

บทที่ 2

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

2.1 มาตรฐานแนวเชื่อม DIN 8563

มาตรฐาน DIN 8563 ที่จะนำมากล่าว ณ ที่นี้ จะยกมาเฉพาะส่วนที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับการศึกษานี้เท่านั้น มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบและรับประกันคุณภาพของรอยเชื่อมและกระบวนการเชื่อม ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

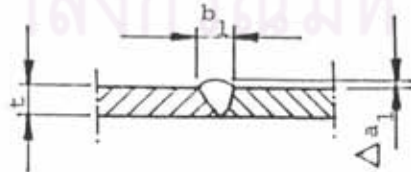
ส่วนที่ 1 กล่าวถึงหลักการทั่วไป สำหรับกระบวนการเชื่อม

ส่วนที่ 2 กล่าวถึงความต้องการในกระบวนการเชื่อมที่สามารถรักษาคุณสมบัติของแนวเชื่อมที่ดีตามต้องการ

ส่วนที่ 3 กล่าวถึงคุณภาพของการเชื่อมโลหะ และลักษณะของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Weld Joint)

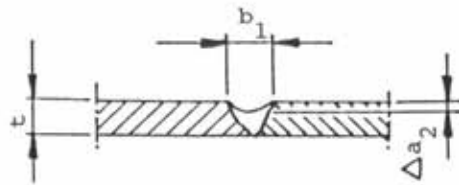
ในการศึกษานี้จะพิจารณาลักษณะแนวเชื่อมตาม DIN 8563 ส่วนที่ 3 ที่สอดคล้องกับการเชื่อมที่จัดเตรียมรอยต่อแบบ Square Butt Weld และคุณภาพของแนวเชื่อมตามคุณภาพชั้น AS ความหนาชิ้นงาน (t) อยู่ระหว่าง 0.5 - 3.6 มิลลิเมตร ดังรายละเอียดในรูปที่ 2.1

1. Excess Weld Metal Δa_1



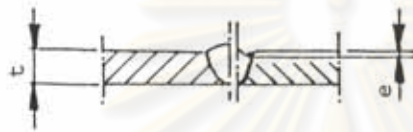
$$\Delta a_1 \leq 1 + 0.10b,$$

2. Incompletely Filled Groove Δa_2



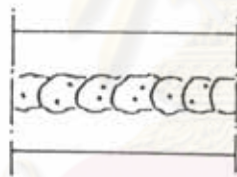
Δa_2 ไม่อนุญาตให้เกิดได้

3. Undercut



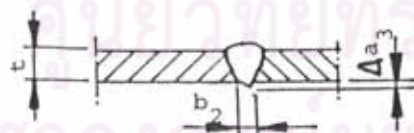
e ไม่อนุญาตให้เกิดได้

4. Visible Pores



ไม่อนุญาตให้เกิดได้

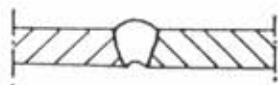
5. Excessive Penetration Δa_3



$$\Delta a_3 \leq 1 + 0.10b_2$$

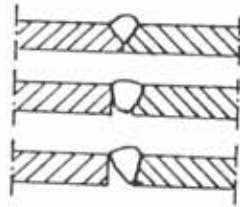
ศูนย์วิทยุพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. Root Concavity



ไม่อนุญาตให้เกิดได้

7. Lack of Fusion



ไม่อนุญาตให้เกิดได้

8. Cracks



ไม่อนุญาตให้เกิดได้

รูปที่ 2.1 ลักษณะแนวเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8563 เกรด AS ⁽¹⁾

2.2 ผลกระทบของส่วนผสมทางเคมีต่อโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม ⁽²⁾

ผลกระทบของส่วนผสมทางเคมีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างในลักษณะเดียวกับโครเมียมเรียกว่า Ferrite Former เป็นกลุ่มที่เพิ่มความเสถียรของการเกิดผลึกโครงสร้างจุลภาคแบบเฟอร์ไรท์ ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็น Body Center Cubic (BCC) ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ ธาตุซิลิกอน โมลิบดีนัม ไนโอเบียมและ ทังสแตน

2. กลุ่มที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างในลักษณะเดียวกับนิกเกิล เรียกว่า Austenite Former เป็นกลุ่มที่เพิ่มความเสถียรของการเกิดผลึกโครงสร้างจุลภาคแบบออสเตนไนท์ ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็น Face Center Cubic (FCC) ธาตุในกลุ่มนี้ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน แมงกานีส และทองแดง

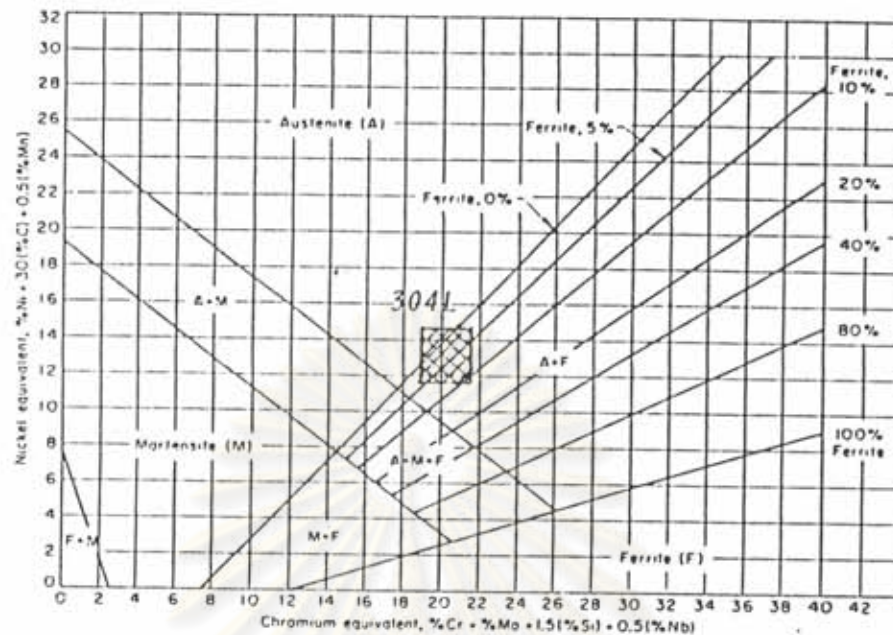
จะเห็นว่าธาตุไนโตรเจนที่ผสมในอาร์กอน เพื่อใช้เป็นก๊าซปกคลุมในระหว่างการเชื่อม นั้น เป็นธาตุในกลุ่ม Austenite Formers ซึ่งเป็นกลุ่มธาตุที่เพิ่มความเสถียรของการเกิดผลึก โครงสร้างจุลภาคแบบออสเตนไนท์

จากการศึกษาการเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 329L (Duplex Stainless Steel) ของ G. Huisman และ H. Hoffmeister⁽³⁾ เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของค่าตัวแปรในการเชื่อมพัลส์ติก และส่วนผสมของไนโตรเจนในฮีเลียม/อาร์กอน ของก๊าซปกคลุม เพื่อควบคุมความสมดุลของปริมาณออสเทนไนท์และเฟอร์ไรท์ในโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม และควบคุมรอยเชื่อมให้สมบูรณ์ในตำแหน่งการเชื่อมจาก 6 นาฬิกา (แนวนอน) ถึง 12 นาฬิกา (แนวเหนือหัว) จากผลการทดลองพบว่า การใช้ก๊าซปกคลุมที่มีส่วนผสมของก๊าซฮีเลียม 70% ก๊าซอาร์กอน 30% และก๊าซไนโตรเจนที่มีความดันย่อย 30 mbar สามารถรักษาปริมาณออสเทนไนท์ของเนื้อโลหะรอยเชื่อมอยู่ระหว่าง 40 - 60%

จากการศึกษาปริมาณของเฟอร์ไรท์ในโลหะรอยเชื่อมตามทฤษฎีของ L. A. Schaeffler⁽⁴⁾ เกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมีธาตุทั้งสองกลุ่ม สรุปผลออกมาเป็นกราฟดังรูปที่ 2.2 เส้นกราฟในแนวแกนนอนแสดงค่า Chromium Equivalent (ECr) ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณโครเมียมกับผลคูณระหว่างปริมาณส่วนผสมทางเคมีของธาตุแต่ละธาตุในกลุ่ม Ferrite Former กับค่าสัมประสิทธิ์ของผลกระทบของธาตุนั้นเปรียบเทียบกับผลกระทบอันเกิดจากโครเมียม ดังแสดงในสมการที่ 2.1 สำหรับเส้นกราฟแนวแกนตั้งแสดงถึงค่า Nickel Equivalent (ENi) ซึ่งคำนวณได้ในลักษณะเดียวกับ Chromium Equivalent แต่เป็นผลกระทบของธาตุในกลุ่ม Austenite Former ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\begin{aligned} \text{ECr} &= \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1.5\% \text{ Si} + 0.5 \% \text{ Nb} \dots\dots\dots 2.1 \\ \text{ENi} &= \% \text{ Ni} + 30\% \text{ C} + 0.5\% \text{ Mn} \dots\dots\dots 2.2 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



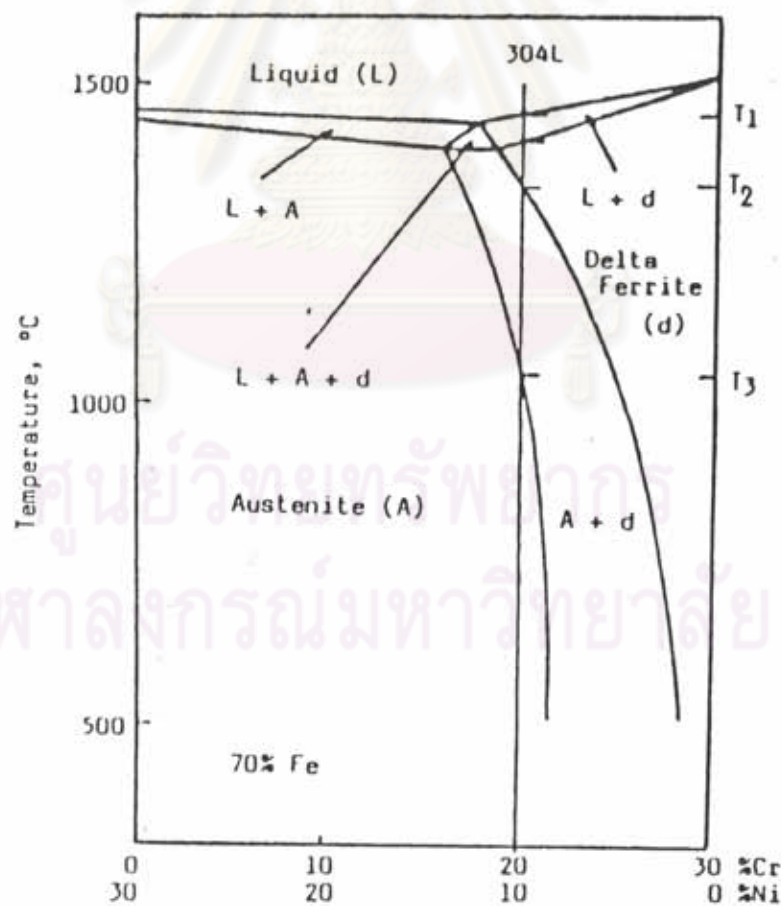
รูปที่ 2.2 แผนภูมิเชฟเลอร์ (Schaeffler Diagram) แสดงผลกระทบของส่วนผสมทางเคมีที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม

2.3 ผลกระทบของอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม

จากการศึกษาของ D.L. Olson⁽⁵⁾ เกี่ยวกับผลกระทบของปริมาณเฟอร์ไรท์ในโครงสร้างจุลภาคที่มีต่อคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม ได้สรุปบทบาทของเดลต้าเฟอร์ไรท์ไว้ดังนี้

จุดอ่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกประการหนึ่ง คือมีความไวต่อการแตกร้าวขณะร้อน (Hot Cracking) ซึ่งสามารถลดลงได้โดยการทำให้เกิดโครงสร้างผสม มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ และพบว่าส่วนผสมที่ประกอบด้วยเดลต้าเฟอร์ไรท์ (δ -Ferrite) ประมาณ 3 - 8% โดยปริมาตรสามารถลดความไวต่อการแตกร้าวลงได้ เพราะกัมมันต์ละลายในเฟอร์ไรท์ได้มากกว่าออสเทนไนท์ จากการศึกษาพบว่าที่มาของโครงสร้างเฟอร์ไรท์ก็เป็นตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่ง คือเฟอร์ไรท์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวต้องเกิดมาจากขบวนการที่เรียกว่า Primary Ferrite Solidification Mode

จากข้อสรุปดังกล่าว เมื่อมาพิจารณาในรายละเอียดของการเย็นตัวของเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติกเกรด 304L โดยพิจารณาจากภาพตัดในแนวตั้งของแผนภูมิสมดุลสามเฟสของ Fe-Cr-Ni ที่ตัดที่ตำแหน่ง 70% Fe ดังรูปที่ 2.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากโลหะเหลวจะเกิดโครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์ขึ้นเมื่อน้ำโลหะเย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิ T_1 และจะเกิดโครงสร้างจุลภาคออสเทนไนท์ตามมาเมื่อการเย็นตัวของน้ำโลหะมาถึงอุณหภูมิ T_2 แต่การเกิดโครงสร้างในลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อน้ำโลหะมีอัตราการเย็นตัวช้ามาก ๆ เท่านั้น ซึ่งไม่สามารถเกิดขึ้นได้สำหรับงานเชื่อมปกติ โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะแผ่นบาง อัตราการเย็นตัวของโลหะรอยเชื่อมจะรวดเร็วมาก และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อม ซึ่งไม่เป็นไปตามระบบสมดุล ดังนั้นการเพิ่มไนโตรเจนในก๊าซปกคลุมเป็นการเพิ่มความเสถียรของการเกิดโครงสร้างออสเทนไนท์ จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถควบคุมปริมาณของโครงสร้างเฟอร์ไรท์ได้

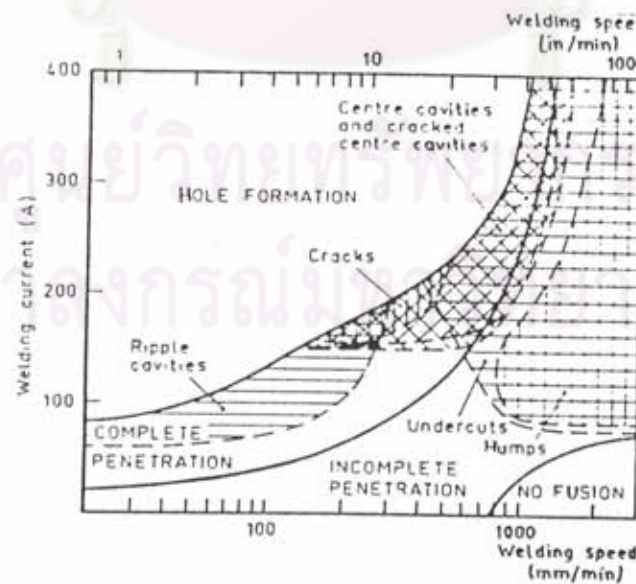


รูปที่ 2.3 ภาพตัดในแนวแกนตั้งของระบบสมดุลสามเฟสของ Fe-Cr-Ni ที่ตำแหน่ง 70% Fe

2.4 ผลกระทบของตัวแปรการเชื่อมต่อการเกิดจุดบกพร่องของเนื้อโลหะรอยเชื่อม

จากการศึกษาของ V.P. Kujanpaa⁽⁶⁾ เกี่ยวกับลักษณะและการเกิดจุดบกพร่องต่าง ๆ ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ที่เกิดจากตัวแปรต่าง ๆ ในการเชื่อม โดยในการศึกษาได้มุ่งเน้นไปทางด้านการศึกษาปริมาณและขนาดของจุดบกพร่อง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม และศึกษาลักษณะของจุดบกพร่อง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเชื่อม วิธีการเชื่อมที่ใช้เป็นการเชื่อมแบบทิก (Tungsten Inert Gas welding : TIG) และไม่ใช้ลวดเชื่อม ตำแหน่งการเชื่อม คือแนวราบ รอยต่อชิ้นงานเป็นแบบต่อชน จากการทดลองพบว่าจุดบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เมื่อตัวแปรต่าง ๆ ของการเชื่อมเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วยรอยแตก (Cracks) โพรงตรงกลาง (Center Cavities) Ripple Cavities รอยกินลึก (Undercuts) และ Humps

รอยแตกและโพรงตรงกลางจะมีขนาดโตขึ้นและมีปริมาณมากขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิด จะขึ้นอยู่กับความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม กล่าวคือ ที่ความเร็วการเชื่อมสูง ๆ จุดบกพร่องที่เกิดจะอยู่ในลักษณะที่เรียกว่า โพรงตรงกลาง (Center Cavities) รอยกินลึก (Undercut) และ Humps ในขณะที่รอยแตก (Crack) และ Ripple Cavities มักเกิดที่ความเร็วการเชื่อมต่ำ ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.4



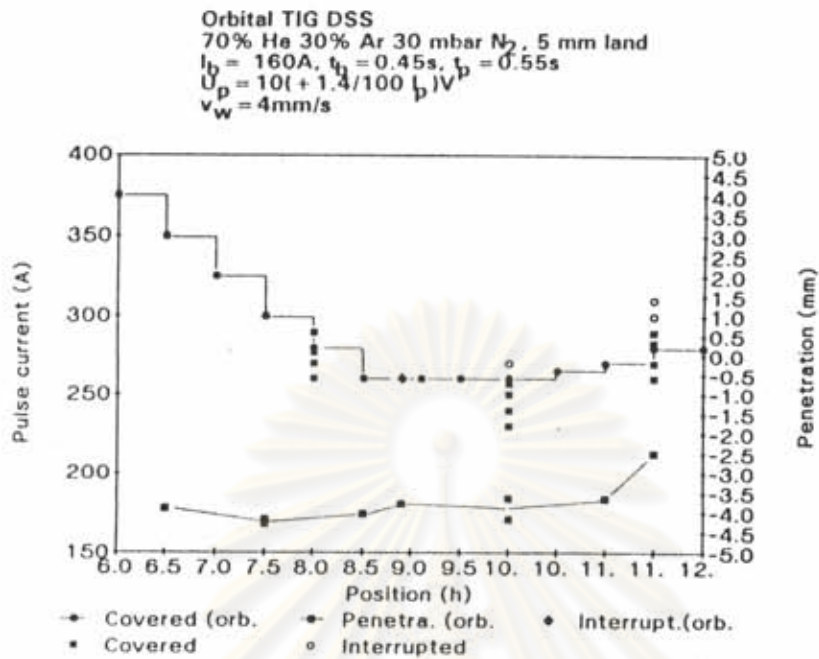
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงตำแหน่งการเกิดจุดบกพร่องในรอยเชื่อมที่ค่าตัวแปรการเชื่อมต่าง ๆ⁽⁶⁾

จากการศึกษาของ G. Huismann และ H. Hoffmeister⁽³⁾ ถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ คือ กระแสไฟฟ้าพัลส์ (Pulse Current) กระแสไฟฟ้าเบส (Base Current) ความเร็วการเชื่อม (Welding Speed) ในการเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 329L (Duplex Stainless Steel) หนา 5 มิลลิเมตร ที่ ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ถึง 12 นาฬิกา ด้วยวิธีการพัลส์ติก สามารถสรุปได้ว่าที่ความเร็วการเชื่อมคงที่ 4 มิลลิเมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าเบส 160 แอมแปร์ สามารถปรับใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ได้สูงถึง 300 แอมแปร์ และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้เป็นไปตามสมการที่ 2.3 ปริมาณของก๊าซปกคลุม คือ อาร์กอนผสมไนโตรเจน 20 ลิตรต่อนาที โดยมีส่วนผสมไนโตรเจน 1 - 3% โดยปริมาตร ลักษณะของรอยเชื่อมที่ได้มีความสมบูรณ์ปราศจากข้อบกพร่อง และระยะซึมลึกที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 ถึง 4 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ตามค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้เพื่อให้ได้ลักษณะรอยเชื่อมที่ดีนี้ จะมีค่าอยู่ในช่วงแคบ ๆ เท่านั้น

$$U_p = \frac{10 (+1.4 I_p)}{100} \text{ โวลต์} \quad \dots\dots\dots 2.3$$

รูปที่ 2.5 แสดงกราฟตัวแปรการเชื่อมพัลส์ติกท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 329L (Duplex Stainless Steel) และลักษณะผิวรอยเชื่อมที่ได้ ตามผลการทดลองของ G. Huismann และ H. Hoffmeister⁽³⁾

จากการค้นคว้าหาเอกสารและสิ่งตีพิมพ์ โดยเฉพาะในประเทศไทย เพื่อหาข้อมูลการเชื่อมแบบพัลส์ติกเหล็กกล้าไร้สนิมที่กล่าวถึงอิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมต่อรอยเชื่อมในตำแหน่งแนวราบ แนวตั้งขึ้น และแนวเหนือหัว พบว่ายังมีข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ประกอบกับปริมาณการใช้เหล็กกล้าไร้สนิมในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะเกรด 304L และ 316L การศึกษาในนี้จึงมีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมการเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิม



TIG orbital welding results at constant welding speed



Surface of TIG orbital DSS weld from $V_w = 4 \text{ mm/sec} = \text{constant process}$

รูปที่ 2.5 กราฟตัวแปรการเชื่อมพัลส์ที่กท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 329L (Duplex Stainless Steel) และลักษณะผิวรอยเชื่อมที่ได้ (ผลการทดลองของ G. Huismann และ H. Hoffmeister) ⁽³⁾