

อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียไรอ์ไคซิงสามลำดับต่อความสึกหรอของดอกสว่านในการเจาะเหล็กหล่อสีเทา

Influence of triple spheroidizing on drill wear in dry drilling gray cast iron

สุภกิจ ขาวเนตร

Subhakij Khaonetr

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ อ. องครักษ์ จ. นครนายก 26120

โทร. 0-2649-5000 ต่อ 2071 โทรสาร. 0-3732-2608

E-mail: suphakij@swu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียไรอ์ไคซิงสามลำดับต่อความสึกหรอของดอกสว่านในการเจาะเหล็กหล่อสีเทา กรรมวิธีสเฟียไรอ์ไคซิงสามลำดับ โดยการนำเหล็กหล่อสีเทาไปอบที่อุณหภูมิ 300°C 450°C และ 600°C สำหรับการทดสอบความสึกหรอ ใช้ดอกสว่านเหล็กกล้าไฮสปีดขนาด 3 mm ความเร็วรอบ 1000 rev/min และ อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev ผลการวิจัยพบว่า เมื่อลำดับอุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียไรอ์ไคซิง และอัตราป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้แรงในแนวแกนสูงสุด แรงบิดสูงสุด และความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แฟลคเตอร์ความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มลดลง และพบความสึกหรอบริเวณคมตัดทั้งสองด้าน และบริเวณคมจิกวัดความสึกหรอได้ประมาณ 0.35 mm

คำสำคัญ: กรรมวิธีสเฟียไรอ์ไคซิงสามลำดับ ความสึกหรอของดอกสว่าน เหล็กหล่อสีเทา

Abstract

An influence of triple spheroidizing on drill wear in dry drilling gray cast iron was studied. Spheroidizing temperatures were 300°C, 450°C and 600°C. On the drill wear testing, the high speed twist drill diameter of 3 mm, the rotating speed of 1000 rev/min and the feed rate of 0.005-0.025 mm/rev were investigated. It was found that when the spheroidizing temperatures and the feed rate increased, the maximum thrust force, the maximum drilling torque and the maximum drill

wear increased while the maximum drill wear factor decreased. The drill wear was found at the cutting lips and the chisel edge where the depth of wear is 0.35 mm.

Keywords: Triple spheroidizing, drill wear, gray cast iron

1. บทนำ

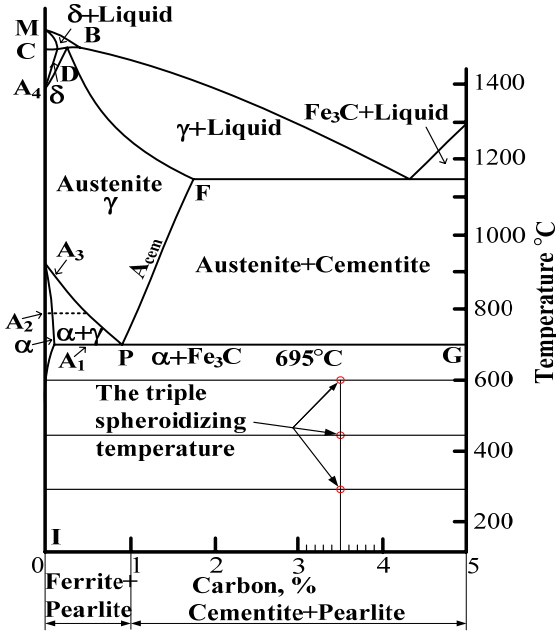
ความสึกหรอของดอกสว่านเป็นกลไกที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเจาะระหว่างดอกสว่านกับชิ้นทดสอบด้วยพลังงานความร้อน และพลังงานกล ความสึกหรอของดอกสว่านส่วนใหญ่พบบริเวณผิวหยาบ เรียกว่าความสึกหรอแฟรงค์ (Flank wear) จะเกิดขึ้นเป็นแนวยาวบริเวณด้านข้างของคมตัด เนื่องจากการเสียดสี (Abrasion) ระหว่างด้านข้างของดอกสว่านกับชิ้นทดสอบ เมื่อความสึกหรอบริเวณผิวหยาบสะสมมากขึ้น ทำให้แรงในแนวแกน (Thrust force) เพิ่มขึ้นเช่นกัน [1,2]

เหล็กหล่อสีเทามีปริมาณคาร์บอนส่วนใหญ่อยู่ในรูปคาร์บอนบริสุทธิ์ แยกตัวออกมารวมเป็นผลึกกราไฟท์ (Graphite flakes) กระจุกกระจายอยู่ในเนื้อเหล็ก [3,4] เหล็กหล่อสีเทามีธาตุนอกเหนือจากคาร์บอนผสมอยู่ เช่น ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส กำมะถัน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติการเย็นตัว ในทางปฏิบัติจะเย็นตัวเร็วกว่าอัตราการเย็นตัวในสภาวะสมดุลย์ (Equilibrium cooling rate) ทำให้มีความต้านทานแรงดึง และคุณสมบัติทางความเหนียวต่ำ แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อน ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลดีขึ้น [5,6] เหล็กหล่อสีเทาที่ผ่านกรรมวิธีสเฟียไรอ์ไคซิง โดยให้ความร้อนได้เส้นอุณหภูมิวิกฤติล่าง (A1) ดังรูปที่ 1 และ ให้ความร้อนต่อเนื่องคงที่ในอุณหภูมินี้ประมาณ 1 hr ต่อ

RECEIVED 30 September, 2009

ACCEPTED 23 March, 2010

ความหนาของชิ้นทดสอบ 25 mm และเย็นตัวลงในอากาศถึง อุณหภูมิห้อง ส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็ง และความต้านทานแรงดึง [7,8]



รูปที่ 1 อุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียรไรต์สามลำดับโดยอ้างอิงจากแผนภูมิสมดุล (Equilibrium diagram)

อุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียรไรต์สำหรับเหล็กหล่อสีเทาจะมีผลต่อโครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติเชิงกล เพราะในช่วงอุณหภูมินี้ มีการเปลี่ยนเฟสเป็นโครงสร้างพื้นฐานเพอร์ไลต์ (Pearlite matrix) การให้ความร้อนต่อเนื่องในช่วงนี้จะมีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์คาร์ไบด์แบบหยาบ (Coarse ferrite carbide) [9,10] โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทาประกอบด้วยคาร์บอนอิสระในรูปของผลึกกราไฟต์ และโครงสร้างพื้นฐานเพอร์ไรต์ (Ferrite matrix) หรือโครงสร้างพื้นฐานเพอร์ไลต์ (Pearlite matrix) ขึ้นอยู่กับการเย็นตัวและกระบวนการตกผลึกของผลึกกราไฟต์ [11,12]

ในงานวิจัยนี้ กรรมวิธีสเฟียรไรต์ทำให้ความแข็งแรงของเหล็กหล่อสีเทาลดลง แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติการขึ้นรูปได้มากขึ้น ส่งผลให้ง่ายต่อการตัดเจาะจากเครื่องมือตัด การศึกษาพฤติกรรมความสึกหรอของดอกสว่านเหล็กกล้าไฮสปีดเป็นวัตถุประสงค์พื้นฐานของกรรมวิธีสเฟียรไรต์สามลำดับสำหรับการเจาะเหล็กหล่อสีเทาด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

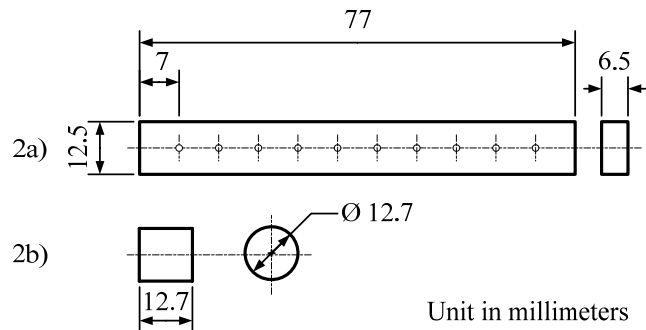
2. วิธีการทดสอบ

2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ และเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Specimen preparing and universal testing machine, LR 10K; Lloyd Instrument)

เหล็กหล่อสีเทามีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 1 นำมาตัดเพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบสำหรับกรรมวิธีสเฟียรไรต์สามลำดับ สำหรับการทดสอบความสึกหรอของดอกสว่าน และสำหรับการทดสอบโครงสร้างจุลภาค ชิ้นทดสอบความสึกหรอของดอกสว่านขึ้นรูปดังรูปที่ 2a) และชิ้นทดสอบโครงสร้างจุลภาค ดังรูปที่ 2b)

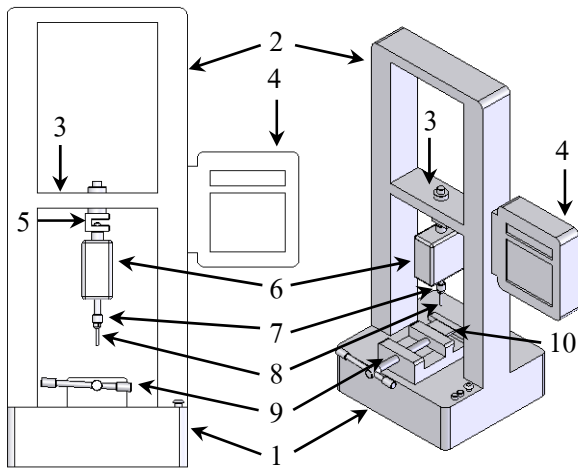
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็กหล่อสีเทา (วิเคราะห์โดยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว)

Content of elements, wt. (%)				
C	Si	Mn	P	S
3.500	2.080	0.580	0.035	0.120



รูปที่ 2 ขนาดของชิ้นทดสอบ 2a) ความสึกหรอของดอกสว่าน 2b) โครงสร้างจุลภาค

การทดสอบความสึกหรอของดอกสว่านเป็นการศึกษาพฤติกรรมความสึกหรอที่เกิดขึ้นกับดอกสว่านภายใต้การเจาะเหล็กหล่อสีเทาที่ผ่านกรรมวิธีสเฟียรไรต์สามลำดับ พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ และโครงสร้างจุลภาค โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ดังรูปที่ 3 ด้วยการนำสว่านไฟฟ้า (6) มาติดตั้งกับโหลดเซลล์ (Load cell) (5) นำดอกสว่านร่องเกลียว (Twist drill) ทำจากเหล็กกล้าไฮสปีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm (8)



รูปที่ 3 การทดสอบความสึกหรอของดอกสว่านโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (LR 10K, Lloyd Instrument)

จับยึดให้แน่นกับหัวจับดอกสว่าน (7) นำปากกาจับชิ้นทดสอบ (9) ติดตั้งกับฐานเครื่อง (1) จับยึดชิ้นทดสอบ (10) กับปากกาจับชิ้นทดสอบ (9) การทดสอบสามารถสั่งการโดยคอนโซล (Console) (4) ของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ หรือสั่งการจากโปรแกรมสำเร็จรูปในเครื่องคอมพิวเตอร์ (WinRControl) เปิดให้ส่วนไฟฟ้า (6) ทำงานที่ความเร็วรอบ 1000 rev/min ตั้งเงื่อนไขของการทดสอบให้เป็นการทดสอบแรงกด (Compression test) ตั้งค่าความเร็วของคานทดสอบ (อัตราป้อน) ที่ละค่าในช่วง 0.005-0.025 mm/rev สั่งการให้คานทดสอบ (3) เคลื่อนที่ลงมาในตำแหน่งของปลายดอกสว่าน (8) สัมผัสกับผิวชิ้นทดสอบ (10) ตั้งค่าในตำแหน่งนี้เป็นศูนย์ เมื่อการทดสอบเริ่มขึ้น คานทดสอบ (3) จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่ตั้งค่าไว้ เจาะผ่านชิ้นทดสอบ (10) ช่วงเวลานี้สามารถสังเกตพฤติกรรมในรูปแบบกราฟที่เกิดขึ้นบนจอคอมพิวเตอร์จนกระทั่งดำเนินการเจาะจนทะลุชิ้นทดสอบ (10)

2.2 กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับ (Triple spheroidizing)

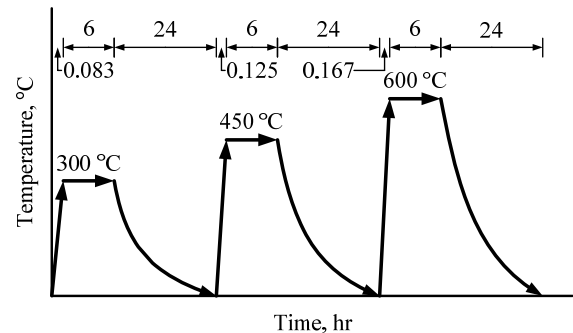
กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลด้านการขึ้นรูป (Improve machinability) ด้วยความร้อน สำหรับเหล็กหล่อสีเทาที่มีขั้นตอนดังนี้

(1) กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่หนึ่ง นำชิ้นทดสอบความสึกหรอของดอกสว่าน และ โครงสร้างจุลภาค จำนวน 3 ชุด ไปอบที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 6 hr แล้วปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้าๆ ในเตาอบเป็นเวลา 24 hr (ดังรูปที่ 4)

(2) กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สอง ชิ้นทดสอบความสึกหรอของดอกสว่าน และ โครงสร้างจุลภาค อบอุ่นที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 6 hr เช่นเดียวกับข้อ (1) (ดังรูปที่ 4) และนำชิ้นทดสอบสเฟียรอยไดซิงลำดับที่หนึ่งออกมาทำการทดสอบ จำนวน 1 ชุด

(3) กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สาม ชิ้นทดสอบความสึกหรอของดอกสว่าน และ โครงสร้างจุลภาค อบอุ่นที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 6 hr เช่นเดียวกับข้อ (2) (ดังรูปที่ 4) และนำชิ้นทดสอบสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สองออกมาทำการทดสอบ จำนวน 1 ชุด

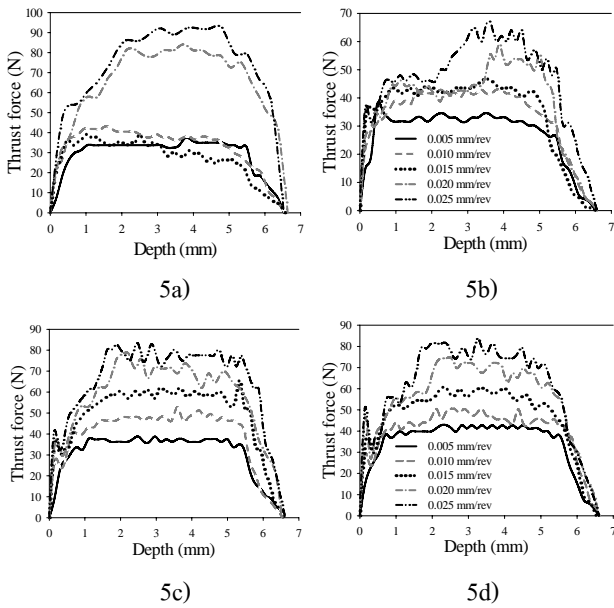
(4) นำชิ้นทดสอบวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สาม ออกมาทำการทดสอบ



รูปที่ 4 แผนภาพกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับ (Triple spheroidizing)

2.3 อิทธิพลจากความสึกหรอของดอกสว่านต่อพฤติกรรมเจาะ (Influence of drill wear on drilling behavior)

ความสึกหรอของคมตัด (Wear of cutting edge) เป็นตัวบ่งชี้สภาพการใช้งานเกินกว่าคุณสมบัติเชิงกลของดอกสว่าน สามารถพิจารณาจากพฤติกรรมการเจาะ (Drilling behavior) [13] อันเกิดจากแรงในแนวแกน (ดังรูปที่ 5) ความสึกหรอเครเตอร์ (Crater wear) เกิดจากการคายเศษโลหะออกจากร่องเกลียว (Drill flutes) ในขณะที่มีแรงในแนวแกน (Thrust force) และแรงบิด (Drilling torque) กระทำที่คมตัดของดอกสว่าน หรือความสึกหรอแฟรงค์ (Flank wear) เกิดขึ้นบริเวณด้านข้างของคมตัดในลักษณะของการเสียดสี (Abrasion) จากแรงกระทำทั้งสองเช่นกัน ความสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้ จะแสดงพฤติกรรมการเจาะที่ผิดปกติ กล่าวคือใช้แรงในแนวแกนสูงขึ้น เพราะมีการเสียดสีมากขึ้น ส่งผลให้คมตัดหมดสภาพการใช้งานต่อไปได้ จะเรียกช่วงนี้ว่าย่านวิกฤติ (Critical range) [14]



รูปที่ 5 พฤติกรรมการเจาะที่อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev
 5a) Untreated 5b) 1st spheroidized 5c) 2nd spheroidized
 5d) 3rd spheroidized

2.4 สมการของขอว์ บอสตัน และอ็อกฟอร์ด (Shaw, Boston and Oxford's equations)

พลังงานการตัดจำเพาะ (Specific cutting energy, u) เป็น การนิยามระหว่างอัตราพลังงานรวมที่ป้อนให้ เทียบกับอนุพันธ์ ของเศษวัสดุที่คายออกมา ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณลักษณะ สำคัญ และเป็นตัวบ่งชี้ที่เหมาะสมสำหรับการเจาะวัสดุ [1] ดังสมการ (1)

$$u = \frac{8M_z}{fd^2} \quad (1)$$

แรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นจากแรงกดเจาะตามแนวแกนของ ดอกสว่าน ตั้งฉากกับชิ้นทดสอบ และแรงบิดเกิดจากแรงที่ใช้ กำลังในการเจาะเมื่อดอกสว่านเกิดการหมุน [1,2] ดังสมการ ของขอว์ และอ็อกฟอร์ด (2)-(5)

$$\frac{F_z}{d^2 H_B} = \frac{K_1 f^{1-a}}{d^{1+a}} \left[\frac{1 - \left(\frac{2r_c}{d}\right)}{1 + \left(\frac{2r_c}{d}\right)^a} + K_2 \left(\frac{2r_c}{d}\right)^{1-a} \right] + K_3 \left(\frac{2r_c}{d}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{M_z}{d^3 H_B} = \frac{K_4 f^{1-a}}{d^{1+a}} \left[\frac{1 - \left(\frac{2r_c}{d}\right)}{1 + \left(\frac{2r_c}{d}\right)^a} + K_5 \left(\frac{2r_c}{d}\right)^{2-a} \right] \quad (3)$$

จาก (2) และ (3) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกับสมการ $u \propto (f.d)^a$ จะได้ดังสมการ (4) และ (5)

$$F_z = K_6 H_B f^{0.63} d \quad (4)$$

$$M_z = 0.087 H_B f^{0.8} d^{1.8} \quad (5)$$

พิจารณาร่วมกับสมการของบอสตันและอ็อกฟอร์ด จะได้ ดังสมการ (6) และ (7)

$$F_z = K_1 f^{0.6} d \quad (6)$$

$$M_z = K_2 f^{0.6} d^2 \quad (7)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (6) ร่วมกับแฟคเตอร์ความสึกหรอของ ดอกสว่าน (Drill wear factor) จะได้ดังสมการ (8)

$$F_z = \Psi K_1 f^{0.6} d \quad (8)$$

ซึ่ง

F_z แรงในแนวแกน (N)

M_z แรงบิด (N.mm)

u พลังงานการตัดจำเพาะ (J/mm³)

$a, K_i (i=1, 6)$ (ขอว์และอ็อกฟอร์ด) ค่าคงที่

K_1, K_2 (บอสตันและอ็อกฟอร์ด) ค่าคงที่

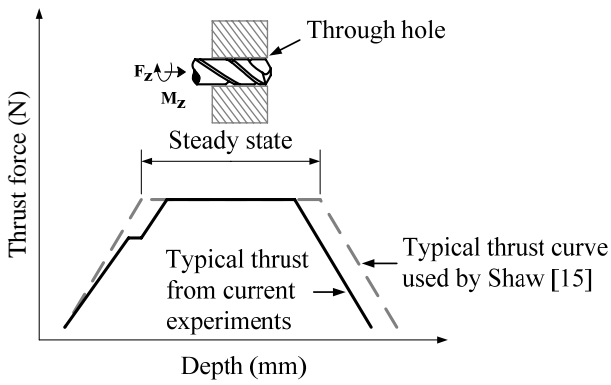
f อัตราป้อน (mm/rev)

d เส้นผ่าศูนย์กลางของดอกสว่าน (mm)

r_c ความยาวของคมตัด (mm)

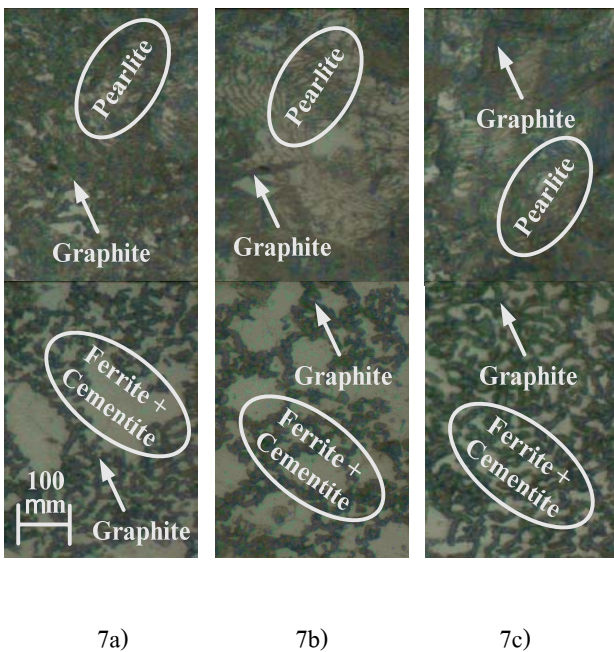
H_B ความแข็งของวัสดุ (BHN)

Ψ แฟคเตอร์ความสึกหรอของดอกสว่าน



รูปที่ 6 แรงในแนวแกนจากการทดสอบและสมการของซอร์

แรงในแนวแกน และแรงบิดดิ่งสมการ (6) และ (7) ของบอสตัน และอ็อกฟอร์ด นิยามไว้กับวัสดุเหล็กหล่อ เมื่อพิจารณาพร้อมกับ สมการของซอร์ ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อลำดับอุณหภูมิของ กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงเพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 5) ทำให้พฤติกรรม การเจาะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับสมการของซอร์ [15]



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทา

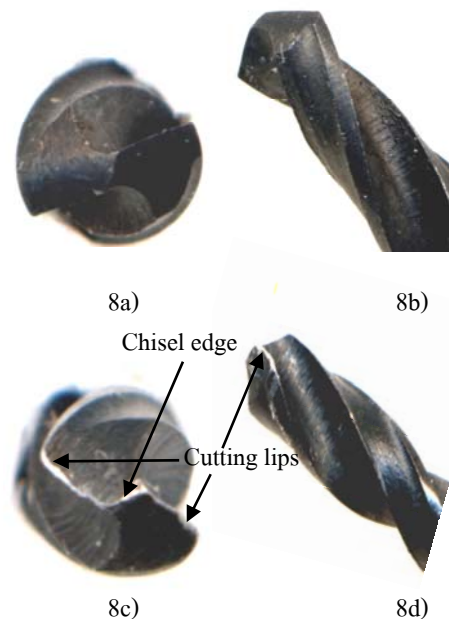
- 7a) 1st spheroidized
- 7b) 2nd spheroidized
- 7c) 3rd spheroidized

3. ผลและการวิเคราะห์ผล

3.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของเหล็กหล่อสีเทาใน กระบวนการทางความร้อนด้วยกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิง

สามลำดับ ที่อุณหภูมิ 300°C 450°C และ 600°C โดยปล่อยให้ เย็นตัวลงในเตาอบพบว่า กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่หนึ่ง อุณหภูมิ 300°C ดังรูป 7a) ได้โครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์ และซีเมนไตต์ มีเฟอร์ไรต์เป็นบางส่วน และมี กราไฟต์ผลึก ขนาดเล็ก กระจายตัวลักษณะจับตัวแบบสุ่ม ไม่มีทิศทาง เพราะ การเย็นตัวในเตาอย่างช้าๆ และผลของธาตุที่มีส่วนผสมมาก เช่น ซิลิกอน และคาร์บอน เป็นต้น กรรมวิธี สเฟียรอยไดซิง ลำดับที่สอง อุณหภูมิ 450°C ดังรูป 7b) ได้โครงสร้างพื้นฐาน เฟอร์ไรต์ และซีเมนไตต์ โครงสร้างนี้จะ ครอบรอบไปด้วยเฟอร์ไรต์ มีกราฟต์ผลึกเส้นยาวบางส่วน และมีกราฟต์ผลึกขนาด เล็ก กระจายตัว ลักษณะจับตัวแบบสุ่ม แต่ค่อนข้างเรียงตัวดีขึ้น เพราะการให้ความร้อนต่อเนื่องในช่วงนี้โครงสร้างเฟอร์ไรต์ เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์ คาร์ไบด์แบบหายา กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สาม อุณหภูมิ 600°C ดังรูป 7c) ได้โครงสร้างพื้นฐานเฟอร์ไรต์ มีเฟอร์ไรต์ และมีกราฟต์ผลึก เส้นยาวมากขึ้น อีกทั้งมีกราฟต์ผลึกขนาดเล็กกระจายตัว ลักษณะเรียงตัวดีขึ้นตามลำดับ



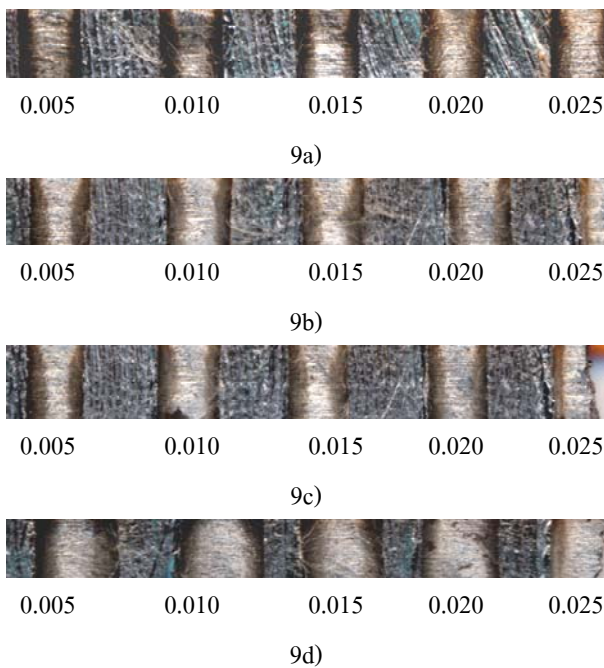
รูปที่ 8 ลักษณะทางกายภาพของดอกสว่านเหล็กกล้าไฮสปีด

- 8a) ปลายคมตัดก่อนทดสอบ
- 8b) ด้านข้างก่อนทดสอบ
- 8c) ปลายคมตัดหลังทดสอบ
- 8d) ด้านข้างหลังทดสอบ

3.2 ความสึกหรอของดอกสว่าน (Drill wear)

ผลการวิเคราะห์ความสึกหรอของดอกสว่านเหล็กกล้าไฮสปีด จากการทดสอบการเจาะรูขึ้นทดสอบเหล็กหล่อสีเทาปกติ

(Untreated) กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่หนึ่ง
 (1st spheroidized) กรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สอง
 (2nd spheroidized) และกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่สาม
 (3rd spheroidized) รวมทั้งสิ้น 100 รูเจาะ พบความสึกหรอบริเวณคมตัดทั้งสองด้าน (Cutting lips) และบริเวณคมจิก (Chisel edge) วัดความสึกหรอได้ประมาณ 0.35 mm เมื่อพิจารณาผนังรูเจาะของเหล็กหล่อสีเทาปกติ (Untreated) 9a) พบว่าผิวค่อนข้างขรุขระ เพราะดอกสว่านเจาะผ่านคาร์บอน สลับกับโครงสร้างเฟอร์ไรต์ และซีเมนไตต์ เมื่อลำดับของอุณหภูมิกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิง และอัตราป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ผิวของผนังรูเจาะมีแนวโน้มเรียบขึ้น เพราะกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิง ทำให้ซีเมนไตต์ที่อยู่ในรูปของเฟอร์ไรต์เปลี่ยนแปลงไปโดยมีลักษณะกลมมากขึ้น อีกทั้งการเรียงตัวของกราฟไฟต์เป็นระเบียบขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 9b) 9c) และ 9d)

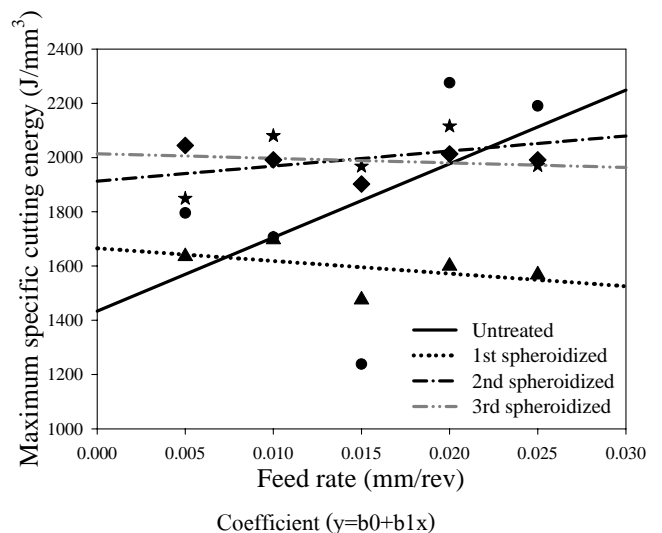


รูปที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของผนังรูเจาะที่อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev 9a) Untreated 9b) 1st spheroidized 9c) 2nd spheroidized 9d) 3rd spheroidized

3.3 อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับ (Influence of triple spheroidizing)

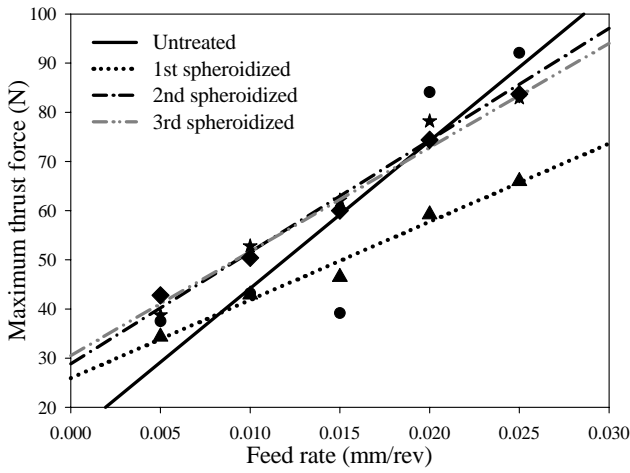
ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับของเหล็กหล่อสีเทาต่อพลังงานการตัดจำเพาะสูงสุดที่

อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev (ดังรูปที่ 10) พบว่าเมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้น พลังงานการตัดจำเพาะสูงสุดมีแนวโน้มไม่แน่นอน เมื่อพิจารณาพร้อมกับการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) พบว่ามีความเชื่อมั่นต่ำมาก เนื่องจากพลังงานการตัดจำเพาะสูงสุดไม่มีอิทธิพลต่ออัตราป้อน แต่จะมีอิทธิพลต่อเรขาคณิตของคมตัด (Tool edge geometry) การหักเศษโลหะจากเครื่องมือ (Tool chip breaker) และความลึกในการป้อน (Depth of cut) [16] เพราะพลังงานการตัดจำเพาะสูงสุดเกิดจากการเสียดสีระหว่างคมตัดและชิ้นทดสอบ จนกระทั่งเกิดการคายเศษโลหะ เมื่อพิจารณาความสึกหรอของดอกสว่านในการเจาะเหล็กหล่อสีเทาปกติ พบว่าโครงสร้างพื้นฐานเฟอร์ไรต์และโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไตต์ตามขอบเกรน ทำให้คมตัดมีความสึกหรอมากขึ้น เพราะดอกสว่านเจาะผ่านเฟอร์ไรต์และซีเมนไตต์ เมื่อลำดับอุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงเพิ่มขึ้น พบว่าซีเมนไตต์ที่แตกตัวจากออสเทนไนต์ จะรวมตัวกับซีเมนไตต์ที่เหลือ และอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลานาน ซีเมนไตต์จะค่อยๆ มีลักษณะเม็ดกลมขนาดเล็ก ทำให้เหล็กหล่อมีทั้งความอ่อน และความเหนียว ดอกสว่านจะไม่สามารถเจาะผ่านเม็ดกลมของซีเมนไตต์ แต่จะหลุดออกไปเอง จึงเจาะผ่านเฉพาะเฟอร์ไรต์ ทำให้คมตัดมีความสึกหรอน้อยลง



Symbol	b0	b1	r ²
●	1433.837	27164.444	0.266
▲	1665.244	-4657.778	0.199
★	1913.126	5546.667	0.173
◆	2013.778	-1688.889	0.064

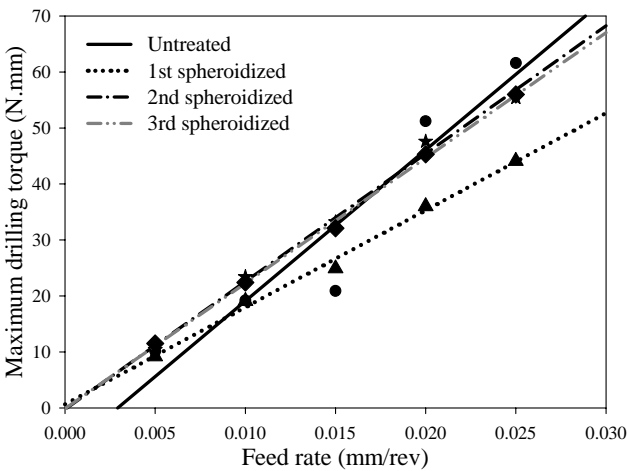
รูปที่ 10 อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับต่อพลังงานการตัดจำเพาะสูงสุด



Coefficient (y=b0+b1x)

- b0 = 14.19 b1 = 3001 r² = 0.796
- ▲ b0 = 25.93 b1 = 1591 r² = 0.978
- ★ b0 = 28.83 b1 = 2275 r² = 0.980
- ◆ b0 = 30.50 b1 = 2117 r² = 0.990

รูปที่ 11 อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับต่อแรงในแนวแกนสูงสุด



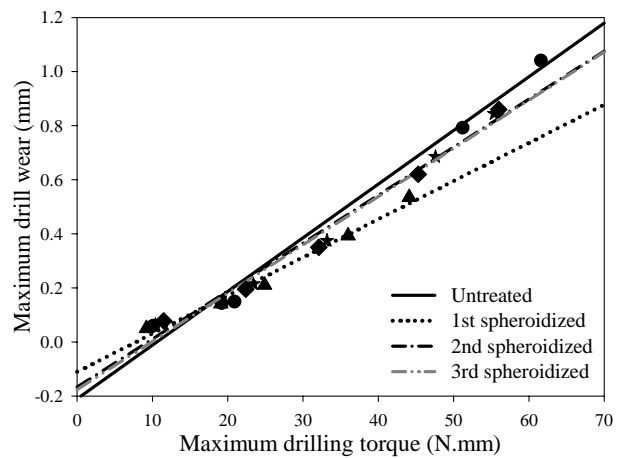
Coefficient (y=b0+b1x)

- b0 = -7.90 b1 = 2700 r² = 0.907
- ▲ b0 = 0.65 b1 = 1734 r² = 0.994
- ★ b0 = -0.26 b1 = 2284 r² = 0.993
- ◆ b0 = -0.11 b1 = 2238 r² = 0.998

รูปที่ 12 อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับต่อแรงบิดสูงสุด

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับของเหล็กหล่อสีเทาต่อแรงในแนวแกนสูงสุด (Maximum thrust

force) (ดังรูปที่ 11) และแรงบิดสูงสุด (Maximum drilling torque) (ดังรูปที่ 12) ที่อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev เหล็กหล่อสีเทาปกติ (Untreated) และกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับ (Triple spheroidized) พบว่าเมื่ออัตราป้อนเพิ่มขึ้นแรงในแนวแกนสูงสุด และแรงบิดสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะเกิดจากความต้านทานการเจาะในเนื้อเหล็กหล่อสีเทา เมื่อลำดับอนุกรมของกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงเพิ่มขึ้น ทำให้พฤติกรรมความต้านทานการเจาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะเหล็กหล่อสีเทาที่ผ่านกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงด้วยอนุกรมบริเวณเส้น A1 ทำให้คุณสมบัติด้านความเหนียวเพิ่มขึ้น



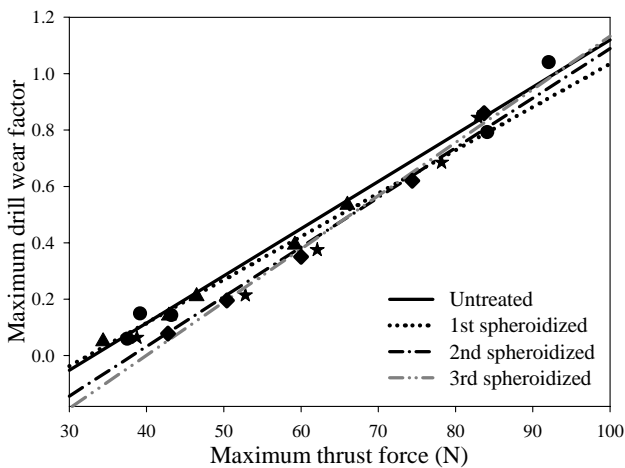
Coefficient (y=b0+b1x)

- b0 = -0.210 b1 = 0.020 r² = 0.988
- ▲ b0 = -0.110 b1 = 0.014 r² = 0.982
- ★ b0 = -0.167 b1 = 0.018 r² = 0.985
- ◆ b0 = -0.176 b1 = 0.018 r² = 0.983

รูปที่ 13 อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับต่อความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุด

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับของเหล็กหล่อสีเทาต่อความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุด (Maximum drill wear) (ดังรูปที่ 13) และแฟกเตอร์ความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุด (Maximum drill wear factor) (ดังรูปที่ 14) ที่อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev เหล็กหล่อสีเทาปกติ (Untreated) และกรรมวิธีสเฟียรอยโคซิงสามลำดับ (Triple spheroidized) พบว่าเมื่อแรงบิดสูงสุดเพิ่มขึ้นความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อแรงในแนวแกนสูงสุดเพิ่มขึ้น แฟกเตอร์ความสึกหรอของ

ดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะความแข็ง และความต้านทานการเจาะในเนื้อเหล็กหล่อสีเทา เมื่อลำดับอุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงเพิ่มขึ้น ทำให้ความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แฟคเตอร์ความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มลดลง เพราะเหล็กหล่อสีเทาที่ผ่านกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงด้วยอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิ A1 และเย็นตัวลงในเตาอบอย่างช้าๆ ทำให้คุณสมบัติด้านความเหนียว และความต้านทานการเจาะเพิ่มขึ้น

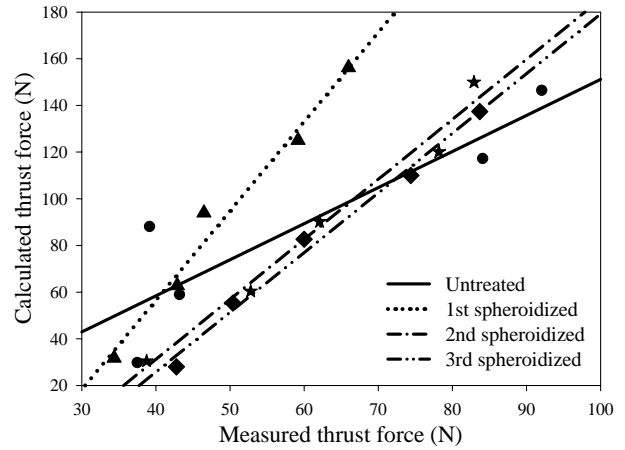


Coefficient (y=b0+b1x)

- b0 = -0.553 b1 = 0.017 r² = 0.988
- ▲ b0 = -0.497 b1 = 0.015 r² = 0.990
- ★ b0 = -0.672 b1 = 0.018 r² = 0.975
- ◆ b0 = -0.753 b1 = 0.019 r² = 0.992

รูปที่ 14 อิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับต่อแฟคเตอร์ความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุด

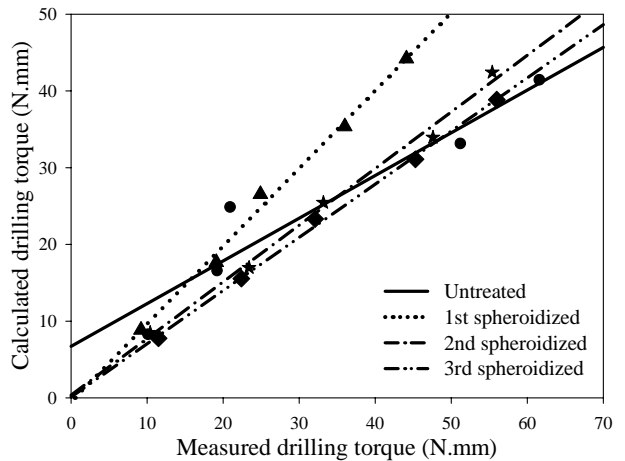
ผลการวิเคราะห์การวัดด้วยการทดสอบ และการคำนวณแรงในแนวแกนสูงสุด (Maximum thrust force) (ดังรูปที่ 15) แรงบิดสูงสุด (Maximum drilling torque) (ดังรูปที่ 16) ของเหล็กหล่อสีเทาปกติ และเหล็กหล่อสีเทาที่ผ่านกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับที่อัตราป้อน 0.005-0.025 mm/rev พบว่าเหล็กหล่อสีเทาปกติ เหล็กหล่อสีเทาที่ผ่านกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงลำดับที่ 1 ลำดับที่ 2 และลำดับที่ 3 มีแรงในแนวแกน และแรงบิดจากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่าแรงในแนวแกน และแรงบิดจากการวัดด้วยการทดสอบ 24.3% 36.9% 19.2% 10.9% และ 16.2% 1.3% 24.3% 30.5 ตามลำดับ



Coefficient (y=b0+b1x)

- b0 = -3.45 b1 = 1.546 r² = 0.796
- ▲ b0 = -96.47 b1 = 3.824 r² = 0.977
- ★ b0 = -71.68 b1 = 2.571 r² = 0.980
- ◆ b0 = -76.47 b1 = 2.556 r² = 0.989

รูปที่ 15 ผลจากการวัดและการคำนวณแรงในแนวแกน



Coefficient (y=b0+b1x)

- b0 = 6.711 b1 = 0.557 r² = 0.907
- ▲ b0 = -0.490 b1 = 1.013 r² = 0.994
- ★ b0 = 0.361 b1 = 0.738 r² = 0.993
- ◆ b0 = 0.122 b1 = 0.693 r² = 0.998

รูปที่ 16 ผลจากการวัดและการคำนวณแรงบิด

4. สรุปผล

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงสามลำดับต่อความสึกหรอของดอกสว่านในการเจาะเหล็กหล่อสีเทา จากผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

เมื่อลำดับอุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงเพิ่มขึ้น ทำให้ซีเมนไคต์ ที่อยู่ในรูปของเพอร์ไลต์เปลี่ยนแปลงไปโดยมีลักษณะกลม (Spheroidal) มากขึ้น การเรียงตัวของกราไฟต์เป็นระเบียบมากขึ้น เมื่อพิจารณาความสึกหรอของดอกสว่าน พบความสึกหรอบริเวณคมตัดทั้งสองด้าน (Cutting lips) และบริเวณคมจิก (Chisel edge) พบร่องรอยมีความขรุขระน้อยลงแรงในแนวแกนสูงสุด แรงบิดสูงสุด และความสึกหรอของดอกสว่านสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แฟกเตอร์ความสึกหรอของดอกสว่านมีแนวโน้มลดลง และพบว่าลำดับอุณหภูมิของกรรมวิธีสเฟียรอยไดซิงไม่มีอิทธิพลต่อพลังงานการตัดจำเพาะสูงสุด อีกทั้งความสึกหรอจากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่าการวัดด้วยการทดสอบ 10.3%

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว องค์กรที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Edith Morin, Jacques Masounave and E.E. Laufer, "Effect of drill wear on cutting forces in the drilling of metal-matrix composites" *Wear*, Vol.184, 1995, pp.11-16.
- [2] Marta Fernandes and Chris Cook, "Drilling of carbon composites using a one shot drill bit. Part II: empirical modeling of maximum thrust force" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.46, 2006, pp.76-79.
- [3] Baoqi Wang, Xiaoyan Song and Huifen Peng, "Design of a spheroidization processing for ultrahigh carbon steels containing Al" *Materials & Design*, Vol.28, 2007, pp.562-568
- [4] Charlie R. Brooks, "Microstructural observations of spheroidization from a lamellar structure in iron meteorites" *Materials Characterization*, Vol.45, 2000, pp.71-80.
- [5] Li Hong-joun et al, "New spheroidizing technique of ultra-high carbon steel with aluminum addition" *International Journal of Iron and Steel Research*, Vol.13, 2006, pp. 9-13.

- [6] Erdal Karadeniz, "Influence of different initial microstructure on the process of spheroidization in cold forging" *Materials and Design*, Vol.29, 2008, pp.251-256.
- [7] L. Collini, G. Nicoletto and R. Konecna, "Microstructure and mechanical properties of pearlite gray cast iron" *Materials Science and Engineering A*, Vol.488, 2008, pp.529-539.
- [8] K. Tokaji, T. Horie and Y. Enomoto, "Effects of microstructure and carbide spheroidization on fatigue behavior in high V-Cr-Ni cast irons" *International Journal of Fatigue*, Vol.28, 2006, pp.281-288.
- [9] Hongshuang Di, Xiaoming Zhang, Guodong Wang and Xianghua Liu, "Spheroidizing kinetics of eutectic carbide in the twin roll-casting of M2 high-speed steel" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.166, 2005, pp.359-363.
- [10] S. Calcaterra, G. Campana and L. Tomesani, "Prediction of mechanical properties in spheroidal cast iron by neural networks" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.104, 2000, pp.74-80.
- [11] G.M. Luo et al, "Microstructure and mechanical properties of spray-deposited ultra-high carbon steel after hot rolling" *Materials Characterization*, Vol.52, 2004, pp.263-268.
- [12] W.S. Dai, L.H. Chen and T.S. Lui, "A study on SiO₂ particle erosion of flake graphite and spheroidal graphite cast iron" *Wear*, Vol.239, 2000, pp.143-152.
- [13] D. Chakraborty and S.K. Pal, "Drill wear monitoring using back propagation neural network" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 172, 2006, pp.283-290
- [14] C.C. Tsao and H. Hocheng, "Effect of tool wear on delamination in drilling composite materials" *International Journal of Mechanical Science*, Vol. 49, 2007, pp.983-988.
- [15] M.C. Shaw and C.J. Oxford, "On the Drilling of Metal2-The Torque and Thrust in Drilling" *Transactions of The ASME*, 1957, pp.139-148.
- [16] Alessandro R. Rodrigues and Reginaldo T. Coelho, "Influence of the tool edge geometry on specific cutting energy at high speed cutting" *Journal of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng*, Vol. 29, 2007, pp. 279-283.