

การวิเคราะห์ของกรรมวิธีเจาะโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ Analysis of Drilling Operation by Using Finite Element Simulation

จีรัชชัย สุภาสุทธากุล^{1*}

¹ ศูนย์ปฏิบัติการทาง CAD/CAM/CAE, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

*ติดต่อ: fengjcs@ku.ac.th, (034) 351897 ต่อ 7208

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยต่างๆ ของการเจาะและเทคนิคในการสร้างแบบจำลองในงานเจาะโลหะด้วยซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบจำลองของการตัดแบบตั้งฉาก (Orthogonal Cutting) ถูกใช้เพื่อจะเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองของการเจาะ จากนั้น แรงผลัก (Thrust Force) และแรงบิด (Torque) ถูกตรวจสอบและถูกเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณด้วยมือและจากวารสาร

อิทธิพลของ Chisel Edge Length และ Feed ต่อแรงผลักและแรงบิด ถูกพิจารณา โดยที่กำหนดค่ามาตรฐานของการออกแบบและแปรผัน Chisel Edge Length และ Feed ให้มี 4 ระดับ กล่าวคือ Chisel Edge Length ที่มีค่า 1.27, 1.905, 2.286, และ 2.54 mm และ Feed ที่มีค่า 0.076, 0.1778, 0.254, และ 0.33 mm/rev. วัสดุของชิ้นงานคือ AISI 1045

ค่าของแรงผลักที่เปลี่ยนไปตาม Chisel Edge Length เท่ากับ 3,500, 3,900, 4,200 และ 4,500 นิวตัน และค่าของแรงบิดตาม Chisel Edge Length เท่ากับ 9.0, 9.2, 9.5 และ 9.8 นิวตัน-เมตร ค่าของแรงผลักที่เปลี่ยนไปตาม Feed เท่ากับ 3,100, 4,200, 4,900 และ 5,500 นิวตัน และค่าของแรงบิดตาม Feed เท่ากับ 20, 21.5, 23 และ 25 นิวตัน-เมตร เมื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟเทียบเคียงกับวารสาร พบว่ากราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ Chisel Edge Length และ Feed เพิ่มขึ้นกับค่าที่เพิ่มขึ้นของแรงผลักและแรงบิด เว้นเพียง Chisel Edge Length ซึ่งมีผลน้อยมากต่อแรงบิด

ในการเพิ่มเติม, จากการตรวจสอบผลต่างๆ, คุณสมบัติของการเจาะ, อัตราของความเครียดของวัสดุชิ้นงาน, และลักษณะของการสัมผัสระหว่างดอกเจาะและชิ้นงาน มีอิทธิพลต่อแรงผลักและแรงเจาะ ดังนั้น เพื่อจะสามารถทำนายค่าที่แม่นยำขึ้น, ปัจจัยเหล่านี้ควรจะถูกลำดับถึง สิ่งนี้จะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานประเมินพลังงานที่ถูกใช้ในการจับยึดชิ้นงานและอายุของการใช้งานของดอกเจาะได้

คำหลัก: การเจาะ; แรงผลัก; แรงบิด; ไฟไนต์เอลิเมนต์; แบบจำลองของการตัดแบบตั้งฉาก

Abstract

The objective of the research is to study process parameters in the drilling operation and techniques to create model in drilling work by finite element simulation software. The orthogonal cutting model is used as the fundamental method of modeling the drilling. Consequently, the drilling models are analyzed by comparing with experimental models and mathematical models by looking at the thrust force and the torque.

In drilling work, influence of the chisel edge length and feed are studied. Firstly, for the chisel edge lengths of 1.270, 1.905, 2.286 and 2.54 millimeter, the thrust forces are 3,500, 3,900, 4,200 and 4,500 newton, respectively, and the torques are 9.0, 9.2, 9.5, 9.8 newton-meter, respectively. Secondly, for the feed rate of 0.0762, 0.1778, 0.254 and 0.330 millimeter per round, the thrust forces are 3,100, 4,200, 4,900 and 5500 newton, respectively, and the torques are 20, 21.5, 23, 25 newton-meter, respectively. Results showed that the trends of

CST-13

the thrust forces and the torques from the simulations are consistent with the trends from the experimental and mathematical models; except for the chisel edge length that has a small effect on the torque.

In addition, from observing the results, the working temperature, the strain rate of workpiece material, and contact characteristics between the drill bit and workpiece have an effect on the thrust force and torque. Therefore, to obtain more precise results, these factors need to be included in the drilling simulations. This will help workers estimate the required energy for fastening the workpiece and predict the tool life of the drill bits.

Keywords: Drilling; Thrust Force; Torque; Finite Element; Orthogonal Cutting Model

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิต เช่น การผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรหรือเครื่องมือกลต่างๆ งานเจาะนับได้ว่าเป็นความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง แต่ละชิ้นส่วนจะมีรูเพื่อยึดชิ้นส่วนหลายตัวเข้าด้วยกันหรือเพื่อกำหนดตำแหน่งของชิ้นส่วน นอกจากนี้สำหรับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการความเที่ยงตรงในระดับสูงและการลดลงของค่าใช้จ่ายของการเจาะ ปัจจัยของกรรมวิธีของการเจาะจะถูกพิจารณาและควบคุม ตัวอย่างเช่น การเลือกความเร็วรอบที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความเร็วตัดที่ต้องการ ความเร็วตัดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสิ่งที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการพิจารณาดังนี้คือ ชนิดของวัสดุทำดอกสว่าน อัตราการป้อนเจาะ ชนิดของวัสดุชิ้นงาน ชนิดของการหล่อเย็น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ และลักษณะของคมดอกเจาะ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในกระบวนการงานเจาะเป็นอย่างยิ่ง

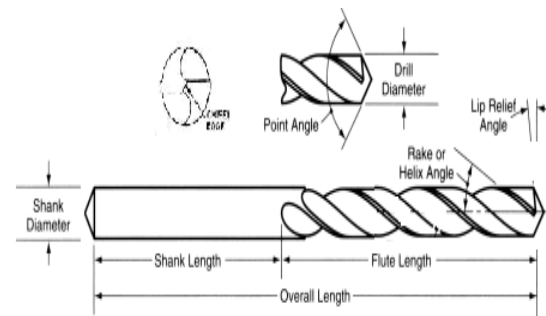
จากวารสารของ Walter [1] และ Riaz และคณะ [2] ได้กล่าวถึงพารามิเตอร์ของวัสดุชิ้นงานและเทคนิคที่ใช้ในแบบจำลอง แต่มีการกล่าวอย่างไม่ละเอียด กล่าวคือเมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองของการเจาะพบว่าแบบจำลองมีข้อบกพร่อง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำงานวิจัยนี้ขึ้นมา คือศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ของวัสดุชิ้นงานและเทคนิคของการจำลองแบบของงานเจาะ

นอกจากนี้, งานวิจัยมุ่งเน้นที่จะศึกษากรรมวิธีของการเจาะที่มีผลต่อแรงผลัก (Thrust Force) และแรงบิด (Torque) ในกรรมวิธีเจาะโลหะที่ใช้ดอกเจาะร่องเกลียว (Twist Drill)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การตัดโลหะมีสองประเภทพื้นฐานของการตัดโลหะด้วยเครื่องมือตัดจุดเดียว คือการตัดฉาก (Orthogonal Metal Cutting) และการตัดเฉียง (Oblique Metal Cutting)

สำหรับงานเจาะเป็นกรรมวิธีหนึ่งของการตัดด้วยเครื่องจักรกล ซึ่งกระบวนการนี้เป็นรูปแบบของการตัดเฉียง มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อกรรมวิธีการตัด อาทิเช่น ความเร็วตัด อัตราป้อน ระยะขอบสกัด มุมจิก มุมร่องเลื่อย และมุมหลบ เป็นต้น ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของดอกเจาะ [3]

สำหรับแบบจำลอง, รูปแบบของการเปลี่ยนรูปของวัสดุในสภาพยืดหยุ่นใช้รูปแบบ Isotropic Elasticity ตามกฎของฮุก สำหรับการเปลี่ยนรูปถาวรใช้สมการของ Johnson-Cook [4]

$$\bar{\sigma} = \left[A + B(\bar{\epsilon}^{pl})^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\bar{\epsilon}}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] (1 - \hat{\theta}^m) \quad (1)$$

ซึ่ง A, B, C, m, และ n คือค่าคงที่ของวัสดุ และ $\hat{\theta}$ คือเทอมของอุณหภูมิ

ความเสียหายแบบ Ductile Damage ถูกใช้เพื่อจะทำนายความเสียหายอันเนื่องด้วยนิวเคลียสและการเชื่อมต่อช่องว่างในโลหะ วิธีนี้สันนิษฐานว่าความเครียดที่ได้รับถูกเทียบกับความเครียดพลาสติกที่การเริ่มต้นของความเสียหาย $\bar{\epsilon}_D^{pl}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Stress Triaxiality และอัตราของความเครียด [5]

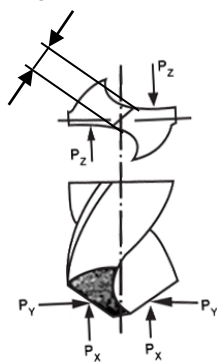
$$\bar{\epsilon}_D^{pl}(\eta, \dot{\bar{\epsilon}}^{pl}) \quad (2)$$

CST-13

ซึ่ง $\eta (= -p/q)$ คือ Stress Triaxiality, p คือความเค้นของความดัน, q คือความเค้นเทียบเท่ากับความเค้น von Mises

งานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับการคำนวณด้วยมือและวารสาร โดยตรวจดูแรงซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ แรงในแนวสัมผัส (P_z), แรงในแนวรัศมี (P_y) และแรงในแนวแกน (P_x) ซึ่งมักจะเรียกเป็นแรงผลึกในการเจาะ แรงบิดที่ขอบสกัด (Chisel Edge) นั้นจะมีน้อยมาก และแรงบิดที่กระทำระหว่างการเจาะส่วนใหญ่เป็นแรงในแนวสัมผัส (P_z) ส่วนประกอบของแรงในแนวรัศมี (P_y) ในส่วนของแรงยกจะถูกตัดออกโดยการใช้รูปแบบความแข็งแรงของชิ้นงานและการเจาะ รูปแบบของแรงตัดถูกแสดงในรูปที่ 2

Chisel Edge Length



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของดอกเจาะ

มีหลากหลายสูตรสำหรับการคำนวณของแรงผลึก (P_x) และแรงบิด (P_z) แต่เนื่องจากบางสูตรไม่คำนึงถึง Chisel Edge และปัจจัยที่สำคัญบางอย่างของการเจาะ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการคำนวณถัดๆ ไป งานวิจัยพบว่าสมการเชิงปฏิบัติของ Shaw และ Oxford [6] สามารถใช้งานสำหรับการคำนวณแรงบิดและแรงผลึก

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดรูปร่างดอกเจาะและสภาวะของการเจาะ

ส่วนประกอบของโครงสร้างของดอกเจาะถูกกำหนดในตารางที่ 1 และสภาวะของการเจาะถูกกำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าของปัจจัยของการสร้างดอกเจาะ

1. Overall Length (mm)	95.25
2. Flute Length (mm)	57.15
3. Diameter, d (mm)	12.7
4. Chisel Edge Length, C (mm)	2.286
5. Point Angle (Degree)	118
6. Helix Angle (Degree)	30
7. Lip Clearance Angle (Degree)	12

ตารางที่ 2 สภาวะของการเจาะ

1. Cutting Speed (fpm)	80
2. Feed (inch per revolution)	0.007
3. C / d (mm)	0.18

ค่าต่างๆ ในตารางที่ 1 และ 2 ถูกใช้เป็นค่ามาตรฐานของการทำงาน งานวิจัยใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณเพื่อหาแรงผลึกและแรงบิดทั้งในการคำนวณด้วยมือและแบบจำลอง ปัจจัยของกรรมวิธีที่ถูกพิจารณาคือ Chisel Edge Length และ Feed งานวิจัยตรวจสอบการเปลี่ยนค่าของ Chisel Edge Length ที่มีค่า 1.27, 1.905, 2.286, และ 2.54 mm และการเปลี่ยนค่าของ Feed ที่มีค่า 0.076, 0.1778, 0.254, และ 0.33 mm/rev.

3.2 การคำนวณด้วยมือ

งานวิจัยใช้หลักการของ Shaw และ Oxford [6] เพื่อจะคำนวณหาแรงผลึกและแรงบิด จากนั้นเปรียบเทียบผลของการคำนวณดังกล่าวกับผลของแบบจำลอง

โดยพื้นฐาน, อัตราเร็วรอบของเพลลา (Spindle Speed, N), แรงผลึก, และแรงบิด ถูกคำนวณตามลำดับ

$$N = [(Cutting Speed) \times 12] / (\pi D) \quad (3)$$

ซึ่ง N อยู่ในหน่วย rev/min และ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของดอกเจาะในหน่วยนิ้ว

$$\frac{P_x}{d^2 H_B} = 0.55 \frac{s^{0.8}}{d^{1.2}} \left[\frac{1-k}{(1+k)^{0.2}} + 2.2k^{0.8} \right] + 0.07k^2 \quad (4)$$

ซึ่ง P_x คือแรงผลึกในหน่วย kgf, s คือ Feed ในหน่วย mm/rev และ $k = C / d$

CST-13

$$\frac{M}{d^2 H_B} = 0.03 \frac{s^{0.8}}{d^{1.2}} \left[\frac{1-k^2}{(1+k)^{0.2}} + 3.2k^{0.8} \right] \quad (5)$$

ซึ่ง M คือแรงบิดในหน่วย kgf * cm

ค่าของแรงผลักและแรงบิดที่ถูกคำนวณกับการเปลี่ยนของปัจจัยของกรรมวิธีของการเจาะถูกเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกทำนายด้วยแบบจำลองตั้งในหัวข้อที่ 4

3.3 การสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยได้ใช้หลักการของการสร้างแบบจำลองในงานวิจัย [7] ซึ่งเป็นการตัดแบบตั้งฉากและแบบเฉียง และประยุกต์ใช้ในกรรมวิธีเจาะ ในขั้นแรก, แบบจำลองของการเจาะถูกกำหนดเป็นปัญหาแบบ Quasi-static ซึ่งไม่คำนึงถึงอัตราของความเครียด (Strain Rate) ดังนั้นไม่มีผลของการกระแทก และเป็นปัญหาของการสัมผัส นอกจากนี้ เทคนิคของ Eulerian ถูกใช้ ถัดมา, ดอกเจาะถูกกำหนดเป็นประเภท Discrete Rigid ขณะที่ชิ้นงานถูกกำหนดว่าสามารถเปลี่ยนรูปและเสียหายได้และถูกระบุเป็น 3D Continuum Reduced-Integration Elements วัสดุของชิ้นงานคือเหล็ก AISI 1045 สมบัติของเหล็กในช่วงการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นเป็นไปตามกฎของฮุก ค่าของ Modulus of Elasticity เท่ากับ 200 GPa และ Poisson's Ratio เท่ากับ 0.3 ในส่วนของสมบัติของการเปลี่ยนรูปถาวร, เกณฑ์ของการครากตัวของ Johnson-Cook ถูกใช้ สำหรับเกณฑ์ดังกล่าว, แบบจำลองไม่คำนึงถึงผลกระทบจากอุณหภูมิและอัตราความเครียด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าต่างๆ ของสมการ Johnson-Cook [8]

A (MPa)	553
B (MPa)	600
C	0
n	0.234
m	1
T _m (K)	0
T _r (K)	0

ตารางที่ 4 ค่าต่างๆ ของเกณฑ์ของ Ductile Damage ของ AISI 1045

Initial Ductile Damage Data	
Fracture Strain	0.95
Stress Triaxiality	0
Strain Rate	0
Damage Evolution Data	
Softening Type	Linear
Displacement at Failure	0.00004

ตารางที่ 5 ค่าต่างๆ ของสมการของความเสียหายของ Johnson-Cook สำหรับ AISI 1045 [8] และอลูมิเนียม 6061 [9]

วัสดุ	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	T _m	T _r
1045	0.06	3.31	-1.96	0	0	0	0
Al	-0.77	1.45	0.47	0	0	0	0

ในตารางที่ 4 และ 5, งานวิจัยได้ตรวจสอบแบบจำลองของวัสดุหลักกับการใช้เกณฑ์ของ Ductile Damage และสมการของความเสียหายของ Johnson-Cook โดยทำแบบจำลองของการตัดเฉือนแบบตั้งฉากแบบสองมิติ วัสดุอลูมิเนียมถูกวิเคราะห์ด้วยเนื่องจากสมการของความเสียหายของ Johnson-Cook ไม่แสดงผลที่เหมาะสมในแบบจำลองของเหล็ก งานวิจัยต้องการชี้ให้เห็นว่าการระบุค่าที่ไม่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในสมการของความเสียหายส่งผลต่อผลที่ถูกแสดง ผลถูกแสดงในหัวข้อที่ 4

เมื่อเกณฑ์หรือสมการของความเสียหายถูกทบทวนและถูกเลือกแล้ว, แบบจำลองของการเจาะถูกดำเนินการถัดมา

ในการกำหนดเกณฑ์ของความเสียหาย, ผลของความเสียหายแบบคืบหน้า (Progressive Damage) ของเอลิเมนต์ของชิ้นงานจำเป็นที่จะถูกระบุก่อนที่จะดำเนินการคำนวณ สิ่งนี้ช่วยการแสดงผลที่มองเห็นได้ให้ดีขึ้น กล่าวคือเอลิเมนต์ที่เสียหายหรือบิดเบี้ยวจะถูกไม่แสดง

สำหรับสภาวะของการสัมผัสกันระหว่างดอกเจาะและชิ้นงาน, พื้นผิวภายนอกของดอกเจาะและโหนดทั้งหมดของชิ้นงานถูกกำหนดให้อยู่ภายใต้กฎของคูลอมป์ โดยที่สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเท่ากับ 0.1

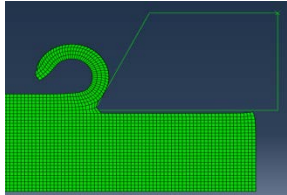
จำนวนของเอลิเมนต์ของดอกเจาะเท่ากับ 6,144 และจำนวนของเอลิเมนต์ของชิ้นงานเท่ากับ 4,034

CST-13

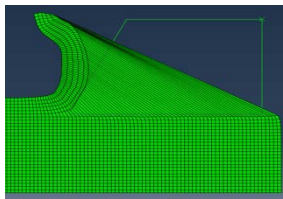
4. ผลของการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

งานวิจัยมีการตรวจสอบเกณฑ์ของความเสียหายด้วยแบบจำลองของการตัดเฉือนสองมิติ จากนั้นเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณด้วยมือและแบบจำลองของการเจาะ

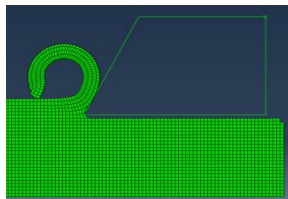
4.1 ผลของการตรวจสอบเกณฑ์ของความเสียหาย



รูปที่ 3 ผลของการตัดของเกณฑ์ของ Ductile Damage สำหรับ AISI 1045



รูปที่ 4 ผลของการตัดของสมการของความเสียหายของ Johnson-Cook สำหรับ AISI 1045

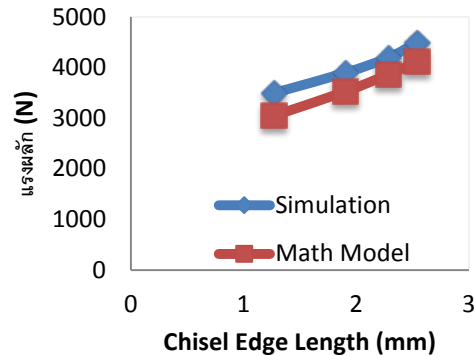


รูปที่ 5 ผลของการตัดของสมการของความเสียหายของ Johnson-Cook สำหรับอลูมิเนียม 6061

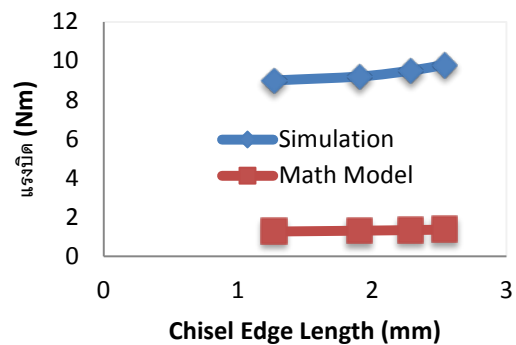
ในสมการของความเสียหายของ Johnson-Cook, แบบจำลองของการตัดสำหรับ AISI 1045 แสดงผลที่ไม่เหมาะสม ขณะที่แบบจำลองสำหรับอลูมิเนียม 6061 ให้ผลที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม, งานวิจัยพิจารณาการเจาะเหล็ก AISI 1045 ดังนั้นเกณฑ์ของ Ductile Damage ถูกใช้ในการจำลองแบบของการเจาะ

4.2 ผลของการเจาะ

แรงผลักและแรงบิดกับค่าต่างๆ ของ Chisel Edge Length ถูกแสดงดังในรูปที่ 6 และ 7



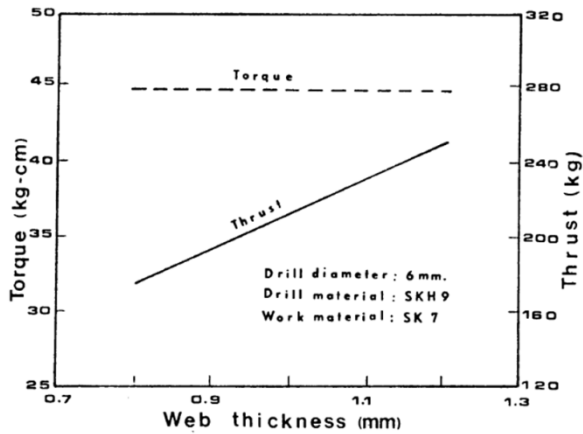
รูปที่ 6 ผลของแรงผลักกับ Chisel Edge Length สำหรับ AISI 1045



รูปที่ 7 ผลของแรงบิดกับ Chisel Edge Length สำหรับ AISI 1045

รูปที่ 6 และ 7 เป็นผลจากแบบจำลอง (Simulation) และจากการคำนวณด้วยมือ (Math Model) กราฟทั้งสองกับการเปลี่ยนค่าของ Chisel Edge Length แสดงว่าแนวโน้มของแรงผลักเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของ Chisel Edge Length สิ่งนี้ชี้ให้เห็นด้วยว่า Chisel Edge Length มีผลต่อค่าของแรงผลัก และสอดคล้องกับผลของโครงการของ Lazar [10] ดังในรูปที่ 8 แม้ว่า Web Thickness ในงานวิจัยของ Lazar ถูกใช้, ลักษณะของการวัดค่าของ Web Thickness และ Chisel Edge Length อยู่ในบริเวณเดียวกันและถูกใช้ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการออกแบบของดอกเจาะ งานวิจัยจึงนำผลของ Web Thickness มาเปรียบเทียบเคียงกัน

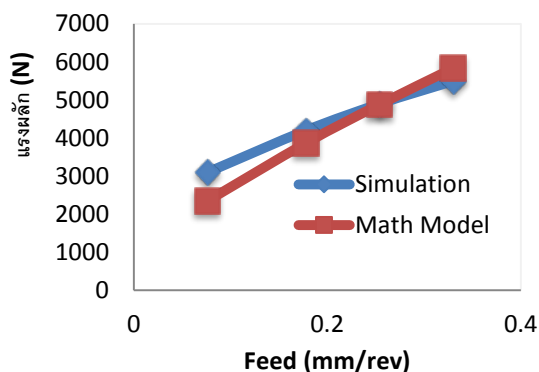
CST-13



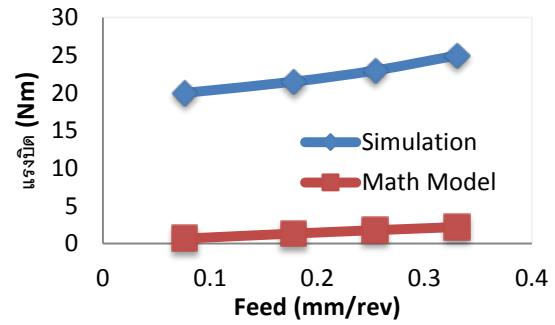
รูปที่ 8 ผลของแรงผลักและแรงบิดกับ Chisel Edge Length ในงานวิจัยของ Lazar [10]

ในส่วนของแรงบิดกับ Chisel Edge Length, มีความแตกต่างของค่าของแรงบิดที่ได้จากแบบจำลองและจากการคำนวณด้วยมือ สิ่งนี้อาจจะเป็นเพราะค่าที่สูงของ Fracture Strain ถูกกำหนด หากค่าของ Fracture Strain ถูกลดลง, แบบจำลองอาจจะเป็นไปได้ที่จะทำนายค่าของแรงบิดที่ใกล้เคียงขึ้น ทั้งนี้เพราะแรงบิดซึ่งเป็นแรงตัดจะโน้มเอียงที่จะตัดเฉือนเนื้อวัสดุอย่างง่ายขึ้น นอกจากนี้ ค่าของอุณหภูมิและอัตราความเครียด (Strain Rate) ควรจะต้องถูกคำนึงร่วมด้วย เมื่อผลในรูปที่ 7 ถูกเปรียบเทียบกับรูปที่ 8, สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่า Chisel Edge Length มีผลเล็กน้อยต่อแรงบิด

ถัดมา, พิจารณาแรงผลักและแรงบิดกับค่าต่างๆ ของ Feed Rate ดังในรูปที่ 9 และ 10

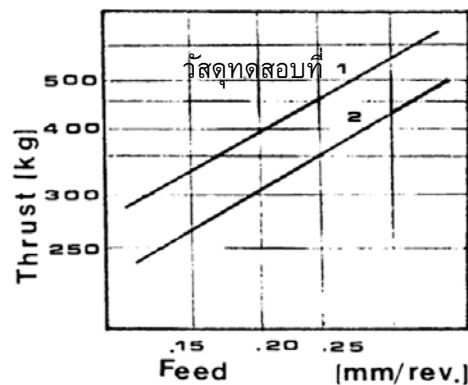


รูปที่ 9 ผลของแรงผลักกับ Feed สำหรับ AISI 1045



รูปที่ 10 ผลของแรงบิดกับ Feed สำหรับ AISI 1045

รูปที่ 9 แสดงว่าแนวโน้มของแรงผลักเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของ Feed สิ่งนี้ชี้ให้เห็นด้วยว่า Feed มีผลต่อค่าของแรงผลัก และสอดคล้องกับผลของงานวิจัยของ Lazar [10] ดังในรูปที่ 11

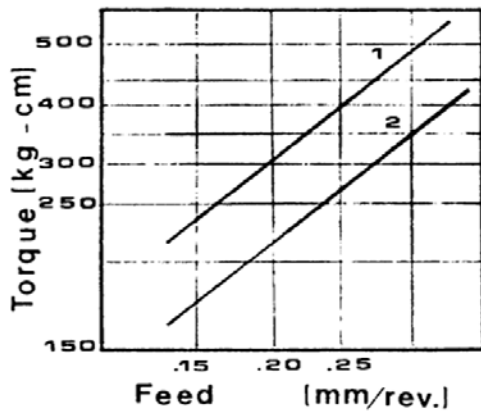


รูปที่ 11 ผลของแรงผลักกับ Feed ในงานของ Lazar [10]

รูปที่ 10 แสดงผลที่แตกต่างกันระหว่างการคำนวณด้วยมือและแบบจำลอง แต่แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของแรงบิดสำหรับทั้งสองแบบสอดคล้องกันกับการเพิ่มขึ้นของ Feed ความแตกต่างของแรงบิดอาจจะเป็นผลจากค่าที่สูงของ Fracture Strain, และการไม่คำนึงถึงอุณหภูมิและอัตราของความเครียด

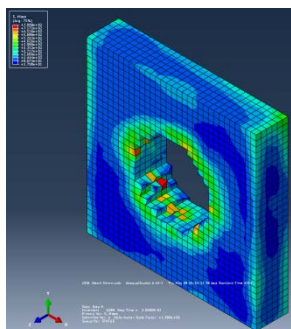
เมื่อผลในรูปที่ 10 ถูกเปรียบเทียบกับผลในรูปที่ 12, แนวโน้มของทั้งสองผลไปในทางเดียวกัน กล่าวคือแรงบิดเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของ Feed อย่างไรก็ตาม, ความชันของกราฟจากการคำนวณด้วยมือและแบบจำลองในรูปที่ 10 น้อยกว่าความชันของกราฟในรูปที่ 12 สิ่งนี้อาจจะเป็นเพราะลักษณะของการสัมผัสระหว่างดอกเจาะและชิ้นงานและการเกิดเศษ

CST-13

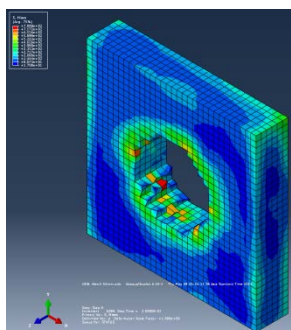


รูปที่ 12 ผลของแรงบิดกับ Feed ในงานของ Lazar [10]

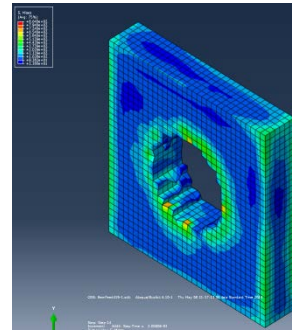
สุดท้าย, ความเค้นรอบรูที่ถูกเจาะถูกพิจารณาตั้งในรูปที่ 13 ถึง 16 เมื่อ Chisel Edge Length เพิ่มขึ้นดังในรูปที่ 13 และ 14, ความเค้นที่ขอบรูและรอบๆ รุนแรงขึ้นในทำนองเดียวกัน, ลักษณะนี้เกิดขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของ Feed ดังในรูปที่ 15 และ 16



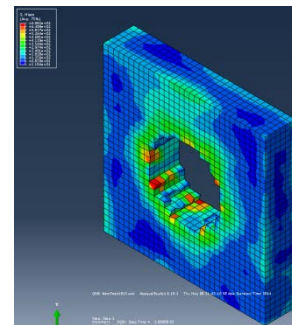
รูปที่ 13 ความเค้นที่เกิดขึ้นสำหรับ Chisel Edge Length เท่ากับ 1.27 mm



รูปที่ 14 ความเค้นที่เกิดขึ้นสำหรับ Chisel Edge Length เท่ากับ 2.54 mm



รูปที่ 15 ความเค้นที่เกิดขึ้นสำหรับ Feed เท่ากับ 0.076 mm/rev



รูปที่ 16 ความเค้นที่เกิดขึ้นสำหรับ Feed เท่ากับ 0.33 mm/rev

5. สรุปผลของการวิจัย

จากเทคนิคต่างๆ ที่ถูกนำเสนอ, ปัจจัยของกรรมวิธีการของการเจาะ - Chisel Edge Length และ Feed - มีผลต่อแรงผลักและแรงบิด เว้นเพียงการเพิ่มขึ้นของ Chisel Edge Length ต่อแรงบิด เมื่อหน้าที่ของ Chisel Edge ถูกพิจารณา, Chisel Edge ถูกใช้เพื่อจะดันดอกเจาะเข้าสู่ชิ้นงาน จากนั้นชิ้นงานจะถูกตัดเฉือนที่ปากหรือคมตัดของดอกเจาะ สิ่งนี้แสดงว่า Chisel Edge ไม่ได้ช่วยในการตัดเฉือน เพราะแรงบิดหรือแรงตัดเพิ่มขึ้นน้อยมาก

เพื่อจะได้รับผลที่แม่นยำขึ้น, ลักษณะของการสัมผัสระหว่างดอกเจาะและชิ้นงาน, อุณหภูมิของการตัด, อัตราของความเครียด, และเทคนิคของ Arbitrary Lagrangian-Eulerian ควรจะถูกคำนึงร่วมกับการพิจารณาลักษณะที่เกิดขึ้นของเศษ ในการเพิ่มขึ้น, แบบจำลองที่มีข้อมูลของวัสดุและเงื่อนไขของการทำงานที่ถูกต้องจะช่วยผู้ปฏิบัติเข้าใจปัจจัยต่างๆ ของกรรมวิธีที่มีผลต่อการเจาะและช่วยประเมินพลังงานที่ถูกใช้ในการจับยึดชิ้นงานและอายุของการใช้งานของดอกเจาะ

CST-13

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Walter, W.O. (1998). Modeling of Chip Dynamics in Drilling, paper presented in *the CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations 1998*, Georgia, United State.
- [2] Riaz, M., Naseer, A., Yasir M.S., and Vadim, V.S. (2012). Finite-element analysis of forces in drilling of Ti-alloys at elevated temperature, *Solid State Phenomena*, vol. 188, May 2012, pp. 250 – 255.
- [3] เทคนิค/เอ็มแอนด์อี บจ. (2554). ซีอีดียูเคชั่น, กรุงเทพฯ
- [4] Johnson, G.R. and Cook, W.H. (1983). A Constitutive Model and Data for Metals Subjected to Large Strains, paper presented in *Seventh International Symposium on Ballistics 1983*, Hague, Netherlands.
- [5] Abaqus Inc. (No Date). *Abaqus/Explicit User's Manual Version 6.10*, Karlsson and Sorensen.
- [6] Shaw, M.C. and Oxford, C.J. (1957). On the drillings of metals: II. The torque and thrust in drilling, *Transaction of ASME*, vol. 79, pp. 139 – 148.
- [7] ณัฐพล สุกสว่าง และ จีรัชย์ สุภาสุทธากุล (2557). แบบจำลองของการตัดแบบตั้งฉากและแบบเฉียงและการวิเคราะห์ของปัจจัยกรรมวิธี, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28*, มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- [8] Duan, C.Z., Dou, T., Cai Y.J., and Li, Y.Y. (2009). Finite element simulation and experiment of chip formation process during high speed machining of AISI 1045 Hardened Steel, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 1(5), May 2009, pp. 46 – 50.
- [9] Lesuer, D.R., Kay, G.J., and LeBlanc, M.M. (2001). Modeling Large-strain, High-rate Deformation

in Metals, paper presented in *Third Biennial Tri-Laboratory 2001*, California, United State.

- [10] Lazar M.B. (2012). *Cutting Force Modelling for Drilling of Fiber-Reinforced Composites*, Thesis.