

การศึกษาผลกระทบจากการสั่นแบบอัลตราโซนิกต่อคุณสมบัติทางกลของงานเชื่อมระหว่างวัสดุ 25Cr-35Ni ไม่ผ่านการใช้งานกับ 25Cr-35Ni ผ่านการใช้งาน

The effect of Ultrasonic vibration on mechanical properties of welding between new 25Cr-35Ni and aged 25Cr-35Ni.

พลากร สติตวิลัย^{1*} บวรโชค ผู้พัฒน์²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรุงเทพมหานคร 10140

E-mail: sa.palakorn@yahoo.com^{1*} bpoopat@yahoo.com²

Palakorn Satitwilai^{1*} Bovornchok Poopat²

^{1,2}Department of Production Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

E-mail: sa.palakorn@yahoo.com^{1*} bpoopat@yahoo.com²

บทคัดย่อ

การเชื่อมซ่อมวัสดุทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงบางครั้งจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อระหว่างวัสดุที่ไม่ผ่านการใช้งานกับวัสดุที่ผ่านการใช้งานซึ่งเกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงมาเป็นเวลานาน จากการศึกษาพบว่าได้มีการประยุกต์นำการสั่นแบบอัลตราโซนิกมาใช้ในการปรับปรุงเนื้อเชื่อมระหว่างการเชื่อมด้วยกระบวนการปกติ ซึ่งสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของการเชื่อมวัสดุได้ในหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาทั้งหมดได้มุ่งเน้นเฉพาะวัสดุที่ไม่ถูกใช้งานมาก่อน ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อที่จะศึกษานำการสั่นแบบอัลตราโซนิกมาปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของการเชื่อมระหว่างวัสดุ 25Cr-35Ni ที่ไม่ผ่านการใช้งานกับ 25Cr-35Ni ที่ผ่านการใช้งาน กระบวนการเชื่อมแก๊สทังสเตน (GTAW) และลวดเชื่อมที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกับชิ้นงานได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษา การสั่นแบบอัลตราโซนิกที่ใช้ความถี่ 20 kHz ได้ถูกนำมาใช้กับชิ้นงานเชื่อมระหว่างการเย็นตัวของบ่อหลอม การทดสอบแรงดึง การทดสอบความแข็งจุลภาคและการวิเคราะห์โครงสร้างทางโลหะวิทยา ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบผลของชิ้นงานที่ใช้และไม่ใช้การสั่นแบบอัลตราโซนิกในการปรับปรุงคุณสมบัติ ผลของการทดสอบปรากฏว่าโครงสร้างทางจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัดซึ่งมีการจัดเรียงแบบมีหลายทิศทางและขนาดเกรนที่ลดลงแต่ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลมีผลต่างกันในชิ้นงานที่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิกเนื่องจากการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ที่เปลี่ยนแปลง

คำหลัก 25Cr-35Ni การสั่นแบบอัลตราโซนิก เนื้อเชื่อม คุณสมบัติทางกล

Abstract

Welding repair of heat resistant steels has sometimes involved in joining of new materials and in-service materials which might be degraded from its long high temperature service. Ultrasonic vibration applied to weld metal during welding has been known that it can help improve mechanical properties of certain type of weld metal. However, most of the studies focused on welding of new materials. The objective of this work is to study the effect of ultrasonic vibration on mechanical properties of welding between new 25Cr-35Ni and aged 25Cr-35Ni heat resistant steel. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) with matching filler metal (25Cr-35Ni) was used in this study. Ultrasonic vibration with a frequency of 20 kHz was applied to the samples during welding pool solidification. Tensile strength, micro hardness, and microstructure

analysis of weld with and without assisting ultrasonic vibration were compared. The results showed that ultrasonic vibration applied during solidification promoted grain refinement but mechanical properties of weld with assisting ultrasonic vibration could not be improved due to redistribution of rounded chromium carbide precipitation in weld metal.

Keywords: 25Cr-35Ni, Ultrasonic vibration, Weld metal, Mechanical properties

1. บทนำ

ปัจจุบันในชีวิตประจำวันมีการใช้งานวัสดุที่ผลิตมาจากกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแทบทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็นวัสดุกลุ่มจำพวกพลาสติก กลุ่มอุตสาหกรรมสารเคมีเพื่อรถยนต์ เป็นต้นจากความต้องการดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการเกิดการขยายกำลังการผลิต โดยหัวใจของการผลิตอุตสาหกรรมปิโตรเคมีนั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Cracking Furnace ซึ่งเป็นอุปกรณ์การผลิตปิโตรเคมีนั้นจะขาดไม่ได้ซึ่งหลังจากมีการพัฒนาอุปกรณ์ Cracking Furnace ที่ให้กำลังการผลิตที่สูงก็ต้องนำมาซึ่งชิ้นส่วนภายในที่ต้องมีความคงทนเหมาะสมกับการออกแบบ Cracking Furnace นั้นๆและชิ้นส่วนภายในที่ขาดไม่ได้ของ Cracking Furnace คือ Heater Tube ที่ทำจากวัสดุทนความร้อนสูงซึ่งมักผลิตมาจากวัสดุจำพวก Nickel Based Alloy เพราะใช้ในการทนการเกิดการคืบ (Creep) สำหรับการใช้ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานโดย Heater Tube นี้จะมีอายุการใช้งานและจำเป็นต้องเปลี่ยนเมื่อถึงอายุที่ผู้ผลิตแนะนำ หรืออาจจะจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนเนื่องจากเกิดความเสียหายบางส่วน เช่น การเกิดการบวมเฉพาะจุด (Bulging) เนื่องจากเกิดการบูโรเซชันขึ้นภายใน Tube จนกลายเป็นจุดอ่อนสำหรับการเชื่อมซ่อมนี้จะต้องทำภายในข้อจำกัดที่จะต้องนำ Tube ใหม่มาต่อกับ Tube ที่ใช้งานมาแล้วซึ่งมีปริมาณการเกิดการบูโรเซชันที่เกิดขึ้นมาแล้วและเมื่อทำการเชื่อมซ่อมในสภาวะดังกล่าว ดังนั้นจึงได้มีความสนใจในการหากระบวนการมาช่วยในการเชื่อมซ่อมในการปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อเชื่อมนี้ได้ โดยได้มีการศึกษาการใช้การสั่นแบบอัลตราโซนิกมาช่วยซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานภายนอกเพิ่มเติมจากแรงกระทำที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมเองเพียงอย่างเดียว โดยทำการศึกษาการจัดเรียงตัวของโครงสร้างทางจุลภาคหลังการใช้งานการสั่นแบบอัลตราโซนิกซึ่งอาจนำมาซึ่งเทคนิคการเชื่อมซ่อมแบบใหม่ที่ทำให้

เกิดการลดเวลาและค่าใช้จ่ายที่มากจากการเชื่อมซ่อมภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้

ในการวิจัยที่ผ่านมา R.Dehmolaei, M.shamania และ A. Kermanpur [1] ได้ทำการศึกษาและประยุกต์ใช้พลังงานการสั่นที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับบ่อหลอมน้ำโลหะของชิ้นงานเชื่อมวัสดุ 25Cr – 35Ni กับวัสดุ Alloy 800 ซึ่งการทดลองได้พิจารณาการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมเป็นประเภท Alloy 800 และใช้กระบวนการเชื่อมแบบ GTAW ที่ทำการเชื่อมลงบนชิ้นงานที่มีการเปรียบเทียบระหว่างการให้และไม่ให้พลังงานจากการสั่นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หลังจากการให้พลังงานการสั่นแล้วจึงมีการสังเกตที่บริเวณที่ไม่เกิดการหลอมระหว่างบริเวณจุดต่อสัมผัสของเนื้อโลหะวัสดุ 25Cr – 35Ni กับเนื้อเชื่อมที่ถูกบ่อนเติมจากลวดเชื่อม จากการศึกษาพบว่าหลังจากการให้พลังงานการสั่นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลทำให้บริเวณที่ไม่เกิดการหลอมผสมระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงานหรือที่เรียกว่า Unmixed Zone นั้นลดลงอีกทั้งการให้พลังงานการสั่นที่ยิ่งสูงขึ้นจะสามารถช่วยกำจัดบริเวณ Unmixed zone ได้มากขึ้น โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากการที่พลังงานการสั่นด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทำการกระตุ้นและกวนให้น้ำโลหะเกิดการไหลวนที่บริเวณเนื้อเชื่อมระหว่างลวดเชื่อมบ่อนเติมกับเนื้อโลหะฐานจึงทำให้บริเวณที่ Unmixed zone ถูกกำจัดไปที่บริเวณรอยต่อของโลหะฐานและวัสดุบ่อนเติม Y.Cui, C.L. Xu และ Q.Han [2] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำพลังงานการสั่นแบบอัลตราโซนิกมาใช้ในการเชื่อมวัสดุประเภท Super austenitic stainless โดยกระบวนการเชื่อมที่นำมาใช้คือ Shielded metal arc welding (SMAW) โดยจุดประสงค์ที่ทำการวิจัยคือศึกษาผลกระทบของพลังงานการสั่นแบบอัลตราโซนิกว่าสามารถลดการเกิด Unmixed zone ของวัสดุดังกล่าวได้หรือไม่ โดยการทดลองได้มีการนำชิ้นงานมาให้พลังงานการสั่นจากด้านล่างและทำการเชื่อมบน

แผ่น Plate ที่ด้านบน หลังจากการเชื่อมทดสอบแล้ว ได้มีการวิเคราะห์โดยการใช้อุปกรณ์การพิจารณาทางโครงสร้างจุลภาครวมถึงพิจารณาธาตุประกอบต่างๆด้วย Electron dispersive spectrometry (EDS) เพื่อใช้ในการพิจารณาถึงบริเวณ Unmixed zone ซึ่งชิ้นงานที่ทดสอบจะมีทั้งแบบให้และไม่ให้พลังงานการสั่นจากคลื่นอัลตราโซนิกและประกอบกับผลการวัดปริมาณธาตุคาร์บอนผสมเพื่อใช้ในการยืนยันผลของบริเวณ Unmixed zone จากผลการทดสอบทั้งหมดพบว่าการใช้พลังงานการสั่นแบบอัลตราโซนิกมาช่วยในการลดและกำจัดบริเวณ Unmixed zone นั้นสามารถทำได้และถ้าปริมาณความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกมากขึ้นก็ช่วยให้การกำจัดสามารถทำได้มากยิ่งขึ้นตามไปด้วย T.Methong และ B.Poopat [3] ได้ทำการศึกษเกี่ยวกับผลกระทบของการสั่นแบบอัลตราโซนิกต่อคุณสมบัติของแนวเชื่อมจุดประสค์หลักคือการนำการสั่นแบบอัลตราโซนิกเข้าไปทำการกวบนหรือสั่นทำให้บ่อหลอมเกิดการเคลื่อนตัวแบบมีทิศทางที่ไม่คงที่ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนการแข็งตัวของน้ำโลหะในบ่อหลอมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติ โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการศึกษาคือเหล็กกล้าคาร์บอนและลวดเชื่อมที่ใช้คือ ER-70S-G ที่มีกระบวนการเชื่อมชนิดแก๊สทังสเตน (GTAW) โดยการทดลองบังคับให้มีการเย็นตัวในแบบหล่อเย็นทองแดงที่ถูกให้การสั่นแบบอัลตราโซนิกที่ 20 KHz ในขั้นตอนการเย็นตัวของบ่อหลอม การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดลองที่มีการสั่นและไม่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิกที่ส่งผลกระทบต่อบ่อหลอม จากผลการทดสอบได้พบว่าเมื่อมีการสั่นแบบอัลตราโซนิกเข้ามาในบ่อหลอมจะทำให้เกิดเกรนที่ละเอียดมากขึ้นและผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลก็ให้ค่าที่สูงขึ้นเช่นกัน

ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการใช้ผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกมาช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อเชื่อมเพิ่มเติมระหว่างการใช้กระบวนการเชื่อมปกติอย่างแพร่หลายแต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีมีการประยุกต์ใช้กับวัสดุที่ผ่านการใช้งานมาแล้วและเกิดการสูญเสียคุณสมบัติบางประการมาทดลองใช้วิธีการสั่นแบบอัลตราโซนิกปรับปรุงคุณสมบัติ ซึ่งในการวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาชิ้นงานที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเชื่อมต่อกับ

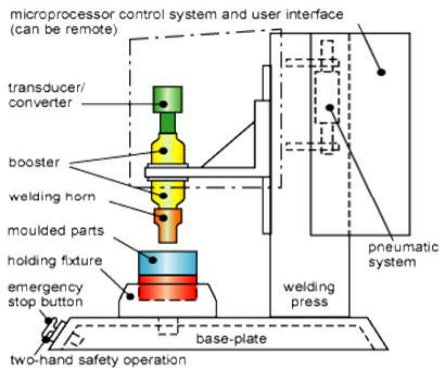
ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการใช้งานโดยใช้ตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมมาทำการทดลองและได้มีการทดสอบผลการทดลองโดยการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและการทดสอบคุณสมบัติทางกล

2. ทฤษฎี

2.1 เครื่องกำเนิดการสั่นแบบอัลตราโซนิก [4]

การใช้หลักการอัลตราโซนิกเป็นการใช้หลักการสั่นทางกล (Mechanical vibration) ที่ความถี่สูง ในระดับ 10-70 KHz และแอมพลิจูดในการสั่นอยู่ที่ 10-250 μm ให้กับชิ้นงานที่จะรับพลังงานในการส่งผ่านจะถูกแปลงเป็นพลังงานทางกลและพลังงานความร้อนทำให้ชิ้นงานเกิดการสั่นสะเทือนหรือเกิดความร้อนขึ้นซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาทำให้เกิดการหลอมละลายได้เช่นกัน โดยอุปกรณ์ของเครื่องอัลตราโซนิกประกอบไปด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) ทำหน้าที่ในการแปลงความถี่ที่ 50-60 Hz ไปเป็นความถี่อัลตราโซนิกที่มีความต่างศักย์ที่สูง โดยทั่วไปพลังงานจะอยู่ในช่วง 100-6000 Watt
2. ตัวแปลงสัญญาณ (Transducer) มีหน้าที่ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกลตัวแปลงสัญญาณประกอบไปด้วยชุดของ Piezoelectric ceramic ที่เกิดขยายตัวและเกิดการสั่นขึ้นในช่วง 15-70 Hz
3. บูสเตอร์ (Booster) มีหน้าที่ในการแปลงแอมพลิจูดในการสั่นแบบอัลตราโซนิกที่ได้รับจากด้านบนตัวแปลงสัญญาณและส่งผ่านไปยังหัวเชื่อมการแปลงแอมพลิจูดในการสั่นของบูสเตอร์อาศัยหลักการความแตกต่างของขนาดทั้งสองด้านของบูสเตอร์
4. หัวเชื่อม (Horn) ทำหน้าที่ส่งผ่านคลื่นการสั่นแบบอัลตราโซนิกจากบูสเตอร์ไปสู่ชิ้นงาน การส่งผ่านการสั่นของหัวเชื่อมเกิดจากการสั่นสะเทือนของอนุภาคของหัวเชื่อมในทิศทางตามแนวยาวไปกับทิศทางของหัวเชื่อม



รูปที่ 1 ลักษณะเครื่องกำเนิดการสั่นแบบอัลตราโซนิก[4]

2.2 การเสื่อมสภาพวัสดุจากคาร์บูไรเซชัน [5]

คาร์บูไรเซชันคือการเกิดปริมาณธาตุคาร์บอนแพร่เข้าสู่วัสดุที่อุณหภูมิสูงขณะที่วัสดุถูกนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงและมีสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณของธาตุคาร์บอนผสมอยู่วัสดุที่มีผลกระทบต่อทำให้เกิดคาร์บูไรเซชันคือ Carbon steel, low alloy steel, Stainless steel Grade 300 and 400 รวมไปถึงกลุ่ม Nickel Based alloy และ HK/HP alloys

1. ปัจจัยและลักษณะของคาร์บูไรเซชัน

1.1 สภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยง บริเวณที่มีสภาพแวดล้อมที่มีคาร์บอนผสมรวมไปถึงวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนที่สูงอุณหภูมิที่ใช้งานมากกว่า 593 องศาเซลเซียสที่เป็นกลุ่มวัสดุที่ใช้มีความเสี่ยงต่อการเกิด

1.2 สภาพแวดล้อมที่มักพบเห็นในกระบวนการผลิต Gas ,hydrocarbon ,Coke ,Methane ,Ethane ช่วงแรก คาร์บอนจะแพร่เข้าไปในวัสดุได้รวดเร็วและสร้างชั้นผิวของคาร์บอนในเนื้อโลหะขึ้นการเกิดคาร์บูไรเซชัน ทำให้วัสดุมีความแข็งและเปราะ และอาจเกิดการกะเทาะออกเมื่อเย็นตัวลงซึ่งคาร์บูไรเซชันจะทำให้เกิดการทน Creep ที่อุณหภูมิสูงได้ต่ำลงและมีความสามารถในการเชื่อมที่ต่ำลงรวมถึงการป้องกันการกัดกร่อนที่ต่ำลงอีกด้วย

2. อุปกรณ์ที่เสี่ยงต่อการเกิด

2.1 อุปกรณ์จำพวก Fire Heater

2.2 อุปกรณ์ที่เกิด Coke เกาะที่ผิวของวัสดุจะทำให้เกิดCarburization ได้เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติ

2.3 คาร์บูไรเซชันอาจถูกพบใน Heater tube ได้

เนื่องจากกระบวนการทำ Decoking process

2.4 คาร์บูไรเซชันมักถูกพบในอุปกรณ์ผลิต Ethylene และ Steam reformer มากโดยมีผลกระทบจากช่วงการ Decoking

3. คุณสมบัติของคาร์บูไรเซชัน

3.1 ความหนาของคาร์บูไรเซชันสามารถวัดได้จากการทำโครงสร้างทางจุลภาค

3.2 คาร์บูไรเซชันจะทำให้เกิดความแข็งที่เพิ่มขึ้นแต่ความเหนียวลดลง

3.3 สามารถทำให้วัสดุบางประเภทเป็น Ferromagnetic ได้

3.4 เมื่อเกิดคาร์บูไรเซชันมักทำให้เกิดการตกผลึกอื่นได้

3.5 คาร์บูไรเซชันจะทำให้มีปริมาตรของวัสดุเพิ่มมากขึ้น

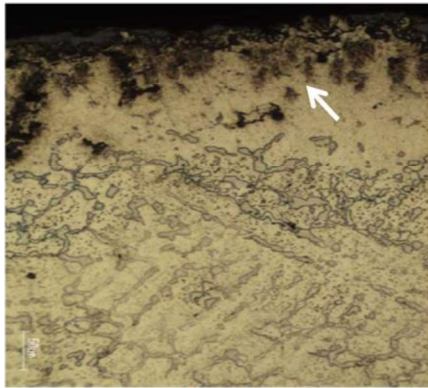
4. การป้องกันและข้อแก้ไข

4.1 ทำการเลือกขนาดผสมที่ทนต่อการเกิดคาร์บูไรเซชันโดยอาจจะให้มีวัสดุที่สามารถกระตุ้นให้เกิด Oxide หรือ Sulfide ได้

4.2 ทำการลดปริมาณคาร์บอนในสภาพแวดล้อมใช้งานรวมถึงลดอุณหภูมิในการใช้งานลง



รูปที่ 2 ชั้นของคาร์บูไรเซชันจากด้านในหลังกัดกรด[5]



Outside

รูปที่ 3 ชั้นของคาร์บูไรเซชันจากกล้องจุลทรรศน์[5]

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุ 25Cr - 35Ni% มีชื่อทางการค้าว่า KHR35CT เป็นวัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่ม High Pressure Heat resistance Alloys (HP alloys) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบ ออสเทนเนติกเนื่องจากมีธาตุผสมจำพวก นิกเกิล โครเมียมและนาโอเบียมที่มีปริมาณค่อนข้างสูงเพื่อใช้ในการทนความร้อนสูงและป้องกันหรือลดอัตราการเกิดการคืบ (Creep) ที่อุณหภูมิสูง โดยมีการนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตจำพวก Reformer furnace เช่น ethane feed naphtha และ จำพวก Methanol feed เป็นหลัก ในกระบวนการผลิต Heater Tube ชนิดนี้ได้มีการใช้วิธีการหล่อเหวี่ยง (Centrifugal Casting) มาใช้ในการขึ้นรูปเป็น Tube เนื่องจากการขึ้นรูปแบบปกติจะทำให้ยากเนื่องจากมีปริมาณธาตุผสมที่สูง โดยปริมาณธาตุผสมเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุผสม 25Cr - 35Ni (wt%)

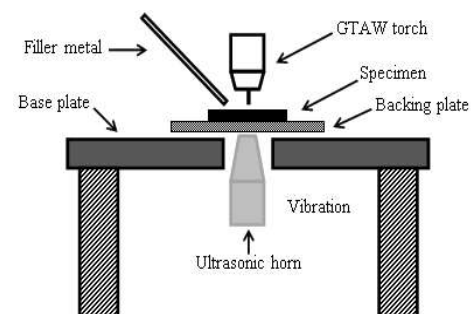
ชนิด	C	Mn	Si	Cr	Ni
ปริมาณ	0.45-0.55	2.0 max	1.5 max	24-27	33-37
ชนิด	Nb	Ti	P	S	Mo
ปริมาณ	0.4-1.0	Add.	0.03 max	0.03 max	0.5 max

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

ในการเชื่อมทดสอบสำหรับทำการทดลองนั้นได้มีการ

นำวัสดุประเภท KHR 35CT ที่มีลักษณะเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความหนา 0.5 นิ้ว มาทำการตัดให้เป็นชิ้นงานตามยาวของแนวท่อขนาด กว้าง 1.5 นิ้ว ยาว 5 นิ้ว โดยทำการตัดตามแนวยาวของท่อจึงทำให้ส่วนโค้งมีขนาดไม่มาก โดยประกอบด้วยชิ้นงานที่ได้ผ่านการใช้งานมาแล้วกับชิ้นงานใหม่ที่ไม่ผ่านการใช้งานเพื่อเชื่อมต่อเข้าด้วยกันในการทดสอบโดยมีขั้นตอนการเชื่อมคือ

1. นำชิ้นงานที่ได้ผ่านการตัดมาแล้วด้วยเครื่องตัดใบเลื่อยมาทำการบากร่องเป็นรูปตัววีให้ได้มุมที่ 70 องศา
2. ในชิ้นงานที่ไม่ต้องการใช้อัลตราโซนิกให้กับการเชื่อมต่อด้วยกระบวนการ GTAW โดยใช้กระแสที่ 120A ที่บริเวณตำแหน่งแนวเชื่อมแนวแรก (Root) และที่ 140A ที่ตำแหน่งชั้นของแนวเชื่อมต่อมาโดยทำการเชื่อมต่อยเป็นจำนวน 5 ชั้นทดสอบใช้แก๊สอาร์กอนรองหลังแนวเชื่อม
3. สำหรับชิ้นงานที่ต้องใช้คลื่นอัลตราโซนิกให้ทำการติดตั้งชิ้นงานกับเครื่องสั่นตัวอัลตราโซนิกและทำการเชื่อมด้วยตัวแปรเดียวกับข้อสองเพียงแต่เปิดเครื่องสั่นไปพร้อมกันเพื่อที่จะศึกษาผลกระทบจากการสั่นต่อแนวเชื่อมซ่อม โดยทำการเชื่อมเป็นจำนวน 5 ชั้นทดสอบใช้แก๊สอาร์กอนรองหลังแนวเชื่อม
4. ตรวจสอบแนวเชื่อมหลังการเชื่อมด้วยวิธีการพินิจ (Visual Test) เพื่อดูรอยบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงาน



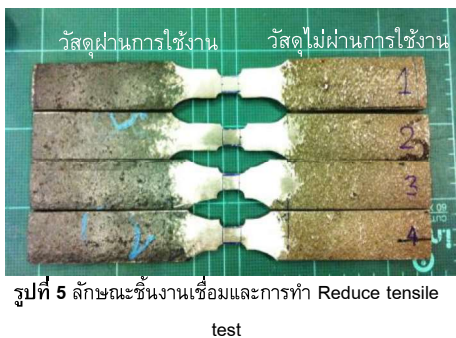
รูปที่ 4 ภาพจำลองการทดลองเชื่อมแบบมีการสั่นแบบอัลตราโซนิก

3.3 การทดสอบ

ในการทดสอบชิ้นงานหลังการเชื่อมของชิ้นงานที่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิกเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้รับการสั่นแบบอัลตราโซนิกของวัสดุ 25Cr-35Ni

เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อปอ
หลอมระหว่างการเย็นตัวของปอหลอมดังกล่าว การ
วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคได้ถูกนำมาใช้ในการ
เปรียบเทียบของชิ้นงานที่ได้รับการสั่นและไม่ได้รับ
การสั่นแบบอัลตราโซนิกโดยชิ้นงานได้ถูกทำการ
เตรียมและกัดกรด ซึ่งกรดที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ
 $30\% \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งสามารถกัดกรดกับวัสดุชนิด
25Cr-35Ni ได้ค่อนข้างเหมาะสม หลังจากการกัดกรด
ชิ้นงานได้ทำการวิเคราะห์จุลภาคและการใช้
Scanning electron microscope (SEM) และ Energy
dispersive spectroscopy (EDS)

การทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่
ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกและกับ
ชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิก
ได้เปรียบเทียบโดยการทดสอบแรงดึงและการทดสอบ
ค่าความแข็งระดับจุลภาคเพื่อนำผลที่ได้มาพิจารณา
เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งการทดสอบแรงดึง
ได้มีการใช้การเตรียมชิ้นงานพิเศษคือ Double
reduce tensile เพราะชิ้นงานได้ถูกตัดมาจากชิ้นส่วน
ที่เป็นท่อน ดังนั้นการที่จะบังคับให้ขาดจะต้องทำ
Double reduce tensile ความกว้างที่บริเวณแนวเชื่อม
ให้เหลือ 10 มม. จาก 19 มม. เป็นอย่างละ 4 ชิ้นดังรูป
ที่ 5 และการทดสอบค่าความแข็งที่ใช้ในการทดสอบ
การทดสอบนี้ได้มีการนำการวัดค่าความแข็งระดับ
จุลภาค (Vickers's hardness) ที่ใช้แรงกด 100 gmf



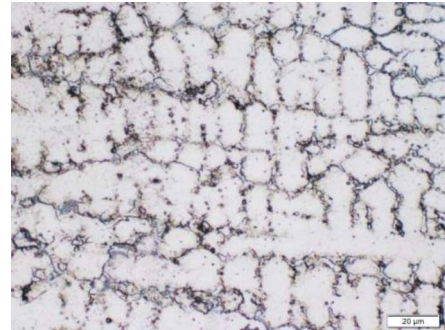
รูปที่ 5 ลักษณะชิ้นงานเชื่อมและการทำ Reduce tensile test

4. ผลการทดลอง

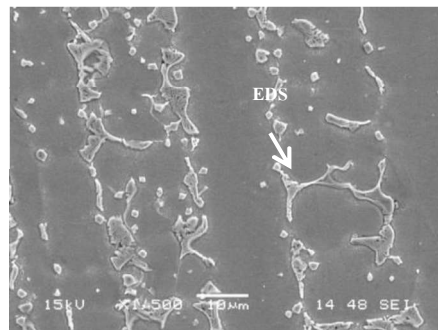
4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของการทดลอง
พบว่าดังรูปที่ 5 เป็นรูปโครงสร้างทางจุลภาคของ
ชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกที่
มีกำลังขยาย 500 เท่าจะเห็นได้ว่าการแข็งตัวของน้ำ
โลหะและมีการเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์

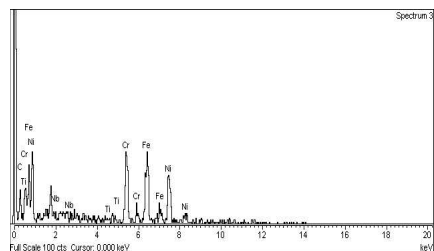
เป็นไปในรูปแบบที่เป็นทิศทางเดียวกัน โดยจะพบว่า
ส่วนบริเวณพื้นของชิ้นงานมีโครงสร้างเป็นออสเทนไต์
เป็นหลักและบริเวณของขอบเกรนพบการตกผลึกของ
โครเมียมคาร์ไบด์จำนวนมากและเป็นชั้นหนาแน่นทั่ว
ทั้งที่มีการแข็งตัวไปในแนวเดียวกันคือบริเวณเข้าสู่
ศูนย์กลางของปอหลอม



รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่ไม่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิก กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 7 ภาพ SEM ชิ้นงานที่ไม่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิก กำลังขยาย 1500 เท่า



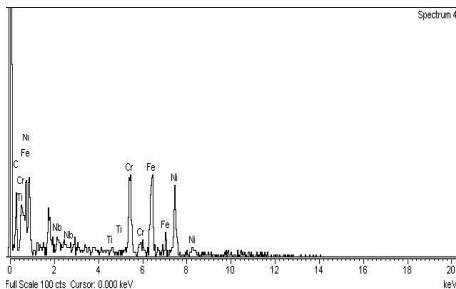
รูปที่ 8 ภาพ EDS บริเวณพื้นของโครงสร้างชิ้นงานที่ไม่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิก

และเมื่อทำการพิจารณาด้วย SEM ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็น
การใช้กำลังขยายที่สูงขึ้นคือที่ 1500 เท่าจะเห็นได้ชัด
ว่าการแข็งตัวของน้ำโลหะมีทิศทางไปในแนวทาง

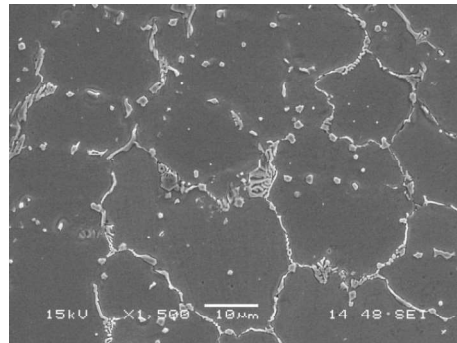
เดียวกันอย่างชัดเจนอีกทั้งพบว่าที่พื้นของชิ้นงานมีโครงสร้างหลักเป็นออสเทนไนต์ที่มีการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนอย่างชัดเจนจากผลทดสอบด้วย EDS ในรูปที่ 8 ที่พบว่าปริมาณของนิกเกิลค่อนข้างสูง โดยการตกผลึกที่พบจากการทดสอบมีลักษณะรวมตัวกันเป็นกลุ่มไม่กระจายเข้าสู่เนื้อเกรน แต่ในขณะที่มีการพิจารณาวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคในรูปที่ 9 ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกระหว่างการเย็นตัวของบ่อหลอมมีกำลังขยาย 500 เท่า พบว่าลักษณะของการแข็งตัวของน้ำโลหะมีทิศทางที่ไม่แน่นอนและขนาดของเกรนที่เกิดขึ้นเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ชิ้นงานไม่มีผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกและเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย SEM ใน



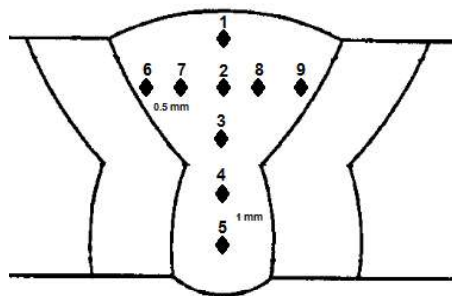
รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคชิ้นงานที่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิกกำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 11 ภาพ EDS บริเวณพื้นของโครงสร้างชิ้นงานที่มีสั่นแบบอัลตราโซนิก



รูปที่ 10 ภาพ SEM ชิ้นงานที่มีการสั่นแบบอัลตราโซนิกกำลังขยาย 1500 เท่า



รูปที่ 12 ตำแหน่งการวัดค่าความแข็งระดับจุลภาค

ที่ 10 ที่มีกำลังขยาย 1500 เท่าพบว่าบริเวณพื้นของชิ้นงานมีโครงสร้างออสเทนไนต์ซึ่งมีการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ขนาดเล็กและค่อนข้างกลมตกผลึกกระจายทั่วชิ้นงานจากผลของ EDS ดังรูปที่ 11 ที่พบปริมาณนิกเกิลสูง ซึ่งขนาดของเกรนที่เกิดขึ้นมีขนาดที่เล็กลงจึงพบว่าการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนมีขนาดที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่มีผลกระทบจากการสั่นแบบอัลตราโซนิกซึ่งขนาดที่ลดลงเนื่องมาจากการที่ปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ตกผลึกเข้าไปในเนื้อเกรนมากขึ้นและปริมาณของเกรนที่สูงขึ้นแต่ในกรณีของชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการสั่นแบบอัลตราโซนิกมีการตกผลึกในเนื้อเกรนน้อยจึงทำให้เกิดการตกผลึกที่ขอบเกรนจำนวนมาก

4.2 การทดสอบค่าความแข็งจุลภาค

จากผลการทดสอบค่าความแข็งจุลภาคที่บริเวณเนื้อเชื่อมหลังการเย็นตัวโดยได้มีการกำหนดจุดการทดสอบทั้งหมด 9 จุดแบ่งเป็นการทดสอบแบบแนวตั้งจำนวน 5 จุดและแนวนอนจำนวน 4 จุดดังรูปที่ 12 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบการเย็นตัวเนื่องจากวัสดุมี

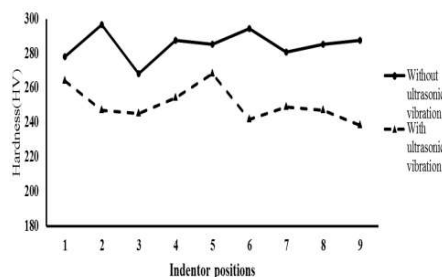
ส่วนผสมที่แตกต่างกันเนื่องจากชิ้นงานถูกการใช้งานและเสื่อมสภาพบางส่วน ผลการทดสอบดังรูปที่ 13 พบว่าชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลการสั่นแบบอัลตราโซนิกมีค่าความแข็งเฉลี่ยในแนวตั้งเท่ากับ 283.10 HV ค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 10.70 HV และค่าความแข็งเฉลี่ยในแนวนอนเท่ากับ 286.93 HV ค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 5.63 HV ส่วนชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัล

ตราโซนิกมีค่าความแข็งเฉลี่ยในแนวตั้งเท่ากับ 255.72 HV ค่าความเบี่ยงเบนเท่ากับ 10.20 HV และค่าความแข็งเฉลี่ยในแนวนอนเท่ากับ 243.93 HV ค่าความเบี่ยงเบนเท่ากับ 4.86 HV ซึ่งเห็นได้ว่าผลการวัดค่าความแข็งของแนวตั้งและแนวนอนมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้ามีเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ได้รับและ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบแรงดึง

Specimen	UTS[Mpa]	Gauge length[l ₀]	Length after reactivation[l ₁]	Elongation[%]
Without ultrasonic vibration	468.37	11.40	11.75	3.07
With ultrasonic vibration	409.05	11.40	12.25	7.46

ผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกพบว่าชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกมีค่าความแข็งที่ลดลงเพราะการเกิดการตกผลึกโครเมียมคาร์ไบด์กระจายตัวเข้าไปในเนื้อเกรนมากขึ้นและเป็นลักษณะก่อนกลม อีกทั้งที่ขอบเกรนการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์มีขนาดไม่ใหญ่มากเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิก เนื่องจากเกิดขอบเกรนมากขึ้นจึงทำให้ค่าความแข็งลดลง



รูปที่ 13 ค่าความแข็ง Vickers's ของชิ้นงานทดสอบ

4.3 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่มีการเตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นแบบ Double reduce tensile เพื่อเป็นการบังคับให้เกิดการขาดตัวที่แนวเชื่อมของชิ้นงานที่ได้รับและไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิก พบว่าผลการทดสอบแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นงานไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกที่แรงดึงมีทิศตั้ง

ฉากกับแนวเชื่อมมีค่าเท่ากับ 468.37 Mpa ค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 26.67 Mpa (ค่าแรงดึงอยู่ในช่วง 445.75 – 503.85 Mpa) และมีค่า Elongation เฉลี่ยที่ 3.07% และค่าแรงดึงเฉลี่ยของชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกเท่ากับ 409.09 Mpa ค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 13.24 Mpa (ค่าแรงดึงอยู่ในช่วง 395.03 – 426.94 Mpa) และมีค่า Elongation เฉลี่ยที่ 7.46% ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งจากผลการทดสอบเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกมีค่าแรงดึงที่ลดต่ำลงแต่มีค่า Elongation ที่สูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการตกผลึกเข้าไปในเนื้อเกรนที่มากขึ้นและเป็นลักษณะกลมจึงมีค่าแรงดึงที่ต่ำลงแต่ก็ให้ความเหนียวของชิ้นงานที่สูงขึ้นเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิก

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่มีการพิจารณาการเชื่อมวัสดุที่ผ่านการใช้งานและเกิดการเสื่อมสภาพนำมาเชื่อมกับชิ้นงานที่ไม่เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุ 25Cr – 35Ni ซึ่งจุดประสงค์หลักของการทดลองนี้คือการให้ผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกเข้าไปในบ่อหลอมระหว่างการเชื่อมและแข็งตัวของโลหะที่มีการเกิดปริมาณคาร์บอนแพร่เข้ามาในเนื้อวัสดุจากการใช้งานโดยการทดลองเชื่อมนั้นได้จำลองการเชื่อมชิ้นงาน

โดยติดตั้งชุดการสั่นแบบอัลตราโซนิกเข้ากับชิ้นงานที่ใช้ลวดเชื่อมชนิดเดียวกับวัสดุ ในการประเมินผลของการทดลองได้นำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคแบบจุลทรรศน์และ Scanning electron microscopy (SEM) และ Energy dispersive spectroscopy (EDS) มาใช้ในการประเมินพร้อมทั้งทดสอบแรงดึงและวัดค่าความแข็งแรงระดับจุลภาคเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ได้รับและไม่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิก ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกเกิดการแข็งตัวของเกรนที่ไม่เป็นทิศทางและขนาดเกรนมีขนาดที่เล็กลง อีกทั้งการเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรนมีขนาดลดลงและกระจายเข้าสู่เนื้อเกรนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้รับผลกระทบซึ่งเป็นผลมาจากการที่เกรนมีขนาดเล็กลงจึงทำให้ขอบเกรนมีพื้นที่มากขึ้นอีกทั้งยังเกิดการตกผลึกเข้าไปในเนื้อเกรนอีกจำนวนมากพื้นที่การตกผลึกจึงกระจายตัวมากขึ้น สำหรับคุณสมบัติทางกลเมื่อชิ้นงานได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิกมีค่าต่ำลงทั้งการทดสอบแรงดึงและค่าความแข็งแรงระดับจุลภาคเนื่องมาจากการที่โครงสร้างเกิดการตกผลึกของโครเมียมคาร์ไบด์กระจายเข้าสู่เนื้อเกรนมากขึ้นและตกผลึกเป็นลักษณะก่อนกลมซึ่งทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงแต่ทำให้เกิดความเหนียวมากขึ้นในชิ้นงานที่ได้รับผลกระทบการสั่นแบบอัลตราโซนิก

เอกสารอ้างอิง

- [1] R.Dehmolaei, M.Shamanian, A.Kermanpur, Effect of Electromagnetic Vibration on the Unmixed Zone Formation in 25Cr-35Ni Heat Resistant Steel/Alloy 800 Dissimilar Welds, Material's Characterization 59(2008) 1814-1817.
- [2] Y. Cui, C.L. Xu and Q. Hua. Effect of Ultrasonic Vibration on Unmixed Zone Formation, Scripta Materialia 55(2006) 975-978.
- [3] Titinan Methong, Bovornchok Poopat, The effect of Ultrasonic Vibration on Properties of Weld Metal, Key Engineering Materials Vol.545(2013) pp 177-181.
- [4] Michael J. Troughton, 2008, Handbook of Plastics Joining, 2nd ed., William Andrew Inc., Norwich, New York, pp. 23-30.
- [5] API 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. December 2003.
- [6] R. Dehmolaei, M. Shamanian, A. Kermanpur, Microstructure Characterization of Dissimilar Welds Between Alloy 800 and HP Heat-Resistant Steel, Material's Characterization 59(2008) 1447-1454.
- [7] W. A. Baeslack, J.C. Lippold and W.F. Savage, Unmixed Zone Formation in Austenitic Stainless Steel Weldments, Welding Research Supplement(1979) 168s-176s.
- [8] Qingmei Liu, Qijie Zhai, Feipeng Qi, Yong Zhang, Effects of Power Ultrasonic Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of T10 Steel, Material Letters(2007) 2422-2425.
- [9] Saeed Reza Allahkaram, Sadegh Borjali, Hamed Khosravi, Investigation of Weldability and Property Changes of High Pressure Heat-Resistant Cast Stainless Steel Tubes Used in Pyrolysis Furnaces After a Five-Year Service, Material and Design33(2012) 476-484.
- [10] J.N.Dupont, S. W. Banovic and A. R. Marder, Microstructural Evolution and Weldability of Dissimilar Welds Between a Super Austenitic Stainless Steel and Nickel-Based Alloys, Welding Journal(2003) 125s-135s.
- [11] G.I. Eskin, Ultrasonic Treatment of Light Alloy Melts, Gordon and Breach, London, 1998, p.18.
- [12] H.M. Tawancy, Degradation of Mechanical Strength of Pyrolysis Furnace Tubes by High-Temperature Carburization in a Petrochemical Plant, Engineering Failure Analysis 16(2009) 2171-2178.