



การศึกษาการเชื่อมอาร์คพลาสมาสำหรับ
ระบบท่อทางในเรือ: การทบทวนวรรณกรรมและการสังเคราะห์งานวิจัย
Study of Plasma Arc Welding for Ship Piping Systems: Literature Review and
Synthesis of Research

สุเมธ หนูฉิม¹, กัณวริช พลุปราษณ์² และ ประยูร สุรินทร์^{3*}

¹ 2 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

³ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

* sumeth@ritta.co.th , pganwarich@yahoo.com , prayoon99@gmail.com

บทคัดย่อ

ระบบท่อทางในเรือ นั้นจัดเป็นระบบที่มีความสำคัญมากในการลำเลียงและขนถ่ายของไหลจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางที่ต้องการ ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับการประกอบเชื่อมติดตั้งระบบท่อทางในเรือ นั้นมีตั้งแต่การเตรียมส่วนชิ้นงานก่อนเชื่อมจนไปถึงคุณภาพของการประกอบเชื่อมในระยะเวลาที่กำหนดในแผนงานและปัญหาด้านอื่นๆ ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนวรรณกรรมและการสังเคราะห์งานวิจัยโดยศึกษาการนำกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding; PAW) มาทดแทนกระบวนการเชื่อมแบบดั้งเดิมที่นิยมใช้กันในปัจจุบันกันอย่างแพร่หลายเช่น กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding; SMAW), กระบวนการเชื่อมมิคซ์ (Gas Metal Arc Welding; MIG) เป็นต้น และเป็นการเสนอแนวทางสำหรับการนำกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมามาใช้เชื่อมประกอบท่อเรือ โดยการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมพลาสมา เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณานำมาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับงานเชื่อมระบบท่อทางในเรือสำหรับอุตสาหกรรมการต่อเรือและซ่อมเรือในอนาคตต่อไป

คำหลัก : กระบวนการเชื่อม, การเชื่อมอาร์คพลาสมา, ระบบท่อทางในเรือ

Abstract

The ship piping system is a very important for conveying and discharging fluid from the beginning to the desired destination. The problems that often arise with the installation of a piping system in a ship are from pre-fabrication of the work piece to the quality of welding in the timeframe specified and other problems. Therefore, this article aims to review the literature and synthesis of research by studying the application of Plasma Arc Welding (PAW) to replace the traditional welding process commonly used today such as The process of Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Metal

Arc Welding (MIG). And offers a guideline for the application of plasma arc welding to The ship piping system. Especially studies of various research related to plasma arc welding process. This information is considered as a guideline for the application of ship piping for the shipbuilding and repair industry in the future.

Keywords : Welding Process, Plasma Arc Welding, Ship Piping Systems,

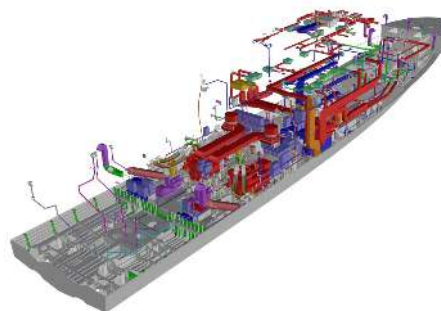
1. บทนำ

เรือเดินทะเล (Ship) ดังแสดงในรูปที่ 1 นั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญคือโครงสร้างและตัวเรือ (Hull Structure) และส่วนประกอบสำคัญรองลงมา นั้น นอกจากโครงสร้างตัวเรือแล้วยังมีระบบท่อทางเรือ (Ship Piping Systems) และเครื่องจักรอุปกรณ์ (Machinery & Equipment) ซึ่งก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน



รูปที่ 1 เรือเดินทะเล (Ship) [20]

กิตติพงษ์, กานต์(2556)ได้กล่าวว่าระบบท่อทางในเรือ (Ship Piping Systems) ดังแสดงในรูปที่ 2 ถือเป็นระบบที่มีความสำคัญมาก ระบบหนึ่งมันเป็นเสมือนคนงานที่ทำงานอยู่เบื้องหลัง ลำเลียงของไหลต่างๆภายในเรือไปยังพื้นที่ที่ต้องการและยังเป็นเครื่องมือที่ซึ่งระบบควบคุมหลายระบบในเรือต้องพึ่งพา ท่อทางจะถูกวางอยู่ในพื้นที่ต่างๆเกือบทั้งหมดภายในเรือทั้งพื้นที่เปิดและปิด (Open and Enclosed Spaces) เหนือเส้นแนวน้ำและใต้เส้นแนวน้ำ ดังนั้นจึงไม่มีระบบไหนในเรือที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดทั้งไฟไหม้มลพิษและการท่วมขังในเรือหรือแม้กระทั่งทำให้เรือจมได้เท่ากับระบบท่อทาง



รูปที่ 2 ระบบท่อทางเรือ (Ship Piping Systems) [21]

ท่อทางในเรือดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3 โดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบและสร้างด้วยโลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metals : โลหะที่มีเหล็กเป็นโลหะพื้นฐาน (Base Metal) และธาตุอื่นๆ ผสมอยู่ตามชนิดของเหล็ก) และส่วนน้อยเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non - Ferrous Metals : โลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กเป็นโลหะพื้นฐาน) ระบบท่อทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเช่น ระบบน้ำทะเล, ระบบน้ำจืด, ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง, ระบบน้ำมันหล่อลื่น, ระบบท่อน้ำเสียและท่อน้ำทิ้งเรือ ระบบลม เป็นต้น [1]



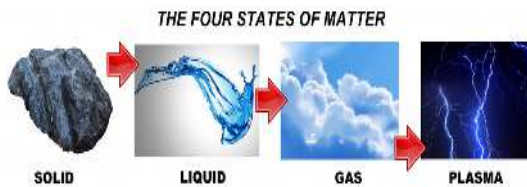
รูปที่ 3 ตัวอย่างท่อทางในเรือ [22]

การประกอบติดตั้งระบบท่อทางนั้นจะต้องกระทำโดยกรรมวิธีการเชื่อมประสาน (Welding and Joining)

ทั้งการเตรียมส่วนประกอบชิ้นงานในโรงงานประกอบ และการติดตั้งที่ตัวเรือ (Prefabricated Parts and Installation)

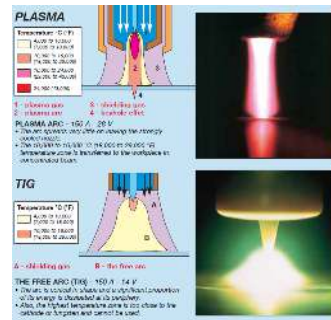
2. ทฤษฎีพลาสมาและการเชื่อมอาร์คพลาสมา

[6] พลาสมา (Plasma) คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน ซึ่งถือว่าเป็นสถานะหนึ่งของสสาร มีค่าพลังงานน้อยกว่า 10 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (< 10 keV) พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุทั้งประจุบวกและลบในสัดส่วนที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ การอยู่ร่วมกันของอนุภาคเหล่านี้เป็นแบบประหนึ่งเป็นกลาง (Quasi neutral) ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนและไอออนในบริเวณนั้นโดยรวมแล้วมีจำนวนเท่าๆ กัน และแสดงพฤติกรรมร่วม (Collective behavior) พลาสมาสามารถเกิดได้โดยการให้สนามไฟฟ้าปริมาณมากแก่ก๊าซที่เป็นกลาง เมื่อพลังงานส่งผ่านไปยังอิเล็กตรอนอิสระมากพอจะทำให้ไอเล็กตรอนอิสระชนกับอะตอม และทำให้ไอเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากซึ่งจะทำให้ก๊าซแตกตัวและกลายเป็นพลาสมาในที่สุด พลาสมาจัดได้ว่าเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร(รูปที่ 4) พลาสมามีความแตกต่างจากสถานะของแข็ง สถานะของเหลว และสถานะก๊าซ โดยมีเงื่อนไข 3 ประการคือ ความยาวคลื่นเดอบาย จำนวนอนุภาค และความถี่พลาสมา ซึ่งทำให้พลาสมามีความจำเพาะเจาะจงที่แตกต่างจากสถานะอื่นๆ[2]



รูปที่4 แสดงการเกิดสถานะพลาสมา [23]

การเชื่อมอาร์คพลาสมา (PAW) ได้รับการปรับแต่งมาจากการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซปกคลุม (GTAW) กระบวนการนี้ใช้อาร์คที่ถูกจำกัดโดยบีบให้ผ่านรูเปิดทองแดงเพื่อสร้างอาร์คที่ยาวกว่าบางกว่าและโฟกัสมากกว่าที่ได้จากกระบวนการ GTAW (รูปที่ 5) กระบวนการจำกัดนี้ช่วยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของอาร์คและจำนวนการเกิดไอออนเป็น อย่างมาก และนอกจากเพิ่มอุณหภูมิอาร์คแล้ว พื้นที่ที่ร้อนที่สุดของพลาสมาจะขยายออกไปนอกรูเปิดลงไปยังพื้นผิวของชิ้นงาน ผลลัพธ์โดยรวมคือได้แหล่งความร้อนที่มีจุดรวมมากขึ้น อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนอย่างมาก ทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น และเมื่อเชื่อมด้วยมือจำเป็นต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะสูง [3]



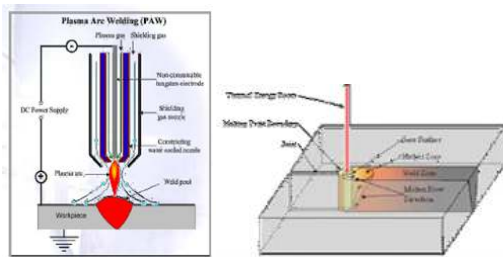
รูปที่5 การเชื่อมอาร์คพลาสมากับการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนก๊าซคลุม [24]

พลังงานที่เกิดจากพลาสมาจะมีความร้อนสูงมากสามารถหลอมละลายโลหะได้ตั้งรูปตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 การอาร์คของพลาสมาเกิดได้จากการอาร์คของไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดที่ทำจากลวดทั้งสแตนเป็นขั้วลบ (negative polarity) และชิ้นงานเป็นขั้วบวก (positive polarity) ในขณะนั้นก็จะให้ก๊าซตัวกลางวิ่งผ่านกระแสไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างการอาร์คเมื่อก๊าซตัวกลางได้รับพลังงานและความร้อนจะทำให้โมเลกุลของก๊าซตัวกลางบางตัวแยกตัวออกและเกิดการแตกตัวออกเป็นไอออนจึงทำให้เกิดอาร์คพลาสมาออกมาและอาร์คพลาสมา นี้ก็จะถูกบังคับให้ไหลผ่าน นอช เซล

(constricted arc) ทำให้อาร์คพลาสมาหลายมาเป็น อาร์คพลาสมาซึ่งมีอุณหภูมิและความเร็วสูงใช้ก๊าซคลุม แนวเชื่อมเป็นก๊าซเฉื่อยเช่น อาร์กอน ฮีเลียม หรือก๊าซ ผสมระหว่าง อาร์กอน กับ ฮีเลียม [3]

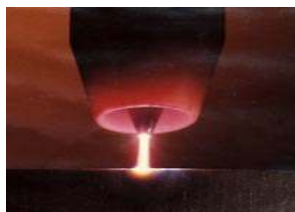


รูปที่6 การเชื่อมด้วยการอาร์คพลาสมา PAW [24]



รูปที่7 แสดงการเชื่อมอาร์คพลาสมา PAW [24]

ความร้อนจากเปลวอาร์คพลาสมาจะถูกบังคับ ให้เคลื่อนที่ผ่านนอซเซิล (Constricted Arc) จากแท่ง อิเล็กโทรดทั้งสแตนไปยังชิ้นงาน (Transferred Arc) หรือ ระหว่างแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนรูปร่างเปลวอาร์ค [4] ดัง แสดงในรูปที่ 8



รูปที่8 รูปแสดงการอาร์คพลาสมา [25]

3. การเชื่อมประกอบติดตั้งระบบท่อทางเรือในปัจจุบัน

การประกอบเชื่อมติดตั้งท่อส่งทางทะเลและ ระบบท่อทางเรือเดินทะเลเป็นสาขาวิศวกรรมที่ค่อนข้าง ใหม่มีการพัฒนาในช่วงห้าทศวรรษที่ผ่านมา [5] โดย ระบบท่อทางนั้นได้รับการออกแบบทั้งการกำหนดวัสดุ

และกระบวนการเชื่อมประกอบตามมาตรฐานที่ออกโดย หน่วยงานรับรองต่างๆทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น ABS BV DNV และ GL เป็นต้น

1.1 การเชื่อมต่อท่อแนวเส้นรอบวง (Girth welding)

การเชื่อมต่อท่อโดยการเชื่อมต่อเส้นรอบวง ประกอบด้วยการเชื่อมที่มีแนวเชื่อมรอบวงท่อเชื่อม ดัง แสดงในรูปที่ 9 กระบวนการเชื่อมต่อทางเรือและท่อทาง ทะเลที่เคยใช้และที่นิยมใช้ในปัจจุบันเช่น [5]

- การเชื่อมด้วยการเสียดทาน friction welding;
- การเชื่อมอัดระเบิด explosion welding;
- การเชื่อมแบบลำแสงอิเล็กตรอน electron beam welding;
- การเชื่อมเลเซอร์ laser welding;
- กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ submerged arc welding (SAW)
- การเชื่อมอาร์คโลหะก๊าซปกคลุม Gas Metal Arc Welding (GMAW)
- การเชื่อมอาร์คลวดหุ้มฟลักซ์ Shielded metal arc welding (SMAW)



รูปที่9 รูปแสดงการเชื่อมที่มีแนวเชื่อมรอบวงท่อ [26]

การเชื่อมต่อโลหะนั้นต้องมีมาตรฐานควบคุม มาตรฐานโดยส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กันเช่น API 1104, HS4515, BS 7910, CSA Z184 เป็นต้น โดยมาตรฐาน เหล่านี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อการเชื่อมทุกรูปแบบรวมถึง การทดสอบแบบทำลาย(DT) และการทดสอบแบบไม่ ทำลาย(NDT) สำหรับเกณฑ์การทดสอบและการยอมรับ ตัวอย่างเช่น API 1 104 เป็นเกณฑ์การยอมรับสำหรับ

มาตรฐาน API เป็นต้น [5] โดยส่วนใหญ่ แล้วในอุตสาหกรรมต่อเรือที่มีมาตรฐานจะต้องมีการกำหนดเกณฑ์การยอมรับสำหรับมาตรฐานในด้านการต่อเรือ การเดินระบบท่อทางในเรือ การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ในเรือ จัดเป็นมาตรฐานของ สถาบันชั้นเรือ (Classification Societies) โดยมาตรฐานสถาบันชั้นเรือที่เป็นที่นิยมกันเช่น American Bureau of Shipping (ABS) ประเทศสหรัฐอเมริกา, Bureau Veritas (BV) ประเทศฝรั่งเศส, Det Norske Veritas Classification A.S.(DNV) ประเทศนอร์เวย์, Garmanischer Lloyd (GL) ประเทศเยอรมนี [6] เป็นต้น

กระบวนการเชื่อมมาตรฐานมีหลากหลาย กระบวนการที่เป็นทางเลือก การเชื่อมแบบSAW สามารถเชื่อมได้อย่างรวดเร็วและแนวเชื่อมสมบูรณ์เชื่อถือได้แต่มีข้อจำกัดคือใช้เชื่อมเฉพาะท่าราบ(1G) เท่านั้น การเชื่อมแบบGMAW จะใช้สำหรับการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติได้ดี และสำหรับการเชื่อมแบบไม่ยุ่งยากสะดวกในทุกพื้นที่ โดยทั่วไปมักจะนิยมใช้การเชื่อมแบบ SMAW การเชื่อมแบบนี้ยังสามารถทำการเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อมอีกด้วย ข้อควรระวังของการเชื่อมแบบ SMAW คือเรื่องของการแตกตัวของไฮโดรเจนเมื่อรอยเชื่อมเย็นลง แต่การควบคุมขั้นตอนการเชื่อมในทุกขั้นตอนจะช่วยให้สามารถควบคุมการแตกร้าวของแนวเชื่อมลงได้ [5]

4. การศึกษาการเชื่อมประกอบท่อและชิ้นส่วนอื่นที่นำกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมามาใช้

4.1 การศึกษางานวิจัยจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา (Process Parameter in PAW)

Kunio Narita (1975) ได้ทำการสำรวจทดลองหาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆจากกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมาสำหรับเชื่อมต่อท่อเหล็กความหนา 6.4 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 406.4 มม. หาผลกระทบของ

พารามิเตอร์ต่างๆที่มีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับการเกิดข้อบกพร่องในงานเชื่อมท่อ [7]

ผลจากการเชื่อมต่อเหล็กด้วยกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมาให้การซึมลึกที่สมบูรณ์ (Full Penetration) และรอยเชื่อมที่ต่อเนื่อง (Continuous Bead Formation) และเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น ความเร็วในการเชื่อมสามารถเพิ่มขึ้นตาม แต่ในตำแหน่งท่าเชื่อมเหนือศีรษะนั้นแนวเชื่อมจะมีการเว้าลึกอย่างต่อเนื่อง [7]

Basheko และ Sosnin (1988) พบว่าการเชื่อมพลาสมาในงานอุตสาหกรรมยังมีปัญหาในการเลือกพารามิเตอร์กระบวนการเชื่อมที่เหมาะสม เช่น กระแสเชื่อม (I) ความเร็วในการเชื่อม (v) เส้นผ่านศูนย์กลางความกว้างแนวเชื่อม (d0) ค่าใช้จ่ายและปริมาณแก๊สปกคลุมในกระบวนการเชื่อม (C) และระยะห่างแนวเชื่อม (l) [8] โดยจากที่พวกเขาได้ศึกษาทฤษฎีและการทดลองสรุปได้ว่า

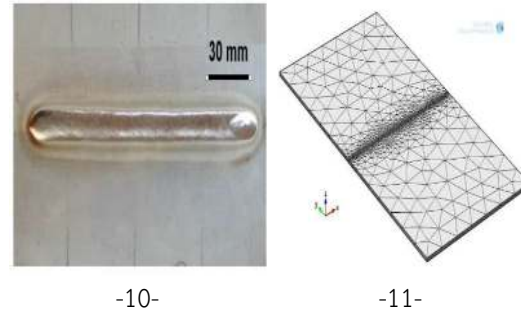
- 1.พลาสมาที่เกิดขึ้นที่บริเวณหัวเชื่อมมีบทบาทสำคัญในการก่อตัวของพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมพลาสมา [8]
- 2.เสถียรภาพของกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาเป็นผลมาจากสถานะความร้อนในเขตบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน และสามารถรักษาสภาพที่เหมาะสมสำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนคงที่ [8]
- 3.ความสัมพันธ์ของรูปร่างคณิตที่ดีที่สุดของรอยเชื่อมสามารถนำมากำหนดค่าพารามิเตอร์การเชื่อมที่ดีที่สุดได้ และสำหรับวัสดุที่แตกต่างกันเงื่อนไขการเชื่อมก็จะแตกต่างกันไปส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความเร็วในการเชื่อม [8]
- 4.การเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายความร้อนในอุปกรณ์เชื่อมพลาสมาให้ดียิ่งขึ้นจะช่วยเพิ่มการยอมรับและความเชื่อถือได้ยิ่งขึ้น [8]

BA.Urena et.al (2007) ได้ทำการทดลองหาค่าที่เหมาะสมของแนวเชื่อมรอยต่อแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) 2205 ชนิดดูเพล็กซ์ที่มีความหนา 3ม.ม. และ 4 ม.ม. ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมอาร์คพลาสมา โดยทำ

การทดลองทางด้านโลหะวิทยาและความสามารถในการเชื่อม (Welding Metallurgy and Weldability) โดยแบ่งเป็น 2 โหมดการเชื่อมที่แตกต่างกันคือ คอนดักชันโหมด (Conduction Mode) และคีย์โฮลโหมด (Keyhole Mode) และสามารถสรุปผลจากการทดลองได้ว่าอิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมของแต่ละโหมดมีผลกับขนาดรูปร่างของแนวเชื่อมและส่วนประกอบเฟอร์ไรต์ (Ferrite Contents) ในเนื้อเชื่อม [9]

Dhinakaran และคณะ (2014) ได้ทำการจำลองการเชื่อมอาร์คพลาสมา กับวัสดุ Ti-6Al-4V (รูปที่ 10) ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตรโดยการใช้ กระบวนการวิเคราะห์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics สำหรับการสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนที่ปรับรูปสามมิติ (MTDC) และแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับการพัฒนาขึ้นใหม่ โดยการใช้การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการกระจายอุณหภูมิความร้อนของแผ่นโลหะไททาเนียมบาง เพื่อหาคุณสมบัติและความสัมพันธ์กับการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นและนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข [10]

ในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนารูปแบบของการวิเคราะห์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics กับชิ้นงานขนาด 200 x 100 x 2 มม. ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 11 การจำลองแบบสมการในโมดูลการถ่ายเทความร้อนภายใต้ การวิเคราะห์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics ถูกนำมาใช้เพื่อนำเสนอสมการแบบจำลองความร้อนที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบองค์ประกอบของไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อจำลองการเชื่อมไททาเนียม ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยการปรับเปลี่ยนค่าความร้อนจากแบบเดิมเป็นแบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมพลาสมาดีขึ้น [10]



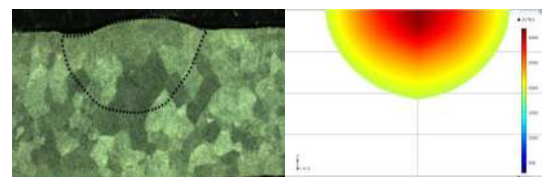
-10-

-11-

รูปที่ 10 การเชื่อมอาร์คพลาสมา กับวัสดุ Ti-6Al-4V [10]

รูปที่ 11 การวิเคราะห์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics [10]

การจำลองแบบสมการในโมดูลการถ่ายเทความร้อนภายใต้การวิเคราะห์วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย COMSOL Multiphysics ถูกนำมาใช้เพื่อนำเสนอสมการแบบจำลองความร้อนที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบองค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อจำลองการเชื่อมไททาเนียม ดังแสดงผลในรูปที่ 12 โดยการปรับเปลี่ยนค่าความร้อนจากแบบเดิมเป็นแบบที่พัฒนาใหม่ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาเพิ่มขึ้น [10]



รูปที่ 12 จำลองการเชื่อมไททาเนียมด้วย FEM [10]

Prasad et al (2010) ได้ทำการทดลองหาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา เช่น ระยะห่างหัวเชื่อมกับชิ้นงานเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมต่อความกว้างของการหลอมละลายของโลหะชิ้นงานที่บริเวณแนวเชื่อมต่อการเสริมแรงเชื่อม (Reinforcement Weld) ของการเชื่อมพลาสมา กับโลหะอลูมิเนียม โดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิวหรือ (Response Surface Method) [11]

การทดลองเชื่อมโลหะผสมโดยกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมาดำเนินการโดยกำหนดขอบเขตของ

พารามิเตอร์ และป้อนข้อมูลพารามิเตอร์สองระดับสามชุดและทำการทดลองตามเมตริกซ์ที่ได้รับการออกแบบไว้ ค่าสัมประสิทธิ์คำนวณโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดำเนินการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบที่พัฒนาขึ้น การทดสอบจะใช้อัตราส่วนความแปรปรวนสำหรับความเชื่อมั่นในระดับที่ต้องการ และพบว่าค่าอัตราส่วนฟังก์ชันทางด้านสถิติ (Fisher) ทั้งหมดที่คำนวณจากพารามิเตอร์ของกระบวนการป้อนข้อมูลอยู่ในตารางและพบว่ามีค่าเพียงพอ และจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า มีผลกระทบและปฏิสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อคุณภาพของรอยเชื่อม [9] ปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราการป้อนลวด อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแนวเชื่อมยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องในระหว่างการทดลอง [11]

จากผลการทดลองและผลการทดลองพบว่า เมื่อให้ระยะความสูงของหัวเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมคงที่โดยทำการเพิ่มกระแสเชื่อม ผลที่ได้คือความกว้างของหน้าการหลอมเหลวของวัสดุเชื่อมและความต้านทานต่อการเชื่อมลดลง [11]

เมื่อกำหนดให้ความเร็วในการเชื่อมคงที่และกำหนดให้ความสูงของหัวเชื่อมเพิ่มขึ้นความกว้างของหน้าการหลอมเหลวของวัสดุเชื่อมและความกว้างการหลอมเหลวของวัสดุเชื่อมด้านหลังเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ความแตกต่างของกระแสเชื่อมและความสูงของหัวเชื่อมคงที่และความเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้นความกว้างของหน้าและความกว้างของการหลอมกลับลดลงขณะที่การเสริมแรงเชื่อม (Reinforcement Weld) เพิ่มขึ้น [11]

Prasad et al (2011) ได้ทำการศึกษาโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) [10] ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้พารามิเตอร์กระบวนการผลิต 2 ระดับขั้นตอนและ 4 พารามิเตอร์กระบวนการผลิต ขั้นตอนและการทดลองดำเนินการตาม

เมตริกซ์การออกแบบไว้โดยให้อัตราการไหลของแก๊สพลาสมาเป็นหนึ่งในตัวแปรกระบวนการ ผลการทดลองที่ได้มีความคล้ายคลึงกับการทดลองก่อนหน้าที่ผ่านมา [12]

Prasad et al (2012) ได้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับความก้าวหน้าใน กระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา และได้ข้อสรุปจากการศึกษาครั้งนี้ [12]

1. การศึกษาการเชื่อมอาร์คพลาสมาส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองของการเชื่อมพลาสมา โดยคำนึงถึงอุณหภูมิและความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพพารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมเพื่อให้ได้คุณภาพการเชื่อมออกมาตามที่ต้องการ

2. พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาเป็นอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการเชื่อมพลาสมาคือ กระแสเชื่อม แรงดันความเร็วในการเชื่อม ความเข้มข้นของแก๊สปกคลุมและระยะห่างหัวเชื่อม

3. วัสดุชิ้นส่วนอื่นๆ นอกจากเหล็กที่สามารถนำมาเชื่อมพลาสมาได้ดีคือชิ้นส่วนที่ทำจาก สแตนเลส อลูมิเนียม โลหะผสมนิกเกิลและไทเทเนียม เป็นต้น [13]

4.2 การศึกษาเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอื่น

Kunio Narita (1975) ได้ทำการสำรวจทดลองเปรียบเทียบการเชื่อมระหว่างกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมา (PAW) และกรรมวิธีการเชื่อมอาร์คโลหะก๊าซปกคลุม (GMAW) โดยการเชื่อมต่อท่อเหล็กความหนา 6.4 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 406.4 มม.

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำการเชื่อมอาร์คพลาสมา (SAW) มาใช้เชื่อมท่อโลหะ ผลผลิตที่ได้มันจะมากกว่าการเชื่อมแบบอาร์คโลหะก๊าซปกคลุม (GMAW) [7]

Michalec และ Maronek (2012) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ PAW และ Laser Beam Welding (LBW) ของเหล็กแผ่นหลังการเกิด nitro-oxidation แผ่นเหล็กที่ผ่านกรรมวิธี nitro-oxidation

เมื่อเทียบกับวัสดุที่ไม่มีการรักษาพื้นผิวมีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้นและความทนทานต่อการกัดกร่อนที่ดีกว่า [14]

การศึกษาได้ดำเนินการเพื่อค้นหาวิธีการลดค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูงของ LBW และ Electron Beam Welding การตรวจสอบรอยเชื่อมที่เชื่อมโดย PAW แสดงให้เห็นถึงการเกิดรอยกัดของของแนวเชื่อม (Undercuts) ที่มีนัยสำคัญ ขณะที่การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ยืนยันว่าไม่มีความพรุนในรอยเชื่อม และการทดสอบความต้านทานแรงดึง(Tensile Test)พบว่าแนวเชื่อม PAW มีสมบัติทางกลที่ดีมาก ส่วนแนวเชื่อม LBW มีแนวโน้มความแข็ง(Micro-Hardness)ที่ดีกว่าแนวเชื่อมPAW และการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์พิสูจน์ให้เห็นว่า เขตที่มีผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone : HAZ) ต่างกัน เนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้นของลำแสงเลเซอร์กระจายสู่พื้นผิวที่แคบกว่าเมื่อเทียบกับการเชื่อมด้วยพลาสมา [14]

Bharathi et al (2014) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ PAW และ TIG อธิบายว่า PAW มีความสามารถในการเจาะหลอมละลายได้ดีกว่าการเชื่อม TIG ด้วยเหตุนี้มักใช้สำหรับชิ้นส่วนเชื่อมตะเข็บที่มีความหนาสูงถึง 12 มม.

การเชื่อม TIG ไม่สามารถเชื่อมแผ่นหนาขึ้นเนื่องจากเปลวเชื่อมกว้างขึ้น เมื่อส่วนประกอบชิ้นงานบางจะใช้กระบวนการพิเศษที่เรียกว่าไมโครพลาสมาเพื่อให้กระแสไฟฟ้าลดลงประมาณ 5 เท่า ข้อได้เปรียบที่สำคัญของ PAW มากกว่าการเชื่อม TIG คืออายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของทั้งสแตนเลสอิเล็กโทรด [15] PAW มีข้อได้เปรียบที่สำคัญกว่า TIG ในแง่ของการเตรียมการและการปิดเป็นความร้อนเช่นกัน [16]

Tomas และ Grzegorzได้ทำการทดลองและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเชื่อมท่อเหล็กที่มีความหนา 1.5 มม. โดยการนำกระบวนการเชื่อมด้วยระบบความถี่สูง(High Frequency (HF)) มาเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

ต่างๆ กับกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา (Plasma Arc Welding),กระบวนการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas Arc Welding) กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ที่บรรจุก๊าซผสมคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในท่อโลหะที่ถูกปิดผนึกอย่างแน่นหนา (CO₂ Laser Arc Welding) และ กระบวนการเชื่อม ไดโอดเลเซอร์ (Diode Laser) โดยผลการทดลองดังตาราง ที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการนำกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมา มาเชื่อมท่อนั้นถ้าพิจารณาในด้านของต้นทุนค่าใช้จ่ายของการดำเนินการทางด้านงานเชื่อมท่อ การเชื่อมอาร์คพลาสมา นั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ากระบวนการเชื่อมอื่นๆอยู่มาก [27]

HF coil welding	\$0.75/100m of weld seam
TIG (GMAW) welding	\$2.00/100m
Plasma welding	\$3.00/100m
CO ₂ laser welding	\$1.50/100m
Fiber or diode laser	\$0.30/100m

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเชื่อมท่อเหล็กที่มีความหนา 1.5 มม. ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบต่างๆ [27]

5. ข้อดีและข้อจำกัดของการนำกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมามาใช้

5.1 ข้อได้เปรียบหลักหรือข้อดีของการเชื่อมอาร์คพลาสมาคือกระบวนการเชื่อมและคุณภาพงานเชื่อมที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การกำหนดระยะห่างหัวเชื่อมที่เหมาะสมช่วยให้สามารถควบคุมการอาร์คชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้นเชื่อมที่ได้มีความสวยงามและที่สำคัญพื้นที่ที่ได้รับความร้อนน้อยลงส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงกว่า [15] [17] แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมพลาสมายังมีข้อดีอื่นๆอีกดังต่อไปนี้คือ

- เชื่อมประสานโลหะได้ดีกว่าและมีการทำงานได้รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับ TIG
- สามารถเจาะหลอมชิ้นงานที่มีอัตราการเชื่อมสูงได้



- ความเสถียรของเปลวอาร์คและคุณภาพของรอยเชื่อมดี
- สามารถผลิตงานเชื่อมด้วยคุณภาพสูงด้วยความเร็วสูง
- สามารถเชื่อมชิ้นส่วนเหล็กได้ถึงความหนาประมาณครึ่งนิ้วโดยไม่ต้องบากชิ้นงาน
- มีประโยชน์สำหรับกระบวนการเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติ
- กระบวนการทำงานอย่างรวดเร็วและสะอาด ปราศจากสะเก็ดไฟจากการเชื่อม
- ใช้ทักษะของผู้ปฏิบัติงาน(ช่างเชื่อม)น้อยลงเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของแนวอาร์คที่ต่ำกว่า
- ความสามารถในการเจาะหลอมทะลุ (keyhole effect) สูง [18]

5.2 ข้อจำกัด หรือ ข้อเสียที่สำคัญในกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาคือต้นทุนการเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง อุปกรณ์เชื่อมอาร์คพลาสมามักจะมีราคาแพงเนื่องจากเป็นขั้นตอนการเชื่อมที่เฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น และยังขาดการฝึกอบรมและบุคลากรช่างเชื่อมที่มีความเชี่ยวชาญ [17] แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมพลาสมายังมีข้อเสียอื่น ๆ อีกดังต่อไปนี้คือ

- มีอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรด ต้องใช้การป้องกันและระมัดระวังเป็นพิเศษ
- อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซเฉื่อยปกคลุมสูง
- อุปกรณ์เครื่องเชื่อมพลาสมาต้องการกำลังไฟฟ้าสูง
- การเชื่อมมีเสียงดังระดับ 100 dB
- เครื่องเชื่อมและอุปกรณ์เชื่อมมีราคาแพง
- สามารถเชื่อมได้เฉพาะความหนาไม่เกิน 25 มม.
- การบิดเบี้ยวสูงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนรวดเร็ว
- มีโอกาสในการเกิดอันตรายจากไฟฟ้า [19]

6. บทสรุป

การพิจารณานำกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาทดแทนกระบวนการเชื่อมแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสำหรับการเชื่อมประกอบติดตั้งท่อทางเรื่อนั้นมีปัจจัยหรือคุณสมบัติหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณา ก่อน

การนำกระบวนการเชื่อมพลาสมาไปใช้งาน เราสามารถสังเคราะห์และสรุปจากข้อมูลงานวิจัยเพื่อนำการเชื่อมอาร์คพลาสมาไปประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมต่อโลหะที่ใช้ในเรือซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกันและใกล้เคียงกันกับโลหะทดลองในงานวิจัยจากแหล่งต่างๆที่ได้นำเสนอมาในเบื้องต้นได้ดังนี้

6.1 การเชื่อมต่อเหล็กด้วยกรรมวิธีการเชื่อมพลาสมาให้การซึมลึกที่สมบูรณ์ (Full Penetration) และรอยเชื่อมที่ต่อเนื่อง (Continuous Bead Formation) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อมเชื่อมสามารถเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของกระแสเชื่อมจึงทำให้ผลผลิตจากการเชื่อมท่อที่ได้มากขึ้นตาม

6.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญของการเชื่อมอาร์คพลาสมาคือ กระแสเชื่อม แรงดัน ความเร็วในการเชื่อม ความเข้มข้นของก๊าซปกคลุมและระยะห่างหัวเชื่อม โดยที่พารามิเตอร์ความเร็วในการเชื่อม (Welding Speed) นั้นมีข้อจำกัดสำหรับการติดตั้งระบบท่อที่ตัวเรือหรือที่หน้างานคือความไม่สะดวกและไม่สามารถใช้อุปกรณ์จับชิ้นงานท่อที่กำหนดความเร็วในการเชื่อมได้คงที่ จึงเป็นผลให้ไม่สามารถทราบค่าพารามิเตอร์สำหรับความเร็วเชื่อมที่แน่นอน

6.3 ชิ้นส่วนอื่นๆนอกจากเหล็กที่สามารถนำมาเชื่อมพลาสมาได้ดีคือชิ้นส่วนที่ทำจากสแตนเลส อลูมิเนียม โลหะผสมนิกเกิลและไทเทเนียม เป็นต้น จึงสามารถใช้กับวัสดุอื่นๆเช่นใช้กับท่อสแตนเลสในเรือได้ 3. ทำให้ทราบการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ยืนยันว่าแนวเชื่อมที่เกิดจากการเชื่อมอาร์คพลาสมาเป็นแนวเชื่อมที่สมบูรณ์ไม่มีรูพรุน (porosity)

6.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) พบว่าแนวเชื่อมจากการเชื่อมพลาสมา มีสมบัติทางกลที่ดีมาก จึงเป็นผลดีในการพิจารณาใช้งานที่ต้องการความแข็งแรง



6.5 เปรียบเทียบการเชื่อมPAW กับการเชื่อม TIG จะเห็นว่า PAW มีข้อดีกว่า TIG ในหลายด้าน เช่น เชื่อมประสานโลหะได้ดีกว่าและมีการทำงานได้รวดเร็ว กว่าเมื่อเทียบกับ TIG สามารถเจาะลอมชิ้นงานที่มีอัตราการเชื่อมสูงได้ ความเสถียรของเปลวอาร์คและคุณภาพของรอยเชื่อมดีกว่า สามารถผลิตงานเชื่อมด้วยคุณภาพสูง ด้วยความเร็วสูง ความสามารถในการเจาะลอมทะลุดี

6.6 ข้อได้เปรียบของการเชื่อมอาร์คพลาสมา ที่ต่างจากกระบวนการเชื่อมอื่นๆคือการเชื่อมพลาสมาไม่ต้องบากชิ้นงาน (V- grooves) จึงสามารถลดต้นทุนและเวลาการเตรียมงานบากแนวเชื่อม โดยสามารถเชื่อมชิ้นส่วนเหล็กได้ถึงความหนาประมาณครึ่งนิ้วโดยไม่ต้องบากชิ้นงาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการการนำเอากระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาไปใช้ในการเชื่อมท่อทางในเรื่องจึงมีข้อดีมากกว่าการเชื่อมแบบดั้งเดิมหลายประการ แต่ยังมีข้อด้อยในด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายของการนำกระบวนการเชื่อมพลาสมาไปใช้ที่ยังสูงกว่ากระบวนการเชื่อมอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น ดังนั้น บทความนี้จึงน่าจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องและสำหรับการพัฒนา งานในอุตสาหกรรมการต่อเรือต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติพงษ์ พุ่มสร้าง และ กานต์ สาราณูถิน (2556). แนวทางเบื้องต้นในการนำท่อโพลีเมอร์มาใช้ในเรือ, วารสารกรมอุทหาเรือ

[2] www.e-manage.mju.ac.th

[3] www.praxair.co.th

[4] C.S. Wu, L. Wang, W.J. Ren, X.Y. Zhang
“Plasma arc welding: Process, sensing, control and modeling” Journal of Manufacturing Processes. 2014

[5] Mikael W. Braestrup, “Design and Installation of Marine Pipelines”, Blackwell Science Ltd. 2005. , pp 213-215

[6] www.elib.coj.go.th

[7] Kunio Narita, “Plasma arc welding of pipelines: A study to optimize welding conditions for horizontal fixed joints of mild steel pipes”, Int. J. Pres. Ves. & Piping 3. 1975.

[8] V.V. Bashenko And N. A. Sosnin, “Optimization of the Plasma Arc Welding Process”, Welding Research Supplement, October 1988.

[9] A. Urena , E. Otero, M.V. Utrilla, C.J. Munez, “Weldability of a 2205 duplex stainless steel using plasma arc welding”, Journal of Materials Processing Technology 182. 2007.

[10] V. Dhinakaran, Suraj Khope, N. Siva Shanmugam, K. Sankaranarayanan, “Numerical Prediction of Weld Bead Geometry in Plasma Arc Welding of Titanium Sheets Using COMSOL”, Excerpt from the Proceedings of the 2014 COMSOL Conference in Bangalore.

[11] Siva Prasad K, Srinivasa Rao Ch, Nageswara Rao D, “Prediction of Weld Quality in Plasma Arc Welding using Statistical Approach”, AIJSTPME, 3(4), 2010. pp 29-35.

[12] K. Siva Prasad, Ch. Srinivasa Rao, D. Nageswara Rao, “Prediction of Weld Bead Geometry in Plasma Arc Welding using Factorial Design Approach”, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, Vol. 10, No.10, 2011. pp 875-886.

[13] Kondapalli Siva Prasad, Chalamalasetti Srinivasa Rao, Damera Nageswara Rao, “Advances in Plasma Arc Welding: A Review”,



Journal of Mechanical Engineering and TechnoTechnology, Vol. 4, No. 1, January-June 2012. pp 35-59

[14] Ivan Michalec and Milan Marônek, “Comparison of Plasma and Laser Beam Welding of Steel Sheets Treated by Nitrooxidation”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 9, No. 2, 2012. pp 197-208

[15] R.selva Bharathi,S.M.Sadham Javidur rahman, P.Rajdev ,M.syed Mohamed, “Experimental Method Of Heat Penereation Using Plasma Arc Welding”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Volume 3, Special Issue 3, March 2014. pp 1428-1430

[16] Liming Liu and Jianbo Jiang, “Formation and Disappearance of Pores in Plasma Arc Weld Bonding Process of Magnesium Alloy”, Materials Transactions,Vol. 50, No. 7, 2009. pp. 1649-1654.

[17] www.used-robots.com

[18] www.slideshare.net

[19] www.slideshare.net

[20] www.en.wikipedia.org

[21] www.navinn.rhinopiping.com

[22] www.mfame.guru

[23] www.advancedplasmasolutions.com

[24] www.airliquid.ca

[25] www.pro-fusiononline.com

[26] www.weldreality.com

[27] www.industrial-lasers.com