บทที่ 2

อะคูสติกอีมิสชัน
(Acoustic Emission)

2.1 อะคูสติกอีมิสชัน

ปรากฏการณ์เกี่ยวกับอะคูสติกอีมิสชันได้ค้นพบเมื่อปี 1948 โดย Schockleyedal แต่งานชิ้นแรกที่ได้รับการบุกเบิกเกิดขึ้นปี 1950 โดย Joseph Kaiser จาก Technical University of Munich ซึ่งเป็นผู้ค้นพบปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Kaiser-effect ของอะคูสติกอีมิสชัน [1]

วิธีการอะคูสติกอีมิสชันคือ การตรวจจับพลังงานความยืดหยุ่น (Elastic energy) ที่วัสดุปลดปล่อยพลังงานภายในออกมาเมื่อวัสดุเกิดการเสียรูป (deformation) แบบ plastic หรือมีการฉีกขาดออกจากกันของพันธะระหว่างโมเลกุล ปรากฏการณ์ที่แสดงคลื่นอะคูสติกออกมาให้เห็น เช่น การเคลื่อนที่หรือแตกของเปลือกโลกที่บริเวณหนึ่งแล้วเกิดแผ่นดินไหวแผ่กว้างออกไป การคลาก (yielding) การเคลื่อนตัวของอะตอมและการไถลระหว่างระนาบของ lattice (dislocation and slip line) การขยายตัวของการแตกร้าว (crack propagation) การขาดของเส้นใย (fiber breakage) นอกจากนี้ยังมีแหล่งกำเนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของเนื้อวัสดุ เช่น คาวิเตชัน (cavitation) การเปลี่ยนสถานะ และ ความเสียดทาน เป็นต้น

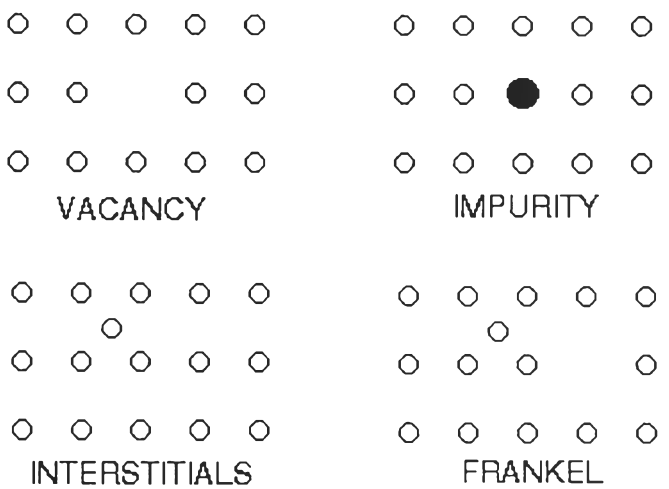
คลื่นอะคูสติกจะเกิดขึ้นเมื่อมีภาระกระทำอยู่กับวัตถุเท่านั้น เมื่อวัสดุได้รับความเค้นค่าหนึ่งแล้ววัสดุจะปลดปล่อยคลื่นความยืดหยุ่น (elastic wave) ออกมา และเมื่อสิ้นสุดแล้วก็จะไม่มีการปล่อยออกมาอีกจนกว่าจะได้รับความเค้นที่สูงกว่ากระทำต่อวัสดุนั้นถึงแม้ว่าจะเอาภาระออกและใส่กลับเข้าไปใหม่ก็ตาม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Kaiser-effect ช่วงของการเกิด Kaiser-effect จะแตกต่างกันไป วัสดุบางชนิดอาจให้สัญญาณหลังจากเกิด Kaiser-effect ไม่นาน แต่วัสดุบางชนิดสัญญาณ อาจจะไม่ปรากฏเลยหลังจากเวลาผ่านไปหลายๆชั่วโมง

เนื่องจากคลื่นอะคูสติกแผ่ขยายออกจากแหล่งกำเนิดกว้างไปเรื่อยๆ ทำให้สะดวกต่อการติดตั้งตัวตรวจรู้ (transducer) ตรวจสอบโครงการขนาดใหญ่ๆได้

2.1.1 แหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติก

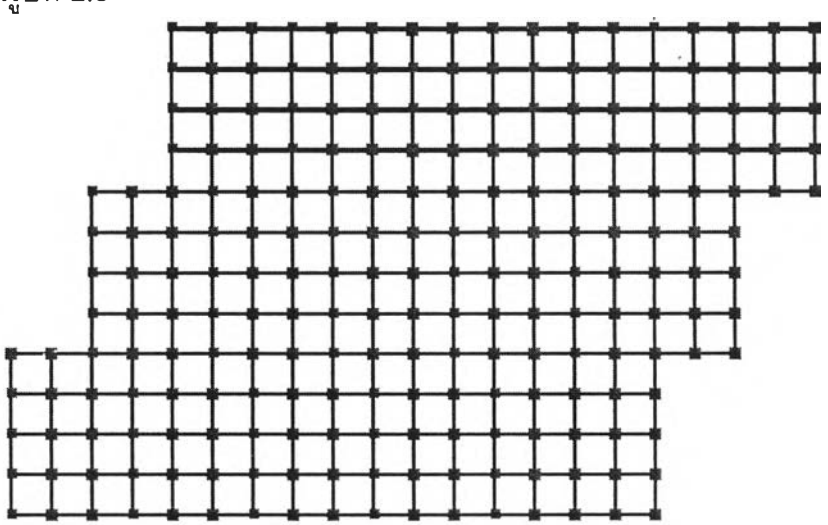
ปรากฏการณ์และคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยคลื่นอะคูสติกอาจพิจารณาได้ทั้งมหภาคและจุลภาคเพื่ออธิบายถึงแหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติก

1) แหล่งกำเนิดจุลภาค หมายถึงแหล่งกำเนิดที่เกิดจากคุณสมบัติของเนื้อวัสดุเมื่อพิจารณาถึงอะตอม โมเลกุล และโครงสร้างของผลึกและอะตอมซึ่งไม่สมบูรณ์ เช่น มีอะตอมขาดหายไป (vacancy) หรือ มีอะตอมเกิน (interstitials) หรือมีอะตอมผิดตำแหน่ง (Frankel defect) หรือ มีอะตอมแปลกปลอม (impurity) จากโครงสร้างปกติ ดังแสดงด้วยแผนภูมิในรูปที่ 2.1

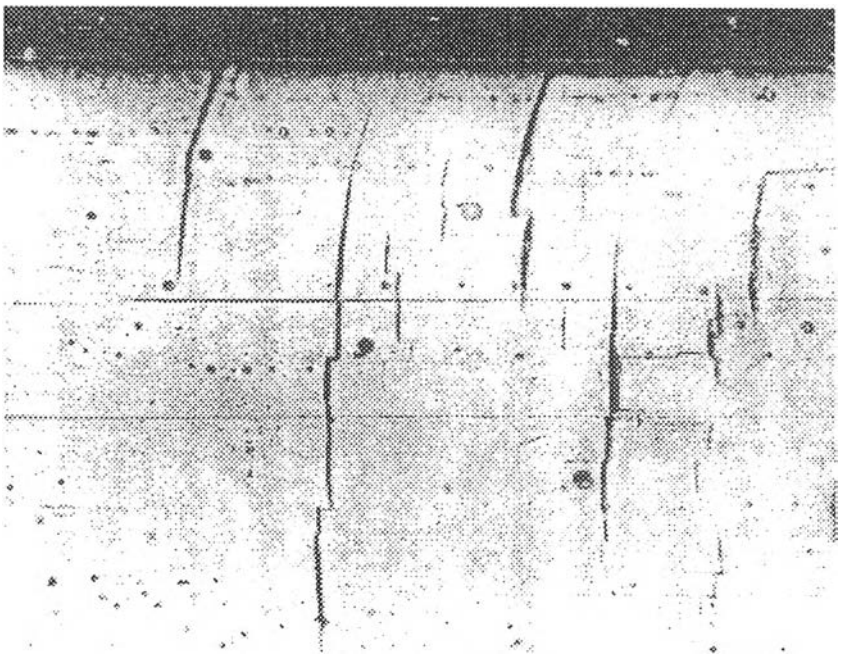


รูปที่ 2.1 แผนภูมิลักษณะโครงสร้างของผลึกและอะตอมที่ไม่สมบูรณ์

เมื่อได้รับความเค้นสูงถึงระดับหนึ่งที่ชนะความต้านทานของชั้นของอะตอม (lattice) ก็จะทำให้เกิด การขยับตัวของอะตอม (dislocation) จำนวนมากปล่อยคลื่นความยืดหยุ่น (elastic wave) ออกมา เมื่อขอบเขตการขยับตัวมีขนาดใหญ่ก็จะปรากฏเห็นที่ผิววัสดุในลักษณะของการไถลระหว่างระนาบของชั้นของอะตอม (slip line) ดังแสดงด้วยแผนภูมิในรูปที่ 2.2 และภาพขยายผิวในรูปที่ 2.3

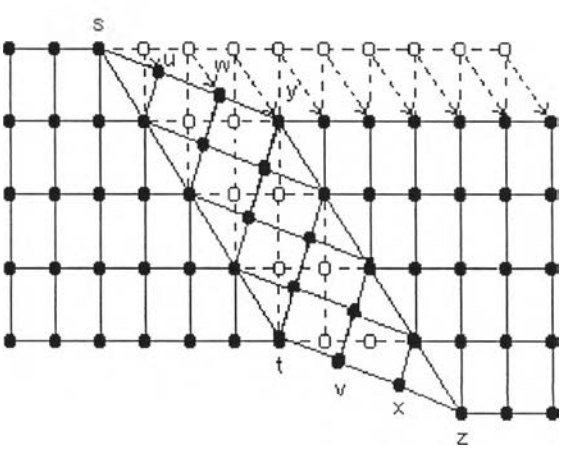


รูปที่ 2.2 แผนภูมิลักษณะการเกิดการไถล



รูปที่ 2.3 รูปแสดงลักษณะการเกิดการไถล (Reed-Hill, R.E., and Robertson, W.D., Trans.AIME,209 496[1957].)

นอกจากนี้การเลื่อนตัวทั้งบล็อคของอะตอมอย่างในการไถลก็อาจจะเกิดการเสียรูปแบบที่เรียกว่า การบิด (twinning) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่เท่ากันของอะตอม ดังแสดงด้วยแผนภูมิในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภูมิลักษณะการเกิดการบิด

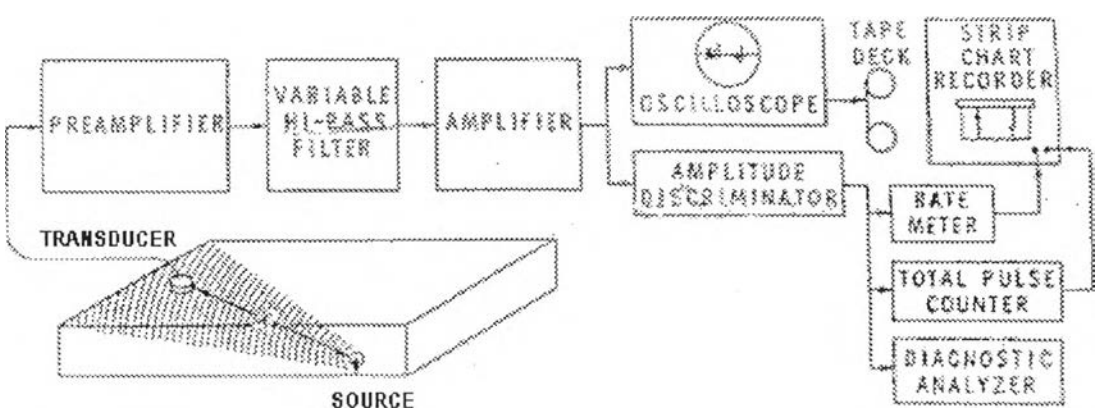
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) แหล่งกำเนิดมหภาค หมายถึงแหล่งกำเนิดที่เกิดจากส่วนต่างๆ ที่ค่อนข้างใหญ่ของวัสดุที่ตรวจสอบทั้งภายในและที่ผิวซึ่งปล่อยคลื่นอะคูสติกออกมา เช่นแหล่งกำเนิดจากการเสียรูปแบบพลาสติกซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยคลื่นอะคูสติก โดยเฉพาะที่หรือใกล้ๆกับจุดคราก (yield point) จะมีระดับการปล่อยคลื่นสูงสุด แหล่งกำเนิดจากการขยายตัวของรอยร้าวซึ่งสัมพันธ์กับความยาวของรอยร้าว ค่าความเข้มของความเค้น K (stress intensity factor) และสถานภาพของความเค้นที่ปลายยอดรอยร้าว ซึ่งมักจะพบว่าเมื่อรอยร้าวขยายขึ้นอย่างไม่เสถียรจะมีแอมพลิจูดของการปล่อยคลื่นอะคูสติกอย่างมาก

2.1.2 ระบบที่ใช้ในการตรวจสอบอะคูสติกอีมิสชัน

ระบบที่ใช้ในการตรวจสอบอะคูสติกอีมิสชันประกอบด้วย

ตัวตรวจรู้สัญญาณอะคูสติก (Acoustic Emission transducer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงคลื่นความยืดหยุ่นเป็นสัญญาณไฟฟ้า ปกติใช้วัสดุไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric) เช่น PZT (Lead zirconite Titanite Ceramics) เป็นตัวรับคลื่นความยืดหยุ่นนี้ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจาก ตัวตรวจรู้ (Transducer) นั้นต่ำมาก จึงต้องมีการขยายสัญญาณเพื่อรักษาเสถียรภาพ โดยตัวขยายชั้นต้น (Preamplifier) จะขยายสัญญาณทำให้สามารถส่งสัญญาณได้เป็นระยะทางไกลๆ จากนั้นสัญญาณก็จะเข้าตัวกรองสัญญาณ (Filter) เนื่องจากสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้นมีสัญญาณทางกลและสัญญาณไฟฟ้าปนมาด้วย จึงต้องกรองเอาเฉพาะสัญญาณอะคูสติกในช่วงที่ใช้งานเท่านั้นซึ่งมักมีความถี่มากกว่า 10 กิโลเฮิร์ท แล้วผ่านเข้าตัวขยายสัญญาณหลัก (Amplifier) ขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นก็สามารถพิจารณาสัญญาณได้จากทั้ง ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) โดยตรง และจากตัวจำแนกสัญญาณ (Amplitude Discriminator) ซึ่งจะแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลแล้วผ่านไปสู่ตัววิเคราะห์สัญญาณต่างๆเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงโดยแผนผังในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนผังของระบบที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยอะคูสติกอีมิสชัน [2]

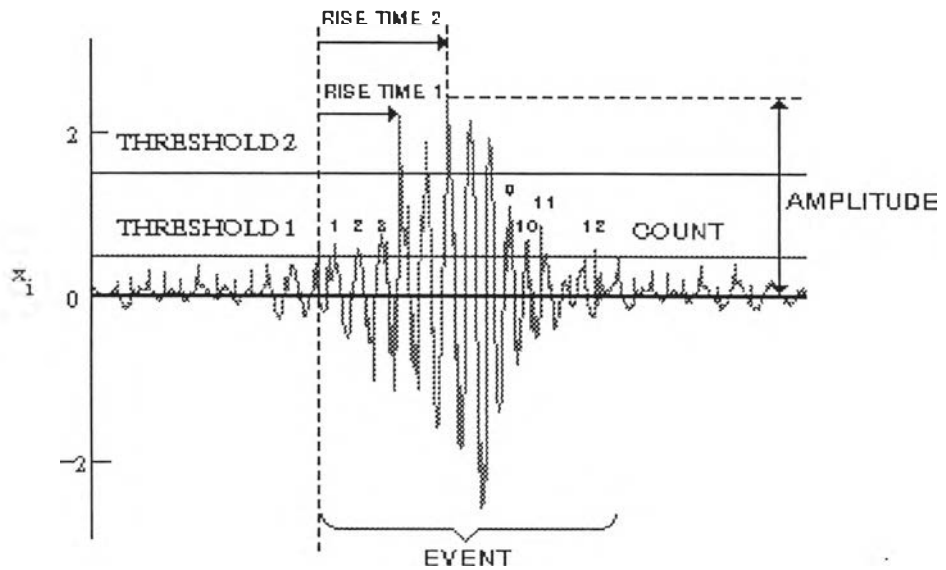
2.1.3 ลักษณะของสัญญาณ

ลักษณะของสัญญาณอะคูสติกโดยทั่วไปจะเหมือนกับสัญญาณของแผ่นดินไหวคือมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเทียบกับเวลา เริ่มต้นจากแอมพลิจูดของสัญญาณน้อยๆแล้วเพิ่มมากขึ้นจนถึงค่าสูงสุดแล้วกลับลดลงอีก สัญญาณอะคูสติกจะมีแอมพลิจูดมากหรือน้อยขึ้นกับความรุนแรงของการเสียหายของเนื้อวัสดุ เนื่องจากสัญญาณอะคูสติกที่ตรวจวัดได้จากตัวตรวจรู้มีแอมพลิจูดของสัญญาณต่ำจึงต้องขยายสัญญาณโดยการกำหนดค่าอัตราการขยาย (gain) จากนั้นเครื่องตรวจวัดอะคูสติกจะทำการวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้มาอาจมีคลื่นรบกวน (noise) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold เช่น threshold1) เพื่อเป็นการคัดเลือกวิเคราะห์เฉพาะสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ส่วนสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะถือว่าเป็นคลื่นรบกวนทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่จะกำหนดนั้นจะต้องมีความสัมพันธ์กับอัตราการขยาย รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของสัญญาณซึ่งสามารถนำมาจำแนกประเภทของสัญญาณและปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดสัญญาณได้ดังต่อไปนี้ [4]

COUNT คือจำนวนครั้งที่สัญญาณอะคูสติกมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 (threshold1) และเมื่อสัญญาณเริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพิ่มต่อเนื่องไปเรื่อยๆ แล้วค่อยๆลดลงจนมีแอมพลิจูดต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน คลื่นอะคูสติกกลุ่มนี้เรียกว่า Event หรือ HIT

Rise time คือช่วงเวลาระหว่างที่สัญญาณเริ่มมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 (threshold1) ครั้งแรกกับสัญญาณที่มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน2 (threshold2) ได้ Rise time 1 หรือช่วงเวลาระหว่างที่สัญญาณเริ่มมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 (threshold1) ครั้งแรกกับสัญญาณที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุดได้ Rise time 2

Event หรือ HIT แสดงถึงการปลดปล่อยพลังงานอย่างกระทันหันจากเนื้อวัสดุเป็นช่วงๆ ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นความยืดหยุ่นแผ่กระจายออกไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง ลักษณะของ Event จะเป็นกลุ่มใหญ่ กลุ่มเล็ก หรือ ต่อเนื่องนานๆ ก็ขึ้นกับประเภทของการปลดปล่อยพลังงาน เช่น เมื่อเนื้อวัสดุมีความเสียหายรุนแรง เช่น การคราก การร้าว จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมามากในแต่ละ Event ดังนั้นในสภาพนี้แต่ละ Event จะกินระยะเวลานานกว่าเมื่อมีการปลดปล่อยพลังงานน้อย และโดยทั่วไปก็จะมีแอมพลิจูดสูง ดังนั้นก็จะมีจำนวน COUNT มากตามไปด้วย นอกจากนี้รูปแบบของการเพิ่มขึ้นของสัญญาณที่วัดโดย Rise time ก็จะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของสัญญาณว่าเร็วช้าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะการปลดปล่อยพลังงานด้วย



รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปคลื่นและลักษณะต่าง ๆของสัญญาณ

2.1.4 ตัวแปรของลักษณะต่าง ๆของสัญญาณอะคูสติก

1) Cumulative count คือจำนวนครั้งรวมที่นับเมื่อสัญญาณมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ดังรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าสัญญาณช่วงแรกและช่วงหลังมีแอมพลิจูดต่ำเป็นสัญญาณของคลื่นรบกวน เพื่อหลีกเลี่ยงจึงต้องตั้งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนให้สูงกว่านั้นและจะเริ่มนับเมื่อสัญญาณมีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 เท่านั้น ดังรูปจะเห็นว่ามี 12 COUNT

2) Count rate คือจำนวนครั้งสะสมที่สัญญาณมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (**Cumulative count per unit time**) แสดงถึงอัตราเร็วในการเกิดสัญญาณ COUNT

3) Cumulative event คือจำนวนกลุ่มของสัญญาณที่เกิดจากการปล่อยคลื่นอะคูสติก ดังรูปที่ 2.6 จะแสดงกลุ่มของสัญญาณ 1 กลุ่มก็คือจะเริ่มเมื่อสัญญาณสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 และหยุดเมื่อสัญญาณสุดท้ายต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 โดยจะมีค่าระยะเวลา HDT เป็นตัวแบ่งแยกแต่ละ Event คือถ้าสัญญาณ COUNT สุดท้ายเริ่มต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 และสัญญาณชุดใหม่ที่เริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 อยู่ห่างกันน้อยกว่า HDT จะถือว่าอยู่ Event เดียวกัน แต่ถ้าสัญญาณ COUNT สุดท้ายเริ่มต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 และสัญญาณชุดใหม่ที่เริ่มมีแอมพลิจูดสูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน1 อยู่ห่างกันมากกว่า HDT จะถือว่าสัญญาณถัดไปนั้นเป็น Event ใหม่

4) Event rate คือจำนวนกลุ่มของสัญญาณที่เกิดจากการปล่อยคลื่นอะคูสติกต่อหนึ่งหน่วยเวลา (**Cumulative event per unit time**) แสดงถึงอัตราเร็วในการเกิดสัญญาณ Event

5) Amplitude คือค่าสูงสุดของสัญญาณอะคูสติกในแต่ละ Event ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า COUNT ที่ 6 จะมีแอมพลิจูดสูงที่สุดเมื่อเทียบกับ COUNT อื่นๆ ใน Event เดียวกัน ดังนั้นความสูงของแอมพลิจูดของ COUNT ที่ 6 ก็คือแอมพลิจูดของ Event นั้น ซึ่งสามารถบอกถึงความเข้มของแหล่งกำเนิดคลื่น ทำให้สามารถแยกแยะ ขนาด ชนิดและระยะทางจากแหล่งกำเนิด รวมทั้งยังอาจใช้การกระจายของแอมพลิจูดที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับกลไกการเสียรูปของวัสดุบางชนิด

6) ENERGY คือพลังงานของคลื่นอะคูสติกที่เทียบได้จากการอินทิเกรตแรงดันไฟฟ้ากำลังสองเทียบกับเวลาแล้วหารด้วยความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจวัด ดังสมการ

$$U = \frac{1}{R}\int_0^t V^2(t)\,dt \qquad (2.1)$$

โดยที่ U คือ ค่าพลังงาน ให้มีหน่วยเป็นหน่วยพลังงาน (energy count)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจวัด

t คือ เวลา

V(t) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัด ที่เวลา t ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก

7) RMS (Root Mean Square) คือค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก ดังสมการ

$$V(RMS) = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)\,dt} \qquad (2.2)$$

เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีค่าทั้งบวกและลบ ค่าที่เหมาะสมใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตไม่ได้ จึงหาพื้นที่เฉลี่ยที่เป็นบวกโดยการหาพื้นที่ของ $V^2(t)$ หารด้วยระยะเวลาที่ตรวจวัดสัญญาณแล้วหาค่ารากที่สองเป็นค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้า โดยการแสดงค่าดังกล่าวเป็นวิธีการวัดอะคูสติกอีมิสชันแบบต่อเนื่อง ซึ่งเหมาะสำหรับอะคูสติกอีมิสชันที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแบบพลาสติกมาก

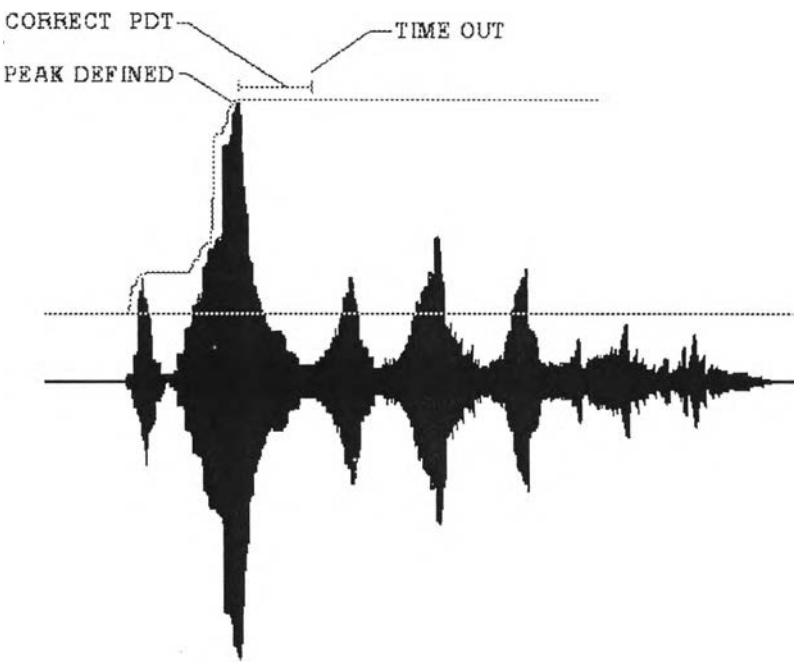
8) ASL (Average Signal Level) คือค่าเฉลี่ยของสัญญาณคล้ายกับ RMS แต่แสดงในรูปของลอกกาลิทึม (Logarithm) ซึ่งจะใช้ตรวจจับในขณะที่มีช่วงของขนาดสัญญาณกว้างมากๆ

9) Duration time คือระยะเวลาจากสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจนถึงสัญญาณสุดท้ายที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนซึ่งก็คือระยะเวลาของการเกิดแต่ละ Event

2.1.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ประกอบในการตรวจวัดสัญญาณอะคูสติก

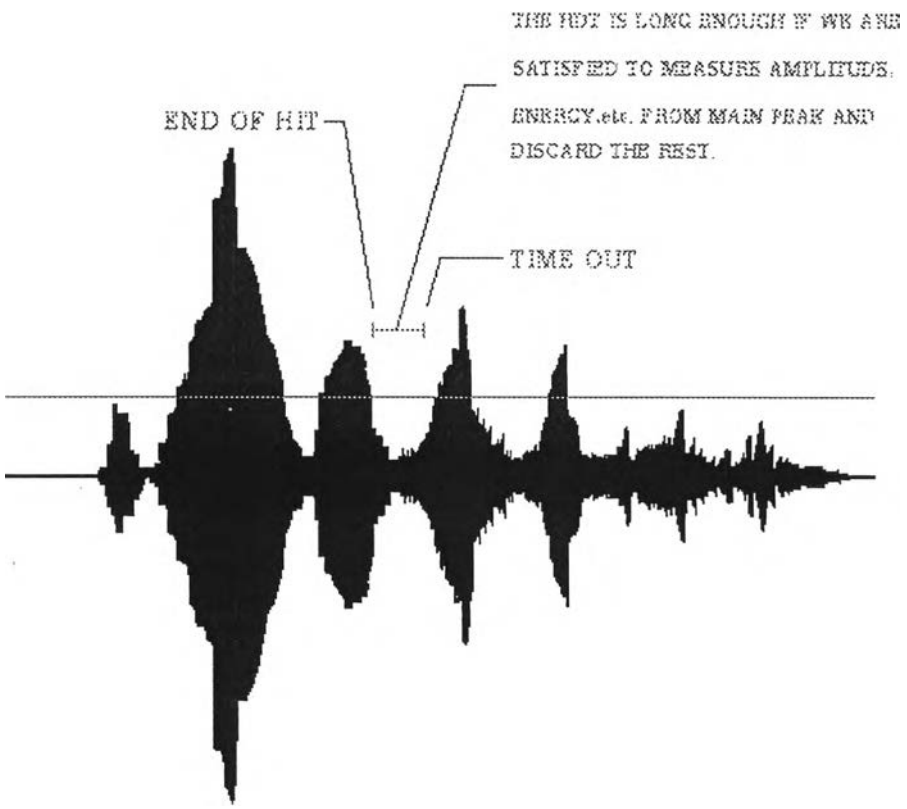
1) Time คือเวลาที่ตรวจวัดนับเริ่มจากจุดเริ่มทดลอง สำหรับเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองมีความละเอียด 250 นาโนวินาที ช่วงที่วัดได้อยู่ระหว่าง 0-407 วัน

2) PDT (Peak Definition Time) คือระยะเวลาที่ตั้งขึ้นเพื่อบ่งบอกเวลาที่เกิดค่าสูงสุด (peak) ที่แท้จริงของสัญญาณ ถ้าในช่วงเวลาที่ตั้งไว้ยังมีแอมพลิจูดสูงกว่าค่าเก่าก็แสดงว่าค่านั้นไม่ใช่ค่าสูงสุดจนกว่าเลยช่วงเวลาที่ตั้งขึ้น ถ้ายังไม่มีสัญญาณสูงกว่าค่าเก่าก็แสดงว่าค่านั้นคือค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งเป็นค่าที่ช่วยหลีกเลี่ยงการตรวจวัดที่ผิดพลาดที่จะเกิดกับกรณีความเร็วสูงแอมพลิจูดต่ำ



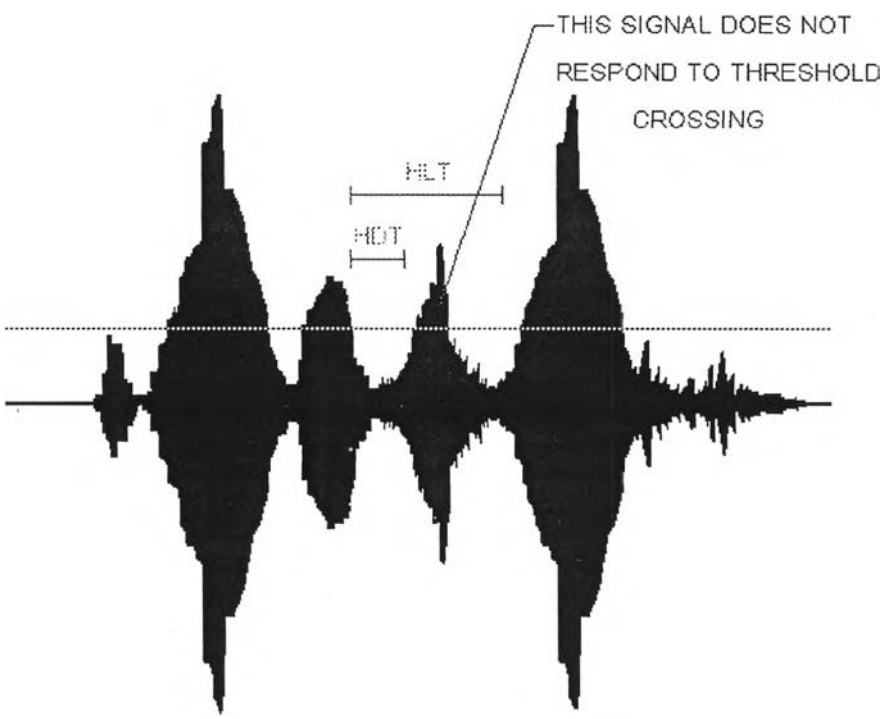
รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงรายละเอียด PDT

3) HDT (Hit Definition Time) คือระยะเวลาที่ตั้งขึ้นเพื่อช่วยในการนับ Event ที่เหมาะสม โดยจะคิดว่าถ้าในช่วงเวลา **HDT** ที่ตั้งขึ้นยังไม่มีสัญญาณสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะหมายความว่า Event เดิมได้สิ้นสุดดังแสดงในรูปที่ 2.8 และจะเริ่มนับสัญญาณที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเป็น Event ใหม่หลังจากผ่านช่วงเวลา HLT แล้ว



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงรายละเอียด HDT

4) HLT (Hit Lockout Time) คือระยะเวลาที่ตั้งขึ้นเพื่อลดผลของสัญญาณสะท้อนด้านท้าย (tail-end echoes) ของแต่ละ HIT เริ่มนับเวลาตั้งแต่สิ้นสุด HIT ซึ่งในช่วงเวลานี้จะไม่มีการนับสัญญาณที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเพราะจะถือว่าเป็นสัญญาณสะท้อนด้านท้ายของแต่ละ HIT และหลังจากผ่านเช่วงเวลา HLT ไปแล้วสัญญาณแรกที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะถือเป็น Event ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ค่าที่ใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์ควรเท่ากับ 20/F โดยที่ F คือ ความถี่เรโซแนนซ์ (resonant frequency) ของตัวตรวจรู้



รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงรายละเอียด HLT

2.1.6 คุณสมบัติต่าง ๆที่มีผลต่อแอมพลิจูดของการตอบสนองต่อคลื่นอะคูสติก

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของวัตถุและองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อแอมพลิจูดของการปล่อยคลื่นอะคูสติก เช่นวัสดุที่มีความแข็งแกร่งสูงกว่าจะมีแอมพลิจูดของการปล่อยคลื่นอะคูสติกสูงกว่า และที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีแอมพลิจูดของการปล่อยคลื่นอะคูสติกสูงกว่าที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน เป็นต้น

คุณสมบัติที่มีผลต่อการเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก	คุณสมบัติที่มีผลต่อการลดแอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก
High strength	Low strength
High strain rate	Low strain rate
Low temperature	High temperature
Anisotropy	Isotropy
Nonhomogeneity	Homogeneity
Thick sections	Thin sections
Brittle failure (cleavage)	Ductile failure (shear)
Material containing discontinuities	Material without discontinuities
Martensitic phase transformation	Diffusion-controlled phase transformation
Crack propagation	Plastic deformation
Cast materials	Wrought materials
Large grain size	Small grain size
Mechanically induced twinning	Thermally induced twinning

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติต่างๆที่มีผลต่อแอมพลิจูดการตอบสนองต่อคลื่นอะคูสติก

2.2 การสึกหรอ (WEAR)

การสึกหรอ คือการสูญเสียเนื้อวัสดุของชิ้นงานไปซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีของแข็ง 2 ชิ้น เคลื่อนที่สัมพัทธ์กันภายใต้ภาระค่าหนึ่งไม่ว่าการเคลื่อนที่จะเป็นทิศสวนทางกันหรือทิศทางเดียวกันแต่เกิดการลื่นไถล หรือ การกลิ้ง (rolling) และไถล (sliding) ไปด้วย หรืออาจจะเกิดจากการสั่นที่แอมพลิจูดต่ำๆ ก็ได้

เราสามารถแบ่งแนวทางการสึกหรอได้ 3 ทางคือ

1.แบ่งตามรอยแผลของการสึกหรอ เช่น การสึกหรอเป็นรอยขรุขระ (pitted) รอยขีดข่วน (scratched) รอยขัดสีที่เป็นเงา (polished) รอยแตกลายงา (crazed) รอยเป็นร่อง (gouged) และ รอยถลอก (scuffed)

2.แบ่งตามกลไกทางกายภาพของการเคลื่อนที่ของวัสดุและสาเหตุการทำลาย แบ่งได้เป็น abrasive wear , adhesive wear , delamination wear และ oxidative wear

3.แบ่งตามเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมในจุดที่เกิดการสึกหรอ เช่น lubricated wear, unlubricated wear , metal-to-metal wear , sliding wear , rolling wear , high stress sliding wear , and high temperature metallic wear

2.2.1 การวัดการสึกหรอ

การวัดการสึกหรอคือการวัดว่าผิวหน้าของชิ้นงานถูกทำลายไปเท่าไร วัดได้ทั้งระยะปริมาตร และมวลที่เกิดการสึกหรอ การวัดปริมาตรเป็นเป็นวิธีที่นิยมที่สุดเพราะการวัดมวลนั้นเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีความหนาแน่นที่ต่างกันไม่ได้และสำหรับวัสดุที่ได้รับการเคลือบผิว (coating) ก็จะยากในการหาความหนาแน่น หรือบางครั้งก็จะวัดในรูปอัตราการสึกหรอเทียบกับตัวแปรต่างๆ

การศึกษาเกี่ยวกับการสึกหรอของใบมีดกลึงได้พัฒนาไปอย่างมาก ความสัมพันธ์โดยประสบการณ์ (empirical) สำหรับค่าการสึกหรอที่ผิวข้างของใบมีดกลึง (Flank Tool Wear) ประมาณได้จากความสัมพันธ์เชิงเอมพิริคัล [3]

$$V = \eta AL \qquad (2.3)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของโลหะที่สึกหรอไป

A คือ พื้นผิวสัมผัส หรือ instantaneous area of the wear land

L คือ ความยาวของระยะทางที่ทำงานไปแล้ว (rubbing movement)

η คือ อัตราการสึกหรอจำเพาะ ซึ่งจะได้จากความสัมพันธ์

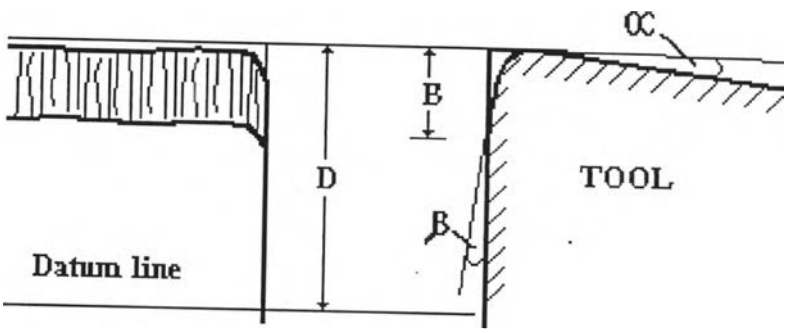
$$\eta = \sin \beta \ ^*(dB/dL) \qquad (2.4)$$

B คือ ความยาวในแกนตั้งของใบมีดกลึงที่สึกหรอไปดังแสดงในรูปที่ 2.10

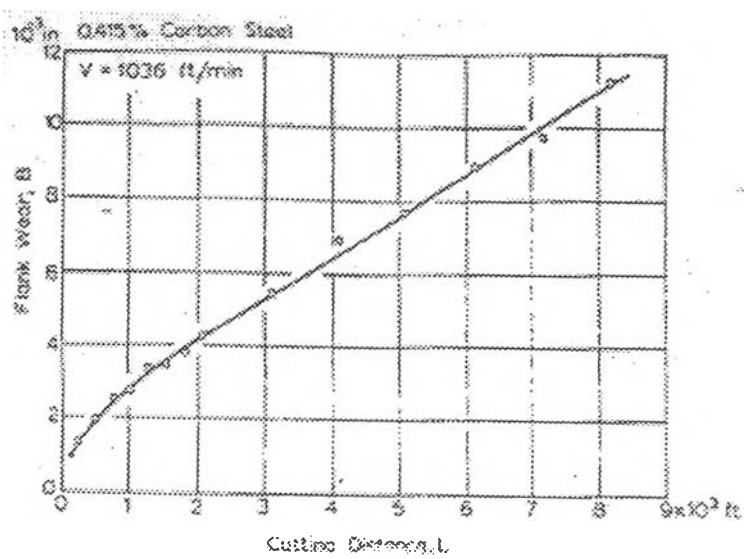
β คือ มุมที่ใบมีดกลึงสึกหรอเทียบแกนตั้งดังแสดงในรูปที่ 2.10

α คือ มุม crater wear เทียบกับแกนเดิมที่ยังไม่สึกหรอ

D คือ ระยะที่เทียบจากจุดอ้างอิง (Datum line)



รูปที่ 2.10 แสดงการวัดค่า flank wear (B) และ β



รูปที่ 2.11 แสดงการหาค่าของ (dB/dL) จากการทดลอง

แต่สำหรับในช่วงที่ L ต่ำกว่า 609.6 เมตร (2000 ฟุต) จะความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ L เป็นรูปพาราโบล่า ดังแสดงในรูปที่ 2.11 จึงอาจเขียนได้ว่า

$$L = p*B^2 \qquad (2.5)$$

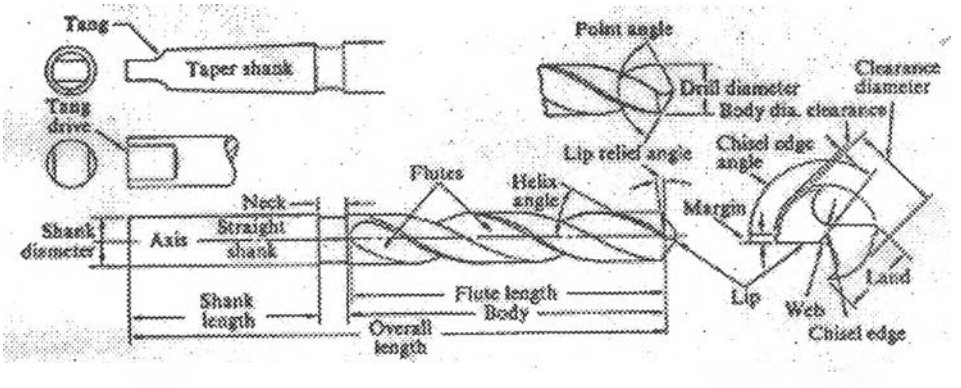
โดยให้ค่า p เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการทดลองเมื่อแทนกลับเข้าไปเพื่อหาค่าของ η ก็จะได้

$$\eta = (\sin \beta)/2Bp \qquad (2.6)$$

ไม่ว่าการสึกหรอจะเป็นแบบ adhesive wear หรือ abrasive wear ก็ต้องเกิดการหลุดออกมาของโมเลกุลซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณอะคูสติกออกมา สัญญาณที่ออกมานั้นน่าจะสัมพันธ์กับอัตราการสึกหรอ

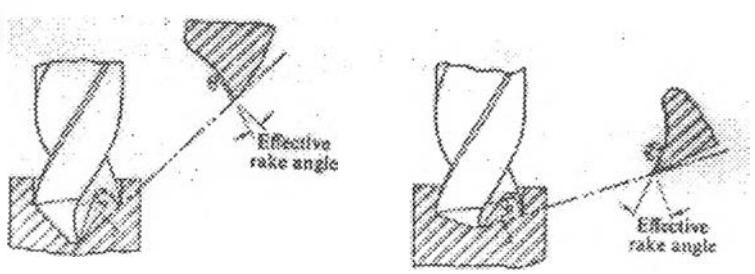
2.2.2 การสึกหรอของดอกสว่าน

ดอกสว่านที่ทำการศึกษาคือ ดอกสว่านบิด (twist drill) มีลักษณะทั่วๆไปแสดงดังรูปที่ 2.12

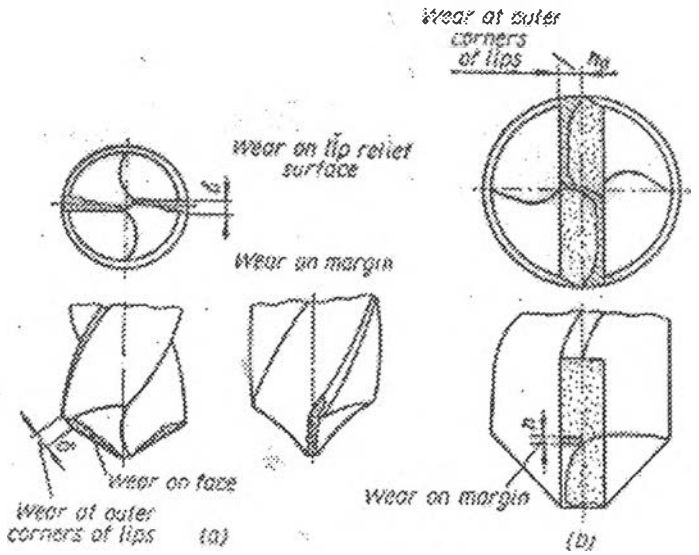


รูปที่ 2.12 ลักษณะทั่วๆไปของดอกสว่านบิด

ลักษณะการตัดเนื้อของวัสดุนั้นมี 2 ส่วนที่จะเกิดการสึกหรอคือส่วนที่ดอกสว่านสัมผัสกับชิ้นงานเรียกว่า flank wear และส่วนที่ดอกสว่านสัมผัสกับเนื้อโลหะที่ถูกตัดออกแล้วเรียกว่า cratter wear แสดงดังรูปที่ 2.13 ลักษณะการสึกหรอจริงแสดงดังรูปที่ 2.14 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนของ flank wear มีขนาดใหญ่กว่า cratter wear



รูปที่ 2.13 ลักษณะการตัดเนื้อของดอกสว่านบิด



รูปที่ 2.14 ลักษณะการสึกหรอของดอกสว่าน

ลักษณะของดอกสว่านเป็น complex and multi-point cutting tool ดังนั้น การวัดการสึกหรอของคมตัด (cutting edge) โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอและอายุการใช้งานของดอกสว่านจึงกระทำได้ลำบาก จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของการสึกหรอของดอกสว่านด้วยวิธีการเชิงเอมพิริคัล โดยการเลือกใช้วิธีการอะคูสติกอีมิสชันตรวจวัดขณะใช้งาน สัญญาณที่ออกมาจากการเจาะจะเกิดจากการฉีกขาดของเนื้อเหล็กและการเสียดสีระหว่างเหล็กกับดอกสว่าน จากการสึกหรอของดอกสว่าน สภาวะการณ์ที่ก่อให้เกิดสัญญาณอะคูสติกเมื่อดอกสว่านไม่มีการสึกหรอ และมีการสึกหรอน่าจะมีความแตกต่างกัน

2.2.3 ลักษณะของเศษโลหะที่เกิดขึ้นจากการเจาะ

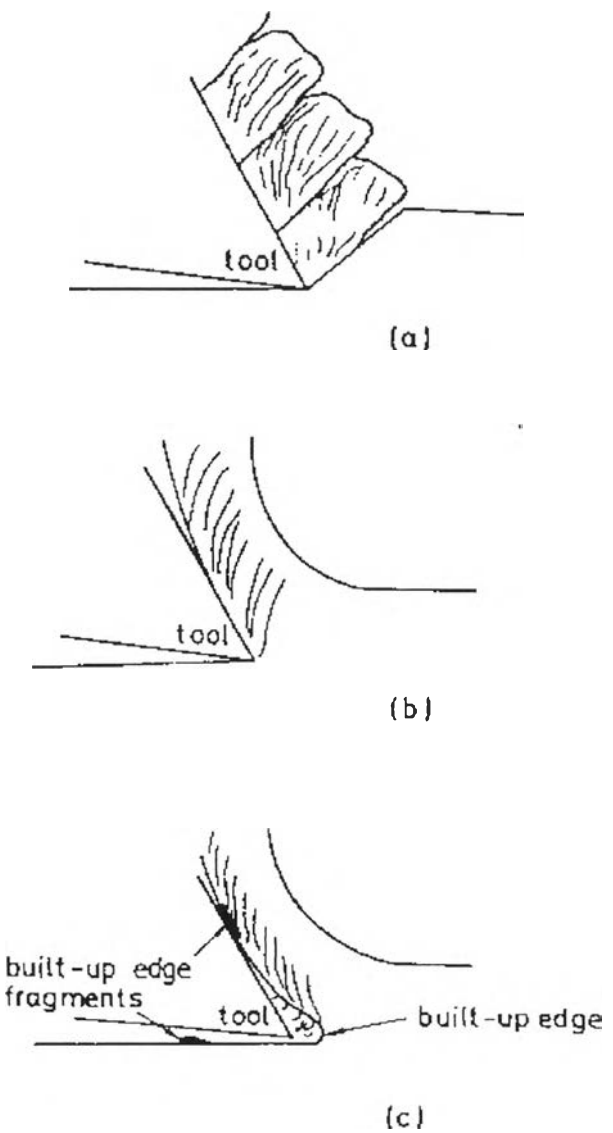
สภาพการตัดเนื้อโลหะที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดเศษโลหะลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งเศษโลหะที่เกิดขึ้นจากการเจาะมี 3 แบบ [5] คือ

1) เศษโลหะแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous chip) คือลักษณะของเศษโลหะที่ไม่ต่อเนื่องเป็นชิ้นเล็กๆ ถูกดันออกมาตามร่องของดอกสว่าน ซึ่งมักเกิดกับวัสดุเปราะ และอัตราการตัดเนื้อต่ำ ทำให้ผิวสำเร็จของชิ้นงานไม่เรียบ

2) เศษโลหะแบบต่อเนื่อง (Continuous chip) คือลักษณะของเศษโลหะที่ต่อเนื่องเป็นชิ้นยาวไม่หักเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งมักเกิดจากการใช้อัตราการป้อนและอัตราเร็วรอบที่เหมาะสมกับวัสดุ

เหนียวเพราะจะเกิดการเสียรูปแบบพลาสติกก่อน ทำให้เกิดเศษโลหะแบบต่อเนื่องซึ่งจะทำให้ผิวสำเร็จเรียบ

3) เศษโลหะแบบต่อเนื่องและมี build-up edge (Continuous chip with built-up edge) คือลักษณะของเศษโลหะที่ต่อเนื่องแต่ในการตัดเนื้อของชิ้นงานที่อัตราการตัดเนื้อสูง แต่อัตราการป้อน และอัตราเร็วรอบที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้แรงเสียดทานระหว่างเศษโลหะและใบมีดสูงมากทำให้เกิดความเสียหายแบบเฉือนที่ปลายของชิ้นงานก่อนที่จะถูกใบมีดตัดเนื้อ ซึ่งจะทำให้ผิวสำเร็จไม่เรียบที่เกิดจาก build-up edge ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการสึกหรอของดอกส่วนทั้ง cratter wear และ flank wear



รูปที่ 2.15 ลักษณะการเกิดเศษโลหะ (a) เศษโลหะแบบไม่ต่อเนื่อง (b) เศษโลหะแบบต่อเนื่อง (c) เศษโลหะแบบต่อเนื่องและมี build-up edge