

การวิเคราะห์การไหลของเนื้อวัสดุของรอยฉีกขาดในงานตัดไฟน์แบลนด์

สุทัศน์ ทิพย์ปรักมาศ¹

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

มาชาฮิโกะ จิน² และ มาซาโอะ มูราคาวา³

สถาบันเทคโนโลยีนิปปอน ประเทศญี่ปุ่น

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการตัดโลหะด้วยกระบวนการไฟน์แบลนด์นั้นเป็นที่ทราบกันดีถึงประสิทธิภาพการทำงานที่รวดเร็วและต้นทุนที่ต่ำ เนื่องมาจากการได้มาซึ่งผิวชิ้นงานตัดที่เรียบตรงและมีความเที่ยงตรงสูง โดยปราศจากรอยแตก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการทำการตกแต่งผิวงานตัดในกระบวนการถัดไป เช่น กระบวนการแมชชีน จากข้อได้เปรียบเหล่านี้จึงทำให้เทคโนโลยีไฟน์แบลนด์ได้รับความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น จากข้อดีของกระบวนการตัดไฟน์แบลนด์ที่ดีกว่ากระบวนการตัดทั่วไปนั้นเป็นผลเนื่องมาจากสภาวะเงื่อนไขในการตัดที่แตกต่างกัน กล่าวคือในกระบวนการตัดไฟน์แบลนด์นั้นจะใช้แรงในการกดยึดชิ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่มีค่ามากกว่าการตัดทั่วไปมาก นอกจากนี้ยังใช้ขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่และดาบ (เคลียร์แรนซ์) ที่มีขนาดเล็กรวมทั้งใช้รัศมีขอบตัดดาบที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งการเลือกใช้ค่าต่างๆ เหล่านี้นั้นก็จะส่งผลต่อการไหลของเนื้อวัสดุในชิ้นงานและส่งผลกระทบท่อมาอย่างผิวงานตัดของชิ้นงานที่ได้ กล่าวคือการเลือกใช้ค่าตัวแปรที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ผิวงานตัดที่เกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในกระบวนการตัดไฟน์แบลนด์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงการเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองบนผิวงานตัด โดยการวิเคราะห์การไหลของเนื้อวัสดุในชิ้นงานเมื่อทำการเปลี่ยนค่าของแรงที่ใช้ในการกดชิ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่โดยการใช้วิธีไฟน์ดอลิเมนต์ ถึงแม้ว่ารอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้เกิดขึ้นบนฝั่งของสแครป แต่ผลของงานวิจัยนี้ก็แสดงให้เห็นถึงสาเหตุของการเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองเนื่องจากแรงกดชิ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ กล่าวคือแรงกดชิ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการไหลวนของเนื้อวัสดุ ซึ่งก่อให้เกิดความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุทำให้เนื้อวัสดุไหลเข้าสู่บริเวณการตัดเฉือนเป็นไปได้อย่าง ทำให้ได้ส่วนเรียบตรงของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่รอยแตกในฝั่งสแครปก็จะหยุดซึ่งจะทำให้เกิดรอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้น นอกจากนี้ผลของการจำลองทางไฟน์ดอลิเมนต์ได้รับการยืนยันความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งทั้งสองให้ผลที่สอดคล้องกัน ดังนั้นผลจากงานวิจัยนี้ยังเป็นการยืนยันถึงความเป็นไปได้ของการนำเอาวิธีไฟน์ดอลิเมนต์มาประยุกต์ใช้เพื่อทำนายผิวงานตัดในกระบวนการไฟน์แบลนด์

¹ อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ

² ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

Material Flow Analysis of Tearing Failure in Fine-blanking Process

Sutasn Thipprakmas¹,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Masahiko Jin², and Masao Murakawa³

Nippon Institute of Technology, JAPAN

Abstract

A fine-blanking technology is well known as an effective and economical blanking process because this process could obtain a clean cut surface with a high accuracy. Therefore, the secondary process such as a machining process is eliminated. From these advantages on the fine-blanking, nowadays, it is generally used in many industrial fields such as the automobile industry and the electronic industry. These advantages, over a conventional blanking, are possible due to a high blank holder force, a high counterpunch force, a small clearance and a large die cutting edge radius. However, the selection on those parameter values affects on the material flow and the cut surface on the blanked parts also. Namely, it causes the crack formations and tearing failure which are the general problems in the fine-blanking process.

In this study, therefore, the material flow analysis was investigated in order to study the formation of the tearing failure and the cut surface with respect to the several blank holder and counterpunch forces by using the finite element method (FEM). From the results, it indicated that the increasing of the blank holder and counterpunch forces result in the rotating movement in the material. This movement increased the hydrostatic pressure in material and also made the material gone difficultly into the shearing zone; therefore, the crack formation was stopped and the secondary shear surface occurred. Namely, the tearing failure was formed. Furthermore, the FEM simulation results were verified by the experiments and they were well agree with each other. It indicated that the FEM simulation could be a useful tool for predicting the cut surface features in the fine-blanking process.

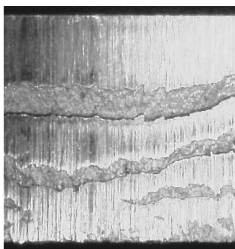
¹ Lecturer, Department of Tool and Materials Engineering.

² Professor, Department of Mechanical Engineering.

³ Associate Professor, Department of Mechanical Engineering.

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการตัดโลหะได้มีการพัฒนาไปอย่างมากและหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายๆ อุตสาหกรรมก็คือเทคโนโลยีการตัดโฟลน์แบลนค์ (Fine-blanking Technology) ตัวอย่างของอุตสาหกรรมที่ใช้กระบวนการนี้เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อดีของกระบวนการตัดโฟลน์แบลนค์ที่ทำให้ได้ผิวงานตัดที่เรียบตรงและมีความเที่ยงตรงสูง [1-3] เมื่อเทียบกับกระบวนการตัดทั่วไป (Conventional blanking process) ดังนั้นจึงสามารถลดขั้นตอนของกระบวนการถัดไปในการทำการตกแต่งผิวงานตัดได้ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนและเวลาในการผลิตได้ ข้อดีของกระบวนการตัดโฟลน์แบลนค์เหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจากสภาวะเงื่อนไขในการตัดที่แตกต่างจากกระบวนการตัดทั่วไป กล่าวคือมีการให้แรงในการกดชิ้นงานจากตัวกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่จากตัวตัดชิ้นงานที่มากกว่าในกระบวนการตัดทั่วไป นอกจากนี้ยังทำการลดขนาดช่องว่างระหว่างพื้นที่และดายน์ (เคลียร์แรนซ์) รวมทั้งการเพิ่มขนาดของรัศมีขอบคมตัดของดายน์เมื่อเทียบกับกระบวนการตัดทั่วไป [1-3] ซึ่งการกำหนดค่าของสภาวะเงื่อนไขในการตัดเหล่านี้จะส่งผลต่อการไหลของเนื้อวัสดุรวมทั้งผิวงานตัดของชิ้นงานที่ได้ด้วย [4] กล่าวคือสภาวะเงื่อนไขการตัดที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดของรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สอง (Tearing failure/ Secondary shear surface) ขึ้นบนผิวงานตัดได้ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1 และถึงแม้ว่าจะได้มีการทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะเงื่อนไขการตัดโฟลน์แบลนค์มาบ้างแล้ว ดังตัวอย่าง



รูปที่ 1 ตัวอย่างการเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองบนผิวงานตัดโฟลน์แบลนค์

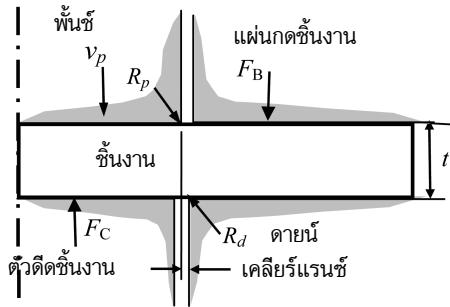
เช่น การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแหวนจิก (vee-ring) และการได้ระนาบของชิ้นงานตัดที่ได้ [5] การศึกษาถึงผลกระทบของช่องว่างระหว่างพื้นที่และดายน์ที่มีต่อบริเวณระนาบการตัดเฉือนในกระบวนการตัดโฟลน์แบลนค์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [6] แต่อย่างไรก็ตามความสามารถของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกจำกัดในการจำลองการเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองบนผิวงานตัด ดังนั้นจึงยังไม่มียานวิจัยใดที่แสดงถึงสาเหตุของการเกิดของรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองได้อย่างชัดเจน จนกระทั่งในงานวิจัยก่อนหน้าของผู้เขียนที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจำลองการเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองโดยวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์ [7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาต่อจากงานวิจัยก่อนหน้าถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของแรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ที่มีต่อการไหลของเนื้อวัสดุขณะทำการตัดที่ส่งผลต่อการเกิดของรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สอง ถึงแม้ว่ารอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้เกิดขึ้นบนฝั่งของสแครป แต่ผลของงานวิจัยนี้ก็ได้แสดงให้เห็นถึงสาเหตุของการเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองเนื่องมาจากแรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ กล่าวคือแรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้เกิดการไหลวนของเนื้อวัสดุซึ่งก่อให้เกิดความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุทำให้เนื้อวัสดุไหลเข้าสู่บริเวณการตัดเฉือนเป็นไปได้อย่างยาก ทำให้ได้ส่วนเรียบตรงของชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่รอยแตกในฝั่งสแครปก็จะหยุดซึ่งจะทำให้เกิดเป็นรอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้น นอกจากนี้ได้ทำการยืนยันผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งผลที่ได้ทั้งสองก็สอดคล้องกันเป็นอย่างดี

2. วิธีการ

2.1 วิธีการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

ในงานวิจัยนี้จะใช้การจำลองแบบ 2 มิติ สมมาตรรอบแกน โดยใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์ Deform 2D และเพื่อให้ง่ายและประหยัดเวลาในการคำนวณ แบบจำลองที่ใช้จึงเป็นแบบจำลองอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2 กล่าวคือจะใช้แผ่นกดชิ้นงานและดายน์ที่ไม่มีแหวนจิก โดยวัสดุชิ้นงานที่จะทำการตัดเป็นเหล็กเกรดเย็น S45C (มาตรฐาน JIS) ขนาดความหนา 5 มม. โดยที่สมการคอนสตีติวทีฟ

ของวัสดุได้มาจากการทำการทดสอบแรงดึงซึ่งได้ถูกแสดงในตารางที่ 1 สำหรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดายน์เท่ากับ 60 มม. โดยกำหนดให้ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และดายน์เท่ากับ ร้อยละ 1 ของความหนาชิ้นงาน รัศมีขอบคมตัดของพื้นซ์และดายน์เท่ากับ 0.01 มม. และ 0.5 มม. ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการกำหนดให้วัสดุชิ้นงานเป็นแบบอีลาสติคพลาสติก (Elastic-Plastic) และชุดแม่พิมพ์ซึ่งประกอบด้วย พื้นซ์ ดายน์ แผ่นกดชิ้นงาน และตัวตัดชิ้นงานถูกกำหนดเป็นแบบของแข็ง (Rigid) สำหรับจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้สำหรับชิ้นงานใช้ที่ประมาณ 3,000 เอลิเมนต์ โดยมีรูปร่างเป็นแบบสี่เหลี่ยม นอกจากนี้ได้ทำการกำหนดให้มีการทำการปรับเอลิเมนต์ใหม่ (Adaptive remeshing) เพื่อป้องกันการลู่ออก (Divergence) ระหว่างการคำนวณ



รูปที่ 2 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

สำหรับแรงของแผ่นกดชิ้นงานและตัวตัดชิ้นงานจะถูกกำหนดไว้ดังนี้คือ แรงของแผ่นกดชิ้นงานเท่ากับ 200 kN และ 600 kN ในขณะที่แรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นซ์จากตัวตัดชิ้นงานเท่ากับ 100 kN และ 150 kN เพื่อที่จะให้เกิดการจำลองการฉีกขาดของวัสดุชิ้นงาน ดังนั้นสมการการแตกหัก (Fracture criterion equation) จึงต้องถูกกำหนดลงไปพร้อมทั้งค่าการแตกหักวิกฤต (Critical fracture value) ในงานวิจัยนี้จะใช้สมการการแตกหักและค่าการแตกหักวิกฤตโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของผู้เขียนก่อนหน้า [7] ซึ่งได้แสดงถึงวิธีการและได้ตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลองแล้ว กล่าวคือในงานวิจัยนี้จะใช้สมการการแตกหักของ Rice&Tracy โดยที่ค่าการแตกหักวิกฤตเท่ากับ 0.25 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	2 มิติ สมมาตรรอบแกน
ชนิดของวัสดุ	ชิ้นงาน : Elastic-Plastic พื้นซ์/ดายน์ : Rigid แผ่นกดชิ้นงาน : Rigid ตัวตัดชิ้นงาน : Rigid
วัสดุชิ้นงาน	S45C (ความหนา 5 มม.) ($\sigma_B=590\text{MPa}$, $\lambda=32\%$)
สมการคอนสตีติวทีฟ	$\bar{\sigma} = 2045 \bar{\epsilon}^{0.73} + 385$
ขนาดชิ้นงาน	$\phi 60$ มม.
เคลียร์เรนซ์ (clearance, CI)	1% t
รัศมีขอบคมตัด	$R_p = 0.01$ มม. , $R_d = 0.5$ มม.
แรงกดชิ้นงาน (F_p)	200 kN, 600 kN
แรงด้านการเคลื่อนที่พื้นซ์ (F_c)	100 kN, 150 kN
สมการการแตกหัก	Rice&Tracy (constant value $\alpha : 1$)
ค่าการแตกหักวิกฤต (C)	0.25
สัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ)	0.1

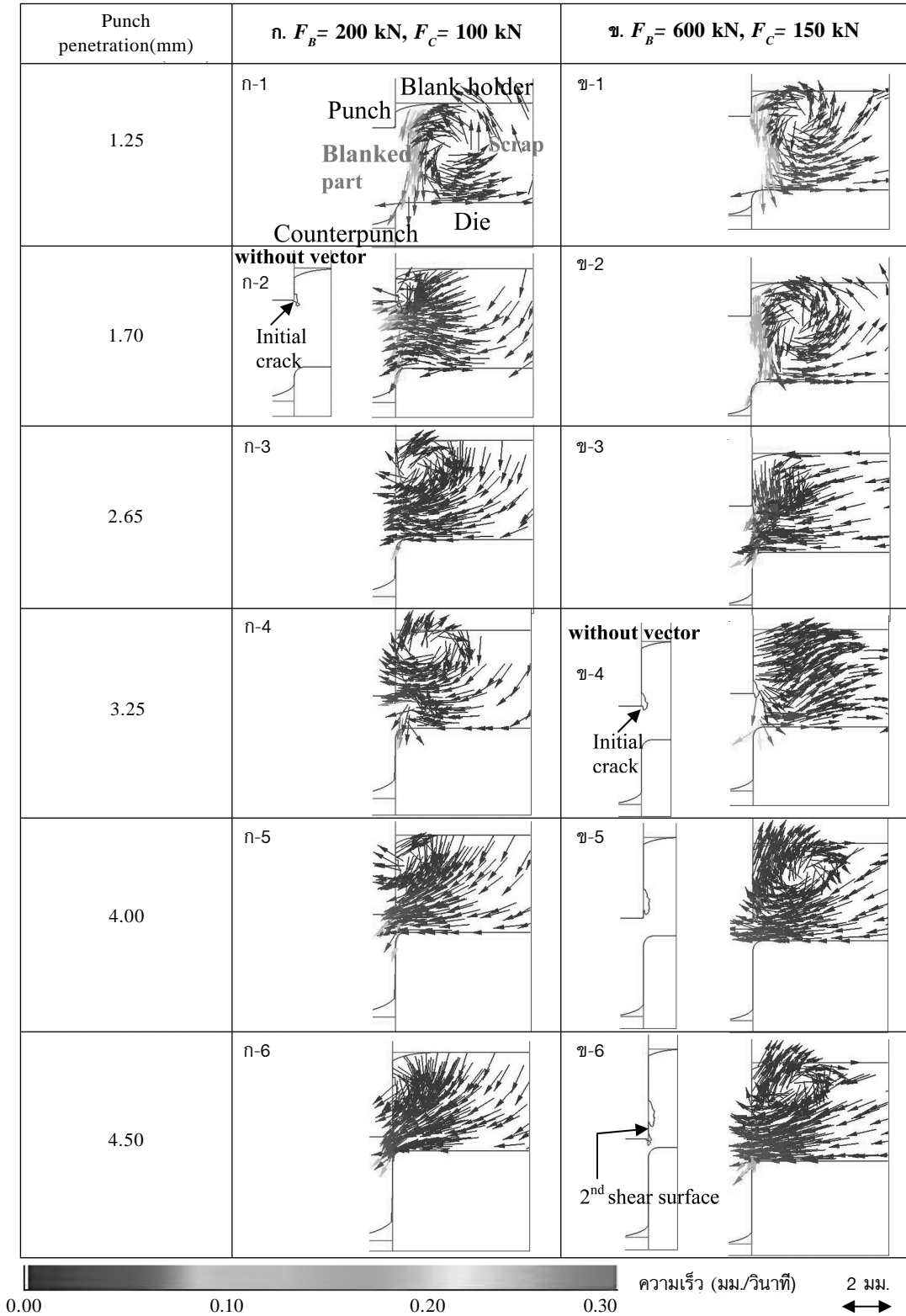
2.2 วิธีการทดลอง

เพื่อที่จะทำการตรวจสอบถึงความถูกต้องของผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงต้องมีการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ในงานวิจัยนี้ชิ้นทดสอบเป็นเหล็กเกรดเย็น S45C ความหนา 5 มม. โดยมีสมบัติทางกลคือ ค่าความแข็งแรงทางดึงสูงสุดเท่ากับ 590 MPa และค่าการยืดตัวเท่ากับร้อยละ 32 สำหรับเครื่องเพรสที่ใช้จะเป็นเครื่องเพรสที่ใช้สำหรับงานตัดโฟมเบลงค์โดยเฉพาะด้วยขนาดเครื่อง 400 ตัน

3. ผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1 ผลกระทบของแรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นซ์ที่มีต่อการไหลของเนื้อวัสดุในระหว่างการตัด

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของการไหลของเนื้อวัสดุในระหว่างทำการตัดโดยทำการเปลี่ยนแรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นซ์ กล่าวคือจะใช้แรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อน



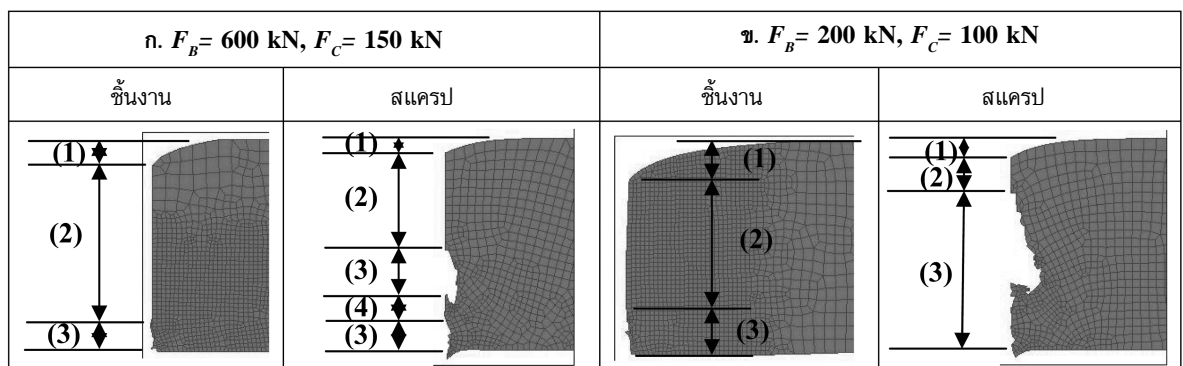
รูปที่ 3 เปรียบเทียบการไหลตัวของเนื้อวัสดุ เมื่อแรงกดชิ้นงานและแรงด้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ต่างกัน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ($Cl_f 1\%$, $R_p=0.01$ มม., $R_d=0.5$ มม.)

ที่ของพันธ์เท่ากับ 200 kN และ 100 kN ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3ก ในขณะรูปที่ 3ข แสดงผลการจำลอง ไฟไนต์เอลิเมนต์ของการไหลตัวของเนื้อวัสดุในกรณีแรง กดขึ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีค่ามากขึ้น กล่าวคือแรงกดขึ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ เท่ากับ 600 kN และ 150 kN ตามลำดับ เริ่มต้นเมื่อ ระยะเวลาการกินลึกของพันธ์เท่ากับ 1.25 มม. ดังแสดงในรูป ที่ 3ก-1 และรูปที่ 3ข-1 จะพบว่าถึงแม้ว่าทิศทางการไหล ของเนื้อวัสดุของทั้งสองกรณีจะมีแนวโน้มเดียวกัน แต่ใน กรณีของแรงกดขึ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ ที่มีค่ามากกว่าจะพบว่าเกิดการไหลวนของเนื้อวัสดุที่มีความหนาแน่นมากกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุทำให้การเกิดรอยแตกเป็นไปได้อย่างขึ้น รูปที่ 3ก-2 เมื่อระยะเวลาการกินลึกของพันธ์มีค่าเท่ากับ 1.70 มม. จะเริ่มเกิดรอยแตกขึ้นในกรณีของแรงกดขึ้นงานและแรง ต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีค่าน้อย ซึ่งจะส่งผลให้ความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุลดลงและทิศทางการไหลของเนื้อ วัสดุก็จะไหลเข้าสู่บริเวณการตัดเฉือนได้ง่ายขึ้น และถึงแม้ว่าจะเกิดการไหลวนของเนื้อวัสดุขึ้นบ้างเป็นระยะๆ ระหว่าง การเคลื่อนที่ของพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3ก-3 และรูปที่ 3ก-4 แต่การไหลวนเหล่านั้นก็ไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด ความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุที่มากพอที่จะทำให้รอยแตกเกิด การหยุด ดังนั้นการไหลของเนื้อวัสดุยังคงไหลเข้าสู่บริเวณ การตัดเฉือน จนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน ดังแสดงใน รูปที่ 3ก-5 และ รูปที่ 3ก-6 ตามลำดับ ในขณะที่ในกรณี ของแรงกดขึ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีค่า มากกว่าจะยังไม่เกิดรอยแตกและการไหลวนของเนื้อวัสดุ

ก็จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการกินลึกของพันธ์มีค่าเท่ากับ 1.70 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3ข-2 จนกระทั่งความเค้นเฉือน ในบริเวณการตัดเฉือนได้เพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มมากขึ้นของ ระยะเวลาการกินลึกของพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 3ข-3 ดังนั้นทิศ ทิศทางการไหลตัวของเนื้อวัสดุก็จะเปลี่ยนไป กล่าวคือเนื้อวัสดุ จะไหลเข้าสู่บริเวณการตัดเฉือนและถูกทำให้เกิดรอยแตกขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3ข-4 แต่เนื่องจากแรงกดขึ้นงานและแรง ต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีค่ามากทำให้เนื้อวัสดุถูกบังคับ ให้ไหลไปยังฝั่งสแครป จนกระทั่งเมื่อระยะเวลาการกินลึกของ พันธุ์เพิ่มมากขึ้นเนื้อวัสดุก็จะไหลกลับเข้าสู่บริเวณการตัด เฉือนอันเนื่องมาจากความเค้นเฉือนที่เพิ่มมากขึ้นในบริเวณ การตัดเฉือน แต่เนื่องจากแรงกดขึ้นงานและแรงต้านการ เคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีค่ามากก็จะส่งผลทำให้เกิดการไหลวน ของเนื้อวัสดุขึ้นอีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 3ข-5 ซึ่งทำให้เกิด ความเค้นอัดขึ้นภายในเนื้อของวัสดุที่มีค่ามากพอจนทำให้ รอยแตกเกิดการหยุดและเกิดเป็นรอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้น จนกระทั่งระยะเวลาการกินลึกของพันธ์เพิ่มมากขึ้นจนเกิดความเค้นเฉือนที่มากพออีกครั้งก็จะทำให้เกิดรอยแตกขึ้นมาอีกครั้ง หนึ่งดังแสดงในรูปที่ 3ข-6

3.2 ผลกระทบของแรงกดขึ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีต่อผิวงานตัด

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองไฟไนต์ เอลิเมนต์ของผิวงานตัดที่ได้เมื่อแรงกดขึ้นงานและแรงต้าน การเคลื่อนที่ของพันธ์ที่มีค่าน้อยและมากตามลำดับ จาก ผลการจำลองจะพบว่าในกรณีของแรงกดขึ้นงาน 600 kN และแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธ์ 150 kN จะได้ว่าทาง



(1): ส่วนโค้งมน, (2): ส่วนเรียบตรง, (3): รอยแตก, (4): ส่วนเรียบตรงที่สอง

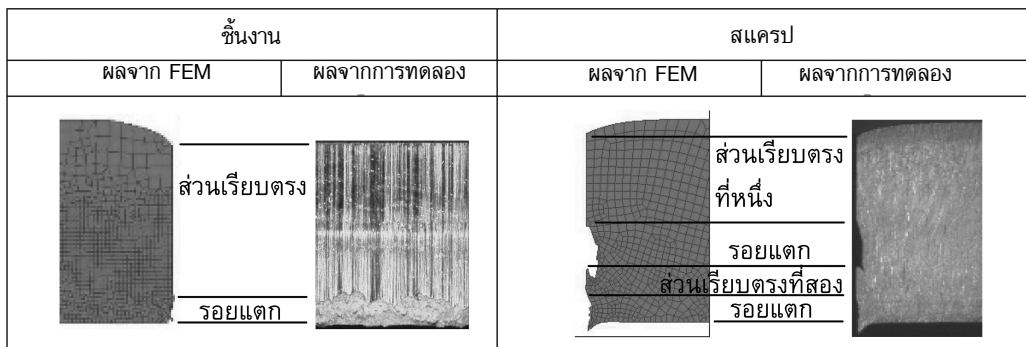


รูปที่ 4 เปรียบเทียบผิวงานตัดโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อแรงกดขึ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ ของพันธ์แตกต่างกัน ($Cl_f 1\%t, R_p = 0.01 \text{ มม.}, R_u = 0.5 \text{ มม.}$)

ฝั่งชั้นงานมีระยะโค้งมนเท่ากับ 0.54 มม. ส่วนเรียบตรงเท่ากับ 3.76 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.70 มม. ในขณะที่ยฝั่งสแครป ซึ่งเกิดรอยฉีกขาด มีระยะโค้งมนเท่ากับ 0.35 มม. ส่วนเรียบตรงที่หนึ่งเท่ากับ 2.27 มม. รอยแตก (รอยฉีกขาด) เท่ากับ 1.06 มม. ส่วนเรียบตรงที่สองเท่ากับ 0.59 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.73 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4ก ในทางตรงกันข้ามในกรณีที่แรงกดชั้นงาน 200 kN และแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นชั้น 100 kN นั้นจะพบว่าส่วนเรียบตรงจะมีขนาดสั้นลงในขณะที่รอยแตกจะยาวขึ้น กล่าวคือทางฝั่งชั้นงานมีระยะโค้งมนเท่ากับ 0.95 มม. ส่วนเรียบตรงเท่ากับ 3.14 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.91 มม. และฝั่งสแครปซึ่งไม่เกิดรอยฉีกขาด มีระยะโค้งมนเท่ากับ 0.44 มม. ส่วนเรียบตรงเท่ากับ 0.87 มม. และรอยแตกเท่ากับ 3.69 มม. ดังแสดงในรูปที่ 4ข จากผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิจัยนี้จะพบว่าผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา [1-8] กล่าวคือเมื่อแรงกดชั้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นชั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลทำให้ได้ระยะโค้งมนที่น้อยลง ได้ส่วนเรียบตรงที่มากขึ้น และรอยแตกลดน้อยลง ถึงแม้ว่าบางครั้งจะเกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้นก็ตาม

4. ผลการทดลอง

เพื่อเป็นการยืนยันถึงความถูกต้องของผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ดังนั้นการทดลองจึงได้ถูกทำขึ้น และตัวอย่างของการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลองได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5 ซึ่งจากผลของการเปรียบเทียบจะพบว่า ผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลการทดลองให้ผลที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดี กล่าวคือผลการจำลองได้แสดงถึงส่วนเรียบตรงเท่ากับ 3.76 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.70 มม. ในฝั่งชั้นงานซึ่งสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองที่แสดงถึงส่วนเรียบตรงเท่ากับ 3.75 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.68 มม. และเช่นเดียวกันในฝั่งของสแครปผลการจำลองได้แสดงถึงส่วนเรียบตรงที่หนึ่งเท่ากับ 2.27 มม. รอยฉีกขาดเท่ากับ 1.06 มม. ส่วนเรียบตรงที่สองเท่ากับ 0.59 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.73 มม. ซึ่งก็ยังคงสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดลองที่แสดงถึงส่วนเรียบตรงที่หนึ่งเท่ากับ 2.20 มม. รอยฉีกขาดเท่ากับ 1.04 มม. ส่วนเรียบตรงที่สองเท่ากับ 0.62 มม. และรอยแตกเท่ากับ 0.71 มม.



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผิวงานตัดของการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และผลจากการทดลอง

(C_l 1%, $R_p = 0.01$ มม., $R_d = 0.5$ มม., $F_B = 600$ kN, $F_c = 150$ kN)

2 มม.



5. วิจัยารณ์ผล

จากผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะพบว่าแรงกดชั้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นชั้นจะส่งผลต่อการไหลวนของเนื้อวัสดุภายในชั้นงานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเค้นภายในเนื้อวัสดุ [4] ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดรอยฉีกขาด/การเกิดของรอยตัดเฉือนที่สองบนผิวงานตัดอย่างมี

นัยสำคัญ และผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ดังที่กล่าวมาข้างต้นก็ให้ผลที่สอดคล้องกับทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา [1-8] นอกจากนี้ความถูกต้องของการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้รับการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งผลทั้งสองที่ได้ก็สอดคล้องกันเป็นอย่างดี

6. สรุปผล

การตรวจสอบถึงผลกระทบของแรงกดชิ้นงานและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่ที่มีต่อการไหลของเนื้อวัสดุและผิวงานตัดที่ได้โดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ตั้งที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้แสดงให้เห็นถึงความเครียดและแรงต้านการเคลื่อนที่ของพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้เกิดการไหลวนของเนื้อวัสดุและส่งผลทำให้ความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลง [4] ซึ่งมีผลทำให้เกิดรอยฉีกขาด/รอยตัดเฉือนที่สองเกิดขึ้น

2. จากผลการทดลองซึ่งสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการยืนยันถึงความเป็นไปได้ในการใช้การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายผิวงานตัดในกระบวนการตัดไฟน์แบลนค์

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นการทำงานวิจัยร่วมกันระหว่างสถาบันเทคโนโลยีนิปปอน ประเทศญี่ปุ่น และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ต้องขอแสดงความขอบคุณ นายคะนาซึกา โดโมคาซึ สำหรับความช่วยเหลือในการทำการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

1. Lange, K., Birzer, F., Hofel, P., Mukhoty, A., and Singer, H., 1997, "Cold Forming and Fineblanking", Edelmetallwerke Buderus AG, Feintool AG Lyss, Switzerland, pp. 141-154.

2. Lange, K., 1978, *The Potential of the Fine*

Blanking Technique, Feintool AG Lyss, Switzerland, pp.1-6.

3. Nakagawa, T., 1998, *Fine Blanking*, The Nikkan kogyo shinbun, LTD., Tokyo, (in Japanese)

4. Aoki, I. and Takahashi, T., 2003, "Material Flow Analysis on Shearing Process by Applying Fourier Phase Correlation Method - Analysis of Piercing and Fineblanking" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 134, pp. 45-52.

5. Kwak, T.S., Kim, Y.J., Seo, M.K., and Bae W.B., 2003, "The Effect of V-Ring Indenter on the Sheared Surface in the Fine-Blanking Process of Pawl", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 143-144, pp. 656-661.

6. Kwak, T.S., Kim, Y.J., and Bae W.B., 2002, "Finite Element Analysis on the Effect of Die Clearance on Shear Planes in Fineblanking", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130-131, pp. 462-468.

7. Thipprakmas, S., Jin, M., Murakawa, M., 2005, "Finite Element Simulation of Blanked Surface Features in Fine Blanking Process", *Proceeding of the 8th Advanced Technology of Plasticity, ICTP*, Vol. 1, pp. 85-86.

8. Murakawa, M., Jin, M., Thipprakmas, S., 2001, "Three-dimensional Finite-Element Simulation of Fine Blanking", *Proceeding of the 7th Simulation of Materials Processing, NUMIFORM*, Vol. 1, pp. 977-981.