

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลและค่าใช้จ่ายในการผลิต สำหรับการเลือกวัสดุใบมีดตัดทางปาล์ม

ปราโมทย์ พูนนายม¹ วรญา วัฒนจิตสิริ² สุรัตน์ ตรัณวนพงศ์³ และกิตติพงษ์ กิเมะพงศ์^{4*}
promote.p@en.rmutt.ac.th¹, voraya.w@en.rmutt.ac.th², surat.t@en.rmutt.ac.th³,
kittipong.k@en.rmutt.ac.th^{4*}

^{1-4*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received: August 7, 2017
Revised: November 1, 2017
Accepted: July 4, 2018

บทคัดย่อ

ปัญหาอายุการใช้งานที่สั้นของใบมีดตัดย่อยทางปาล์มส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องย่อยทางปาล์มลดลง การพัฒนาเพื่อหาใบมีดที่มีประสิทธิภาพและอายุการใช้งานสูงจึงเป็นเรื่องเร่งด่วนที่มีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ใน 1) การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของใบมีดโลหะ 4 ชนิด ประกอบด้วยเหล็กกล้า S45C SCM440 SUS304 และ SKD11 และ 2) การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตใบมีดย่อยทางปาล์ม ผลการทดลองโดยสรุปมีดังต่อไปนี้ ใบมีดเหล็กกล้า SKD11 ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยสภาวะที่กำหนดให้ค่าความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าใบมีดเหล็กกล้า SUS304 S45C และ SCM440 ที่ค่าประมาณร้อยละ 34 45 และ 60 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเหล็กกล้า S45C มีราคาต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าเหล็กกล้า SCM440 SKD11 และ SUS304 ประมาณร้อยละ 6 42 และ 52 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสมบัติทางกลเช่น ความต้านทานการสึกหรอและความแข็งและต้นทุนการผลิต ใบมีดเหล็กกล้า SKD11 และใบมีดเหล็กกล้า S45C มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นใบมีดย่อยทางปาล์มเครื่องตัดย่อยแบบใบมีดตั้งฉากตามลำดับ

คำสำคัญ: ปาล์ม เครื่องตัดปาล์ม การสึกหรอ ต้นทุนการผลิต

Comparative Study of Mechanical Properties and Production Cost for Palm Cutting Blade Materials Selection

Pramot Poonnayom¹ Voraya Wattanajitsiri² Surat Triwanapong³ and Kittipong Kimapong^{4*}
promote.p@en.rmutt.ac.th¹, voraya.w@en.rmutt.ac.th², surat.t@en.rmutt.ac.th³,
kittipong.k@en.rmutt.ac.th^{4*}

^{1-4*} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: August 7, 2017
Revised: November 1, 2017
Accepted: July 4, 2018

Abstract

Shorten tool life service problem of a palm chopper machine cutting blade affects to deteriorate a palm chopper machine efficiency. Development for optimizing the cutting blade that shows high efficiency and tool life service was an urgent issue that is continuously performed. This research aims to 1) study mechanical properties and microstructure of 4 cutting blades metals and 2) compare the manufacturing cost of palm chopper machine cutting blade. The summarized results are as follows. The SKD11 steel cutting blade that was harden at the given condition showed the higher wear resistance than that of SUS304, S45C and SCM440 steels cutting blades for 34, 45 and 60%, respectively. It was also found that the S45C steel cutting blade showed the lowered manufacturing cost than that of SCM440, SKD11 and SUS304 for 6, 42 and 52%, respectively. When comparing wear resistance and production cost, the SKD11 steel blade and the S45C steel blade were optimized to apply as a cutting blade of the orbital cutting blade palm chopping machine, respectively.

Keywords: plam, plam chopper, wear, production cost.

1. บทนำ

ปาล์มเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ทำรายได้เข้าประเทศเป็นปริมาณสูง นอกจากนั้นเป็นพืชที่ทำให้เกิดการสร้างงานให้แก่เกษตรกรมากกว่าหนึ่งแสนครัวเรือน และมีพื้นที่เพาะปลูกปาล์มและพื้นที่ให้ผลผลิตมากกว่า 3 ล้านไร่ และมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการในการใช้น้ำมันปาล์มเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกของโลก [1] ในการปลูกปาล์มเพื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำมันพืช สบู่ หรือไบโอดีเซลนั้น พบว่าต้นปาล์มที่ประกอบด้วยลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล นั้นมีส่วนของผลปาล์มไม่เกินร้อยละ 30 เท่านั้นที่ถูกนำมาแปรรูป [2] ขณะที่ส่วนอื่นๆนั้นเมื่อสิ้นอายุการให้ผลปาล์มของต้นปาล์ม เกษตรกรจะทำการย่อยให้มีขนาดเล็กเพื่อนำไปใช้งานรูปแบบอื่นต่อไป ด้วยเครื่องเครื่องย่อยกิ่งไม้ทั่วไปซึ่งมีขนาดใหญ่และมีราคาสูง ด้วยเหตุนี้เกษตรกรที่ปลูกต้นปาล์มจึงมีคิดค้นเครื่องย่อยทางปาล์มขนาดเล็กขึ้นมาใช้งาน โดยใช้ต้นกำล้งจากรถขนาดเล็กนั้นในการทำให้ระบบการย่อยเศษเกิดขึ้น ด้วยข้อจำกัดทางด้านวิศวกรรม ปัญหาอายุการใช้งานที่สั้นลงของไบโอดีตย่อยทางปาล์มที่มีความเหนียวกว่าเศษไม้ทั่วไปได้เกิดขึ้น และส่งผลทำให้ประสิทธิภาพไบโอดีตของเครื่องย่อยไม้ลดลง ปัญหาดังกล่าวเกษตรกรได้ทำการทดลองเลือกใช้วัสดุหลายชนิด และวิธีการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีการต่างๆ หากข้อมูลการเลือกใช้โลหะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีตเครื่องย่อยปาล์มมีการศึกษาอย่างเป็นระบบอาจทำให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตปาล์มได้

ที่ผ่านมาทีมงานวิจัยที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของโลหะต่างๆ เพื่อเลือกวัสดุที่ใช้ในการตัดวัสดุ และมีการเปรียบเทียบผลการทดลองที่สำคัญดังต่อไปนี้ การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลของไบโอดีตย่อยที่ทำจากเหล็กกล้า

คาร์บอน 2 ชนิด คือ SUPA และ SUP7 ที่ผ่านการชุบแข็งด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าไบโอดีตย่อยที่อบชุบด้วยกระบวนการที่กำหนดและผ่านการอบคืนไฟ ทำให้ไบโอดีตมีความแข็งในระดับเดียวกันกับมิดด้อยที่นำเข้ามาจากต่างประเทศได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 [3] หรือการศึกษาการออกแบบและสร้างชุดทดสอบไบโอดีตตัดต่อซึ่งข้าวเพื่อจุดประสงค์ในเลือกชนิดไบโอดีตที่มีความเหมาะสมของกลุ่มไบโอดีต 2 แบบ และตัวแปรการตัดต่าง ผลการทดลองที่ได้แสดงตัวแปรการออกแบบไบโอดีตตัดต่อซึ่งข้าวที่สามารถย่อยต่อซึ่งข้าวได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 66 ที่มีความยาวของซึ่งข้าวสูงสุดคือ 8.1-12 ซม. [4] หรือการเลือกไบโอดีตผสมอาหารสัตว์ที่ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนและมีการปรับปรุงสมบัติของไบโอดีตด้วยการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนและการเคลือบผิวด้วยวิธีการต่างๆ พบว่าผิวของไบโอดีตที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยวิธีการที่กำหนด 2 รูปแบบให้อัตราการสึกกร่อนต่ำกว่าผิวของไบโอดีตที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนไบโอดีตที่เคลือบผิวด้วยเซรามิกผสมเป็นไบโอดีตที่แสดงค่าอัตราการสึกกร่อนต่ำสุดและเหมาะสมนำไปใช้งาน [5] หรือการเลือกเหล็กกล้า 4 ชนิดที่มีอัตราการสึกกร่อนต่ำสุด

เพื่อการตัดวัสดุกระดาดแผ่นบางที่เรียงตัวเป็นชั้นหนา โดยทำการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนเพื่อปรับปรุงโครงสร้างให้มีความแข็งและกระจายตัวพบว่าประสิทธิภาพในการตัดของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมและต่ำกว่าเหล็กกล้าตามัสกัส [6] หรือการศึกษาคุณลักษณะและกลไกการสึกกร่อนของไบโอดีตที่มีความบางของไบโอดีตที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอน 3 ชนิดที่มีปริมาณคาร์บอนที่แตกต่างกัน และผ่านการชุบแข็งและอบคืนไฟ การเลือกไบโอดีตที่เหมาะสมทำได้โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบการสึกกร่อนและการจำลองสถานการณ์

และพบว่าอัตราการสึกกร่อนของใบมีดที่มีความบางมีผลเนื่องจากรูปร่างและความหนาของคมตัด [7] หรือการเลือกชนิดของใบมีดที่เคลือบผิวด้วยเทคนิคต่างๆ สำหรับใช้ในการตัดไม้ที่พบว่าใบตัดที่เคลือบผิวด้วยพอลิเอทราฟลูออโรเอธิลีนทำให้เกิดการออกแรงในการตัดน้อยกว่าใบมีดแบบอื่นๆ และเหมาะสมในการออกแบบใบมีดตัดไม้ [8] หรือการหาสภาวะทิศทางการตัด จำนวนใบมีด และขนาดเกรนของวัสดุขัดผิวที่เหมาะสมในการตัดและเตรียมไม้ซีดาร์ ที่พบว่าทิศทางในการตัดและเตรียมผิวมีผลต่อการเลือกใบมีดและผิวสำเร็จของเนื้อไม้ ความเรียบของผิวไม้ขึ้นอยู่กับมุมของการเติมไม้และความละเอียดของกระดาษทรายที่ใช้ขัด [9] นอกจากนี้การตัดย่อยไม้ป๊อปลาร์ที่มีความชื้นที่แตกต่างกันสามารถเลือกใช้ใบมีดรูปทรงกรวยที่ผ่านการชุบแข็ง และได้เศษไม้ที่มีขนาดความยาวของเศษไม้ลดลงเมื่อมุมเอียงการป้อนเพิ่มขึ้นได้ [10] เป็นต้น งานวิจัยเหล่านี้ได้นำเสนอแนวคิดในการเลือกวัสดุที่ใช้ในการผลิตใบตัด และกระบวนการในการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนของใบตัดที่มีความเหมาะสมในการตัดวัสดุแต่ละชนิด เพื่อให้อายุการใช้งานของใบตัดยาวนานขึ้นได้

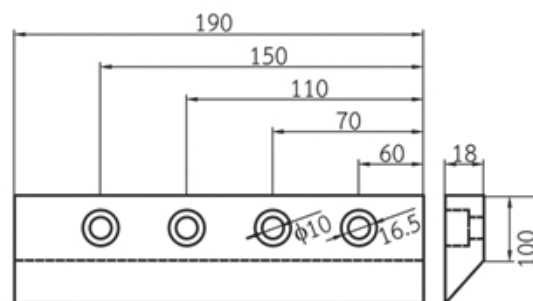
ด้วยข้อมูลปัญหาการใช้งานเครื่องย่อยปาล์มขนาดเล็กที่มีอายุการใช้งานของใบตัดเครื่องย่อยปาล์มขนาดเล็กที่สั้น และข้อมูลการวิจัยในการพัฒนาใบมีดตัด ที่จำกัด บทความนี้จึงมีแนวคิดในการนำเสนอผลการศึกษาเลือกวัสดุในการผลิตใบตัดเครื่องย่อยปาล์มขนาดเล็ก และใช้วิธีการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีการทางความร้อนที่เหมาะสมที่คาดว่าจะสามารถส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มอายุการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพของใบตัดเครื่องย่อยทางปาล์มขนาดเล็กที่ก่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน และสามารถทำให้เกิดประโยชน์ในกลุ่มผู้ใช้งาน กลุ่มช่างซ่อมบำรุง และผู้เกี่ยวข้อง

2. วิธีการทดลอง

วัสดุในการทดลองประกอบด้วยเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด SCM440 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 เหล็กกล้าคาร์บอน S45C และเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKD11 ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ธาตุ	SCM440	SUS304	S45C	SKD11
Fe	สมดุล	สมดุล	สมดุล	สมดุล
C	0.38	0.42	0.45	1.07
Si	0.23	1.70	0.23	0.97
Mn	0.65	0.02	0.67	0.45
P	0.02	0.03	0.02	0.04
S	0.02	7.70	0.02	0.02
Ni	0.04	17.41	0.04	0.14
Cr	0.96	0.24	0.98	12.35
Mo	0.15	-	0.17	1.86
Cu	0.01	-	0.01	0.04
Al	0.02	-	0.02	0.01
W	0.03	-	0.04	0.05



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบ (หน่วย: มม.)

เหล็กกล้าทั้ง 4 ชนิด ถูกนำมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการทางกัด (Milling) ที่มีกรหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็นขณะทำการขึ้นรูปให้มีรูปร่างเป็นใบตัดเครื่องย่อยทางปาล์มใบตัดแนวตั้งขนาดเล็ก ขนาดของใบตัดมีขนาดกว้าง 50 มม. ยาว 190 มม. และหนา 18 มม. ดังรูปที่ 1 เมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ชิ้นงานถูกนำไปทำการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนด้วยกรรมวิธีการชุบแข็ง และการชุบแข็ง+การอบคืนไฟด้วยตัวแปรการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนดังตารางที่ 2

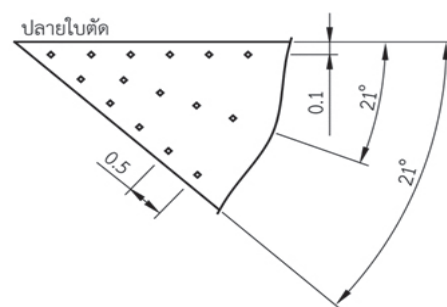
ชิ้นงานใบตัดที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนถูกนำมาทำการเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อทำการศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างโลหะวิทยาประกอบด้วยการทดสอบความต้านทานการสึกหรอบแบบขัดสี การทดสอบความแข็ง และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การทดสอบความต้านทานการสึกหรอเป็นไปตาม ASTM G65-94 กำหนดให้ชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง 25 มม. ยาว 50 มม. และหนา 18 มม. สำหรับโคนใบตัด มีขนาดกว้าง 25 มม. ยาว 50 มม. และหนาตามความลาดเอียงของคมตัด ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานการสึกหรอด้วยการขัดสีพื้นผิวด้วยล้อยางและใช้สารขัดเป็นทรายแห้งขนาด 80 เมชล้อยางหมุนด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อวินาที เวลาในการทดสอบ 30 นาที และทำการเปรียบเทียบเทียบค่าน้ำหนักชิ้นงานที่สูญเสียไป [11]

ตารางที่ 2 สภาวะการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน

วัสดุ	สภาวะ	การชุบแข็ง	การอบคืนไฟ
SCM440	อุณหภูมิ	1200 °C	650 °C
	เวลา	60 นาที	60 นาที
	สารชุบ	น้ำ	อากาศ
SUS304	อุณหภูมิ	1090 °C	650 °C
	เวลา	60 นาที	60 นาที
	สารชุบ	น้ำมัน	อากาศ
S45C	อุณหภูมิ	1050 °C	650 °C
	เวลา	60 นาที	60 นาที
	สารชุบ	น้ำมัน	อากาศ
S45C	อุณหภูมิ	1030 °C	650 °C
	เวลา	60 นาที	60 นาที
	สารชุบ	น้ำมัน	อากาศ

การตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาใบตัดบริเวณคมตัดถูกทำการตัดแยกออกและหล่อประคองด้วยเรซิน ผิวหน้าของชิ้นทดสอบถูกขัดเตรียมโดยการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150-2000 ในน้ำไหล แล้วขัดละเอียดด้วยผงเพชรขนาด 9 3 และ 1 ไมครอนบนผ้าสักหลาดจนกระทั่งได้ผิวมันวาวคล้ายกระจกเงา และกัดผิวหน้าด้วยสารละลายที่กำหนดเพื่อแสดงรายละเอียดของโครงสร้างจุลภาค



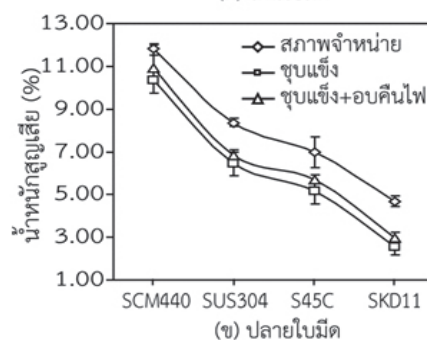
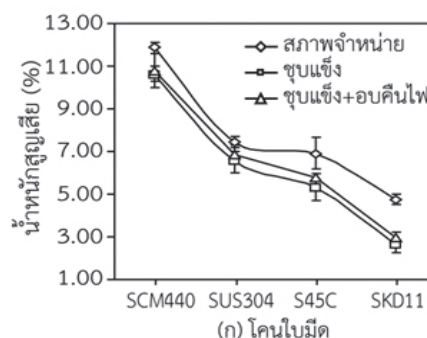
รูปที่ 2 ตำแหน่งวัดความแข็งที่ปลายคมตัด (หน่วย: มม.)

ความแข็งของชิ้นงานก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์สตามมาตรฐานการทดสอบ JIS Z2244 กำหนดให้ใช้แรงในการกดทดสอบ 300 กรัมแรง เวลากดแช่ 10 วินาที [12] แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนประกอบ คือ การทดสอบความแข็งที่โคนใบตัดและปลายใบตัดโดยการทดสอบความแข็งบนพื้นผิวการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค การทดสอบความแข็งบริเวณโคนใบตัดทำการทดสอบแบบสุ่มจำนวน 15 จุด แต่ละจุดห่างกันอย่างน้อย 0.5 มม. ขณะที่การทดสอบความแข็งที่บริเวณปลายใบตัดกำหนดให้มีจุดทำการทดสอบดังรูปที่ 2 โดยจุดทำการทดสอบห่างจากปลายใบมีดประมาณ 0.5 มม. และทำการทดสอบห่างจากผิวด้านข้าง 0.1 มม. ระยะห่างการทดสอบ 0.5 มม. หลังจากทำการศึกษสมบัติทางกล ค่าใช้จ่ายในการผลิตของใบตัดเหล็กกล้าทั้ง 4 ชนิดถูกนำมาเปรียบเทียบโดยคำนวณจากผลรวมระหว่างค่าวัสดุ ค่าแรงขึ้น ค่าไสหุ้ย ค่าไฟฟ้า และค่าสารชุบ

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

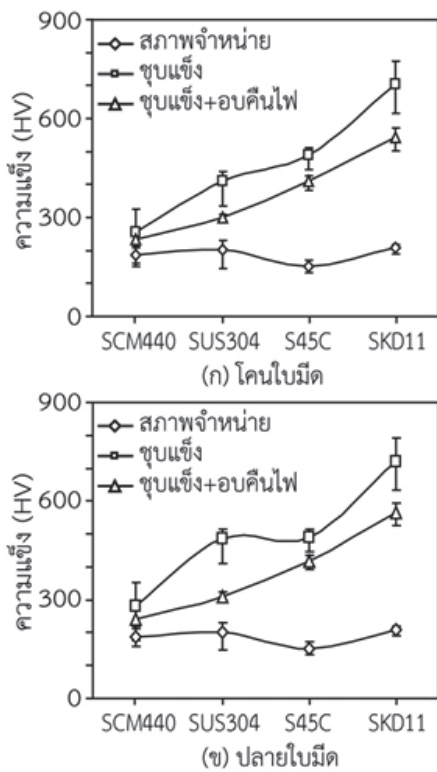
รูปที่ 3 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบการสึกหรอ การแปลความหมายผลการทดสอบนี้ คือหากชิ้นทดสอบมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยหมายถึงชิ้นทดสอบมีความต้านทานการสึกหรอสูง และหากชิ้นทดสอบมีการสูญเสียน้ำหนักมากหมายถึงชิ้นทดสอบมีความต้านทานการสึกหรอต่ำ เหล็กกล้าที่ใช้เป็นชิ้นทดสอบใบตัดย่อยทางปาล์มให้ค่าความต้านทานการสึกหรอที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาชนิดของเหล็กกล้าที่ใช้ในการทดสอบพบว่า ค่าความต้านทานการสึกหรอของเหล็กกล้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลง คือเหล็กกล้า SCM440 SUS304 S45C และ SKD11 ตามลำดับ ขณะเดียวกันเมื่อทำการเปรียบเทียบ

ชนิดของเหล็กกล้าในสภาพจำหน่าย สภาพที่ผ่านการชุบแข็ง และสภาพการชุบแข็ง+การอบคืนไฟพบว่าเหล็กกล้ามีความต้านทานการสึกหรอต่ำเมื่ออยู่ในสภาพจำหน่าย และเพิ่มสูงสุดเมื่อถูกนำไปทำการชุบแข็ง และสุดท้ายมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งถูกนำไปทำการอบคืนไฟ ค่าความต้านทานการสึกหรอมีความแตกต่างกันตามตำแหน่งและรูปร่างของรูป ค่าไสหุ้ย ค่าไฟฟ้า และค่าสารชุบขึ้นทดสอบดังแสดงด้วยการทดสอบความต้านทานการสึกหรอที่โคนใบตัดและปลายใบตัด ผลการทดลองดังรูปที่ 3 (ก) และ (ข) แสดงความต้านทานการสึกหรอของชิ้นทดสอบที่มีความบางกว่า ซึ่งในที่นี้ คือปลายใบตัดมีค่าความต้านทานการสึกหรอที่สูงกว่าโคนใบตัดที่มีความหนาของชิ้นทดสอบสูงกว่า ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอแสดงค่าความต้านทานสูงสุดที่ชิ้นทดสอบเหล็กกล้า SKD11 ตำแหน่งปลายใบตัดที่ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 2.53



รูปที่ 3 ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุใบตัดแบบต่างๆ ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน

การเปลี่ยนแปลงความต้านทานการสึกหรอของวัสดุโลหะหรือชิ้นผิวเคลือบมีสาเหตุหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของโลหะที่เกิดการเสียดสีกับสิ่งแวดลอม [13] ด้วยเหตุนี้ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอของชิ้นทดสอบเหล็กกล้าต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตใบตัดเครื่องย่อยทางปาล์มจึงถูกนำมาทำการทดสอบความแข็งโดยการทดสอบความแข็งดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความต้านทานการสึกหรอ



รูปที่ 4 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุใบตัดที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน

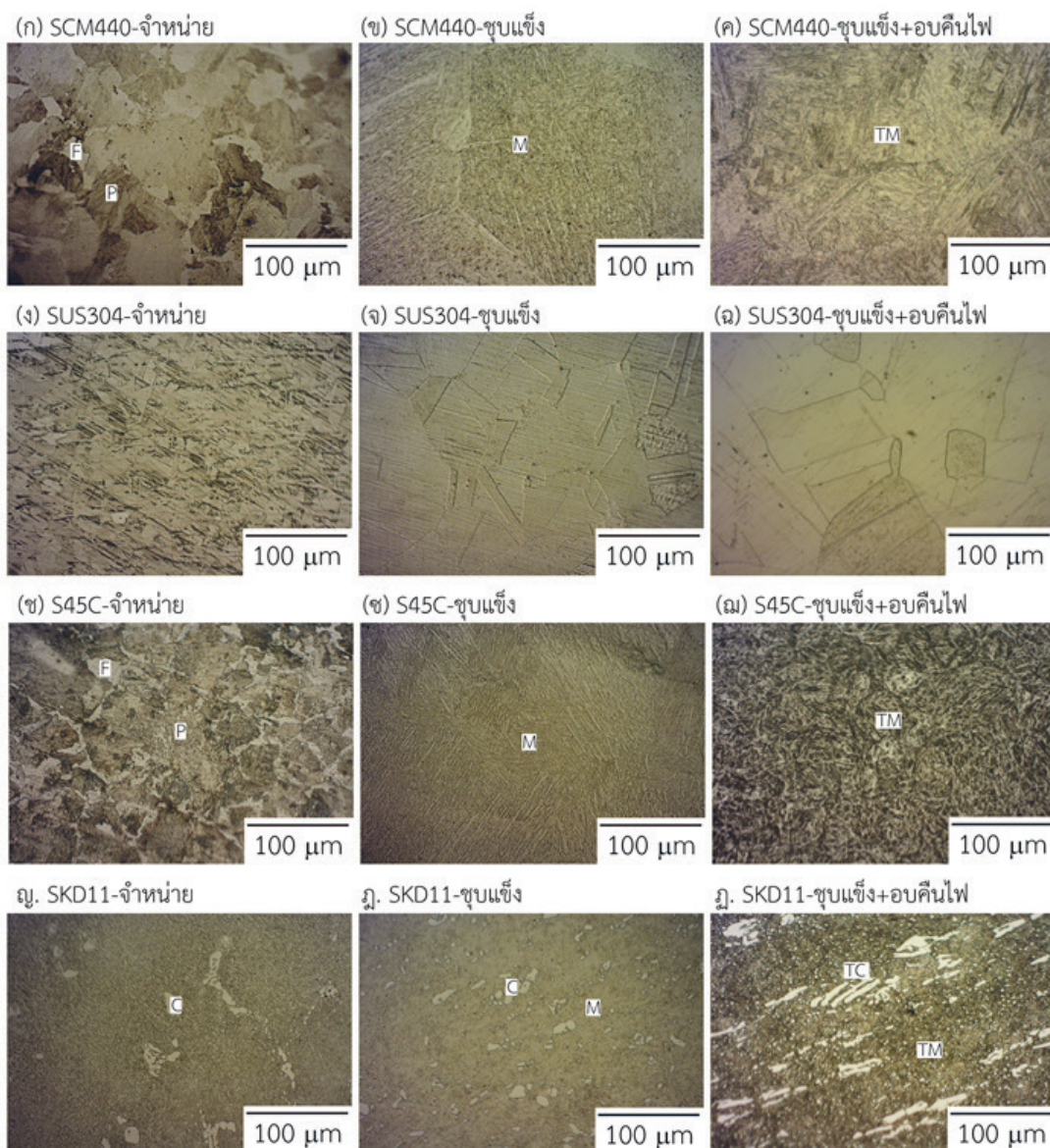
ในสภาพจำหน่ายชิ้นทดสอบที่ทำจากเหล็กกล้า SCM440 ที่แสดงค่าความแข็งต่ำ แสดงค่าความต้านทานการสึกหรอต่ำสุด และค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเหล็กกล้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น S45C SUS304 และ SCM440 ตามลำดับค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลทำให้เหล็กกล้าต่างๆ

ในสภาพจำหน่ายมีความต้านทานการสึกหรอที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มค่าความแข็งเมื่อรูปแบบของเหล็กในสภาพจำหน่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4 นี้เกิดจากส่วนผสมทางเคมีของธาตุที่เสริมความแข็งและความแข็งแรงของเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น [14] ธาตุผสมดังกล่าวของเหล็ก เช่น คาร์บอน มีปริมาณสูงมากขึ้นเมื่อเหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก SCM440 ถึง SKD11 ดังแสดงในตารางที่ 1 ปริมาณของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เฟสซีเมนไตท์ (C) ในเฟลไลท์ (P) (กรณีของเหล็กกล้าคาร์บอน) และเฟสออสเทนไนท์ (กรณีของเหล็กกล้าไร้สนิม) เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5 (ก) (ง) (ข) และ (ญ) สามารถทำให้ความแข็งของเหล็กเพิ่มขึ้นได้ [15]

การเพิ่มความแข็งของใบตัดที่ทำจากเหล็กกล้าทั้ง 4 ชนิด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใบตัดถูกนำไปทำการชุบแข็งในสภาวะที่กำหนด การเพิ่มค่าความแข็งเนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสพื้นฐานของเหล็กกล้า คือ เฟอร์ไรท์ เฟลไลท์ และออสเทนไนท์เหล็กกล้าทั้ง 4 ชนิดดังรูปที่ 5 (ก) (ง) (ข) และ (ญ) เป็นเฟสมาเทนไซต์ดังรูปที่ 5 (ข) (จ) (ช) และ (ฎ) เมื่อเปรียบเทียบกับเฟสพื้นฐานของเหล็กกล้าก่อนการชุบแข็งเฟสมาเทนไซต์มีความแข็งสูงและเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ใบตัดที่ผ่านการชุบแข็งมีค่าสูงขึ้น [13] ปริมาณของเฟสมาเทนไซต์ที่เพิ่มขึ้นและขนาดของเฟสมาเทนไซต์ที่เล็กและละเอียดลง เป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความแข็งของใบตัดที่มีค่าเพิ่มขึ้น [15] เหล็กกล้าที่นำมาชุบแข็งที่สามารถทำให้เกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ได้ในปริมาณสูง คือเหล็กกล้าที่มีความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability) สูง ซึ่งพบได้ในเหล็กกล้าที่มีปริมาณธาตุผสม เช่น คาร์บอน โครเมียม นิกเกิล วานาเดียม เป็นต้นในปริมาณสูง นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาการวัดค่าความแข็งที่โคนใบตัดที่มีความหนามากกว่าและปลายใบตัด

ที่มีความหนาต่ำกว่า ชิ้นงานที่มีความหนาต่ำกว่า มักทำให้เกิดการเย็นตัวในอัตราที่เร็วกว่าและส่งผลทำให้เกิดโครงสร้างเฟสมาเทนไซต์ที่มีความแข็งสูงกว่าได้ [16-18] ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมทางเคมีและตำแหน่งการทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบ ใบตัดเหล็กกล้า SCM440 SUS304 S45C และ SKD11 ตามลำดับ ความแข็งของชิ้นทดสอบ ใบตัดเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็งมีค่าความแข็งลดลงเล็กน้อยในทุกชนิดของเหล็กกล้าเมื่อถูกนำไป

ทำการอบคืนไฟในสภาวะที่กำหนด การอบคืนไฟดังกล่าวเป็นการอบเพื่อลดความเครียด และเพิ่มความเหนียวให้กับเฟสมาเทนไซต์ทำให้ได้เฟสเทมเปอร์มาเทนไซต์ (Tempered martensite: TM) ส่งผลทำให้เฟสมาเทนไซต์ที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีความกลมมนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ เฟสคาร์ไบด์บางตัวสามารถตรวจสอบพบได้ในพื้นหลักโลหะที่ผ่านการอบคืนไฟดังรูปที่ 5 (ค) (ฉ) และ (ญ)



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุใบตัดก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อน (F=เฟอไรต์ P=เพอไรท์ M=มาเทนไซต์ TM=เทมเปอร์มาเทนไซต์ C=คาร์ไบด์ TC=คาร์ไบด์เปลี่ยนแปลงรูปร่าง)

ตารางที่ 3 ต้นทุนการผลิตใบมีดตัดทางปาล์มต่อหน่วย (บาทต่อหนึ่งหน่วย)

วัสดุ	สถานะ	ค่าวัสดุ	ค่าแรงขึ้นรูป	ค่าโลหะ	ค่าไฟฟ้า*	ค่าสารชุบ	รวม
SCM440	จำหน่าย	200.00	200.00	250.00	0.00	0.00	650.00
	ชุบแข็ง	200.00	200.00	250.00	65.00	10.00	725.00
	ชุบแข็ง+อบคืนไฟ	200.00	200.00	250.00	73.00	10.00	733.00
SUS304	จำหน่าย	600.00	300.00	250.00	0.00	0.00	1150.00
	ชุบแข็ง	600.00	300.00	250.00	65.00	34.00	1249.00
	ชุบแข็ง+อบคืนไฟ	600.00	300.00	250.00	73.00	34.00	1257.00
S45C	จำหน่าย	150.00	200.00	250.00	0.00	0.00	600.00
	ชุบแข็ง	150.00	200.00	250.00	65.00	10.00	675.00
	ชุบแข็ง+อบคืนไฟ	150.00	200.00	250.00	73.00	10.00	683.00
SKD11	จำหน่าย	300.00	300.00	250.00	0.00	0.00	850.00
	ชุบแข็ง	300.00	300.00	250.00	65.00	34.00	949.00
	ชุบแข็ง+อบคืนไฟ	300.00	300.00	250.00	73.00	34.00	957.00

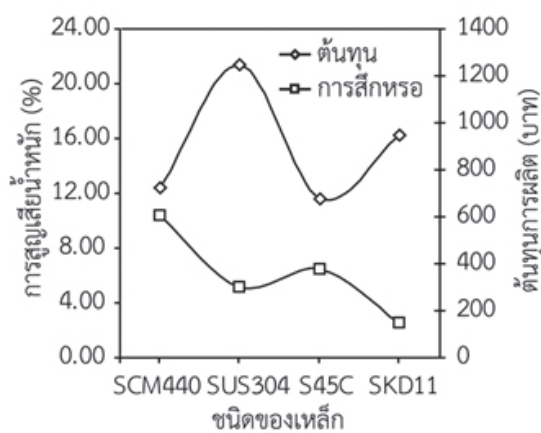
*ค่าไฟฟ้าคำนวณจากการใช้ไฟฟ้าของเตาอบในการปรับปรุงสมบัติด้วยความร้อนเท่านั้น

นอกจากกระบวนการอบชุบสามารถทำให้เกิดการเพิ่มความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของชิ้นงานใบตัดเหล็กกล้าทั้ง 4 ชนิดแล้ว การเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุคาร์บอน โครเมียม วานาเดียม แมงกานีส โมลิบดีนัม และคาร์บอน ในเหล็กกล้าทั้ง 4 ชนิด เป็นสิ่งที่ต้องมีการศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการเพิ่มความแข็งและความต้านทานการสึกหรอของใบตัด เนื่องจากธาตุเหล่านี้ก่อให้เกิดโลหะคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าผสมสูง เช่น เหล็กกล้า SKD11 ซึ่งแสดงสมบัติทางกลเด่นที่สุดในการทดลองนี้ ที่สามารถเสริมความแข็งและความแข็งของโลหะเชื่อมเพิ่มขึ้นและเฟสเสริมความแข็งมีขนาดลดลง [19] เฟสดังกล่าวอาจสามารถก่อตัวเป็นเฟสโลหะคาร์ไบด์ (M7C3) ที่มีขนาดเล็กและกระจายตัวในเฟสพื้นยูเทคติกคาร์ไบด์ ที่ส่งผลทำให้ค่าความแข็งและความต้านทานการสึกหรอสามารถเพิ่มขึ้นได้ [20] นอกจากนี้ความแข็งของโลหะเหล็กกล้าผสม

สามารถเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากธาตุผสมเหล่านี้มักทำให้เกิดโลหะคาร์ไบด์เชิงซ้อนหลายแบบที่มีความแข็งในโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าได้ [21] อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาเพื่อระบุชนิดของเฟสต่างๆ ที่แม่นยำไว้ เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำ เช่น การวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer: XRD) หรือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope: TEM) และสมควรดำเนินการต่อไปในอนาคต และความเข้าใจกลไกการเพิ่มความแข็งและความต้านทานการสึกหรอในใบตัดต่อไป

ตารางที่ 3 แสดงราคาต้นทุนการผลิตใบมีดตัดปาล์ม ซึ่งในการเลือกใช้วัสดุใบตัดนั้น มีหลักในการลดต้นทุนที่สำคัญ คือ การเลือกใช้วัสดุที่ทำให้เกิดต้นทุนต่อหน่วยที่น้อยที่สุด โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพเป็นสำคัญ เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ดังราคาต้นทุน

การผลิตใบตัดในสภาพซบแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C ดังรูปที่ 6 พบว่าใบมีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C และเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด SCM440 นั้น มีราคาต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS304 และเหล็กกล้าเครื่องมือเกรด SKD11 อยู่เกือบเท่าตัว โดยมีต้นทุนการผลิตของเหล็กกล้าในสภาพซบแข็งของวัสดุแต่ละชนิดจากต่ำไปหาสูงสำหรับเหล็กกล้า S45C SCM440 SUS304 และ SKD11 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อนำต้นทุนการผลิตไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบสมบัติทางกลแล้ว พบว่า เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C และเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด SCM440 แม้จะให้ค่าผลการทดสอบสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD11 แต่ก็มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาทำใบตัดได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีสมบัติทางกลปานกลาง รวมถึงราคาต้นทุนที่ต่ำสุด จึงเป็นเหตุผลในการเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S45C ในการทำใบมีดตัดทางปาล์มมากกว่าเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด SCM440



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเหล็ก การสูญเสียน้ำหนัก และต้นทุนการผลิต

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลวัสดุสำหรับทำใบมีดตัดทางปาล์มและต้นทุนการผลิต เพื่อให้ได้ใบตัดที่มีความเหมาะสมในการย่อยทางปาล์ม ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ ใบตัดเหล็กกล้า SKD11 ที่ผ่านการซบแข็งด้วยสภาวะที่กำหนดให้ค่าความต้านทานการสึกหรอสูงกว่าใบตัดเหล็กกล้า SUS304 S45C และ SCM440 ที่ค่าประมาณร้อยละ 34 45 และ 60 ตามลำดับ เหล็กกล้า S45C มีราคาต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยต่ำกว่าเหล็กกล้า SCM440 SKD11 และ SUS304 ประมาณร้อยละ 6 42 และ 52 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสมบัติทางกล เช่น ความต้านทานการสึกหรอและความแข็งและต้นทุนการผลิต ใบตัดเหล็กกล้า SKD11 และใบตัดเหล็กกล้า S45C มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นใบตัดย่อยทางปาล์มเครื่องตัดย่อยแบบใบตัดตั้งฉากตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2559 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Ksmecare.com [Internet] Bangkok: Kasikorn Thai Research Center. [Updated 2014 June 12; cited 2014 June 12] Available from <http://www.ksmecare.com/Article/82/28155>.

[2] Wikipedia.org [Internet] Bangkok: wikimedia Thailand. [Updated 2014 June 12; cited 2014 June 12] Available from <https://th.wikipedia.org/wiki/ปาล์มน้ำมัน>

- [3] Leetrakul T. The development cutting tool in sugar cane harvester for evaluated of hardness. Proceeding of 2012 IE Network Conference; 2012 October 17-19, Petchburi, Thailand. pp. 1666-1670 (in Thai).
- [4] Kosoom K. Study and design of cutting blade from rid residues. Proceeding of the 5th Rajamangala University of Technology Conference. 2014;June 23-25:79-86 (in Thai).
- [5] Niranatlumpong P, Sukhonket C, Nakngonthong J. Wear resistant surface treatment of pulverizer blades. *Wear*. 2013;302: 878-881.
- [6] Verhoeven JD, Clark HF. Carbon diffusion between the layers in modern pattern-welded damascus Blades. *Materials Characterization*. 1998;41;183-191.
- [7] Lau KH, Mei D, Yeung CF, Man HC. Wear characteristics and mechanisms of a thin edge cutting blade. *Journal of Materials Processing Technology*. 2000;102: 203-207.
- [8] Päivinen M, Heinimaa T. The effects of different hand tool blade coatings on force demands when cutting wood. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2003;32:1 39-146.
- [9] Aslan S, Coşkun H, Kılıç M. The effect of the cutting direction, number of blades and grain size of the abrasives on surface roughness of Taurus cedar (*Cedrus Libani* A. Rich.) woods. *Building and Environment*. 2008; 43:696-701.
- [10] Wegener JK, Wegener T. Wood chipping with conical helical blades – Theoretical deliberations and practical experiments concerning the adjustment of chip length with a set pitch of the blade. *Biomass and Bioenergy*. 2014;66: 151-158.
- [11] Kimapong K, Poonayom P, Wattanjitsiri V. Microstructure and wear resistance of hardfacing weld metal on JIS-S50C carbon steel in agricultural machine parts. *Materials Science Forum*. 2016; 872:55-61.
- [12] Kimapong K, Triwanapong S, Prasomthong S, and Wattanjitsiri V. Effect of buffer layer and hard-faced welding on mechanical properties of JIS-S50C carbon steel weld metal. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2016;14:77-90. (in Thai).
- [13] Kimapong K, Tosakul S, Memon A, Klanpracha N. *Engineering Materials*. Bangkok: Cengage Learning Co.Ltd., 2010 (In Thai).

- [14] Groover MP. Fundamentals of modern manufacturing, material, processes and systems. USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [15] Avner SH. Introduction to physical metallurgy. Singapore: McGraw-Hill, 1974.
- [16] Askeland DR, Phule PP. The science and engineering of materials. Toronto: Thompson Canada Limited, 2006.
- [17] Verhoeven JD. Fundamentals of physical metallurgy. USA: John Wiley & Sons, INC., 1975.
- [18] Abbaschian R, Abbaschian L, Reed-Hill RE. Physical Metallurgy Principles, 4ed. Singapore: Cengage Learning, 2010.
- [19] Wu W, Hu S, Shen J. Microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of laser welded dissimilar joints between ferritic stainless steel and carbon steel. Materials & Design. 2015;65:855-861.
- [20] Zahiri R, Sundaramoorthy R, Lysz P, Subramanian C. Hardfacing using ferro-alloy powder mixtures by submerged arc welding. Surface and Coatings Technology. 2014;260:220-229.
- [21] Jeshvaghani RA, Harati E, Shamanian M. Effects of surface alloying on microstructure and wear behavior of ductile iron surface-modified with a nickel-based alloy using shielded metal arc welding. Materials & Design. 2011;32:1531-1536.