

อิทธิพลของสนามแม่เหล็กภายนอกต่อสมบัติแนวเชื่อมพอกผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์ค

The influence of external magnetic field on the welded hardfacing properties of the low carbon steel based on gas tungsten arc welding process

สุริยา ประสมทอง^{1*} และ สุริยา น้ำแก้ว¹
Suriya Prasomthong^{1*} and Suriya Namkeaw¹

บทคัดย่อ

การเชื่อมพอกผิวแข็งเป็นหนึ่งในกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุดในการปรับปรุงชิ้นส่วนที่มีการสึกหรอ เช่น ชิ้นส่วนด้านการเกษตรกรรม ชิ้นส่วนในโรงงานน้ำตาล หรือชิ้นงานที่มีการเสียดสีของวัสดุ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของสนามแม่เหล็กภายนอกต่อโครงสร้างจุลภาค และสมบัติทางกลของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง บนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1015 ใช้ลวดเชื่อมพอกผิวแข็งไส้ฟลักซ์ ประยุกต์ใช้กระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์คแบบอัตโนมัติ ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ 50-200 เกาส์ ทำการตรวจสอบการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งตามมาตรฐาน ASTM-G65 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากการทดลองพบว่า สนามแม่เหล็กจากภายนอกมีผลต่อการกวนของบ่อหลอมละลายในแนวเชื่อมส่งผลต่อจุดบกพร่อง เมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มสูงขึ้นแนวโน้มของจุดบกพร่องในแนวเชื่อมมีค่าลดลง การกระจายตัวของธาตุผสมในแนวเชื่อมดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กความเข้มแนวเชื่อมมีค่าสูงขึ้นและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมลดลง

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็กภายนอก เชื่อมพอกผิวแข็ง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ การเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์ค

Abstract

The weld hard facing process is one of most commonly used to improve the parts that are worn such as the component of agriculture, sugar mills or the friction material. The research objective was to study the influence of the magnetic field on both microstructure and the mechanical properties of the low carbon steel AISI 1015 welding hard facing. Using flux core wire welding hard facing, the process used by the automatic gas tungsten arc welding (GTAW) the concentration of 50-200 gauss magnetic field. The welding hard facing wear that investigation by ASTM G-65 study the microstructure and the chemical composition of the welding hard facing by scanning electron microscope (SEM) technical. The investigation has shown that the external magnetic affecting the stirring of the weld pool on the affect porosity in the weld. When increasing the intensity of the magnetic field increases trend of defects

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 72130

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi 72130

* Corresponding author. E-mail: suriya.p@rmutsb.ac.th

in the weld decreased, the distribution of alloying elements in the weld was better when the intensity of the magnetic field. The hardness of the welding hard facing was found that the higher and the wear rate of welding hard facing.

Keywords: external magnetic field, hard facing, low carbon steel, gas tungsten arc welding

บทนำ

การใช้สนามแม่เหล็กจากภายนอก (external magnetic fields) ในกระบวนการเชื่อมจากการวิจัยพบว่าช่วยเพิ่มสมบัติทางกลให้กับแนวเชื่อมและคุณสมบัติทางเคมีอย่างหลากหลาย เช่น ช่วยในการกระจายตัวของโครเมียมในเหล็กกล้าไร้สนิม ลดการสูญเสียโครเมียม ตลอดจนลดความไวในการกัดกร่อนเพิ่มความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของแนวเชื่อม หรือแม้แต่ลดการกัดขอบแนวเชื่อม การกระเด็นของเม็ดโลหะ ความแข็ง และความแข็งแรงของแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น (Curiel *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2016) ที่ผ่านมาในการเชื่อมต่อวัสดุหลายชนิดได้นำสนามแม่เหล็กจากภายนอกมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง Liu *et al.* (2016) ศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กจากภายนอกที่ส่งผลต่อแนวเชื่อมในการเชื่อมต่ออลูมิเนียมผสมกับทองแดงบริสุทธิ์พบว่าลดความร้อนในแนวเชื่อมสามารถปรับปรุงการหลอมละลายและเพิ่มความแข็งแรงสูงกว่าการเชื่อมที่ปราศจากสนามแม่เหล็ก Liu *et al.* (2015) กล่าวว่าสนามแม่เหล็กจากภายนอกสามารถยับยั้งการกระจายตัวของเหล็กในแนวเชื่อมแต่ในทางตรงกันข้ามกับช่วยในการกระจายตัวของซิลิกอนได้ กระบวนการต่อวัสดุเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กภายนอกมีค่าสูงขึ้นส่งผลต่อกลไกการเกิดนิวเคลียสในแนวเชื่อมเพราะสนามแม่เหล็กทำให้พลังงานอิสระเชิงปริมาตร

(ΔG_v) ในโลหะหลอมเหลวมีค่าลดลงจึงส่งผลโดยตรงต่อการเกิดโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม ตลอดจนการกระจายตัวของสารมลทินในกลไกการแข็งตัวและเกิดสารประกอบได้ดีในเหล็กกล้าคาร์บอนหลอมเหลว (Zaidat *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2016) ประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กจากภายนอกในกลไกการแข็งตัวของเหล็กหล่อรอบสูง (cast high speed steel roll) สามารถช่วยในการปรับปรุงขนาดของเกรนและลดการตกค้างของโครงสร้างออสเตนไนต์เพิ่มความแข็งแรงของเหล็กหล่อรอบสูงและสนามแม่เหล็กจากภายนอกช่วยเพิ่มสมบัติทางกลดีขึ้น เช่น สมบัติด้านการสึกหรอ และด้านความล้า จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นสามารถชี้ให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กจากภายนอกช่วยในการกระจายตัวของธาตุผสมในแนวเชื่อมปรับปรุงขนาดของโครงสร้างภายในและกระตุ้นให้เกิดสารประกอบทางโลหะซึ่งส่งผลต่อสมบัติทางกลของแนวเชื่อมโดยตรง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงแนวความคิดในการศึกษาวิจัยการนำสนามแม่เหล็กจากภายนอกมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงแนวเชื่อมพอกผิวแข็งเพราะในการต้านทานการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยขนาด รูปทรง การกระจายตัวและส่วนผสมทางเคมีของคาร์ไบด์ ตลอดจนรูปแบบของโครงสร้างจุลภาคในแนวเชื่อม

(Kumar *et al.*, 2000; Buchely *et al.*, 2005; Kenchi Reddy and Jayadeva, 2014) ซึ่งผลการทดลองของงานวิจัยนี้คาดว่าจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อทางเลือกของการเชื่อม และเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาสมบัติของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กจากภายนอกแบบตัดขวาง ด้วยกระบวนการเชื่อมแก๊สทั้งสแตนอาร์ค (GTAW) โดยวัตถุประสงค์ของงานทดลองต้องการศึกษาผลจากการสั่นแกว่งของลำอาร์คที่ส่งผลต่อความแข็ง การสึกหรอ โครงสร้างจุลภาค และการกระจายตัวของธาตุผสมของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง วิธีการทดลองแสดงดังนี้

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

การทดลองใช้สนามแม่เหล็กตัดขวางกับลำอาร์ค ส่วนประกอบหลัก แสดงดัง (Figure 1) ซึ่งประกอบด้วย โพลแม่เหล็กทั้งหมด 4 ขั้ว (2 คู่) โดยแต่ละโพลนั้นจะถูกเหนี่ยวนำจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดที่พันรอบแกนวัสดุที่มีความสามารถเป็นแม่เหล็ก เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กบนแผ่นโต๊ะงาน และสามารถควบคุมความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นหน้าโพลที่ประกอบด้วยความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 เกาส์ โดยใช้เกาส์มิเตอร์วัดความเข้มของสนามแม่เหล็ก ซึ่งการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กส่งผลต่อการบิดเบี้ยวของเปลวอาร์ค เมื่อทำการปล่อยสนามแม่เหล็กตัดขวางแนวเชื่อมระหว่างโพลทั้งสองขั้วทำให้เปลวอาร์คเกิดการสั่นแกว่งตามรอบของเวลาที่ถูกกำหนด สำหรับการทดลองนี้ใช้รอบเวลาในการสั่นแกว่งเปลวอาร์คที่ 1 วินาที

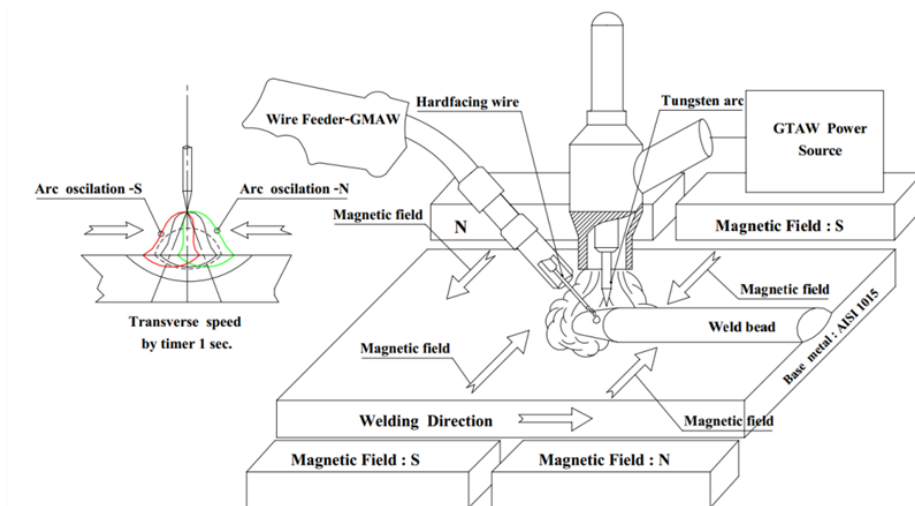


Figure 1 The controlled switch pole transverse weld. Arc shaped flame on the induction of the magnetic field and characteristics in the experiment.

Table 1 The chemical composition of the filler wire and the materials experiments. (%wt)

element	C	Mn	S	P	Cr	V	Si	Fe
filler wire	0.51	1.82	0.002	0.012	7.017	0.321	0.687	bal
AISI 1015	0.18	0.60	0.05	0.04	0.01	-	-	bal

กระบวนการเชื่อมและวัสดุในการทดลอง

การทดลองใช้การเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมแบบทังสเตนอาร์ค (GTAW) เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในการเชื่อมเป็นแบบรักษากระแสคงที่ ในการเชื่อมใช้อิเล็กโทรดแบบ EWTh-2 ขนาด 2.4 มิลลิเมตร ด้วยการต่อขั้วไฟฟ้าแบบ DCEN ใช้แก๊สเฉื่อยในการปกคลุมชนิดอาร์กอนที่อัตราการไหลของแก๊ส 15 ลิตรต่อนาที ลวดเชื่อมพอกผิวแข็งประเภทใส่ฟลักซ์ DIN:MF-6-GF-60-GP ขนาด 1.6 มิลลิเมตร ประยุกต์การเติมลวดแบบอัตโนมัติที่ความเร็วในการเติม 5 เมตร/นาที ด้วยกระบวนการ GMAW ทำการเชื่อมแบบแนวเดียวบนแผ่นชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1015 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุในการเชื่อมและลวดเชื่อม แสดงดัง (Table 1) ขนาดชิ้นงานเชื่อม 220×150×10 มิลลิเมตร แสดงดัง (Figure 2) ตัวแปรในการเชื่อมใช้กระแสไฟที่ 170 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 100 มิลลิเมตร/นาที

การตรวจสอบโครงสร้างและสมบัติแนวเชื่อม

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแนวเชื่อมพอกผิวแข็งภายใต้สภาวะสนามแม่เหล็ก บนแผ่นเหล็กกล้า

คาร์บอนต่ำ การเตรียมชิ้นงานทดสอบ แสดงดัง (Figure 2) ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคเลือกชนิดการกัดกรดตามมาตรฐาน ASTM E470 (ASTM, 2007) ตลอดจนทำการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคและการกระจายตัวของธาตุผสมในแนวเชื่อม ทำการตรวจสอบบริเวณพื้นที่แนวเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope : SEM) รุ่น JEOL scanning electron microscope JSM-5410LV เชิงปริมาณที่เกิดจากผลกระทบของสนามแม่เหล็กภายนอกกับการเชื่อมที่ได้รับสนามแม่เหล็ก ส่วนการทดสอบสมบัติทางกลทำการตรวจสอบความแข็งโดยการกดผ่านแนวเชื่อมตามมาตรฐานการกดทดสอบ ASTM–E384 (ASTM, 1999) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบ Rockwell (HRC) แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย และทำการทดสอบการลึกรหรของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM - G65 (ASTM, 2000) ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้าขนาด 76×25 มิลลิเมตร การเตรียมชิ้นงานทดสอบ แสดงดัง (Figure 2) ชัดด้วยทรายละเอียดอัตราการไหลของทราย 300 กรัม/นาที เวลาในการทดสอบ 30 นาที สำหรับการทดสอบการลึกรหร

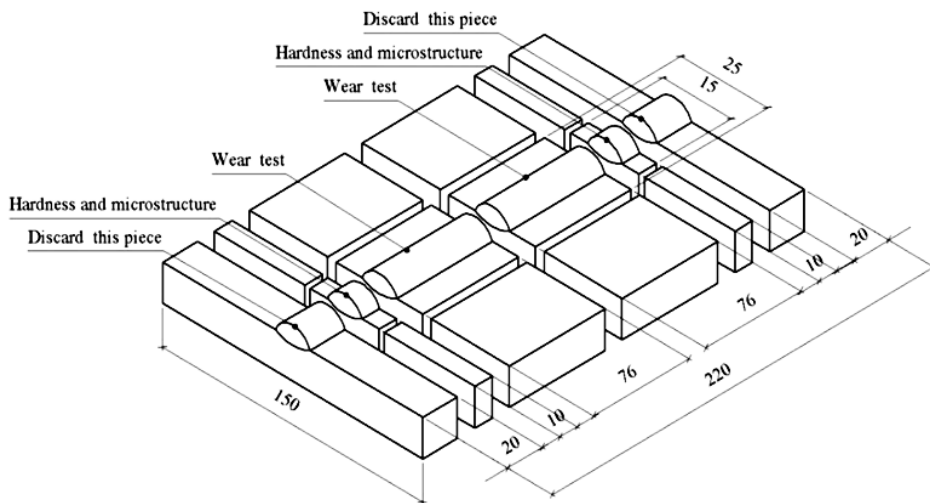


Figure 2 The specimens after welding which. Characterized by the cutting mechanical tests, microstructure and chemical composition of welding hardfacing.

ผลการศึกษา

การทดลองผลกระทบของสนามแม่เหล็ก ต่อแนวเชื่อมพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เทียบกับกระบวนการเชื่อมที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก ในการสั่นแกว่งของเพลวอาร์ค ทำการศึกษา โครงสร้างจุลภาค การกระจายตัวของธาตุผสมในแนว เชื่อมที่เกิดจากสนามแม่เหล็กและสมบัติทางกลของ แนวเชื่อมพอกผิวแข็ง ผลการทดลองแสดงดังนี้

โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

การทดลองเปรียบเทียบสนามแม่เหล็กภายนอก ต่อโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่ความเข้มของ สนามแม่เหล็กที่ 50-200 เกาส์ พบว่าในการเชื่อม ในสภาวะไร้สนามแม่เหล็กพบจุดบกพร่องในแนวเชื่อมสูง ดังแสดงใน (Figure 3a) แต่เมื่อทำการเชื่อมโดยปล่อย สนามแม่เหล็กจากภายนอกเพื่อให้เพลวอาร์คเกิดการ สั่นแกว่งที่ระดับความเข้มของสนามแม่เหล็ก 50 เกาส์

จากการสังเกตโครงสร้างจุลภาคพบว่าขนาดของ จุดบกพร่องและปริมาณจุดบกพร่องในแนวเชื่อมลดลง อย่างชัดเจน และเมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก สูงขึ้นเป็น 100, 150 และ 200 เกาส์ แนวโน้มของ จุดบกพร่องในแนวเชื่อมมีปริมาณลดลงแต่ที่ สนามแม่เหล็ก 200 เกาส์ จุดบกพร่องในแนวเชื่อม ต่ำสุดและลักษณะแนวเชื่อมคล้ายคาร์ไบด์เกิดขึ้น บริเวณแนวเชื่อมสลับกับโครงสร้างมาร์เทนไซต์ ซึ่งเกิด จากสนามแม่เหล็กจากภายนอกช่วยให้เกิดการสั่นของ บ่อหลอมละลายในแนวเชื่อมการไหลวนของน้ำโลหะ ในบ่อหลอมละลายดีขึ้น และลดการไหลย้อนกลับ ของน้ำโลหะในบ่อหลอมละลาย (Vives,1998; Abu-Dheir, 2005; Tamura *et al.*, 2006; Guo *et al.*, 2007; Omura *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2011; Senapati, 2014) ส่งผลต่อการลดการฝังตัวของสารมลทินในแนวเชื่อม ตลอดจนช่วยให้เกิดสารประกอบทางโลหะในขั้นตอน การแข็งตัว (Wang *et al.*, 2010) ของโลหะหลอมเหลว

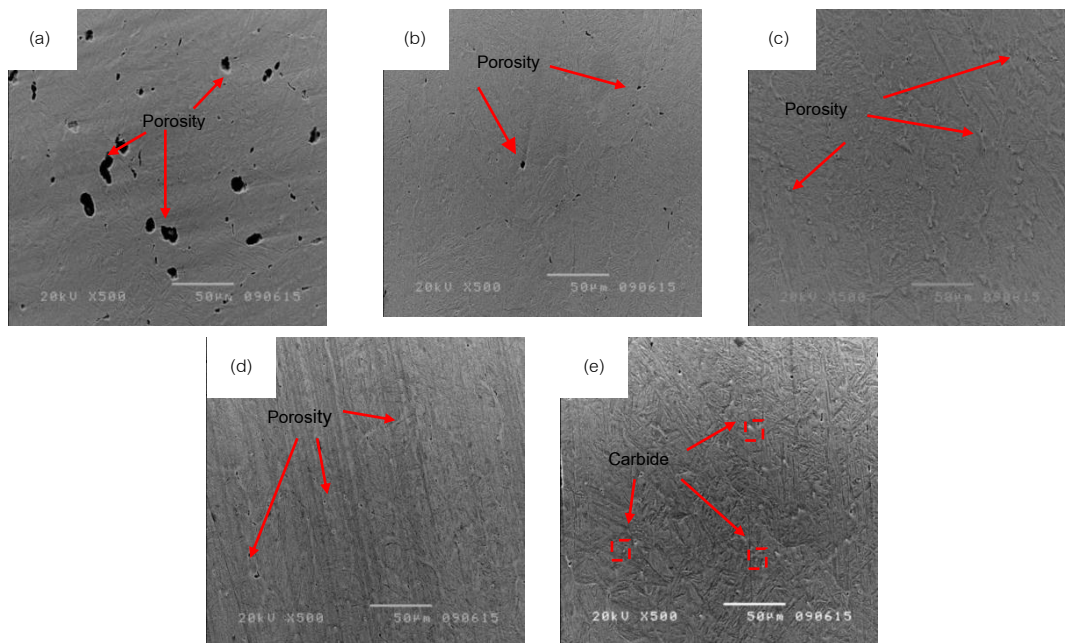


Figure 3 Microstructure of welding hard facing; (a) non-magnetic field; (b) magnetic field 50 gauss; (c) magnetic field 100 gauss; (d) magnetic field 150 gauss; and (e) magnetic field 200 gauss.

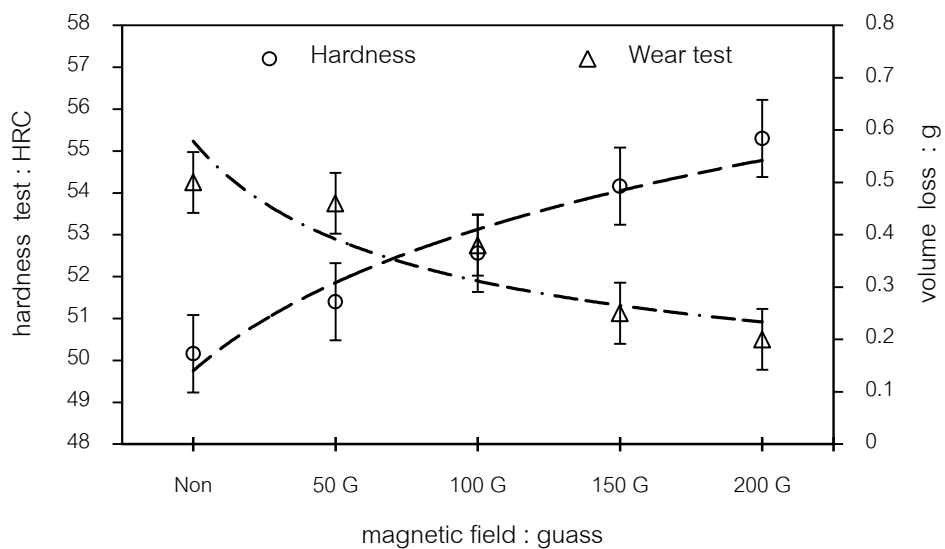


Figure 4 The hardness and the wear rate of the welding hard facing.

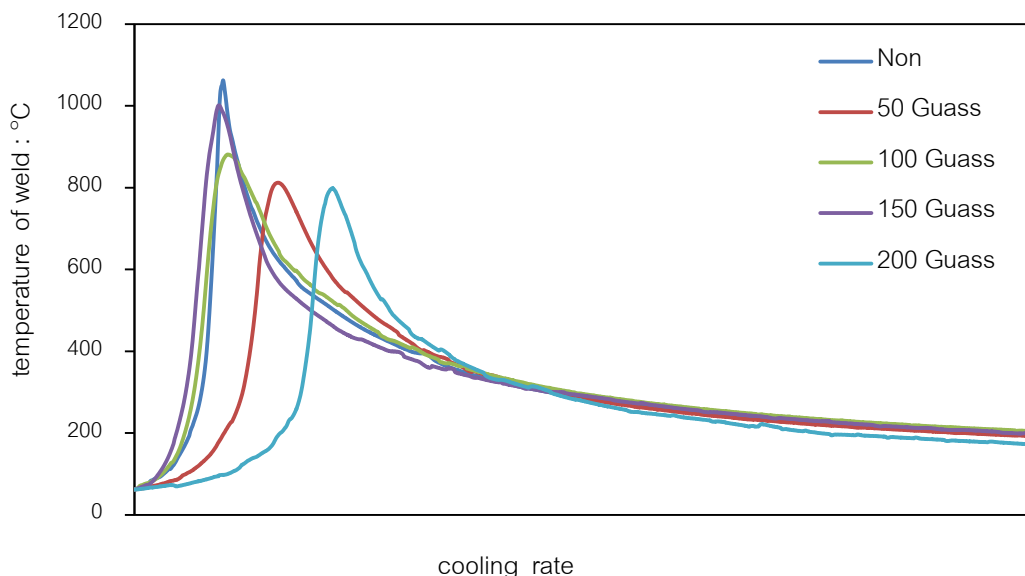


Figure 5 The cooling temperature of the welding hard facing.

ความแข็งและการสึกหรอของแนวเชื่อม

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งแสดงดัง (Figure 4) ทำการเปรียบเทียบการเชื่อมที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันกับสภาวะไร้สนามแม่เหล็ก การทดลองชี้ให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กจากภายนอกสามารถเพิ่มสมบัติทางกลของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง ที่การเชื่อมในสภาวะไร้สนามแม่เหล็กพบความแข็งของแนวเชื่อมมีความแข็งต่ำสุดที่ 50.16 HRC ส่งผลให้อัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมมีค่ามากที่สุดที่ 0.51 กรัม แต่เมื่อการทดลองการเชื่อมภายใต้สภาวะการสั้นแกว่งของสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 50 เกาส์ ค่าความแข็งของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น 2.47 เปอรเซ็นต์ และอัตราการสึกหรอลดลง 8 เปอรเซ็นต์ เทียบจากการเชื่อมในสภาวะปกติ และเมื่อเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มสูงขึ้นการสั้นแกว่งของเปลวเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้น

ส่งผลต่อการเจือจางระหว่างแนวเชื่อมกับโลหะฐาน จากการทดสอบความแข็งพบว่าแนวเชื่อมพอกผิวแข็งมีแนวโน้มสูงขึ้น ที่สนามแม่เหล็ก 100 เกาส์ ความแข็งสูงขึ้นเป็น 4.78 เปอรเซ็นต์ และปริมาณการสึกหรอลดลง 24 เปอรเซ็นต์ จากสภาวะไร้สนามแม่เหล็ก และเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กสูงขึ้นเป็น 150 เกาส์ ค่าความแข็งของแนวเชื่อมเพิ่มเป็น 7.97 เปอรเซ็นต์ ปริมาณการสึกหรอลดลง 38 เปอรเซ็นต์ จากการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ 200 เกาส์ ค่าความแข็งสูงสุดที่ 10.24 เปอรเซ็นต์ และอัตราการสึกหรอต่ำสุด 50 เปอรเซ็นต์ เมื่อเทียบกับการเชื่อมในสภาวะปกติที่ไร้สนามแม่เหล็ก จากการสังเกตพบว่าสนามแม่เหล็กที่สั้นแกว่งเปลวอาร์คทำให้เกิดการกวนในบ่อหลอมละลายของแนวเชื่อม ซึ่งส่งผลต่อความร้อนแนวเชื่อมลดลงและการระบายความร้อนได้เร็วขึ้น (Abugh and Kuncy, 2013) ดังแสดงใน

(Figure 5) ทำให้โครงสร้างแนวเชื่อมเกิดลักษณะคล้ายโครงสร้างมาร์เทนไซต์ซึ่งเกิดจากแนวเชื่อมเย็นตัวอย่างรวดเร็วทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงสูง (Vijayaram *et al.*, 2012) ดังแสดงใน (Figure 3e) จึงอาจกล่าวได้ว่าสนามแม่เหล็กจากภายนอกทำให้เปลวอาร์คเกิดการสั่นแกว่งส่งผลต่อการไหลวนของน้ำโลหะในบ่อหลอมละลายได้ดีจึงช่วยให้สมบัติทางกลของแนวเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น (Pučko *et al.*, 2005; Price *et al.*, 2006; Kuo *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2007; Tewari, 2009; Balasubramanian *et al.*, 2011)

การกระจายตัวและส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อม

การกระจายตัวของธาตุผสมในแนวเชื่อมพอกผิวแข็งทำการเปรียบเทียบธาตุผสมหลักที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อมซึ่งเป็นธาตุผสมที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลโดยตรงต่อแนวเชื่อมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณ จากการตรวจสอบพบว่าสนามแม่เหล็กจากภายนอกมีผลต่อการกระจายตัวของธาตุผสมในแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง สังเกตจากรูปการทดลองที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณส่วนผสมของธาตุในแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง เมื่อทำการเชื่อมแบบไร้สนามแม่เหล็กธาตุกระจายตัวในแนวเชื่อมต่ำ แต่ในทางกลับกันเมื่อเชื่อมภายใต้สนามแม่เหล็กการกระจายตัวของธาตุในแนวเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงใน (Figure 6a-d) สังเกตว่าเมื่อทำการเชื่อมในสนามแม่เหล็กปริมาณโครเมียมแมงกานีส และคาร์บอนมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นในแนวเชื่อม ซึ่งจากการวัดอุณหภูมิของแนวเชื่อมดังแสดงใน (Figure 5) ความเข้มของสนามแม่เหล็ก 200 เกาส์ อุณหภูมิของแนวเชื่อมต่ำสุดส่งผลต่อการเย็นตัวที่รวดเร็วส่งผลให้ลดอัตราการแพร่ของธาตุ

ผสมในแนวเชื่อม ตลอดจนการสูญเสียคาร์บอนของแนวเชื่อมจากการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง (decarburization) จากงานวิจัยพบว่า การเพิ่มขึ้นของคาร์บอน โครเมียม และแมงกานีสในแนวเชื่อมส่งผลให้อัตราการสึกหรอลดลงต่ำลง (Jagielski *et al.*, 2000; Kang *et al.*, 2001; Wei *et al.*, 2006a; Wei *et al.*, 2006b)

ลักษณะการสึกหรอของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

ลักษณะการสึกหรอของแนวเชื่อมถ่ายภาพการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) หลังจากการทดสอบการสึกหรอดังแสดงใน (Figure 7) ของชิ้นงานเชื่อมพอกผิวแข็งในสภาวะไร้สนามแม่เหล็กและแบบมีสนามแม่เหล็กสั่นแกว่งแนวเชื่อม พบลักษณะผิวการสึกหรอแตกต่างกัน (Figure 7a) ผิวการสึกหรอของแนวเชื่อมที่เชื่อมในสภาวะไร้สนามแม่เหล็กผิวการสึกหรอเป็นรอยยาวต่อเนื่องแบบลึกและพบลักษณะอนุภาคผิวบริเวณที่ถูกขัดสีคล้ายคาร์ไบด์หลุดแสดงถึงความเหนียวแนวเชื่อมต่ำอัตราการสึกหรอสูง แต่เมื่อเชื่อมในสภาวะสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 50 เกาส์ พบว่าผิวการสึกหรอแนวเชื่อมเป็นลักษณะรอยขีดแบบรอยยาวต่อเนื่องลักษณะรอยขีดเล็กและไม่พบการหลุดของอนุภาคของแข็งในแนวเชื่อมดังแสดงใน (Figure 7b) และเมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กในการสั่นแกว่งแนวเชื่อมสูงขึ้นพบลักษณะผิวการสึกหรอของแนวเชื่อมเป็นแบบผิวการสึกแบบต่อเนื่องลักษณะของผิวการสึกหรอละเอียดส่งผลให้อัตราการสึกหรอลดลง ดังแสดงใน (Figure 7c-e)

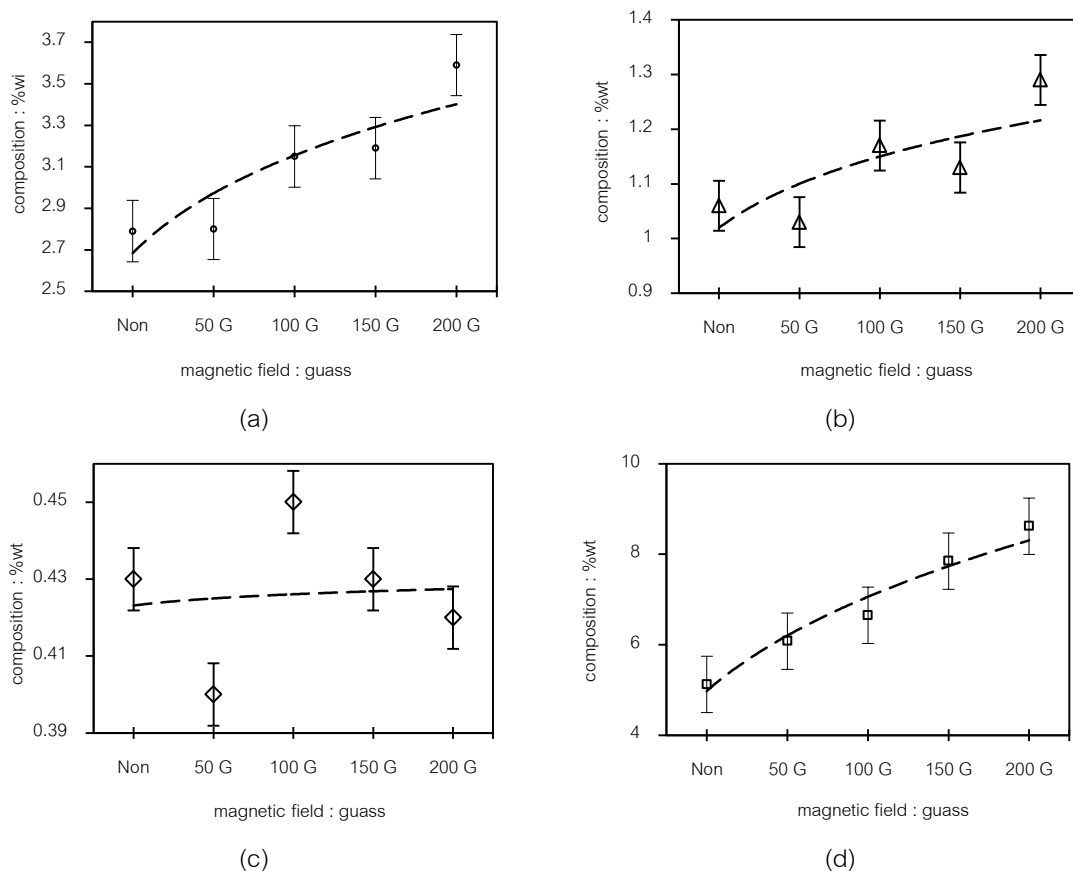


Figure 6 The chemical composition of the welding hard facing quantitative EDS techniques; (a) chromium; (b) manganese; (c) silicon; and (d) carbon.

สรุป

การทดลองการเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW ทำการเปรียบเทียบการเชื่อมแบบไร้สนามแม่เหล็กกับการเชื่อมแบบมีสนามแม่เหล็กจากภายนอกเส้นแกว่งแนวเชื่อมที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ 50-200 เกาส์จากนั้นนำชิ้นงานมาทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาค ทดสอบสมบัติทางกล และส่วนผสมทางเคมีของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งผลการทดลองแสดงดังนี้

1. โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่เชื่อมแบบไร้สนามแม่เหล็กจากการตรวจสอบพบจุดบกพร่องในแนวเชื่อมปริมาณสูงและมีขนาดใหญ่ แต่เมื่อประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กจากภายนอกเส้นแกว่งแนวเชื่อมจุดบกพร่องในแนวเชื่อมลดลง จากการทดลองพบว่าสนามแม่เหล็กจากภายนอกเพิ่มสูงขึ้นจุดบกพร่องในแนวเชื่อมมีขนาดและปริมาณลดลง

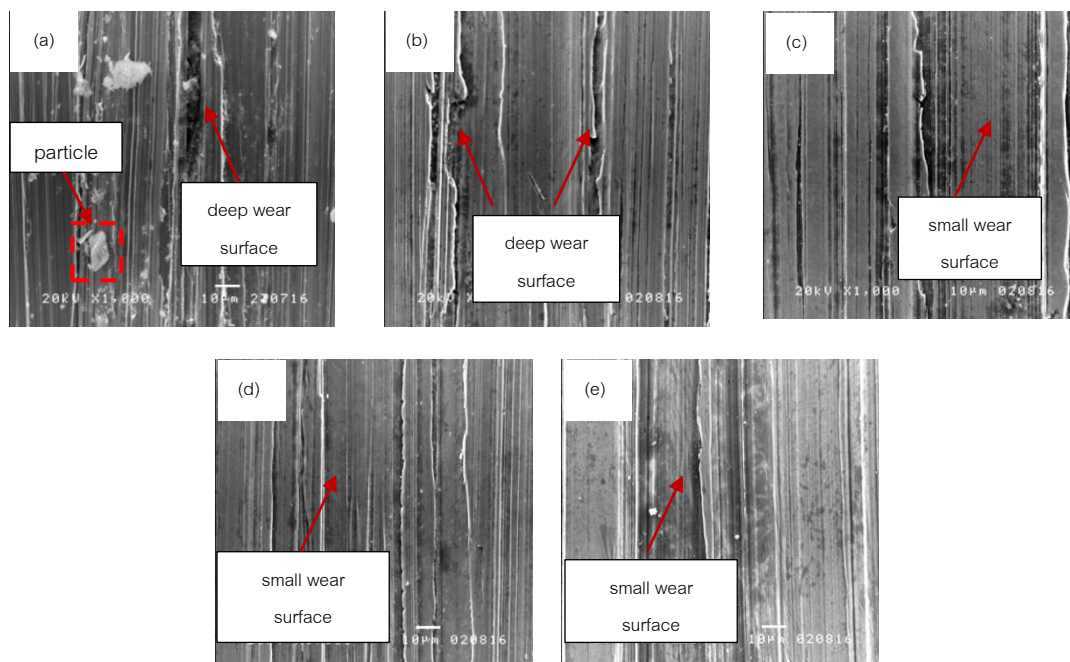


Figure 7 The micrograph of the wear surface of the welding hard facing; (a) non-magnetic field; (b) magnetic field 50 gauss; (c) magnetic field 100 gauss (d) magnetic field 150 gauss; and (e) magnetic field 200 gauss.

2. การเปรียบเทียบความแข็งและอัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมในการเชื่อมภายใต้สนามแม่เหล็ก จากภายนอกในการสั่นแกว่งแนวเชื่อมพบว่าให้ค่าความแข็งสูงกว่าการเชื่อมแบบไร้สนามแม่เหล็กและอัตราการสึกหรอต่ำ จากการทดลองพบว่าแนวโน้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มสูงขึ้นคุณภาพแนวเชื่อมพอกผิวแข็งดีขึ้น

3. ลักษณะการกระจายตัวของธาตุในแนวเชื่อม การเชื่อมภายใต้สนามแม่เหล็กกับการเชื่อมแบบไร้สนามแม่เหล็ก จากการทดลองพบว่าโครเมียม แมงกานีส และคาร์บอนในแนวเชื่อมมีการกระจายตัวได้ดีกว่าการเชื่อมในสภาวะไม่มีสนามแม่เหล็ก

4. คุณสมบัติของแนวเชื่อมพอกผิวแข็งที่เชื่อมในสภาวะมีสนามแม่เหล็กภายนอกในการสั่นแกว่งแนวเชื่อมเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มสูงขึ้น คุณสมบัติในแนวเชื่อมลดลงและอัตราการเย็นตัวของแนวเชื่อมเร็วขึ้น ทำให้แนวเชื่อมลดการสูญเสียคาร์บอนจากการเกิดปฏิกิริยากับบรรยากาศ เกิดลักษณะคล้ายโครงสร้างมาเทนไซต์ในแนวเชื่อมปริมาณสูง

5. ลักษณะผิวการสึกหรอของแนวเชื่อม ผิวการสึกหรอของแนวเชื่อมที่เชื่อมในสภาวะไร้สนามแม่เหล็กผิวการสึกหรอเป็นรอยยาวต่อเนื่องแบบลึก แต่เมื่อเชื่อมในสภาวะสนามแม่เหล็กที่พบว่าผิวการสึกหรอแนวเชื่อมเป็นลักษณะรอยขีดแบบรอยยาวต่อเนื่องลักษณะรอยขีดเล็กลง

6. อิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ใช้สำหรับ สันแกว่งแนวเชื่อมที่ระดับความเข้มข้นของ สนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันพบว่าที่สนามแม่เหล็ก 200 เกาส์ ให้ค่าความแข็งของแนวเชื่อมสูงสุดที่ 55.30 HRC อัตราการสึกหรอของแนวเชื่อมต่ำสุดที่ 0.2 กรัม จากการทดลองพบว่าการสันแกว่งของ แนวเชื่อมจากการกระทำของสนามแม่เหล็กส่งผลต่อ สมบัติทางกลของแนวเชื่อมพอกผิวแข็ง

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมนคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ให้การ สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และ ความช่วยเหลือใน การจัดทำงานวิจัยนี้ รวมไปถึงกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมนคลสุวรรณภูมิ และงบประมาณแผ่นดินปี 2559 ที่ให้ทุนสนับสนุน งานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Abu-Dheir, N. 2005. Experimental and numerical study of the effect of mold vibration on aluminum castings alloys. Ph.D. Dissertation. University of Kentucky, United States.
- Abugh, A. and I.K. Kuncy. 2013. Microstructure and Mechanical Properties of Vibrated Castings and Weldments: a Review. *Journal of Engineering Studies & Research* 19(1): 7-12.
- ASTM: American Society for Testing and Materials. 2007. Standard practice for microetching metals and alloys. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM. 1999. E384 Standard test method for microhardness of materials. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM. 2000. G65 Standard test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Balasubramanian, K., D. Kesavan and V. Balusamy. 2011. Studies on the effect of vibration on hot cracking and grain size in AA 7075 aluminum alloy welding. *International Journal of Engineering Science and Technology* 3(1): 681-686.
- Buchely, M.F., J.C. Gutierrez, L.M. León and A. Toro 2005. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear* 259: 52-61.
- Curiel, F.F., R. García, V.H. López and J. González-Sánchez. 2011. Effect of magnetic field applied during gas metal arc welding on the resistance to localised corrosion of the heat affected zone in AISI 304 stainless steel. *Corrosion Science* 53(7): 2393-2399.
- Guo, S., Q. Le, Z. Zhao and J. Cui. 2007. Microstructure character of AZ80 magnesium alloy ingots cast under electromagnetic vibration. *China Foundry* 4(1): 022-025.
- Jagielski, J., A.S. Khanna, J. Kucinski, D.S. Mishra, P. Racolta, P. Sioshansi, E. Tobin, J. Thereska, V. Uglov, T. Vilaithong, J. Viviente, S-Z. Yang and A. Zalar. 2000. Effect of chromium nitride coating on the corrosion and wear resistance of stainless steel. *Applied Surface Science* 156: 47-64.

- Price, J.W.H., A.M. Pardowska, R. Ibrahim and T.R. Finlayson. 2006. Residual stresses evaluation in welds and implications for design for pressure vessels application. *J. Pressure Vessel Technol.* 128(4): 638-643.
- Kang, Y.J., J.C. Oh, H.C. Lee. and S. Lee. 2001. Effects of carbon and chromium additions on the wear resistance and surface roughness of cast high-speed steel rolls. *Metallurgical and Materials Transactions A.* 32(10): 2515-2525.
- Kenchi Reddy, K.M. and C.T. Jayadeva. 2014. The effect of microstructure on 3 body abrasive wear behavior of hardfacing alloys. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science* 4(1): 14-23.
- Kumar, S., D.P. Mondal and A.K. Jha 2000. Effect of microstructure and chemical composition of hardfacing alloy on abrasive wear behavior. *Journal of materials engineering and performance* 9(6): 649-655.
- Kuo, C.W., C.M. Lin, G.H. Lai, Y.C. Chen, Y.T. Chang and W. Wu. 2007. Characterization and mechanism of 304 stainless steel vibration welding. *Materials transactions* 48(9): 2319-2323.
- Li, J.Q., Z.T. Fan, X.P. Dong, W. Liu and X. Li. 2011. Microstructure and mechanical properties of lost foam casting AZ91D alloy produced with mechanical vibration. *Advanced Materials Research* 213: 5-8.
- Li, H., D. Du, A. Gagnoud, Y. Fautrelle, R. Moreau and X. Li. 2016. Effect of a transverse magnetic field on solidification structure in directionally solidified Al-40 wt% Cu alloys. *Journal of Materials Research* 31(2): 213-221.
- Liu, Y.B., Q.J. Sun, H. Wang, H.M. Zhang, S.J. Cai and J.C. Feng 2016. Effect of the axial external magnetic field on copper/aluminium arc weld joining. *Science and Technology of Welding and Joining* 21(6):1-6.
- Liu, P., H.R. Geng, J. Wang, and H. Kameda. 2007. Microstructure characteristics in TIG welded joint of Mg/Al dissimilar materials. *Mater. Letter.* 61(6): 1288-1291.
- Liu, Y., Q. Sun, J. Liu, S. Wang and J. Feng. 2015. Effect of axial external magnetic field on cold metal transfer welds of aluminum alloy and stainless steel. *Materials Letters* 152: 29-31.
- Omura, N., Y. Murakami, M. Li, T. Tamura, K. Miwa, H. Furukawa, M. Harada and M. Yokoi. 2009. Effects of mechanical vibration on macrostructure and mechanical properties of AC4C aluminum alloy castings. *Materials transactions* 50(11): 2578-2583.
- Pučko, B. and V. Gliha. 2005. Charpy toughness of vibrated microstructures. *Metallurgija.* 44(2): 103-106.
- Senapati, A. and S. Mohanty. 2014. Effects of external magnetic field on mechanical properties of a welded M.S metal through metal shield arc welding. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 10(6): 297-303.
- Tamura, T., D. Kamikihara, Y. Mizutani and K. Miwa. 2006. Effects of electromagnetic vibrations on glass-forming ability in Fe-Co-B-Si-Nb bulk metallic glasses. *Materials transactions* 47(5): 1360-1364.

- Tewari, S.P. 2009. Influence of longitudinal oscillation on tensile properties of medium carbon steel welds of different thickness. *Thammasat Int. J. Sc. Tech.* 14(4): 17-27.
- Vijayaram, T.R., M. Sayuti and S. Sulaiman. 2012. Effect of mechanical vibration on the properties, microstructure and fractography of titanium carbide particulate-reinforced LM6 alloy composite castings. *Indian foundry Journal* 58(1): 23-33.
- Vives, C. 1998. Grain refinement in aluminium alloys by means of electromagnetic vibrations including cavitation phenomena. *JOM-e.* 50(2): 1-9.
- Wang, H., Z. Liao, H. Kong, W. Zhang, Z. Yin and S. Wang. 2010. The effects of steady magnetic field on solidification microstructure and distribution of impurity elements of molten carbon steel. *High Temperature Materials and Processes* 29(4): 225-232.
- Wei, S., Z. Jinhua, X. Liujie and L. Rui. 2006a. Effects of carbon on microstructures and properties of high vanadium high-speed steel. *Materials & Design* 27(1): 58-63.
- Wei, S., J. Zhu and I. Xu. 2006b. Effects of vanadium and carbon on microstructures and abrasive wear resistance of high speed steel. *Tribology International* 39(7): 641-648.
- Wu, C.S., F. Yang and J. Gao. 2016. Effect of external magnetic field on weld pool flow conditions in high-speed gas metal arc welding. *Journal of Engineering Manufacture* 230(1): 188-193.
- Zaïdat, K., T. Ouled-Khachroum, N. Mangelinck-Noël, G. Reinhart, M.D. Dupouy and R. Moreau. 2006. Effect of travelling magnetic field on the directional solidification of refined Al-3.5 wt% Ni alloys. *Materials Science Forum* 508: 221-226.
- Zhang, X., W. Liu, A. Godfrey, Q.L. Li and Q. Liu. 2010. Effect of magnetic field on solidification structure of a centrifugal cast high speed steel roll. *Materials Science and Technology* 26(10): 1177-1183.