลวดเชื่อมที่ออกแบบมาพิเศษ
สำหรับงานตัด เขาระรองโดยไม่ต้องใช้ลมช่วย ในสารพอกหุ้มไม่มีธาตุคาร์บอน
ทำให้เหมาะสำหรับงานเขาระรองสแตนเลส เพราะคาร์บอนจะไม่ลงไปแทรกตัว
ในแนวเชื่อม ทำให้แนวเขาระรองสะอาด ใช้ได้กับงานตัด เขาระรองบนเหล็ก
เหนียว สแตนเลส อลูมิเนียม

ข้อแนะนำในการปรับตั้งกระแสไฟสำหรับงานตัดโลหะ

แผ่นวัสดุ	ความหนา (มม.)	ขนาดลวดเชื่อม (มม.)	กระแสไฟ (แอมป์)	ความเร็วในการตัด (ซม./นาที)
เหล็กกล้าอะมุน	12	2.6	130	7
เหล็กกล้าอะมุน	12	3.2	190	10.5
เหล็กกล้าอะมุน	20	4.0	280	8.5
เหล็กกล้าอะมุน	25	5.0	350	8.5

ข้อแนะนำในการปรับตั้งกระแสไฟสำหรับงานเขาระรอง

ความลึก (มม.)	ขนาดลวดเชื่อม (มม.)	กระแสไฟ (แอมป์)	ความเร็วในการเขาระ (ซม./นาที)
3	2.6	150	26
3	3.2	200	36
3	4.0	280	39
3	5.0	350	49

กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม

AC หรือ DC±				
ขนาด / ความยาว (มม.)	2.6X300	3.2X350	4.0X350	5.0X350
กระแสไฟต่ำสุด/สูงสุด (แอมป์)	130-150	190-200	200-280	280-350

รูปที่ 7.43 ตัวอย่างของ
คำแนะนำจากผู้ผลิตในการ
ใช้งานลวดเชื่อมเขาระรอง
ตามขนาดของเส้นลวด
และปัจจัยการเชื่อม
ที่มา: GEMINI, 2012

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าลวดเชื่อมเซาะร่องยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานที่เป็นทางการ ปัจจุบันจะเลือกใช้งานตามคำแนะนำของผู้ผลิตเป็นสำคัญ แต่สำหรับผู้ที่มีความเชี่ยวชาญหรือมีประสบการณ์ด้านการเชื่อมเซาะร่องก็อาจปรับเปลี่ยนปัจจัยการเชื่อมไปได้ตามความเหมาะสม โดยได้มีผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำไว้จากประสบการณ์ในการทำงาน สำหรับใช้กำหนดกระแสไฟเชื่อมเซาะร่องตามขนาดของลวดเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 7.47

ตารางที่ 7.47 คำแนะนำปัจจัยการเลือกใช้ลวดเชื่อมเซาะร่อง

ที่มา: WEST WELD –Parameter Selection of Carbon Air Gouging Electrode, 2019

ประเภทของลวดเชื่อม	ขนาดของลวดเชื่อม (mm)	กระแสไฟเชื่อม (A)
แบบเส้นกลม (Rod)	3	150–180
	4	150–200
	5	150–250
	6	180–300
	7	200–350
	8	250–400
	9	350–450
	10	350–500
แบบเส้นแบน (Flat)	3 x 12	200–300
	4 x 12	200–400
	5 x 10	300–400
	5 x 12	350–450
	5 x 15	400–500
	5 x 18	450–550
	5 x 20	500–600

การกำหนดมาตรฐานของลวดเชื่อมก็เพื่อเป็นการสร้างความรู้และความเข้าใจถึงบทบาทหน้าที่และการเลือกใช้ลวดเชื่อมให้เหมาะสมและถูกต้อง พร้อมกับเป็นการกำหนดการสื่อสารด้านงานเชื่อมที่ตรงกันของการเทียบเคียงของแต่ละมาตรฐาน เพราะมาตรฐานของแต่ละประเทศที่เป็นเจ้าของมาตรฐานก็มักจะกำหนดมาตรฐานลวดเชื่อมตามมาตรฐานของตนเองเป็นหลัก ถึงแม้จะมีการแสดงการเทียบเคียงกับมาตรฐานอื่น ๆ ไว้บ้างแต่ไม่อาจครบถ้วนได้ทุกมาตรฐาน ดังนั้นข้อมูลที่น่ามาแสดงในบทเรียนนี้ก็ไม่อาจนำมาแสดงได้ครบถ้วนทุกมาตรฐาน จะเน้นมาตรฐานที่เป็นที่นิยมหรือยอมรับกันในอุตสาหกรรมการเชื่อมในประเทศไทยเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามก็จะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับเป็นแนวทางในการเทียบเคียงหรือศึกษาเพิ่มเติมมาตรฐานลวดเชื่อมจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ต่อไป

ดัชนีคำศัพท์บทที่ 7

Acid cover flux – ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นกรด

All position – ลวดเชื่อมที่สามารถเชื่อมได้ทุกตำแหน่งท่าเชื่อม

AWS. Standard electrode – มาตรฐานลวดของสมาคมการเชื่อมแห่งสหรัฐอเมริกา

Basic cover flux – ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นต่าง

Cellulose cover flux – ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นเซลลูโลส

Code – รหัสที่สร้างขึ้นตามข้อกำหนดของแต่ละมาตรฐาน

Colour code electrode – รหัสสีที่ใช้แบ่งชนิดลวดเชื่อมมาตรฐาน JIS 3321

Composite rod – ลวดเชื่อมเส้นตันแบบกำหนดส่วนผสมทางเคมี

Continuous wire feeding – การป้อนเติมลวดเชื่อมอย่างต่อเนื่อง

Core wire composition – ปริมาณธาตุผสมของแกนลวดโลหะ

Dissimilar cover electrode – ลวดสำหรับเชื่อมโลหะต่างชนิด

Electrode cast iron – ลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมโลหะเหล็กหล่อ

Electrode classification – การแบ่งประเภทหรือชนิดของลวดเชื่อม

Electrode cover flux – ลวดเชื่อมโลหะที่มีสารฟลักซ์พอกหุ้ม

Electrode drying – การอบไล่ความชื้นออกจากลวดเชื่อม

Electrode drying oven – เตาอบลวดเชื่อมติดตั้งประจำตำแหน่ง

Electrode filler rod – ลวดโลหะเปลือยแบบแท่งเส้นตรง

Electrode filler wire – ลวดโลหะเปลือยแบบเส้นม้วน

Electrode strip – ลวดเชื่อมที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบน

Flat gouging carbon air – ลวดเชื่อมเจาะร่องแบบแท่งแบน

Flux core electrode – ลวดเชื่อมโลหะที่มีผงฟลักซ์อยู่ภายในท่อเส้นลวด

Gouging electrode – ลวดโลหะเชื่อมที่ผลิตออกมาสำหรับการตัดเจาะร่อง

Jetting action – เป็นพฤติกรรมที่แกนลวดหลอมเร็วกว่าฟลักซ์

JIS. Standard electrode – ลวดเชื่อมมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศญี่ปุ่น

Military electrode – ลวดเชื่อมที่ใช้งานในวงการทหารกับงานเฉพาะทาง

Outer shielding flux core wire – ลวดเชื่อมใส่ฟลักซ์ที่อาศัยแก๊สปกคลุมจากถังแก๊ส

Portable electrode drying oven – เตาอบลวดเชื่อมเฉพาะตัวบุคคลนำติดตัวไปเชื่อม

Power ferrous – ผงเหล็กออกไซด์ที่ผสมอยู่ในฟลักซ์ชนิดที่เป็นกรด

Rutile cover flux – ฟลักซ์พอกหุ้มชนิดที่เป็นรูไทล์

Self shielding flux core wire – ลวดเชื่อม
ไส้ฟลักซ์ที่อาศัยแก๊สปกคลุมในตัวลวดเอง

Short circuit transfer – ลวดเชื่อมที่สามารถ
เชื่อมแบบถ่ายโอนลัดวงจร

Similar cover electrode – ลวดสำหรับเชื่อม
โลหะชนิดเดียวกัน

Solid rod – ลวดเชื่อมเส้นตันแบบไม่กำหนด
ส่วนผสมทางเคมี

Stabilizes arc – หน้าที่ของฟลักซ์ที่ช่วยในการ
อาร์กมีความสม่ำเสมอตลอดขณะทำการเชื่อม

Standard filler electrode – มาตรฐานลวด
เชื่อมสำหรับการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุม

Welding consumable – ลวดโลหะที่ใช้เติมลง
ในรอยเชื่อมที่สิ้นเปลือง

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7

- ข้อที่ 1. จงบอกหน้าที่หลักของลวดเชื่อม (Function of welding electrode)
- ข้อที่ 2. จงบอกประโยชน์ของการสร้างหรือกำหนดมาตรฐานของลวดเชื่อม
- ข้อที่ 3. จงอธิบายความหมายของคำว่าลวดเชื่อมแบบ “Consumable”
- ข้อที่ 4. จงอธิบายลักษณะและองค์ประกอบที่สำคัญของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Electrode cover flux)
- ข้อที่ 5. จงบอกถึงความแตกต่างของฟลักซ์แต่ละชนิดที่นำมาใช้พอกหุ้มแกนลวดโลหะ พร้อมบอกหน้าที่ของฟลักซ์ที่พอกหุ้มมาโดยสังเขป
- ข้อที่ 6. จงอธิบายลักษณะของลวดเชื่อมประเภทต่าง ๆ ดังนี้
- ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Covered electrode)
 - ลวดเชื่อมเปลือย (Filler electrode)
 - ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux core electrode)
 - ลวดเชื่อมเจาะร่อง (Gouging electrode)
- ข้อที่ 7. หน้าที่ของฟลักซ์ในการ Deoxidizer หมายถึงอะไร และใช้ธาตุใดผสมลงไปในผงฟลักซ์พอกหุ้ม
- ข้อที่ 8. จงบอกเหตุผลของความจำเป็นที่ต้องทำการอบลวดเชื่อม และใช้อุปกรณ์อะไรในการอบ
- ข้อที่ 9. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.1/A5.1M:2012 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม E3010 – ลวดเชื่อม E3013 – ลวดเชื่อม E3016
- ข้อที่ 10. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A5.15 /A5.15M:R2016 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม ENi-CI – ลวดเชื่อม ENi-CI-A – ลวดเชื่อม ENiFeMn-CI
- ข้อที่ 11. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน JIS Z 3211-1991:R2008 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม E4310 – ลวดเชื่อม E4316 – ลวดเชื่อม E4327
- ข้อที่ 12. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน JIS Z 3221-1991:R2013 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม E308L – ลวดเชื่อม E309MoL – ลวดเชื่อม E309NbL
- ข้อที่ 13. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน ISO 2560:2012 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม E425B42H5 – ลวดเชื่อม E4910-P1 – ลวดเชื่อม E5516-3M3
- ข้อที่ 14. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน ISO 2560:2012 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม E425B42H5 – ลวดเชื่อม E4910-P1 – ลวดเชื่อม E5516-3M3
- ข้อที่ 15. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS A.18/A5.18:2017 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม ER70S-2 – ลวดเชื่อม ER70S-7 – ลวดเชื่อม ER70S-1B
- ข้อที่ 16. จงแปลความหมายของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มาตรฐาน AWS A.5.20/A5.20:2015 ดังต่อไปนี้
- ลวดเชื่อม E70T-1C – ลวดเชื่อม E71T-1M – ลวดเชื่อม E71T-12M
 - ลวดเชื่อม E71T-12M – ลวดเชื่อม E70T-1C – ลวดเชื่อม E71T-5C

ข้อที่ 17. จงบอกส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่แตกต่างกันของลวดเชื่อมคู่ที่แสดงในรูปนี้



(ก) ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อ 98%Ni

(ข) ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เหล็กหล่อ 55%Ni

ที่มา : YAWATA Welding Electrode, 2015

ข้อที่ 18. จงบอกชื่อมาตรฐานและระบุชนิดของลวดเชื่อมตามรหัสลวดเชื่อมที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้

- | | | | |
|-------------|-------------|--------------|-------------|
| - YF309LC | - YFW-A60EX | - E316LKT0-3 | - E307TX-11 |
| - A 4043-WY | - A 1070-BY | - YGT50 | - YGW11 |
| - ER308LSi | - FeC-GF | - ENiFe-G49 | - E4327 |
| - E9018M | - E7010-X | - E7016 | - E316JIL |

ข้อที่ 19. จงบอกคุณสมบัติและหน้าที่ของลวดเชื่อมเจาะร่อง (Gouging electrode) ดังแสดงในรูปมา โดยละเอียด พร้อมบอกเหตุผลของการเคลือบผิวลวดด้วยทองแดงมาพอเข้าใจ



(ก) ลวดเชื่อมเจาะร่องแบบแท่งกลม

(ข) ลวดเชื่อมเจาะร่องแบบแท่งแบน

ที่มา : ARCAIR ESAB, 2013

บรรณานุกรมบทที่ 7

- American Petroleum Institute (API). *Welding Processes, Inspection, and Metallurgy*. API Recommended Practice 577. Published by API, United States, 2010. 8th Edition, 2010.
- American Petroleum Institute (API). *Welding Processes, Inspection, and Metallurgy*. API Recommended practice 577. 2nd Edition, December, 2013.
- American Welding Society (AWS). AWS A2.4/A2.4:2007. *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*. Supersedes ANSI/AWS A2.4-98 6th Edition, March 23, 2007.
- American Welding Society (AWS). AWS A5.10/A5.10:M2017. *Welding Consumables—Wire Electrodes, Wires and Rods for Welding of Aluminum and Aluminum Alloy—Classification*. 11th Edition, Supersedes AWS A5.10/M:2012. Approved by American National Standards Institute, November 22, 2016.
- American Welding Society (AWS). AWS A5.15/A5.15:1990 (R2016). *Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron*. Approved by American National Standards Institute, May 5, 2016.
- American Welding Society (AWS). AWS A5.18/A5.18M:2017. *Specification for Carbon Steel Electrode and Rods for Gas Shielding Arc Welding*. Approved by the American National Standards Institute. 7th Edition, 2017.
- American Welding Society (AWS). AWS A5.20/A5.20:M2005(R2015). *Specification for Carbon steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding*. 2015 Edition, Supersedes ANSI/AWS A5.20-95. Approved by American National Standards Institute, July 22, 2015.
- American Welding Society (AWS). AWS A5.22/A5.22:M2012. *Specification for Stainless Steel Flux Cored and Metal Cored Welding Electrodes and Rods*. 5th Edition, Supersedes AWS A5.22/A5.22M:2010. Approved by American National Standards Institute,
- American Welding Society (AWS). AWS A5.9/A5.9M:2017. *Welding Consumables—Wire Electrodes, Strip Electrode, Wires and Rods for Arc Welding of Stainless and Heat Resisting Steels*. Approved by American National Standards Institute. 9th Edition, 2017.
- American Welding Society (AWS). *Specification for Carbon Steel Electrode for Shielded Metal Arc Welding*. AWS A5.1/A5.1M : 2012, 14th Edition, USA : 2012.

- American Welding Society (AWS). *Publications Catalog– Standard, Reference books*, Online Education, and More. Summer/Fall, 2017.
- American Welding Society (AWS) A2.4:2007. *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*. Approved by the American National Standards Institute, by American Welding Society, Miami, United States, 2007.
- American Welding Society, AWS A5.1/A5.1M:2012. *Specification for Carbon Steel Electrode for Shielded Metal Arc Welding*. Supersedes AWS A5.1/A5.1M:2004. Approved by the American National Standards Institute. 14th Edition, 2012.
- American Welding Society, AWS A5.22/A5.22M:2010. *Specification for Stainless Steel Flux Cored and Metal Cored Welding Electrodes and Rods*. Supersedes AWS A5.22–95. Approved by the American National Standards Institute. 4th Edition, 2010.
- Avesta Welding. *The Avesta Welding Manual–Practice and Products for Stainless Steel Welding*. Avesta Welding AB 2004, 2004.
- David H. Phillips. *Welding Engineering– An Introduction*, 1st Edition, Published by John Wiley & Sons, Ltd., United Kingdom, 2016.
- ESAB. *Repair and Maintenance Welding Handbook – Selection and Application Guide Esab Repair & Maintenance Consumables*. 2nd Edition, 2012.
- ESAB. *DATABOOK–Welding Filler Metal*. USA, 2016.
- ESAB. *Welding Handbook–Consumables for Manual and Automatic Welding*. 2014.
- HOBART – *Filler Metals Full–Line Catalog* (Find Your Solution Today). 12–2020.
- International Standard ISO 18275:2018(E). *Welding Consumables–Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of High–Strength Steels–Classification*. Third Edition, 08–2018.
- International Standard: ISO 2560:2009(E). *Welding Consumables–Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Non–Alloy and Fine Grain Steels–Classification*. Third Edition, 15–10–2009.
- International Organization for Standardization: ISO. ISO 1701:2015, *Welding Consumables–Covered Electrodes, Wire, Rods, and Tubular Cored Electrodes for Fusion Welding of Cast iron –Classification*. 3rd Edition, Number of pages 22, 2015.
- International Organization for Standardization: ISO. ISO 2560:2020, *Welding Consumables–Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Non–Alloy and Fine Grain Steels–Classification*. 4th Edition, Number of pages 34, 2020.

International Organization for Standardization: ISO. ISO 3581:2016, Welding Consumables–Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Stainless and Heat-Resisting Steels–Classification. 3rd Edition, Number of pages 23, 2016.

Japanese Industrial Standard (JIS). JIS Z 3252:2001. Covered Electrode, Solid Wire, Rods and Flux Cored Wires for Cast Iron (Foreign Standard). Published by Japanese Standard Association (JSA), 2001.

Japanese Industrial Standard (JIS). JIS Z 3313:2009. Flux Cored Wires for Gas Shielded and Self-Shielded Metal Arc Welding of Mild Steel, High Strength Steel and Low Temperature Service Steel (Foreign Standard). Published by Japanese Standard Association (JSA), February 20, 2009.

Japanese Industrial Standard (JIS). JIS Z 3323:2003. Stainless Steel Flux Cored Wires. Published by Japanese Standard Association (JSA), January 01, 2003

Japanese Industrial Standards (JIS). JIS Z 3312:2018. Solid wires for MAG and MIG welding of mild steel, high strength steel and low temperature service steel. 9th Edition. Approved by Japanese Standards Association (JSA), October 22, 2018.

Japanese Industrial Standards (JIS). JIS Z 3316:2017. Solid wires and rods for TIG welding of mild steel, high strength steel and low temperature service steel. 2017 Edition. Approved by Japanese Standards Association (JSA), April 20, 2017.

Japanese Industrial Standards (JIS). JIS Z 3321:2013. Stainless steel rods, wires and strip electrodes for welding. 2013 Edition. Approved by Japanese Standards Association (JSA), March 21, 2013.

John Norrish. Advanced Welding Processes–Technologies and Processes Control. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. 2006.

Klas Weman. Welding Processes Handbook. 1st Edition, Published by Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England, 2003.

KOBE STEEL, LTD (Kita–Shinagawa, Shinagawa–Ku). The ABC’s of Arc Welding and Inspection. 4th Edition, Published by KOBE STEEL, LTD. Tokyo, Japan, 2011.

KOBELCO STEEL, LTD. Arc Welding of Specific Steels and Cast Irons, Published by KOBE STEEL, LTD, Kita–Shinagawa, Shinagawa–Ku, Tokyo, 2015.

KOBELCO. Flux Cored Wires–For Easy and High Efficiency Welding in Every Field. Published by Kobelco Welding of America INC. 2009.

- KOBELCO. Welding handbook–Welding Consumables and Processes: Familiarc, Trustarc, Premiarc, 2011.
- KOBELCO. Welding Today–Kobelco Welding Consumables for Mild Steel and 490MPa HT Steel. 2nd Special Edition, 2011.
- Larry Jeffus and Lawrence Bower. Welding: Skill, Processes and Practices for Entry–Level Welders. 1st Edition. Delmar Cengage Learning. Clifton Park, New York, UAS 2010.
- Larry Jeffus. Welding and Metal Fabrication. DELMAR, Cengage Learning, 2012.
- LINCOLN ELECTRIC. Innershield Wire FCAW–S Welding. Published by Lincoln Global Inc. Issue 03–2015.
- LINCOLN ELECTRIC. The Welding Experts: Welding Consumables Product Catalogue. Issus 14, 2011.
- NIPPON STEEL. WELDREAM–Product Catalog. Published by Nippon Steel Welding Engineering. 11th Edition. September, 2021.
- R. Scott Funderburk. Selecting Filler Metals: Matching Strength Criteria. Key Concepts in Welding Engineering. Welding Innovation Vol.XVI, No.2, 1999.
- Stanley Ness, Charles N. Sherlock, Patrick O. Moore and Paul McIntire. Non–Destructive Testing Handbook. Vol. 10–Non–Destructive Testing Overview. 2nd Edition, Published by American Society for Nondestructive Testing (ASNT), 2001.
- STOODY–An ESAB BRAND. Nickel Based Flux Cored Wires for All Position Welding. 03–11–2015.
- TWI. CSWIP 3.2–Senior Welding Inspector WIS10, Training and Examination Services, Granta Park, Cambridge, UK, 2016.

