

อิทธิพลของมุมเอียงที่มีต่อการตัดขอบอะลูมิเนียมเจือโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ An Influence of Cutting Angle on Trimming Aluminum Alloy by Finite Element Method

แสนสด พานิช¹ ชาญ ถนังงาน² และ ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์³

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

โทร 0-2913-2520 ต่อ 1003², 8531³ โทรสาร 0-2587-4350² E-mail: mpe38023@kmitnb.ac.th¹, chn@kmitnb.ac.th², chw@kmitnb.ac.th³

Sansot Panich¹ Charn Thanadngarn² and Sirisak Harnchoowong³

Department of Production Engineering^{1,2}, Department of Mechanical Engineering³ Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok

Bangsue Bangkok 10800, Thailand

Tel: 0-2913-2520 Ext:1003², 8531³ Fax: 0-2587-4350² E-mail: mpe38023@kmitnb.ac.th¹, chn@kmitnb.ac.th², chw@kmitnb.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมเอียง ในการตัดขอบอะลูมิเนียมเจือโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งทำการจำลองการตัดขอบอะลูมิเนียมเจือ AA6111-T4 หนา 1 มม. ที่มุมเอียง 0,10,20 องศา ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด 5,10% ของความหนาแผ่น รัศมีคมตัดพื้นผิว 0.025 , 0.050 , 0.127 , 0.254 มม. การจำลองการตัดขอบใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM PC-PRO การวิเคราะห์เป็นแบบความเครียดในระนาบ พฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่น-พลาสติก ไม่คำนึงถึงผลของความเสียหาย จากการจำลองการตัดขอบพบว่าค่าความยาวระยะตัดเฉือน ค่าความสูงรอยเสี้ยน มีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการทดลองตัดจริง และทำให้ทราบแนวโน้มของค่าแรงตัดเฉือนและแรงที่กระทำด้านข้างพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไป จากการทดลองตัดจริงและการจำลองพบว่า การเพิ่มมุมเอียงแผ่นโลหะทำให้ค่าความสูงรอยเสี้ยนลดลงแม้รัศมีคมตัดพื้นผิวจะมากขึ้นก็ตาม ที่มุมเอียง 20 องศา พบว่าไม่ว่าจะมีรัศมีคมตัดพื้นผิวมากและระยะช่องว่างมากค่าความสูงรอยเสี้ยนก็ยังมีค่าน้อยมาก แต่ที่ระนาบปกติ 0 องศา ความสูงรอยเสี้ยนมีค่ามากและค่าความยาวระยะตัดเฉือนเพิ่มขึ้นมากเมื่อเพิ่มรัศมีคมตัดพื้นผิว ระยะช่องว่างเครื่องมือตัดที่เพิ่มขึ้นค่าความยาวระยะตัดเฉือนมีค่าลดลงน้อยในทุกมุมเอียงในการตัด แรงตัดมีค่าลดลงเมื่อระยะช่องว่างเครื่องมือตัดเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีคมตัดพื้นผิวเพิ่มขึ้น แรงด้านข้างพื้นผิวเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีคมตัดพื้นผิวและมุมเอียงในการตัดเพิ่มขึ้น

Abstract

The objective of this research is to study the effects of cutting angle on trimming aluminum alloy by finite element method. The simulation of trimming uses AA6111-T4 aluminum alloy with sheet thickness of 1 mm; cutting angles of 0 , 10 , 20 degrees, tool clearance of 5 , 10 % of sheet thickness, and blade edge radii of 0.0254 , 0.0508 , 0.127 , 0.254 mm. An analysis makes use of DEFORM PC – PRO, a commercial finite element program. According to the analysis, plane strain and elastic-plastic material model and frictionless process and selected, As simulation results, the depth of burnish and burr height are in agreement with experimental results and the magnitudes of cutting force and side force are predictable. Both experimental and analytical results show that increasing the cutting angle decreases the burr height even though the blade edge radius is increased. It is found that, at the cutting angle of 20 degrees, the burr height is very small, regardless of how large the blade edge radius and tool clearance are. However, at the cutting angle of 0 degree, the burr height is large; and the burnish increases as the blade edge radius increases. The burnish decreases when the tool clearance increases at every cutting angle. The cutting force decreases as the tool clearance

increases but increases as the blade edge radius increases. Increasing of the blade edge radius and cutting angle increases the side force.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ การขึ้นรูปตัวถังรถยนต์เป็นงานในส่วนที่สำคัญและปัญหาที่พบบ่อยจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ การตัดขอบ (Trimming) เป็นขั้นตอนในการตัดเอาส่วนเกินที่เกิดขึ้นหลังจากทำการขึ้นรูปตัวถังรถยนต์แล้วออกไป ปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากทำการตัดขอบก็คือรอยเสี้ยน (Burr) รอยเสี้ยนเป็นส่วนเกินที่จำเป็นที่จะต้องกำจัดออกไป เพราะจะทำให้เป็นอุปสรรคในการผลิต การประกอบตัวถังรถยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ การบาดเจ็บจากการชนย้าย เกิดการฟุ่ร่อน การเชื่อมการรั่วซึม ปัจจัยเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่มีรอยเสี้ยนหรือมีอยู่น้อยมาก ได้มีผู้ทำการศึกษาถึงสภาพในการตัด (Condition) คือ มุมเอียงของโลหะแผ่น (Cutting Angle) รัศมีคมตัดพั้งซ์ (Blade Edge Radius) และ ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด (Tool Clearance) ตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพผิวหลังทำการตัดนั่นคือ ความสูงรอยเสี้ยน (Burr Height) และความยาวระยะตัดเฉือน (Burnish Height) ผู้ที่ทำการศึกษาดังกล่าวคือ Dr. Ming li แห่ง Alcoa (Aluminum Company of America) ได้นำเอาอะลูมิเนียมเกรด AA6111-T4 ซึ่งเป็นอะลูมิเนียมเกรดที่ใช้ในการทำตัวถังรถยนต์ในอเมริกาเหนือและยุโรป แรงจูงใจที่ทำให้ Dr. Ming Li ทำการศึกษาเพราะว่าในโรงงานผลิตรถยนต์พบว่า มี Sliver (เศษเล็กมาก ๆ) ที่เกิดขึ้นหลังการตัดขอบ เข้าไปปะปนในสายการผลิตรถยนต์ทำให้เป็นปัญหาและผลอีกอย่างอันเนื่องมาจากการตัดขอบก็คือรอยเสี้ยนที่เกิดขึ้นมากในการตัดที่ระนาบการตัดปกติ 0 องศา ดังนั้น Dr. Ming Li จึงได้ทำการทดลองศึกษาถึงอิทธิพลของมุมเอียงของโลหะแผ่น โดยมีตัวแปรอื่นที่ศึกษาคือระยะช่องว่างเครื่องมือตัด และรัศมีคมตัดพั้งซ์ [1] ซึ่งผลการศึกษามีผู้วิจัยได้กล่าวต่อไป ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าหาบทความทางวิชาการต่างประเทศที่ทำการจำลองการตัดขอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีผู้วิจัยอยู่น้อยมากที่ทำการจำลองการตัดขอบอะลูมิเนียมเกรด โดยศึกษาถึงอิทธิพลของมุมเอียงโลหะแผ่นดังนั้นผู้วิจัยได้สังเกตเห็นประโยชน์เนื่องจากการทดลองของ Dr. Ming Li จึงนำมาเปรียบเทียบกับจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2 ทฤษฎี

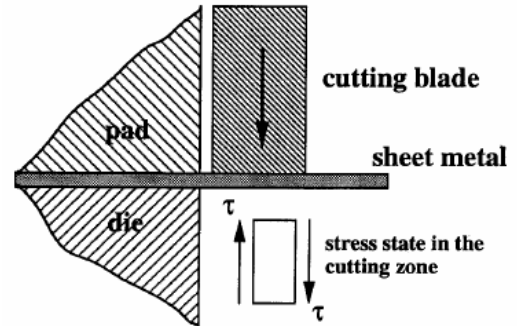
2.1 การตัดขอบ [2]

การตัดขอบจะเกิดลักษณะบนหน้าตัดที่ตัดขาดแล้วได้ 4 ส่วน เช่นเดียวกับการตัดเฉือนอย่างง่าย (Blanking)

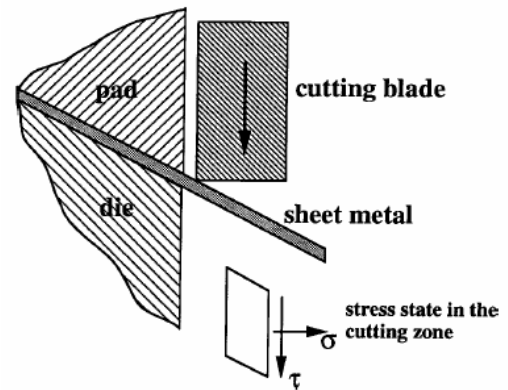
- ส่วนที่เกิดโค้งมน (Roll Over)
- ส่วนหน้าตัดเฉือน (Shear Zone)
- ส่วนที่เกิดรอยแตก (Fracture Zone)
- ส่วนที่เกิดรอยเสี้ยน (Burr)

การตัดขอบที่ระนาบการตัดปกติ 0 องศา จะมีเฉพะแรงเฉือน ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะทำให้ค่าความสูงรอยเสี้ยนมีค่ามากอันเนื่องมาจากเกิด

โมเมนต์ตัดในชิ้นงาน เมื่อทำการตัดขอบโดยการเอียงมุมแผ่นโลหะ จะมีความเค้นกระทำตั้งฉากกับระนาบการตัดเฉือน ความเค้นนี้จะทำให้ค่าความสูงรอยเสี้ยนมีค่าลดลงหรือมีค่าน้อย และทำให้คุณภาพของผิวตัดเฉือนมีสภาพที่ดี เรียบขึ้น [3]



รูปที่ 1 การตัดขอบที่ระนาบการตัดปกติ



รูปที่ 2 การตัดขอบโดยการเอียงมุมโลหะแผ่น

2.2 การทำให้แข็งด้วยความเครียด [5]

นอกจากการเปลี่ยนรูปทรงที่มักทำให้ความต้านแรงและความแข็งเพิ่มขึ้นแล้วคำว่า "การทำให้แข็งด้วยความเครียด" (Work Hardening หรือ Strain Hardening) หมายถึงการเพิ่มความแข็งแรงจากการแปรรูปเย็นผลที่ตามมาคือคุณสมบัติยืดดึง (Ductility) ลดลงและความต้านทานแรงครากเปลี่ยนแปลงไป สมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นประสิทธิผลกับความเครียดประสิทธิผลที่เรียกว่ากฎยกกำลัง (Power law) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\bar{\sigma} = K\bar{\epsilon}^n \quad (1)$$

2.3 ความเสียดทานคูลอมบ์ [5]

การสึกหรอของแม่พิมพ์มีสาเหตุจากความเสียดทานระหว่างแม่พิมพ์และแผ่นชิ้นงาน [4] และกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยทั่วไปใช้ความเสียดทานคูลอมบ์ เนื่องจากความเค้นกดตั้งฉากที่ผิวสัมผัสในกระบวนการขึ้นรูปเป็นแบบอัด [5] ดังแสดงไว้ในสมการ (2)

$$f = \mu p \quad (2)$$

2.4 เกณฑ์ของความเสียหาย [5]

ในกรณีวิธีการตัดเฉือนจะมีเรื่องของความเสียหาย (Fracture) ในการนำเอาระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ เข้ามาวิเคราะห์กระบวนการตัดเฉือนจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ขอบตัดด้วย เป็นที่ทราบกันว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ขอบตัดของกระบวนการตัดเฉือนนี้เป็นความเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture) ในการวิจัยนี้ใช้ Modified Cockroft & Latham Criteria มาทำนายความเสียหายของวัสดุจะเขียนอยู่ในรูปสมการที่ (3)

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} (\sigma^* / \bar{\sigma}) d\bar{\epsilon} = C \quad (3)$$

3. การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมเอียงที่มีต่อการตัดขอบอะลูมิเนียมเจือ โดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM PC-PRO มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ก่อนการประมวลผล

1) การควบคุมกระบวนการจำลอง

- หน่วยที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นระบบ SI
- การวิเคราะห์ปัญหา แบบความเครียดในระนาบ
- ควบคุมกระบวนการตัดขอบโดยการกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของพิกซ์ จำนวนช่วง (Step) ในการคำนวณ และระยะเคลื่อนที่ของพิกซ์ใน 1 ช่วง

2) การสร้างแบบจำลองการตัดขอบ แบ่งได้เป็น

2.1) แบบจำลองพิกซ์และตาย

- รัศมีคมตัดพิกซ์ คือ 0.025 , 0.050 , 0.127 , 0.254 มม.
- รัศมีขอบตายเท่ากับ 0.025 มม.
- ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด 0.05, 0.10 มม.
- ทั้งพิกซ์และตายเป็นวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid Body)

2.2) แบบจำลองของวัสดุชิ้นงาน

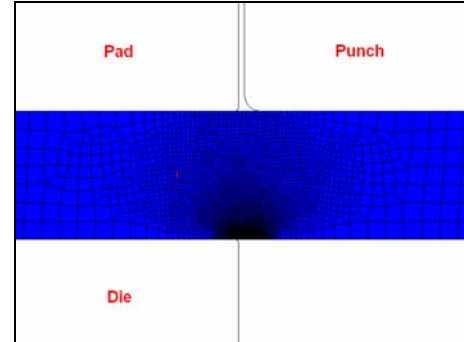
- พิจารณาในระนาบ 2 มิติ แบบความเครียดในระนาบ
- กำหนดขนาดวัสดุชิ้นงาน โดยมีความหนา 1 มม.
- มุมเอียงของวัสดุชิ้นงาน 0,10,20 องศา
- ระนาบปรกติ 0 องศา วัสดุชิ้นงานมีความยาว 9 มม.
- มุมเอียง 10,20 องศา วัสดุชิ้นงานมีความยาว 5 มม.

3) วัสดุชิ้นงานกำหนดให้มีพฤติกรรมแบบยืด-หยุ่นพลาสติก โดยคุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง [1] ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงาน

| ตัวแปร | ค่า |
|---------------------------|--|
| โมดูลัสยืดหยุ่น (E) ; MPa | 71000 |
| อัตราส่วนปัวซอง (V) | 0.33 |
| ความเค้นคราก ; MPa | 191 |
| Power Law ; MPa | $\bar{\sigma} = 537.1\bar{\epsilon}^{0.224}$ |

4) การแบ่งส่วนเอลิเมนต์ จะทำการแบ่งส่วนเอลิเมนต์บริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปและรับความเค้นมาก (Shear Band) ให้มีจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจค่าความสูงรอยเสี้ยน ดังนั้นจึงแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ที่บริเวณจะเกิดรอยเสี้ยนให้ละเอียดมากๆ



รูปที่ 3 การแบ่งส่วนเอลิเมนต์ของแบบจำลองชิ้นงาน

5) การกำหนดเงื่อนไขขอบ โดยจะกำหนดให้โหนดในส่วนที่ทำการกดยึดด้วยชุดกดยึดชิ้นงาน ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y



รูปที่ 4 การแบ่งส่วนเอลิเมนต์และการกำหนดเงื่อนไขขอบ

6) การกำหนดการเคลื่อนที่ โดยกำหนดให้พิกซ์มีทิศทางเคลื่อนที่ลง และกำหนดให้พิกซ์มีความเร็วในการเคลื่อนที่ลงเท่ากับ 50 มม. / วินาที

7) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างคู่ชิ้นงานในการวิจัยนี้กำหนดให้ความเสียหายระหว่างคู่ชิ้นงานคงที่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างคู่ชิ้นงานได้แก่ พิกซ์กับชิ้นงานและตายกับชิ้นงาน (Master - Slave)

3.2 การประมวลผล

ทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM PC-PRO โดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขของนิวตัน-ราฟสัน ในการแก้ปัญหาสำหรับกระบวนการจำลองการตัดขอบอะลูมิเนียมเจือ

3.3 แสดงการประมวลผล

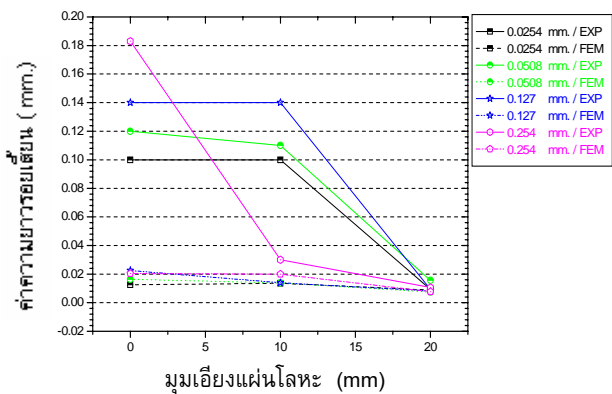
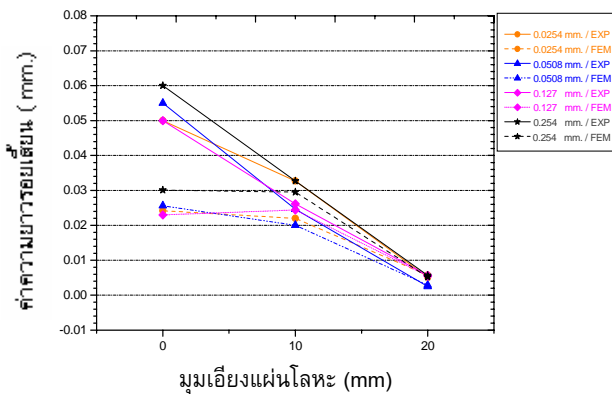
ผลที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข ภาพกราฟฟิค และกราฟความสัมพันธ์ เช่น กราฟความสัมพันธ์ของแรงต่อเวลาหรือแรงต่อระยะการเคลื่อนที่ ภาพกราฟฟิคของความเค้นและความเครียด ทำการวัดค่าความยาวระยะตัดเฉือน ค่าความสูงรอยเสี้ยน โดยโปรแกรมเขียนแบบบนเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการวัดค่าแล้วนำค่าไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.1 อิทธิพลของมุมเอียงและรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่มีผลต่อ

ความสูงรอยเสี้ยน

ผลการจำลองการตัดขอบได้ค่าความสูงรอยเสี้ยนที่มุมเอียง 20 องศา มีผลใกล้เคียงกับการทดลองตัดจริงมาก ดังรูปที่ 5 ค่าความสูงรอยเสี้ยนที่มุมเอียง 10 และ 0 องศา มีค่าที่ห่างจากการทดลองตัดจริงมากขึ้นตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะที่ระนาบปรกติ 0 องศา ในการตัดขอบจะเกิดโมเมนต์ดัดขึ้นในชิ้นงานและวัสดุงานรับความเค้นเฉือน (Shear Stress) อย่างเดียว แสดงในรูปที่ 1 ทำให้มีความสูงรอยเสี้ยนมาก (มากกว่ารัศมีขอบตาย) ไม่เหมือนการตัดที่เอียงแผ่นโลหะจะเกิดความเค้นดัดฉาก (Normal Stress) กระทำกับระนาบการตัดเฉือนด้วย แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งความเค้นดัดฉากจะช่วยทำให้ความสูงรอยเสี้ยนลดลง [1,3] แต่ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม Deform Pc-Pro ที่ทำการลบเอลิเมนต์ที่ถึงค่าเกณฑ์ความเสียหาย (Ductile Fracture Criteria) ซึ่งการลบเอลิเมนต์มีส่วนที่ทำให้ความแม่นยำในการจำลองลดลง [6] เพราะเอลิเมนต์ถูกลบหายไปทำให้ค่าการจำลองมีค่าแตกต่างกับการทดลองจริง ปัญหาในส่วนนี้ Hatanaka [7,8] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้เองเพื่อจำลองการตัดเฉือนด้วยวิธีการแยกโหนด (Separate node) ผลการศึกษามีค่าใกล้เคียงกับการทดลองมาก ดังนั้นถ้าจะให้ผลการจำลองของรอยเสี้ยนและความยาวระยะตัดเฉือนมีค่าที่แม่นยำควรจะนำวิธีการแยกโหนดมาใช้เป็นวิธีที่ทำให้ชิ้นงานแยกออกจากกันแบบจำลอง

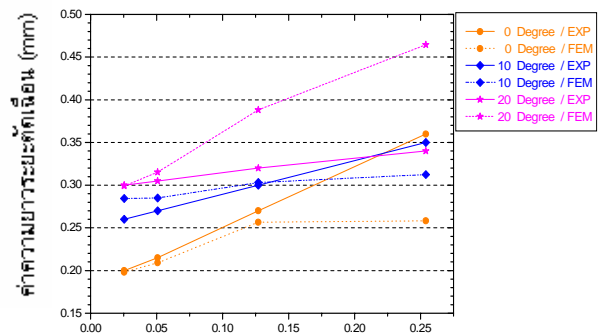


รูปที่ 5 กราฟค่าความสูงรอยเสี้ยนที่เปลี่ยนแปลงตามมุมเอียง และมีรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่แตกต่างกัน ที่ช่องว่างเครื่องมือตัด 0.05 , 0.10

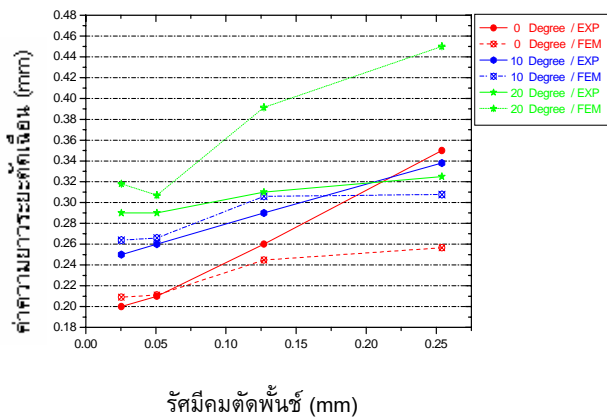
4.2 อิทธิพลของมุมเอียงและรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่มีต่อ

ความยาวระยะตัดเฉือน

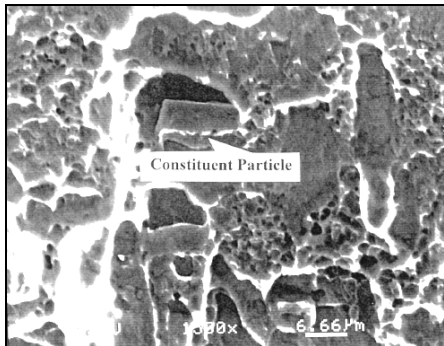
ค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่ได้จากการจำลองการตัดขอบดังแสดงในรูปที่ 6 มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันกับการทดลองตัดจริง ที่มุมเอียงในการตัด 0 , 20 องศา ที่รัศมีคมตัดพื้นซ์ 0.025 , 0.050 มม. มีค่าที่ใกล้เคียง แต่ที่ 0.127 , 0.254 มม. ผลการจำลองมีค่าที่แตกต่างกับการตัดจริงมาก สาเหตุที่ผลการจำลองกับการตัดจริงแตกต่างกันอันเนื่องจากโครงสร้างทางจุลภาคของอะลูมิเนียมเจือ AA6111-T4 มีสารประกอบในเฟสที่สอง (second phase) ที่มีขนาดใหญ่ดังรูปที่ 7 [9] อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ความเค้นบริเวณช่วงระยะตัดเฉือนมีค่าที่ไม่คงที่เวลาที่พื้นซ์กดตัดลงมา [9] และยิ่งพื้นซ์ที่มีรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่มากด้วยแล้วจะยิ่งทำให้มีสภาพความเค้นไม่คงที่เพราะรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของวัสดุมาก สภาพความเค้นที่ไม่คงที่ให้การหาเกณฑ์ความเสียหาย (Ductile Fracture Criteria) ของวัสดุที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองเป็นไปได้ยากจึงทำให้ได้ผลการจำลองของค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่แตกต่างกับการตัดจริง (จุดที่เริ่มเกิดรอยร้าวเป็นจุดที่สิ้นสุดของระยะตัดเฉือน) ค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด 0.10 มม. ดังรูปที่ 6 ข) จะมีค่าน้อยกว่าที่ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด 0.05 มม. อันเนื่องมาจาก ระยะช่องว่างที่มากขึ้นจะทำให้วัสดุเกิดรอยร้าว (Crack) เร็ว เนื่องจากแรงดึงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจึงได้ค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่น้อยกว่า จากเส้นกราฟในรูปที่ 6 ก) และ ข) ของการทดลองตัดจริงและการจำลอง ที่ระนาบปรกติ 0 องศา จะมีความชันมากกว่า การตัดที่มุมเอียง 10 , 20 องศา ตามลำดับ เป็นเพราะว่าที่ระนาบปรกติ 0 องศา มีแรงต้านแรงเฉือนหรือความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength) [2] ของวัสดุในขณะที่พื้นซ์กดตัดมีค่าที่สูง ทำให้ที่รัศมีคมตัดน้อยมีค่าความยาวระยะตัดเฉือนน้อยเพราะรัศมีคมตัดน้อยขณะทำการกดตัดจะมีความเค้นสูงทำให้ชิ้นงานเกิดรอยร้าวเร็ว ความยาวระยะตัดเฉือนจึงน้อย ส่วนรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่มากเวลาตัดชิ้นงานจะมีสภาพพลาสติก (Plastic Deformation) [9] ที่สูงกว่ารัศมีคมตัดน้อย ทำให้เกิดรอยร้าวช้า ความยาวระยะตัดเฉือนจึงมาก เส้นกราฟ ที่ 0 องศา จึงมีลักษณะที่ชันกว่าที่มุมเอียง 10 20 องศา การตัดที่มุมเอียง 10 , 20 องศา มีแรงต้านแรงเฉือนที่น้อยกว่าที่ระนาบปรกติ 0 องศา ชิ้นงานจึงเกิดรอยร้าวที่ช้ากว่า นั่นก็คือได้ค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่มากกว่า



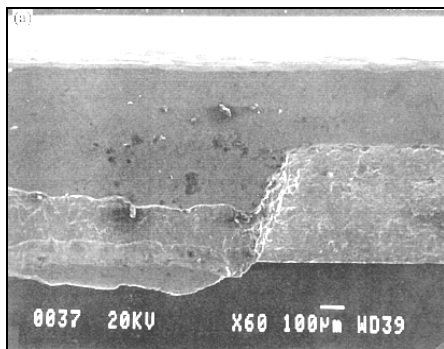
รูปที่ 6 กราฟค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีคมตัดพื้นซ์ และมีมุมเอียงที่แตกต่างกัน ที่ช่องว่างเครื่องมือตัด 0.05 มม.



รูปที่ 6 กราฟความยาวระยะตัดเฉือนที่เปลี่ยนแปลงตามรัศมีคมตัด โดยมุมเอียงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 7 อนุภาคของสารประกอบ Al - Fe - Mn ที่มีขนาดใหญ่

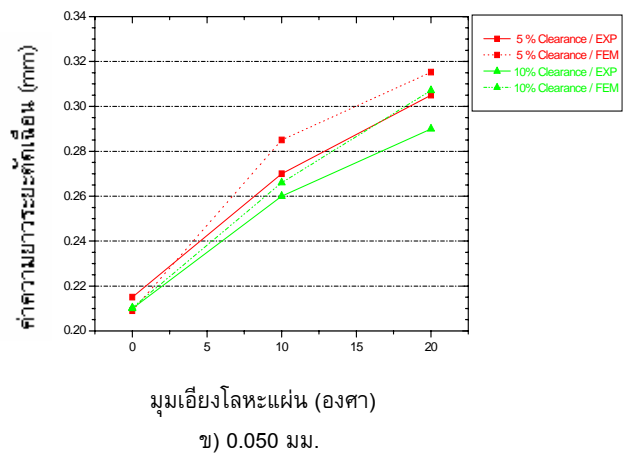
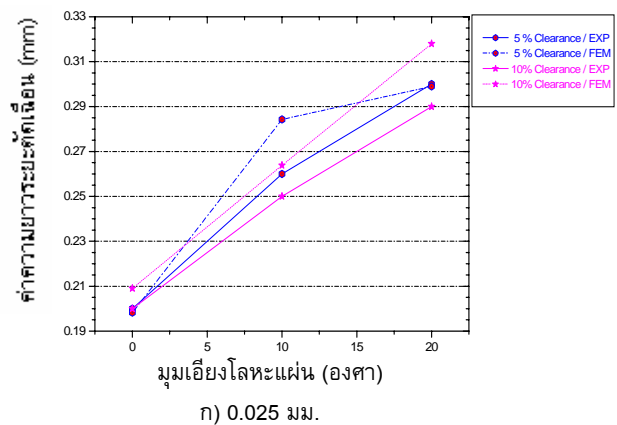


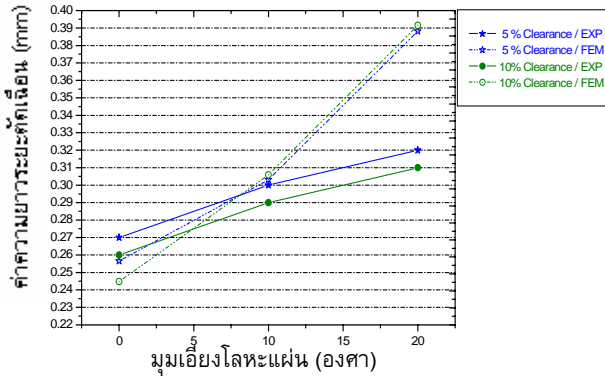
รูปที่ 8 อนุภาคของสารประกอบในเฟสที่สองของโครงสร้างระดับจุลภาคบริเวณช่วงระยะตัดเฉือน

4.3 อิทธิพลของมุมเอียงและระยะช่องว่างเครื่องมือตัดที่มีต่อความยาวระยะตัดเฉือน

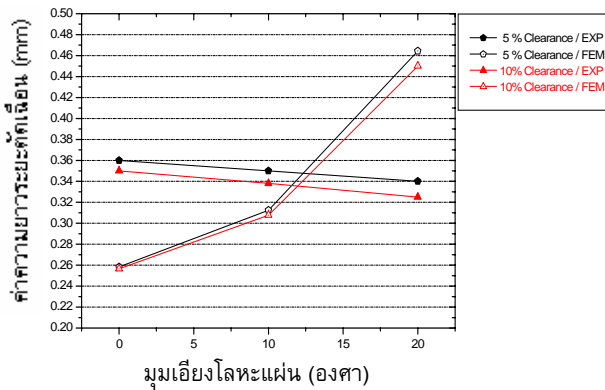
ผลกระทบของมุมเอียงที่มีต่อความยาวระยะตัดเฉือนแสดงในรูปที่ 9 ก-ง ในรูป ก , ข เป็นการจำลองการตัดขอบที่รัศมีคมตัด 0.025 และ 0.050 มม. ผลการจำลองกับการตัดจริงมีแนวโน้มสอดคล้องใกล้เคียงกัน เส้นกราฟมีความชันมากเพราะมุมเอียงที่มากขึ้น มุมเอียง

ที่มากขึ้นจะทำให้มีสภาพความเค้นเปลี่ยนไป แรงต้านแรงเฉือนน้อยลง ชิ้นงานเกิดรอยร้าวซ้ำจะได้ความยาวระยะตัดเฉือนมาก ตรงกันข้ามกับการตัดที่ระนาบปรกติ 0 องศา แรงต้านแรงเฉือนของชิ้นงานมีมาก และรัศมีคมตัดน้อยจะทำให้มีความเค้นมากขึ้นงานจึงเกิดรอยร้าวเร็วจึงทำให้มีความยาวระยะตัดเฉือนน้อย เส้นกราฟดังในรูป ก , ข จึงมีความชันมาก ส่วนความยาวระยะตัดเฉือนที่ช่องว่างเครื่องมือตัด 0.10 มม. จะมีค่าที่น้อยกว่าที่ความยาวระยะตัดเฉือน 0.05 มม. น้อยกว่าไม่มากนักในส่วนรัศมีคมตัด 0.127 , 0.254 มม. รัศมีคมตัด 0.127 มม. ดังในรูป ค ผลการจำลองการตัดขอบมีค่าที่แตกต่างกับการตัดจริงที่มุมเอียง 20 องศา ที่รัศมีคมตัด 0.254 มม. ผลการจำลองมีความแตกต่างกับการตัดจริง ที่มุมเอียง 0 , 20 องศา ดังรูป ง อย่างไรก็ตามแล้ววรัศมีคมตัดที่มากขึ้นจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปของวัสดุมากและในส่วนของโครงสร้างทางจุลภาคที่มีสารประกอบในเฟสที่สองที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะทำให้ค่าความเค้นบริเวณช่วงระยะตัดเฉือนมีค่าไม่คงที่ มุมเอียงแผ่นโลหะที่เปลี่ยนแปลงไปก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าความเค้นไม่คงที่ [1] การหาเกณฑ์ความเสียหายจึงหาค่าที่เหมาะสมได้ยาก ทำให้ได้ค่าความยาวระยะตัดเฉือนที่ได้จากการจำลองที่รัศมีคมตัดมีค่าที่แตกต่างกับการทดลองตัดจริง





ค) 0.127 มม.

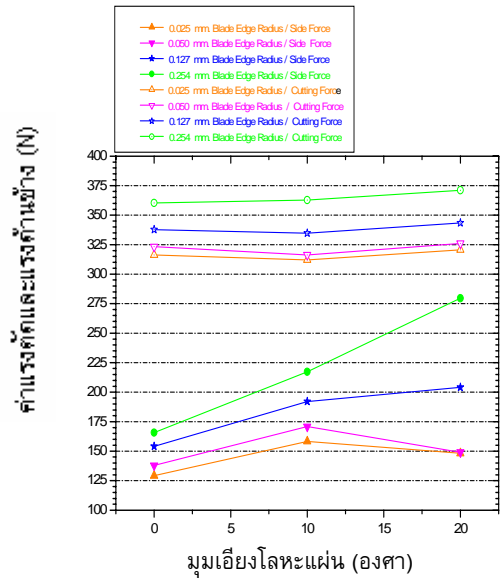


ง) 0.254 มม.

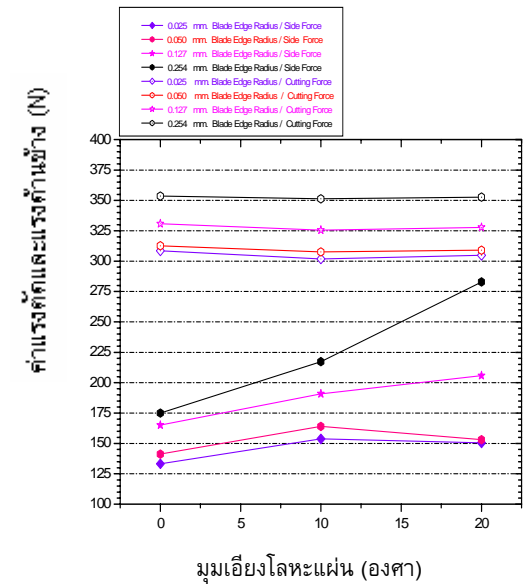
รูปที่ 9 กราฟความยาวระยะตัดเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตามมุมเอียง และ ระยะช่องว่างเครื่องมือตัดที่แตกต่างกัน

4.4 แรงตัดและแรงต้านข้างพื้นซ์

แรงตัดและแรงต้านข้างที่แสดงในรูปที่ 10 เป็นค่าที่ได้จากผลการจำลองไม่ได้เปรียบเทียบกับผลการตัดจริง ผลการจำลองที่แสดงในรูปที่ 10 จะเห็นว่าที่มุมเอียงในการตัดเดียวกันเมื่อรัศมีคมตัดพื้นซ์เพิ่มขึ้นจะมีแรงตัดและแรงต้านข้างเพิ่มขึ้นตาม เพราะรัศมีคมตัดพื้นซ์ที่มากขึ้นทำให้ตัดชิ้นงานยาก เมื่อตัดยากต้องใช้แรงในการตัดมากขึ้น และจะมีแรงไปกระทำที่ด้านข้างพื้นซ์สูงขึ้น ส่วนที่รัศมีคมตัดพื้นซ์เดียวกันเปลี่ยนมุมเอียงในการตัดก็จะมีแรงกระทำที่ข้างพื้นซ์สูงขึ้น ยกเว้นที่รัศมีคมตัดพื้นซ์ที่ 0.025 และ 0.050 mm. ที่มุมเอียง 20 องศาจะมีแรงตัดและแรงต้านข้างใกล้เคียงกันมาก เนื่องมาจากรัศมีคมตัดพื้นซ์น้อยและไม่ต่างกันมากจึงไม่มีผลแตกต่างกันเมื่อมุมเอียงมีค่าสูง แรงตัดมีค่าที่ไม่ต่างกันมาก เมื่อเปลี่ยนมุมเอียงในการตัดเป็นเพราะมุมเอียงที่เปลี่ยนแปลงมีค่าน้อย ทำให้พื้นที่ตัดเฉือนมีค่าที่เพิ่มขึ้นไม่มาก แรงตัดจึงมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก รูปที่ 10 ข) จะมีค่าแรงตัดน้อยกว่ารูปที่ 10 ก) เพราะระยะช่องว่างเครื่องมือตัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีแรงเสียดทานในการตัดลดลง แรงตัดจึงมีค่าน้อยลงและแรงต้านข้างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงดึงที่ชิ้นงานเพิ่มขึ้น

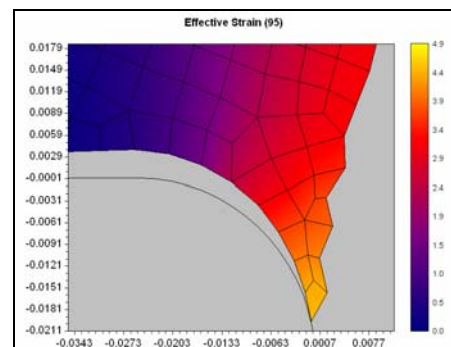


ก) 0.05 มม.

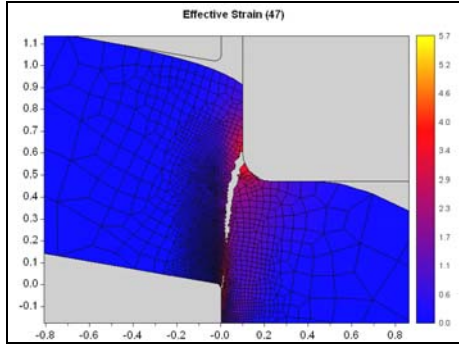


ข) 0.10 มม.

รูปที่ 10 แรงต้านข้างและแรงตัดที่เปลี่ยนแปลงตามมุมเอียงแผ่นโลหะ และ รัศมีคมตัดพื้นซ์ที่แตกต่างกัน ที่ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด



รูปที่ 11 ความสูงรอยเสี้ยนที่ระนาบปรกติ 0 องศา ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด 0.05 มม. รัศมีคมตัดพื้นซ์ 0.025 มม.



รูปที่ 12 การขยายตัวของรอยร้าว มุมเอียงแผ่น 10 องศา ระยะช่องว่างเครื่องมือตัด 0.10 มม. รัศมีคมพันทันซ์ 0.127 มม.

5 สรุปผล

- 1) ค่าความสูงรอยเสี้ยนมีค่าน้อยมาก เมื่อเอียงมุมแผ่นโลหะ 20 องศา และมีค่ามากขึ้นตามลำดับที่ 10, 0 องศา รัศมีคมตัดพันทันซ์ที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความสูงรอยเสี้ยนมีค่าที่เพิ่มขึ้น ที่มุมเอียง 0, 10 องศา
- 2) ที่ระนาบการตัดปรกติ 0 องศา มีค่าความยาวระยะตัดเฉือนเพิ่มขึ้นตามรัศมีคมตัดพันทันซ์ที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนในการเพิ่มขึ้นมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับที่มุมเอียงในการตัดโลหะแผ่น 10, 20 องศา
- 3) แรงตัดมีค่าลดลงเมื่อระยะช่องว่างเครื่องมือตัดมีค่าเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีคมตัดพันทันซ์เพิ่มขึ้นในมุมเอียงการตัดเดียวกัน แรงต้านข้างพันทันซ์เพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีคมตัดพันทันซ์และมุมเอียงในการตัดเพิ่มขึ้น
- 4) ผลการจำลองการตัดขอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดลองตัดขอบจริงมีค่าแนวโน้มสอดคล้องสามารถยอมรับได้

6 กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่มอบทุนอุดหนุนบางส่วนให้แก่งานวิจัยนี้ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีไทย – ฝรั่งเศส สถาบันแห่งเดียวกัน สำหรับการให้ความอนุเคราะห์ขอใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป DEFORM PC-PRO ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งแก่ Dr. Ming Li นักวิจัยแห่ง Alcoa Technology, USA. ที่กรุณาให้คำแนะนำรายละเอียดในงานวิจัย อนุเคราะห์บทความวิจัย และคำคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

7 คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- $\bar{\sigma}$: ความเค้นประสิทธิผล
 K : สัมประสิทธิ์ความต้านแรงครากของวัสดุ
 $\bar{\epsilon}$: ความเครียดประสิทธิผล
 n : ตัวเลขชี้กำลังของการทำให้แข็งด้วยความเครียด
 σ^* : ค่าความเค้นหลักสูงสุด
 $d\bar{\epsilon}$: ความเครียดส่วนย่อย
 $\bar{\epsilon}_f$: ความเครียดประสิทธิผลขณะที่เกิดความเสียหาย
 C : ค่าคงตัววัสดุ
 f : ความเค้นเฉือนเสียดทาน

- P : ความเค้นกดตั้งฉาก
 μ : สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

8 เอกสารอ้างอิง

- [1] Li, M. "An experimental investigation on cut surface and burr in trimming aluminum Autobody sheet." International Journal of Mechanical Sciences. 42 (2000) : 889-906.
- [2] จุลศิริ ศรีงามผ่อง. วิศวกรรมงานแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
- [3] Li, M. and Fata, G. "Trimmed Aluminum Sheet." U.S.Patent 5,820,999. Oct. 13, 1998.
- [4] Goijaerts, A. M. "Prediction of Ductile Fracture in Metal Blanking." Ph.D.Thesis, Eindhoven University of Technology, 1999.
- [5] ศุภกฤษณ์ ศรีสำเร็จ "การศึกษาระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัดที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานในงานไฟน์แบลนค์." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
- [6] Bouchard, P.O., Bay, F., and Chenot, J.L. "Modelling of sheet metal cutting by coupling damage and crack propagation theories." Simulation of Materials Processing
- [7] Hatanaka, N., Yamaguchi, K. and Takakura, N. "Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal." Journal of Materials Processing Technology. 139, (2003) : 64-70.
- [8] Hatanaka, N., et al. "Simulation of sheared edge formation process in blanking of sheet metals." Journal of Materials Processing Technology. 140, (2003) : 628-634.
- [9] Li, M "Micromechanisms of deformation and fracture in shearing aluminum alloy sheet." International Journal of Mechanical Sciences. 42, (2000) : 907-923.
- [10] Domblesky, J.P. and Zhao, L. "Fracture criteria evaluation and finite element modeling of plate shearing." Process Instrument mechanical engineers (Part B). Journal of Engineering Manufacture. 216 (2002) : 25-38.
- [11] Domblesky, J.P. and Zhao, L. "Assessment of a finite element model for plate shearing." Process Instrument mechanical engineers (Part B). Journal of Engineering Manufacture. 216 (2002) : 519-529.
- [12] Taupin, Etienne, et al. "Material fracture and burr formation in blanking results of fem simulations and comparison with experiments." Journal of Materials Processing Technology. 59, (1996) : 68-78.

