ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอะคูสติกกับการสึกหรอของดอกสว่านในเหล็กกล้า SS400

A Relationship between Acoustic Signal and Drill Bit Wear in SS400 Steel

ดนุชา จันทะยานี ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ
หน่วยปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีการบำรุงรักษาเครื่องจักรกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 0-2218-6644 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: Danucha_CH@hotmail.com, Chairote.K@Chula.ac.th

Danucha Chantayanee Chairote Kunpanitchakit
Machinery Maintenance Technology Research Unit Cell, Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University 254 Phyathai Road, Patumwan, Bangkok Thailand 10330
Tel: 0-2218-6644 Fax: 0-2252-2889 E-mail: Danucha_CH@hotmail.com, Chairote.K@Chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอะคูสติกกับการสึกหรอของดอกสว่านในเหล็กกล้า SS400 โดยใช้การทดลองสร้างความสึกหรอแก่ดอกสว่านเหล็กกล้าไฮสปีดด้วยการเจาะรูแผ่นเหล็กกล้า SS400 หนา 15 มิลลิเมตร จำนวน 1600 รูเจาะ ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วรอบ 2 ระดับ คือ 450 และ 710 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 2 ระดับ คือ 0.08 และ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ ใช้ดอกสว่านทดลองเงื่อนไขละ 3 ดอก และนำสัญญาณอะคูสติกที่ได้มาวิเคราะห์การสะสมของสัญญาณ Energy Count และ Hit เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับบ่งบอกสภาพการสึกหรอของดอกสว่านและทำการทดลองวัดกำลังงานขาเข้าที่ใช้ในการเจาะของดอกสว่าน ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 280 450 และ 710 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ระดับ คือ 0.08 0.12 และ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ ใช้ดอกสว่านทดลองเงื่อนไขละ 1 ดอก เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบกำลังงานและสัญญาณอะคูสติกกับสภาพการสึกหรอของดอกสว่าน

ผลการวิจัยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Energy และ Count กับการสึกหรอของดอกสว่านมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นและเมื่อดอกสว่านเกิดการสึกหรอมากหรือมีการแตกบิ่นสัญญาณ Energy และ Count แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในลักษณะไม่ใช่เชิงเส้น ในขณะที่ค่า Hit ยังไม่สามารถสรุปลักษณะความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกมีความแปรปรวนค่อนข้างสูงอาจไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ตรวจวัดการสึกหรอของดอกสว่าน แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจจับการแตกบิ่นของดอกสว่านได้เพราะมีความไวสูง สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานของเครื่องเจาะกับการสึกหรอของดอกสว่านพบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นโดยมีความแปรปรวนเล็กน้อย และเมื่อดอกสว่านเกิดการสึกหรอจนไม่สามารถใช้การได้ค่ากำลังงานแสดงการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสามารถนำกำลังงานของเครื่องเจาะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอและการแตกบิ่นของดอกสว่านได้

Abstract

The objective of this research is to study a relationship between acoustic signal and drill bit wear in the SS400 steel. The experiment was conducted at 2 cutting speeds : 450 and 750 rpm and at 2 feed rates : 0.08 and 0.2 mm/rev. Each cutting conditions was experimented with 3 high speed twist drills and drilled 1600 holes on 15 mm thick SS400 steel. The acoustic signal was analyzed in term of Energy, Count, and Hit parameters to correlate with the drill wear. In addition, the experiment was also conducted on the input power measurement at 3 cutting speeds : 280, 450, and 750 rpm and 3 feed rates : 0.08, 0.12, and 0.2 mm/rev using one drill for each conditions. The power measurement complemented the relationship between acoustic signal and drill bit wear.

The results showed that Energy and Count gradually and linearly increased as drill wear increased. The signal went up exponentially after the drill was chipped and severely worn. Hit parameter was not correlated well with wear. Due to high variation of acoustic signal, it might not suitable for monitoring drill bit wear. However, acoustic signal might be used to detect chipping of drill bit because of its high sensitivity. The input power was less fluctuating and correlated linearly with the drill wear. The power could be used to monitor the drill bit wear and to detect chipping of the drill.

1. บทนำ

การค้นหาความไม่ต่อเนื่องหรือรอยบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นอยู่แล้วในโครงสร้างและเนื้อวัสดุสามารถกระทำได้โดยใช้การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย เช่น การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายรังสี การตรวจสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิก การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม การตรวจสอบด้วยกระแสไหลวน และการตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก ซึ่งแต่ละวิธีมีขีดความสามารถและความเหมาะสมในการตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องประเภทต่างๆแตกต่างกันและต้องอาศัยผู้มีความชำนาญในการวินิจฉัยผลจากการตรวจสอบ สำหรับวิธีอะคูสติกอีมิสชันเป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่ค่อนข้างใหม่แตกต่างไปจากวิธีอื่นๆ เนื่องจากเป็นการตรวจสอบรอยบกพร่องที่กำลังเกิดขึ้นกับวัสดุและต้นกำเนิดคลื่นเกิดจากเนื้อวัสดุที่ถูกตรวจสอบ โดยที่วิธีอะคูสติกอีมิสชันเป็นการตรวจวัดคลื่นอะคูสติกที่มีความถี่ช่วง 10 kHz – 20 MHz ซึ่งวัสดุปลดปล่อยออกมาเพื่อใช้ตรวจสอบรอยบกพร่องที่กำลังเกิดขึ้น สามารถใช้ตรวจสอบสภาพของโครงสร้างนั้นๆได้อย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นการวิเคราะห์ว่าชิ้นงานกำลังจะเสียหายหรือรอยร้าวกำลังขยายตัว จากการศึกษาความสัมพันธ์โดยใช้ขนาดหรือลักษณะรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอะคูสติกเปรียบเทียบกับสภาพการสึกหรอและความสามารถในการใช้งานของเครื่องมือต่างๆ เช่น มีดกลึง หัวกัด หรือดอกสว่าน เพื่อใช้เป็นส่วนช่วยในการตัดสินใจยกเลิกหรือเปลี่ยนเครื่องมือใหม่ในกระบวนการผลิตแทนที่จะใช้ประสบการณ์ของคนมาเป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการกำหนดสภาพการใช้งานของเครื่องมือ

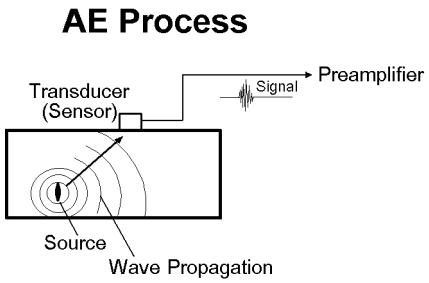
ในงานวิจัยนี้จะศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอะคูสติกกับการสึกหรอของดอกสว่าน เพื่อที่จะใช้เป็นตัวช่วยในการบอกสภาพของดอกสว่านในขณะใช้งาน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตให้ดียิ่งขึ้นและทำให้ลดต้นทุนการผลิตจากการใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ

2. อะคูสติกอีมิสชัน

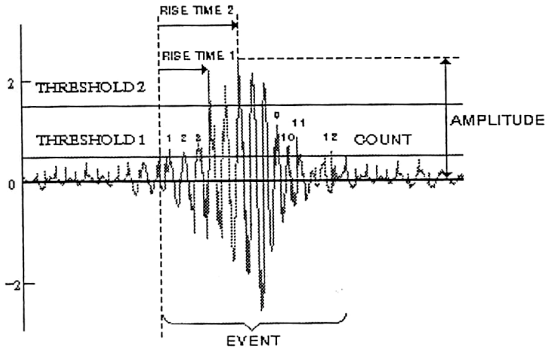
อะคูสติกอีมิสชัน Acoustic Emission (AE) หรือการปล่อยคลื่นความเค้น Stress Wave Emission (SWE) หมายถึง การปลดปล่อยคลื่นความยืดหยุ่น (Elastic wave) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุปลดปล่อยพลังงานภายในที่อยู่ในโครงสร้างออกมาขณะที่วัสดุเกิดการเสียรูป การฉีกขาดของพันธะระหว่างเนื้อวัสดุ การคราก การขยายตัวของรอยร้าว เป็นต้น เมื่อวัสดุได้รับความเค้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจากการเสียรูปโดยความเค้น โดยที่ความเค้นดังกล่าวอาจจะได้รับจากภายนอกหรือมีตกค้างอยู่ภายในเนื้อวัสดุซึ่งล้วนแล้วแต่สามารถทำให้วัสดุปล่อยคลื่นออกมาได้ทั้งสิ้น ดังแสดงในรูปที่1 ตัวอย่างปรากฏการณ์อะคูสติกอีมิสชันที่สัมผัสได้โดยตรง เช่น ปรากฏการณ์แผ่นดินไหว เมื่อเปลือกโลกขยับตัวจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในลักษณะคลื่นแผ่นดินไหวแผ่ออกไปจากจุดกำเนิดทำให้พื้นดินในส่วนต่างๆของโลกสั่นไหวได้

3. คุณลักษณะของสัญญาณ

เมื่อตัวรับสัญญาณแปลงคลื่นความยืดหยุ่นเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณจะถูกขยายและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ประมวลผล ลักษณะรูปคลื่นอะคูสติกทั่วๆไป ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 การตรวจสอบอะคูสติกอีมิสชัน



รูปที่ 2 ลักษณะรูปคลื่นและคุณลักษณะต่างๆ ของสัญญาณอะคูสติก

ลักษณะของสัญญาณอะคูสติกโดยทั่วไปจะเหมือนกับสัญญาณของแผ่นดินไหวคือมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเทียบกับเวลา โดยเริ่มต้นจากแอมพลิจูดของสัญญาณน้อยๆ แล้วเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดแล้วกลับลดลงอีก สัญญาณอะคูสติกจะมีแอมพลิจูดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเสียหายของวัสดุหรือปริมาณพลังงานที่วัสดุปลดปล่อยออกมา แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้มาอาจมีคลื่นรบกวน (Noise) การวิเคราะห์และประเมินผลสัญญาณก็จะมีการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 (Threshold1) หรือเกณฑ์ขั้นต่ำเพื่อเป็นการคัดเลือกวิเคราะห์เฉพาะสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น โดยพิจารณาว่าสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 จะถือว่าเป็นคลื่นรบกวน คุณลักษณะของสัญญาณที่ใช้วิเคราะห์และประเมินผลด้วยเทคนิคอะคูสติกมีหลายพารามิเตอร์ ได้แก่

Count คือจำนวนครั้งที่สัญญาณอะคูสติกมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1และเมื่อสัญญาณเริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1เพิ่มต่อเนื่องไปเรื่อยๆแล้วค่อยๆลดลงจนมีแอมพลิจูดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1อีกครั้ง ตามรูปที่ 2 คลื่นอะคูสติกช่วงนี้มีจำนวน Count เท่ากับ 12 ทั้งนี้คลื่นอะคูสติกกลุ่มนี้เรียกว่า Event หรือ Hit

Event หรือ **Hit** คือกลุ่มของสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งแสดงถึงการปลดปล่อยพลังงานอย่างกระทันหันจากเนื้อวัสดุเป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นความยืดหยุ่นแผ่กระจายออกไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง ลักษณะของ Event จะเป็นกลุ่มใหญ่ กลุ่มเล็ก หรือต่อเนื่องนานๆ ขึ้นกับประเภทของการปลดปล่อยพลังงาน เช่น เมื่อเนื้อวัสดุมีความเสียหายรุนแรงจาก การคราก การร้าว จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมามากในแต่ละ Event ดังนั้นในสภาพนี้แต่ละ Event จะกินระยะเวลานานกว่าเมื่อมีการปลดปล่อยพลังงานน้อยและโดยทั่วไปก็จะมีแอมพลิจูดสูง

ด้วย จึงทำให้มีจำนวน Count มากตามไปด้วย นอกจากนี้รูปแบบของการเพิ่มขึ้นของสัญญาณที่วัดโดย Rise time ก็จะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของสัญญาณว่าเร็วช้าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะการปลดปล่อยพลังงานด้วย

Rise time คือช่วงเวลาระหว่างที่สัญญาณเริ่มมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1ครั้งแรกกับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน2 จะได้ Rise time1 หรือช่วงเวลาระหว่างที่สัญญาณเริ่มมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1ครั้งแรกกับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุดจะได้ Rise time2 โดยที่ Rise time จะแสดงถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของสัญญาณ เช่น วัสดุที่เปราะเมื่อแตกหักก็จะแตกหักกระทันหันการเพิ่มขึ้นของสัญญาณก็จะเกิดอย่างรวดเร็ว ขณะที่วัสดุเหนียวจะมีการยืดตัวได้มากกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไปทำให้มีค่า Rise time ต่ำกว่า

Amplitude คือค่าสูงสุดของสัญญาณอะคูสติกในแต่ละ Event ดังแสดงในรูปที่ 2 จะเห็นว่า Count ที่ 6 มีแอมพลิจูดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ Count อื่นๆ ใน Event เดียวกัน ดังนั้นความสูงของแอมพลิจูดของ Count ที่ 6 ถือว่าเป็นแอมพลิจูดของ Event นั้น ซึ่งสามารถบอกถึงความแรงของแหล่งกำเนิดคลื่น ทำให้สามารถแยกแยะขนาด ชนิด และระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่น

Energy คือพลังงานของคลื่นอะคูสติกที่เทียบได้จากการอินทิเกรตแรงดันไฟฟ้ากำลังสองเทียบกับเวลาแล้วหารด้วยความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจวัด ดังสมการ (1)

$$u = \frac{1}{R}\int_{0}^{T} V^{2}(t)dt \qquad (1)$$

โดยที่

U คือ ค่าพลังงาน มีหน่วยเป็นหน่วยพลังงาน

R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์

T คือ ช่วงเวลาที่ตรวจวัด

V(t) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่เวลา t ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก ดังนั้นค่าพลังงานของคลื่นอะคูสติกอาจใช้เป็นตัวแปรสำหรับบ่งบอกถึงปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเนื้อวัสดุ

4. การสึกหรอของดอกสว่าน

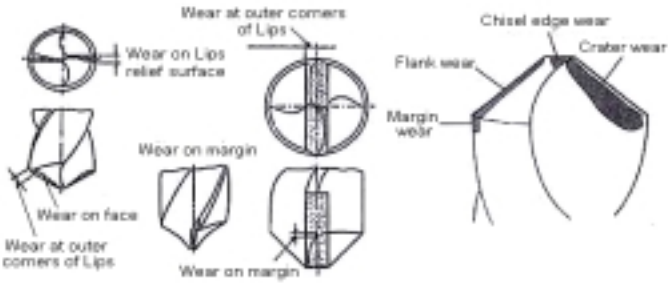
จากลักษณะการตัดเนื้อของดอกสว่านจะมีอยู่ 2 ส่วนที่เกิดการสึกหรอคือ ส่วนที่ดอกสว่านสัมผัสกับแผ่นเหล็กและส่วนที่ดอกสว่านสัมผัสกับเนื้อโลหะที่ถูกตัดออกไปแล้ว รูปแบบการสึกหรอของดอกสว่านโดยทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ Chisel edge wear, Lip wear, Margin wear และ Crater wear [5] ดังแสดงในรูปที่ 3

1) Chisel edge wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณศูนย์ตายหรือนำศูนย์ของดอกสว่าน เป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) หรือการเสียรูปแบบพลาสติก รูปแบบของการสึกหรออาจเกิดมาจากมีแรงกดมากระทำบนปลายดอกสว่านซึ่งมีผลกระทบต่อความถูกต้องต่อการนำศูนย์การเจาะ

2) Lip wear หรือ Flank wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณคมตัดของดอกสว่าน ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) หรือการลับคมตัดของดอกสว่านไม่เหมาะสม เมื่อ Lip wear มีขนาดสูงมากเกินไปดอกสว่านอาจหยุดหมุนในขณะที่ทำการเจาะหรือเกิดการแตกหัก

3) Margin wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณมุมของคมตัดหรือขอบของดอกสว่าน ซึ่งเป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) หรือ Diffusion wear เมื่อ Margin wear มีขนาดสูงเกินไปจะส่งผลให้รูเจาะไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการและผิวของรูเจาะไม่เรียบ โดยปกติแล้ว Margin wear จะทำให้รูเจาะที่ได้มีขนาดเล็กกว่ามาตราฐาน

4) Crater wear เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นบริเวณผิวร่องคายขี้เจาะ (Flutes) ซึ่งเป็นผลมาจาก Diffusion wear ซึ่งหาก Crater wear มีขนาดสูงมากเกินไปอาจจะนำไปสู่การแตกบิ่นของคมตัดได้



รูปที่ 3 ลักษณะการสึกหรอของดอกสว่าน

จะพบว่าการสึกหรอของดอกสว่านที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเสียดสี (Abrasion) การทำนายจำนวนรูเจาะที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหายนั้นจึงสามารถประมาณได้จาก Abrasive wear model และโดยทั่วไปพบว่าจำนวนรูเจาะที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหายขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนและความเร็วตัด [6] ดังสมการ (2)

$$N = \frac{C_1 VBf}{V^{a}} \qquad (2)$$

โดยที่

N คือ จำนวนรูเจาะที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหาย

T คือ ระยะเวลาที่ทำให้ดอกสว่านเกิดความเสียหาย

V คือ ความเร็วตัด

f คือ อัตราการป้อน

VB คือ ค่าความกว้างของ Flank wear (Value of flank land width)

C_1 และ a คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง (Empirical constants) [6]

5. วิธีดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากไม่สามารถวัดการสึกหรอของดอกสว่านได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้จำนวนรูเจาะเป็นตัวบอกการสึกหรอของดอกสว่าน เพราะจำนวนรูเจาะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะทางและเวลาที่ดอกสว่านสัมผัสและเสียดสีกับเนื้อโลหะซึ่งเป็นต้นเหตุของการสึกหรอ ดังนั้นจะกำหนดว่าดอกสว่านที่ทำการเจาะแผ่นเหล็กได้จำนวนมากกว่าจะสึกหรอมากกว่าดอกสว่านในช่วงแรกที่ยังไม่ได้ใช้งานหรือเจาะ

แผ่นเหล็กได้จำนวนรูน้อยกว่าที่เงื่อนไขการเจาะอัตราเร็วรอบ อัตราการป้อน และการหล่อเย็นเดียวกัน การวัดสัญญาณอะคูสติกขณะเจาะจะเลือกวิเคราะห์สัญญาณเป็นช่วงๆ เพื่อเป็นตัวบอกขนาดการสึกหรอ ช่วงห่างละ 200 รูเจาะ ซึ่งถือได้ว่าดอกสว่านมีการสึกหรอต่างกันมากพอสมควร โดยแต่ละช่วงนั้นจะนำสัญญาณมาพิจารณา 8 รูเจาะ เพื่อรวบรวมลักษณะเชิงสถิติในการบ่งชี้ลักษณะของสัญญาณแต่ละช่วง เพราะในช่วงระยะสั้นๆ นี้เมื่อเทียบกับช่วง 200 รูเจาะแล้วจะถือว่า 8 รูเจาะที่ต่อเนื่องกันนี้เป็นช่วงเดียวกัน เช่น สัญญาณจากรูเจาะที่ 1 ถึง 8 ถือเป็นตัวแทนของดอกสว่านใหม่ สัญญาณจากรูเจาะที่ 201 ถึง 208 ถือเป็นตัวแทนของรูเจาะที่ 201 และสัญญาณจากรูเจาะที่ 401 ถึง 408 ถือเป็นตัวแทนของรูเจาะที่ 401 เป็นต้น และวัดกำลังงานของเครื่องเจาะเป็นพารามิเตอร์วิเคราะห์การสึกหรอในเชิงเปรียบเทียบ การวัดกำลังงานจะวัดกำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์ที่เครื่องเจาะใช้ในการเจาะแต่ละรู ซึ่งจะกำหนดว่าดอกสว่านใหม่ที่มีความคมสูงและยังไม่มีการสึกหรอ เครื่องเจาะจะใช้กำลังในการเจาะแตกต่างจากดอกสว่านที่ผ่านการเจาะรูมาแล้วหรือมีการสึกหรอเกิดขึ้นสูง การวัดกำลังงานขณะเจาะจะวัดเป็นช่วงห่างช่วงละ 100 รูเจาะ โดยแต่ละช่วงจะนำสัญญาณมาพิจารณา 10 รูเจาะ และถือว่า 10 รูเจาะที่ต่อเนื่องกันนี้เป็นช่วงเดียวกัน เช่นเดียวกับหลักการของการวัดสัญญาณอะคูสติกคือ กำลังงานจากรูเจาะที่ 1 ถึง 10 ถือเป็นตัวแทนของดอกสว่านใหม่ กำลังงานจากรูเจาะที่ 101 ถึง 110 ถือเป็นตัวแทนของรูเจาะที่ 101 และกำลังงานจากรูเจาะที่ 201 ถึง 210 ถือเป็นตัวแทนของรูเจาะที่ 201

1) การทดลองวัดสัญญาณอะคูสติก

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอะคูสติกกับการสึกหรอของดอกสว่าน โดยใช้จำนวนรูเจาะแทนความสึกหรอของดอกสว่านจำนวน 1600 รูเจาะ ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราเร็วรอบ 2 ระดับคือ 450 และ 710 รอบต่อนาที และเปลี่ยนอัตราการป้อน 2 ระดับคือ 0.08 และ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ละการทดลองใช้ดอกสว่านจำนวน 3 ดอก โดยเลือกทำการวิเคราะห์การสะสมของสัญญาณ Energy Count และ Hit เป็นช่วงๆ ละ 200 รูเจาะ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการทดลองวัดสัญญาณอะคูสติก

อัตราเร็วรอบ	อัตราการป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)	
(รอบต่อนาที)	0.08	0.20
450	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2
710	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4

2) การทดลองวัดกำลังงาน

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานของเครื่องเจาะกับการสึกหรอของดอกสว่าน โดยใช้จำนวนรูเจาะแทนความสึกหรอของดอกสว่านจำนวน 1600 รูเจาะ ทำการทดลองโดยเปลี่ยนอัตราเร็วรอบ 3 ระดับคือ 280, 450 และ 710 รอบต่อนาที และเปลี่ยนอัตราการป้อน 3 ระดับคือ 0.08, 0.12 และ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ละการทดลองใช้ดอกสว่าน 1 ดอก วัดกำลังงานเป็นช่วงๆ ละ 100 รูเจาะ

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการทดลองวัดกำลังงาน

อัตราเร็วรอบ	อัตราการป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)		
(รอบต่อนาที)	0.08	0.12	0.20
280	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
450	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 5	การทดลองที่ 6
710	การทดลองที่ 7	การทดลองที่ 8	การทดลองที่ 9

3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

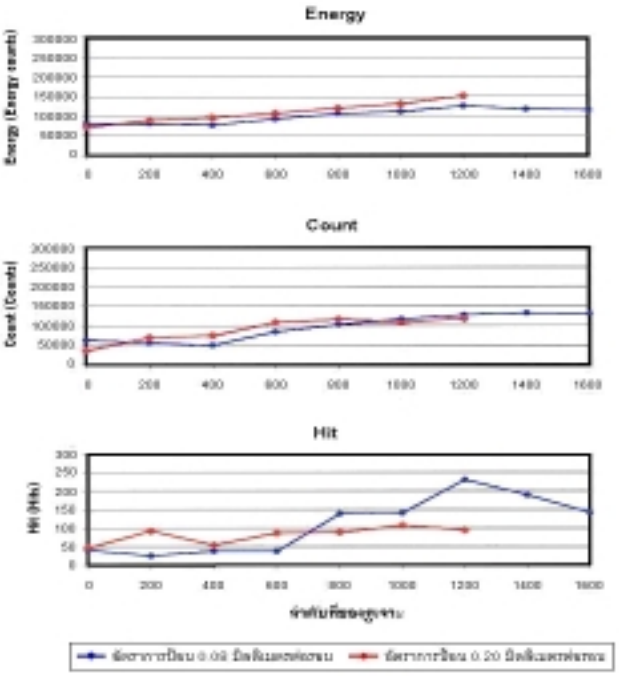
- ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณอะคูสติกรุ่น LOCAN 320
- ชุดอุปกรณ์วัดกำลังงาน 3286 Clamp on Power Hitester
- เครื่องเจาะแบบตั้งพื้น ขนาด 1.5 กิโลวัตต์
- ดอกสว่านไฮสปีดแบบเกลียวบิด ขนาด 10 มิลลิเมตร
- แผ่นเหล็กกล้า SS400 หนา 15 มิลลิเมตร

6. ผลการทดลอง

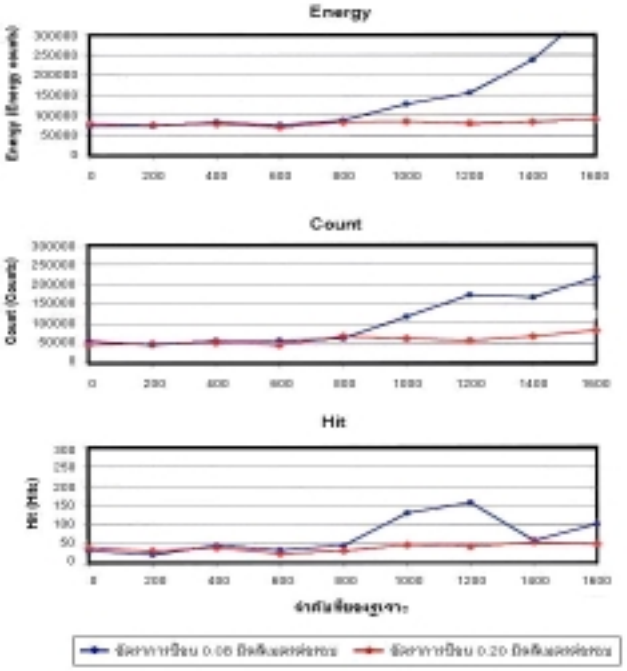
ผลการทดลองวัดสัญญาณอะคูสติกและกำลังงานดังแสดงในรูปที่ 4 – 6 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกและกำลังงานเพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสภาพการสึกหรอของดอกสว่านที่เงื่อนไขการเจาะต่างๆ สรุปได้ดังนี้

ที่อัตราเร็วรอบ 450 รอบต่อนาที พบว่าค่า Energy และ Count ที่อัตราการป้อนต่ำมีค่าต่ำกว่าที่อัตราการป้อนสูง ในช่วงรูเจาะที่ 1-600 ที่อัตราการป้อนต่ำดอกสว่านเกิดการสึกหรอเล็กน้อย ค่า Energy Count และ Hit จึงแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ต่างจากที่อัตราการป้อนสูงดอกสว่านเกิดการสึกหรออย่างต่อเนื่องทำให้พบว่าตลอดช่วงรูเจาะที่ 1-1200 สัญญาณอะคูสติก Energy Count และ Hit มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน แม้ว่าที่อัตราการป้อนต่ำจะใช้เวลาในการเจาะแต่ละรูเจาะค่อนข้างนานซึ่งเป็นผลให้มีระยะเวลาในการปลดปล่อยสัญญาณอะคูสติกยาวนานกว่าที่อัตราการป้อนสูง แต่ที่อัตราการป้อนต่ำดอกสว่านแทบไม่เกิดการสึกหรอและเศษโลหะที่ได้มีความต่อเนื่องและยืดหยุ่นสูงไม่ฉีกขาดง่าย เป็นผลให้แหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติกในส่วนการแตกหักของเศษโลหะลดลง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสึกหรอของดอกสว่านมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสัญญาณอะคูสติก

ที่อัตราเร็วรอบ 710 รอบต่อนาที พบว่าค่า Energy Count และ Hit ที่อัตราการป้อนต่ำและอัตราการป้อนสูงในช่วงรูเจาะที่ 1-600 มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาที่ดอกสว่านพบว่าในช่วงนี้ดอกสว่านเกิดการสึกหรอเล็กน้อย จากนั้นในช่วงรูเจาะที่ 600-1600 ที่อัตราการป้อนต่ำดอกสว่านเกิดการสึกหรอค่อนข้างสูงมีลักษณะของการแตกบิ่นของคมตัดและมีการสึกหรอของขอบ (Margin) สูงและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ลักษณะความเสียหายของดอกสว่านบ่งชี้ถึงอัตราเร็วรอบที่สูงเกินไป[12] ทำให้สัญญาณอะคูสติกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนต่างจากที่อัตราการป้อนสูง ซึ่งพบว่าดอกสว่านเกิดการสึกหรอน้อย เป็นผลให้สัญญาณอะคูสติก Energy Count และ Hit มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในกรณีนี้จะเห็นว่าที่อัตราการป้อนต่ำสัญญาณอะคูสติกมีค่าสูงกว่าที่อัตราการป้อนสูงเนื่องมาจากการที่ดอกสว่านเกิดการสึกหรอสูงเป็นผลให้เศษโลหะจากการเจาะแข็งเปราะและแตกหักเสมอมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิมที่ดอกสว่านยังใหม่เศษโลหะมีความต่อเนื่องและความยืดหยุ่นสูง ทำให้แหล่งกำเนิดสัญญาณอะคูสติกในส่วนนี้เพิ่มขึ้น



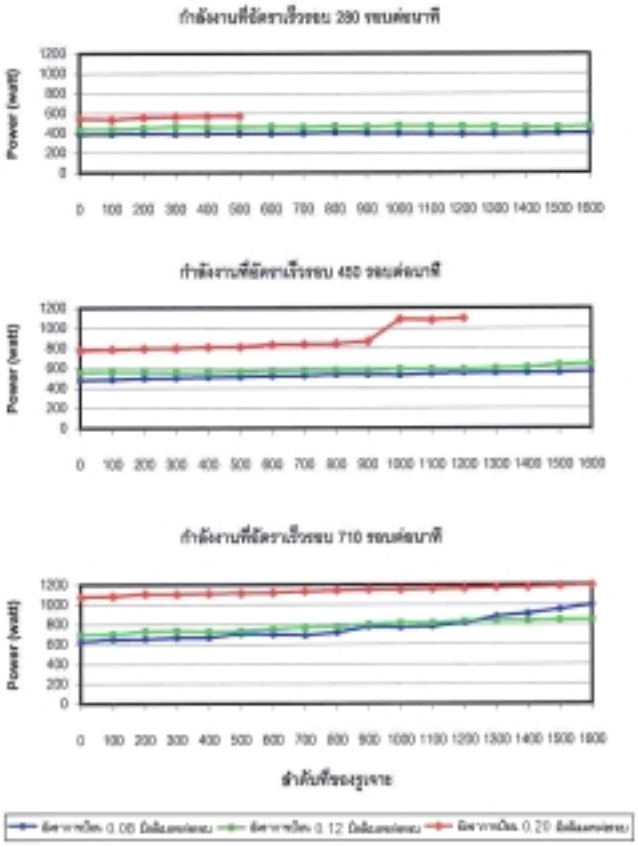
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัญญาณอะคูสติก
ที่อัตราเร็วรอบคงที่ 450 รอบต่อนาที



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัญญาณอะคูสติก
ที่อัตราเร็วรอบคงที่ 710 รอบต่อนาที

เมื่อเปรียบเทียบกำลังงานที่อัตราเร็วรอบคงที่ 280, 450 และ 710 รอบต่อนาที พบว่าค่ากำลังงานที่อัตราการป้อนต่ำมีค่าน้อยกว่าที่อัตราการป้อนสูงค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากที่อัตราการป้อนต่ำการตัดเนื้อโลหะที่บางกว่าใช้แรงตัดน้อยกว่า ทำให้เครื่องเจาะใช้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าที่อัตราการป้อนสูง ส่งผลให้ค่ากำลังงานที่วัดได้ต่ำด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาในแต่ละเงื่อนไขของการทดลองพบว่ากำลังงานที่เครื่องเจาะใช้ทำการเจาะในขณะที่ดอกสว่านยังใหม่และมีความคมสูงมีค่าต่ำกว่ากำลังงานที่เครื่องเจาะใช้ในขณะที่ดอกสว่านทำการเจาะครบ 1600 รูเจาะ ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อดอกสว่านทำการเจาะครบตามจำนวนรูเจาะของในแต่ละเงื่อนไขแล้ว ดอกสว่านในบางเงื่อนไขเกิดการสึกหรอทำให้สูญเสียความคมในบางส่วนไป เช่น คมตัด จุดนำศูนย์ หรือขอบคมของดอกสว่าน ทำให้การเจาะในแต่ละครั้งดอกสว่านต้องใช้แรงในการเจาะมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้กำลังงานที่ใช้เพิ่มสูงขึ้น สรุปได้ว่ากำลังงานที่เครื่องเจาะใช้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามการสึกหรอของดอกสว่านและพบว่ากำลังงานที่วัดได้มีความสม่ำเสมอในการเพิ่มขึ้นและมีความแปรปรวนน้อย ความสัมพันธ์ที่ได้ส่วนใหญ่มีลักษณะเชิงเส้น เมื่อมีการสึกหรอมากอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังงานจะสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกำลังงาน
ที่อัตราเร็วรอบคงที่ 280, 450 และ 710 รอบต่อนาที

จากผลการทดลองกระทำที่อัตราเร็วรอบและอัตราการป้อนในช่วงกว้างตามความสามารถเครื่องเจาะ พบว่าสภาพการเจาะบางเงื่อนไข ไม่เหมาะสมสำหรับดอกสว่านเหล็กกล้าไฮสปีด ได้แก่ อัตราการป้อน 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่อัตราเร็วรอบ 280 และ 450 รอบต่อนาที ดอกสว่านเกิดความเสียหายในลักษณะการแตกบิ่นเนื่องมาจากอัตราการป้อนที่สูงเกินไป และที่อัตราเร็วรอบ 710 รอบต่อนาที ดอกสว่านมีการสึกหรอที่ขอบของดอกสว่านโดยเฉพาะเมื่ออัตราการป้อน 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ ดอกสว่านมี Margin wear สูงเนื่องมาจากอัตราการป้อนต่ำดอกสว่านใช้เวลาในการเจาะนาน

เทียบกับอัตราการป้อนที่สูงกว่า 0.12 และ 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ ผลสรุปลักษณะการสึกหรอของดอกสว่านจากการทดลองสัญญาณอะคูสติกและการวัดกำลังงานแสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 สรุปลักษณะการสึกหรอของดอกสว่านในการทดลองวัดสัญญาณอะคูสติก

อัตราเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราการป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)	
	0.08	0.2
450	ดอกสว่านสึกหรอเล็กน้อยบริเวณคมตัดและผิวร่องคายเศษโลหะ มีลักษณะเป็น Flank wear และ Crater wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานหรือทำการเจาะเพิ่มต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอสูงมากบริเวณคมตัดและเกิดการแตกบิ่นของจุดนำศูนย์ มีลักษณะเป็น Flank wear และ Chisel edge wear ดอกสว่านเจาะได้เพียง 1200 รูเจาะ และเกิดความเสียหายจนไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้
710	ดอกสว่านสึกหรอสูงบริเวณคมตัดและมีการแตกบิ่นของขอบของดอกสว่าน รวมถึงมีการเกาะติดของเศษโลหะ ลักษณะรูปแบบการสึกหรอเป็น Flank wear และ Margin wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านเสียหาย ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอเล็กน้อยบริเวณคมตัด ผิวร่องคาย และจุดนำศูนย์ มีลักษณะเป็น Flank wear Crater wear และ Chisel edge wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานหรือทำการเจาะเพิ่มต่อได้

รูปที่ 7 ลักษณะการสึกหรอของปลายดอกสว่าน ในการทดลองวัดสัญญาณอะคูสติก

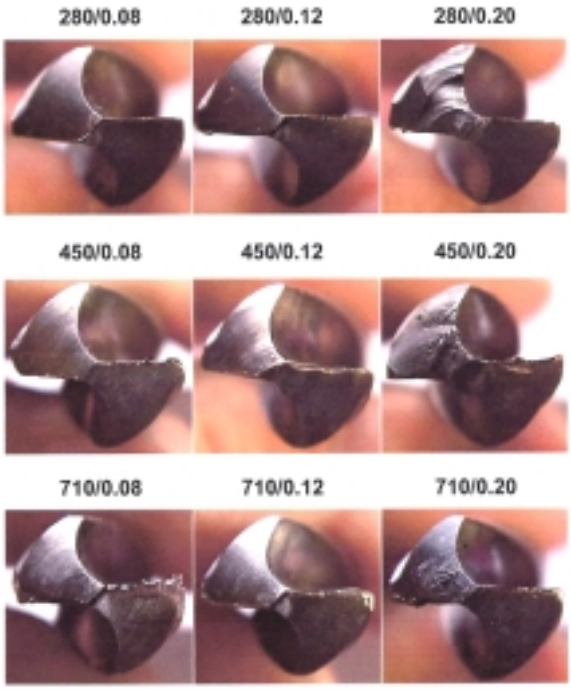
7. สรุปผลการวิจัย

1) สรุปผลการทดลองวัดสัญญาณอะคูสติก

จากผลการทดลองวัดสัญญาณอะคูสติกทั้ง 4 เงื่อนไข พบว่าสัญญาณเฉลี่ย Energy และ Count มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นเทียบกับการสึกหรอ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ(2) ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน รูเจาะกับขนาดของ Flank wear คือเมื่อให้อัตราเร็วรอบและอัตราการป้อนคงที่ขนาดของ Flank wear จะแปรผันตามจำนวนรูเจาะ สัญญาณอะคูสติกในการวัดแต่ละครั้งสัญญาณมีการกระจายค่าค่อนข้างสูง เมื่อดอกสว่านเกิดการสึกหรอมากหรือแตกบิ่นสัญญาณอะคูสติก Energy Count และ Hit แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 4 สรุปลักษณะการสึกหรอของดอกสว่านในการทดลองวัดกำลังงาน

อัตราเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	อัตราการป้อน (มิลลิเมตรต่อรอบ)		
	0.08	0.12	0.2
280	ดอกสว่านสึกหรอเล็กน้อย บริเวณคมตัดเมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานหรือทำการเจาะเพิ่มต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอเล็กน้อย บริเวณคมตัดเมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานหรือทำการเจาะเพิ่มต่อได้	ดอกสว่านแตกบิ่นอยู่เสมอ ในเงื่อนไขนี้ทำการเจาะได้เพียง 500 รูเจาะ ดอกสว่านไม่สามารถทำการทดลองต่อได้
450	ดอกสว่านสึกหรอเล็กน้อย บริเวณคมตัดและผิวร่องคาย มีลักษณะเป็น Flank wear และ Crater wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานหรือทำการเจาะเพิ่มต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอบริเวณคมตัดและจุดนำศูนย์ มีลักษณะเป็น Flank wear และ Chisel edge wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานหรือทำการเจาะเพิ่มต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอสูง บริเวณคมตัดและมีการแตกบิ่นของจุดนำศูนย์มีลักษณะเป็น Flank wear และ Chisel edge wear ในเงื่อนไขนี้ทำการเจาะได้เพียง 1200 รูเจาะ ดอกสว่านไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้
710	ดอกสว่านสึกหรอสูง บริเวณคมตัดและเกิดการแตกบิ่นที่ขอบของดอกสว่าน มีลักษณะเป็น Flank wear และ Magin wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านเสียหายจนไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอบริเวณคมตัดและขอบของดอกสว่าน มีลักษณะเป็น Flank wear และ Margin wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านสามารถนำไปใช้งานต่อได้	ดอกสว่านสึกหรอบริเวณคมตัดและจุดนำศูนย์มีลักษณะเป็น Flank wear และ Chisel edge wear เมื่อเจาะครบ 1600 รูเจาะ ดอกสว่านยังคงมีสภาพดีสามารถนำไปใช้งานต่อได้



รูปที่ 8 ลักษณะการสึกหรอของปลายดอกสว่าน ในการทดลองวัดกำลังงาน

ในลักษณะไม่ใช่เชิงเส้น สำหรับสัญญาณอะคูสติก Hit ยังไม่สามารถสรุปลักษณะความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นและการกระจายค่าของสัญญาณอะคูสติกอาจมีความสัมพันธ์กับสภาวะที่เหมาะสมหรือไม่เหมาะสมของการเจาะรู ซึ่งทำให้เกิดการสึกหรอของดอกสว่านได้เร็วหรือช้าหรือรูปแบบของการสึกหรอที่แตกต่างกันและมีผลต่อลักษณะของเศษวัสดุที่เกิดจากการเจาะรู

เนื่องจากการวัดสัญญาณอะคูสติกยังมีความแปรปรวนสูง ทำให้ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้วัดการสึกหรอโดยเฉลี่ยยังกระทำได้ยาก แต่อาจใช้เพื่อตรวจจับการแตกบิ่นของดอกสว่านได้ดีกว่า เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกมีความไวในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลง

2) สรุปผลการทดลองวัดกำลังงาน

จากผลการทดลองวัดกำลังงานทั้ง 9 เงื่อนไข พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานของเครื่องเจาะกับการสึกหรอของดอกสว่านมีลักษณะเชิงเส้นและมีความแปรปรวนน้อย ค่ากำลังงานเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามจำนวนรูเจาะ ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของการสึกหรอสอดคล้องกับสมการ(2) เมื่อดอกสว่านเกิดการสึกหรอมากจนไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ การเพิ่มขึ้นของกำลังงานจะสูงขึ้นกว่าเงื่อนไขอื่นๆที่ดอกสว่านมีการสึกหรอน้อยและยังสามารถนำไปใช้งานต่อได้ มีความเป็นไปได้ที่จะใช้การเพิ่มขึ้นของกำลังงานเมื่อใช้ดอกสว่านที่สึกหรอเทียบกับกำลังงานเมื่อใช้ดอกสว่านใหม่เป็นเกณฑ์กำหนดสภาพการสึกหรอ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและการสึกหรอเป็นเชิงเส้นและอาจใช้ลักษณะการเพิ่มขึ้นของกำลังงานอย่างกระทันหันเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงการแตกบิ่นของดอกสว่าน

8. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอะคูสติกกับการสึกหรอของดอกสว่านในแผ่นเหล็กกล้า SS400 เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ควรดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

1) ควรมีการบันทึกสัญญาณอะคูสติกในลักษณะของสัญญาณแบบเวลาจริง (Real time) เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณเนื่องจากสภาพการแตกหักหรือบิ่นบริเวณส่วนต่างๆของดอกสว่าน เพื่อช่วยในการทำนายลักษณะของการสึกหรอและการเสียหายของดอกสว่านในแบบต่างๆ

2) เนื่องจากผลผลิตของการเจาะรูคือรูเจาะที่ดีจึงควรมีการวัดคุณภาพของรูเจาะ ความกลมและความเรียบของผิวรูเจาะ เพื่อช่วยบอกสภาพการพร้อมใช้งานของดอกสว่านสำหรับใช้พิจารณาประกอบร่วมกับการสึกหรอของดอกสว่าน

3) ผลของการทดลองแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการเลือกเงื่อนไขการเจาะอัตราเร็วรอบและอัตราการป้อนที่เหมาะสม เพราะมีผลกระทบต่อรูปแบบของการสึกหรอและขนาดของการสึกหรอของดอกสว่านสูงมาก เช่น ที่อัตราเร็วรอบ 280 และ 450 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ เป็นอัตราการป้อนที่สูงเกินไป และที่อัตราเร็วรอบ 710 รอบต่อนาที อัตราการป้อน 0.08 มิลลิเมตรต่อรอบ เป็นอัตราการป้อนที่ต่ำเกินไป

9. กิตติกรรมประกาศ

การทดลองอะคูสติกได้รับความอนุเคราะห์อุปกรณ์ LOCAN 320 จากหน่วยเทคโนโลยีเฉพาะทางการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

10. รายการอ้างอิง

[1] Roget J., Souquet P., Deschamps M., and Gsib N. Tool Monitoring by Acoustic Emission. ASTM STP 1077 (1991), pp. 316-327.

[2] Dornfeld, D.A. Monitoring the Machining Process by Means of Acoustic Emission Sensors. ASTM STP 1077 (1991), pp. 328-341.

[3] สรรวริศ อุ่ยวัฒนา. การศึกษาความสัมพันธ์ของสัญญาณอะคูสติกกับการสึกหรอของดอกสว่านในเหล็กกล้า SS400. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

[4] E.M. Trent. Metal Cutting. Third Edition. : Butterworth-Heinemann, 1991.

[5] K. Subramanian and N. H. Cook. Sensing of Drill Wear and Prediction of Drill Life. ASME J. Eng. 99 (1977), pp. 295-301.

[6] J. Alverio, J. S. Agapiou. High Speed Drilling of 390 Aluminum. Trans. NAMRi/SME 18 (1990), pp. 209-215.

[7] Physical Acoustic Corporation. LOCAN 320 USER'S MANUAL. U.S.A. : Princeton, 1990.

[8] Jack C. Spanner. Acoustic Emission Techniques and Application. U.S.A. : Intex, 1974.

[9] Rupert Le Grand. Manufacturing Engineerings Manual. New York : McGraw-Hill, 1971.

[10] Fryderyk E. Gorczyca. Application of Metal Cutting Theory. : U.S.A. , 1987.

[11] David A. Stephenson, John S. Agapiou. Metal Cutting Thoery and Practice. : Marcel Dekker, 1997.

[12] S.F. Krar, J.W. Oswald, J.E.St. Amand. Technology of Machine Tools. Third Edition. : McGraw-Hill, 1986