



คู่มือการสอน

งานเชื่อมและตัดโลหะใต้น้ำ

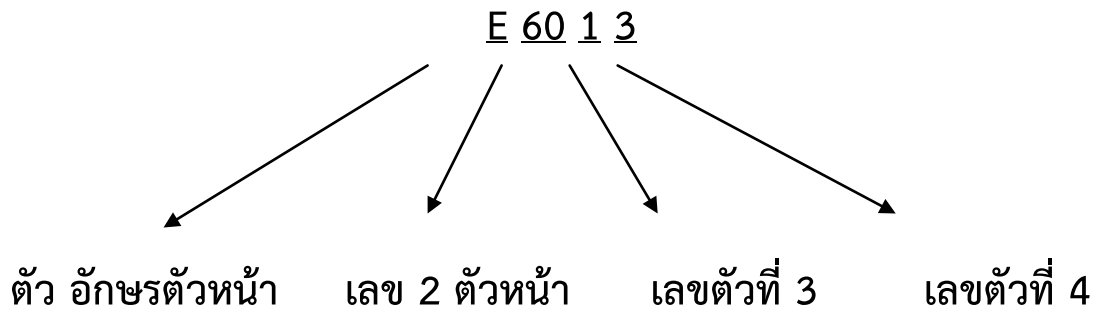
กปถ.สปท.ร.

ม.ค.2557

คำจำกัดความ

- **วงจรไฟฟ้า (Circuit)** หมายถึง รูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อน
- **กระแสไฟฟ้า (Amps)** หมายถึง จำนวนหรืออัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรเรียกว่า Ammeter
- **แรงเคลื่อน (Voltage)** หมายถึง อัตราการไหลของอิเล็กตรอน เรียกว่า emf ทำให้เราทราบค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ volt เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเรียกว่า Voltmeter
- **แรงเคลื่อนลดลง (Voltage drop)** หมายถึง การใช้สายไฟเชื่อมที่มีความยาวเกินไปจึงทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลง
- **ไฟฟ้ากระแสตรง DC (Direct Current)** หมายถึง กระแสไฟฟ้าที่ไหลไปในทิศทางเดียว
- **ประจุลบ (Electron)** “อิเล็กตรอน” หมายถึง อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากและมีมวลน้อยมาก (ประมาณ $1/1840$ เท่าของโปรตอน) อิเล็กตรอนมีประจุเป็นลบและวิ่งอยู่รอบๆ นิวเคลียสของอะตอมปกติจะใช้ e^- เป็นสัญลักษณ์ กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำ
- **ประจุบวก (Proton)** “โปรตอน” หมายถึงอนุภาคขนาดเล็กที่มีประจุเป็นบวกพบในนิวเคลียสของอะตอม
- **ประจุลบ ขั้วลบ EN (Electrode Negative)** หมายถึง การต่อหัวเชื่อมหรือหัวตัดของประจุลบเข้ากับขั้วลบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเครื่องเชื่อม
- **ประจุลบ ขั้วบวก EP (Electrode Positive)** หมายถึง การต่อหัวเชื่อมหรือหัวตัดของประจุลบเข้ากับขั้วบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- **การต่อกระแสไฟฟ้าระบบขั้วตรง SP (Straight Polarity)** หมายถึง การต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงต่อขั้วตรง หัวเชื่อมหรือหัวตัดจะต่อเป็นขั้วลบส่วนชิ้นงานจะต่อเป็นขั้วบวก
- **การต่อกระแสไฟฟ้าระบบกลับขั้ว RP (Reverse Polarity)** หมายถึง การต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงต่อกลับขั้ว หัวเชื่อมหรือหัวตัดจะต่อเป็นขั้วบวกส่วนชิ้นงานจะต่อเป็นขั้วลบ
- **ไฟฟ้ากระแสสลับ AC (Alternating current)** หมายถึง กระแสไฟฟ้าไหลสลับไปมาในวงจรมีจำนวนที่แน่นอนในหนึ่งวินาที การไหลของกระแสไฟฟ้าสลับไปมานี้เรียกว่าความถี่ Frequency ความถี่ในที่นี่ได้แก่ 25,40,50,60 ไซเคิล (Cycles) ต่อวินาที
- **ความสามารถในการทำงานของเครื่องเชื่อม (Duty Cycle)** หมายถึง อัตราส่วนของเวลาที่ทำการเชื่อมกับเวลาทั้งหมด สำหรับเครื่องเชื่อมใช้ระยะเวลา 10 นาทีเป็นเวลาทั้งหมด ดังนั้น เครื่องเชื่อมที่มีขีดความสามารถขนาด 200 แอมป์ 60% (Duty Cycle 60%) หมายถึง เครื่องเชื่อมนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อเนื่อง ได้เป็นเวลา 6 นาทีแล้วต้องทำการพัก 4 นาทีโดยใช้กระแสไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมสูงสุดที่กำหนดไว้ 200 แอมป์
- **ลวดเชื่อม (Electrode)** หมายถึง โลหะที่ทำเป็นเส้นเล็กๆ หุ้มด้วยสารเคมีทำหน้าที่เป็นตัวหลอมละลายระหว่างลวดเชื่อมกับโลหะงาน แบ่งเป็น 5 ชนิด
 1. ลวดเชื่อมเหล็กเหนียว (Mild Steel)
 2. ลวดเชื่อมเหล็กกล้า (High Carbon Steel)
 3. ลวดเชื่อมเหล็กผสม (Special Alloy Steel)
 4. ลวดเชื่อมเหล็กหล่อ (Cast Iron)
 5. ลวดเชื่อมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (Non Iron)

- สัญลักษณ์มาตรฐานลวดเชื่อมไฟฟ้าที่มีสารพอกหุ้ม AWS (AMERICAN WELDING SOCIETY)



ตัวอักษรตัวหน้า E หมายถึง ลวดเชื่อมไฟฟ้า (Electrode welding)

เลข 2 ตัวหน้า หมายถึง ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุด (tensile strength) คูณด้วย 1,000 จะมีค่าเท่ากับ $60 \times 1,000 = 60,000$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แต่ถ้าสัญลักษณ์ลวดเชื่อมมีตัวเลข 5 ตัว เช่น E11013 ตัวเลข 2 ตัวหน้าจะกลายเป็นตัวเลข 3 ตัวหน้า ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ $110 \times 1,000 = 110,000$ psi

เลขตัวที่ 3 หมายถึง ตำแหน่งแนวการเชื่อม (Welding position) ที่เหมาะสมกับลวดเชื่อมนั้นๆ สัญลักษณ์มีเลข 3 ตัว

เลข 1 หมายถึง แนวราบ, แนวระดับ, แนวตั้งขึ้นและลง, แนวเหนือศีรษะหรือทุกแนวเชื่อม

เลข 2 หมายถึง แนวราบและแนวระดับ (E6020)

เลข 3 หมายถึง แนวราบเท่านั้น (E6030)

เลขตัวที่ 4 หมายถึง ประโยชน์และคุณสมบัติพิเศษของลวดเชื่อม (Special manufacturer's characteristic) ที่เหมาะสมกับชนิดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ตามประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจเป็นชนิดกระแสตรงหรือกระแสสลับ ต่อข้อั้วตรงหรือกลับขั้ว แรงเคลื่อนมากหรือน้อย เพื่อให้ได้คุณภาพของแนวเชื่อมที่ดี มีหมายเลข 0 ถึง 9



หมายเลขแสดง ชนิดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้

หมายเลข	DC ขั้ว	AC+ แรงเคลื่อนวงจรเปิด
0	+	-
1	+หรือ-	50 V
2	-	50 V
3	+	50 V
4	+หรือ-	70 V
5	-	70 V
6	+	70 V
7	+หรือ-	90 V
8	-	90 V
9	+	90 V

กฎความปลอดภัยการเชื่อมโลหะใต้น้ำด้วยไฟฟ้า

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้าต้องปลอดภัยจากการรั่วของกระแสไฟฟ้า เป็นเครื่องเชื่อมชนิดกระแสตรง มีค่ากระแสไฟฟ้าสูง และมีค่าแรงเคลื่อนต่ำ
2. เครื่องเชื่อมต้องต่อสายกราวด์เข้ากับตัวเครื่องเชื่อมก่อนทำการติดเครื่องยนต์
3. ข้อต่อสายไฟทุกจุดต้องสะอาดและต่อแน่นสนิทก่อนทำการติดเครื่องยนต์
4. ใช้หัวเชื่อมที่ออกแบบเฉพาะสำหรับงานเชื่อมใต้น้ำเท่านั้น
5. ข้อต่อระหว่างสายไฟเชื่อมกับสายไฟหัวเชื่อมใต้น้ำต้องหุ้มด้วยฉนวน
6. ขณะทำการเปลี่ยนลวดเชื่อมใต้น้ำต้องตัดกระแสไฟ (ปิดวงจร) ทุกครั้ง
7. ไม่许ปลายลวดเชื่อมเข้าหาร่างกายผู้เชื่อมและผู้ร่วมปฏิบัติงานเชื่อม
8. อย่าให้อุปกรณ์ดำน้ำที่เป็นโลหะสัมผัสกับปลายลวดเชื่อม
9. ตัดกระแสไฟฟ้าตลอดเวลา ยกเว้นขณะทำการเชื่อม พิวเลียงจะต่อกระแสไฟ (ปิดวงจร) เมื่อได้รับคำสั่งจากผู้ปฏิบัติการเชื่อมเท่านั้น สายไฟกราวด์ (ขั้วบวก) ควรติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมใกล้จุดปฏิบัติงานเชื่อม ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมต้องไม่อยู่ระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงานเชื่อมเพราะอาจเกิดกระแสไฟเหนี่ยวนำผ่านร่างกายได้

10. สวมถุงมืออย่างที่มีคุณภาพป้องกันกระแสไฟฟ้าเสมอเมื่อทำการเชื่อมใต้น้ำแบบเปียก กรณีที่ทำการเชื่อมใต้น้ำแบบแห้งต้องสวมถุงมือหนังคลุมทับถุงมืออย่างอีกชั้นเพื่อป้องกันความร้อนและสะเก็ดลูกไฟที่เกิดจากการเชื่อม
11. ใช้โล่หน้ากากและเลนส์กรองแสงที่เหมาะสมป้องกันนัยน์ตาผู้ปฏิบัติการเชื่อม
12. ตรวจสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ดำน้ำที่เป็นโลหะและเป็นสื่อนำไฟฟ้าว่าสามารถใช้กับงานเชื่อมใต้น้ำได้หรือไม่
13. เมื่อปฏิบัติงานในพื้นที่ที่ต้องแน่ใจว่าไม่มีแก๊สหรืออากาศสะสมอยู่บริเวณพื้นที่ทำการเชื่อมใต้น้ำนั้น
14. ไม่ทำการเชื่อมโดยที่ไม่ทราบว่าจะวัสดุที่จะทำการเชื่อมมีอันตรายหรือไม่และพื้นที่บริเวณนั้นมีวัสดุที่ได้รับผลจากการเชื่อมแล้วทำให้เกิดผลเสียกับผู้ปฏิบัติงานหรือสถานที่

ความปลอดภัยในการปฏิบัติการเชื่อมใต้น้ำ

1. พิจารณาสีงแวดล้อม

- 1.1 ต้องแน่ใจว่าสิ่งแวดล้อมทั่วไปปลอดภัย ตรวจสอบความสูงของคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำขึ้นน้ำลง สภาพอากาศพายุฝน
- 1.2 ตรวจสอบทัศนวิสัยใต้น้ำว่าเหมาะสมสำหรับทำการเชื่อมในสถานที่ ซึ่งบางเวลาอาจไม่สามารถมองเห็นร่องของแนวเชื่อมได้

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 2.1 เครื่องเชื่อมหรือเครื่องกำเนิดไฟต้องไม่มีการรั่วของกระแสไฟฟ้า
- 2.2 โครงสร้างของเครื่องเชื่อมต้องทำการต่อสายกราวด์ก่อนทำการติดเครื่อง และดำเนินการเชื่อม
- 2.3 แน่ใจว่าข้อต่อของระบบสายไฟฟ้าต้องสะอาด และทำการต่อแน่นสนิท
- 2.4 แน่ใจว่าสายไฟทั้งหมดไม่ชำรุดและไม่รั่วและป้องกันการชำรุดของสายไฟโดยการโรยสายไฟเป็นลักษณะงูเลื้อยรูปตัว U หรือสายยาวตรงไม่ให้สายขดทับกัน
- 2.5 แน่ใจว่าเครื่องเชื่อมที่ใช้ ชนิด MMA ต้องเป็นแบบกระแสคงที่หรือชนิด MIG ต้องเป็นแบบแรงเคลื่อนคงที่
- 2.6 การปรับแต่งค่ากระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับขนาดของลวดเชื่อม ลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่จะใช้ค่ากระแสไฟฟ้ามากปกติประมาณ 200 – 300 amps
- 2.7 ปรับแต่งค่าแรงเคลื่อนที่ตกค่อมขณะทำการเชื่อมให้ถูกต้องเหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของชิ้นงานและความลึกของน้ำ
- 2.8 การปรับค่าแรงเคลื่อน (Volt) ต้องปรับเพิ่ม 10 Volt ทุกๆความลึก 30เมตรหรือทุก 100 ฟุต
- 2.9 ในกรณีการเชื่อมแบบเปียกกระแสไฟฟ้าปกติต้องเปิดวงจรตลอดเวลา ฟิวส์จะไม่ต่อกระแสไฟฟ้าจนกว่าจะมีคำสั่งจากผู้ปฏิบัติการเชื่อม

3. หัวเชื่อมและลวดเชื่อม

- 3.1 ใช้หัวเชื่อมที่ออกแบบพิเศษเฉพาะสำหรับงานเชื่อมได้น้ำเท่านั้น
- 3.2 การเชื่อมแบบเปียกต้องตรวจสอบหัวเชื่อมและข้อต่อสายไฟเป็นพิเศษไม่ให้ชำรุดรั่ว
- 3.3 ตรวจสอบชนิดและขนาดของลวดเชื่อมให้ถูกต้องเหมาะสมกับการใช้งาน
- 3.4 ไม่ใช้ลวดเชื่อมที่ชำรุดและตรวจดูการเก็บรักษาลวดเชื่อม ต้องแห้งสนิทตลอดจนสารเคลือบหุ้มลวดเชื่อมควรอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์
- 3.5 แน่ใจว่าต่อขั้วไฟฟ้าถูกต้องและเลือกใช้ถูกต้องเหมาะสมกับประเภทของชิ้นงาน
- 3.6 หัวเชื่อมต้องล้างให้สะอาดและทำให้แห้งทุกครั้งหลังการใช้งาน

4. ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมได้น้ำ

- 4.1 แน่ใจว่ากระเช้าหรือนั่งร้านได้มีการเตรียมการไว้ถูกต้องเหมาะสม
- 4.2 ไม่เริ่มปฏิบัติการเชื่อมจนกว่าจะมั่นใจได้ว่าจะไม่ได้รับอันตรายจากการเชื่อม วัสดุชิ้นงานบางประเภทอาจมีผลกระทบที่จะเป็นอันตรายได้เมื่อได้รับความร้อน
- 4.3 การเชื่อมแบบเปียกต้องสวมถุงมืออย่างที่มีคุณภาพป้องกันกระแสไฟฟ้า การเชื่อมแบบแห้งจะต้องสวมถุงมือหนังทับถุงมืออย่างอีกชั้นป้องกันสะเก็ดลูกไฟ
- 4.4 ต้องใช้หน้ากากและเลนส์กรองแสงป้องกันนัยน์ตาเสมอ
- 4.5 แน่ใจว่าชุดดำน้ำที่สวมใส่ป้องกันกระแสไฟฟ้าและสะเก็ดลูกไฟได้ ถ้าสวมชุดป้องกันอุณหภูมิแบบ Hot Water Suit ต้องสวมชุดป้องกันชนิดยางข้างใน
- 4.6 การจับกราวด์กับชิ้นงานต้องอยู่ในตำแหน่งเหมาะสมปลอดภัย กรณีที่ทำการเชื่อมท่อขนาดใหญ่จำเป็นต้องเปลี่ยนตำแหน่งจับกราวด์หลายครั้งเพราะอาจเกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าระหว่างกราวด์ร่างกายผู้ปฏิบัติงานและปลายลวดเชื่อมได้
- 4.7 การเชื่อมแบบเปียก ต้องระวังร่างกายไม่ให้เป็นส่วนหนึ่งของการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ
- 4.8 การเปลี่ยนลวดเชื่อมต้องตัดกระแสไฟฟ้าเสมอ และรอให้ลวดที่เหลืออยู่เย็นตัวก่อน
- 4.9 ไม่ชี้ปลายลวดเชื่อมเข้าหาร่างกายผู้ปฏิบัติงาน
- 4.10 ไม่นำปลายลวดเชื่อมแตะสัมผัสชุดดำน้ำหรือร่างกาย
- 4.11 ตรวจสอบอุปกรณ์ดำน้ำว่ามีชิ้นส่วนของโลหะที่สามารถเป็นสื่อนำไฟฟ้าหรือไม่
- 4.12 การเชื่อมแบบเปียกที่กระทำในพื้นที่ปิดต้องแน่ใจว่าไม่มีแก๊สสะสมตัวตกค้างซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

ความปลอดภัยเกี่ยวกับพื้นที่ปฏิบัติงานเชื่อม

1. การซ่อมสร้างโครงสร้างใต้น้ำ

- รั้วรั้ววงเส้นทางเดินเรือขนส่งสินค้าอาจเป็นอุปสรรคต่อสถานีการเชื่อมได้
- ต้องไม่มียานดำน้ำเข้ามาใกล้พื้นที่ปฏิบัติงานโดยปราศจากการประสานกับผู้ควบคุมการดำน้ำ

2. การซ่อมสร้างโครงสร้างใต้น้ำ

- การซ่อมทำท่อ ระบบวาล์ว การต่อท่อต้องปิดระบบหรือวาล์วทั้งสองด้านก่อนทำการเชื่อม
- การซ่อมทำท่อเดรนจะต้องเปิดระบายของเหลวต่างๆออกให้สะอาด
- จะไม่มีการทำงานจุดอื่นๆในระบบท่อเดียวกันที่ทำให้เกิดการต่างกำลังดันในท่อซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้
- ต้องทำการตรวจสอบไม่ให้มีกำลังดันภายในท่อนก่อนทำการเชื่อม
- การซ่อมทำท่อจะต้องปราศจากเสียงดังหรือการสั่นสะเทือนที่มีผลกระทบต่อสถานีการเชื่อมและผู้ปฏิบัติงานเชื่อมใต้น้ำ
- การซ่อมทำท่อต้องตัดกระแสไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อออกเสียก่อน
- ไม่ติดเครื่องยนต์ เครื่องจักร เก็บกู้สมอเรือใกล้ท่อที่ส่งผลกระทบไปยังผู้ปฏิบัติงานเชื่อม

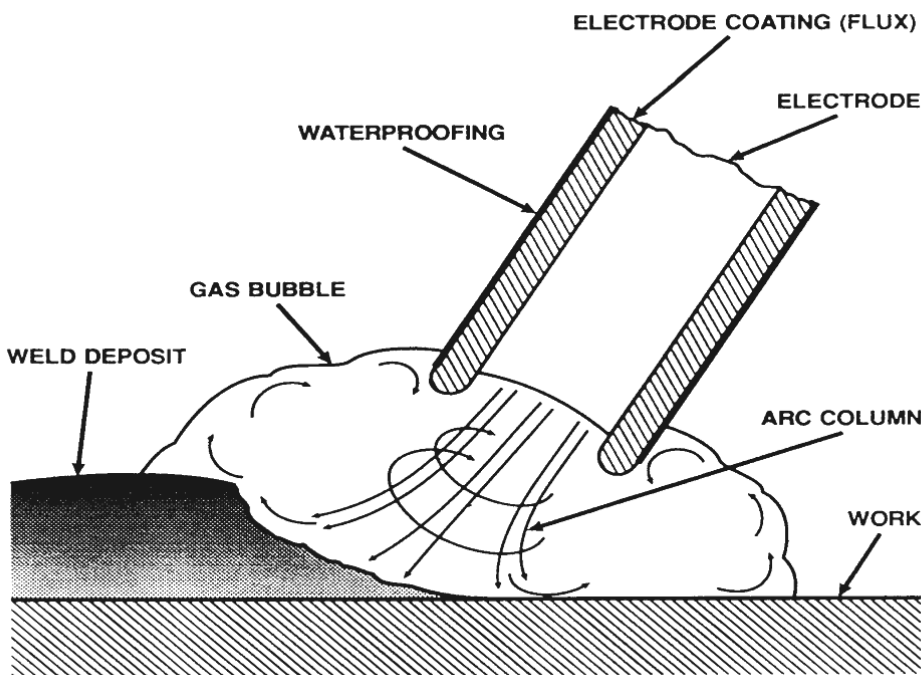
การเชื่อมใต้น้ำ (UNDER WATER WELDING)

การเชื่อมใต้น้ำ (UNDER WATER WELDING) วิธีการเชื่อมใต้น้ำมี 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์
2. การเชื่อมด้วยแก๊สคลุมแนว

1. การเชื่อมด้วยลวดหุ้มฟลักซ์ (Flux) ใช้หลักการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบลัดวงจร (Short Circuit) โดยกรรมวิธีต่อโลหะให้ติดกันด้วยความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมไฟฟ้า(Electrode)กับชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดประมาณ 6,000 °F(3,316 °C)จะหลอมละลายโลหะให้ติดกันโดยโลหะแกนลวดเชื่อมทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าและละลายเป็นเนื้อโลหะเชื่อมเข้ากับเนื้อโลหะชิ้นงาน ส่วนฟลักซ์ที่หุ้มลวดเชื่อมจะได้รับความร้อนและหลอมละลายปกคลุมรอยเชื่อมเอาไว้เพื่อป้องกันแก๊สภายนอกเข้ามาทำปฏิกิริยากับรอยเชื่อมพร้อมทั้งช่วยลดอัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อมอีกด้วยเมื่อเย็นตัวแล้วฟลักซ์จะแข็งและเปราะเหมือนแก้วเรียกว่า สแลก (Slag) กรรมวิธีดังกล่าวนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป เรียกว่า Manual Metal Welding (MMA)หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการเชื่อมแบบ Shield Metal Welding(SMA) สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อมทั้งโลหะที่เป็นเหล็กและไม่ใช้เหล็กที่มีความหนาตั้งแต่ 1.2 มม.ขึ้นไป

รูปภาพแสดงการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

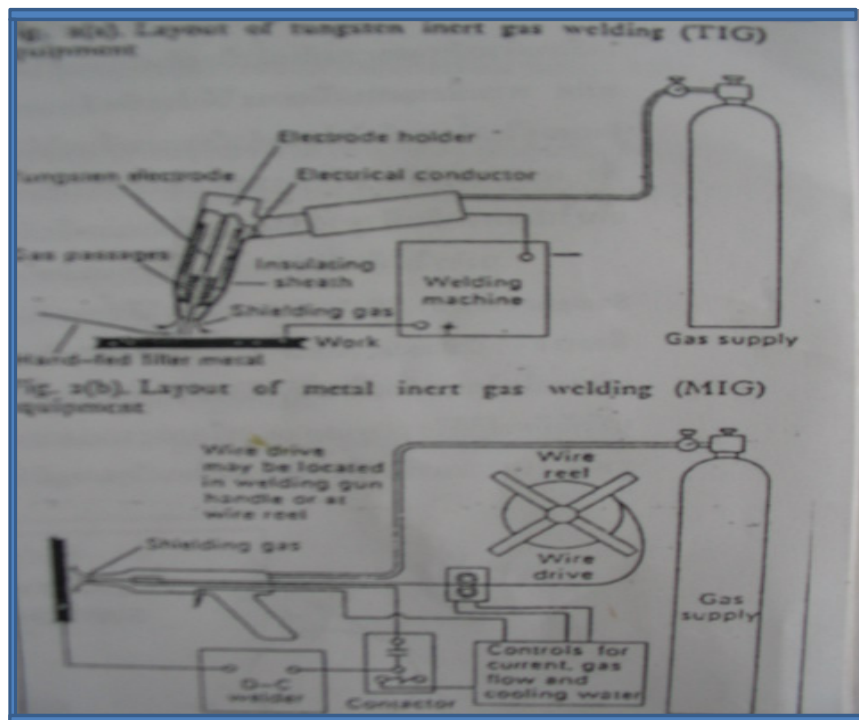


2. การเชื่อมด้วยแก๊สคลุมแนวเชื่อม (Gas Shield Arc Welding) แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

2.1 กระบวนการเชื่อมแบบ TIG (Tungsten Inert Gas Welding) คือการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบลัดวงจร (Short Circuit) โดยใช้ลวดทังสเตนเป็น Electrode และเป็นตัวอาร์คงานเชื่อมให้ร้อนแล้วเติมลวดเชื่อมลงในบ่อหลอมละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่การรวมตัวกันของแนวเชื่อมต้องอาศัยแก๊สเฉื่อย (Inert Gas) เป็นตัวช่วยคลุมป้องกันไม่ให้แก๊สอื่นเข้าไปทำลายคุณสมบัติของเนื้อโลหะที่กำลังร้อนหลอมละลายรวมตัวกันเป็นแนวเชื่อม

2.2 กระบวนการเชื่อมแบบ MIG(Metal Inert Gas Welding)คือการเชื่อมที่ใช้อุปกรณ์เป็นยิ่งลวดเปลือยเข้าไปผสมกับแนวเชื่อมในขณะที่ลวดเชื่อมถูกยิงเข้าไปลวดเชื่อมจะทำหน้าที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าในการอาร์คและเกิดความร้อนโดยอาศัยแก๊สเป็นตัวช่วยปกคลุมแนวเชื่อมแทนการหุ้มด้วยฟลักซ์ กระบวนการเช่นเดียวกันนี้ยังสามารถใช้ฟลักซ์เป็นตัวช่วยคลุมแนวเชื่อมได้โดยใช้ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ เรียกกระบวนการเชื่อมนี้ว่า Flux Core Welding (FCW)

รูปภาพแสดงการเชื่อมด้วยแก๊สคลุมแนวเชื่อม GAS SHIELDED ARC WELDING



รูปแบบของงานเชื่อมใต้น้ำด้วยลวดหุ้มฟลักซ์มี 2 แบบคือ

1. การเชื่อมแบบเปียก (Metal Arc Wet Welding)
2. การเชื่อมแบบแห้ง (Dry Hyperbaric Welding)

การเชื่อมแบบเปียก (Metal Arc Wet Welding)

เป็นวิธีการเชื่อมแบบพื้นฐานปกติเหมือนบนบก Manual Metal Welding แต่วิธีการเชื่อมใต้น้ำจะใช้ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดพิเศษเคลือบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันน้ำเข้าและกระแสไฟฟ้าวอกด้านข้างลวดเชื่อม ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำและอุปกรณ์ที่อยู่ใต้น้ำทั้งหมดจะต้องมีการป้องกันกระแสไฟฟ้าว ประสิทธิภาพความแข็งแรงของแนวเชื่อมจะได้ 80%(Tensile Strength)เพราะการเย็นตัวเร็วของบ่อหลอมละลายและสิ่งเจือปนที่ผสมอยู่ในน้ำสามารถเข้าไปเจือปนกับแนวเชื่อมได้ง่าย เช่น ไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของกระแสไฟฟ้ากับน้ำ ปัจจัยอื่นๆที่มีผลกระทบต่อกรเชื่อมใต้น้ำ เช่นทัศนวิสัยการมองเห็นในน้ำ อุณหภูมิความเย็นของน้ำ กระแสน้ำ

ความมั่นคงไม่สิ้นสะเทือนของพื้นที่ปฏิบัติงานเชื่อม ความสะอาดของรอยที่จะทำการเชื่อม การประกอบชิ้นงานสามารถทำได้แบบสนิทหรือไม่ คลื่นแม่เหล็กที่เกิดจากตัวเรือหรือแหล่งกำเนิดบริเวณใกล้เคียงเป็นต้น

วงจรไฟฟ้าที่ใช้กับการเชื่อมใต้น้ำแบบเปียก (Manual Metal Arc Wet Welding)

โดยทั่วไปจะต้องต่อระบบไฟฟ้าแบบ DCSP(Direct Current Straight Polarity)คือการต่อสายหัวเชื่อม (Electrode holder)เข้ากับขั้วลบ(Negative polarity)ของเครื่องเชื่อมและต่อสายกราวด์เข้ากับขั้วบวกของเครื่องเชื่อม การต่อกลับขั้วหมายถึงการต่อหัวเชื่อมเข้ากับขั้วบวกของเครื่องเชื่อมและต่อสายกราวด์เข้ากับขั้วลบการต่อระบบไฟฟ้าแบบนี้ไม่สามารถใช้กับการเชื่อมโลหะใต้น้ำได้เพราะจะเกิดการกัดกร่อนที่ลวดเชื่อมและอุปกรณ์ได้ ระบบไฟฟ้ากระแสตรงโดยปกติกระแสไฟฟ้า(Electron)จะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับขั้วบวกจะเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะซึ่งเป็นปฏิกิริยาเดียวกันกับการกัดกร่อนของเหล็กที่อยู่กลางแดดกลางฝนที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation หรือกระบวนการเกิดสนิมอย่างช้าๆ แต่กระบวนการเชื่อมใต้น้ำจะเกิดปฏิกิริยา Oxidation อย่างรวดเร็วเพราะการอาร์คของลวดเชื่อมมีอุณหภูมิสูงมาก

การเชื่อมมี 2 แบบ คือ

1. แบบแตะสัมผัสหรือเลื่อนลวดเชื่อม เป็นวิธีการเชื่อมอย่างง่ายเหมาะสำหรับการเชื่อมใต้น้ำ
2. แบบสายลวดเชื่อม เป็นวิธีการที่กระทำได้ยากต้องมีชำนาญหรือมีการฝึกฝนเป็นอย่างดี

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการการเชื่อมโลหะใต้น้ำ

1. ผู้ปฏิบัติงาน PERSONNEL
2. อุปกรณ์เครื่องมือ EQUIPMENT
3. ลวดเชื่อม ELECTRODES
4. วัสดุชิ้นงาน MATERIALS
5. สิ่งแวดล้อม ENVIRONMENT

1. ผู้ปฏิบัติงาน PERSONNEL ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการฝึกฝนที่ดีมีทักษะและสิ่งสำคัญที่สุดต้องมีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานนั้นๆโดยตรง จะทำให้ขั้นตอนการดำเนินงานเป็นไปได้อย่างดีและได้งานเชื่อมที่มีคุณภาพสูง

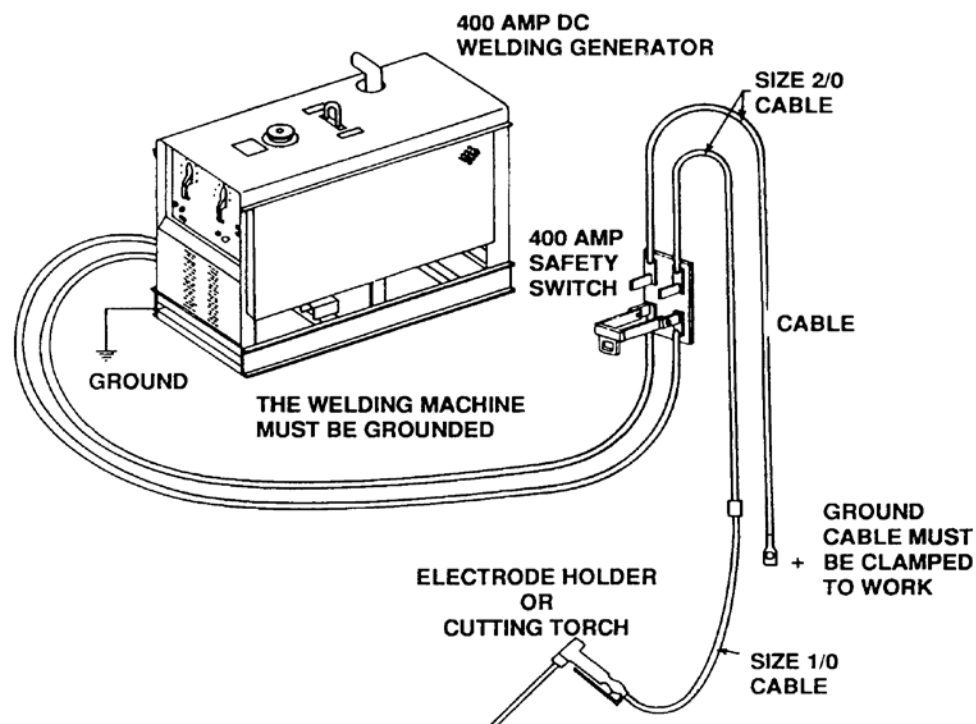
2.อุปกรณ์เครื่องมือ EQUIPMENT

- 2.1 อุปกรณ์ในการเชื่อมแบบเปียกส่วนใหญ่จะเหมือนกันกับที่ใช้บนบกจะมีส่วนสำคัญเป็นบางส่วนที่เป็นอุปกรณ์เฉพาะสำหรับการเชื่อมแบบเปียก
- 2.2 สายไฟสำหรับเชื่อมแบบเปียกและข้อต่อต่างๆต้องมีความสมบูรณ์ไม่ชำรุดหรือร้าว
- 2.3 หัวเชื่อมต้องเป็นชนิดที่ออกแบบไว้สำหรับเชื่อมแบบเปียกและต้องใช้น้ำจากพร้อมแผ่นกรองแสงประกอบการทำงานด้วยเสมอ
- 2.4 เบื้องต้นต้องสวมถุงมืออย่างที่มีคุณภาพป้องกันกระแสไฟฟ้า

การเชื่อมแบบ Underwater Wet Welding อุปกรณ์เบื้องต้นมี ดังนี้

1. เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง DC welding generator หรือเครื่องเรียงกระแสไฟฟ้า มีขีดความสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้อย่างน้อย 350 Amp และแรงเคลื่อนคงที่ 65 Volt
2. สวิตช์ไบเมทัล(แบบขาคู่หรือขาเดี่ยว)สามารถต้านทานกระแสไฟฟ้าได้อย่างน้อย 400 Amp
3. อุปกรณ์วัดค่าโวลต์และแอมแปร์ (Clamp Meter)
4. สายไฟสำหรับเชื่อม(ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 50มิลลิเมตร)
5. ข้อต่อสายเชื่อม (Dinze - type)
6. ตัวจับสายกราวด์
7. หัวเชื่อมใต้น้ำ
8. ลวดเชื่อมใต้น้ำ
9. กระจบอกใส่ลวดเชื่อม
10. เครื่องมือทำความสะอาด ค้อนเคาะหรือแปรงลวด
11. ชุดป้องกันร่างกาย ถุงมือยางและหนังป้องกัน
12. แผ่นกรองแสง ที่มีความเข้มพอเหมาะประมาณเบอร์ 8 หรือ 9
13. หมวกพร้อมไฟส่องสว่าง

รูปภาพแสดงอุปกรณ์และระบบการเชื่อมโลหะใต้น้ำ



แสงสว่างและการมองเห็นใต้น้ำ ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องสามารถมองเห็นแนวเชื่อมได้อย่างชัดเจนจะทำให้ได้แนวเชื่อมที่มีประสิทธิภาพ หมวกและไฟส่องสว่างจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเชื่อมใต้น้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้สนับสนุนในงานเชื่อมใต้น้ำทั่วไป

1. เครื่องมือขัดทำความสะอาดผิวงาน
2. เครื่องมือทั่วไป แปรงขีดงาน เหล็กขูดแนวเชื่อม
3. เครื่องมือหนีบจับชิ้นงาน
4. เชือกใช้งานทั่วไป
5. กระจกใถ้ถ้าจำเป็นต้องใช้

ไม่ทำการเชื่อมขณะที่ร่างกายผู้ปฏิบัติงานเชื่อมไม่มั่นคง สั่นสะเทือนหรือลอยตัวกลางน้ำต้องมีนั่งร้านหรือ กระจกช่วยในการปฏิบัติงาน

3. ลวดเชื่อม ELECTRODES การนำเอาลวดเชื่อมสำหรับใช้งานบนบกคุณภาพดีมาทำการหุ้มเคลือบด้วยวัสดุ ป้องกันน้ำสามารถใช้ได้ แต่อาจเกิดปัญหาขณะทำการเชื่อมในบางครั้ง ควรใช้ลวดเชื่อมคุณภาพดีที่ออกแบบสำหรับใช้กับ งานเชื่อมใต้น้ำโดยเฉพาะ

โดยทั่วไปของการใช้ลวดเชื่อมลวดเชื่อมขนาด 2.5 มม.และลวดเชื่อมStainlessหรือลวดเชื่อม Nickel จะใช้ค่า กระแสไฟฟ้าต่ำประมาณ 80 Amps ลวดเชื่อมขนาด 3.2 มม.จะใช้ค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 120 – 180 Amps ลวด เชื่อมขนาด 4 มม.จะใช้ค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 200-300Amps ขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานและตำแหน่งทำเชื่อม ลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่กว่า 4 มม. ถ้าไม่มีความจำเป็นไม่ควรนำมาใช้เพราะเมื่อทำการอาร์คค่ากระแสไฟฟ้าจะตกคร่อม มากในลวดที่มีขนาดใหญ่

4. วัสดุชิ้นงาน MATERIALS

4.1 เหล็กผสมคาร์บอน Carbon steel ทำการเชื่อมได้ดีที่สุดในเหล็กประเภทนี้ เหล็กผสมคาร์บอน บางชนิดมีไฮโดรเจนผสมอยู่มากจึงมีค่าความแข็งเหนียวสูงการเชื่อมแบบเปียกกระทำได้ค่อนข้างยากอาจเกิด รอยร้าวที่แถบความร้อนข้างรอยเชื่อมได้ต้องทำทดสอบแนวเชื่อมตลอดแนวตามกรรมวิธีของการเชื่อมเพื่อให้ได้ ความสมบูรณ์ตามคุณภาพที่ต้องการ

4.2 เหล็กผสมคาร์บอนต่ำ Low carbon,low alloy,mild steels การเชื่อมสามารถกระทำได้แต่อาจ เกิดปัญหาอุปสรรคบ้างขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีในเหล็กว่ามีส่วนผสมของคาร์บอนมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิด และคุณสมบัติของเหล็ก ต้องมีการประเมินค่าเหล็กก่อนเพื่อจะได้ใช้ชนิดของลวดเชื่อมได้ตรงกัน

4.3 เหล็กสแตนเลส Stainless steel การเชื่อมสแตนเลสใต้น้ำเป็นสิ่งที่ไม่ธรรมดา ปกติจะใช้ในการ เชื่อมอุตสาหกรรมทางนิวเคลียร์ กระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเชื่อม ประมาณ 300Amps ควรเลือกชนิดของลวดให้ เหมาะสมกับแนวเชื่อม

4.4 วัสดุที่ไม่ทราบว่าเป็นประเภทใด Unknown materials ในสภาวะการคับขันอาจมีความจำเป็นที่ จะต้องเชื่อมทั้งที่ไม่ทราบว่าเป็นวัสดุโลหะประเภทใด ควรจะหาวัสดุที่มีความเหมือนหรือใกล้เคียงกันมาทำการ ทดลองเชื่อมก่อนหรืออาจจะหาตัวอย่างวัสดุไปทำการทดสอบถึงคุณสมบัติของเนื้อวัสดุเสียก่อน

5. สิ่งแวดล้อม Environment

5.1 ทักษะวิสัยการมองเห็นที่ดีคือสิ่งช่วยให้การเชื่อมประสบความสำเร็จได้ดี ระยะการมองเห็นที่ต่ำกว่า 0.5 เมตร (19 นิ้ว) จะเป็นสาเหตุให้แนวของรอยเชื่อมชำรุดเสียหายได้

5.2 กระแสไฟฟ้าที่ไหลแรงจะมีผลต่อการพัดเอาแก๊สและฟลักซ์ที่ปกคลุมแนวเชื่อม ออกทำให้เกิดการหนีแนวเชื่อม

5.3 สภาวะคลื่น การโยกของคลื่นจะมีผลต่อการพัดเอาแก๊สออกจากแนวเชื่อมและยังทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้นำทำงานด้วยความยากลำบากที่จะต้องคอยควบคุมร่างกายและการเชื่อมให้นิ่งเท่าที่จะทำได้

5.4 น้ำที่มีสารเจือปนหรือมีสิ่งสกปรกจะมีผลต่อผู้ปฏิบัติงานได้นำและการเชื่อม

5.5 การควบคุมอุณหภูมิร่างกายของผู้ปฏิบัติงานได้นำ ความหนาวสั่นของร่างกายที่เกิดจากความเย็นของน้ำหรือจากการปฏิบัติงานนานๆ อาจทำให้การเชื่อมไม่ได้

รูปภาพแสดงการปฏิบัติงานกับสิ่งแวดล้อมที่เป็นอุปสรรค



การกำหนดมาตรฐานและคุณภาพของงานเชื่อมแบบเปียก การควบคุมมาตรฐานงานเชื่อมและผู้เชื่อมเป็นสิ่งที่กำหนดไว้เพื่อเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานว่าได้ผ่านการทดสอบและเป็นที่ยอมรับร่วมกัน สถาบันงานเชื่อมของสหรัฐอเมริกา (D3.6M:1999 Specification for Underwater Welding) เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายถึงการเป็นผู้กำหนดมาตรฐานของงานเชื่อมและการวิวัฒนาการตลอดมา

AWS D 3.6 ได้กำหนดชั้นความมาตรฐานออกเป็น 4 ระดับชั้น

1. การเชื่อมระดับชั้น A (Class A welds) เป็นการเชื่อมซึ่งได้คุณภาพงานเชื่อมเท่ากับงานเชื่อมบนบก การทดสอบและตรวจสอบคุณภาพ กระทำเหมือนกันกับบนบกทุกประการ
2. การเชื่อมระดับชั้น B (Class B welds) เป็นการเชื่อมทั่วไปเหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการคุณภาพงานสูงนัก
3. การเชื่อมระดับชั้น C (Class C welds) เป็นการเชื่อมที่เหมาะสมกับงานที่ไม่เน้นความสำคัญและความปลอดภัยเท่ากับระดับชั้น A , B และ O
4. การเชื่อมระดับชั้น O (Class O welds) เป็นการเชื่อมงานที่มีความชำนาญเฉพาะด้าน นอกเหนือจากระดับชั้น A , B และ C

การเชื่อมใต้น้ำแบบแห้ง Dry welding

1. การเชื่อมแบบแห้งในห้องอากาศ Dry hyperbaric welding การเชื่อมในห้องอากาศสามารถทำการเชื่อมได้ทุกรูปแบบจากกรรมวิธีการเชื่อมทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นแบบอัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติหรือการเชื่อมแบบธรรมดา ห้องอากาศที่ใช้สำหรับการเชื่อมแห้งกระทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1.1 ห้องเชื่อมแห้งสมบูรณ์แบบ (Full-sized Habitat)

1.2 ห้องเชื่อมขนาดเล็ก (Mini-Habitat) คือการทำให้แห้งครึ่งตัวของผู้ปฏิบัติงานเชื่อม โดยใช้กำลังดันของแก๊สเฉื่อย หรืออากาศสร้างห้องเชื่อมและทำการเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือเชื่อมด้วยแก๊สคลุมแนวเชื่อมก็ได้

1.3 กล่องเชื่อม (Portable dry box) คือการทำกล่องหุ้มเฉพาะแนวเชื่อมเท่านั้นใช้การเชื่อมแบบ MIG หรือ MMA

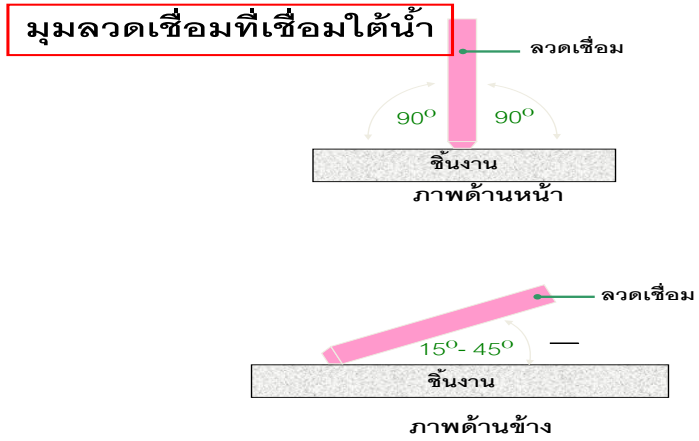
2. การเชื่อมใต้น้ำแบบแห้งที่ความลึกไม่เกิน 1 บรรยากาศ One-atmosphere กรรมวิธีการเชื่อมใต้น้ำแบบแห้งที่ความลึกไม่เกิน 1บรรยากาศนี้จะใช้ห้องอากาศที่ทำการฉนึกฝาผนังป้องกันการรั่วของน้ำสามารถกระทำได้เพราะความลึกและกำลังดันไม่มากจนเกินไป รูปแบบโดยทั่วไปคล้ายวิธี Dry hyperbaric welding

ประเภทของลวดเชื่อมไฟฟ้า

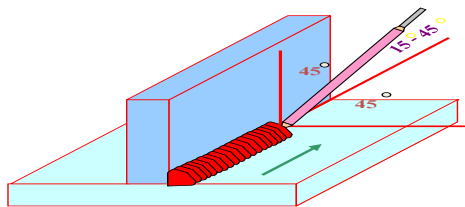
ลวดเชื่อม	ท่าเชื่อม	สารพอกหุ้ม	กระแสไฟฟ้า
E 6010	F , V , H , OH	เซลลูโลส โซเดียมสูง	DC , (+)
E 6011	F , V , H , OH	เซลลูโลส โปแตสเซียมสูง	AC , DC , (+)
E 6012	F , V , H , OH	ติตานิอ โซเดียมสูง	AC , DC , (-)
E 6013	F , V , H , OH	ติตานิอ โปแตสเซียมสูง	AC , DC , (±)
E 6027	F , H , FIL	ผงเหล็ก เหล็กออกไซด์สูง	AC , DC , (-)
E 7014	F , V , H , OH	ผงเหล็ก ติตานิอ	AC , DC , (±)
E 7016	F , V , H , OH	ไฮโดรเจนต่ำ โปแตสเซียม	AC , DC , (-)
E 7024	F , H , FIL	ผงเหล็ก ติตานิอ	AC , DC , (±)
E 70 27	F , H , FIL	ผงเหล็ก เหล็กออกไซด์สูง	AC , DC , (-)

ตารางปรับกระแสไฟในการเชื่อมได้น้ำ

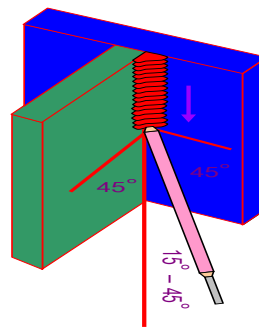
ลวดเชื่อม		กระแสไฟปรับตามท่าเชื่อม (A mp.)			
ชนิดลวด	ขนาด (mm.)	ท่าขนานนอน	ท่าตั้ง(ลง)	ท่าเหนือศีรษะ	แรงดัน (V)
E 6013	3.2	130 - 140	130 - 140	130 - 135	25 - 35
	4.0	150 - 180	150 - 180	150 - 170	26 - 36
	5.0	170 - 200	170 - 200	170 - 190	28 - 38
E 7014	3.2	140 - 150	140 - 150	130 - 140	25 - 35
	4.0	170- 200	170 - 200	160 - 180	26- 36
	5.0	190 - 240	190 - 240	190 - 230	28 - 38
E 7016	3.2	140 - 150	140 - 150	130 - 140	25 - 35
	4.0	160 - 200	160 - 200	160 - 180	26 - 36
High Nickel	3.2	130 - 150	125 - 145	125 - 145	22 - 30



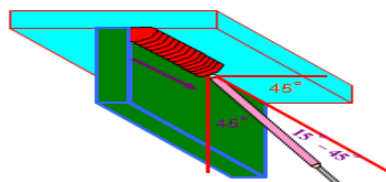
การเชื่อมทำขนานนอน



การเชื่อมทำตั้ง (ลง)



การเชื่อมทำเหนือศีรษะ



การตัดโลหะใต้น้ำ

สาเหตุของการบาดเจ็บสาหัสหรือเสียชีวิตเกิดจากการใช้เครื่องมือตัดโลหะใต้น้ำที่ไม่ถูกต้อง จะไม่มีการตัดโลหะใต้น้ำหรือใช้อุปกรณ์เครื่องมือโดยที่ผู้ปฏิบัติงานร่วมไม่ได้รับการฝึกฝนและเข้าใจขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

การตัดโลหะใต้น้ำ แบ่งออกเป็น 2 แบบ

1. แบบเย็น (COLD CUTTING)
2. แบบร้อน (HOT CUTTING)

การตัดโลหะแบบเย็นเป็นวิธีการลดความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับนักดำน้ำได้ดีกว่าการตัดโลหะแบบร้อน

1. การตัดโลหะแบบเย็น ตัวอย่างเช่น การตัดด้วยระบบ Hydraulic Cutter
2. การตัดโลหะแบบร้อนโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 5 วิธี

2.1 Oxy - arc (Carbon and tubular steel electrodes) คือการใช้ออกซิเจนและกระแสไฟฟ้าเป็นตัวเริ่มการจุดตัวให้ความร้อน สำหรับลวดตัดจะเป็นชนิดลวดเหล็กที่มีรูตรงกลางบางชนิดเป็นแบบลวดคาร์บอนหรือแบบแกรไฟท์

2.2 Exothermic cutting (Kerie Cable and Broco Rods) คือการใช้ลวดตัดที่มีการเติมสารให้ความร้อนสูงเพิ่มเข้าไปในเส้นลวดตัดวิธีการตัดนี้ใช้ออกซิเจนและกระแสไฟฟ้าเป็นตัวเริ่มการจุดให้ความร้อน

2.3 Shielded metal arc (SMA) คือการใช้ลวดเชื่อมใต้น้ำที่มีขนาดใหญ่ตัด ระบบการตัดชนิดนี้จะเหมือนกับการเชื่อมทั่วไปแตกต่างที่การตั้งค่ากระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนต้องให้มีค่าสูงมากพอที่จะทำให้โลหะนั้นหลอมละลาย

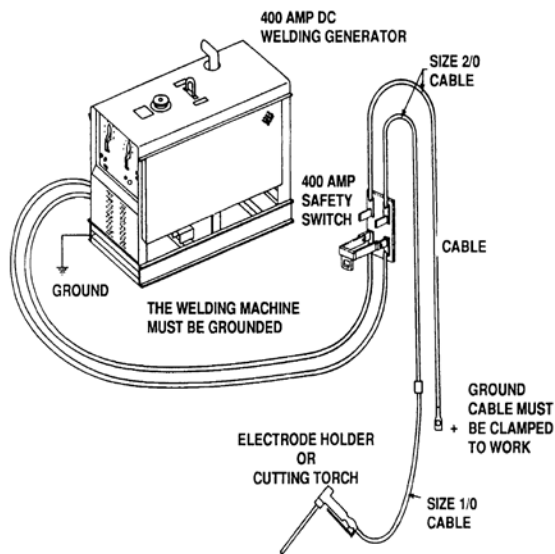
2.4 Arcwater cutting คือการใช้ลวดตัดแกรไฟท์หรือทองแดงเมื่อมีกระแสไฟฟ้าเริ่มอาร์คให้ความร้อนจนโลหะเกิดการหลอมละลายและใช้น้ำที่มีกำลังดันฉีดเป่าโลหะที่หลอมละลายออกจากแนวรอยตัด

2.5 Gas cutting (Oxy - hydrogen torch) คือการใช้ออกซิเจนและไฮโดรเจนผสมกันในกระบอกหัวตัดจุดตัวด้วยเครื่องจุด การตัดทำได้ดีที่ความลึกไม่มาก โลหะที่จะตัดต้องเป็นเหล็กและมีความหนาพอที่จะดูดซับสะสมความร้อนไว้ ชัดจำกัดคือความร้อนที่ได้ซ้ำอีกทั้งกำลังดันของแก๊สทั้งสองชนิดไม่มีกำลังดันสูงมากพอที่ความลึกมากๆ และกำลังดันที่จะลดลงตามการใช้งาน

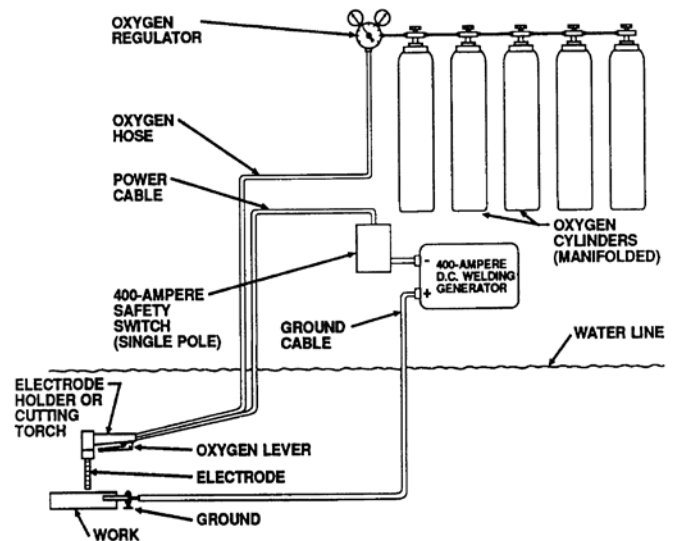
1. การตัดโลหะแบบร้อนด้วยวิธี Oxy - arc cutting เป็นวิธีการตัดที่ดีที่สุดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถตัดเหล็กธรรมดาและเหล็กที่มีส่วนผสมคาร์บอนต่ำได้ง่าย ตัวอย่างของระบบการตัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแสดงดังรูป การตัดระบบ Oxy - arc cutting เป็นการประสบความสำเร็จทางเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับโลหะที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบหลัก ความร้อนสูงนี้เกิดขึ้นขณะที่ลวดตัดได้รับกระแสไฟฟ้าจากการอาร์คกับโลหะชิ้นงานทำให้โลหะชิ้นงานหลอมละลายอย่างรุนแรงความร้อนสูงที่เกิดขึ้นจะดำเนินต่อไปโดยตัวของลวดตัดเองจนกว่าลวดตัดจะหมดเส้น เราเรียกปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและความร้อนที่เกิดจากการอาร์คจนเกิดการหลอมละลายนี้ว่าปฏิกิริยา Oxidation

อุปกรณ์และระบบเบื้องต้นของการตัดโลหะแบบ Oxy - arc cutting และการตัดแบบ Shielded metal arc (SMA) โดยทั่วไปจะเหมือนกันเพียงแต่การตัดแบบ Oxy - arc cutting จะมีระบบของออกซิเจนเพิ่มเข้ามาในระบบของการตัดแบบ Shield metal arc (SMA)

Shielded metal arc



Oxy - arc cutting



การตัดแบบ Oxy - arc cutting อุปกรณ์เบื้องต้นมี ดังนี้

1. เครื่องเชื่อมกระแสตรง DC welding generator
2. ออกซิเจนที่ใช้ในการตัด Oxygen supply
3. ข้อต่อฟองขวดออกซิเจน Oxygen couple
4. เครื่องปรับกำลังดันออกซิเจน Oxygen regulator
5. ตัวจับกราวด์ (ขั้วบวก) Ground plate
6. ชิ้นงานหรือโลหะหลัก Work or base metal
7. สวิตช์ใบมีด Knife switch
8. ลวดตัดโลหะ Cutting electrode
9. หัวตัดโลหะหรือหัวเชื่อม Cutting torch and spares or welding torch
10. สายไฟต่อเข้าสวิตช์ใบมีด (สายไฟขั้วลบ) Cable connector
11. สายไฟตัดหรือเชื่อม (ขั้วลบ) และสายกราวด์ (ขั้วบวก) 400 amps cable (supply and return)
12. สายออกซิเจน Oxygen supply hose
13. เครื่องมือทำความสะอาด Cleaning tool (Scraper or Chipping Hammer)

ปัจจัยที่มีผลในการวางแผนงานตัดโลหะด้วยวิธี Oxy - arc cutting

1. ข้อมูลความสูงของคลื่น ความแรงของกระแสไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ระดับน้ำขึ้นและน้ำลง การพยากรณ์อากาศ

2. ข้อมูลทัศนวิสัยใต้น้ำ

3. การจัดตั้งสถานีอุปกรณ์

3.1 ค่ากระแสไฟควรอยู่ระหว่าง 300 ถึง 500 amps ตัวบ่งชี้การตั้งค่ากระแสไฟใช้งานขึ้นอยู่กับความยาวของสายเชื่อมและสายกรวดความลึกน้ำที่จะปฏิบัติงาน ความหนาของโลหะงานที่จะทำการตัดสามารถปรับแต่งได้ตามต้องการ สายไฟควรโรยสายออกให้ตรงหรือโรยสายออกในลักษณะงูเลื้อยรูปตัว U การขุดหรือม้วนสายไฟทับกันจะเกิดการตกรวมของกระแสไฟทำให้กระแสไฟลดลงและจะมีผลทำให้สายเกิดความร้อนและเกิดการลุกไหม้ของสายไฟขึ้นได้

3.2 ตั้งค่าแรงเคลื่อนให้ต่ำกว่าอยู่ระหว่าง 60 ถึง 90 โวลต์และเป็นระบบกระแสไฟตรงต่อขั้วตรง (DCEN) (DCSP) คือการต่อสายไฟเชื่อมหรือตัดขั้วลบเข้ากับหัวเชื่อมหรือหัวตัด

3.3 สายไฟเชื่อมหรือตัดเมื่อต่อเข้ากับหัวเชื่อมหรือตัดแล้วปลายที่เหลืออีกข้างให้ต่อเข้ากับสวิทช์ใบมีดที่จะต่อไปยังขั้วลบของเครื่องกำเนิดกระแสไฟ

3.4 สวิทช์ใบมีดหรือสวิทช์ตัดต่อทางไฟควรจะต้องเข้ากับขั้วลบของสายไฟเชื่อมหรือตัด

3.5 ออกซิเจนที่ต่อเข้าระบบการตัดต้องมีปริมาณเพียงพอและมีค่าความบริสุทธิ์ประมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีข้อต่อฟองขวดเข้าด้วยกันในกรณีใช้ขวดออกซิเจนมากกว่าหนึ่งขวดเพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนขวดที่ใช้หมดแล้วขณะปฏิบัติงาน

3.6 กำลังดันออกซิเจนควรปรับค่ากำลังดันไว้ที่ 4-6 bar (60-100psi) เหนือกำลังดันโดยรอบ

3.7 ลวดตัดใต้น้ำ

- เลือกชนิดของลวดตัดให้ถูกต้อง เช่น carbon, tubular steel, ultrathermic electrodes
- ตรวจสอบคุณภาพโดยทั่วไปของลวดตัดให้แน่ใจว่าฟลักซ์และสารเคลือบไม่แตกชำรุด
- ลวดตัดทั้งเส้นต้องเคลือบด้วยสารป้องกันน้ำและไม่รั่ว
- ลวดตัดชนิด Ultrathermic ต้องใช้ขนาดดอกจำปาให้เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดชนิดนี้และชนิดของหัวตัด เช่น Arc air หรือ Broco

4. เตรียมการติดตั้งกระเช้าหรือแผ่นพื้นเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความสะดวกในการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการตัดโลหะแบบ Oxy - arc cutting

ต้องได้รับการยืนยันการตัดสินใจและการสั่งการจากผู้ควบคุมการดำเนินงานและผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำที่กำลังปฏิบัติงานในเรื่องของการติดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (เครื่องเชื่อมหรือตัด) การต่อและตัดกระแสไฟฟ้า (“Make it hot”= “Switch on”, “Make it cold”= “Switch off”)

1. การต่อกราวด์กับโลหะชิ้นงาน ก่อนที่จะเริ่มการตัดโลหะจะต้องทำการต่อสายกราวด์กับชิ้นงานเสียก่อน
 - 1.1 เครื่องมือในการปฏิบัติงาน เช่น หัวตัดพร้อมสาย สายกราวด์และลวดตัดผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำสามารถนำลงไปได้เองหรือส่งลงไปโดยใช้เชือกนำ (Down line) ก็ได้ตามความเหมาะสม
 - 1.2 ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องทำความสะอาดชิ้นงานตำแหน่งที่จะทำการตัดให้สะอาดเสียก่อนโดยใช้แปรงลวดหรือเครื่องมือขัด
 - 1.3 ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องต่อสายกราวด์กับบริเวณที่ทำความสะอาดไว้ด้วย C Clamp หรือด้วยวิธีการเชื่อมติดไว้ใกล้กับจุดที่จะทำการตัดและต้องแน่ใจว่าสายกราวด์นั้นหย่อนสายยาวพอที่จะไม่หลุดจากการถูกดึงโดยคลื่นผิวน้ำหรือกระแสน้ำ
 - 1.4 ระหว่างปฏิบัติงานตามขั้นตอนผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องการจะย้าย C clamp จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งต้องแน่ใจว่าร่างกายไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของวงจรกระแสไฟฟ้า (Switch off)
 - 1.5 สายกราวด์ที่ต่อกับชิ้นงานปลายสายอีกด้านต้องต่อกับขั้วบวกของเครื่องกำเนิดไฟ

2. ผู้ปฏิบัติการใต้น้ำต้องแน่ใจว่าอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเหมาะสมถึงจะเริ่มทำการตัดในบางครั้งอาจจะต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันศีรษะประกอบ

3. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องแน่ใจว่าสายอากาศดำน้ำ สายออกซิเจนและสายสายไฟที่ใช้ในการตัดอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัยจากการตัด

4. การตัด ผู้ปฏิบัติการใต้น้ำควรจะปฏิบัติดังนี้

- 4.1 บีบลิ้นคั้นบังคับออกซิเจนให้ไหลอย่างต่อเนื่อง
- 4.2 นำปลายลวดตัดไปแตะสัมผัสกับโลหะชิ้นงานและสั่งการให้ไฟเลี้ยงต่อกระแสไฟ (Switch on)
- 4.3 เมื่อปลายลวดตัดแตะสัมผัสกับชิ้นโลหะงานจะเกิดการอาร์คเกิดขึ้นในขณะเดียวกันที่ออกซิเจนได้ไหลอยู่แล้วจะทำให้เกิดการลุกไหม้ที่รุนแรงขึ้น ให้เริ่มตัดทำมุมปลายลวดตัด 90 องศากับโลหะชิ้นและรักษาระยะชิดของปลายลวดตัดกับโลหะชิ้นงานตลอดเวลาขณะทำการตัดและตัดตามมุมมองที่ต้องการขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะชิ้นงาน ถ้าหากการตัดสิ้นสุดลงหรือเกิดปัญหาอุปสรรคทำให้การตัดหยุดลง การเริ่มต้นการอาร์คเพื่อทำการตัดใหม่ให้กระทำดังเดิม (ปฏิบัติตามข้อ 4.1-4.3)

4.4 การเปลี่ยนลวดตัด เมื่อลวดตัดลุกไหม้หมดลงเหลือ 5 cm (2 in) ให้หยุดการตัดหรือสั่ง “Switch off” โดยรักษาทิศทางของหัวตัดไว้ในตำแหน่งที่ทำการตัดจนกระทั่งได้รับการยืนยันการตัดกระแสไฟจากผู้ควบคุมการดำเนินงานให้ทำการแตะสัมผัสปลายลวดตัดกับโลหะชิ้นงานเบาๆ 2 ครั้งโดยไม่ต้องบีบลิ้นคั้นบังคับออกซิเจนเพื่อยืนยันว่าไม่มีกระแสไฟจึงทำการเปลี่ยนลวดตัดใหม่

5. แน่ใจว่ารอยแนวที่จะทำการตัดได้ทำความสะอาดไว้ดีพอ บริเวณที่ทำการตัดต้องไม่มีสิ่งสกปรกปกคลุมแนวตัดซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการตัดด้วยวิธีนี้ สำหรับงานที่ส่วนมากจะมีการพันหุ้มภายนอกท่อด้วยเชือกหรือสารเคลือบท่อและงานที่มีโครงสร้างซับซ้อนการตัดด้วยวิธีนี้ก็มีความปลอดภัยเช่นกัน

6. เมื่อทำการตัดเหล็กที่มีความหนาหลายๆอาจต้องใช้เครื่องมือช่วย เช่น ไขควงหรือเหล็กแหลมแทงเข้าไปในรอยร่องตัดเพื่อตรวจสอบการตัดขาดของเหล็กที่มีความหนา

7. แก๊สจากหัวตัดและจากการสะสมตัวที่เกิดจากการตัดเป็นสาเหตุของการระเบิดที่รุนแรงได้ ต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดการสะสมตัวของแก๊สเด็ดขาด เช่นรอยตัดเหล็กที่มีความหนาหลายๆจะทำให้เกิดโพรง บริเวณพื้นที่การตัดที่เป็นอุโมงค์หรือโพรงที่เป็นพื้นที่ปิดจะทำให้อากาศและแก๊สสามารถกักเก็บสะสมตัวได้ แก๊สที่สะสมตัวเกิดจากสาเหตุ

แก๊สที่สะสมตัวเกิดจากสาเหตุ

1. ใต้โคลน ใต้โครงสร้างเหล็กหรือสิ่งทับถม
2. ใต้คอนกรีตที่หุ้มท่อเหล็ก
3. ในพื้นที่รูปวงแหวนทรงโค้งซึ่งง่ายต่อการสะสมตัวของแก๊สหรือท่อที่มีความยาว
4. ใต้พื้นที่ทรงแบนราบแต่มีขนาดใหญ่ เช่นพื้นที่ห้องเรือขนาดใหญ่
5. ในพื้นที่ปิด เช่นในท่อ ในถัง ในอุโมงค์
6. ภายในชิ้นงานโลหะตัดที่มีความหนาหลายๆ

8. ก่อนทำการตัดโลหะในพื้นที่ปิดต้องทำการเจาะรูระบายแก๊สก่อนหรือทำการตัดชิ้นส่วนที่อยู่ด้านบนเพื่อให้แก๊สสามารถระบายออกได้ ขณะทำการตัดหรือเจาะรูต้องระมัดระวังกำลังดันของแก๊สที่เปลี่ยนแปลงระหว่างด้านในและด้านนอกอาจทำให้แก๊สขยายตัวเกิดประกิติดไฟได้ วิธีกาตัดแบบเย็น (Cold cutting) เป็นวิธีที่ดีสำหรับเจาะรูระบายแก๊สในพื้นที่ปิด

9. Blow - back (การระเบิดขนาดเล็กๆ สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อทำการตัดโลหะข้างในท่อหรือใกล้ท่อระหว่างการจุดตัวของสิ่งเหล่านี้ ไฮโดรคาร์บอน การเคลื่อนที่ของสีหรือถ่านหิน วัสดุประเภทโลหะผสมติดไฟง่าย เช่นในแท่งแอนโนด ที่ความลึกมากการระเบิดนี้จะมากขึ้นด้วย

ลวดตัดชนิดธรรมดาที่ใช้กับการตัดด้วยวิธี Oxy - arc cutting มี 2 ชนิดคือ

1. ลวดตัดคาร์บอน (Carbon electrodes) ลวดตัดคาร์บอนทั่วไปจะมีขนาดความยาว 8 นิ้วหรือ 20.3 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 3/8 นิ้วหรือ 9.5 มม. และมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1.1 วิธีการตัดง่ายสะดวกไม่ซับซ้อน
- 1.2 ประหยัด การลุกไหม้หลอมละลายของลวดตัดชนิดนี้จะช้ากว่าลวดตัดชนิดอื่นและสามารถตัดเหล็กความหนา 1 นิ้วหรือ 25 มิลลิเมตรได้ระยะทางของงานที่ขาดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของลวด ความเร็วเฉลี่ยของการตัดเหล็กหนา 12.7 มม. คือ 0.3 เมตรต่อนาที (1 ฟุตต่อนาที ความหนา ½ นิ้ว)
- 1.3 ราคาถูกกว่าลวดตัดชนิด Tubular steel ครึ่งเท่า
- 1.4 จำกัดในการตัดเหล็กหนาเกินกว่า 1 นิ้ว ยกเว้นเป็นการฝึกตัดเพื่อความคุ้นเคย
- 1.5 การป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไม่ดียกเว้นชนิดเคลือบพลาสติก
- 1.6 สามารถหยุดการตัดได้ง่าย

2. ลวดตัดแบบเหล็กมีรูตรงกลาง (Tubular steel) เป็นลวดตัดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีลักษณะเป็นท่อเหล็กหุ้มปลั๊กซ์และเคลือบป้องกันน้ำ โดยทั่วไปจะมีขนาดความยาว 35 ซม. หรือ 14 นิ้ว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. หรือ 5/16 นิ้ว ความกว้างของรูท่อที่ออกซิเจนไหลผ่าน 3 มม. หรือ 1/8 นิ้ว และมีคุณสมบัติดังนี้

- 2.1 วิธีการตัดง่ายสะดวกไม่ซับซ้อน
- 2.2 สามารถตัดโลหะได้หนาถึง 51 มม.หรือ 2 นิ้ว
- 2.3 ความเร็วในการตัดขึ้นอยู่กับ ความหนาของชิ้นงาน กำลังดันออกซิเจน ความลึกของน้ำ ความแรงของกระแสไฟและทักษะความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ความเร็วเฉลี่ยของการตัดได้ระยะทาง 0.7 เมตรต่อนาทีที่ความหนาโลหะ 12.7 มม. (27 นิ้วต่อนาทีที่ความหนาโลหะ ½ นิ้ว)
- 2.4 ได้ขอบของรอยตัดที่ประณีต

- 2.5 ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องผลิตกระแสไฟได้ 400 แอมแปร์
- 2.6 ปฏิบัติการลูกไหม้ที่เกิดขึ้นรวดเร็วมากภายในเวลาอันสั้น

สูตรกำลังดันออกซิเจน $H/10 + (0.445 D) + 90$

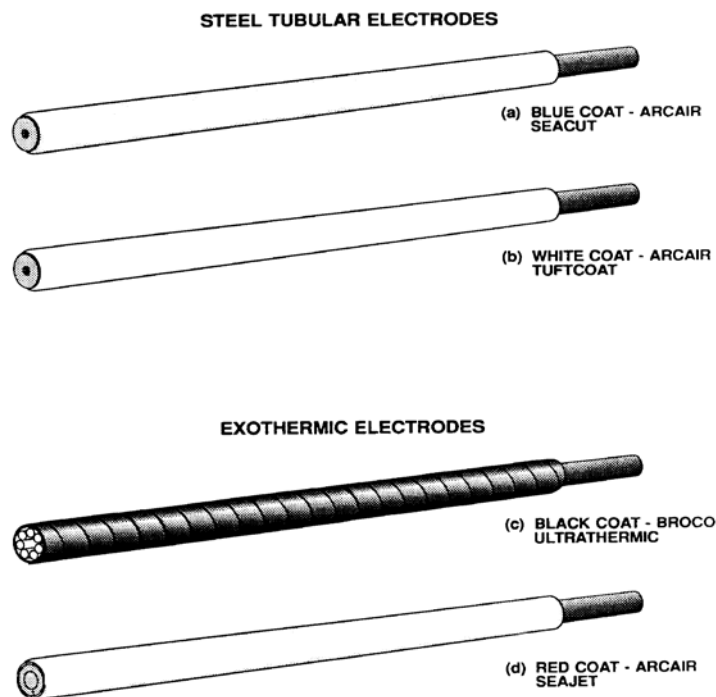
H = ความยาวของสายอากาศ(ฟุต)

D = ความลึก ณ จุดทำงาน(FSW)

90 = ค่าคงที่กำหนดที่ปลายหัวตัด

*ความแรงของกำลังดันออกซิเจนที่พุ่งออกมาจากปลายลวดตัดต้องได้อย่างน้อย 6 นิ้ว

รูปภาพแสดงลวดตัด STEEL TUBULAR ELECTRODES และ EXOTHERMIC ELECTRODES



ประโยชน์ของปลั๊กซีที่หุ้มรอบท่อลวดตัด Steel tubular

1. ช่วยให้ง่ายต่อการเริ่มอาร์คและรักษาระยะอาร์ค
2. ป้องกันฟองอากาศที่เกิดขึ้นรอบๆการอาร์ค
3. ป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ากรณีร่างกายผู้ปฏิบัติงานไปถูกสัมผัส
4. ป้องกันการอาร์คด้านข้างลวดกรณีทำการตัดในพื้นที่แคบและจำกัด

ข้อเสียของลวด Steel Tubular

1. สิ้นเปลืองลวด 1เส้นใช้เวลาในการลูกไหม้ 1นาที
2. การรักษาระยะอาร์คกระทำได้ยาก
3. ต้องการเครื่องเชื่อมที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 400 Amp
4. เมื่อทำการตัดเป็นเวลานานๆหัวตัดอาจชำรุดได้ง่ายกว่าลวดชนิด Exothermic เพราะต้องใช้ค่ากระแสไฟฟ้าสูง



2. การตัดโลหะแบบร้อนด้วยวิธี Exothermic cutting

Exothermic cutting การตัดด้วยวิธีนี้สามารถลวกไหม้ทะลุตัดผ่านได้ทุกสิ่งรวมถึงคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย วิธีการตัดง่ายสะดวกไม่ซับซ้อนและรวดเร็วแต่ต้องใช้ปริมาณออกซิเจนจำนวนมาก

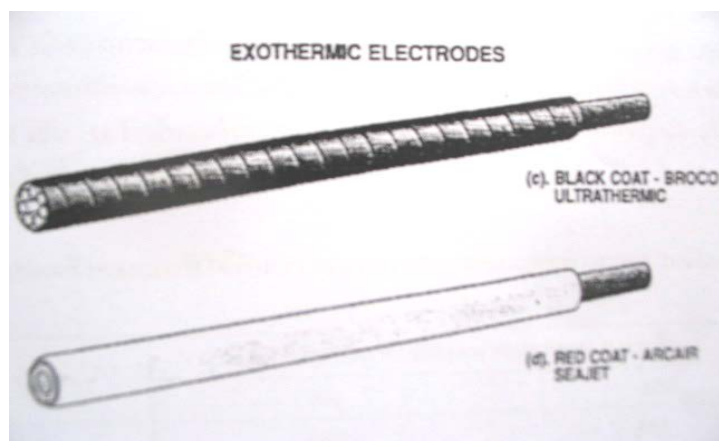
ชนิดของลวดตัด Exothermic cutting

1. ULTRATHERMIC ELECTRODES (BROCO) ลวดตัดชนิดนี้จะแตกต่างจาก Tubular steel ในเรื่องโครงสร้างภายใน ตัวลวดตัดประกอบด้วย ลวดเส้นเล็กๆ 7 เส้นอยู่ในท่อเหล็ก ในจำนวน 7 เส้นนี้มี 1 เส้นเป็นลวดที่มีคุณสมบัติพิเศษลวกติดไฟง่ายให้ความร้อนสูง เช่น Alloy ซึ่งจะลวกไหม้ทันทีที่เกิดประกายไฟจากการอาร์คและรวมปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดการลวกไหม้ขึ้นกับลวดตัดตลอดเวลาที่มีออกซิเจนไหลผ่านถึงแม้ว่าจะทำการตัดกระแสไฟหลังจากการอาร์คแล้วความร้อนที่ประมาณ 10,000 F มี 2 ขนาดคือ ขนาดความยาวประมาณ 46 ซม.(18 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มม. หรือ 3/8 นิ้ว และขนาด 46 ซม.เส้นผ่าศูนย์กลาง 6.3 มม.หรือ (1/4 นิ้ว)

ข้อเสียของวิธีการตัดแบบ Exothermic

- 1.1 ลื่นเปลืองออกซิเจนมากกว่าลวดชนิด Steel Tubular
- 1.2 เวลาการลวกไหม้สั้น ประมาณ 45 ถึง 55วินาที
- 1.3 .ลื่นเปลืองลวดขณะสัมผัสกับชิ้นงานเพราะไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าช่วยจุดเพิ่ม

รูปภาพแสดงลวดตัด EXOTHERMIC ELECTRODES



คุณสมบัติของลวดตัด ULTRATHERMIC ELECTRODES

1. วิธีการตัดง่ายสะดวกไม่ซับซ้อน
2. ปฏิกริยาการหลุ่ไหม้เกิดขึ้นจากการเริ่มอาร์คแล้วจะคงลุ่ไหม้อยู่ตลอดเวลาที่มีออกซิเจนไหลอยู่ถึงแม้ว่าจะตัดกระแสไฟแล้วก็ตาม ดังนั้นต้องหยุดออกซิเจนให้ทันอย่างรวดเร็วถ้าต้องการหยุดการหลุ่ไหม้ (หยุดการบีบลิ้นคั้นบังคับการไหลของออกซิเจน)
3. การตัดนี้กระทำได้รวดเร็วเท่ากับ Tubular steel
4. สามารถตัดได้ทั้งโลหะและอโลหะ
5. ต้องการกระแสไฟประมาณ 150แอมแปร์ ซึ่งสามารถใช้เครื่องกำเนิดไฟขนาดเล็กๆ น้ำหนักเบาที่บุคคลนำพาเพียงคนเดียวก็สามารถตัดได้ (เครื่องขนาดใหญ่ 400แอมแปร์ มีน้ำหนักประมาณ 500กก.)
6. ลวดตัดมีราคาแพงกว่าลวดทั่วไป
7. การหลุ่ไหม้ 1 เส้นใช้เวลาประมาณ 1 นาที

2. INDUSTRIAL THERMIC LANCES เป็นลวดตัดประเภท EXOTHERMIC ELECTRODES ลวดตัดชนิดนี้เป็นท่อเหล็กภายในบรรจุเส้นลวดเหล็ก ความยาว 3.5 เมตร (10.5ฟุต) เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มม.(3/8นิ้ว) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ความร้อนสูง สามารถตัดโลหะเหล็กและอโลหะ หิน คอนกรีต แต่อาจมีความเสี่ยงต่อการระเบิดเมื่อทำการตัดอโลหะเพราะมีความร้อนสูงซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติได้ เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งเดียวที่สามารถตัดคอนกรีตเสริมเหล็กได้ดีแต่มีความยุ่งยากในการจับถือเพราะมีความยาวและมีอัตราความแรงของออกซิเจนที่ไหลผ่านในท่อ ระยะเวลาการหลุ่ไหม้ 6 นาทีต่อ 1 เส้นลวด

3. KERIE CABLE (CLUCAS THERMIC – ARC) เป็นการพัฒนาลวดตัด THERMIC LANCE จากท่อแข็งเป็นเส้นลวดอ่อนสามารถโค้งงอให้ตัวได้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. (1/2 นิ้ว) ยาว 30 เมตร(100ฟุต) และขนาด 6 มม. (1/4 นิ้ว) ยาว 15เมตร (50 ฟุต) มีฉนวนพลาสติกหุ้มตลอดเส้นลวด สะดวกในการจับถือระยะเวลาการหลุ่ไหม้ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อเส้น ความเร็วเฉลี่ยของการหลุ่ไหม้ 27 เมตร (89ฟุต) ต่อชั่วโมงหรือ 0.5 เมตร(18นิ้ว)ต่อนาที กระแสไฟฟ้าใช้เฉพาะเริ่มการอาร์ค เมื่อลวดลุ่ไหม้ติดไฟแล้วสามารถตัดกระแสไฟ มีการพัฒนาคุณสมบัติความร้อนเหลือ 2700 °C เพื่อความปลอดภัยขณะทำการตัดอโลหะ รอยตัดขาดของชิ้นงานด้วยลวดตัดชนิดนี้จะได้รอยกว้างกว่าลวดตัดชนิดอื่นๆ การเลือกใช้ขนาดของลวดตัดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของโลหะชิ้นงานที่จะทำการตัด ลวดตัดขนาด 30 เมตร(100ฟุต)เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม.(1/2 นิ้ว)ถ้าต้องการเวลาของการหลุ่ไหม้อย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 45 นาทีจะต้องเพิ่มจำนวนออกซิเจน 3 ขวดที่ ความลึก 0 – 18 เมตร (0 – 60 ฟุต) และที่ความลึกทุกๆ 30 เมตร (100 ฟุต) จะเพิ่มอีกทีละ 3 ขวด การปรับแต่งกำลังดันออกซิเจนคำนวณตามความลึกจริงและต้องบวกเพิ่มอีก 1บรรยากาศ เช่นที่ความลึก 30 เมตร จะได้ออกซิเจนปริมาตร 240 ลูกบาศก์ฟุต (6,794 ลิตร) จำนวน 3 ขวด กำลังดันที่ใช้งาน 27 บาร์ + 4บาร์ (400psi + 59 psi)

คุณสมบัติของลวดตัด KERIE CABLE (CLUCAS THERMIC-ARC)

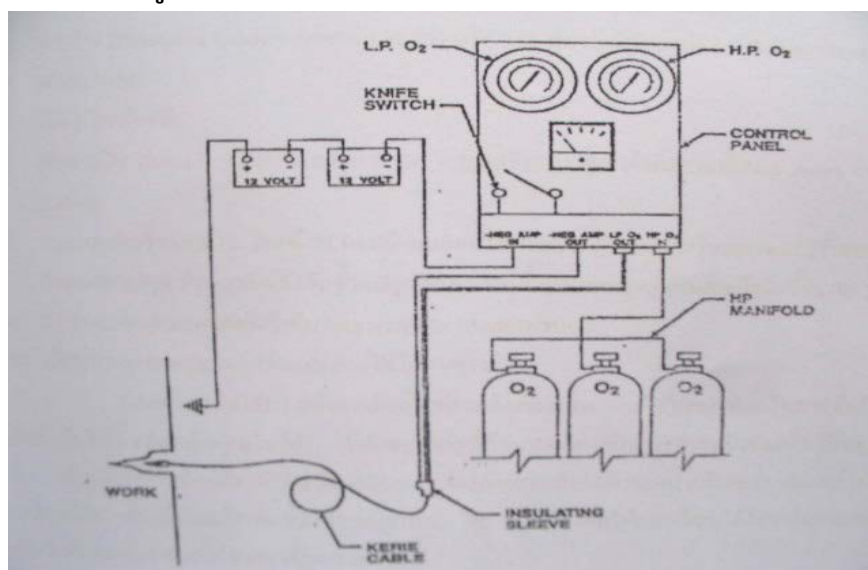
ข้อดี

1. วิธีการตัดง่ายสะดวกไม่ซับซ้อน
2. สามารถตัดเหล็กได้หลายขนาด
3. มีการลุกไหม้ที่ยาวนาน
4. หลังการลุกไหม้ไม่มีอันตรายจากกระแสไฟฟ้าเพราะสามารถตัดกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อเริ่มอาร์ค และลุกไหม้แล้ว
5. สามารถตัดบนบกได้
6. มีน้ำหนักเบา
7. ใช้แก๊สออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

ข้อเสีย

1. ต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมาก
2. ไม่สามารถตัดคอนกรีตเสริมเหล็กได้

รูปภาพแสดงการตัดแบบ KERIE CABLE CUTTING



ขั้นตอนการตัดแบบ Kerie cable (CLUCAS THERMIC - ARC)

1. เตรียมแผ่นโลหะสำหรับการเริ่มการอาร์ค (ขั้วบวก) ที่จุดปฏิบัติงานให้พร้อม สายลวดตัดควรจะปล่อยกำลังดันออกซิเจนให้เหนือกว่ากำลังดันของน้ำเล็กน้อยและส่งลงไปยังพื้นที่ผู้ปฏิบัติงาน
2. เมื่อสายลวดตัดถูกส่งลงมาถึงจุดที่ปฏิบัติงานให้ผู้ปฏิบัติงานแจ้งขอปรับกำลังดันออกซิเจนเพิ่มขึ้น คอยเวลาประมาณ 20 วินาทีเพื่อให้กำลังดันเพิ่มขึ้นเต็มที่ในสายลวดตัด
3. พี่เลี้ยงด้านบนทำการปรับแต่งกำลังดันออกซิเจนให้ถูกต้องเหมาะสมเหนือกำลังดันน้ำที่อยู่โดยรอบที่ความลึกนั้น เมื่อผู้ปฏิบัติงานสังเกตเห็นกำลังดันของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นแล้วโดยดูได้จากฟองอากาศพุ่งออกมามากขึ้นที่ปลายสายลวดตัด ผู้ปฏิบัติงานแจ้งขอกระแสไฟฟ้า ("switch on")

4. ผู้ควบคุมด้านบนปิดใบมีดต่อกระแสไฟฟ้าและแจ้งยืนยันถึงการต่อกระแสไฟให้ผู้ปฏิบัติงานด้านล่างทราบ ผู้ปฏิบัติงานนำปลายลวดตัดไปขีดไฟเริ่มการอาร์คที่แผ่นโลหะสำหรับเริ่มอาร์ค (ชุดควบคุมcontrol panel สังเกตที่เข็มของ Amp meter จะแสดงขึ้นและตกลงไปอยู่ที่ 0 เมื่อเกิดการลุกไหม้สมบูรณ์แล้ว)
5. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำแจ้งยืนยันให้พี่เลี้ยงด้านบนทราบว่าเกิดการลุกไหม้ไฟติดแล้ว “I have ignition” ผู้ควบคุมด้านบนเปิดใบมีดตัดกระแสไฟฟ้า
6. การตัดจะเริ่มขึ้นเมื่อนำปลายลวดตัดที่เกิดการลุกไหม้ติดไฟแล้วไปแตะกับชิ้นงาน รักษาการแตะสัมผัสและมุมมองของปลายลวดตัดให้ถูกต้องอยู่เสมอ
7. การหยุดตัดให้แจ้งปิดออกซิเจน “gas off” แต่ยังคงแตะสัมผัสปลายลวดตัดกับชิ้นงานอยู่เพื่อป้องกันพลาสติกที่เคลือบเส้นลวดไม่ให้หลุดออกและสามารถอาร์คติดไฟใหม่ได้ติดตั้งเดิม
8. กรณีฉุกเฉิน การหยุดการลุกไหม้สามารถกระทำได้โดยหมุนสวิทช์ระบายไปตำแหน่ง “vent” เพื่อระบายออกซิเจนออก กำลังดันออกซิเจนในสายลวดตัดจะค่อยๆลดลงจนหมดทำให้การลุกไหม้หยุดลงแต่จะมีผลต่อการเริ่มอาร์คในน้ำครั้งใหม่กระทำได้ยากกว่าเดิมเพราะเปลวไฟก่อนที่จะหยุดการลุกไหม้จะค่อยๆลุกไหม้พลาสติกที่เคลือบปลายลวดเสียหายไป

กฎความปลอดภัยการตัดแบบ Kerie cable cutting

1. ใช้ชุดต่อฟ่วงออกซิเจนความยาว 10 ฟุต ชนิดพิเศษที่ออกแบบไว้เฉพาะ เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าย้อนกลับไปยังโลหะเหล็กของขวดออกซิเจนเท่านั้น ห้ามนำข้อต่อฟวงชนิดอื่นมาใช้ต่อฟวงขวดออกซิเจน
2. ก่อนเริ่มทำการตัดผู้ควบคุมระบบการตัดต้องทำการทดลองระบบ “Emergency off” ให้มั่นใจว่าสามารถใช้ได้และทุกคนต้องเข้าใจขั้นตอนการปฏิบัติเป็นอย่างดี
3. ผู้ควบคุมระบบการตัดต้องประจำอยู่กับชุดควบคุมการตัดตลอดเวลาขณะทำการตัดใต้น้ำ
4. ผู้ควบคุมระบบการตัดต้องมั่นใจว่าผู้ปฏิบัติการตัดใต้น้ำมีกำลังดันของออกซิเจนเหนือกำลังดันโดยรอบที่ความลึกนั้นถูกต้องและเพียงพอตลอดเวลาการตัด
5. การปฏิบัติขั้นฉุกเฉินผู้ปฏิบัติงานตัดใต้น้ำต้องแจ้งพี่เลี้ยงด้านบนให้ตัดกระแสไฟฟ้า “Emergency off” ผู้ควบคุมระบบที่อยู่กับชุดควบคุมให้หมุนสวิทช์ไปยังตำแหน่ง Vent ทันที
6. การปฏิบัติการตัดต้องหยุดทันทีถ้าไม่สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ปฏิบัติการใต้น้ำและผู้ควบคุมด้านบนได้ด้วยเหตุใดก็ตามจนกว่าการติดต่อสื่อสารสามารถติดต่อกันได้อีก
7. ผู้ปฏิบัติงานตัดใต้น้ำต้องไม่กระแทกหรือดันลวดตัดเข้าไปในเนื้อโลหะเพราะอาจทำให้เกิดการระเบิดได้ (blow-back)
8. ผู้ปฏิบัติงานตัดใต้น้ำต้องระวังระยะห่างของมือให้ห่างจากปลายลวดตัดอย่างน้อย 15 ซม. (6 นิ้ว)

การตัดแบบ Kerie cable Exothermic arc cutting อุปกรณ์เบื้องต้นมี ดังนี้

1. ชุดออกซิเจน 3 ขวดหรือมากกว่า
2. ชุดข้อต่อฟางขวดออกซิเจน
3. ชุดควบคุม(Control panel/unit)
4. ลวดตัด
 - 4.1 ลวดตัด Kerie cable ขนาด 12 มม. ความยาว 30 เมตร
 - 4.2 ลวดตัด Kerie cable ขนาด 6 มม. ความยาว 15 เมตร
 - 4.3 ลวดตัด Thermic lances ความยาว 3.5 เมตร
5. ชุดข้อต่อหน้าขยายสำหรับลวดความยาว 30 เมตร
6. แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 1 หรือ 2 ลูก
7. สายไฟอ่อนสำหรับเริ่มการอาร์ค
8. คีมขนาดใหญ่สำหรับตัดลวดตัด
9. ถุงมือยางป้องกันกระแสไฟฟ้าและถุงมือหนังป้องกันสะเก็ดลูกไฟชนิดยาว

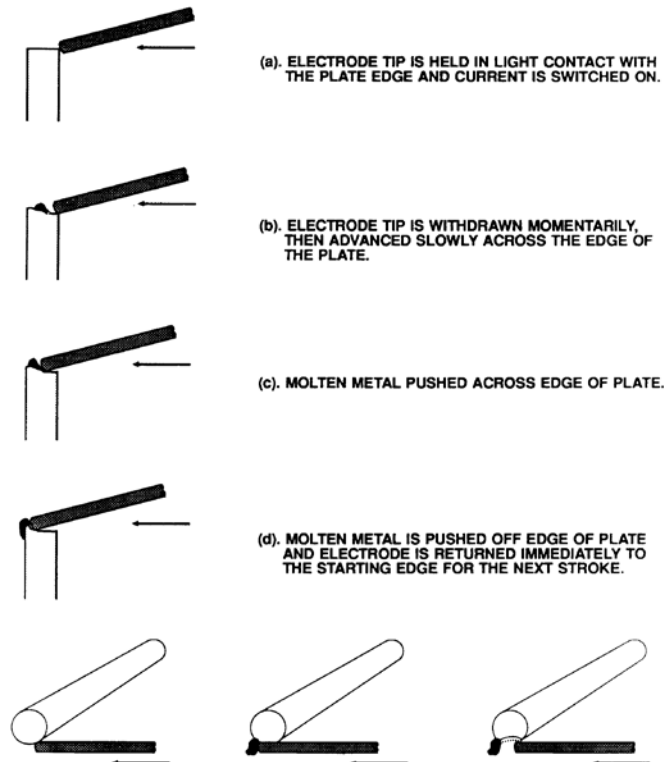
กฎความปลอดภัยในการตัดด้วยระบบ OXY-ARC AND EXOTHERMIC CUTTING

1. ต้องแน่ใจว่าเป็นการเลือกวิธีการตัดที่ดีที่สุด ความร้อนสูงที่เกิดจากการตัดโลหะอาจทำให้เกิดอันตรายได้ การใช้วัตถุระเบิดหรือการตัดแบบเย็นเป็นอีกวิธีที่อาจนำมาใช้ได้
2. สถานที่การดำเนินงานและบริเวณโดยรอบพื้นที่จะทำการตัดจะต้องไม่มีวัสดุติดไฟง่ายหรือเกิดการระเบิดขึ้นได้
3. ต้องแน่ใจว่าระบบของกระแสไฟฟ้าที่ต่อไว้นั้นถูกต้องปลอดภัยก่อนเริ่มการตัดเครื่อง
4. ต้องแน่ใจว่าระบบสายไฟและชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่ต่อไว้นั้นกระแสไฟไม่รั่วสามารถใช้งานได้ดี
5. เครื่องกำเนิดไฟต้องมีการต่อสายกราวด์เข้ากับตัวเครื่องไว้พร้อมแล้วก่อนทำการเริ่มตัดเครื่อง
6. สวิตช์เบรคต้องมีควมมั่นคงพอไม่มีอุบัติเหตุของเบรคตกลงต่อหรือตัดกระแสไฟได้เองเมื่อมีการสั้นสะเทือนและติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเหมาะสม
7. สวิตช์เบรคต้องอยู่ในตำแหน่งเปิดหรือตัดกระแสไฟตลอดเวลา ยกเว้นเมื่อมีการแจ้งจากผู้ปฏิบัติงานตัดได้นำถึงการต่อกระแสไฟ(ปิดวงจร)
8. ไม่ต่อกระแสไฟลงมายังผู้ปฏิบัติงานได้น้ำยกเว้นผู้ปฏิบัติงานต้องการจะตัดชิ้นงานและหัวตัดอยู่ในตำแหน่งพร้อมที่จะทำการตัดแล้วจริงๆ
9. ก่อนที่จะส่งหัวตัดลงไปยังจุดทำงาน สามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องของขั้วและกระแสไฟว่าถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่ กระทำได้โดยนำหัวตัดที่ประกอบลวดตัดแล้วและปลายขั้วบวกของสายกราวด์จุ่มลงในน้ำทะเลแล้วทำการต่อกระแสไฟฟ้าจะสังเกตเห็นฟองอากาศเล็กๆเกิดขึ้นที่ปลายลวดตัดแสดงว่าเป็นขั้วลบถูกต้อง
10. ผู้ปฏิบัติการได้น้ำต้องสวมชุดป้องกันร่างกายและการสั่งการติดต่อสื่อสารการปฏิบัติจะต้องชัดเจนเข้าใจง่าย
11. การตัดได้น้ำผู้ปฏิบัติการได้น้ำต้องใช้ชุดอุปกรณ์ดำน้ำแบบครอบเต็มศีรษะเพื่อความแข็งแรงปลอดภัย
12. ผู้ปฏิบัติงานได้น้ำต้องใช้แผ่นกรองแสงป้องกันนัยน์ตาที่มีความเข้มถูกต้องเหมาะสมติดตั้งที่หน้ากากหัวครอบดำน้ำ

13. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องสวมถุงมือยางป้องกันกระแสไฟและถุงมือหนังป้องกันสะเก็ดลูกไฟที่เกิดจากการตัดได้
14. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องไม่ถือหัวตัดและซี่เข้าหาตัวผู้ปฏิบัติงานเอง
15. ผู้ปฏิบัติการใต้น้ำขณะปฏิบัติงานจะต้องรู้ว่าสายกรวดอยู่ตำแหน่งใดเพื่อไม่ให้ร่างกายอยู่ระหว่างกรวดและหัวตัดเพราะเมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยร่างกายอาจสัมผัสแต่ละและเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าได้
16. ขณะทำการตัดผู้ปฏิบัติงานตัดควรจัดร่างกายให้อยู่ด้านข้างของรอยตัดไม่ควรอยู่ด้านหน้าของรอยตัดเพื่อหลบสะเก็ดลูกไฟที่กระเด็นออกมา(blow backs)
17. มือของผู้ปฏิบัติงานตัดต้องอยู่ห่างจากปลายลวดตัดอย่างน้อย 10 ซม.(4นิ้ว)
18. ต้องเปลี่ยนแผ่นยางรองป้องกันออกซิเจนรั่วในหัวตัดจุดที่สัมผัสกับท้ายลวดตัด
19. ผู้ปฏิบัติงานตัดต้องไม่ทำการตัดเข้าไปในห้องหรือถังโดยที่ไม่ทราบว่ามีอะไรภายในห้องหรือถังเป็นสิ่งใดนอกจากว่ามีป้ายแจ้งบอกว่าไม่มีสารลุกไหม้ติดไฟได้ง่ายหรือสามารถเกิดการระเบิดขึ้นได้
20. ระเบิดระวางและต้องทำการระบายแก๊สที่สะสมตัวออกจากพื้นที่การตัดที่เป็นพื้นที่ปิดหรือห้องปิดระหว่างทำการตัดเพราะอาจทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้
21. ผู้ปฏิบัติงานตัดต้องระมัดระวังชิ้นงานที่ถูกตัดขาดตกทับตัวและชุดสายอากาศของอุปกรณ์ดำน้ำ กระทำการตัดด้วยความระมัดระวังป้องกันสะเก็ดลูกไฟและโลหะหลอมละลายตกลงใส่ตัวผู้ปฏิบัติงาน
22. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องอยู่ไกลกับสายอากาศ สายไฟกรวด สายหัวตัดสายออกซิเจนและระเบิดระวางให้ออกห่างจากพื้นที่การตัด
23. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องไม่นำหัวตัดมาทำการซ่อมในกระเช้าเอง ต้องนำขึ้นไปให้ผู้ควบคุมด้านบนซ่อมทำ
24. ไม่ทำการส่งหัวตัดจากใต้น้ำขึ้นสู่วิวพื้นน้ำโดยปราศจากการตัดระบบไฟฟ้า
25. ผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำต้องไม่ดำขึ้นในขณะที่กระแสไฟยังคงต่ออยู่ (วงจรถัด)

3. การตัดโลหะแบบร้อนด้วยวิธี Shielded Metal Arc (SMA), Manual Metal Arc (MMA)

SMA เป็นการตัดโลหะอย่างง่าย ๆ โดยใช้ลวดเชื่อมใต้น้ำธรรมดาขนาดใหญ่มีการปรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนให้สูงมากพอที่จะทำให้การอาร์คหลอมละลายออกจากกันโดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนแต่จะต้องมีการต่อกระแสไฟตลอดเวลาการตัด สามารถตัดโลหะเหล็กและไม่ใช่เหล็กได้ขณะทำการตัดต้องมีการดันลวดตัดเข้าและออกซ้ำ ๆ กันหลายๆครั้งเพื่อไล่โลหะที่หลอมละลายให้หลุดออกจากรอยตัด



คุณสมบัติของลวดมีดังนี้

ข้อดี

1. สามารถตัดเหล็กที่เป็นสนิม เหล็กที่เกิดปฏิกิริยาออกซิไดซ์ยากและโลหะได้
2. สามารถตัดได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน

ข้อเสีย

ต้องการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงมาก

4. การตัดโลหะแบบร้อนด้วยวิธี ARCWATER CUTTING

เป็นวิธีการตัดที่ต้องนำมาใช้ในสภาวะการที่ไม่ปกติซึ่งไม่สามารถทำการตัดด้วยวิธีอื่นได้ วิธีการตัดนี้จะใช้ในกรณีที่ถูกฉนวนจำเป็นและเป็นการตัดในสภาวะการพิเศษ เช่นการตัดตู้เรือหรือเรือดำน้ำถ้าทำการตัดด้วยออกซิเจนอาร์คแล้วจะมีกำลังลอยทำให้ได้รับอันตรายหรือเกิดความเสียหายขึ้นได้ การตัดนี้จะใช้ความร้อนจากการอาร์คจนโลหะหลอมละลายเป็นหลักและใช้กำลังดันน้ำฉีดโลหะที่หลอมละลายออกจากแนวตัดดังนั้นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะต้องผลิตค่ากระแสไฟฟ้าได้สูงอาจถึง 500 Amps เป็นการตัดแบบเจาะร่องหรือตัดโลหะบางๆได้ดี ลวดตัดที่ใช้เป็นแกรไฟท์หรือทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/16 นิ้ว ความยาว 9 นิ้ว ที่ตำแหน่งปลายตัวจับลวดตัดจะมีรูสำหรับให้น้ำฉีดออกมาด้านใต้ลวดตัด

คุณลักษณะและประโยชน์

1. ต้องใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูง DC 60 V, 350-500 Amps
2. ต่อระบบไฟฟ้าแบบกลับขั้ว DCRP โดยให้หัวตัดต่อที่ขั้วบวก
3. น้ำ ใช้ได้ทั้งน้ำทะเลและน้ำจืด อัตราการไหล 3.5 แกลลอนต่อนาที กำลังดัน 90 psi เหนือกำลังดัน โดยรอบที่ความลึกปฏิบัติงานสามารถใช้เครื่องสูบน้ำดับเพลิงสร้างกำลังดันน้ำได้
4. ต้องใช้หัวตัดที่ออกแบบมาพิเศษสำหรับการตัดแบบ Arcwater เท่านั้น
ใช้ตัดโลหะได้ทุกชนิดควรใช้มุมตัด 75 องศา หยุดตัดเมื่อลวดตัดสั้นเหลือ 1.5 นิ้ว
5. ใช้ตัดเซาะร่องหรือเราะแนวเชื่อมเก่าออกได้ดี ตัดเดินหน้ามุมเซาะร่อง 40 องศาไม่ควรตัดลึกกว่า 1/4 นิ้วในแต่ละครั้งที่ทำการเซาะร่อง
6. สามารถใช้ในภารกิจหลักคือการตัดได้เหมือนวิธีการตัดชนิดอื่นๆ

*การตัดโลหะที่มีความหนามากๆ ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการฝึกฝนที่ชำนาญพอ

รูปภาพแสดงหัวตัดแบบ Arcwater cutting



5. การตัดโลหะแบบร้อนด้วยวิธี Gas cutting (Oxy - hydrogen torch)

การตัดด้วยแก๊สจะสิ้นเปลืองออกซิเจนและไฮโดรเจนมากกว่าการตัดด้วยไฟฟ้า ความร้อนที่ได้เกิดจากการเผาไหม้ของออกซิเจนและไฮโดรเจน การตัดด้วยออกซิเจนและไฮโดรเจนนี้จะนิยมใช้มากกว่าการตัดด้วยวิธีออกซิเจนและเอเซทีลีน การตัดด้วยออกซิเจนและเอเซทีลีนไม่เหมาะสมในการใช้ตัดใต้น้ำที่ความลึกมากๆ (ความลึกน้ำมากกว่า 7.5 เมตรหรือ 25 ฟุต) เพราะในเขตที่บรรจุเอเซทีลีนจะมีสารเอซีโตนดูดซับเอเซทีลีนไว้ การตัดด้วยหัวตัดแก๊สที่บริเวณปลายหัวตัดโดยรอบเปลวไฟจะมีการปล่อยกำลังดันอากาศครอบคลุมเปลวไฟไว้เพื่อแยกกำลังดันน้ำที่มากระทำต่อเปลวไฟและความร้อนของโลหะชิ้นงานที่จะทำการตัด การจุดไฟและปรับแต่งเปลวไฟเพื่อให้ได้ความร้อนตามต้องการทำได้ทั้งปรับแต่งให้พอดีก่อนส่งลงไปยังผู้ปฏิบัติงานใต้น้ำด้านล่างหรือทำการจุดไฟและปรับแต่งใต้น้ำโดยใช้เครื่องจุดไฟใต้น้ำ โดยเฉพาะ การตัดใต้น้ำด้วยแก๊สเหมาะสมสำหรับตัดโลหะที่เป็นเหล็ก เพราะเหล็กมีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้ช้ากว่าโลหะประเภทอื่นๆ เหล็กหล่อที่ไม่ใช่เหล็กหล่อเหนียวไม่สามารถตัดด้วยหัวตัดแก๊สใต้น้ำได้เนื่องจากเนื้อเหล็กหล่อดังกล่าวเป็นเม็ดมีช่องว่างของอากาศ ออกซิเจนไม่สามารถทำปฏิกิริยา Oxidation ได้อย่างต่อเนื่องตลอดเนื้อโลหะนั้น

แก๊สที่สามารถใช้สำหรับการตัดใต้น้ำ

1. Oxy - Hydrogen

สามารถอัดกำลังต้นบรรจุได้สูงจึงสามารถนำไปใช้กับความลึกใต้น้ำมากๆได้

2. Oxy - Acetylene

จำกัดกำลังต้นใช้งานได้ไม่เกิน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วจึงมีขีดจำกัดการใช้งานใต้น้ำที่ความลึกไม่เกิน 25 ฟุตเท่านั้น

3. Oxy - L.P.G. (Liquefied Petroleum Gas)

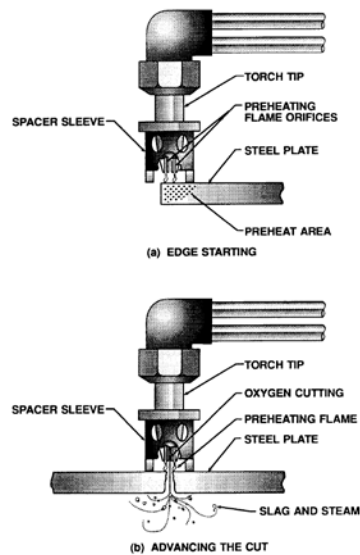
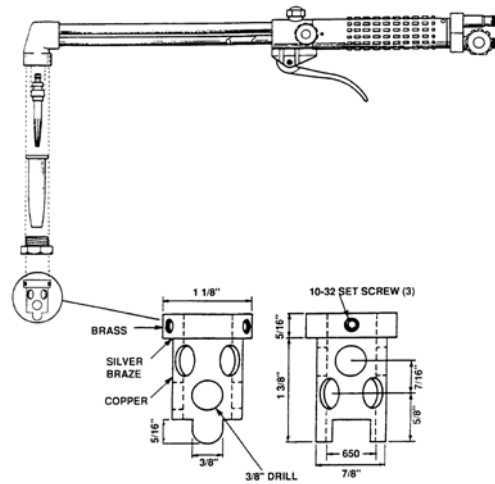
มีราคาถูกหาง่ายใช้กับความลึกใต้น้ำได้ประมาณ 150 ฟุต ข้อเสียหนักกว่าอากาศจะเกิดอันตรายมากถ้าใช้ในพื้นที่ยับอากาศหรือบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้ไม่ดีเท่าที่ควร

4. Oxy - MAPP (Methyl Acetylene Propidene) ใช้ในกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา

การตัดแบบ Oxy-hydrogen cutting อุปกรณ์เบื้องต้นมี ดังนี้

1. ชุดออกซิเจน
2. ข้อต่อพ่วงชุดออกซิเจน
3. อุปกรณ์ปรับแต่งกำลังต้นออกซิเจน
4. ชุดไฮโดรเจน
5. ข้อต่อพ่วงชุดไฮโดรเจน
6. อุปกรณ์ปรับแต่งกำลังต้นไฮโดรเจน
7. เครื่องอัดกำลังต้นอากาศ
8. อุปกรณ์ปรับแต่งกำลังต้นอากาศ
9. อุปกรณ์จุดติดไฟ
10. หัวตัดแก๊สใต้น้ำ
11. สายออกซิเจนความยาว 30 เมตร(100 ฟุต)
12. สายไฮโดรเจนความยาว 30 เมตร(100 ฟุต)
13. สายอากาศความยาว 30 เมตร(100 ฟุต)
14. ประแจปากตาย
15. อุปกรณ์ขัดทำความสะอาด

รูปภาพแสดงหัวตัดแก๊สใต้น้ำ



ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการเลือกวิธีการตัด

- 1.ความเหมาะสมกับพื้นที่ปฏิบัติงาน
- 2.ความเหมาะสมกับอุปกรณ์
- 3.ขนาดและน้ำหนักเหมาะสมกับภารกิจ
- 4.ความชำนาญการฝึกฝนและประสบการณ์ในการทำงาน

เอกสารอ้างอิง

- 1.The Professional Diver's HANDBOOK by Submex Limited
- 2.U.S.NAVY UNDERWATER CUTTING&WELDING MANUAL 1 APRIL 1989