



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ศึกษาผลกระทบของมัมปากตายในงานFINEแบล็ก
โดย นายวีระพรรณ กระจับเงิน

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

18 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชาญ ถนัดงาน)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุรังสี เดชเจริญ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กอบสิน ทวีสิน)

ศึกษาผลกระทบของมูมปากตายในงานไฟน์แบล็ก

นายวีระพรรณ กระจับเงิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นายวีระพรรณ กระจับเงิน
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ศึกษาผลกระทบของมุมปากตายในงานไฟน์แบลنگก์
สาขาวิชา : วิศวกรรมการผลิต
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รองศาสตราจารย์ชาญ ถนัดงาน
อาจารย์ ดร.สุรังสี เดชเจริญ
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของ มุมลาดเอียงปากตาย ความลึกมุมลาดเอียงปากตายที่มีผลต่อคุณภาพผิวรอยตัด คุณภาพรูปทรง ในกรรมวิธีการไฟน์แบล่งก์ด้วยระเบียบวิธีไฟน์ดอลิเมนต์ โดยนำผลการจำลองเชิงตัวเลขที่ได้ไปเปรียบเทียบกับยืนยันผลการจำลองกับการทดลอง วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการจำลองและทดลองเป็นวัสดุเหล็กกล้าอะมุนตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O มีความหนา 7.2 mm เคลือบเรซินเครื่องมือตัด 0.5 % ของความหนาวัสดุ สำหรับการจำลองใช้มุมลาดเอียงปากตาย 0° ถึง 45° โดยเพิ่มทีละ 5° ความลึกมุมลาดเอียงปากตาย 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 mm ตามลำดับ ส่วนการทดลองใช้มุมลาดเอียงปากตาย 45° ความลึกมุมลาดเอียงปากตาย 2.0 mm ชิ้นงานมีการหล่อลิ้นด้วยน้ำมัน Holifa HFF 24

ผลจากการจำลองเชิงตัวเลข ค่าที่ทำให้ความราบเรียบผิวรอยตัดเนียนที่สุดคือมุมเอียงปากตาย 45 องศา ที่ความลึกมุมลาดเอียงปากตาย 2 mm โดยได้ค่าความกว้างตาย-โรล 6.117 mm ความลึกตาย-โรล 2.14 mm ความราบเรียบผิวรอยตัดเนียน h_{s1} 100 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ และ h_{s2} 95.13 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ โดยค่าความผิดพลาดสูงสุดระหว่างผลจากการจำลองกับผลการทดลองคือ 6.54%

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 153 หน้า)

คำสำคัญ : ไฟน์แบล่งก์



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Mr.Weeraphan Krajubngurn
Thesis Title : An Investigation Effect of Die Angle in Fine Blanking Process
Major Field : Electrical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Associate Professor Charn Thanadngarn
Dr.Surangsee Dechjarern
Academic Year : 2006

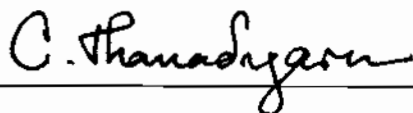
Abstract

The objective of this thesis is to study the effects of the die chamfer angle, the die chamfer depth on the quality of cut edge, the geometrical quality in the fine blanking process by finite element method. The numerical results are then to be compared with the experimental results. In both the simulation and experiment, mild steel JIS.SPHD P/O with 7.2 mm thick, die clearance of 0.5% are used in common. For the simulation, die chamfer angles of 0° to 45° with an increment of 5° , die chamfer depths of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 and 5.0 mm are applied. On the other hand, die chamfer angles 45° and die chamfer depth of 2.0 mm. are used for the experiment. Holifa HFF 24 is used as lubricant.

The numerical results show the value is make quality of cut edge very good is die chamfer from 45° and die chamfer depth of 2.0 mm. the value of width die-roll 6.117 mm. depths of die-roll 2.14 mm. and excellent flatness of cut edge h_{s1} 100 % and h_{s2} 95.13 %, the maximum error between the simulation model and the experiment is 6.54%.

(Total 153 pages)

Keywords : Fine Blanking



Advisor

กิตติกรรมประกาศ

การทำงานวิจัยนี้สำเร็จด้วยดีผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ชาญ ถนัดงาน อาจารย์ ดร.สุรังสี เดชเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์กอบสิน ทวีสิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุม การวิจัยที่ได้กรุณาให้คำแนะนำหลักการ และกรรมวิธีการทางความคิด ในการดำเนินการวิจัย การเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณสมชาย ชูพรรคเจริญ กรรมการผู้จัดการ บริษัท ศรีเจริญชัย เมทัลโปรดักส์ จำกัด ที่ได้เอื้ออำนวยการสถานที่ เครื่องจักร ตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ ในการทดลองสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นเวลา 1 ปี คุณกรกิจ จันทร์พุด และเจ้าหน้าที่ ประจำบริษัท ศรีเจริญชัย เมทัลโปรดักส์ จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เป็นอย่างดี อาจารย์สมศักดิ์ วิเศษแสง อาจารย์ศุภชัย นพพรสุวรรณ อาจารย์ชานาญ คล้ายศรี และอีกหลายท่านในแผนกเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคสัทธิบ อาจารย์สุเทพ เขียมชัยภูมิ และคุณมนฤดี ผาบสิมมา ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการค้นคว้า และหาข้อมูลด้านต่างๆ สำหรับ งานไฟน์เบลงก์ และข้อมูลวัสดุชิ้นงาน ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการทำงานวิจัยครั้งนี้ย่อมเป็นผล มาจากความกรุณาของท่านที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณ อย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

วีระพรรณ กระจับเงิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 วิธีการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 คำจำกัดความและทฤษฎีของการไฟน์แบลنگก์	7
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	55
3.1 เงื่อนไขขอบเขตในการวิจัย	57
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกรรมวิธีการการไฟน์แบลنگก์	57
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินผล	60
3.4 การจำลองกรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	61
3.5 การดำเนินการทดลอง	74
3.6 ประมวลผลการทดลอง (Post-Processing)	74
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	75
4.1 ผลการทดสอบแรงดึง	75
4.2 การวิเคราะห์การจำลองเพื่อการตัดสินใจ	78
4.3 การจำลองและวิเคราะห์ผล	79
4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลอง	107
4.5 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธีไฟน์แบลنگก์	108
4.6 สรุป	115

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ	117
5.1 สรุปและอภิปรายผล	117
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	117
5.3 ข้อเสนอแนะ	118
เอกสารอ้างอิง	119
ภาคผนวก ก	123
เงื่อนไขและผลที่ได้จากการทดสอบการดึง	124
ภาคผนวก ข	129
สมบัติทางกลของสารหล่อลื่น HOLIFA HFF 24	130
ภาคผนวก ค	131
การหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	132
ภาคผนวก ง	135
การคำนวณแรงตัด	136
ภาคผนวก จ	141
การทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	142
ภาคผนวก ฉ	149
ผลการวัดลักษณะภาคตัดขวางชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง	150
ภาคผนวก ช	151
แบบแม่พิมพ์ไฟน์แบล็ก	152
ประวัติผู้วิจัย	153

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการไฟน์แบลงก์	21
2-2 เคลียแรนซ์ระหว่างพื้นที่กับดายเป็น % ของความหนาวัสดุ	31
3-1 สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบ	63
3-2 แสดงผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขึ้นทดสอบ	64
3-3 เงื่อนไขการจำลองและการทดสอบ	66
4-1 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง	114
4-2 สรุปค่าความผิดพลาดระหว่างการจำลองและการทดลอง	114
ก-1 บันทึกผลการดึง	126
ข-1 สมบัติทางกลของสารหล่อลื่น HOLIFA HFF 24	130
ค-1 สรุปค่าจำนวนชิ้นงานทดสอบที่เหมาะสม	133
ง-1 แสดงผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขึ้นทดสอบ	147
ฉ-1 ผลการวัดคุณภาพผิวและคุณภาพรูปทรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน	150

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 เปรียบเทียบกรรมวิธีการแบลงก์แบบธรรมดาและการไฟน์แบลงก์	8
2-2 แสดงคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธีการแบลงก์แบบธรรมดา และจากกรรมวิธีการไฟน์แบลงก์	9
2-3 แสดงกรรมวิธีการไฟน์แบลงก์	10
2-4 การแบลงก์แบบธรรมดา	11
2-5 การไฟน์แบลงก์	11
2-6 ลำดับขั้นตอนของการไฟน์แบลงก์	12
2-7 วี-ริง และรูปทรงของ วี-ริง	14
2-8 แผ่นวัดฤติบของชิ้นส่วนไฟน์แบลงก์ ซึ่งเห็นรอยกดจากวี-ริง อย่างชัดเจน	14
2-9 แสดงชิ้นส่วนที่ได้จากกรรมวิธีการไฟน์แบลงก์	16
2-10 มาตรฐานคุณภาพผิวของชิ้นงานไฟน์แบลงก์	17
2-11 ความลาดเอียงภาคตัดขวางรอยตัดเฉือน	18
2-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงวัสดุกับความเรียบผิว	18
2-13 กราฟแสดงผิวสำเร็จของชิ้นส่วนที่ได้จากการไฟน์แบลงก์ขยาย 2000 เท่า ในแนวตั้ง ขยาย 100 เท่า ในแนวนอนคุณภาพผิวสำเร็จ Ra 0.46 μm	19
2-14 กราฟแสดงผิวสำเร็จของชิ้นส่วนที่ได้จากการไฟน์แบลงก์ ของบริษัทไฟน์ทูล (Feintool Superfinish) ขยาย 2000 เท่า ในแนวตั้ง ขยาย 100 เท่า ในแนวนอน คุณภาพผิวสำเร็จ Ra 0.1 μm	19
2-15 แผ่นชิ้นส่วนของนาฬิกาปลุก มาตรฐาน 1 : 1 วัสดุ Cu Zn 36 หนา 0.9 mm การเปลี่ยนรูปสูงสุดเบี่ยงเบนจากความเรียบ 0.06 mm	20
2-16 รัศมีที่มุมเล็กกว่า 10% ของความหนา และ รัศมีที่มุมเหมาะสม	22
2-17 ความกว้างภาคตัดวัดจากรูปทรงด้านนอกมายังด้านใน	23
2-18 ไคอะแกรมรูปทรง	24
2-19 ไคอะแกรมรูปทรง	24
2-20 ไคอะแกรมรูปทรง	24
2-21 เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ และความกว้างร่อง	25
2-22 ไคอะแกรมเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ และความกว้างร่อง	25
2-23 ไคอะแกรมเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ และความกว้างร่อง	26
2-24 รูปทรงพื้นเพื่อง สัดส่วนของความกว้างพื้นเพื่องต่อความหนาวัสดุ (s)	26
2-25 ไคอะแกรม	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-26 ลื่นหรือส่วนยื่น ซึ่งสามารถลดความกว้างน้อยที่สุดลงได้อีก	28
2-27 ดายโรลที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานไฟน์แบลنگก์มากผิดปกติ	28
2-28 รอยเสี้ยนที่เกิดขึ้นบนด้านพื้นซ์	29
2-29 เครื่องขัดด้วยกระดาษทรายสายพาน	29
2-30 ไตอะแกรมอัตราเร็วของแรมสำหรับเครื่องเพรสแบบธรรมดาเปรียบเทียบกับ เครื่องเพรสไฟน์แบลنگก์	30
2-31 ภาพตัดของแม่พิมพ์ไฟน์แบลنگก์ที่ใช้พื้นซ์เลื่อน	33
2-32 แม่พิมพ์ไฟน์แบลنگก์ที่ใช้พื้นซ์เลื่อน	33
2-33 พื้นซ์เลื่อนอยู่ภายในปลอกวงแหวน	34
2-34 การทำงานแม่พิมพ์ไฟน์แบลنگก์ที่ใช้พื้นซ์เลื่อน	34
2-35 แม่พิมพ์ไฟน์แบลنگก์ที่ใช้พื้นซ์ยึดตายตัว ชุดตายเซตของแม่พิมพ์ทางด้านขวา มีการรองรับเป็นพิเศษโดย Adapter Ring (หมายเลข 19) เพื่อป้องกัน การเสีรูปของตายเซตขณะที่ตัดวัสดุหนา	35
2-36 ภาพตัดเครื่องเพรสไฟน์แบลنگก์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อต่อคู่	36
2-37 ไตอะแกรมอัตราเร็วแรมของเครื่องเพรสไฟน์แบลنگก์ระบบข้อต่อคู่	37
2-38 ภาพตัดผ่านเครื่องไฮดรอลิกเพรสไฟน์แบลنگก์	38
2-39 ภาพตัดผ่านชุดควบคุมเครื่องไฮดรอลิกเพรสไฟน์แบลنگก์	38
2-40 ไตอะแกรมอัตราเร็วของแรมของเครื่องไฮดรอลิกเพรสไฟน์แบลنگก์	39
2-41 ค่าตัวประกอบแก้ไข f_1	41
2-42 ค่าพิกัดความเผื่อพื้นซ์กรณีใช้ขนาดของรู	42
2-43 ค่าพิกัดความเผื่อดายกรณีใช้แบลنگก์	43
2-44 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งแหวนฉีกกรณีความหนาชิ้นงานไม่เกิน 4.5 mm	44
2-45 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งแหวนฉีกกรณีความหนาชิ้นงานเกิน 4.5 mm	44
2-46 การออกแบบแม่พิมพ์เพื่อกักสารหล่อลื่นบริเวณการตัดขณะทำการไฟน์แบลنگก์	45
2-47 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดสอบ	47
2-48 Friction Hill ที่เกิดขึ้นบนแผ่นจานกลม	49
2-49 กราฟ Calibration Curve ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกครอป	51
2-50 แสดงสภาวะต่างๆ ของการเกิดการแตกเหนียว	52
2-51 แสดงภาพขยายของการเกิดสภาวะการแตกเหนียว	52
2-52 รูปร่างของรอยแตก	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-1 การออกแบบมุมเอียงปากตาย	55
3-2 แสดงแรงกดชิ้นงานบริเวณปากตาย	56
3-3 เครื่องไฮดรอลิกเพรสแบบสามจังหวะขนาด 320 ตัน	58
3-4 ชุดแม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์	59
3-5 ดायโปรไฟน์ที่ใช้ในการทดลอง	59
3-6 ชุดกล้องจุลทรรศน์และคอมพิวเตอร์ประมวลผล	60
3-7 เครื่องวัดความเรียบผิว	60
3-8 แสดงการทดสอบแรงดึงและการจำลองการทดสอบแรงดึง	61
3-9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงดึงจากการทดลองกับการจำลอง	62
3-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดประสิทธิผล ของการทดสอบแรงดึงจากการทดลองกับการจำลอง	62
3-11 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	64
3-12 แสดงภาพการจำลอง	66
3-13 แสดงแบบจำลองมุมเอียงปากตาย	67
3-14 แสดงแบบจำลองชิ้นงาน	68
3-15 แสดงสมบัติวัสดุชิ้นงาน	68
3-16 แสดงการแบ่งส่วนเอลิเมนต์	69
3-17 แสดงเงื่อนไขของแบบจำลองชิ้นงาน	70
3-18 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่ของเบลงก์กึ่งพื้นที่	70
3-19 แสดงการกำหนดคู่สัมผัสระหว่างวัสดุกับชิ้นงาน	71
3-20 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบการสัมผัสระหว่างวัสดุ	72
3-21 วิถีลอบเอลิเมนต์	73
3-22 ขั้นตอนในการลอบเอลิเมนต์ของโปรแกรม DEFORM	73
4-1 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง	76
4-2 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการจำลอง	77
4-3 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงระหว่างการจำลองและการทดลอง	77
4-4 กราฟแสดงความเค้น-ความเครียดประสิทธิผลระหว่างการจำลองและการทดลอง	78
4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมปากตายกับความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน	79
4-6 ภาพแสดงการวัดค่าความกว้างตายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-7 ภาพแสดงการวัดค่าความกว้างด้ายโรลที่ระยะเย็บมุม 45 องศา ความลึกเย็บมุม 3 mm ของการจำลอง	80
4-8 ภาพแสดงการวัดค่าความกว้างด้ายโรลที่ระยะเย็บมุม 45 องศา ความลึกเย็บมุม 5 mm ของการจำลอง	81
4-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 5 องศา	82
4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 10 องศา	82
4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 15 องศา	83
4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 20 องศา	84
4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 25 องศา	84
4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 30 องศา	85
4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 35 องศา	86
4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 40 องศา	86
4-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรล กับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 45 องศา	87
4-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรลกับความลึกมุมปากด้าย	87
4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรลกับมุมปากด้าย	88
4-20 ภาพแสดงการวัดค่าความลึกด้ายโรลที่ระยะเย็บมุม 45 องศา ความลึกเย็บมุม 1 mm ของการจำลอง	88
4-21 ภาพแสดงการวัดค่าความลึกด้ายโรลที่ระยะเย็บมุม 45 องศา ความลึกเย็บมุม 3 mm ของการจำลอง	89

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-22 ภาพแสดงการวัดค่าความลึกตายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง	89
4-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 5 องศา	90
4-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 10 องศา	91
4-25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 15 องศา	91
4-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 20 องศา	92
4-27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 25 องศา	93
4-28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 30 องศา	93
4-29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 35 องศา	94
4-30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 40 องศา	95
4-31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรล กับความลึกมุมปากตายที่มุม 45 องศา	95
4-32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตาย	96
4-33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับมุมปากตาย	96
4-34 ภาพแสดงการวัดความราบเรียบผิวที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง	97
4-35 ภาพแสดงการวัดความราบเรียบผิวที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 3 mm ของการจำลอง	97
4-36 ภาพแสดงการวัดความราบเรียบผิวที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 5 mm ของการจำลอง	98

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 5 องศา	99
4-38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 10 องศา	99
4-39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 15 องศา	100
4-40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 20 องศา	101
4-41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 25 องศา	101
4-42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 30 องศา	102
4-43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 35 องศา	103
4-44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 40 องศา	103
4-45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย 45 องศา	104
4-46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน กับมุมปากตาย	104
4-47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย	105
4-48 ภาพแสดงการวัดความสูงรอยเสี้ยนที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง	106
4-49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงรอยเสี้ยนกับความลึกมุมปากตาย	106
4-50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงรอยเสี้ยนกับมุมปากตาย	107
4-51 กราฟเปรียบเทียบยืนยันผลการจำลองและการทดลอง	108
4-52 แสดงการวัดลักษณะรูปทรงชิ้นงานจากการทดลอง	109
4-53 แสดงรูปทรงและคุณภาพผิวชิ้นงานจากการจำลอง	109
4-54 แสดงการตัดเฉือนชิ้นงานที่ระยะกุดพื้นที่ 6.5 mm มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-55 แสดงการจำลองที่มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm แรงกดแบบลงกิโลเดออร์ 12 ตัน แรงกดเคาน์เตอร์พันซ์ 5 ตัน	111
4-56 แสดงขนาดมิติคุณภาพรูปทรงและคุณภาพผิวจากการทดลอง	111
4-57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่พันซ์กับความเค้นประสิทธิผล	112
4-58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่พันซ์กับความเครียดประสิทธิผล	113
4-59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่พันซ์กับความเร็วพันซ์	113
ก-1 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นทดสอบเพลากลม (Specimen)	124
ก-2 เครื่องทดสอบแรงดึง Shimadzu Universal Testing Machine	124
ก-3 การติดตั้ง Extensometer กับชิ้นทดสอบ	125
ก-4 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นทดสอบที่ขาดแล้ว (Specimen)	125
ก-5 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง	127
ก-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง True Stress-Strain Curve	127
ก-7 การหาความสัมพันธ์ของ K และ n	128
ค-1 Operating Characteristic Curves for the Fixed Effect Model Analysis of Variance	132
จ-1 แสดงขนาดของชิ้นทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย	142
จ-2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูป ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังการทดสอบ	143
จ-3 Friction Hill ที่เกิดขึ้นบนแผ่นจานกลม	145
จ-4 กราฟ Calibration Curve ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกคร็อป	146
ซ-1 แบบแม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์	152

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

C	: ค่าคงตัววัสดุ
$d\bar{\epsilon}$	: ความเครียดส่วนย่อย
E	: โมดูลัสยืดหยุ่น
f	: ความเค้นเฉือนเสียดทาน
h_{s2}	: เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนบริเวณที่มีการฝึกขาด ไม่สม่ำเสมอ
h_{s1}	: เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน
K	: สัมประสิทธิ์ความต้านแรงครากของวัสดุ
n	: ตัวเลขชี้กำลังของการทำให้แข็งด้วยความเครียด
P/O	: เหล็กกล้าผ่านการรวมวิธีการทำความสะอาดผิวและเคลือบน้ำมัน
p	: ความเค้นกดตั้งฉาก
$SPHD$	: เหล็กกล้าอะลูมิเนียมสำหรับดึงขึ้นรูป
Y	: ความเค้นคราก
$\bar{\epsilon}_f$	: ความเครียดประสิทธิผลขณะที่เกิดความเสียหาย
σ^*	: ค่าความเค้นหลักสูงสุด
μ	: สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
$\bar{\epsilon}$	: ความเครียดประสิทธิผล
$\bar{\sigma}$	: ความเค้นประสิทธิผล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมแม่พิมพ์โลหะมีความสำคัญต่อระบบการผลิต และเศรษฐกิจภายในประเทศเป็นอย่างมาก เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งตอนนี้ประเทศไทยต้องการเป็นศูนย์กลางการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของเอเชีย แต่ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ผู้ประกอบการของไทย ยังขาดข้อมูลที่จะใช้ในการออกแบบและสร้าง ทำให้ต้องนำเข้าแม่พิมพ์จากต่างประเทศมาผลิต เป็นผลให้ผู้ประกอบการจะได้ค่าแรงในการปั๊มชิ้นงานเพียงอย่างเดียว ทำให้ขาดดุลการค้ากับต่างประเทศ ในเรื่องดังกล่าวจึงมีความจำเป็นต้องมีการส่งเสริม มีการพัฒนา และวิจัยเกี่ยวกับงานด้านแม่พิมพ์ให้มากขึ้น

สำหรับงานไฟน์เบลงก์เป็นอีกงานที่มีบทบาทอย่างมากในภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนของประเทศ ซึ่งในประเทศขาดข้อมูลในด้านการออกแบบ ข้อมูลด้านการแก้ปัญหาทางงานไฟน์เบลงก์ เพราะมีข้อมูลการศึกษาและงานวิจัยพัฒนางานไฟน์เบลงก์น้อย โดยมากข้อมูลในเรื่องดังกล่าวจะเป็นของต่างชาติซึ่งมักจะปกปิดเป็นความลับ ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมไฟน์เบลงก์ภายในประเทศจำเป็นต้องลองผิดลองถูกก่อนจะตัดสินใจผลิต ดังจะสังเกตได้จากการควบคุมผิวรอยตัดเฉือนโลหะ ยังหาดัชนีบ่งชี้ไม่ได้ว่าควรเริ่มจากจุดใดที่จะทำให้ชิ้นงานได้คุณภาพผิวตามที่ต้องการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรจะมีดัชนีตัวบ่งชี้ทิศทางในการแก้ปัญหาคุณภาพผิวงานไฟน์เบลงก์เพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจ เพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของมุมปากตายที่มีผลต่อคุณภาพผิวและคุณภาพรูปทรง บริเวณภาพตัดขวางของรอยตัดเฉือนสำหรับกรรมวิธีการไฟน์เบลงก์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วัสดุสำหรับการวิจัย คือ เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O เป็นเส้นช้วนเพื่องโซ่รถจักรยานยนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพิตช์ 62.0 mm. ความหนา 7.2 mm.

1.1.2 ช่องว่างของเครื่องมือตัด 0.5 % ของความหนาวัสดุ

1.1.3 มุมคมตัดบริเวณปลายพื้นซ์ 90°

1.1.4 ความลึกในการเอียงมุมปากตาย 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 mm ตามลำดับ

1.1.5 มุมเอียงปากตาย 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° และ 45° ตามลำดับ

1.1.6 วัสดุทำพื้นซ์และตายเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI M2.

1.1.7 ออกแบบโมดูลจำลองการไฟน์แบลลงค์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อประกอบ การตัดสินใจ

1.1.8 จำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป

1.1.9 การจำลองตั้งอยู่บนสมมติฐาน พื้นซ์ ตาย แหวนจิก และเคาน์เตอร์พื้นซ์ เป็นวัสดุ แข็งเกร็งความเครียดในระนาบพฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่นพลาสติก

1.1.10 หล่อลื่นด้วยน้ำมัน HOLIFA HFF24

1.1.11 ความเร็วเคาน์เตอร์พื้นซ์และตายแบบคงที่ ขนาดกำลังเครื่องเพรส 320 ตัน

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับกรรมวิธีการไฟน์แบลลงค์

1.4.2 เตรียมข้อมูลแบบจำลอง (Model Data) ก่อนการปฏิบัติการ (Pre-Processing)

1.4.3 วิเคราะห์การจำลองการตัดเฉือนไฟน์แบลลงค์ (Analysis of Modeling)

1.4.4 ประมวลผลที่เกิดขึ้นหลังการวิเคราะห์ (Post-Processing)

1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดลอง

1.4.6 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 สามารถใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศึกษาตัวแปรต่างๆ ของการตัดเฉือน เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาบริเวณผิวรอยตัดเฉือนในงานไฟล์แบลลงค์ได้

1.5.2 สามารถนำผลการวิจัยไปออกแบบมุมปากตายเพื่อให้การตัดเฉือนเกิดประสิทธิภาพ และประสิทธิผลสูงสุด

1.5.3 สามารถลดเวลาในการทดสอบแม่พิมพ์ (Try-out) ให้น้อยลงและเป็นแนวทาง ให้ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การไฟน์แบลลงก์ คือ กรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะที่นำเอาเทคโนโลยีของกรรมวิธีการปั๊มขึ้นรูป (Metal forming) และการแท่งขึ้นรูปเย็น (Cold Extrusion) มาไว้ในกรรมวิธีการเดียวกัน ซึ่งเป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวของ เครื่องจักร และแม่พิมพ์ ทำให้สามารถลดขั้นตอนการตกแต่งผิวของชิ้นงาน ได้ขอบตัดของชิ้นงานเกิดเป็นรอยตัดเฉือนที่สมบูรณ์ไม่มีรอยแตกเกิดขึ้น แตกต่างจากกรรมวิธีการปั๊มตัดแบบธรรมดา (Normal Press) ด้วยข้อดีของกรรมวิธีดังกล่าวจึงมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานในกรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ซึ่งมีทั้งการทดลอง และการจำลองการทำงานด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยกรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ ก่อนที่จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ทำการทดลอง จะขอกล่าวถึงงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าในงานไฟน์แบลลงก์ ด้วยการจำลองการทำงานวิธีเชิงตัวเลข โดยกรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ ก่อน

2.1.1 งานวิจัยที่ใช้กรรมวิธีเชิงตัวเลขโดยกรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ จำลองการทำงาน

การจำลองการขึ้นรูปโลหะหรือจำลองการตัดเฉือนโลหะ ด้วยวิธีเชิงตัวเลขโดยกรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ เป็นลักษณะการจำลองการทำงานที่มีค่าใช้จ่ายน้อย สะดวกรวดเร็ว และสามารถบอกสถานะที่เกิดขึ้นขณะทำการเปลี่ยนรูปหรือตัดเฉือนได้ ซึ่งในการทดลองก็สามารถทำนายได้ แต่จะมีความยุ่งยากและใช้เวลามาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำสูง จึงมีงานวิจัยที่ใช้การจำลองการทำงานด้วยกรรมวิธีนี้กันมาก แต่เนื่องจากการจำลองการทำงาน ดังนั้น ผลที่ได้จึงเป็นแค่การทำนายปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้น ความเที่ยงตรงและถูกต้องของผลการจำลองที่ได้จะขึ้นอยู่กับ การกำหนดสถานะการทำงานให้เหมือนจริง การกำหนดสมบัติของวัสดุ การเลือกทฤษฎีและเกณฑ์การวิเคราะห์ความเสียหาย (Fracture Criterion) ซึ่งทั้งหมดจะทำให้การจำลองการทำงานมีความน่าเชื่อถือ และยังมีเรื่องของความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ซอฟต์แวร์ไฟน์แบลลงก์

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการศึกษากรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ คือลักษณะรอยตัดเต็มความหนา (Fully Shear) คุณภาพผิวเรียบตรงไม่เกิดรอยแตก มีความราบสูง (Excellent flatness) ดังนั้นรูปแบบงานวิจัยที่ใช้วิธีจำลองการทำงานศึกษากรรมวิธีไฟน์แบลลงก์ ส่วนมากจะเป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปร ที่ส่งผลให้ได้ลักษณะงานตามต้องการ ซึ่งมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

สุเทพ [1] ทำการออกแบบมุมลาดเอียงปลายพื่นซ์ ความลึกมุมลาดเอียงปลายพื่นซ์และ รัศมีคมตัดปลายพื่นซ์ เพื่อศึกษาคุณภาพผิว คุณภาพรูปทรง ในกรรมวิธีไฟล์แบลงก์แบบ ไร้แหวนจิกด้วยระเบียบไฟล์ไนต์เอลิเมนต์ โดย โปรแกรมที่ใช้ Defrom 2D version 8.0 เพื่อนำ ผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลอง วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการจำลองและทดลอง เป็นวัสดุเหล็กกล้าอะลูมิเนียมตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O มีความหนา 7.2 mm เคลือบเร็นซ์ เครื่องมือตัด 0.5 % ของความหนาวัสดุ สำหรับการจำลอง ใช้มุมลาดเอียงปลายพื่นซ์ 0° ถึง 90° โดยเพิ่มทีละ 5° ความลึกมุมลาดเอียงปลายพื่นซ์ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm และรัศมีคมตัด ปลายพื่นซ์ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mm ตามลำดับ

จากผลลัพธ์เชิงตัวเลขพบว่า การเพิ่มมุมลาดเอียงปลายพื่นซ์จาก 0° ถึง 45° มีผลทำให้ ค่าแรงตัดเฉือนค่อยๆ ลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง แต่สำหรับมุมลาดเอียงปลายพื่นซ์ ตั้งแต่ 45° ถึง 85° ค่าแรงตัดเฉือนค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีติของพื่นซ์ที่เหมาะสมที่สุดคือ มุมลาดเอียงปลายพื่นซ์ $30^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ความลึกมุมลาดเอียงปลายพื่นซ์ 0.5 mm และรัศมีคมตัดพื่นซ์ 0.2 mm ค่าความผิดพลาดสูงสุดระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองกับการทดลองคือ 4.60%

Brokken [2] ศึกษาผลการจำลองการตัดเฉือน (Blanking Process) เปรียบเทียบกับ ผลการทดลองที่ทำไว้แล้ว เพื่อศึกษาถึงรูปร่างหลังการตัด ค่าที่สนใจศึกษาคือ ความสูงของ ส่วนโค้งมน ความยาวระยะตัดเฉือน ความสูงรอยเสี้ยน โดยทำการเปลี่ยนค่าตัวโปรแกรม ในการตัด คือ ค่าเคลือบเร็นซ์เครื่องมือตัด สมบัติของวัสดุเป็นแบบยืดหยุ่นพลาสติก Brokken ได้ใช้วิธีการ Operator Split Arbitrary Lagrange Euler (OS-ALE) เข้าไปร่วมกับตัวโปรแกรม ไฟล์ไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป MARC ในการ Remesh OS-ALE จะทำให้การเปลี่ยนรูปของวัสดุ (Deformation) เปลี่ยนไปได้อย่างถูกต้องเหมาะสม โดยสามารถกำหนดได้ว่าจะให้ไหนด เคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่เหมาะสมโดยนำเอาวิธีการแก้สมการ DG (Discontinuous Galerkin) ในการเคลื่อนที่ของไหนดไปที่ตำแหน่งใหม่ เกณฑ์ความเสียหายของวัสดุได้นำเอาเกณฑ์ของ Rice and Tracey มาใช้ วิธีการในการทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกันใช้ Discrete Cracking (Split) เป็นการแยกขาดออกจากกัน โดยมีการแยกขาดไปตามไหนดที่มีความเครียดถึงค่าที่กำหนดไว้ ทำให้รูปร่างหลักของการตัดเฉือน (Deformed Geometry) ที่ได้จากการจำลองการตัดมีคุณภาพที่ดี ผลการใช้วิธีไฟล์ไนต์เอลิเมนต์จำลองการทำงานมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมาก ยกเว้นแต่ ความสูงรอยเสี้ยนที่มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 20% สามารถยอมรับได้เพราะว่าความสูงรอยเสี้ยน กำหนดได้ยาก เพราะต้องขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการเริ่มเกิดรอยร้าวที่ต้องแม่นยำ ไม่เกิน 1% ของความหนาของโลหะแผ่น และยังคงขึ้นอยู่กับวิธีการ Remesh และมีวิธีการที่ทำให้เอลิเมนต์ ขาดออกจากกันคุณภาพของขอบตัดที่ได้หลังจากการตัดเฉือนมีคุณภาพที่สวยงามมาก เมื่อ เทียบกับการใช้วิธีลบเอลิเมนต์ (Element Deletion) (ผู้วิจัย)

Etienne, et al. [3] ได้ทำการปรับปรุงพัฒนาโปรแกรมไฟล์ไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D เวอร์ชัน 8.0 โดยเพิ่ม โปรแกรมย่อย (Subroutine) เข้าไปในตัวโปรแกรม DEFORM 2D เพื่อให้

โปรแกรมสามารถทำงานตัดเฉือน (Blanking Process) ได้ คือให้ชิ้นงานที่ทำการจำลองการทำงานเกิดการแตกขาดออกจากกัน โดยใช้วิธีลบเอลิเมนต์ที่มีค่าความเสียหายเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ออกไป ซึ่ง โปรแกรม DEFORM 2D เวอร์ชัน 8.0 ที่ปรับปรุงแล้วสามารถนำมาใช้ได้เป็นอย่างดี (ในช่วงปี 1996 โปรแกรม DEFORM 2D ยังไม่สามารถทำการตัดเฉือนที่มีการแตกเหนียว (Ductile Fracture) ได้ โปรแกรมยังไม่มีสมบัติลบเอาเอลิเมนต์ออกไปได้ แต่ในช่วงหลัง DEFORM 2D สามารถทำการตัดเฉือนที่มีการแตกเหนียว และลบเอลิเมนต์ออกไปได้เป็นอย่างดี) Etienne ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าเคลียแรนซ์เครื่องมือตัด และการสึกหรอของคมตัดพื้นซ์ ผลการจำลองการทำงานโดยการเปรียบเทียบกับรูปร่างของชิ้นงานหลังการตัดจริง เป็นแนวโน้มที่สามารถยอมรับได้ จึงสามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถจำลองการตัดเฉือนที่มีเครื่องมือตัดที่สึกหรอได้ โดยการเพิ่มรัศมีคมตัดพื้นซ์ในแบบจำลอง

Gang, et al. [4] ศึกษาเคลียแรนซ์เครื่องมือตัด ที่มีผลต่อรูปร่างของชิ้นงานหลังการตัดเฉือน (Deformed Geometry) แรงที่ใช้ในการตัดความรอยสูงเสี้ยนพิจารณาในระดับรูปร่างหลังการตัด ไม่ได้พิจารณาในระดับการวัดค่าโดยการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป DEFORM 2D พิจารณาแบบสมมาตรรอบแกนพบว่า รูปร่างที่ได้จากการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการทดลอง

สมชาย [5] ทำการออกแบบแม่พิมพ์ที่สามารถปรับระยะเคลียแรนซ์เครื่องมือตัด และมุมเอียงของโลหะแผ่นได้ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของระยะเคลียแรนซ์เครื่องมือตัด ความยาวส่วนที่ตัดออกและมุมเอียงของโลหะแผ่นในขณะตัดเฉือน การตัดเฉือนทำการตัดด้วยวัสดุ JISH 3100 C 2801 P1/4H (ทองเหลือง) ที่มีขนาดกว้าง 21 mm ยาว 120 mmหนา 1 mm มุมเอียงที่ทำการศึกษาคือ 2.5° , 5° , 7.5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° และ 45° ตามลำดับ เคลียแรนซ์เครื่องมือตัด 0.1, 0.15, 0.2 และ 0.25 mm ตามลำดับ ความยาวตัดออก 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mm ตามลำดับ ผลการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่อมุมเอียงมีค่ามากขึ้น แรงตัดเฉือนก็มีค่ามากขึ้น ที่มุมเอียงอยู่ระหว่าง 20° ถึง 45° เนื่องจากพื้นที่ในการตัดเฉือนเพิ่มขึ้นเนื่องจากมุมเอียง การตัดเฉือนที่ระยะตัดออกน้อยกว่าระยะเคลียแรนซ์เครื่องมือตัดที่ระนาบการตัดเฉือนปกติไม่สามารถเกิดการตัดเฉือนขึ้นได้ ซึ่งเมื่อเอียงมุมตัดเฉือนทำให้ขอบของโลหะแผ่นที่ยึดบนคมตัดล่างยื่นออกมาพันแนวการตัดเฉือน จึงทำให้เกิดการตัดเฉือนได้ ระยะช่องว่างแคบทำให้แรงในการตัดเฉือนสูง แต่ถักระยะช่องว่างกว้างจะน้อย การตัดโลหะแผ่นที่ระนาบการตัดปกติทำให้เกิดแรงกด ซึ่งทำให้แผ่นโลหะเสียรูปไป และเมื่อเอียงมุมตัดเฉือนทำให้เกิดแรงดึงขึ้นกับแผ่นโลหะ ซึ่งไม่เกิดการเสียรูป มุมเอียงในการตัดเฉือน มีผลทำให้ความสูงของรอยเสี้ยนลดต่ำลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงที่กระทำกับแผ่นโลหะ โดยเปลี่ยนจากแรงกดมาเป็นแรงดึง ในการตัดที่มุมเอียง 0° เกิดแรงกดทำให้เกิดรอยเสี้ยนสูงกว่าเนื่องจากเกิดโมเมนต์ดัดขึ้นกับชิ้นงาน

Chen [6, 7] และ Hambli [8] พบว่าสภาวะความเค้นอัดทุกทิศทาง (Hydrostatic Pressure) ที่บริเวณการตัดเฉือน ซึ่งเป็นบริเวณที่เนื้อชิ้นงานมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรุนแรงส่งผลให้ได้ขอบตัดที่มีคุณภาพไม่เกิดรอยแตกและมีรอยตัดเฉือนสูง สภาวะดังกล่าวเกิดจากแหวนจิก ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญช่วยสร้างสภาวะความเค้นอัดให้กับชิ้นงาน

Lee [6], [9, 10, 11] และ Klocke [12] ศึกษาพบว่า พื้นที่ด้านการตัดเฉือนที่ให้ความดันด้านที่เหมาะสม และช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้ายที่แคบ จะช่วยสร้างสภาวะความเค้นอัดให้กับชิ้นงานด้วยเช่นกัน ดังนั้น การหาขนาดของเคลียแรนซ์เครื่องมือตัดระหว่างพื้นที่กับด้าย แรงตัด แรงดันด้านการ ตัดเฉือน แรงกดจิก และระยะห่างแหวนจิกที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้คุณภาพของชิ้นงานออกมาดี

Murakawa, et al. [13] ได้ทำการศึกษาระยะห่างแหวนจิกที่เหมาะสม และแรงของแผ่นจับยึดชิ้นงานเพื่อให้ได้ผิวที่เป็นรอยตัดเฉือนมากที่สุด โดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM 2D จำลองการทำงานเป็นหลัก ทำการวิเคราะห์โดยกำหนดให้แม่พิมพ์เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ชิ้นงานเป็นวัสดุที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Rigid Plastic) ใช้จำนวนเอลิเมนต์ประมาณ 1500 เอลิเมนต์ ทำการจำลองกับเหล็กคาร์บอนปานกลาง (S35C) หนา 3.6 mm ใช้เกณฑ์ความเสียหาย (Fracture Criterion) ของ Modified Cockcroft & Latham ซึ่งเป็นเกณฑ์ความเสียหายที่ใช้ทำนายการเสียหายแบบเหนียว (Ductile Fracture) ของวัสดุ ผลที่ได้คือเมื่อเพิ่มแรงกดให้กับแผ่นจับยึดชิ้นงานที่ไม่มีแหวนจิก จะทำให้ความเค้นอัดบนชิ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ขนาดของความเค้นถึงบริเวณคมตัดลดลง จึงไม่เกิดการแตกขึ้นบนขอบตัดทำให้มีรอยตัดเฉือนเพิ่มขึ้น สำหรับตำแหน่งของแหวนจิกที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ความสูงของรอยตัดเฉือนมากที่สุด คือระยะ 1.8 mm เหตุผลว่าทำไมที่ตำแหน่งของแหวนจิกที่มีระยะน้อยกว่า 1.8 mm ให้ความสูงของรอยตัดเฉือนน้อยลงนั้น งานวิจัยดังกล่าวได้ทำการเปรียบเทียบผลของตำแหน่งแหวนจิกที่ระยะ 1.8 mm กับ 1.2 mm ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ถ้าตำแหน่งของ แหวนจิกยิ่งใกล้พื้นผิวมาก ส่วนของเนื้อชิ้นงานที่อยู่ระหว่างคมตัดพื้นที่กับแหวนจิก จะถูกพื้นผิวดึงให้ห่างออกจากหน้าสัมผัสของแหวนจิก ทำให้ความสามารถในการสร้างความเค้นอัดของแหวนจิกที่บริเวณขอบตัดลดลง [14]

Chan, et al. [15] ศึกษาเปรียบเทียบกับ การตัดเฉือนวัสดุแบบแท่ง (Bar Cropping) เมื่อพิจารณาขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการกรรวิธีไฟน์แบลงก์ที่มีแหวนจิก และไม่มีแหวนจิกกรรวิธีไฟน์แบลงก์แบบไม่มีแหวนจิก จะให้คุณภาพผิวรอยตัดเฉือนต่ำกว่ากรณีการตัดวัสดุแบบมีแหวนจิก ส่วนกรรวิธีไฟน์แบลงก์ที่มีแหวนจิกชิ้นงานที่ได้จะไม่เกิดรอยแตกขึ้นที่ขอบตัดเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แหวนจิกมีอิทธิพลต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน และถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าของช่องว่างระหว่าง พื้นที่กับด้าย ในงานไฟน์แบลงก์ ก็ไม่ส่งผลต่อความสูงของรอยตัดเฉือนเนื่องจากในงานไฟน์แบลงก์ค่าของช่องว่างดังกล่าวอยู่ในช่วงที่แคบอยู่แล้วคือไม่เกิน 1% ของความหนาชิ้นงาน

Lee, et al. [16] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างงานตัดเฉือนอย่างง่าย (Conventional Blanking) กับงานไฟน์แบลนก์ พบว่าแหวนจิกที่อยู่รอบชิ้นงานจะสร้างความเค้นอัดให้กับชิ้นงาน เกิดความเครียดแข็ง (Strain Hardening) บริเวณรอบคมตัด ทำให้ความแข็งของชิ้นงานบริเวณดังกล่าวเพิ่มขึ้นหลังจากที่แหวนจิกกดชิ้นงาน ในขณะที่เดียวกันเมื่อพื้นที่กดชิ้นงานผ่านตายที่มีช่องว่างระหว่างพื้นที่กับตายที่แคบ ก็จะมีผลให้เนื้อวัสดุชิ้นงานที่บริเวณดังกล่าวเกิดความเครียดสูงเช่นกัน ทำให้ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้เกิดเป็นรอยตัดเฉือนโดยไม่เกิดรอยแตก

คณะวิจัยจาก Michigan Precision Industries Inc. [17] ศึกษาพบว่าวัสดุ และรูปร่างของชิ้นงานก็ส่งผลต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงานที่ได้ด้วยคือ ชิ้นงานที่มีรัศมีที่มน้อยจะเกิดส่วนโค้งมนสูง และที่รูปร่างชิ้นงานเดียวกันถ้าเปลี่ยนวัสดุให้มีความแข็งเพิ่มขึ้นจะช่วยลดส่วนโค้งมนที่เกิดบนขอบตัดชิ้นงานได้

ในการพิจารณาคุณภาพขอบตัดชิ้นงานในกรรมวิธีไฟน์แบลนก์ นอกจากขอบตัดชิ้นงานที่ได้จะไม่เกิดรอยแตกแล้วองค์ประกอบอย่างเช่น การเกิดส่วนโค้งมน และครีบบนขอบขนาดเล็ก ขอบตัด ก็ถือเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาคุณภาพของชิ้นงาน ที่ผ่านกรรมวิธีตัดด้วยพื้นที่กับตายเช่นกัน โดยกรรมวิธีไฟน์แบลนก์จะเกิดส่วนโค้งมน และครีบบนขอบน้อยกว่ากรรมวิธีตัดเฉือนอย่างง่าย เนื่องจากกรรมวิธีไฟน์แบลนก์จะมีแรงกดของแหวนจิก และแรงดันด้านการตัดเฉือน ช่วยให้ชิ้นงานเกิดส่วนโค้งมนซึ่งน้อยกว่ากรรมวิธีอื่น [15]

2.2 คำจำกัดความและทฤษฎีของการไฟน์แบลนก์ (Theory of Fine – Blanking) [18]

การไฟน์แบลนก์ (Fine-blanking) เป็นกรรมวิธีตัดเฉือนโลหะที่มีผิวรอยตัดเรียบตรงตลอดความหนาชิ้นงาน ซึ่งกำลังมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมเนื่องจากการไฟน์แบลนก์มีข้อดีทางด้านเศรษฐศาสตร์และชิ้นงานตัดมีคุณภาพดี จึงใช้กรรมวิธีไฟน์แบลนก์กันมากในอุตสาหกรรมของนานาประเทศ

2.2.1 ความหมายและคำจำกัดความของการไฟน์แบลนก์

การไฟน์แบลนก์ คือ กรรมวิธีขึ้นรูปโลหะที่นำเอาเทคโนโลยีของกรรมวิธีปั๊มขึ้นรูป (Metal Forming) และการแท่งขึ้นรูปเย็น (Cold Extrusion) มาไว้ในกรรมวิธีเดียวกัน โดยมีการออกแบบเครื่องเพรส (Press) ขึ้นมาพิเศษให้สามารถทำงานเป็นแบบ 3 จังหวะการทำงาน ซึ่งเครื่องเพรส (Press) ปกติทั่วไปไม่สามารถที่จะทำงานเพื่อผลิตชิ้นงานในลักษณะนี้ได้

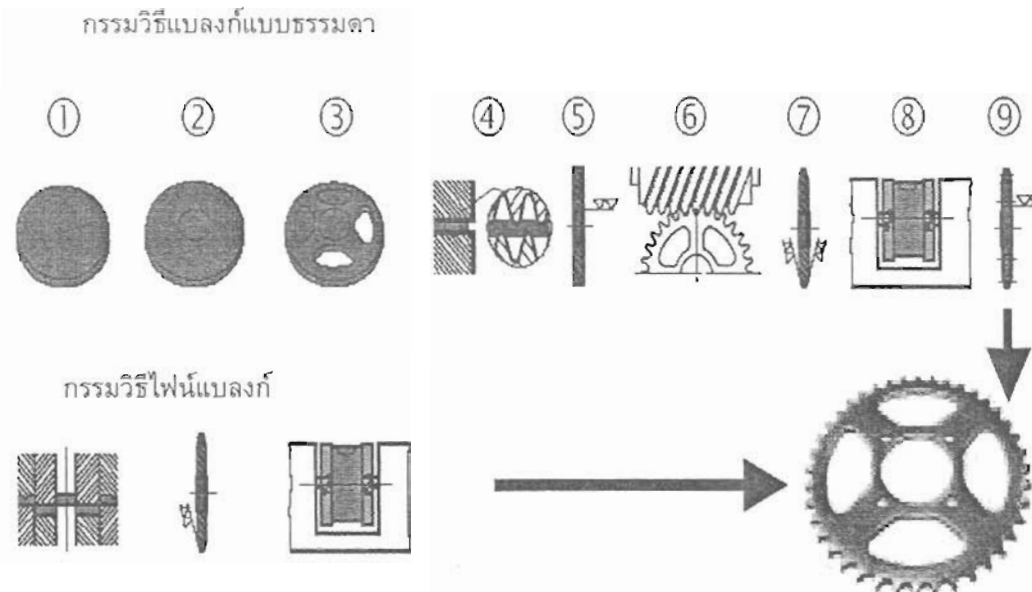
การไฟน์แบลนก์เป็นกรรมวิธีปั๊มโลหะ ที่ต้องมีการออกแบบที่มีลักษณะพิเศษ ทั้งแม่พิมพ์ เครื่องเพรส วัสดุและอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งลักษณะชิ้นงานตามที่ต้องการ

สรุปคือ แม่พิมพ์ เครื่องจักร และวัสดุชิ้นงาน เป็นปัจจัยที่สำคัญในเบื้องต้น 3 ประการ ที่ต้องมีความสัมพันธ์กันจึงทำให้การไฟน์แบลนก์ประสบความสำเร็จ

2.2.2 ประวัติความเป็นมาของการไฟน์แบลนก์

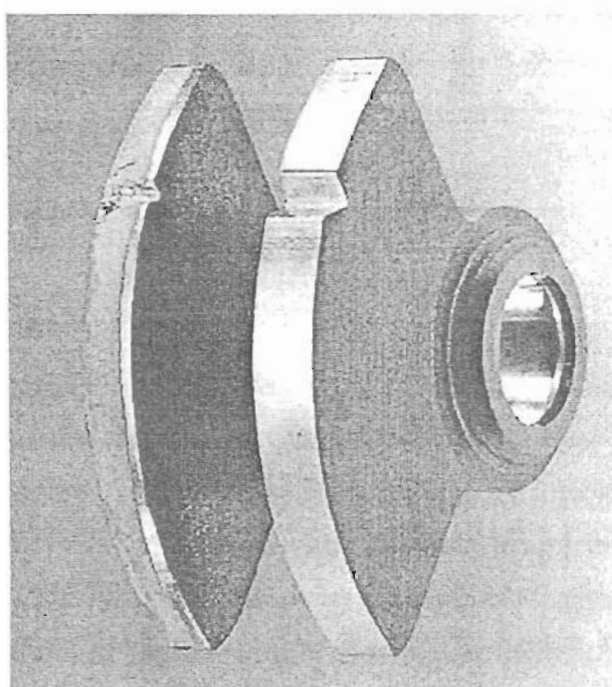
การไฟน์แบลนก์ ได้ถูกจดสิทธิบัตรขึ้นครั้งแรกในประเทศเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1923 และได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างเป็นจริงจังในตอนปลายของปี ค.ศ. 1950 ซึ่งแนวคิดเริ่มต้น ต้องการประยุกต์ใช้ Counter Pressure Force กดแผ่นงาน (Blanking) เพื่อหลีกเลี่ยงการฉีกขาดของขอบงาน โดยให้ขอบคมตัดเฉือนเกิดขึ้นตลอดความหนาวัสดุ แต่เทคโนโลยีนี้ก็ขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้มีอาชีพนี้แต่ละคน ซึ่งก็มีจำนวนไม่มากนัก และสิ่งที่ค้นพบก็ถือว่าเป็นความลับ เริ่มแรกเทคโนโลยีนี้ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องมือในสำนักงาน และอุตสาหกรรมนาฬิกา ในช่วงนั้นงานไฟน์แบลนก์จำกัดการใช้ความหนาวัสดุอยู่ในช่วงแคบๆ แค่ 1-3 mm เท่านั้น ซึ่งปัจจุบันชิ้นส่วนจากงานไฟน์แบลนก์มากกว่า 60% ได้ถูกใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ที่มีความหนามากถึง 19 mm ซึ่งความร่วมมือกันระหว่างผู้ผลิตแม่พิมพ์ เครื่องจักร และความต้องการของลูกค้า ที่มีส่วนช่วยส่งเสริมสนับสนุนเทคโนโลยีการไฟน์แบลนก์ให้บรรลุถึงมาตรฐานระดับสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การพัฒนาแม่พิมพ์โปรเกรสซีฟไฟน์แบลนก์ (Progressive Fine-blanking Tools) ซึ่งในปัจจุบันเทคนิคการไฟน์แบลนก์ได้มีการเผยแพร่ไปในอุตสาหกรรมการผลิตเกือบทุกสาขา และมั่นใจได้ว่าจะมีความก้าวหน้าต่อไปในอนาคต

2.2.3 เหตุผลหลักที่ต้องใช้กรรมวิธีไฟน์แบลนก์



ภาพที่ 2-1 เปรียบเทียบกรรมวิธีแบลนก์แบบธรรมดาและการไฟน์แบลนก์

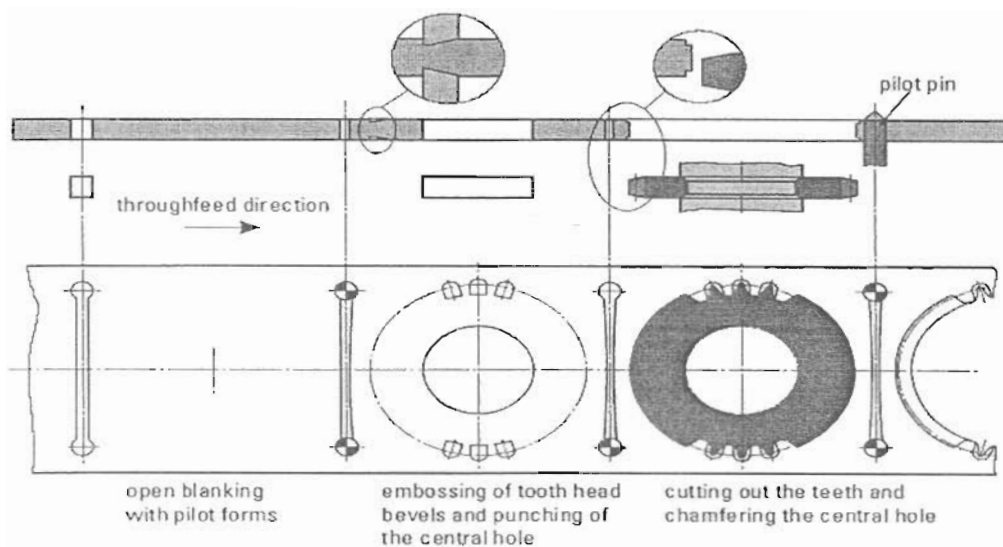
การผลิตชิ้นงานที่ได้จากการแปลงแบบธรรมดา จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักรอื่นๆ เข้ามาช่วยในการตกแต่งผิวรอยตัดให้มีผิวที่เรียบ และขนานกันตามต้องการ แต่เมื่อใช้กรรมวิธี ไฟน์แปลงก็สามารถที่จะผลิตชิ้นงานตามลักษณะดังกล่าวได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักร อื่นๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องเจาะ เครื่องรีมเมอร์ หรือการเพิ่มต้นทุนในการตกแต่งรูปร่างอื่นๆ อีก เพราะกรรมวิธีไฟน์แปลงจะได้ชิ้นงานที่มีขอบคมตัดที่สะอาดเรียบตรง มีคุณภาพผิวรอยตัดที่ สม่ำเสมอเต็มความหนา



ภาพที่ 2-2 แสดงคุณภาพผิวชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธีแปลงแบบธรรมดา และจากกรรมวิธีไฟน์แปลง

การอธิบายถึงเทคนิคการไฟน์แปลง ก็ต้องเปรียบเทียบกับแปลงแบบธรรมดา ชิ้นส่วนที่ผลิตโดยการแปลงแบบธรรมดา จะแสดงให้เห็นผิวรอยตัดที่ไม่เรียบเสมอกัน คือ ส่วนหนึ่งเป็นส่วนโค้งมนที่เกิดจากการยุบตัวของวัสดุต่อมาจะเป็นรอยตัดเนียนจริงที่เรียบ และ ส่วนที่เหลือเป็นผิวหยาบที่เกิดจากการแตก สภาพผิวการตัดที่ดีที่สุดที่ได้จากการแปลง แบบธรรมดาก็คือ ผิวรอยตัดหนึ่งในสาม เป็นผิวตัดเนียนที่เรียบเป็นมันเงา และส่วนที่เหลือสอง ในสามเป็นผิวที่ค่อนข้างหยาบ

ภาพที่ 2-2 แสดงผิวรอยตัดจากกรรมวิธีแปลงแบบธรรมดาจากกรรมวิธีไฟน์แปลง ซึ่งผิวรอยตัดไม่ต่างจากกับผิวหลักของชิ้นส่วน เมื่อต้องการใช้ผิวดัดเนียนไปใช้งาน ก็มักต้อง นำเอาชิ้นส่วนนี้ไปผ่านกรรมวิธีอื่นต่อไปอีก ตามที่กล่าวมาแล้ว [19, 20, 21, 22]

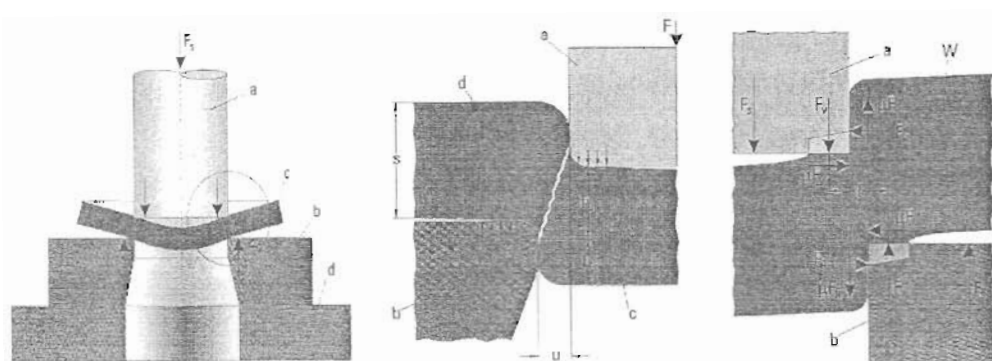


ภาพที่ 2-3 แสดงกรรมวิธีไฟน์แบลนก์

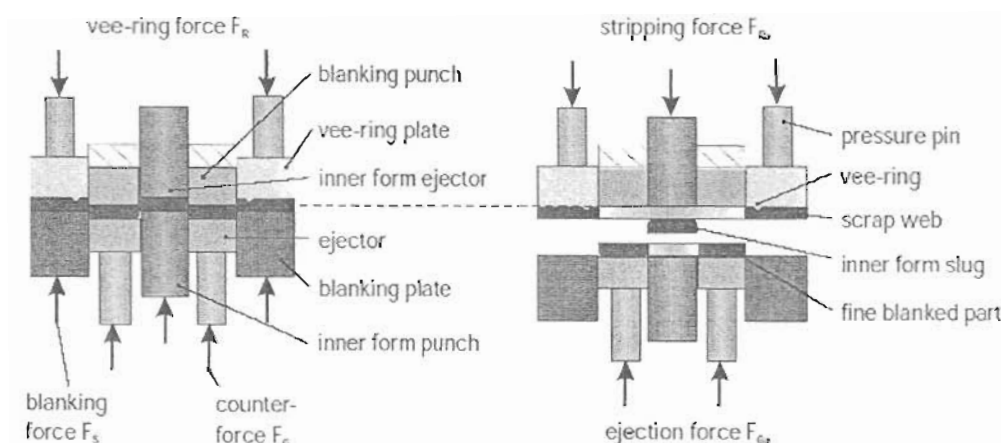
นอกจากนั้นในข้อจำกัดด้านขนาดของรูเจาะหรือส่วนยื่น (Protrusions) ที่ทำโดยการแบลนก์แบบธรรมดา จะต้องสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาของวัสดุที่นำมาใช้งาน แต่สำหรับการไฟน์แบลนก์ก็มีข้อจำกัดในลักษณะเช่นนี้เหมือนกัน แต่จะมีขอบเขตที่กว้างกว่าการแบลนก์แบบธรรมดา ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนต่อไป และขอยกตัวอย่างเช่นการแบลนก์แบบธรรมดาจะมีข้อกำหนดที่ว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ ไม่ควรเล็กกว่า 1.2 เท่า ของความหนาวัสดุ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เพียชพังก์ทักง่าย (Pierce Punch) แต่การไฟน์แบลนก์จะมีข้อจำกัดที่น้อยกว่านี้ คือจะสามารถกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะได้เล็กกว่า 1.2 เท่า ของความหนาวัสดุ ในทำนองเดียวกัน ระยะห่างจากรูปร่างภายในจนถึงเส้นรอบรูปร่างนอกของชิ้นส่วนก็มีข้อจำกัดเช่นกัน ซึ่งแบลนก์แบบธรรมดาจะมีข้อจำกัดที่มากกว่า ในกรณีการไฟน์แบลนก์เนื่องจากการเจาะรูใกล้กับขอบของชิ้นส่วน มากจนเกินไปจะมีผลทำให้ชิ้นส่วนเกิดการบิดเบี้ยวได้

2.2.4 การทำการไฟน์แบลนก์กับการแบลนก์แบบธรรมดา (Fine-blanking Operation Versus Conventional Blanking Procedures)

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 2-4 กับภาพที่ 2-5 จะเห็นความแตกต่างของหลักการระหว่างการไฟน์แบลนก์กับการแบลนก์แบบธรรมดา ในการแบลนก์แบบธรรมดาจะมีการเปลี่ยนรูปเกิดขึ้นที่แบลนก์ในตอนเริ่มต้นของการตัดเฉือน เมื่อพังก์เคลื่อนที่จะกดแบลนก์เข้ากับช่องเปิดบนแผ่นตาย และสุดท้ายจึงดันให้แบลนก์ขาดหลุดออกไปน้ำมัน และอากาศที่อยู่ระหว่างพังก์กับแบลนก์มีส่วนช่วยทำให้เกิดการเสียรูปที่แบลนก์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดมากบนวัตถุที่บางและอ่อน



ภาพที่ 2-4 การแบลงก์แบบธรรมดา



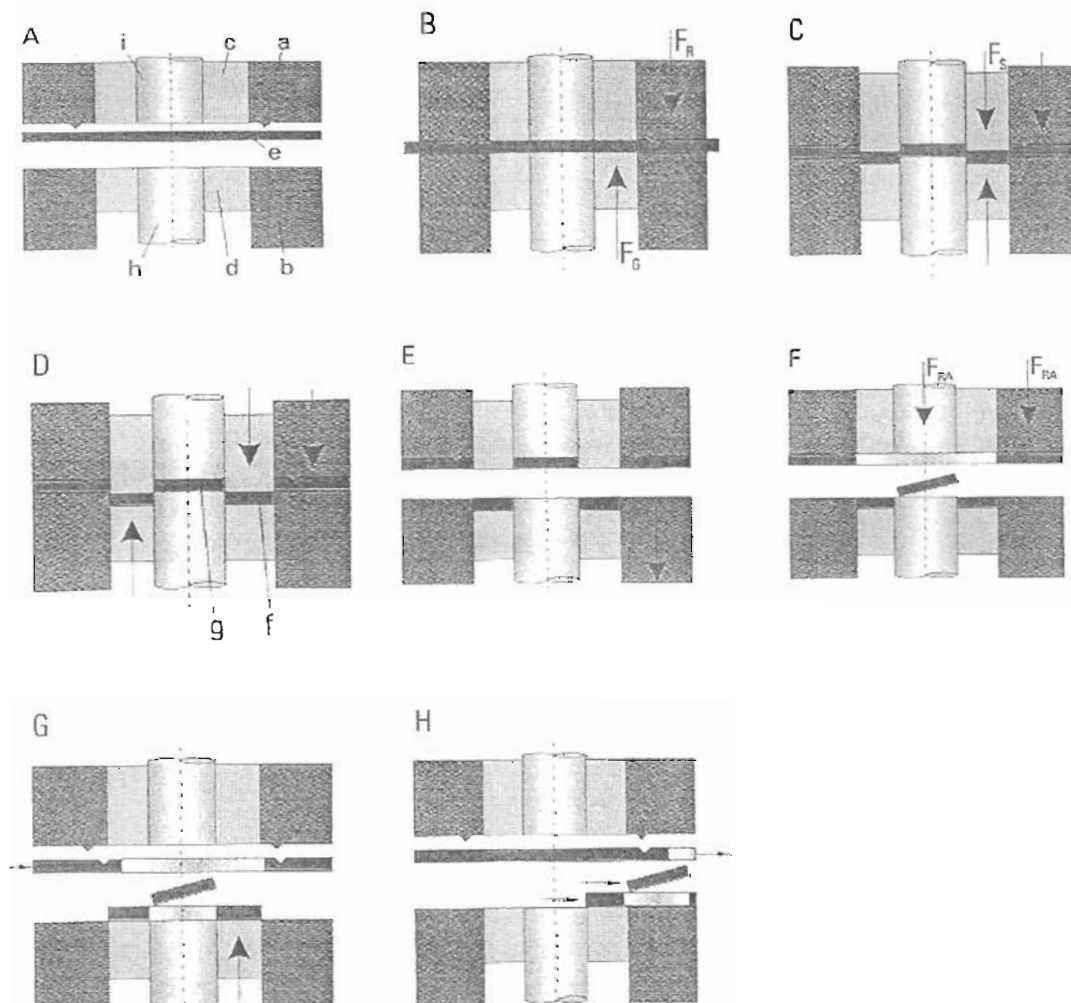
ภาพที่ 2-5 การไฟน์แบลงก์

เนื่องจากมีแรง 3 แรงที่ไม่ขึ้นต่อกัน กระทำในการไฟน์แบลงก์ คือ แรงตัดจริง Blanking Punch แรงกดจาก วี-ริง Vee-ring plate และแรงกดสวนทาง Counter Punch ดังแสดงในภาพที่ 2-5 ดังนั้นส่วนใหญ่ชิ้นงานจะไม่เสียรูป วี-ริง ซึ่งเป็นสิ่งหนึ่งที่มีคุณลักษณะพิเศษที่สำคัญของแม่พิมพ์ไฟน์แบลงก์ ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่ง และจับยึดวัตถุดิบไว้อย่างแน่นหนาใกล้กับขอบตัด ดังนั้นจึงช่วยป้องกันไม่ให้วัตถุดิบไหลตัวออกไปในระหว่างการตัด พร้อมกับ Soft Cutting Action ของเครื่องเพรสไฟน์แบลงก์ จึงทำให้ได้ผิวรอยตัดที่สะอาดของชิ้นงาน และตั้งฉากกับผิวของชิ้นงาน [23, 24, 25, 26]

เนื่องจากสภาพของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อความเรียบของชิ้นส่วนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเป็นพื้นผิวขนาดใหญ่ จึงควรติดตั้งอุปกรณ์ตัดตรงก่อนหน้าอุปกรณ์ป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องเพรส และจำเป็นอย่างมากเมื่อใช้วัสดุที่เป็นมัน

2.2.5 ลำดับขั้นตอนของการไฟน์แบลนก์ (Fine-blanking Sequence)

เพื่อให้เข้าใจถึงขั้นตอนการไฟน์แบลนก์ให้ดียิ่งขึ้น ให้พิจารณาลำดับขั้นตอนของการไฟน์แบลนก์ดังแสดงในภาพที่ 2-6 [23, 24], [27, 28, 29]



ภาพที่ 2-6 ลำดับขั้นตอนการทำงานของ การไฟน์แบลนก์

ตำแหน่ง a แร็ม (Ram) อยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง แม่พิมพ์เปิด และวัสดุเลื่อนเข้าไปในแม่พิมพ์

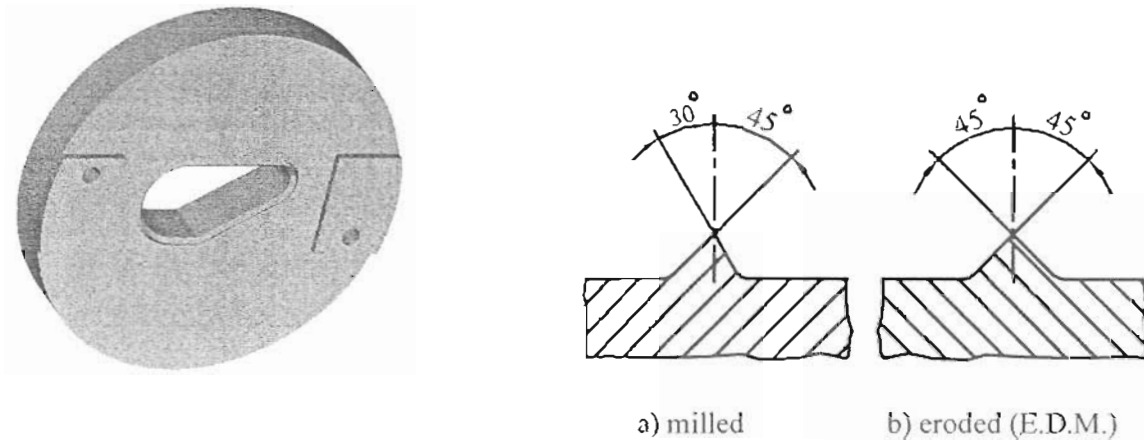
ตำแหน่ง b แม่พิมพ์ส่วนล่างเลื่อนขึ้น

ตำแหน่ง c แม่พิมพ์ปิดสนิทโดยสมบูรณ์ แผ่นกดชิ้นงาน (Pressure Plate) จับชิ้นงานให้ติดกับแผ่นตายด้วย วี-ริง อีเจกเตอร์ (Ejector) กดวัสดุแน่นกับผิวหน้าพื้นที่เริ่มต้นการตัดเฉือน ในระหว่างการตัดเฉือนแม่พิมพ์ส่วนล่างจะอยู่กับที่ วี-ริง และแรงกดสวนทางยังคงมีค่าคงที่

- ตำแหน่ง d พันธ์ตัวใหญ่กดขึ้นส่วนลงในแผ่นตาย และเพียชพันธ์เจาะรู ทำให้เกิดเศษเพียชเข้าไปในรูปทรงภายในพันธ์ตัวใหญ่ ขณะนี้เริ่มอยู่ที่จุดศูนย์ตายบนพันธ์ตัวใหญ่พร้อมทั้งเพียชพันธ์ไม่ได้ผ่านเข้าไปในแผ่นตาย และช่องเปิดของรูปทรงภายในเหมือนกับแบบบลังก์แบบธรรมดาทั้งนี้เพราะเคลือบเร็นท์ระหว่างพันธ์กับตายแคบมาก
- ตำแหน่ง e แม่พิมพ์เปิด แรงกดจาก วี-ริง เกิดขึ้นอีกครั้ง และปลดวัตถุติดออกจากพันธ์ตัวใหญ่
- ตำแหน่ง f วัตถุติดหลุดออกจากพันธ์ตัวใหญ่ และในเวลาเดียวกันเศษเพียชจากรูปทรงภายใน ก็จะถูกดันออกมาจากพันธ์ด้วย
- ตำแหน่ง g เริ่มป้อนวัสดุใหม่ มีแรงดันที่อิมเพกเตอร์ ซึ่งจะดันชิ้นส่วนออกจากแม่พิมพ์
- ตำแหน่ง h เป่าชิ้นส่วนออกไป หรือเอาออกโดยกลไก ออกจากแม่พิมพ์

ในภาพที่ 2-5 มีแรงสามแรงกระทำในการไฟน์แบล็ก และสามารถเห็นได้ว่า มีการจับยึดวัตถุติดให้แน่นอยู่ในตำแหน่ง ในระหว่างการแบล็กตลอดเวลา ดังนั้นวัตถุติดจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในการแบล็กแบบธรรมดา อุปกรณ์ป้อน จะทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งของวัตถุติด หรือถ้าเป็นแม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรงก็ใช้ไพลอตพิน (Pilot Pin) ในการกำหนดตำแหน่งวัตถุติด อย่างไรก็ตามในตอนเริ่มต้นของการตัดเฉือน วัตถุติดอาจเคลื่อนตัวเล็กน้อย หรือห้อยตัวเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีแรงกดสวนทาง ชิ้นส่วนอาจเสียรูปได้เมื่อถูกดันผ่านช่องบนแผ่นตาย

วี-ริง เป็นสิ่งที่แตกต่างระหว่างแม่พิมพ์ไฟน์แบล็ก กับแม่พิมพ์แบล็กแบบธรรมดา อย่างเห็นได้ชัดมากที่สุดและดังที่แสดงในภาพที่ 2-7 จะเห็นวี-ริงเป็นแนวสันนูนขึ้นมาจากไกด์เพลต (Guide Plate) รอบขอบตัดของชิ้นส่วน ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น หน้าที่ของ วี-ริง ก็คือ ทำการกักวัสดุที่อยู่ด้านนอกของบริเวณตัดเฉือน และป้องกันไม่ให้วัสดุไหลออกจากพันธ์ ในระหว่างการตัดเฉือน

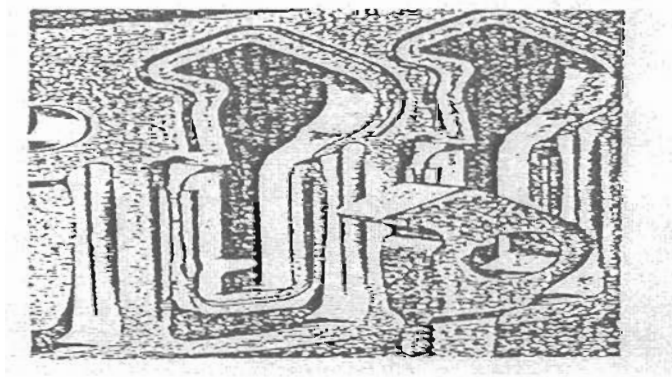


- a) เป็นวี-ริง ที่ได้จากการกัดและมีมุม 30° อยู่ในด้านเข้าหาเส้นรอบรูปของชิ้นส่วน
- b) เป็นวี-ริง ที่ได้จากอีดีเอ็ม แต่เนื่องจากการตัดมุมที่แตกต่างกันบนอิเล็กโทรดทำได้ยาก เพราะฉะนั้นจึงทำให้มีมุมเท่ากัน

ภาพที่ 2-7 วี-ริง และรูปทรงของ วี-ริง

ในบางกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อวัดดูตื้นหนามากกว่า 4-5 mm จำเป็นต้องใส่ วี-ริง วงที่สองบนแผ่นด้าย อย่างไรก็ตาม ในกรณีนี้ไม่สามารถลบคมตัดของแผ่นด้ายโดยการเจียรระใน ดังนั้นจึงมีความยุ่งยากเสียค่าใช้จ่ายสูง สำหรับรูปทรงภายในที่มีขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางโตมากกว่า 30-40 mm) หรือเมื่อวัสดุมีความเหนียวมากเป็นพิเศษ จะทำวี-ริงไว้บนอิเล็กเตอร์พิน ส่วนรูปทรงภายในที่มีขนาดเล็กลง วัสดุจะไม่ไหลตัว เพราะฉะนั้นจึงมักไม่ต้องใช้ วี-ริง

ภาพที่ 2-8 แสดงแผ่นวัสดุของแม่พิมพ์โพรงสตีไฟน์แบลงก์ ที่มีรอยกดจาก วี-ริง ซึ่งอยู่ห่างจากขอบของชิ้นส่วนด้วยระยะที่แน่นอน เห็นได้ชัดเจน สำหรับผู้ที่สนใจในรายละเอียดเกี่ยวกับรูปทรงของวี-ริง และระยะห่างจากขอบตัดเฉือนที่สัมพันธ์กับความหนาของวัสดุ



ภาพที่ 2-8 แผ่นวัสดุของชิ้นส่วนไฟน์แบลงก์ ซึ่งเห็นรอยกดจากวี-ริง อย่างชัดเจน

2.2.6 ข้อได้เปรียบกรรมวิธีไฟน์แบลงก์

จากที่กล่าวมาข้างแล้วกรรมวิธีไฟน์แบลงก์สามารถที่จะทำงาน เพื่อผลิตชิ้นงานให้มีคุณลักษณะดังนี้

1. ขอบตัดของงานที่สะอาดมีลักษณะตรง
2. รูที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความหนา
3. ผิวนิ่งที่บางต่อความหนา
4. มีความราบ (Excellent Flatness)

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นข้อได้เปรียบที่เหนือกว่ากรรมวิธีแบลงก์แบบธรรมดาทั่วไป ซึ่งอาจจะมีข้อจำกัดอื่นๆ อีกมากมายในการแบลงก์แบบธรรมดา ที่จะให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการ ดังจะขอกล่าวเสริมถึงรายละเอียดบางส่วนของกรรมวิธีไฟน์แบลงก์ ดังนี้

2.2.6.1 การไฟน์แบลงก์ลักษณะชิ้นงาน 2 มิติ (Form in Two Dimension)

กรรมวิธีไฟน์แบลงก์ชิ้นงานที่ต้องดึงขึ้นรูป (Forming) ดัด (Bending) และการกดลึกตามความหนาเท่าเดิม (Offset) ภายในมุม 70 องศา สามารถขึ้นรูปได้ภายในแม่พิมพ์สถานีเดียว (Single – Station) ได้ หากชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนและมีการดัด (Bending) ด้วยนั้น สามารถผลิตเป็นแม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง (Progressive Die) ซึ่งรูปลักษณะเหล่านี้สามารถออกแบบให้อยู่ในแม่พิมพ์เดียวกันได้ ไม่ทำให้ความเที่ยงตรงของขนาด รูปร่าง ตำแหน่งหรือรายละเอียดอื่นๆ เปลี่ยนไป

2.2.6.2 การเพิ่มรูปลักษณะ (Add Feature)

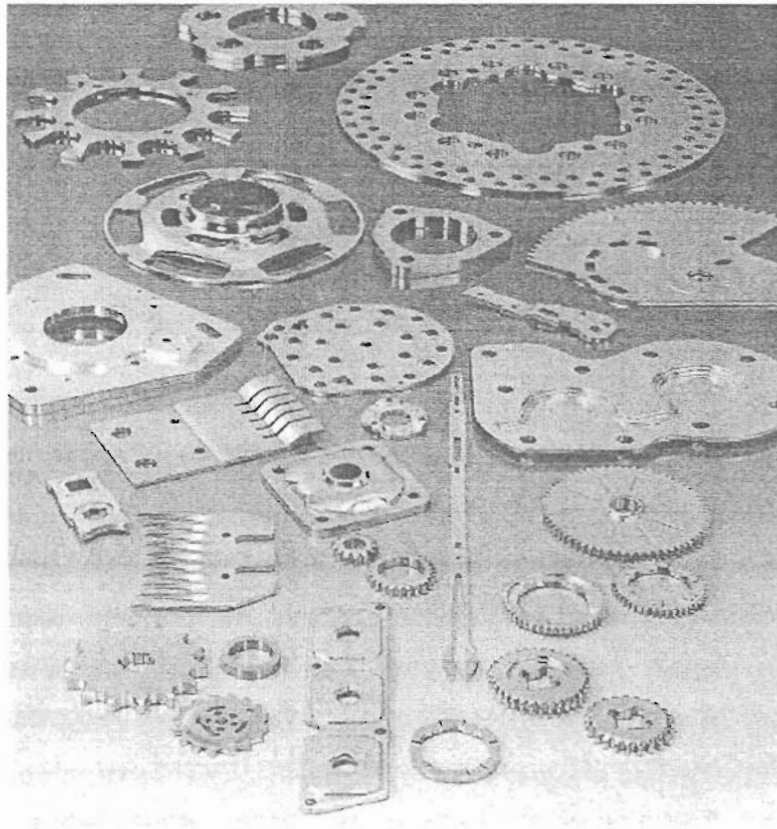
กรรมวิธีไฟน์แบลงก์สามารถกำหนดให้มีการตัดแผ่น และทำให้เป็นชิ้นงานสำเร็จรูปไว้ในแม่พิมพ์สถานีเดียว (Single Station) ได้ เช่น ทำเครื่องหมาย (Mark) และพื้นผิวรอยกด (Surface Imprint) เหรียญกษาปณ์ (Coin) หมุดย้ำ (Self Rivet) ติดจุด (Contact Point) Countersink, Counterbore, Semi Pierce, Cam และอื่นๆ อีกมาก โดยรูปลักษณะเหล่านี้สามารถทำให้เกิดขึ้นพร้อมๆ กันกับการตัดแผ่นงานในเวลาเดียวกัน

2.2.6.3 ความคิดอันชาญฉลาด (Gain Design Freedom)

การที่มีแนวคิดที่จะนำเอาการไฟน์แบลงก์ เข้ามาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและการประกอบ ซึ่งกรรมวิธีไฟน์แบลงก์ ถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถประหยัดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การควบคุมขนาด และคุณภาพคงที่แน่นอน

2.2.7 ชิ้นส่วนที่ผ่านกรรมวิธีไฟน์แบลงก์ (Fine-Blanked Pierce-part)

ในการไฟน์แบลงก์ สามารถที่จะตัดชิ้นส่วนให้มีผิวตัดเฉือนที่เรียบ ได้ทั้งผิวด้านนอก และด้านใน รอยตัดเกือบตั้งฉากกับผิววัตถุดิบ และรูเจาะขนานกัน ดังภาพที่ 2-9 การที่ผิวตัดเฉือนจะมีคุณภาพผิวดีมีขนาดภายนอกและภายในที่เที่ยงตรง ซึ่งไม่อาจทำได้โดยการแบลงก์แบบธรรมดา และก็ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ด้วย

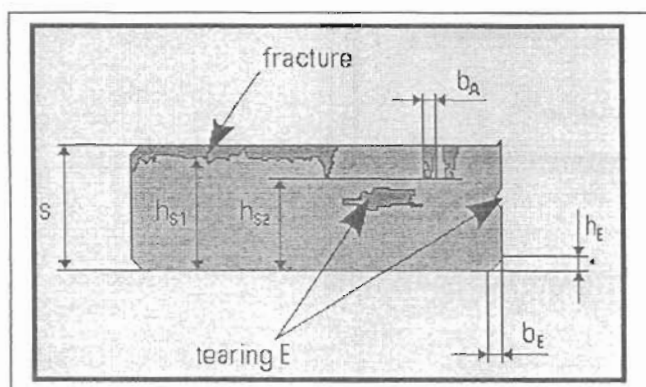


ภาพที่ 2-9 แสดงชิ้นส่วนที่ได้จากกรรมวิธีไฟน์แบลงก์

2.2.8 ผิวสำเร็จของการตัดเฉือน (Surface Finish on Sheared Surfaces)

ผิวสำเร็จของแผ่นด้าย และเพียซพันซ์ ทำหน้าที่ควบคุมคุณภาพผิวสำเร็จของชิ้นส่วนเป็นอย่างมาก ส่วนชนิดของวัสดุที่นำมาใช้มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสม เช่น มีสนิมที่ผิว ก็จะมีผลทำให้คุณภาพของผิวตัดเฉือนรอบรูปชิ้นส่วนลดลง โดยทั่วไปจะวัดคุณภาพผิวสำเร็จ 2 ลักษณะดังนี้คือ [23, 24], [26, 27]

2.2.8.1 การวัดเปอร์เซ็นต์รอยฉีกขาด (Tear-off) และรอยขีดข่วน (Scars and Cracks) ของผิวภาคตัดขวางชิ้นงาน



achievable smooth cut ratio					
$h_{s1}/s \text{ in } \%$	100	100	90	75	50
$h_{s2}/s \text{ in } \%$		90	75		

ภาพที่ 2-10 มาตรฐานคุณภาพผิวของชิ้นงานไฟน์แบล็ก

h_{s1} = เปอร์เซนต์รอยฉีกขาดต่ำสุดหรือให้ผิวภาคตัดขวางเรียบเป็นมันวาวมากที่สุด
ปกติวัดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความหนาวัสดุเทียบกับค่า h_2 จากมาตรฐาน
กำหนดไว้มี 4 ช่วงเปอร์เซ็นต์ ความหนาวัสดุ คือ

$$100s (\%), \frac{100s (\%)}{90s (\%)}, \frac{90s (\%)}{75s (\%)}, 75s (\%), 50s (\%)$$

h_{s2} = เปอร์เซนต์รอยฉีกขาดต่ำสุดบริเวณที่ฉีกขาดไม่สม่ำเสมอ โดยคิดเป็น
เปอร์เซ็นต์เทียบกับ h_1

b_A = ความกว้างรอยฉีกขาดบริเวณที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งขนาดความกว้างที่ยอมรับได้
ไม่เกิน 10% ของรอยฉีกขาดโดยรอบ

t = ความลึกรอยฉีกขาดที่ยอมรับได้ปกติประมาณ 1.5% ของความหนาวัสดุ

S = ความหนาวัสดุ

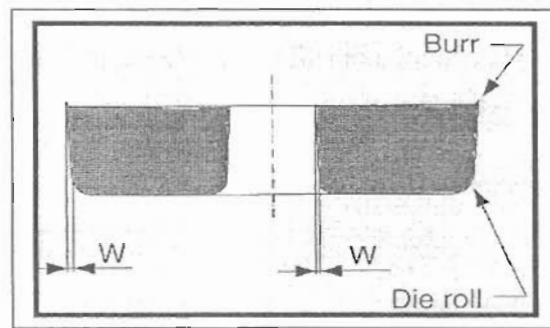
E = ความสูงรอยเสี้ยนมีหน่วยเป็น mm

b_E = ความกว้างตายโรลควรมีค่าต่ำกว่า 30% ของความหนาวัสดุ

h_E = ความลึกตายโรลควรมีค่าต่ำกว่า 20% ของความหนาวัสดุ ยกเว้นพื้นผิว
อนุญาตให้ใช้ 30% ของความหนาวัสดุ

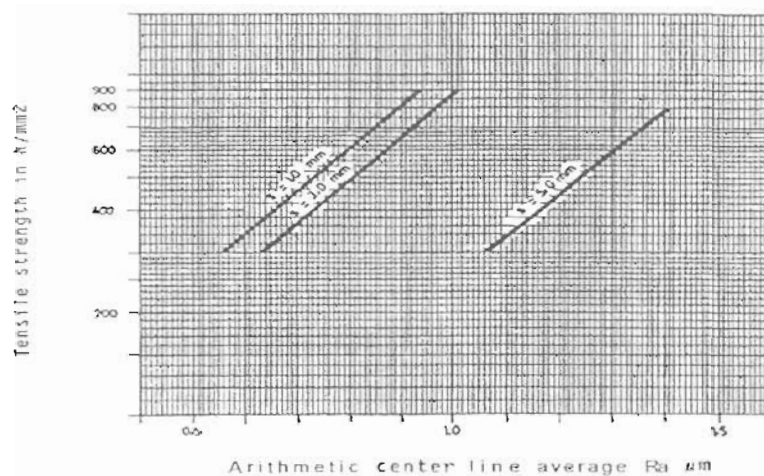
E = รอยขีดข่วนหรือสการ์อนุญาตให้ได้ในปริมาณ N 11 01 90, Nr. 1, 2, 3 หรือ 4
เท่านั้น

W = ความลาดเอียงภาคตัดขวางรอยตัดเฉือนชิ้นงาน ภาพที่ 2-11



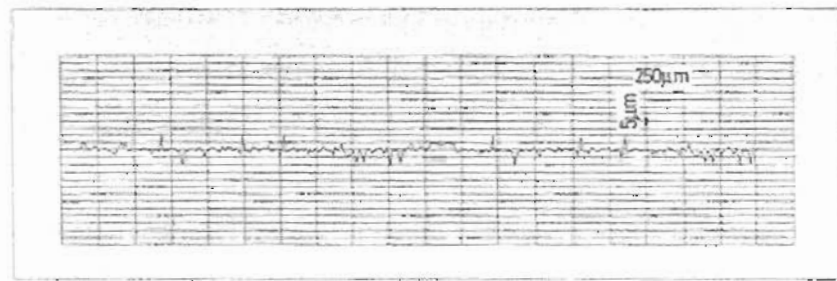
ภาพที่ 2-11 ความลาดเอียงภาคตัดขวางรอยตัดเนือง

2.2.8.2 คุณภาพชิ้นงานที่วัดไม่ได้ หมายความว่า จะควบคุมเฉพาะคุณภาพรูปทรงก็เพียงพอ คุณภาพผิวหรือความเรียบผิวก็มีอิทธิพลต่อชิ้นงานเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วความเรียบผิวของชิ้นงานจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย นอกจากรูปทรงทางเรขาคณิตของพื้นผิวและค่าความแข็งแรงของวัสดุก็มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานดังภาพที่ 2-12



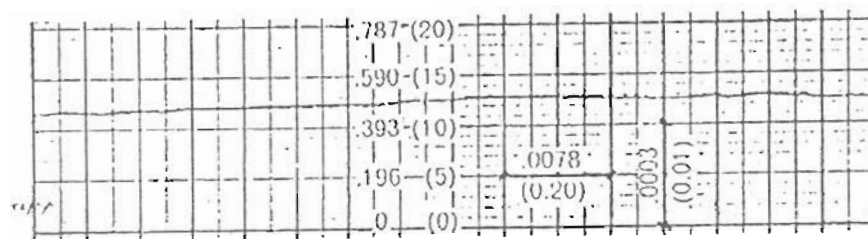
ภาพที่ 2-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงวัสดุกับความเรียบผิว

คุณภาพผิวของชิ้นส่วนจากการไฟน์แบลลงก์อยู่ระหว่าง $Ra\ 0.3\ \mu m$ ถึง $Ra\ 1.5\ \mu m$ เมื่อวัดโดยรอบรูป แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยใช้ตัวกลางเลขคณิต ถ้าใช้แม่พิมพ์ใหม่ก็จะได้ค่าที่ดีกว่านี้ แต่ถ้าแม่พิมพ์ใช้ผลิตชิ้นส่วนมานานแล้วก็จะมีผลทำให้คุณภาพผิวสำเร็จลดลงบ้าง ภาพที่ 2-13 แสดงกราฟผิวสำเร็จของชิ้นส่วนไฟน์แบลลงก์ที่มีคุณภาพผิวสำเร็จ $Ra\ 0.46\ \mu m$



ภาพที่ 2-13 กราฟแสดงผิวสำเร็จของชิ้นส่วนที่ได้จากการไฟน์แบลนก์ ขยาย 2000 เท่า
ในแนวตั้ง ขยาย 100 เท่า ในแนวนอน คุณภาพผิวสำเร็จ Ra 0.46 μm

ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคนิคในการทำผิวสำเร็จของ บริษัทไฟน์ทูล (Feintool) ลิซซ์ (Lyss) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ วัสดุที่ใช้ในการทำคมตัดคือ ทังสเตนคาร์ไบด์ ที่จัดทำเป็นพิเศษ ซึ่งอาจใช้ตัดชิ้นส่วนที่มีความหนาถึง 3 mm โดยมีคุณภาพผิวสำเร็จ Ra 0.1 μm ถึง Ra 0.2 μm ดังภาพที่ 2-14 วิธีการนี้เป็นวิธีการไฟน์แบลนก์ตามปกติ เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนผสม อยู่ระหว่าง 0.2% ถึง 0.7% และมีค่าความต้านแรงดึง (Tensile strength) อยู่ระหว่าง 400 ถึง 500 N/mm^2 จะได้ผิวสำเร็จที่มีคุณภาพดีที่สุด



ภาพที่ 2-14 กราฟแสดงผิวสำเร็จของชิ้นส่วนที่ได้จากการไฟน์แบลนก์ ของบริษัทไฟน์ทูล (Feintool Superfinish) ขยาย 2000 เท่า ในแนวตั้ง ขยาย 100 เท่า
ในแนวนอน คุณภาพผิวสำเร็จ Ra 0.1 μm

2.2.9 มุมและความขนานของชิ้นส่วนไฟน์แบลนก์ (Angularity and Parallelity of Fine Blanked Pierce-parts)

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่ามุม และความขนานของผิวตัดเนื่องจากการไฟน์แบลนก์ ดีกว่าการแบลนก์แบบธรรมดามาก แต่อย่างไรก็ตามแม้ในการไฟน์แบลนก์ ก็ไม่ได้ผิวตัดเฉือน ที่ขนานกันอย่างสมบูรณ์และยากที่จะได้มุม 90° จริงๆ การแปรผันนี้ขึ้นอยู่กับเสถียรภาพ (Stability) ของแม่พิมพ์ คุณภาพของช่องเปิดที่แผ่นตาย (Die-plate Aperture) และวัตถุดิบที่ใช้

คมตัดที่มีความคมมากขึ้น ก็มีผลให้มุมและความหนาที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้น วัสดุอ่อนจะมีความแตกต่างมากกว่าวัสดุแข็ง แต่การใช้วัสดุหนา 4 mm พบความแตกต่างที่ผิวตัดเฉือนที่รูปทรงด้านนอกประมาณ 0.01 mm ต่อด้าน และความแตกต่างที่รูปทรงด้านในดีกว่า เมื่อตัดวัสดุแผ่นบางพบว่า ความเที่ยงตรงดีขึ้นเมื่อความหนาลดลง

2.2.10 ความเรียบของชิ้นส่วนไฟน์แบลนก์ (Flatness of the Fine-blanked Parts)

ชิ้นส่วนไฟน์แบลนก์ที่ดีที่สุดควรมีผิวเรียบขนานกันอย่างสมบูรณ์ โดยมีการเปลี่ยนรูปให้เห็นเป็นผิวเว้าเพียงเล็กน้อยที่ด้านพังก์ (Punch Side) (ด้านที่มีรอยเสี้ยน) และเป็นผิวนูนที่ด้านดาย (Die Side)

ชิ้นส่วนที่มีรูปทรงไม่สมมาตรมักปรากฏเป็น “รอยคลื่น” ถ้าเป็นวัสดุบางจะยิ่งเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากวัสดุบาง จะมีแรงดึงเกิดขึ้นในระหว่างการตัดเฉือนมากกว่าวัสดุหนา อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนที่ได้จากการไฟน์แบลนก์ก็มีความเรียบมากกว่าชิ้นส่วนที่ได้จากการแบลนก์แบบธรรมดา

เมื่อนำเอาอุปกรณ์ดัดตรง (Straightening Devices) เข้ามาใช้กับวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องเพรส ก็ช่วยให้ชิ้นงานมีความเรียบมากขึ้น ชิ้นส่วนดังแสดงในภาพที่ 2-15 ก็ทำได้โดยใช้วิธีนี้ ซึ่งเมื่อวัดความเบี่ยงเบนของความเรียบพบว่ามีค่าประมาณ 0.06 mm



ภาพที่ 2-15 แผ่นชิ้นส่วนของนาฬิกาปลุก มาตรฐาน 1 : 1 วัสดุ Cu Zn 36

หนา 0.9 mm การเปลี่ยนรูปสูงสุดเบี่ยงเบนจากความเรียบ 0.06 mm

การนำเอาชิ้นส่วนสำเร็จไปผ่านอุปกรณ์ดัดตรงอีกครั้งหนึ่ง ก็อาจเป็นความต้องการที่ผิดธรรมดา เนื่องจากการตัดชิ้นส่วนในสภาพเรียบ แต่มีแรงหลายอย่างเกิดขึ้นในระหว่างที่ทำการไฟน์แบลนก์ ดังนั้นการดัดตรงภายในนี้ จึงไม่ช่วยให้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาดเปลี่ยนแปลงไปแต่อย่างใด

2.2.11 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการไฟน์แบลนก์ (Fine-blanking Tolerances)

ความเที่ยงตรงของขนาดชิ้นส่วนจากการไฟน์แบลนก์ และชิ้นส่วนจากการแบลนก์แบบธรรมดา ขึ้นอยู่กับคุณภาพ และความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการไฟน์แบลนก์ขึ้นอยู่กับความหนาของวัตถุดิบความต้านแรงดึง และส่วนประกอบโครงสร้างของวัสดุที่นำมาใช้ นอกจากนั้นแล้วยังมีอิทธิพลมาจากรูปทรงของชิ้นส่วนอีกด้วย

ตารางที่แสดงต่อไปนี้ เป็นค่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับ เส้นรอบรูปภายในและภายนอก พร้อมทั้งระยะห่างระหว่างรูปทรงภายใน ค่าที่กำหนดให้นี้ ได้พยายามที่จะลดลงจนถึงระดับที่ต้องการในการผลิต

2.2.12 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้สำหรับการไฟน์แบลนก์ (Possible Fine-blanking Tolerance)

สิ่งที่ควรระลึกไว้ก็คือ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนแคบ เช่น H6 และ H7 จำเป็นต้องมีการตรวจสอบอยู่บ่อยๆ ในระหว่างการผลิต แต่เมื่อทำแม่พิมพ์อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ระยะห่างระหว่างรูปทรงภายในจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ตารางที่ 2-1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการไฟน์แบลนก์

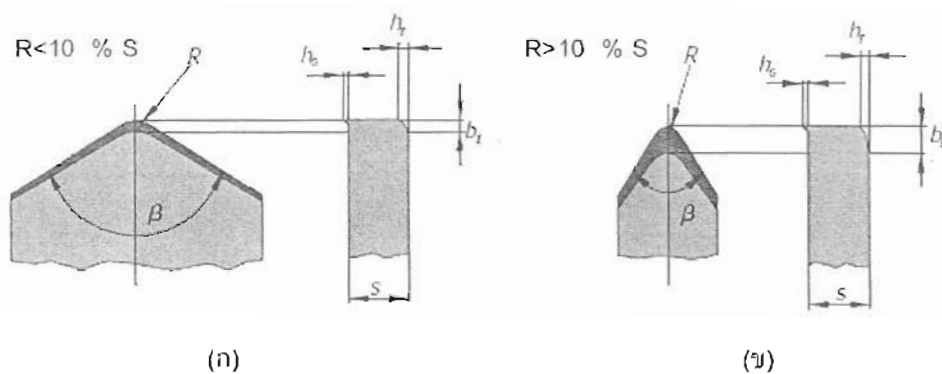
ความหนา วัสดุ mm	ระยะห่าง ระหว่าง รูปทรง ภายใน	ความต้านแรงดึงไม่เกิน 500 N/mm ²		ความต้านแรงดึงเกิน 500 N/mm ²	
		รูปทรง ภายใน	รูปทรง ภายนอก	รูปทรง ภายใน	รูปทรง ภายนอก
0.5 – 1	± 0.010	H6 – H7	H7	H7	H8
1 – 2	± 0.015	H7	H7	H7 – H8	H8
2 – 3	± 0.020	H7	H7	H8	H8
3 – 4	± 0.020	H7	H8	H8	H9
4 – 5	± 0.030	H7 – H8	H8	H8	H9
5 – 6	± 0.030	H8	H9	H8 – H9	H9
เกิน 6	± 0.030	H8 – H9	H9	H9	H9

สิ่งต่างๆ ที่เป็นข้อจำกัดของการแบลนก์แบบธรรมดา เช่น ความหนาของภาคตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ ฯลฯ มักสามารถลดลงได้ในการไฟน์แบลนก์ นอกจากนั้นแล้ว

การทำงานบางอย่าง ในบางครั้งเช่น การตัด, การทำ Offsettion และผายปากกรู สามารถทำไปพร้อมกับการตัดขึ้นส่วนโดยการทำงานเพียงครั้งเดียว นั่นคือ ในหนึ่งสโตรก (Stroke) การปั๊มเหรียญและการขึ้นรูปเย็นวัสดุชนิดต่างๆ ก็สามารถประหยัดได้มากกว่า เมื่อทำขึ้นส่วนโดยการไฟน์แบลนก์ อย่างไรก็ตามในบางกรณีจะต้องมีการออกแบบเปลี่ยนแปลงขึ้นส่วนใหม่เล็กน้อย ตัวอย่างเช่น มุมแหลมต้องทำให้มน เพื่อให้ได้รับผลดีจากการไฟน์แบลนก์ ตลอดจนเส้นรอบรูปทั้งหมด

2.2.13 รัศมีที่มุมแหลม (Radii on Sharp Corners)

ถ้าไม่มีรัศมีที่มุมแหลม หรือมีรัศมีเล็กเกินไปจะปรากฏมีรอยฉีกที่วัสดุในบริเวณ การตัดเฉือน ดังภาพที่ 2-16 (ก) พื้นที่ตัวใหญ่ที่เป็นพื้นที่ซึ่งทำหน้าที่ตัดรูปทรงภายในมีโอกาสที่จะบิ่นในบริเวณเหล่านั้นหลังจากใช้งานไปเพียงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น สิ่งที่ใช้ในการกำหนดรัศมีเล็กสุดที่มุมแหลม ได้แก่ ขนาดของมุม ความหนาวัสดุ ดิบ ชนิด และคุณภาพของวัสดุ ดิบ ง่ายในการกำหนดรัศมีที่มุมก็คือ รัศมีที่มุมควรมากกว่า 10% ของความหนาวัสดุ ดิบ ดังภาพที่ 2-16 (ข)



ภาพที่ 2-16 รัศมีที่มุมเล็กกว่า 10% ของความหนา และ รัศมีที่มุมเหมาะสม

ถ้าต้องการทราบรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนด และความเป็นไปได้ของเทคนิคการไฟน์แบลนก์ สำหรับรัศมีที่มุม ให้ดูจากไดอะแกรมภาพที่ 2-18 ซึ่งระบุรัศมีที่มุมที่ต้องการสำหรับเหล็กกล้าความต้านแรงถึง 450 N/mm² สำหรับวัสดุ ดิบที่มีความแข็งมากกว่านี้ ควรเพิ่มรัศมีให้เป็นสัดส่วนเท่ากับความแข็ง (ความต้านแรง) ของวัสดุ ดิบที่เพิ่มขึ้น ค่าที่กำหนดให้เป็นเพียงค่าเฉลี่ยเท่านั้น ในบางกรณีอาจลดค่าลงได้ มุมแหลมที่เกิดจากรูปโค้งเว้าที่ยื่นเข้าไปในเส้นรอบรูปของขึ้นส่วน อาจต้องทำให้มนด้วยรัศมีเท่ากับ 2/3 ของรัศมีที่ต้องการสำหรับส่วนยื่น

โดยทั่วไปแล้วจะกล่าวได้ว่า เพื่อให้แม่พิมพ์มีอายุใช้งานได้ยาวนานที่สุด ระหว่างการเจียรในลับคมแต่ละครั้ง ขอแนะนำว่า ควรทำรัศมีที่มุมแหลมทั้งส่วนที่เว้าเข้าและส่วนที่ยื่นออกให้โตที่สุดเท่าที่ยอมได้

2.2.14 ความหนาของภาคตัด (Thickness of Section)

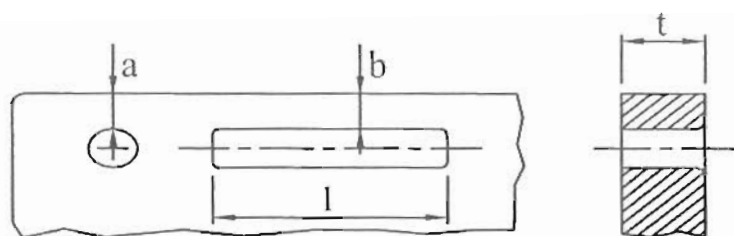
ในแม่พิมพ์ไฟน์แบลงก์จะมีการดันเอา เศษเพียชด้านใน (Inner Slug) ออกด้วยพื้นที่ซึ่งหมายความว่าเพียชพื้นที่ สามารถออกแบบให้แข็งแรงได้มากกว่าแม่พิมพ์แบลงก์แบบธรรมดา ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่พิเศษ เมื่อต้องการทำพื้นที่บาง และยาวหรือมีรูปร่างที่ซับซ้อน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องตัดปาดผิวให้เป็นรูปทรงตลอดความยาวพื้นที่ การตัดของเครื่องเพชรไฟน์แบลงก์ที่เรียกว่า "Soft cutting action" ช่วยทำให้การตัดดีขึ้น

โดยทั่วไปแล้วสามารถตัดเจาะรูปหน้าวัตถุหนา 1 ถึง 4 mm โดยที่มีสัดส่วนของภาคตัดด้านในต่อด้านนอก 60 ถึง 65% สอดคล้องกับความหนาของวัสดุตามลำดับ

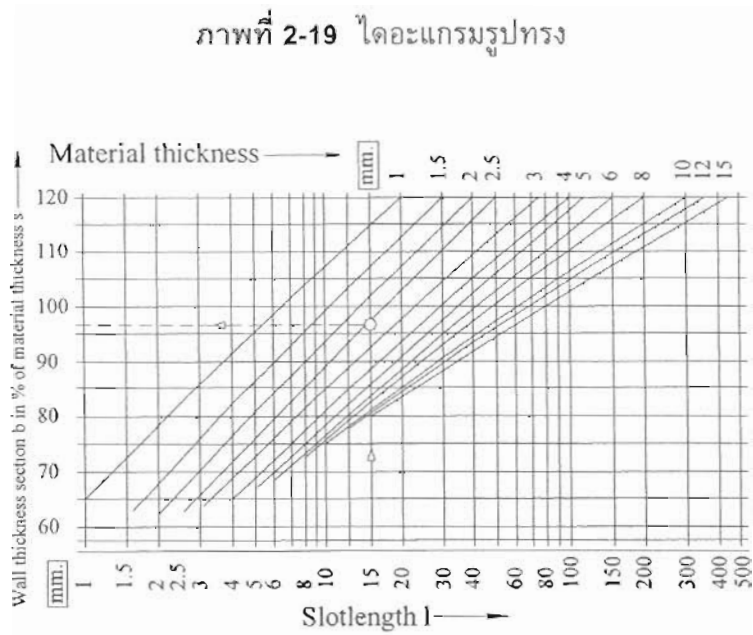
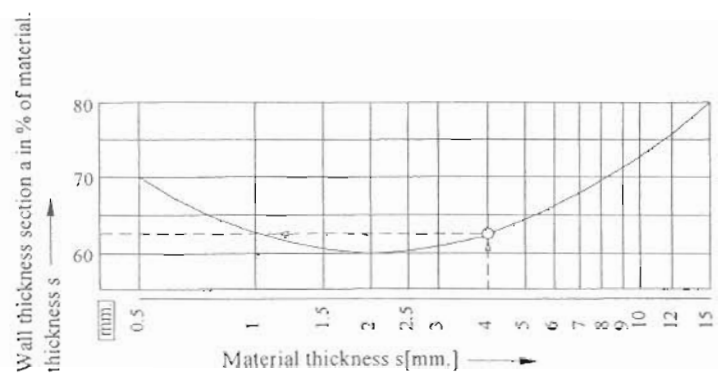
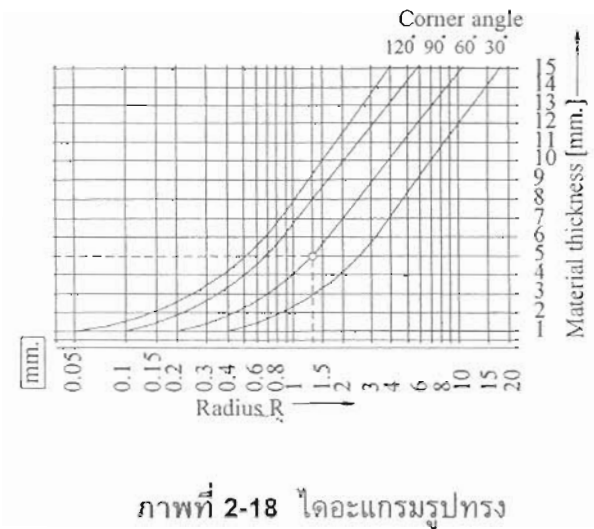
เมื่อตัดวัสดุที่หนามากขึ้น แรงตัดจำเพาะ (Specific shear) ในบริเวณวิกฤตมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น ความร้อนที่คมตัดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ในทางปฏิบัติพบว่า สัดส่วนของภาคตัดที่กล่าวข้างต้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อวัตถุหนามากกว่า 4 mm

ในการตัดร่องยาวภายใน และรูปร่างอย่างอื่นที่คล้ายกัน การหาขนาดเล็ที่สุดที่ตัดได้ ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับความหนา และคุณภาพของวัสดุเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความยาว (l) ของรูปทรงภายในด้วย ดังภาพที่ 2-17 และไดอะแกรมรูปทรง ภาพที่ 2-18 ประกอบ

ค่าที่กำหนดในไดอะแกรมภาพที่ 2-19 และ 2-20 สำหรับภาคตัดที่เกี่ยวข้องกับรูและร่อง ใช้ได้กับเหล็กกล้าที่มีค่าความต้านแรงดึง 450 N/mm^2 ส่วนวัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่านี้ให้เพิ่มค่าที่อ่านได้ให้เป็นสัดส่วนเท่ากับค่าความแข็ง (ความต้านแรง) ของวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้น สำหรับวัสดุที่อ่อนกว่าควรใช้ค่าที่อ่านได้จากไดอะแกรม

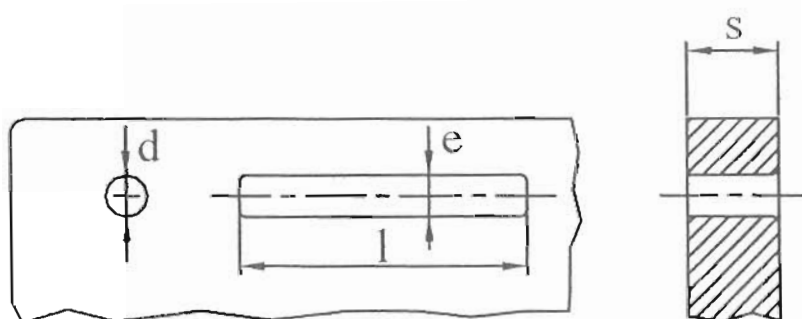


ภาพที่ 2-17 ความกว้างภาคตัดวัดจากรูปทรงด้านนอกมายังด้านใน

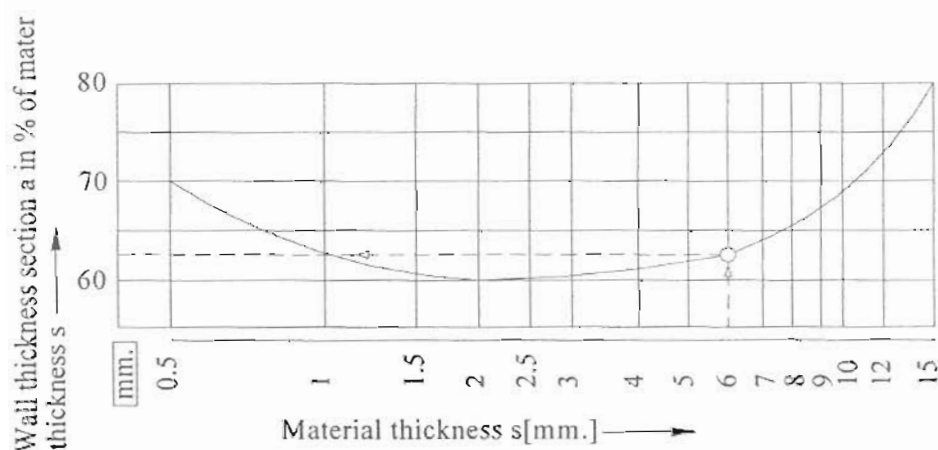


2.2.15 เส้นผ่านศูนย์กลางรูและความกว้างร่อง (Hole Diameter and Width of Slots)

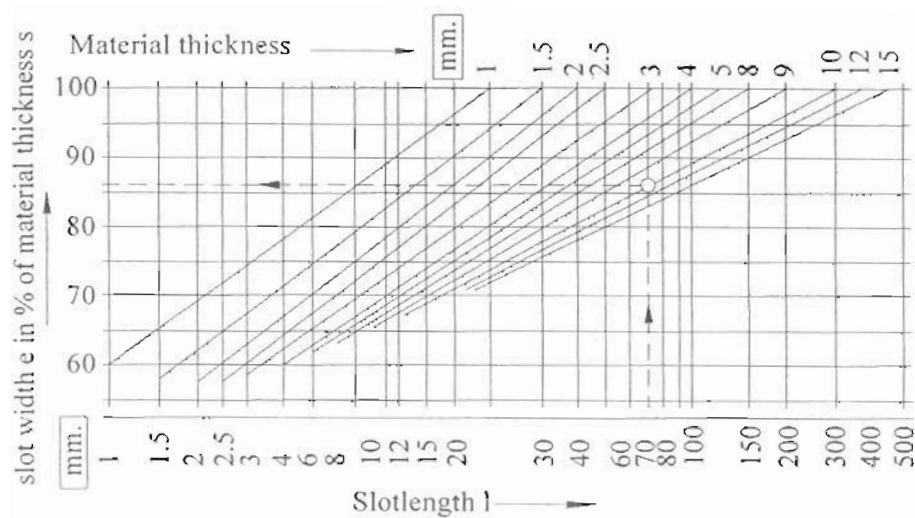
สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู และความกว้างร่อง ในทางปฏิบัติให้ใช้เงื่อนไขเดียวกันดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว และสามารถอ่านค่าโดยประมาณได้จากไดอะแกรมภาพที่ 2-22 และ 2-23 และใช้ได้กับเหล็กกล้าที่มาค่าความต้านแรงดึงสูงถึง 450 N/mm^2 ส่วนวัสดุที่มีความแข็งมากกว่านี้ให้เพิ่มค่าที่อ่านได้ให้เป็นสัดส่วนเท่ากับค่าความแข็ง (ความต้านแรง) ของวัสดุที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2-21 เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ และความกว้างร่อง



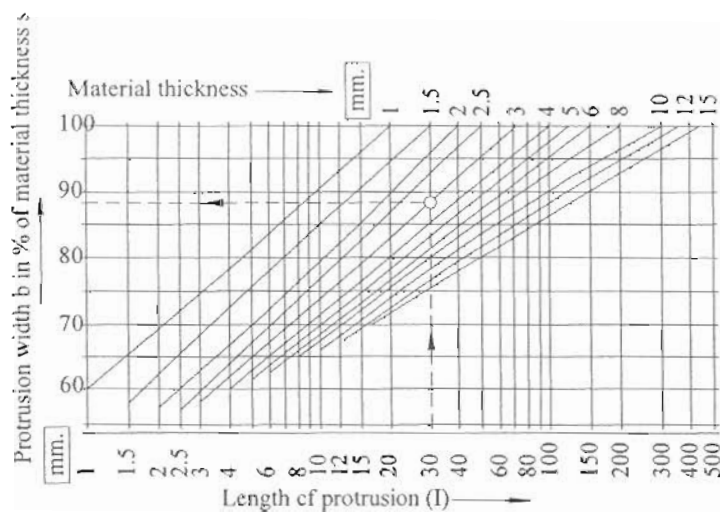
ภาพที่ 2-22 ไดอะแกรมเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ และความกว้างร่อง



ภาพที่ 2-23 ไดอะแกรมเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ และความกว้างร่อง

2.2.16 รูปทรงฟันเฟือง (Tooth Forms)

ขอบข่ายงานผลิตโดยการไฟน์แบลنگก์อย่างหนึ่ง ที่ไม่อาจมองข้ามไปได้ก็คือ การผลิตเฟือง ส่วนของเฟือง และเฟืองสะพาน รูปทรงฟันเฟืองสามารถผลิตได้โดยการไฟน์แบลنگก์ เมื่อความกว้างบนวงกลมพิตช์เท่ากับ 60% ของความหนาของวัตถุดิบหรือมากกว่า ในบางกรณี ก็อาจมีความกว้างลดลงเหลือเพียง 40% ของความหนาวัตถุดิบ ปัจจัยที่ควบคุมอยู่ก็คือ รูปทรงฟันเฟือง

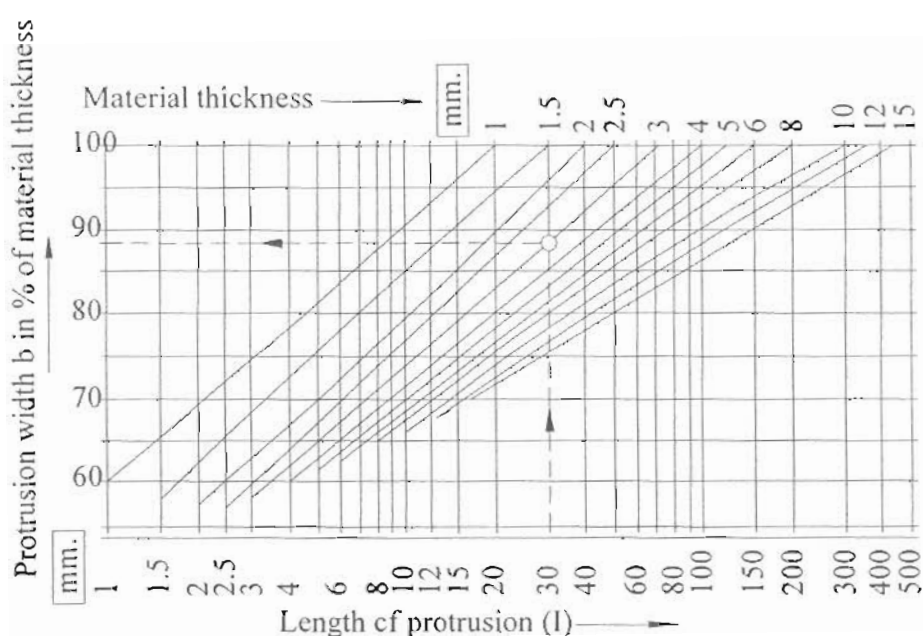


ภาพที่ 2-24 รูปทรงฟันเฟือง สัดส่วนของความกว้างฟันเฟืองต่อความหนาวัสดุ (s)

และคุณภาพของวัสดุที่นำมาใช้ สิ่งที่ต้องสังเกตเป็นพิเศษก็คือ ยอดฟันและโคนฟันเฟือง จะต้องมนตามที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนการกำหนดรัศมีภายนอกและภายในมุมแหลม ในทางปฏิบัติ ทุกกรณี จะยอมให้มีรัศมีที่ฟันเฟืองได้ในบริเวณที่กล่าวถึง เพราะโดยทั่วไปแล้วไม่ได้มีหน้าที่ในการทำงาน

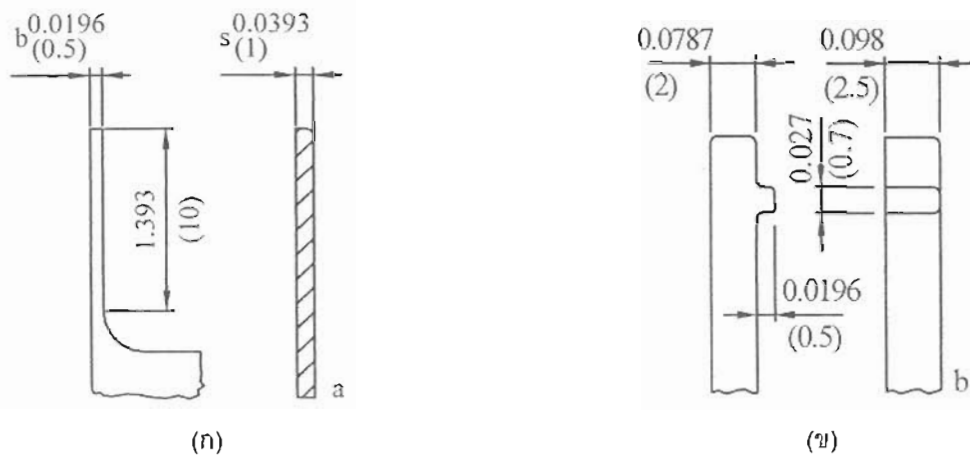
2.2.17 ส่วนยื่นปลายแหลม (Needle Protrusions)

เมื่อมีผิวสองผิวนูนรูปทรงด้านนอก ของชิ้นส่วนเข้าใกล้กัน ที่ระยะห่างจากชิ้นส่วนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาวัตถุ สามารถเรียกได้ว่า ลิ้น (Tongues) ส่วนยื่นปลายแหลม หรือห้ว ความกว้างน้อยสุดของลิ้นสัมพันธ์กับความยาว และความหนาวัสดุที่ใช้ ซึ่งสามารถ กำหนดได้จากไดอะแกรมภาพที่ 2-25



ภาพที่ 2-25 ไดอะแกรม

การใช้ประโยชน์ของไดอะแกรมที่กล่าวข้างต้น สามารถใช้ได้กับเหล็กกล้า ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 450 N/mm^2 ส่วนวัสดุที่มีความแข็งมากกว่านี้ ให้เพิ่มค่าที่อ่านได้ให้เป็นสัดส่วนเท่ากับค่าความแข็ง (ความต้านแรง) ของวัตถุที่เพิ่มขึ้น ภาพที่ 2-26 (ก) แสดงลักษณะของชิ้นส่วนที่ต้องลดค่าเฉลี่ยลง อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนนี้เป็นชิ้นส่วนที่ผิดธรรมดา มากที่สุด แต่ก็เป็นตัวอย่งของงานที่สามารถทำได้โดยการไฟนแบลนก์ ซึ่งการแบลนก์แบบ ธรรมดาไม่สามารถทำได้เลย ค่าที่อ่านได้จากไดอะแกรมแสดงให้เห็นถึงโอกาสที่จะตัดวัสดุ ออกได้ถึง 90% ของความหนา ตัวอย่างข้างต้นแสดงการตัด 50% ของความหนา (s)

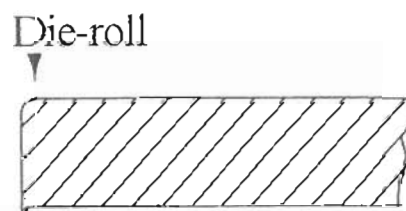


ภาพที่ 2-25 ลวดหรือส่วนยื่น ซึ่งสามารถลดความกว้างน้อยที่สุดลงได้อีก
หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บคือขนาดที่เป็น mm

ในกรณีที่ความยาวของส่วนยื่นน้อยกว่าความหนาของวัสดุ ก็สามารถลดค่าสูงสุดที่อ่านได้จากไดอะแกรม 2-25 ลงได้ ดังภาพที่ 2-26 (ข) เมื่อความกว้างของส่วนยื่นน้อยกว่า 40% ของความหนาวัตถุดิบ

2.2.18 ดายโรล (Die Roll or Pull Down)

เช่นเดียวกับการม้วนวิธีทางเทคโนโลยีอื่นๆ ซึ่งเมื่อมีข้อดีก็มักมีข้อเสียควบคู่กันไป อย่างไรก็ตาม ข้อเสียที่เกิดขึ้นในการไฟน์แบลนก์โดยมากแล้วเป็นสิ่งที่เล็กน้อยมาก ซึ่งไม่เกี่ยวกับหน้าที่ของชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง และสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการง่ายๆ ที่เสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างน้อย ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนไฟน์แบลนก์จะเกิดการเสียรูปขึ้นที่ชิ้นส่วนบนด้านด้าย การเสียรูปนี้มีชื่อเรียกว่า ดายโรล (Die Roll or Pull Down) แต่ก็ยังเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และดายโรลที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนไฟน์แบลนก์ โดยใช้ "วี-ริง" (Vee-ring) และแรงกดสวนทาง (Counter Pressure) [30]



ภาพที่ 2-27 ดายโรลที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานไฟน์แบลนก์มากผิดปกติ

ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของ ดายโรล ก็คือ มุมแหลมบนรูปทรงด้านนอกของชิ้นส่วน มีมุมที่แหลมมากขึ้น วัสดุที่มีมุมเหล่านี้นี้เล็กลง และความหนาของวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ก็จะมีผลให้เกิด ดายโรลมากขึ้น ซึ่งบนชิ้นส่วนที่เป็นรูปเฟืองอาจมีมากถึง 30% ของความหนาวัสดุ ดายโรล มักจะเกิดบนวัสดุแข็งน้อยกว่าวัสดุอ่อน

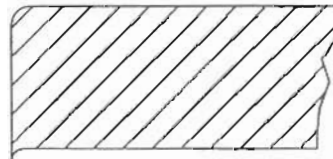
การใช้ วี-ริง วงที่สองบนแผ่นดาย และ/หรือ การเพิ่มแรงกดสวนทาง ช่วยให้เกิดดายโรล น้อยลง

2.2.19 รอยเสี้ยน (Burr)

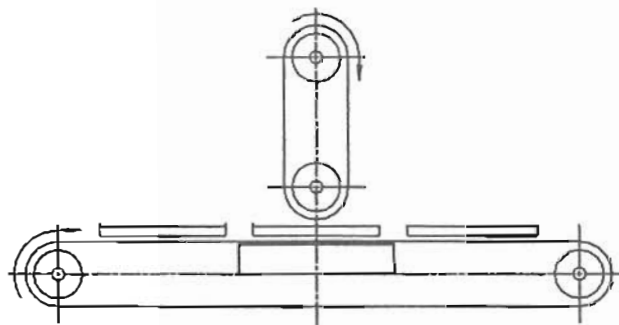
ชิ้นส่วนไฟน์แบลลงก็มีรอยเสี้ยนเกิดขึ้นน้อยมาก ภาพที่ 2-28 ซึ่งเป็นข้อดีที่สังเกตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบลลงแบบธรรมดา เนื่องจากการไฟน์แบลลงก็สามารถทำชิ้นส่วนที่ไม่มีรอยเสี้ยนได้ เพื่อสร้างแม่พิมพ์อย่างเหมาะสมและคมตัดยังคงคมอยู่เสมอ เมื่อมีข้อบกพร่องบางประการที่จะต้องกำจัดรอยเสี้ยนบนชิ้นงานไฟน์แบลลงก็ให้หมดไป โดยการทำงานขั้นที่สองในทางปฏิบัติ มีอยู่ 2 วิธี ที่ใช้กำจัดรอยเสี้ยนอย่างได้ผล และเสียค่าใช้จ่ายปานกลาง คือ

2.2.19.1 การขัดด้วยกระดาษทรายสายพาน (Finishing หรือ Belt Sanding) ซึ่งใช้กันมากกับชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่และหนัก และชิ้นส่วนที่ยาว/แคบ (ภาพที่ 2-29)

2.2.19.2 การขัดด้วยถังกลิ้ง (Tumbling หรือ Barreling) ซึ่งเป็นกรรมวิธีกลไกเคมี เพื่อกำจัดรอยเสี้ยนบนชิ้นส่วนที่มีผิวค่อนข้างเล็ก และชิ้นส่วนที่มีรูปทรง เช่น รอยตัด ชิ้นส่วนที่มีส่วนยื่น และเคมีพิเศษ



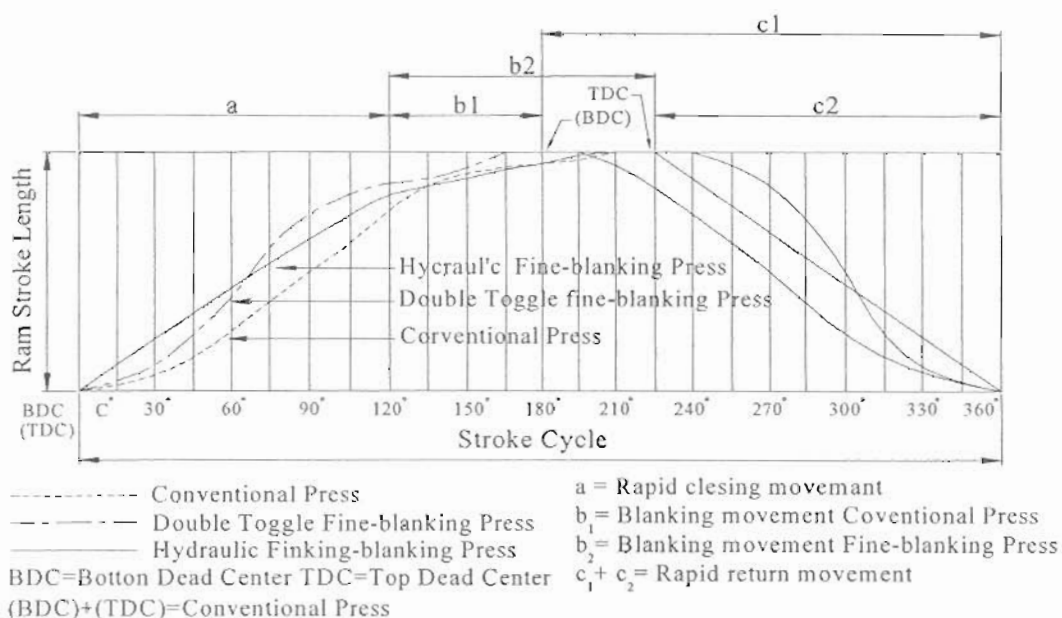
ภาพที่ 2-28 รอยเสี้ยนที่เกิดขึ้นบนด้านพื้นซ์



ภาพที่ 2-29 เครื่องขัดด้วยกระดาษทรายสายพาน

2.2.20 Soft shear action ของเครื่องเพรสไฟน์เบลงก์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นถึง “Soft Shear Action” ของเครื่องเพรสไฟน์เบลงก์ เพื่อให้เห็นชัดถึงคุณลักษณะของการทำงาน ให้ดูไดอะแกรมภาพที่ 2-30 ซึ่งเป็นไดอะแกรมเปรียบเทียบอัตราเร็วของแรมระหว่าง เครื่องเพรสแบบธรรมดา กับเครื่องเพรสแบบกลไกข้อต่อคู่ (Double Toggle) และเครื่องเพรสไฟน์เบลงก์ที่ทำงานด้วยไฮดรอลิก เครื่องเพรสแบบธรรมดา มีความเร็วในการตัดค่อนข้างสูง อัตราเร็วของแรมสำหรับเครื่องเพรสไฟน์เบลงก์จะช้าลง ในขณะที่เริ่มต้นตัด จึงให้การตัดเนื้อที่เรียบและนุ่ม



ภาพที่ 2-30 ไดอะแกรมอัตราเร็วของแรมสำหรับเครื่องเพรสแบบธรรมดา
เปรียบเทียบกับเครื่องเพรสไฟน์เบลงก์

2.2.21 เคลียร์แรนซ์ระหว่างพังก์กับดาย (Punch-die Clearance)

เพื่อให้มีความเข้าใจในคำนิยามของเคลียร์แรนซ์ระหว่างพังก์กับดายอย่างชัดเจน ให้เข้าใจว่าเคลียร์แรนซ์ระหว่างพังก์กับดาย คือ ขนาดที่แตกต่างระหว่างเส้นรอบรูปของดายกับพังก์ ซึ่งหมายถึงการวัดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางระยะห่างระหว่างดายกับพังก์ที่เหมาะสมที่สุด ณ ตำแหน่งใดๆ เท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของเคลียร์แรนซ์ระหว่างพังก์กับดาย

ในแม่พิมพ์เบลงก์แบบธรรมดา เคลียร์แรนซ์ระหว่างพังก์กับดาย มีค่าประมาณ 5-10% ของความหนาวัตถุดิบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุในแม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์ ปกติใช้เคลียร์แรนซ์ระหว่างพังก์กับดาย 1% ของความหนาวัตถุดิบ แต่มักจะกล่าวถึงว่ามีค่าแปรผันอยู่ระหว่าง 0.5% ถึง 0.25%

ในการทำงานด้วยเคลือบรีนระหว่างพื้นที่กับด้ายที่แคบเช่นนี้พื้นที่ จึงไม่สามารถผ่านเข้าไปในช่องเปิดของด้ายได้ ดังนั้นเครื่องเพรสไฟน์แบลนก์ จึงต้องมีอุปกรณ์วัดละเอียดติดตั้งไว้ใช้ขณะติดตั้งแม่พิมพ์ เพื่อปรับตั้งให้เริ่มเคลื่อนที่ได้ละเอียดถึง 0.01 mm ดังนั้นจึงติดตั้งแม่พิมพ์ในลักษณะที่ว่า เริ่มหยุดเคลื่อนที่อย่างแม่นยำ ก่อนที่พื้นที่จะผ่านเข้าไปในแผ่นด้าย

ปริมาณการผลิตในระหว่างการเจียรในลับคมตัดแม่พิมพ์ แปรผันโดยตรงกับเคลือบรีนระหว่างพื้นที่กับด้าย เมื่อเคลือบรีนกว้างมากขึ้น ก็หมายถึงว่าผลิตได้มากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้จึงควรใช้เคลือบรีนระหว่างพื้นที่กับด้ายกว้างที่สุดเท่าที่จะใช้ได้ ข้อมูลที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2-2 ได้จากการผลิตผิวตัดเฉือนที่สะอาดตลอดความหนาของวัสดุ โดยมีปริมาณการผลิตสูงตามที่ต้องการ ค่าที่กำหนดใช้สำหรับเหล็กกล้าไม่เจือ (Non-alloy) ซึ่งมีโครงสร้างทางโลหะวิทยา ที่เหมาะสำหรับการไฟน์แบลนก์มากที่สุด วัสดุที่มีสภาพขึ้นรูปได้ (Formability) ไม่ต้องการเคลือบรีนที่แคบกว่าวัสดุที่มีสภาพขึ้นรูปได้ดีกว่า

ตารางที่ 2-2 เคลือบรีนระหว่างพื้นที่กับด้ายเป็น % ของความหนาวัสดุ (s)

ความหนาวัสดุ	รูปทรงภายนอก	รูปทรงภายใน $\emptyset < (s)$	รูปทรงภายใน $\emptyset = (s)$	รูปทรงภายใน $\emptyset > (s)$
0.5	1%	2.5%	2%	1%
1	1%	2.5%	2%	1%
2	1%	2.5%	1%	0.5%
3	1%	2%	1%	0.5%
4	1%	1.7%	0.75%	0.5%
6	1%	1.7%	0.5%	0.5%
10	1%	1.5%	0.5%	0.5%
15	1%	1%	0.5%	0.5%

2.2.22 โครงสร้างของแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ (Construction of Fine-blanking Tools)

การออกแบบและโครงสร้างของแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ สามารถเปรียบเทียบได้ดีที่สุดกับแม่พิมพ์แบบผสม (Compound) อย่างไรก็ตาม แม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ก็มีความแข็งแรงมากกว่าความแตกต่างที่สำคัญระหว่างแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์กับ แม่พิมพ์ธรรมดา คือ

2.2.22.1 ไม่ต้องใช้สปริงที่ใช้สำหรับการปลดวัสดุ และดันชิ้นส่วนที่ตัดแล้วออกไป แรงเหล่านี้จะเกิดจากสลักที่ได้รับความแรงจากไฮดรอลิกในเครื่องเพรส

2.2.22.2 เคลือบเรซินระหว่างพื้นผิวกับแผ่นดายมีขนาดประมาณ 1% ตามที่ได้อธิบายไว้แล้ว

2.2.22.3 เนื่องจากมีเคลือบเรซินเคลือบ จึงต้องการตัวนำและตัวกำหนดศูนย์ของพื้นผิวกับแผ่นดายที่มีความแม่นยำมาก

2.2.22.4 ตัดปาดผิวแผ่นกดให้เกิดเป็น วี-ริง ตามเส้นรอบรูปด้านนอกของชิ้นส่วน และกดให้ฝังลงบนแผ่นวัตถุดิบโดยแรงจากไฮดรอลิก เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุไหลออกจากพื้นผิวใหญ่ ซึ่งเป็นการป้องกันการแตกที่เกิดขึ้นบนผิวตัดเฉือนของชิ้นส่วน

2.2.22.5 พื้นผิวใหญ่ทำหน้าที่เป็นแผ่นดายสำหรับรูปทรงภายในด้วย ในเวลาเดียวกัน เศษเพียงของรูปทรงด้านในไม่ได้ผ่านพื้นผิวใหญ่แต่จะโดนดันออกไปทางด้านบนด้วยอิมัลเซอร์ที่ส่งแรงดันมาจากไฮดรอลิกในเครื่องเพรสหลังจากที่ตัดเสร็จแล้ว

2.2.22.6 พื้นผิวของรูปทรงด้านในจะไม่วิ่งผ่านตลอดความยาวของพื้นผิวใหญ่ จึงทำให้พื้นผิวของรูปทรงด้านในมีฐานที่มีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากฐานพื้นผิวมีความแข็งแรง จึงอาจผลิตชิ้นส่วนที่มีรูปทรงภายในซับซ้อนและอยู่ใกล้กันได้ในการทำงานเพียงครั้งเดียว โดยที่พื้นผิวไม่เกิดอันตรายจากการหัก

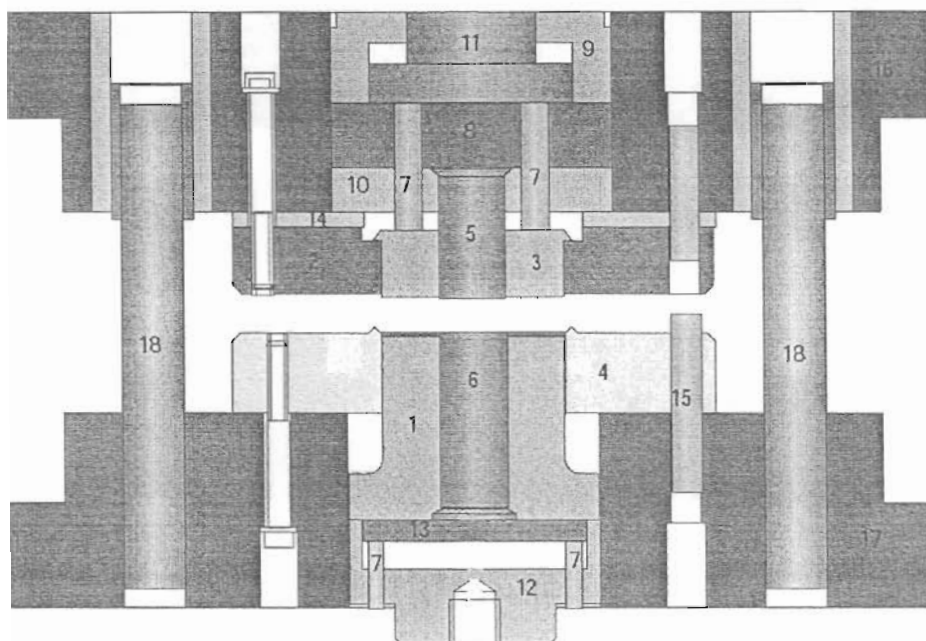
2.2.23 ชนิดแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์

แม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ

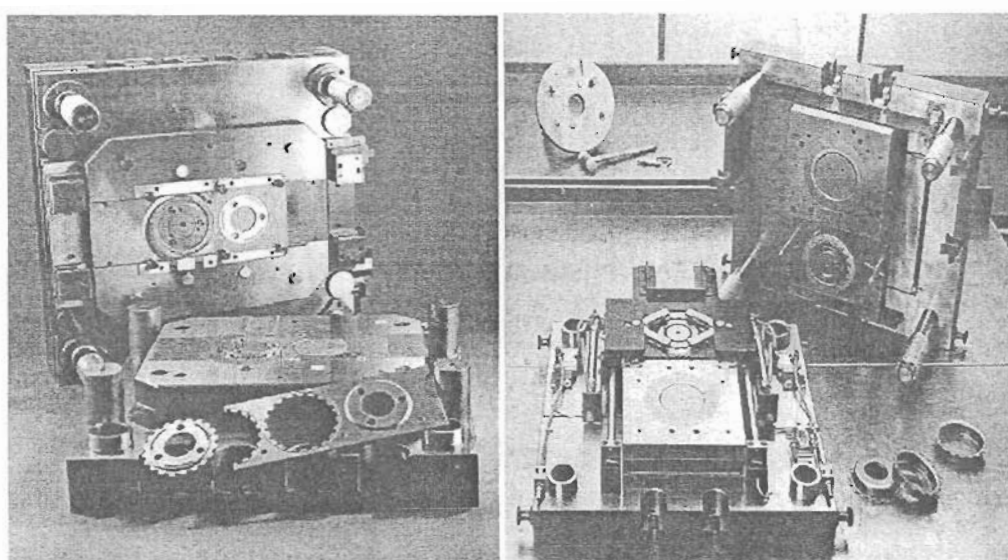
2.2.23.1 แม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ที่ใช้พื้นผิวเลื่อน (Fine-blanking Tools with Sliding Punches)

เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นส่วนไฟน์แบลนก์ได้ โดยมีอุปสรรคน้อยที่สุด จำเป็นต้องให้ศูนย์ของพื้นผิวกับแผ่นดายอยู่ตรงกันพอดี ศูนย์ของพื้นผิวใหญ่จะตรงได้ ถ้ามีการกำหนดตำแหน่งและมีตัวบังคับอย่างถูกต้อง แม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ที่เรียกว่า แบบใช้พื้นผิวเลื่อนนั้น แผ่นดาย และไกด์เพลต (Guide Plate) ยึดติดกับฐานของดายเซต ส่วนพื้นผิวจะเลื่อนผ่านรูคว้านที่อยู่ในดายเซต และไกด์เพลตด้านล่าง ระยะการเคลื่อนที่ของพื้นผิวมักเท่ากับความหนาของวัสดุ ถ้าพื้นผิวมีขนาดทางด้านกว้างมากกว่าทางด้านสูง ก็ไม่แน่ว่าจะกำหนดตำแหน่งได้แม่นยำจริง ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่า ระยะที่ใช้พื้นผิวเลื่อน ใช้ได้กับชิ้นส่วนขนาดเล็ก และขนาดกลางเป็นส่วนใหญ่

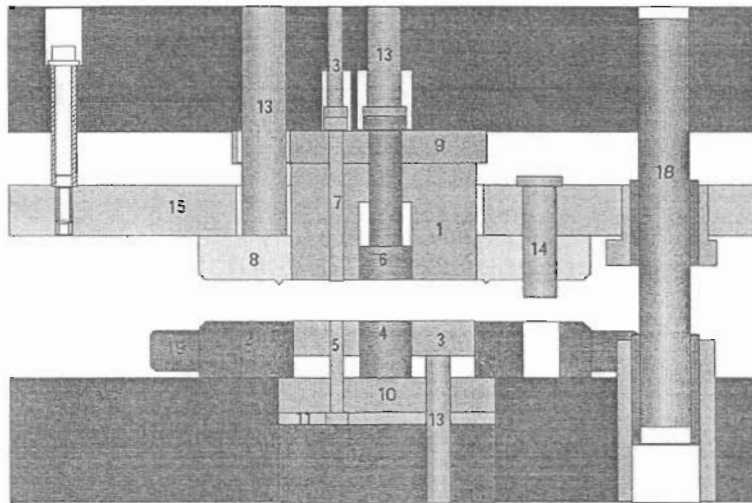
ภาพที่ 2-31 แสดงภาพตัดของแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ที่ใช้พื้นผิวเลื่อน ส่วนภาพที่ 2-32 แสดงแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ และภาพที่ 2-33 แสดงแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ที่มีปลอกวงแหวน (Coupling Ring) ยึดพื้นผิวที่เลื่อนได้



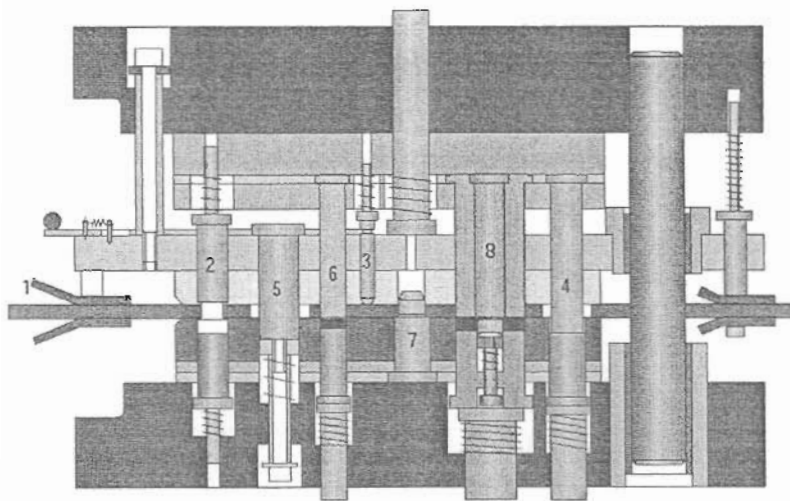
ภาพที่ 2-31 ภาพตัดของแม่พิมพ์ไฟน์เบลนก์ที่ใช้ฟันซ์เลื่อน



ภาพที่ 2-32 แม่พิมพ์ไฟน์เบลนก์ที่ใช้ฟันซ์เลื่อน



ภาพที่ 2-33 พันช์เลื่อนอยู่ภายในปลอกวงแหวน



ภาพที่ 2-34 การทำงานแม่พิมพ์ไฟน์แบลنگก์ที่ใช้พันช์เลื่อน

2.2.23.2 แม่พิมพ์ไฟน์แบลنگก์ที่ใช้พันช์ยึดตายตัว (Fine-blanking Tools with Fixed Punches)

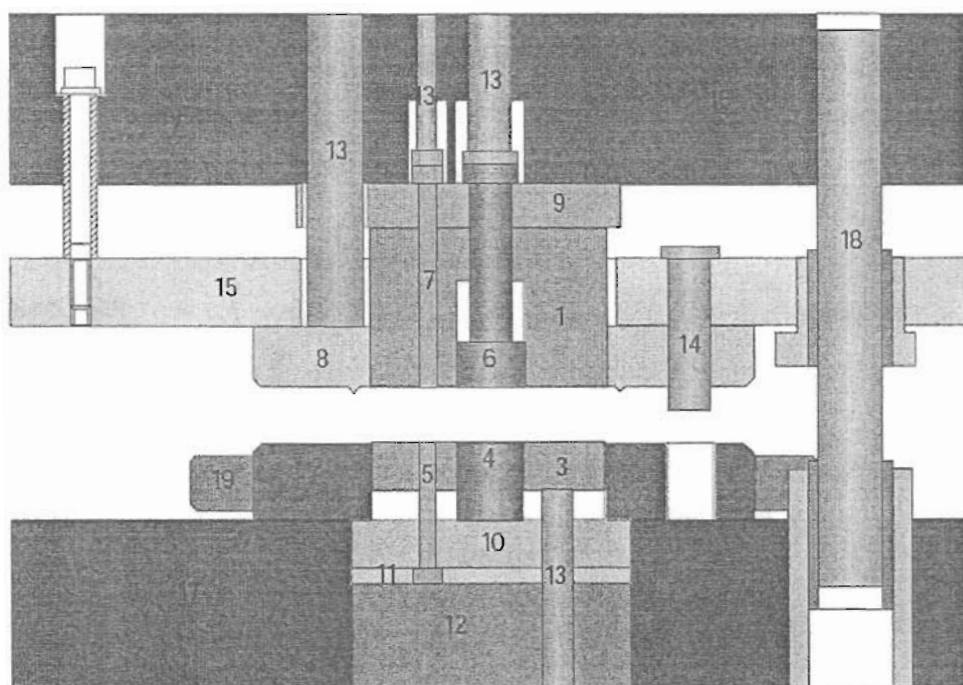
ในการออกแบบลักษณะนี้พันช์จะขันเกลียวยึดติดกับแผ่นด้ายเซต และมีโดเวลพินล็อกไว้ พันช์มีไกด์เพลตเป็นตัวบังคับซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแผ่นกดที่มีวี-ริงติดอยู่ ด้วยเหตุนี้ ไกด์เพลต จึงต้องยึดอย่างแน่นหนา และเลื่อนโดยอาศัยไกด์โพสต์ของด้ายเซต การออกแบบแม่พิมพ์ ในลักษณะนี้เหมาะสำหรับ

1. ชิ้นส่วนใหญ่ ยาว และแคบ
2. ชิ้นส่วนที่ไม่สมมาตร ซึ่งมีโอกาสเกิดแรงดันด้านข้างในขณะตัดเฉือน

3. ชิ้นส่วนที่มีรูปทรงภายในหลายรูปแบบ ซึ่งถ้าพื้นผิวจะไม่แข็งแรงพอเนื่องจากตำแหน่งรอยต่อของอิมัลเจอร์พินในพื้นผิว

4. ชิ้นส่วนหนา ซึ่งต้องการแม่พิมพ์ที่แข็งแรงเป็นพิเศษ และจะต้องใช้แรงกดสูงดังภาพที่ 2-35 แสดงภาพประกอบของแม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์ที่ใช้พื้นผิวยึดตายตัว

โดยพื้นฐานแล้วสามารถกล่าวได้ว่า สำหรับชิ้นส่วนใหญ่ และมีรูปทรงซับซ้อน แม่พิมพ์ที่ออกแบบใช้พื้นผิวยึดตายตัว เหมาะสมกว่าแม่พิมพ์ที่ออกแบบให้ใช้พื้นผิวเลื่อน การติดตั้งและการบำรุงรักษาแม่พิมพ์ที่ใช้พื้นผิวยึดตายตัวค่อนข้างใช้เวลานานกว่า สิ่งที่แตกต่างกันกับแม่พิมพ์ที่ใช้พื้นผิวเลื่อนซึ่งพื้นผิวมักอยู่ที่ ดายเซตส่วนล่างก็คือ แม่พิมพ์ที่ใช้พื้นผิวยึดตายตัวอาจยึดพื้นผิวไว้ที่ด้ายเซตส่วนบน (ภาพที่ 2-35) แผ่นด้ายวางอยู่บนด้ายเซตส่วนล่าง และดันชิ้นส่วนออกจากด้านล่าง โดยทั่วไประบบนี้ใช้กับแม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์ ที่มีพื้นผิวหลายอัน หรือแม่พิมพ์โพเรสซีฟไฟน์เบลงก์ เมื่อมีกลไกที่ใช้สำหรับนำเอาชิ้นส่วนใหญ่และหน้อออกจากแม่พิมพ์

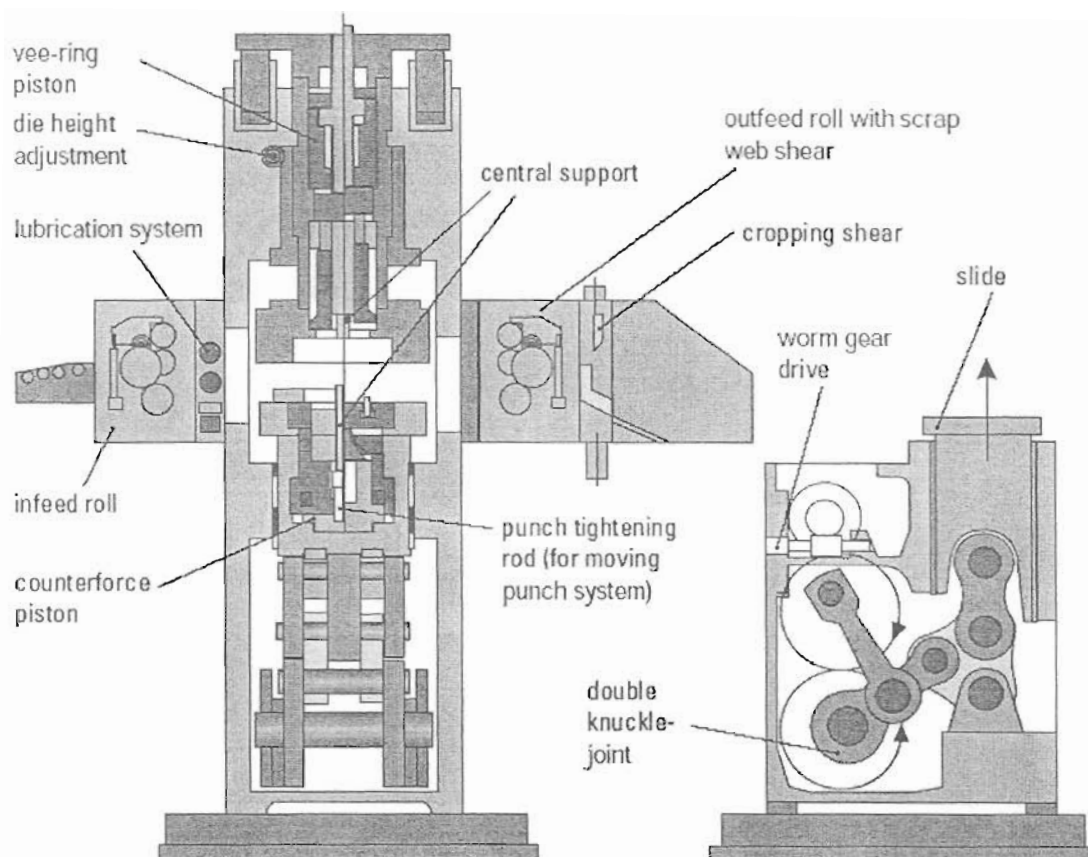


ภาพที่ 2-35 แม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์ที่ใช้พื้นผิวยึดตายตัว ชุดด้ายเซตของแม่พิมพ์ทางด้านขวา มีการรองรับเป็นพิเศษโดย Adapter Ring (หมายเลข 19) เพื่อป้องกันการเสียรูปของด้ายเซตขณะที่ตัดวัสดุหนา

2.2.24 โครงสร้างและข้อกำหนดของเครื่องเพรสไฟน์แบลงก์

เครื่องเพรสไฟน์แบลงก์มีโครงสร้าง และสร้างขึ้นตามข้อกำหนดของเทคนิคการไฟน์แบลงก์ที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น เครื่องเพรสสร้างขึ้นอย่างมั่นคง (Rigid) และแข็งแรง พร้อมทั้งมีระบบไคต์แรม ซึ่งในสมัยนี้ได้นำเอามาใช้กับเครื่องเพรสแบบธรรมดา โดยพื้นฐานแล้วเครื่องเพรสไฟน์แบลงก์มีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือ

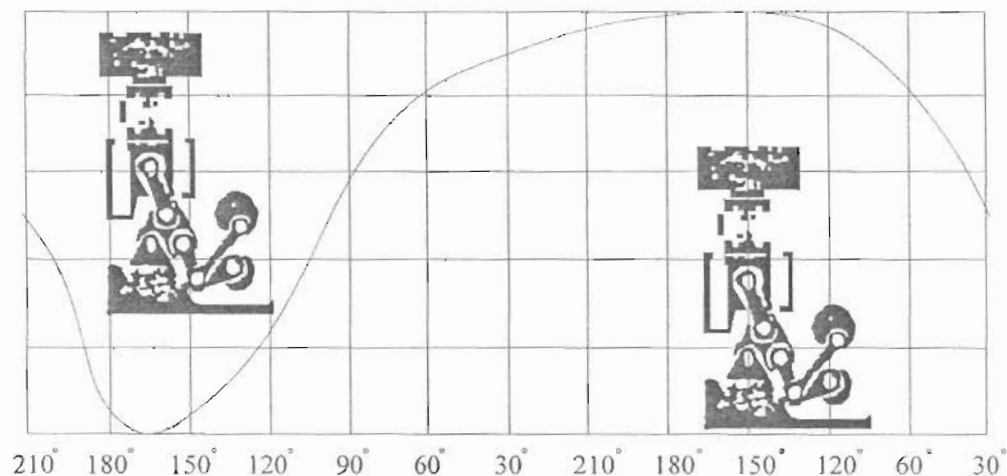
1. เครื่องเพรสกลไกข้อต่อคู่ (Double Toggle) สำหรับงานที่ต้องการแรงตัดเฉือนน้อย ซึ่งอยู่ในช่วง 250 kN ถึง 2500 kN (ภาพที่ 2-36)
2. เครื่องเพรสไฮดรอลิกสำหรับการไฟน์แบลงก์ สำหรับงานที่ต้องการแรงตัดเฉือนมาก ซึ่งอยู่ในช่วง 2500 kN ถึง 25000 kN



ภาพที่ 2-36 ภาพตัดเครื่องเพรสไฟน์แบลงก์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อต่อคู่

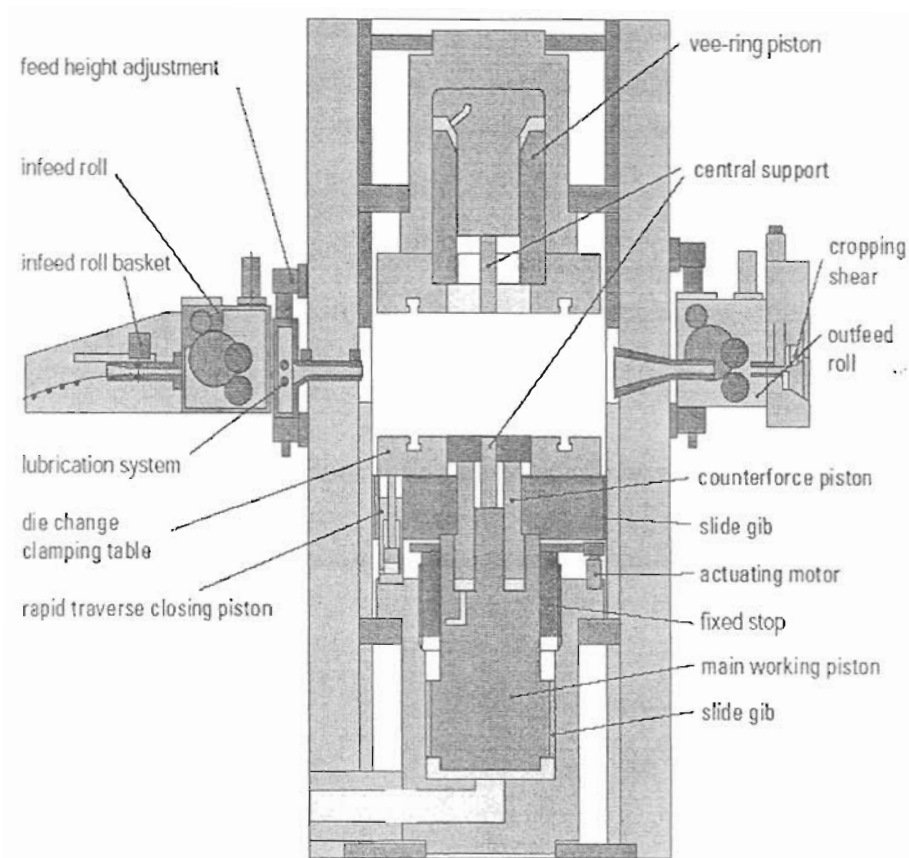
เครื่องเพรสไฟน์แบลงก์เป็นเครื่องเพรสที่มามีการทำงานได้ 3 อย่าง ซึ่งส่งแรงในการทำงานได้ดังนี้คือ แรงตัดเฉือน แรงกดวี-ริง และแรงกดสวนทาง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในกรณีที่ต้องการแรงตัดน้อย ก็จะใช้ระบบกลไกที่มีการบำรุงรักษาได้ง่าย (Feintool-Osterwalder Press) เพื่อให้เกิด Soft Shear Action สำหรับขั้นตอนของการไฟน์แบลنگก์ก็คงใช้เครื่องเพรสระบบข้อต่อคู่ดังแสดงในภาพที่ 2-36 เมื่อต้องการแรงตัดมากระบบกลไกข้อต่อคู่จะต้องสร้างอย่างแข็งแรงมาก ดังนั้นระบบที่ทำงานด้วยไฮดรอลิกจึงประหยัดมากกว่า (ภาพที่ 2-38)

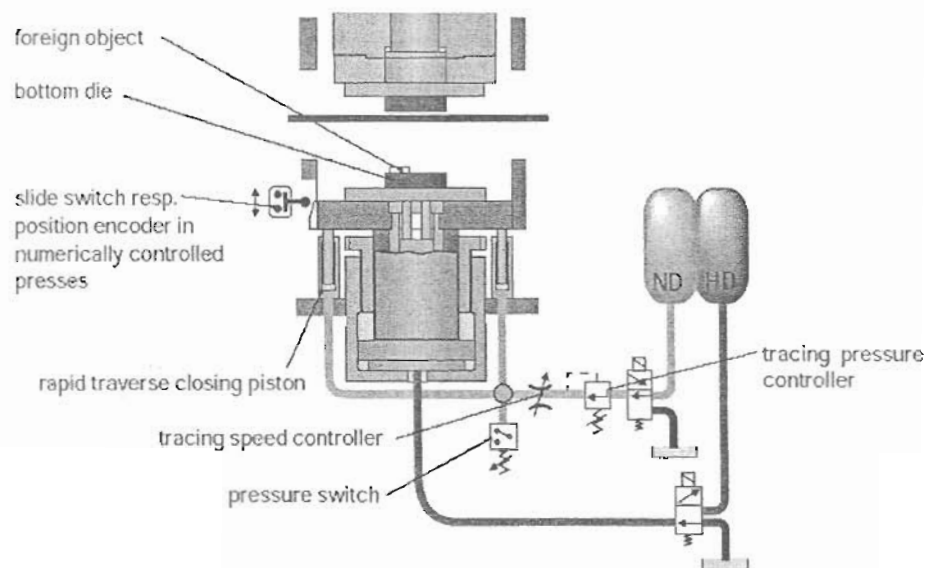


ภาพที่ 2-37 ไคอะแกรมอัตราเร็วเริ่มของเครื่องเพรสไฟน์แบลنگก์ระบบข้อต่อคู่

ในระหว่างการตัดเฉือนจริงจะต้องจับวัตถุที่อยู่อันนอกของรอยตัดเฉือนให้แน่น โดยใช้วี-ริง และจับวัสดุด้านในไว้ด้วยอีเจกเตอร์ การใช้วี-ริง และแรงกดสวนทางช่วยป้องกันไม่ให้วัสดุไหลออกจากบริเวณตัดเฉือนในระหว่างการตัด เพื่อให้สามารถตัดวัสดุได้หลายชนิดที่มีความหนาแตกต่างกัน และชิ้นส่วนมีรูปทรงหลายอย่าง แรงกดนี้จึงต้องมีค่ามาก และสามารถปรับได้มากด้วยข้อกำหนดเหล่านี้ไม่เพียงแต่ใช้กับแบบไฮดรอลิกเท่านั้น แต่ยังใช้เป็นข้อกำหนดสำหรับเครื่องเพรสไฟน์แบลنگก์ระบบกลไกด้วย



ภาพที่ 2-38 ภาพตัดผ่านเครื่องไฮดรอลิกเพรสไฟน์แบลงก์



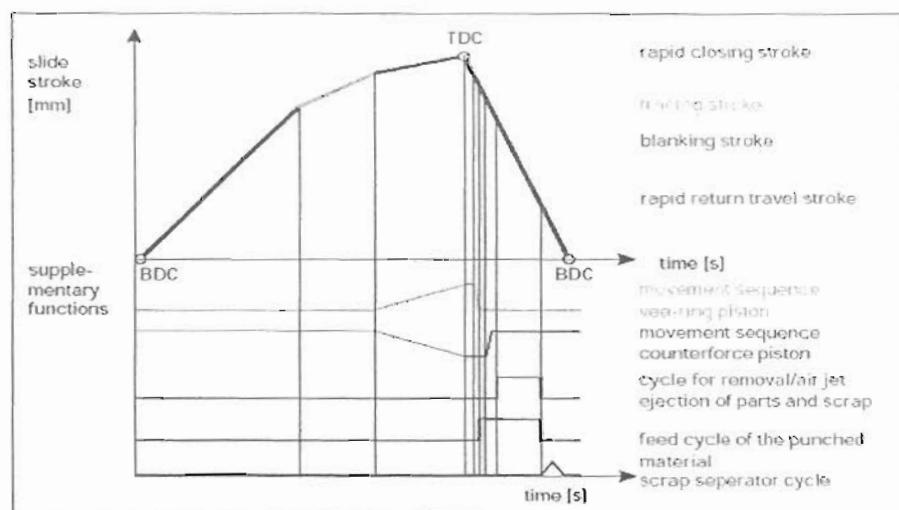
ภาพที่ 2-39 ภาพตัดผ่านชุดควบคุมเครื่องไฮดรอลิกเพรสไฟน์แบลงก์

2.2.25 อัตราเร็วในการตัดเฉือน (Shear Speed)

เมื่อชิ้นส่วนมีความหนาเพิ่มขึ้น และความต้านแรงดึงของวัสดุเพิ่มขึ้น ต้องใช้อัตราเร็วในการตัดเฉือนลดลง เพื่อให้ได้รอยตัดเฉือนที่สะอาด และป้องกันไม่ให้คมตัดเกิดความร้อนมากเกินไป ด้วยเหตุนี้อัตราเร็วในการตัดเฉือนของเครื่องเพรสไฟน์แบลนก์ จึงต้องปรับได้ ถือเป็นกฎว่า อัตราเร็วในการตัดเฉือนของเครื่องเพรสไฟน์แบลนก์มีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 15 mm/s อีกประการหนึ่งด้วยเหตุผลของความประหยัดในการผลิต เครื่องเพรสจะต้องผลิตชิ้นส่วนต่อชั่วโมงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากความขัดแย้งในข้อกำหนดที่กล่าวมานี้ แก้ไขได้โดยการควบคุมอัตราเร็วของแรมในแต่ละไซเคิลให้มีช่วงเร่งและช่วงหน่วง ดังภาพที่ 2-39 และ 2-40

2.2.26 การถอยกลับของแรม (Ram Reversal)

การควบคุมความเที่ยงตรงของการถอยกลับของแรม หลังจากการตัดเฉือนเสร็จสมบูรณ์แล้ว เป็นสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ต้องให้ความสนใจ ในการตัดโดยเครื่องเพรสแบบธรรมดา พื้นที่อาจผ่านเข้าไปในแผ่นด้าย 1 ถึง 2 mm แต่สำหรับเครื่องเพรสไฟน์แบลนก์และแรม ต้องถอยกลับในทันทีที่ตัดชิ้นส่วนขาดแล้ว ถ้าปล่อยให้พื้นที่ผ่านเข้าไปในแผ่นด้ายของแม่พิมพ์ไฟน์แบลนก์ ซึ่งมีเคลือบเรซินระหว่างพื้นที่กับด้ายโรลมาก จะมีผลทำให้คมตัดทื่อ และผลิตชิ้นส่วนได้น้อยในระหว่างช่วงการเจียรในลับคมตัด และทำให้แม่พิมพ์มีอายุใช้งานสั้นลง เพราะฉะนั้น เครื่องเพรสไฟน์แบลนก์จึงต้องมีอุปกรณ์วัดความสูงของแรมที่มีความละเอียดถึง 0.01 mm



ภาพที่ 2-40 ไตอะแกรมอัตราเร็วของแรมของเครื่องไฮดรอลิกเพรสไฟน์แบลนก์

2.2.27 ตัวนำเลื่อนแรมไม่มีระยะฟรี (Play-free Ram Guidance)

การที่เคลียแรนซ์ ระหว่าง พ้นซ์กับตายของแม่พิมพ์ไฟน์แบลงก์แคบมาก จึงต้องการ ตัวนำเลื่อนของแรมที่แม่นยำและไม่มีระยะฟรี เพื่อป้องกันการโก่งใดๆ ที่เกิดขึ้นในเครื่องเพรส ถ้าไม่เป็นไปตามความต้องการนี้ หรือเป็นไปอย่างไม่เพียงพอ ก็จะมีผลทำให้ได้ชิ้นส่วนที่มี คุณภาพต่ำ และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์สั้นลง ด้วยเหตุนี้เอง ตัวนำเลื่อนแรมของเครื่องเพรส ไฟน์แบลงก์ จึงต้องกว้างเป็นพิเศษ และต้องทำการพรีโหลดกับแบร็ง เพื่อป้องกันระยะฟรี ระหว่างแรมกับตัวนำเลื่อน และเพื่อให้แน่ใจว่า แรมเคลื่อนที่ได้อย่างราบรื่น ดังภาพที่ 2-39 และ 2-40

2.2.28 การคำนวณหาค่าแรงที่เกี่ยวข้องในกรรมวิธีไฟน์แบลงก์

ปฏิกิริยาระหว่างแรงสามแรงในกรรมวิธีไฟน์แบลงก์มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงาน เมื่อ แม่พิมพ์เริ่มทำงานจะมีเพียงแรงจากแหวนจิก และพ้นซ์ด้านการตัดเฉือนที่กระทำต่อชิ้นงาน แรงของแหวนจิกจะส่งผลให้แหวนจิกกดเข้าไปในเนื้อของชิ้นงาน แรงของพ้นซ์ด้านการตัดเฉือน จะดันด้านเมื่อหน้าสัมผัสของพ้นซ์สัมผัสกับชิ้นงาน ดังนั้นก่อนที่จะเริ่มตัดชิ้นงานด้วยแรงตัด ชิ้นงานจะถูกยึดไว้เรียบร้อยแล้ว ทั้งด้านในและด้านนอกขอบตัด ซึ่งแรงทั้งสามสามารถหาได้จาก การคำนวณหาแรงตัดเฉือน (Shear Force) ซึ่งจะเหมือนกับกรรมวิธีตัดเฉือนอย่างง่าย

$$F_S = l \cdot t \cdot \sigma_S \quad (2-1)$$

แต่ค่าของ $\sigma_S = \sigma_u \times f_1$

เมื่อ F_S = แรงตัดเฉือน (Shear Force; N)

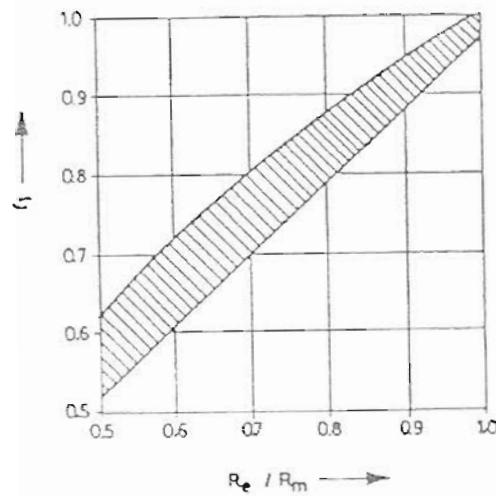
l = ความยาวเส้นรอบรูปชิ้นงาน (mm)

t = ความหนาวัสดุ (mm)

σ_S = ความเค้นเฉือน (N/mm²)

σ_u = ความเค้นแรงดึงสูงสุด (N/mm²)

f_1 = อัตราส่วนระหว่างค่าความเค้นที่จุดครากตัวต่อค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด
0.6-0.9



ภาพที่ 2-41 ค่าตัวประกอบแก้ไข f_1

การคำนวณหาค่าแรงกดจิก (Vee-ring Force)

$$F_R = l_R \cdot h \cdot \sigma_U \cdot f_2 \quad (2-2)$$

- เมื่อ F_R = แรงกดแหวนจิก (N)
 l_R = เส้นรอบรูปแหวนจิก (mm)
 h = ความสูงแหวนจิก (mm)
 σ_U = ความเค้นแรงดึงสูงสุด (N/mm^2)
 f_2 = ค่าตัวประกอบได้จากการทดลอง = 4

การคำนวณหาค่าแรงดันต้านการตัดเฉือน (Counter Force)

$$F_G = A_S \cdot q_G \quad (2-3)$$

- เมื่อ F_G = แรงต้านการตัดเฉือน (N)
 A_S = พื้นที่โปรไฟล์ของชิ้นงาน (mm^2)
 q_G = สัมประสิทธิ์แรงดันต้านการตัดเฉือนงานไฟน์แบล็ก ~ $20-70 \text{ N/mm}^2$

การคำนวณหาค่าแรงตัดทั้งหมดที่ใช้ในการขึ้นรูป (Total Force)

$$F_T = F_S + F_R + F_G \quad (2-4)$$

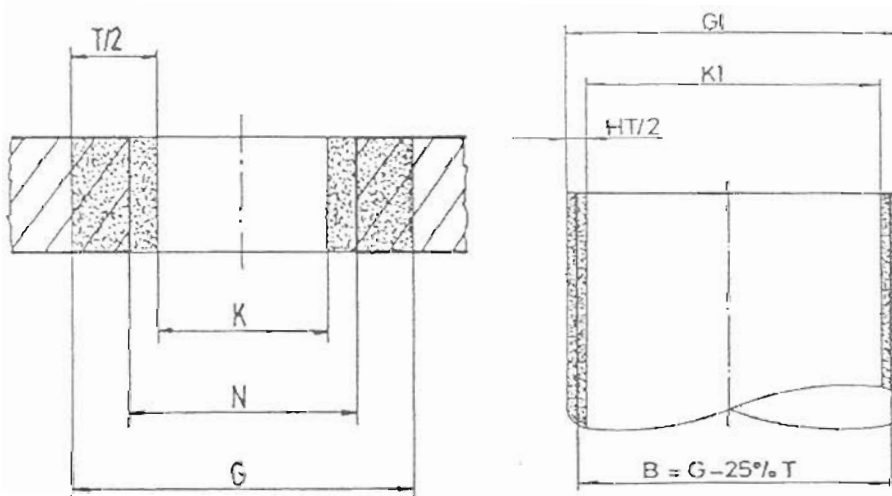
เมื่อ F_S = แรงตัดเฉือน (N)

F_R = แรงกดแหวนจิก (N)

F_G = แรงดันต้านการตัดเฉือน (N)

2.2.29 การกำหนดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับตายในงานไฟนแบลنگ์

ในกรรมวิธีไฟนแบลنگ์ จะกำหนดช่องว่างระหว่างพื้นที่กับตาย ให้แคบที่สุดหรือไม่เกิน 1% ของความหนาชิ้นงาน โดยปกติจะกำหนดที่ 0.5% ของความหนาชิ้นงาน เพราะเมื่อนำขนาดของช่องว่างระหว่างพื้นที่กับตายแคบมากๆ จะช่วยสร้างสภาวะความเค้นอัด (Compressive Stress) ให้กับชิ้นงานในขณะที่พื้นที่กดชิ้นงานโดยที่ช่องว่างดังกล่าวจะต้องห่างกันคงที่ตลอดระหว่างพื้นที่กับตาย นอกจากช่องว่างระหว่างพื้นที่กับตายจะมีระยะเผื่อชิ้นงานหลังการไฟนแบลنگ์ จะต้องได้ขนาดตามค่าพิกัดความเผื่อด้วย ซึ่งค่าพิกัดความเผื่อนี้ต้องขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการนำไปใช้งานว่าต้องการนำไปใช้งานหรือต้องการแบลنگ์ไปใช้งานดังภาพที่ 2-44 แสดงถึงการนำรูไปใช้งาน ภาพที่ 2-45 แสดงถึงการนำแบลنگ์ไปใช้งาน [23], [26, 27], [31, 32]



ภาพที่ 2-42 ค่าพิกัดความเผื่อพื้นที่กรณีใช้ขนาดของรู

กรณีที่นำขนาดของรูไปใช้งานสามารถคำนวณหาค่าพิกัดความเผื่อพื้นที่และตายได้ดังนี้

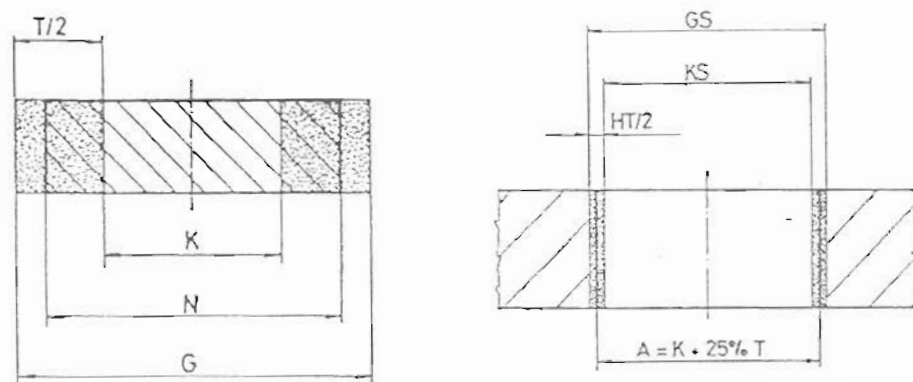
$$B = G - 25\%T \quad (2-5)$$

เมื่อ B = ขนาดกำหนดของพื้นที่ (Nominal size; mm)
 G = ขนาดพิกัดความเผื่อโตสุดของชิ้นงาน (Largest size of Part; mm)
 T = ค่าพิกัดความเผื่อ (Part tolerance; mm)

ดังนั้นขนาดของตายจะได้ดังนี้

$A = B + 0.01t$ กรณีแบบสมมาตรค่าช่องว่างพื้นที่กับตายสองข้าง

$A = B + 0.005t$ กรณีไม่สมมาตรค่าช่องว่างพื้นที่กับตายข้างเดียว



ภาพที่ 2-43 ค่าพิกัดความเผื่อตายกรณีใช้แบบลง

กรณีที่นำแบบลงก็ไปใช้งานสามารถคำนวณหาค่าพิกัดความเผื่อพื้นที่และตายได้ดังนี้

$$A = K + 25\%T \quad (2-6)$$

เมื่อ A = ขนาดกำหนดของตาย (Nominal size of die-plate; mm)
 K = ขนาดพิกัดความเผื่อเล็กสุดของชิ้นงาน (Smallest size of Part; mm)
 T = ค่าพิกัดความเผื่อ (Part tolerance; mm)

ดังนั้นขนาดของพื้นที่จะได้ดังนี้

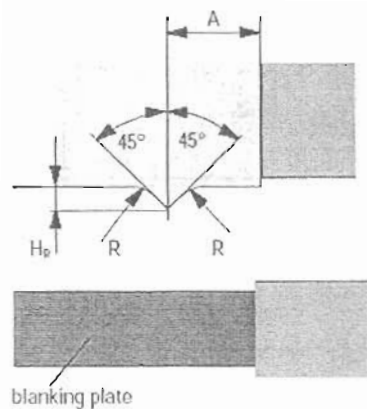
$B = A - 0.01t$ กรณีแบบสมมาตรค่าช่องว่างพื้นที่กับตายสองข้าง

$B = A - 0.005t$ กรณีไม่สมมาตรค่าช่องว่างพื้นที่กับตายข้างเดียว

การเกิดส่วนโค้งมน และครีบบีบที่ขอบตัดนั้นเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับกรรมวิธีตัดด้วย 펀ช์และดาย เนื่องจากวัสดุมีการเปลี่ยนรูป แต่จะเกิดน้อยกว่าในกรณีของการตัดเฉือนอย่างง่าย ส่วนครีบบีบจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการตัด เนื่องจาก 펀ช์และดายเกิดการสึกหรอ ทำให้ช่องว่างระหว่าง 펀ช์กับดายมีขนาดใหญ่ขึ้น [33]

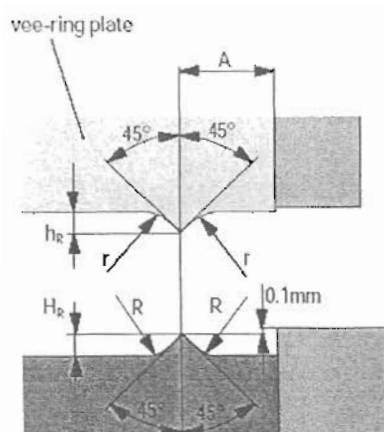
2.2.30 ขนาดและการติดตั้งแหวนจิก

แหวนจิกเป็นตัวแปรสำคัญในกรรมวิธีไฟน์เบลนกกโดยมีหน้าที่หลัก 3 ประการ คือ ในระหว่างกรรมวิธีตัดจะเกิดความเค้นดึงบริเวณการเฉือนของชิ้นงาน แต่เมื่อมีแหวนจิกกดจิกที่ชิ้นงาน 1.) แหวนจิกจะสร้างความเค้นอัดให้กับชิ้นงาน ช่วยทำให้ขนาดของความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ชิ้นงานไหลตามระนาบการตัด (Cutting Plane) นอกจากนั้นแหวนจิกยัง 2.) ช่วยรั้งชิ้นงานที่จะเคลื่อนที่ในแนวราบ (Horizontal Moving Resistance) และ 3.) ทำให้ชุดแม่พิมพ์ทำงานได้คงที่มากขึ้น [23, 26, 32]



sheet metal thickness [mm]	A [mm]	H _R [mm]	R [mm]
2.8 - 3.2	2.5	0.6	0.6
3.3 - 3.7	2.5	0.7	0.7
3.8 - 4.5	2.8	0.8	0.8

ภาพที่ 2-44 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งแหวนจิกกรณีความหนาชิ้นงานไม่เกิน 4.5 mm



sheet metal thickness [mm]	A [mm]	H _R [mm]	R [mm]	h _R [mm]	r [mm]
4.5 - 5.5	2.5	0.8	0.8	0.5	0.2
5.6 - 7.0	3.0	1.0	1.0	0.7	0.2
7.1 - 9.0	3.5	1.2	1.2	0.8	0.2
9.1 - 11	4.5	1.5	1.5	1.0	0.5
11.1 - 13	5.5	1.8	2.0	1.2	0.5
13.1 - 15	7.0	2.2	3.0	1.6	0.5

ภาพที่ 2-45 ขนาดและตำแหน่งการติดตั้งแหวนจิกกรณีความหนาชิ้นงานเกิน 4.5 mm

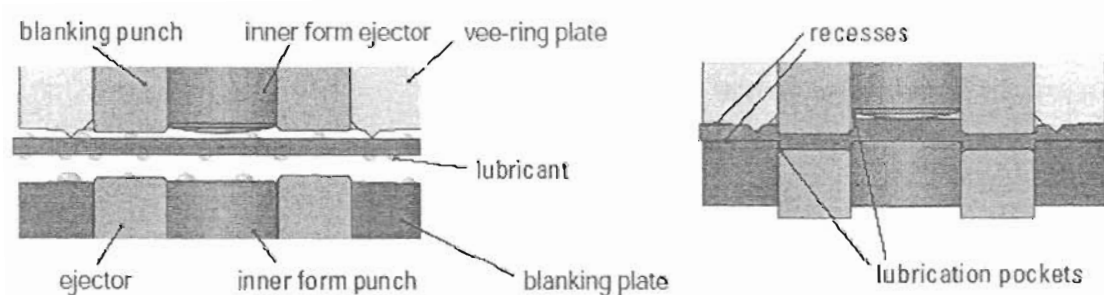
ตำแหน่งของแหวนจิกอาจจะอยู่บนผิวของแผ่นจับยึดชิ้นงาน และบนผิวของตายหรืออย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ โดยขนาดระยะห่างของแหวนจิกขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานที่จะทำการตัดด้วยกรรมวิธีไฟน์แบลนก์ ดังแสดงในภาพที่ 2-44 และ 2-45 โดยปกติแหวนจิกจะยาวต่อเนื่องเป็นเส้นรอบวงของชิ้นงาน แต่ในบางกรณีก็อาจจะไม่ต่อเนื่องกันก็ได้ [23], [32]

2.2.31 การเลือกวัสดุชิ้นงานในการไฟน์แบลนก์

การเลือกวัสดุที่จะมาทำการไฟน์แบลนก์ก็มีอิทธิพลต่อคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน และอายุการใช้งานของพินซ์และตายเช่นกัน วัสดุที่เหมาะสมจะให้ขอบตัดที่เป็นรอยตัดฉีกสูง และไม่ทำให้พินซ์และตายสึกหรอเร็ว โดยวัสดุที่เหมาะสมสำหรับงานไฟน์แบลนก์ ได้แก่ เหล็กคาร์บอนต่ำ โลหะผสมที่มีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไม่เกิน 1% และมีโครงสร้างเป็นสเฟียรอยด์ไทท์-ซีเมนไทต์ (Spheroidal Cementite) ไม่ต่ำกว่า 90% สแตนเลสที่มีนิเกิลผสมอย่างน้อย 11% สามารถตัดได้ แต่ต้องมีความหนาไม่เกิน 5 mm โลหะผสมทองแดง ทองเหลืองสามารถทำการตัดได้ดี แต่ที่เหมาะสมสำหรับงานไฟน์แบลนก์มากที่สุดคือ อลูมิเนียมที่มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดไม่เกิน 250 N/mm^2

2.2.32 การหล่อลื่น (Lubrication)

กรรมวิธีไฟน์แบลนก์จำเป็นต้องมีการหล่อลื่นที่แม่พิมพ์ และชิ้นงานหากไม่มีการใช้สารหล่อลื่นจะเกิดการเชื่อมเย็นระหว่างเศษชิ้นงานกับพินซ์ส่งผลให้ตายสึกหรอหรือทื่อได้ ทั้งนี้เนื่องจากกรรมวิธีนี้มีความเที่ยงตรงสูงและขนาดของช่องว่างระหว่างพินซ์กับตายที่แคบ การหล่อลื่นอาจทำได้ด้วยการทาหรือฉีดให้กับชิ้นงานก็ได้ แต่ต้องให้มีสารหล่อลื่นติดทั้งบนและล่างชิ้นงาน ดังนั้นการออกแบบแม่พิมพ์จึงจำเป็นต้องมีการบากมุม (Chamfer) ที่รอบรูปร่างของพินซ์ด้านการตัดฉีก และแผ่นกดชิ้นงานที่มีแหวนจิก ดังภาพที่ 2-46 เพื่อไว้สำหรับกักเก็บน้ำมันที่กระจายตัวในขณะที่แม่พิมพ์ทำงาน [22, 23], [31, 32, 33]



ภาพที่ 2-46 การออกแบบแม่พิมพ์เพื่อกักสารหล่อลื่นบริเวณการตัดขณะทำการไฟน์แบลนก์

2.2.33 เครื่องเพรส (Press Machine)

เครื่องเพรสที่มีความเที่ยงตรง (Accuracy) สูงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกรรมวิธีไฟน์แบลนก์ โดยเฉพาะต้องเป็นเครื่องแบบสามจังหวะ (Tripple Action) เพื่อให้แรงต่อชิ้นงานครบทั้งสามแรง โดยส่วนมากจะใช้เครื่องไฮดรอลิกเพื่อง่ายในการปรับขนาดของแรง และความเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังนั้นเครื่องจักรจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกตัวเพื่อที่จะให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ [21], [26], [30], [32]

2.2.34 ความเร็วที่ใช้ในงานไฟน์แบลนก์

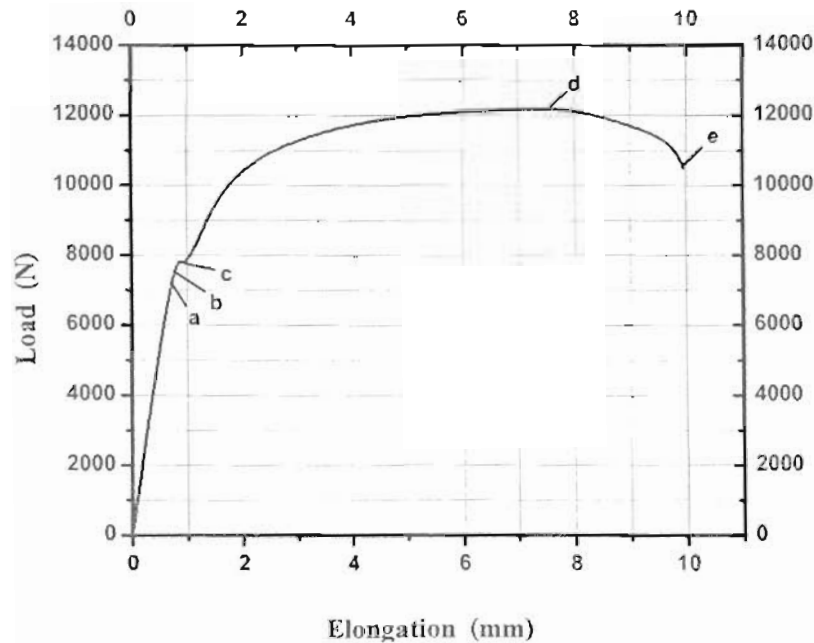
ความเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ในกรรมวิธีขึ้นรูปโลหะทุกชนิด ในกรรมวิธีไฟน์แบลนก์ต้องการความเร็วที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำ โดยปกติจะใช้ไม่เกิน 50 mm/s [11, 12], [34]

2.2.35 กรรมวิธีปรับแต่งผิวสำเร็จ (Burnishing)

เมื่อชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแบลนก์มาแล้ว หากต้องการผิวรอยตัดมีความเรียบมากขึ้น ชิ้นส่วนดังกล่าว ต้องนำมาผ่านกรรมวิธีปรับแต่งผิวสำเร็จอีกครั้งหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามกรรมวิธีปรับแต่งผิวนี้ จะทำให้ได้ภาคตัดขวางของชิ้นงานเกิดความสม่ำเสมอ และมันวาวเท่านั้น การที่เราจะได้ชิ้นงานดังที่กล่าวมานี้ ชิ้นงานเหล่านั้นจะต้องมีขนาดโตกว่าขนาดที่ต้องการอยู่บ้างเล็กน้อย หลังจากนั้นนำมากดดันทะลุผ่านแม่พิมพ์ปรับแต่งขนาดและผิว เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานตามต้องการกรรมวิธีดังที่ได้กล่าวมานี้จึงเกิดการขัดถู (Rubbing) หรือการทำให้ผิวงานเป็นเงามันขึ้น ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกถูกทำให้ลดขนาดลง โดยที่ไม่มีการกำจัดเนื้อโลหะออกไปแต่อย่างใด ผิวของโลหะภายหลังจากที่ผ่านกรรมวิธีปรับแต่งขนาด และผิวจะเป็นเงาเปล่งปลั่งและเกิดความเรียบมากยิ่งขึ้น การขึ้นรูปขณะชิ้นงานเย็นจะทำให้เกิดความแข็งและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นกับชิ้นงานนั้นๆ [30, 31], [33], [35, 36, 37]

2.2.36 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและส่วนที่ยืดออกหรือระหว่างความเค้นและความเครียด

ในการหาความแข็งแรงและสมบัติต่างๆ ของวัสดุ จะต้องทดสอบตัวอย่างของวัสดุนั้น จนกระทั่งหักหรือขาด โดยการทดสอบที่ใช้คือการทดสอบแรงดึง ซึ่งจากการทดสอบจะได้กราฟดังภาพที่ 2-47 โดยจะมีจุดสำคัญต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2-47 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง

2.2.36.1 จาก 0-a กราฟเป็นเส้นตรง แสดงแรงเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับส่วนที่ยืดออก หรือ $\text{Stress} \propto \text{Strain}$

2.2.36.2 จุด a เรียกว่าจุดสิ้นสุดเส้นตรง (Proportional Limit หรือ Limit of Proportionality) เป็นจุดสุดท้ายที่กราฟเป็นเส้นตรงหลังจากจุดนี้แล้วความเค้นไม่เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเครียด

2.2.36.3 จุด b เรียกว่า Elastic Limit เป็นจุดสุดท้ายที่ความยาวของวัสดุจะกลับมาเท่าเดิมได้เมื่อปล่อยแรงจาก 0-b การเปลี่ยนรูปของวัสดุ ในช่วงนี้เป็นการเปลี่ยนรูปแบบไม่ถาวร (Elastic Deformation)

2.2.36.4 จุด c เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) เป็นจุดที่วัสดุยืดออกโดยต้องเพิ่มแรง

2.2.36.5 จุด c-e เป็นการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ถ้าปล่อยแรงวัสดุจะไม่หดกลับ

2.2.36.6 จุด 0-d การยืดเกิดขึ้นทุกส่วนตลอดความยาว (Gauge Length)

2.2.36.7 จุด d-e การยืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เฉพาะบริเวณที่จะหักหรือขาดเท่านั้น มีคอคอด (Waist หรือ Necking)

2.2.36.8 จุด d เป็นจุดที่มีความเค้นสูงสุดซึ่งเรียกว่า Tensile Strength ของวัสดุ หรือเรียกว่า Ultimate Tensile Strength คำนวณได้จากแรงที่จุด d ต่อพื้นที่หน้าตัดเดิม

2.2.36.9 จุด e เรียกว่าจุดแตกหัก (Fracture Point หรือ Rupture Point) เป็นจุดที่วัสดุขาดออกจากกัน

2.2.37 การทำให้แข็งด้วยความเครียด

นอกจากการเปลี่ยนรูปทรง ที่มักทำให้ความต้านแรง และความแข็งเพิ่มขึ้นแล้ว คำว่า “การทำให้แข็งด้วยความเครียด” (Work Hardening หรือ Strain Hardening) หมายถึง การเพิ่มความแข็งแรงจากการแปรรูปเย็น ผลที่ตามมาก็คือ สมบัติยืดดึง (Ductility) ลดลง และความต้านทานแรงครากเปลี่ยนแปลงไป สมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น ประสิทธิภาพกับความเครียดประสิทธิภาพที่เรียกว่ากฎยกกำลัง (Power Law) อยู่ในรูป

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n = Y \quad (2-7)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์ความต้านแรง (Strength Coefficient)

n คือ เลขชี้กำลังการทำให้แข็งด้วยความเครียด (Strain Hardening Exponent)

2.2.38 ความเสียดทานคูลอมบ์ (Culomb Friction)

การสึกหรอของแม่พิมพ์มีสาเหตุมาจากความเสียดทานระหว่างแม่พิมพ์ และแผ่นขึ้นงาน [37] และกรรมวิธีขึ้นรูปแผ่นโลหะ โดยทั่วไปใช้ความเสียดทานคูลอมบ์ เนื่องจากความเค้นกดตั้งฉากที่ผิวสัมผัสในกระบวนการขึ้นรูปเป็นแบบอัด [38] โดยแสดงได้ดังสมการ

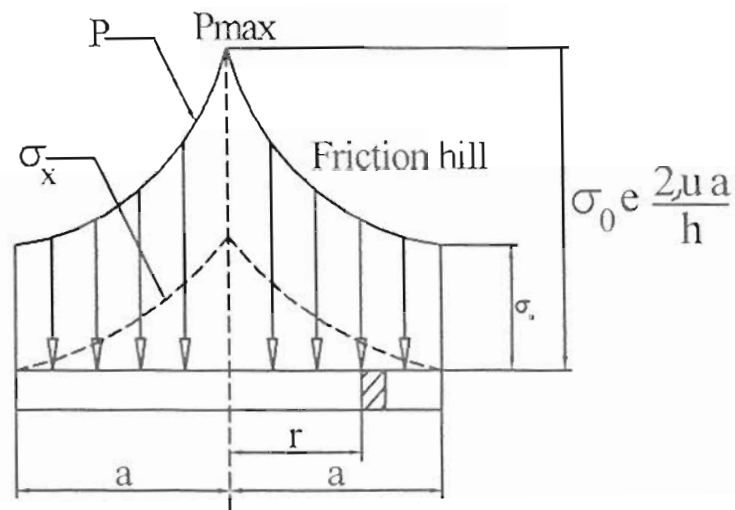
$$\mu = \frac{\tau_i}{p} \quad (2-8)$$

เมื่อ τ_i = ความเค้นเฉือนที่ผิวสัมผัส

p = ความเค้นตั้งฉากที่ผิวสัมผัส

โดยที่ความดันที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงกลมแบนราบจะมีการกระจายแบบ สมมาตรรอบแกน และความดันจะมากที่สุดที่จุดศูนย์กลางแผ่น ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า Friction Hill โดยมีสมการดังนี้

$$p = \sigma_0 e^{\frac{2\mu}{h}(a-r)} \quad (2-9)$$



ภาพที่ 2-48 Friction Hill ที่เกิดขึ้นบนแผ่นจานกลม

จากสมการที่ 2-9 สามารถหาสมการความดันเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\bar{\rho} = \frac{\int_0^a 2\pi r \rho dr}{\pi a^2} = \frac{\sigma_0}{2} \left(\frac{h}{\mu a} \right)^2 \left[e^{2\mu a/h} - \frac{2\mu a}{h} - 1 \right] \quad (2-10)$$

ตามทฤษฎีของ Von mises จะให้ความสัมพันธ์ของแรงภายใต้สภาวะ Sticking คือ

$$\tau_i = \tau_0 = k = \frac{\rho_0}{\sqrt{3}} \quad \text{ได้ดังนี้}$$

$$\rho = \sigma_0 \left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{[a-r]}{h} \right] \quad (2-11)$$

วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจากการทดสอบแรงอัดขึ้นทดสอบรูปวงแหวน (Ring Compression Test) โดยใช้สารหล่อลื่น (Lubricant Test) ระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ โดยอาศัยกฎของคูลอมบ์ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกคร็อบ (Male and Cockcroft) สามารถหาได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. หาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นทดสอบ สามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{Reduction in Internal Diameter} = \frac{d_0 - d_1}{d_0} \times 100 \quad (2-12)$$

เมื่อ d_0 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในก่อนกดทดสอบ

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังกดทดสอบ

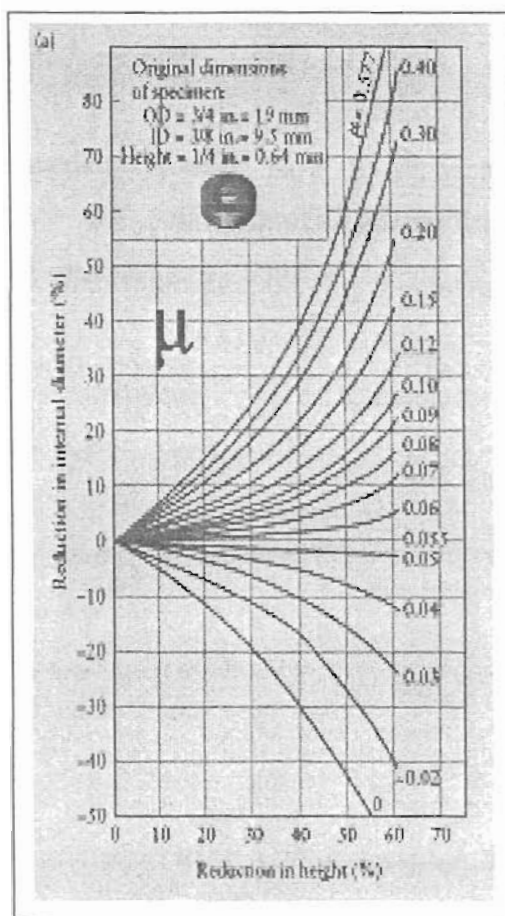
2. หาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชิ้นทดสอบ สามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{Reduction in Height} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100 \quad (2-13)$$

เมื่อ h_0 = ขนาดความสูงของชิ้นทดสอบก่อนกด

h_1 = ขนาดความสูงของชิ้นทดสอบหลังกด

3. นำค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชิ้นทดสอบไปอ่านค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) ได้จากกราฟ (Calibration Curve) ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกคร็อฟ (Male and Cockcroft) และค่า Friction Factor (m) ตามทฤษฎีของ Tresca



ภาพที่ 2-49 กราฟ Calibration Curve ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกครอป

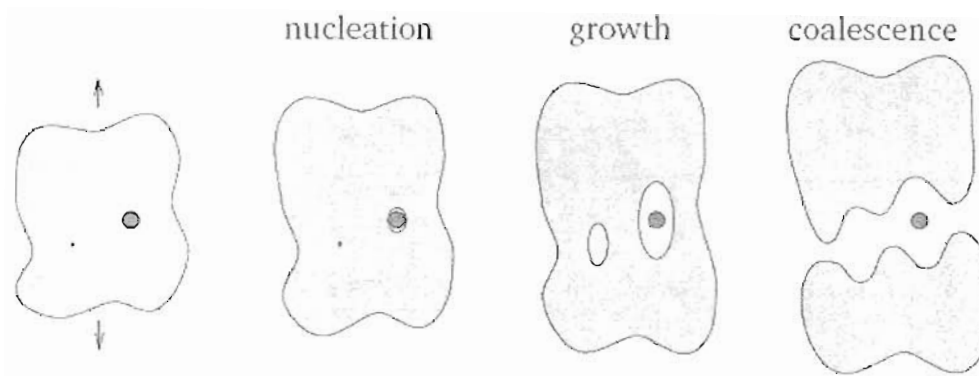
2.2.39 การแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) [39, 40]

กรรมวิธีตัดเฉือนโลหะ (Shearing Process) ซึ่งจะเป็นการตัดชิ้นงาน ขาดออกจากกัน ถ้าศึกษาลึกลงไปในระดับโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) จะทำให้พิสูจน์ได้ว่าเป็นการเสียหายแบบเหนียว ซึ่งการเสียหายแบบเหนียวจะมีลักษณะการเกิดอยู่ 3 ขั้นตอน ดังภาพที่ 2-52 [37]

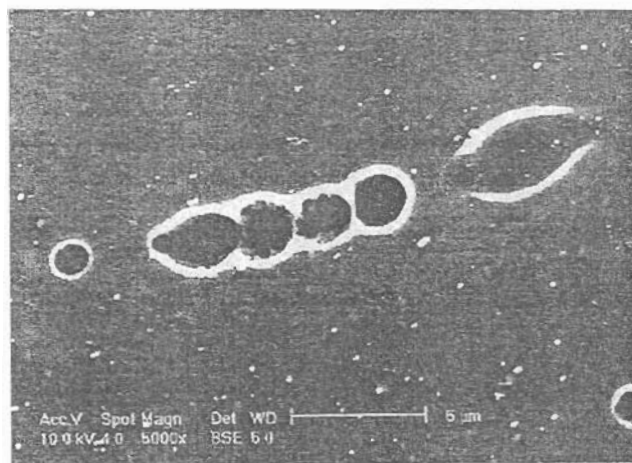
2.2.39.1 Nucleation of Micro-void เกิดช่องว่างห่อหุ้มตัวสารฝังใน (Inclusion) โดยการเกิดพฤติกรรมนี้ไม่ได้อยู่ร่วมติดกันกับสารฝังในตัวอื่น ที่จะเชื่อมต่อกับอนุภาคที่เกิดการแตก (Crack) เมื่อวัสดุเกิดการเปลี่ยนรูป การเปลี่ยนของวัสดุจะทำให้เริ่มเกิดช่องที่ห่อหุ้มสารฝังในขึ้นอยู่กับการพฤติกรรมของอนุภาค และแร่ธาตุที่อยู่โดยรอบอนุภาคนั้นๆ และบนความแตกต่างในทฤษฎีการเปลี่ยนรูประหว่างอนุภาคและแร่ธาตุ ดังนั้นสิ่งที่กล่าวมาข้างต้นและชนิดของอนุภาคในระดับโครงสร้างจุลภาค (Micro Structure) เป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการยืดดึง (Ductility) ของวัสดุ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ปริมาตรเศษส่วนของสารฝังใน

2.2.39.2 Growth of the Micro-Voids การโตขึ้นของช่องว่างที่รอบล้อมสารฝังใน เกิดจากที่วัสดุได้รับความเค้น และความเครียด ทำให้มีขนาดที่เกินกว่าอนุภาคของเก๊าทัง ปริมาณและรูปร่าง

2.2.39.3 Coalescence of Void เป็นการรวมตัวของช่องว่างที่ห่อหุ้มสารฝังใน ทำให้มีการขยายช่องว่างมารวมกันทำให้เกิดรอยแตกเล็กๆ ขึ้น การแตกที่แพร่โดยการรวมตัวของช่องว่างสารฝังในเข้าด้วยกัน และจะเกิดที่ปลายสุดของรอยแตก (Crack Tip)



ภาพที่ 2-50 แสดงสภาวะต่างๆ ของการเกิดการแตกเหนียว



ภาพที่ 2-51 แสดงภาพขยายของการเกิดสภาวะการแตกเหนียว (ภาพถ่ายจาก AA6111-T4)

การตัดเฉือนในงานไฟน์เบลงก์จะมีเรื่องของความเสียหายในส่วนของการขึ้นงาน ดังนั้นในการนำเอา FEM มาวิเคราะห์กรรมวิธีตัดเฉือน จึงต้องพิจารณาถึงความเสียหายที่ส่วนของขอบด้วย ซึ่งความเสียหายดังกล่าวเป็นความเสียหายแบบเหนียว เกณฑ์ความเสียหายของวัสดุที่มีผู้คิดค้นขึ้นมา มีอยู่หลายเกณฑ์ด้วยกัน ดังสมการที่ 2-14 ถึง 2-17 [7], [12] และแต่ละเกณฑ์ความเสียหายก็ทำให้การเริ่มแตกร้า และการขยายตัวของรอยร้าของวัสดุไปคนละแบบไม่เหมือนกัน ทำให้รูปร่างของผิวรอยแตกก็ต่างกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2-52

Fracture Criteria

Selected built-in damage models

Ayada criterion
$$C_{Ayada} = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma_m}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad (2-14)$$

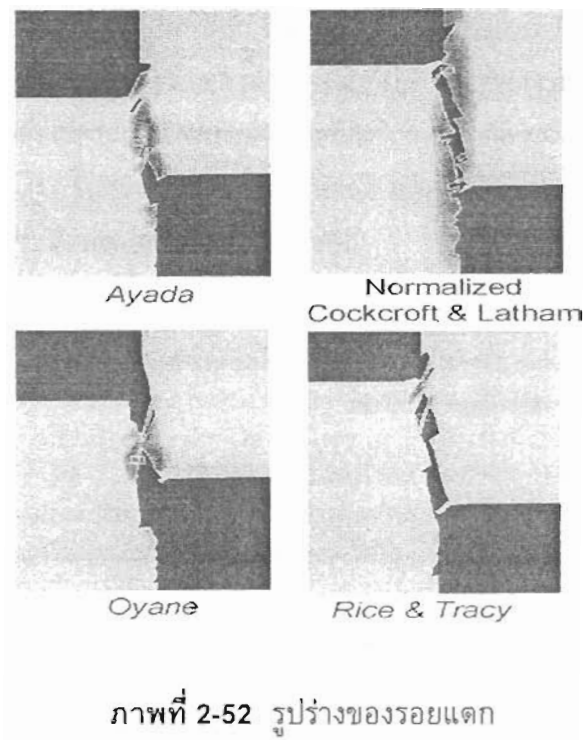
Normalized Cockcroft & Latham criterion

$$C_{NormC\&L} = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma_1}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad (2-15)$$

Oyane criterion
$$C_{Oyane} = \int_0^{\bar{\epsilon}} \left(1 + A \cdot \frac{\sigma_m}{\bar{\sigma}} \right) d\bar{\epsilon} \quad (2-16)$$

Rice & Tracy criterion
$$C_{Rice\&Tracy} = \int_0^{\bar{\epsilon}} e^{\frac{\alpha \sigma_m}{\bar{\sigma}}} d\bar{\epsilon} \quad (2-17)$$

โดยที่	σ_m	=	ค่าความเค้นเฉลี่ย (Mean Stress)
	α	=	พารามิเตอร์ปรับแก้
	C	=	เกณฑ์ความเสียหายของวัสดุ (Fracture Criteria)
	$\bar{\sigma}$	=	ความเค้นประสิทธิผล (Effective Stress)
	$\bar{\epsilon}$	=	ความเครียดประสิทธิผล (Effective Strain)
	σ_1	=	ค่าความเค้นในแนวแกน X
	A	=	พื้นที่หน้าตัด



ภาพที่ 2-52 รูปร่างของรอยแตก

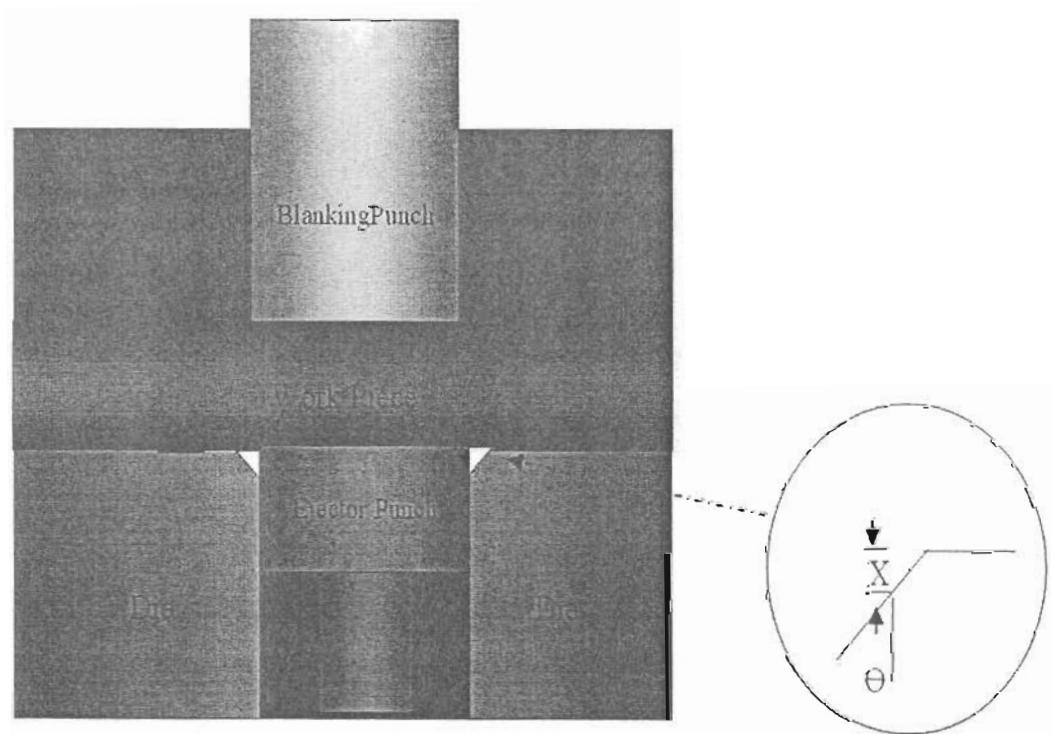
จากภาพที่ 2-52 เกณฑ์ความเสียหายของ Ayada ค่า C ได้มาจากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟจากความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\sigma_m}{\sigma}$ ถึงความเครียดที่จุดแตกหัก ซึ่งค่าดังกล่าวเหมาะกับงานขึ้นรูปร้อนมากกว่างานขึ้นรูปเย็น เพราะงานขึ้นรูปเย็นได้กราฟที่ไม่ราบเรียบเหมือนงานขึ้นรูปร้อน เกณฑ์ความเสียหายของ Normalized Cockcroft & Latham และ Oyane เหมาะกับงานรับแรงดึงหรือแรงอัดในแนวแกนด้านเดียว ส่วนเกณฑ์ความเสียหายของ Rice & Tracy จะคล้ายกับเกณฑ์ความเสียหายของ Ayada แต่มีข้อดีตรงที่มีพารามิเตอร์ปรับแก้พื้นที่ใต้กราฟให้ได้ค่าแม่นยำมากขึ้น

ดังนั้นเกณฑ์ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เกณฑ์ความเสียหาย Rice & Tracy และเนื่องจากมีรายงานการวิจัยว่า สามารถทำนายความเสียหายของวัสดุในกรรมวิธีตัดได้อย่างแม่นยำ [38], [41, 42, 43, 44, 45, 46]

บทที่ 3

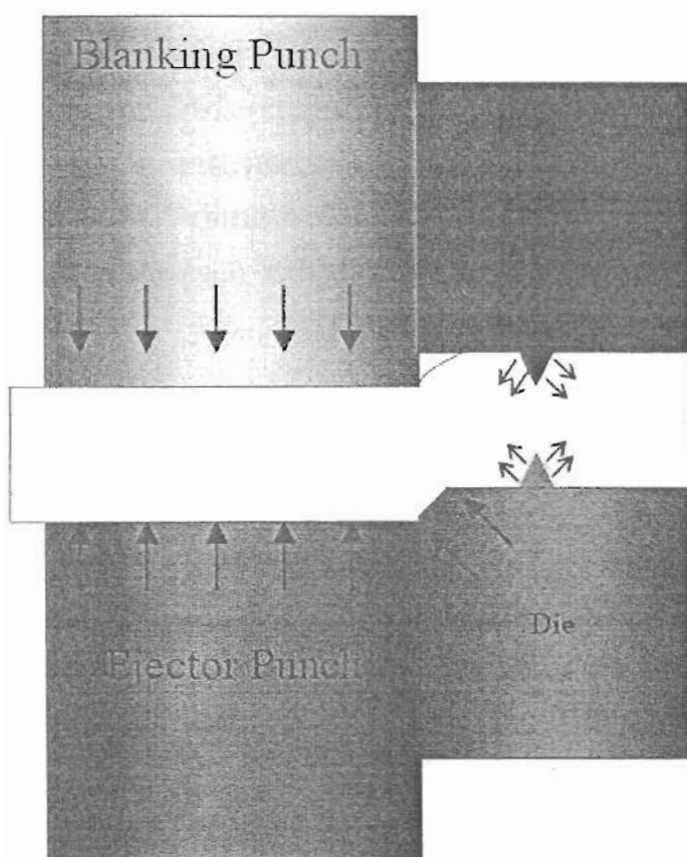
การดำเนินงานวิจัย

การศึกษาผลของการเอียงมุมปากตายในงานไฟน์แบลนก์ ที่มีผลกระทบบั้วผิวรอยตัดและคุณภาพรูปทรงที่ดีของชิ้นงานนั้น มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือ การออกแบบมุมเอียงปากตายต้องเป็นรูปทรงทางเรขาคณิตเพื่อให้ง่ายต่อการผลิตขึ้นส่วนแม่พิมพ์ โดยการออกแบบต้องยึดหลักการที่จะทำให้ได้มาซึ่งผิวรอยตัดที่เรียบตรงไม่มีรอยแตก หรือตัดได้เต็มความหนา (Full Shear) และชิ้นงานมีความราบเรียบสูง (Excellent Flatness) เหมือนกับงานไฟน์แบลนก์ทั่วไป ซึ่งจากแนวคิดการออกแบบมุมเอียงปากตายของงานไฟน์แบลนก์ดังกล่าว มีปัจจัยหลักที่ต้องการศึกษา 2 ปัจจัย คือ องศาในการเอียงมุมของปากตาย และความลึกการเอียงมุม ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 อย่างจะส่งผลกระทบต่อ แรงกดตัดของแบลนค์กึ่งพันธ์ (Blanking Punch) แรงกดอัดของวีริง (V-Ring) แรงกดอัดของอีเจกเตอร์พันธ์ (Ejector Punch) และการตกแต่งผิวสำเร็จบริเวณผิวรอยตัดงานไฟน์แบลนก์ (Burnishing)



ภาพที่ 3-1 การออกแบบมุมเอียงปากตาย

เมื่อมีการเอียงมุมปากตายจะส่งผลกระทบต่อขนาด และทิศทางของแรงกดที่กระทำกับวัสดุชิ้นงาน โดยจะมีผลทำให้วัสดุชิ้นงานมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง และเกิดพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปแบบถาวรในเนื้อวัสดุ ซึ่งขนาดแรงกดที่จะทำให้เกิดสภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ส่วนผสมทางเคมีและชนิดของวัสดุชิ้นงาน การที่วัสดุชิ้นงานมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง จะมีผลกับคุณภาพผิวและคุณภาพรูปทรงของชิ้นงาน ซึ่งงานวิจัยนี้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD. P/O สำหรับใช้ทำเฟืองโซ่รถจักรยานยนต์ โดยลักษณะแรงกด และทิศทางที่กระทำทำให้วัสดุชิ้นงานมีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง จนเกิดพฤติกรรมดังกล่าว จะเป็นดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 แสดงแรงกดชิ้นงานบริเวณปากตาย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการจำลองการทำงาน โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูปเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ และในส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการทดลองจริง (Experiment) โดยการนำผลการจำลอง มาทำการทดลอง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบและยืนยันผลการจำลอง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 เงื่อนไขขอบเขตในการวิจัย

- 3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย คือ เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O หน้า 7.2 mm
- 3.1.2 เคลือบเรซินเครื่องมือตัด 0.5 % ของความหนาวัสดุ
- 3.1.3 มุมคมตัดบริเวณปลายพันธ์ 90°
- 3.1.4 มุมลาดเอียงปากด้าย 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° , ความลึกมุมลาดเอียงปากด้าย 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 mm ตามลำดับ
- 3.1.5 วัสดุพันธ์-ด้ายคือเหล็กกล้าเครื่องมือ AISI M2
- 3.1.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้าย 62.0 mm
- 3.1.7 ออกแบบโมดูลการจำลองการไฟน์แบลنگด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อช่วยในการตัดสินใจ
- 3.1.8 จำลองการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป DEFORM
- 3.1.9 การจำลองตั้งอยู่บนสมมติฐาน แบลงก์กิ้งพันธ์ ด้าย แหวนจิก และ อีเจ็คเตอร์พันธ์ เป็นวัสดุแข็งเกร็งแบบสมมาตรรอบแกนพฤติกรรมการไหลตัวของวัสดุเป็นแบบ ยืดหยุ่นพลาสติก
- 3.1.10 ใช้สารหล่อลื่น Holifa: Fine Blanking Oil HFF 24 เป็นน้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้ในงานขึ้นรูปโลหะสำหรับการไฟน์แบลنگโดยตรงซึ่งมีสมบัติเหมือนน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติแต่มีความหนืดสูง สมบัติของน้ำมันดังกล่าวแสดงไว้ในภาคผนวก ข.
- 3.1.11 ความเร็วแบลงก์กิ้งพันธ์ 40 mm/s ขนาดกำลังเครื่องเพรส 320 ตัน

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกรรมวิธีการไฟน์แบลنگ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

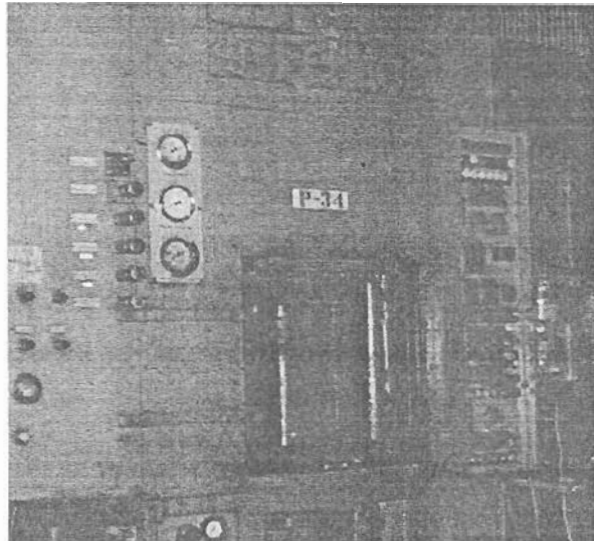
3.2.1 คอมพิวเตอร์ประมวลผล

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลจำเป็นต้องมีหน่วยประมวลผลที่ซอฟต์แวร์สามารถทำงานและประมวลผลได้ โดยการวิเคราะห์ครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ ที่มีหน่วยประมวลผลดังนี้

1. หน่วยประมวลผล PENTIUM IV 3.20 GHz หน่วยความจำ 1.2 GB
2. การ์ดจอที่ใช้ประมวลผลแบบ 3D หน่วยความจำ 128 MB
3. ฮาร์ดดิสก์ 80 GB

3.2.2 เครื่องไฮดรอลิกเพรสขนาด 320 ตัน

ในการทดลองจะทำการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องไฮดรอลิกเพรสแบบ Triple Action Press ของ Feintool รุ่น SMG P 34 ขนาด 320 ตัน ดังแสดงในภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 เครื่องไฮดรอลิกเพรสแบบสามจังหวะขนาด 320 ตัน

3.2.3 แม่พิมพ์

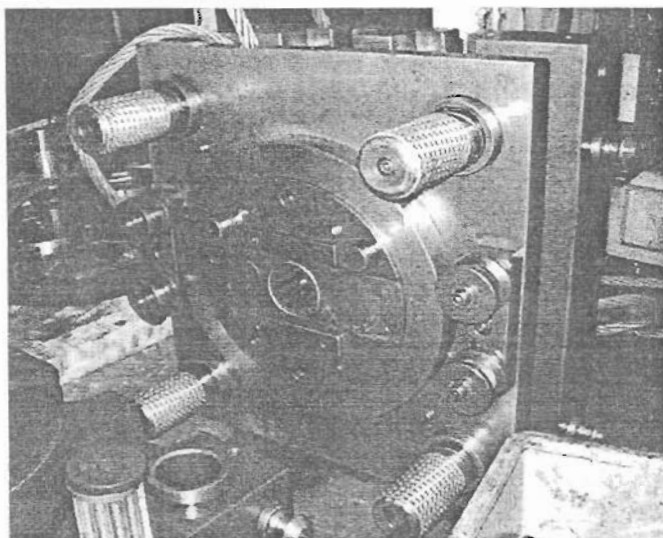
ในกรรมวิธีไฟน์เบลงก์ จะต้องมีความกระทำต่อชิ้นงาน 3 แรง โดยแรงทั้งหมดจะถูกส่งมาจากเครื่องเพรสแบบ 3 จังหวะ (Triple Action Press) ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้เครื่องไฮดรอลิกเพรสแบบสามจังหวะตัดชิ้นงาน โดยรูปแม่พิมพ์แสดงในภาพที่ 3-4

ชุดแม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบใช้ในการทดลองครั้งนี้ สามารถให้แรงกระทำต่อชิ้นงานครบทั้งสามแรง ซึ่งแรงทั้งสามได้จาก

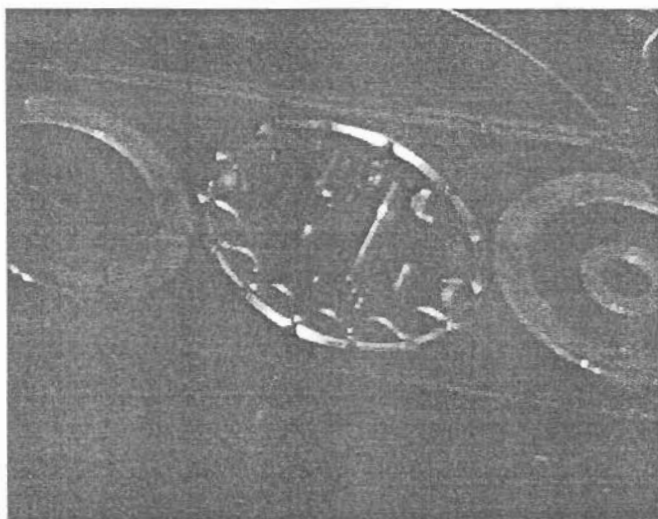
1. แรงตัดเป็นแรงที่ส่งผ่านมาจากแรมหลักของเครื่องไฮดรอลิกเพรส FeinTool
2. แรงกดแหวนจิก ได้จากกระบอกไฮดรอลิกชุด Ring indenter Force
3. แรงดันด้านการตัดเฉือน ได้จากชุดกระบอกไฮดรอลิกบริเวณด้านบนของชุดแม่พิมพ์

ไฟน์เบลงก์

แรงทั้งสามสามารถคำนวณค่าในเบื้องต้นได้จากสมการที่ 2-1 ถึง 2-4 ในบทที่ 2 ซึ่งในการคำนวณหาแรงก็เพื่อใช้ในการเลือกเครื่องจักรที่เหมาะสม การออกแบบแม่พิมพ์ และเลือกขนาดของแรงกดที่ใช้ในการไฟน์เบลงก์ การคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ง



ภาพที่ 3-4 ชุดแม่พิมพ์ไฟฟ้าแปลงก์

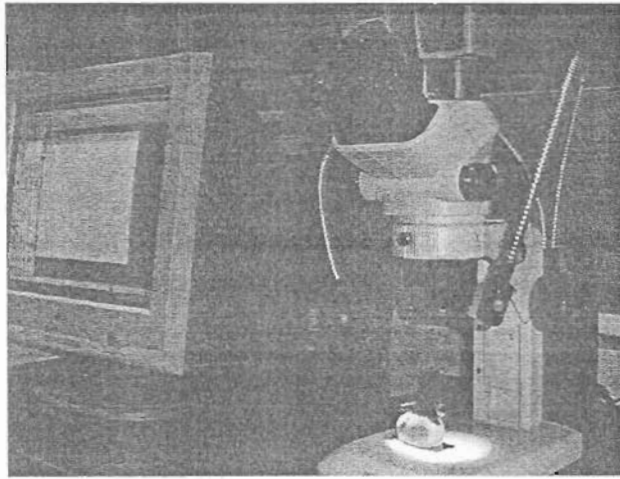


ภาพที่ 3-5 ดायโปรไฟน์ที่ใช้ในการทดลอง

การทำงานของแม่พิมพ์จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มของเครื่องเพรสเคลื่อนที่ดันชุดแหวนจิก กดอัดแผ่นชิ้นงาน ซึ่งแรงที่กดจะทำให้แหวนจิกตัวล่างกดอัดชิ้นงานด้วย จากนั้นพื้นที่จะเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานโดยที่มีฮีโรเตอร์พื้นที่ดันด้าน การตัดเฉือนจากด้านล่าง การเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานจะกระทำจนกระทั่งตัวตั้งระยะการตัดชิ้นงาน (Stopper) สัมผัสกันที่ความลึกประมาณ 7.2 mm เริ่มของเครื่องเพรสจึงทำการยกขึ้น

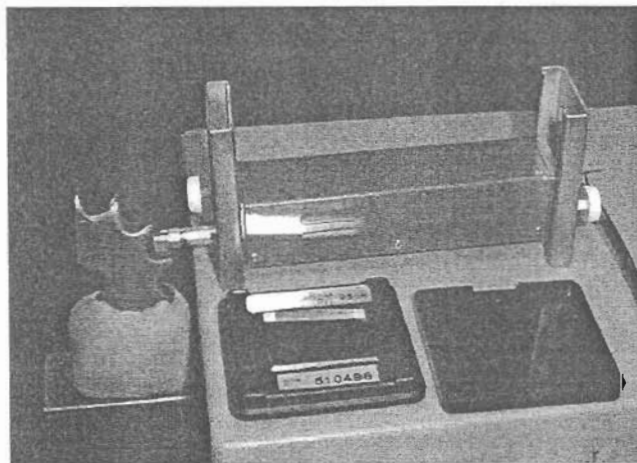
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินผล

3.3.1 ชุดกล้องจุลทรรศน์กับคอมพิวเตอร์ประมวลผลโปรแกรมซอฟต์แวร์อิมเมจ Olysia Eeasy ใช้ในการวัดความลาดเอียงภาครอยตัดขวางของชิ้นงานทดลอง W วัดความกว้างตายโรล b_E วัดความลึกตายโรล h_E เพอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัด h_1 เพอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัด h_2 รอยสการ์ ความลึกรอยฉีกขาดที่ยอมรับได้ t ความสูงรอยเลื่อน E



ภาพที่ 3-6 ชุดกล้องจุลทรรศน์และคอมพิวเตอร์ประมวลผล

3.3.2 เครื่องทดสอบความเรียบผิว (Surface Roughness Tester) อุปกรณ์วัดความเรียบผิวงาน ใช้วัดคุณภาพของผิวชิ้นงาน ให้เป็นไปตามฟังก์ชันความต้องการในการออกแบบชิ้นส่วนที่มีการสวมประกอบหรือใช้รองรับชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องโดยสามารถวัดหาค่า R_a ที่ระยะ cut-off ต่างๆ



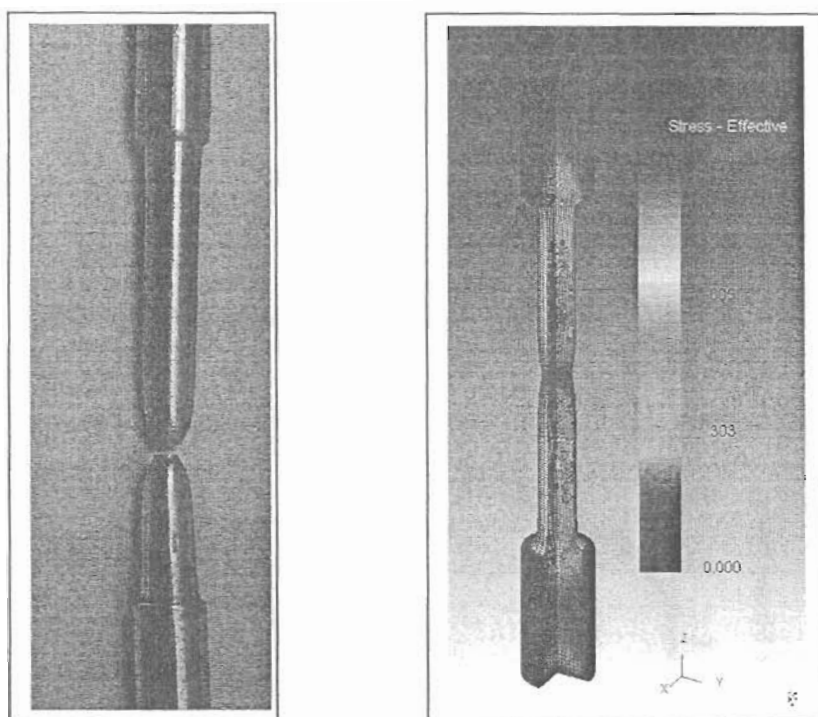
ภาพที่ 3-7 เครื่องวัดความเรียบผิว

3.4 การจำลองกรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

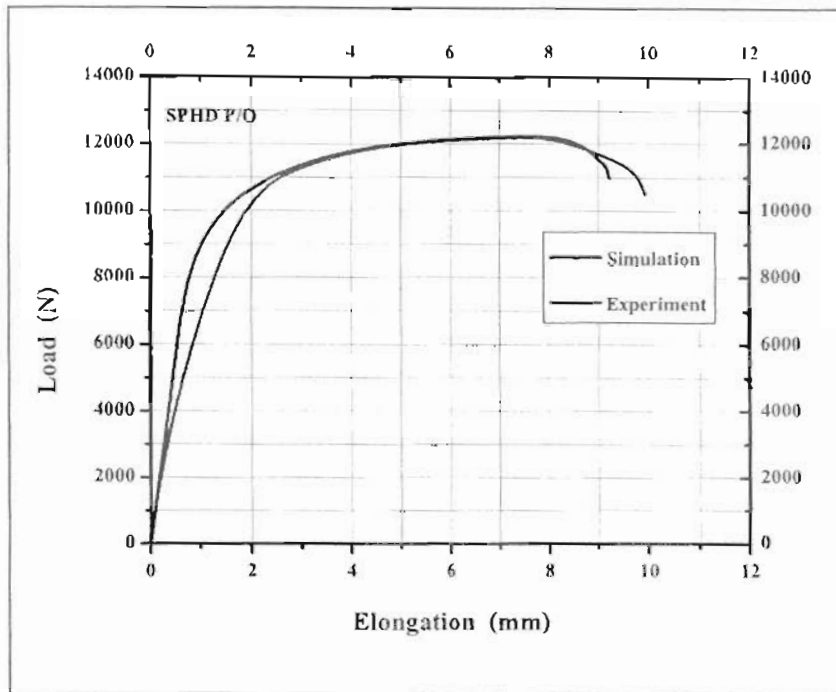
ลำดับขั้นตอนในการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ วิเคราะห์กรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์ผู้วิจัยได้จำแนกออกเป็นขั้นตอนดังนี้

3.4.1 การกำหนดสมบัติวัสดุ

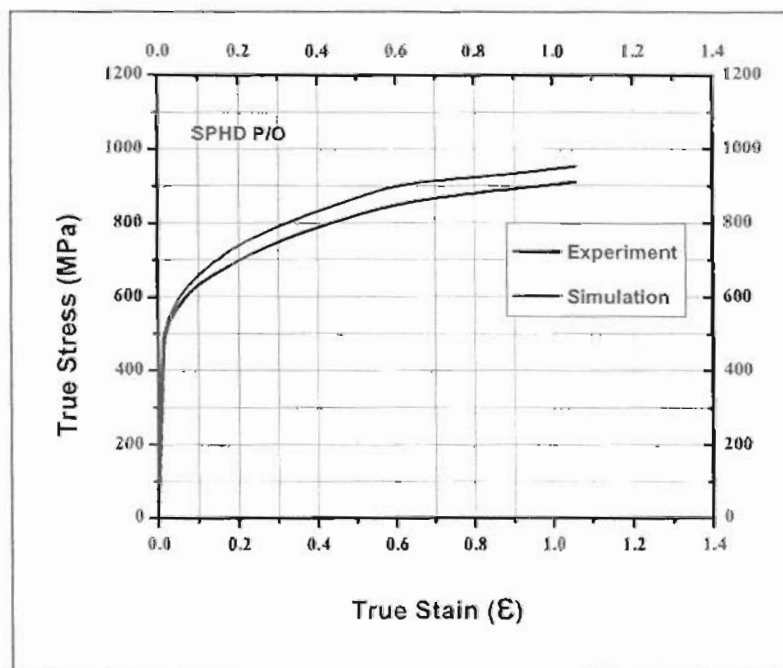
การจำลองโดยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้ผลการจำลองเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขต โดยไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดจากการจำลอง จำเป็นต้องมีการทดสอบสมบัติของวัสดุให้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งการทดสอบที่จะทำให้ได้มาซึ่งค่าต่างๆ คือการดึง (Tensile Test) ขึ้นทดสอบเปรียบเทียบกัน ซึ่งก็คือการทดสอบแรงดึงโดยการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการทดสอบจากเครื่องทดสอบแรงดึง เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงหรือตรงกันก่อนถึงนำค่าที่ได้ไปกำหนดสมบัติวัสดุในการจำลอง



ภาพที่ 3-8 แสดงการทดสอบแรงดึงและการจำลองการทดสอบแรงดึง



ภาพที่ 3-9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงดึงจากการทดลองกับการจำลอง



ภาพที่ 3-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดประสิทธิผลของการทดสอบแรงดึงจากการทดลองกับการจำลอง

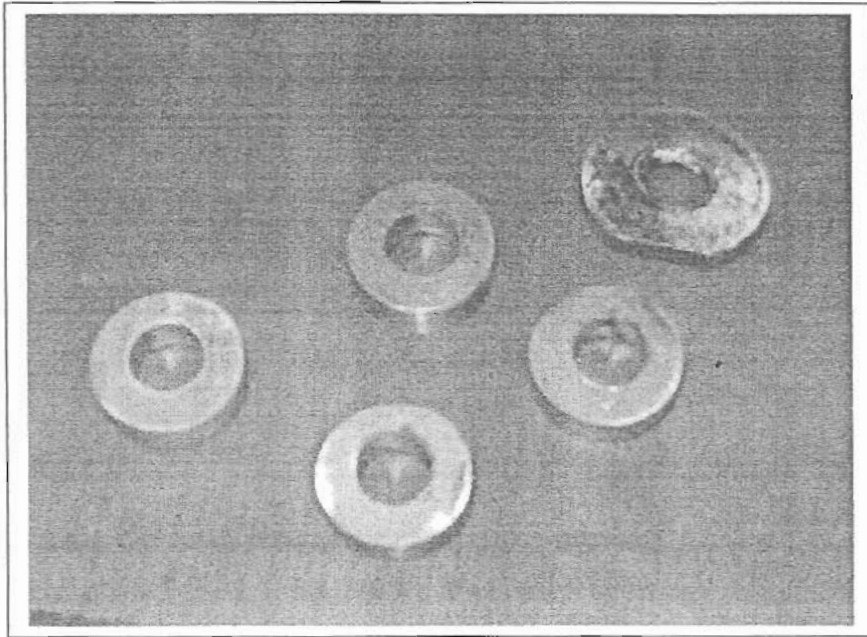
ตารางที่ 3-1 สมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบ (ภาคผนวก ก)

สมบัติทางกลของชิ้นงาน	เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O
ความเค้นแรงดึงสูงสุด	554 MPa
ความเค้นคราก	266 MPa
ค่าคงตัววัสดุ (K)	730.76
ค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดแข็ง (n)	0.27
มอดุลัสยืดหยุ่น (E)	201 GPa
อัตราส่วนของปัวซอง (ν)	0.33
สัมประสิทธิ์ความเสียหาย	0.114

หลังจากนำค่าความเค้น-ความเครียดประสิทธิผลของการทดสอบแรงดึง จากการทดลอง ดึงกับการจำลอง มาเปรียบเทียบผลกัน ได้ค่าที่ใกล้เคียงเป็นที่น่าพอใจ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าความผิดพลาด ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แล้วจึงนำค่าไปกำหนดค่าสมบัติวัสดุในการจำลองต่อไป

3.4.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันของวัสดุ จะมีผลต่อการไหลตัวของวัสดุชิ้นงานในแนวระนาบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนแม่พิมพ์กับวัสดุชิ้นงาน โดยงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานโดยวิธีการทดสอบแบบริง-เทส และเนื่องจากกรรมวิธีการไฟน์แบล็กจะใช้น้ำมันหล่อลื่นในการทดลอง ดังนั้นในการทดสอบแบบริง-เทส จำเป็นต้องมีการโซลมน้ำมันขึ้นทดสอบก่อนการทดลอง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ



ภาพที่ 3-11 ชิ้นทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ตารางที่ 3-2 แสดงผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานชิ้นทดสอบ
ความละเอียดผิวพื้นและด้าย Ra 0.3 μm

ชนิดวัสดุ	น้ำมันหล่อลื่น Holifa HFF. 24									
	ความ เรียบผิว Ra (μm)	ชั้น ที่	Internal Diameter (mm)		Height (mm)		% ID	% H	μ	$\bar{\mu}$
			ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง				
เหล็กกล้า คาร์บอนต่ำ SPHD P/O	1.4	1	10.2	10.9	7.1	5.2	5.88	26.76	0.115	0.114
		2	10.2	11.0	7.1	5.0	7.84	29.57	0.118	
		3	10.2	10.7	7.1	5.3	4.90	25.35	0.110	
		4	10.2	10.7	7.1	5.3	4.90	25.35	0.110	
		5	10.2	10.8	7.1	5.1	5.88	28.17	0.116	

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานตามกฎของคูลอมบ์ ของวัสดุชิ้นงานไฟน์
แบลงก์ที่ใช้ทดลองร่วมกับน้ำมันหล่อลื่น Holifa HFF. 24 และแม่พิมพ์ไฟน์แบลงก์ ทำให้ได้ค่า
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) = 0.114

3.4.3 เกณฑ์การแตกหักแบบเหนียว

ในงานตัดโดยใช้แม่พิมพ์จะมีเรื่องของความเสียหายในส่วนของขอบชิ้นงาน ดังนั้นในการนำเอา FEM มาวิเคราะห์กรรมวิธีการตัดจึงต้องพิจารณาถึงความเสียหายที่ส่วนของขอบตัดด้วย ซึ่งความเสียหายดังกล่าวเป็นความเสียหายแบบเหนียว โปรแกรม DEFORM สามารถวิเคราะห์ความเสียหายแบบเหนียวที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุได้ แต่ต้องกำหนดเกณฑ์ความเสียหาย (Fracture Criterion) ที่เหมาะสม เกณฑ์ของความเสียหายที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ Rice and Tracy เนื่องจากมีรายงานว่าสามารถทำนายความเสียหายของวัสดุ ในกรรมวิธีการตัดได้อย่างแม่นยำ สามารถแสดงให้เห็นในรูปของสมการที่ (2-7)

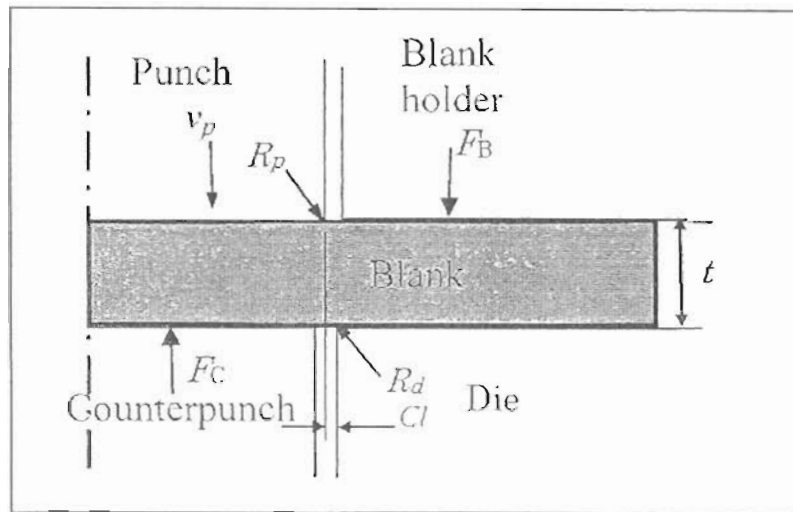
$$C_{Rice\&Tracy} = \int_0^{\epsilon} e^{\frac{\alpha \sigma_m}{\bar{\sigma}}} d\bar{\epsilon} \quad (3-1)$$

โดยที่ถ้าค่าที่ได้จากการอินทิเกรตตามสมการที่ (3-1) มากกว่าค่าวิกฤต C ซึ่งเป็นค่าคงที่เฉพาะของวัสดุ แสดงว่าจะเกิดความเสียหายกับวัสดุชิ้นงานขึ้น การกำหนดค่า C สามารถทำได้สองวิธี คือเปรียบเทียบตำแหน่งที่เริ่มเกิดความเสียหาย (Crack Initiation) ของชิ้นงาน ในกรรมวิธีการตัดจริงกับตำแหน่งที่เกิดขึ้นในการจำลองการทำงาน และอีกวิธีคือ ทำการทดสอบการดึงหรือการอัดวัสดุแล้วจึงคำนวณหาค่า C จากสมการที่ (3-1)

ในงานวิจัยนี้หาค่า C โดยวิธีเปรียบเทียบตำแหน่งที่เริ่มเกิดความเสียหายของชิ้นงาน ในกรรมวิธีการตัดจริงกับตำแหน่งที่เกิดขึ้นในการจำลองการทำงาน เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง และการจำลองการทำงานด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์อยู่แล้ว โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เริ่มเกิดความเสียหายเร็วที่สุด สำหรับเหล็กกล้าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีค่า $\alpha=1$, $C = 0.80$ โดยได้ค่าจากการลองผิดลองถูก เพื่อให้ได้การจำลองที่ใกล้เคียงตามความจริงที่สุด คือให้มีการฉีกขาดก่อนมีการตัดเกิดขึ้นหรือให้ฉีกขาดเมื่อมีการตัด (Fine Blank)

3.4.4 การจำลองกรรมวิธีการไฟน์แบล๊งค์

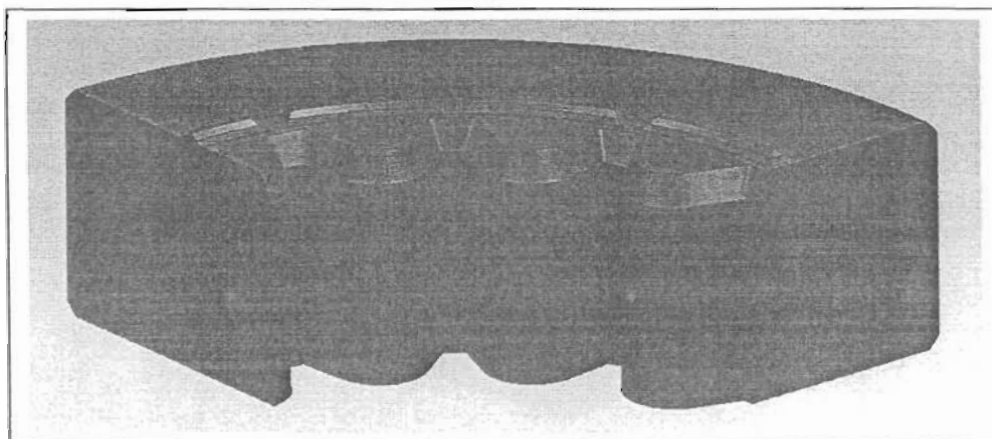
เมื่อทดสอบหาค่าสมบัติวัสดุอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา โดยได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตเบื้องต้น ดังนี้



ภาพที่ 3-12 แสดงภาพการจำลอง

ตารางที่ 3-3 เงื่อนไขการจำลองและการทดลอง

Simulation model	Axisymmetrical model
Object type	Blank:Elastic-Plastic Puch/Die:Rigid V-ring:Rigid Counterpunch:Rigid
Blanked material	SPHD P/O,thickness 7.2 mm
Clearance (CI)	0.036 mm
Tool cutting edge Radii (R_p, R_d)	Punch radii (R_p) 0.01 mm Die chamfer (R_d) Degree 0,5,10,15,20,25,30,35,40,45
V-ring force (F_B)	50 kN
Counterpunch force (F_C)	120 kN
Fracture criterion equations	Rice&Tracy
Friction Coefficient (μ)	0.1



ภาพที่ 3-13 แสดงแบบจำลองมุมเอียงปากคาย

3.4.1.1 การควบคุมกรรมวิธีการจำลอง

ก) การกำหนดรูปแบบการจำลอง (Simulation Mode) เป็นขั้นตอนในการกำหนดลักษณะของปัญหา มีอยู่ 2 ประเภท คือ การกำหนดแบบจำลองชนิดอุณหภูมิคงที่ (Isothermal) และชนิดอุณหภูมิไม่คงที่ (Non-Isothermal) ในงานวิจัยนี้กำหนดแบบจำลองชนิดอุณหภูมิคงที่ (Isothermal)

ข) การกำหนดลักษณะของปัญหา (Object Geometry) โดยรูปทรงที่มีอยู่ 2 ชนิด คือ แบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric) หรือแบบจำลองแบบความเครียดในระนาบ (Plane Strain) ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองเป็นแบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric)

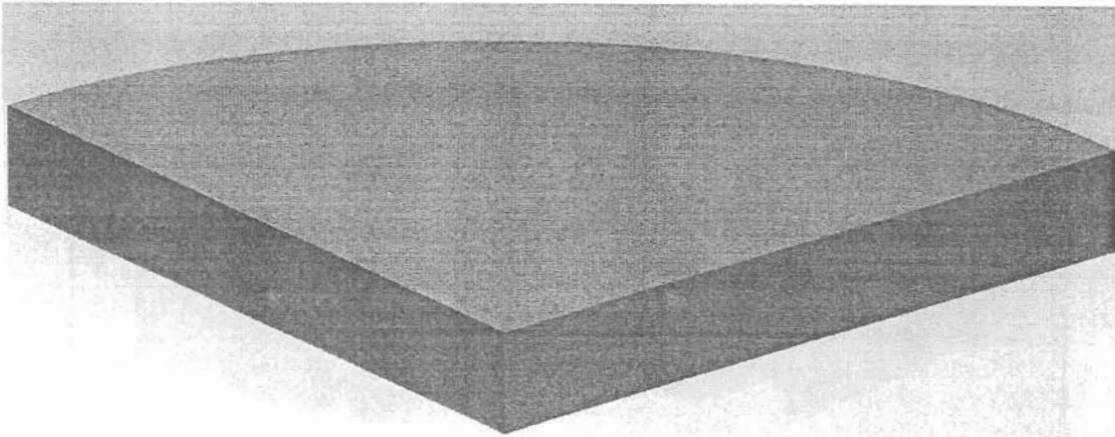
ค) การควบคุมหลัก (Main Controls) เป็นขั้นตอนควบคุมช่วงเวลาการจำลอง และแบ่งการคำนวณแบบจำลองนั้นออกเป็นช่วงสั้นๆ (Step) โดยสามารถควบคุมด้วยเวลาหรือระยะเคลื่อนที่ และกำหนดจำนวนช่วงการคำนวณ (Number of simulation Steps)

3.4.1.2 เงื่อนไขการจำลองวัสดุชิ้นงาน

ก) ชิ้นงานพิจารณาในระนาบสามมิติ แบบสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric)

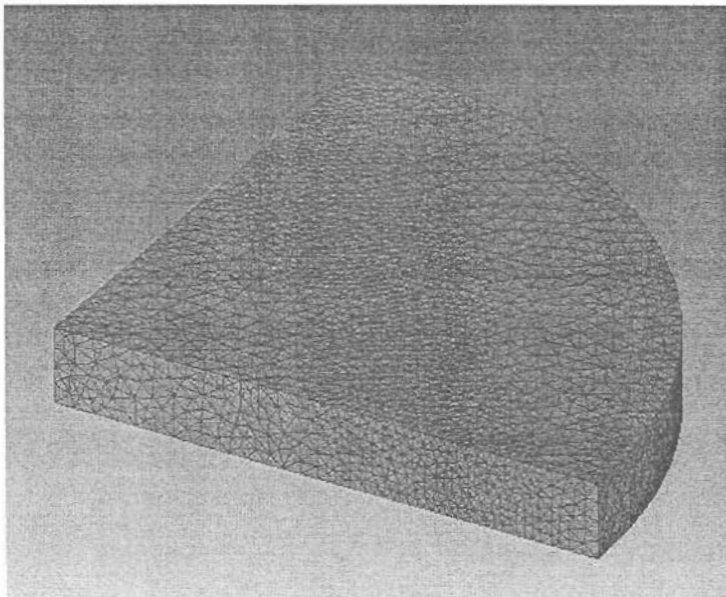
ข) ความหนาของชิ้นงานดิบ 7.2 mm

ค) กำหนดให้ชิ้นงานดิบที่ใช้ในการจำลองการตัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ส่วนที่ถูกกดยึดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 68 mm



ภาพที่ 3-14 แสดงแบบจำลองชิ้นงาน

3.4.1.3 กำหนดสมบัติของวัสดุชิ้นงาน ผู้วิจัยเลือกใช้สมบัติของวัสดุ เป็นแบบ Elastic-Plastic เนื่องจากในกรรมวิธีไฟนแบลนก์ก็มีบริเวณช่องว่างระหว่างพื้นที่กับด้ายที่แคบ ทำให้บริเวณดังกล่าว ซึ่งเป็นบริเวณที่ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปหรือโก่งเคี้ยว จะเกิดความเค้น และความเครียดสูงโดยเฉพาะ บริเวณขอบคมตัดของพื้นที่กับด้าย ค่าของความเค้น และความเครียดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และที่บริเวณปากด้ายมีความเครียดเกิดขึ้นสูงกว่าบริเวณอื่น แสดงว่าที่บริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนรูปที่รุนแรง และรวดเร็วในระหว่างการตัด ดังนั้นเราจึงจะพิจารณาการเปลี่ยนรูปของวัสดุในช่วงยืดหยุ่นได้



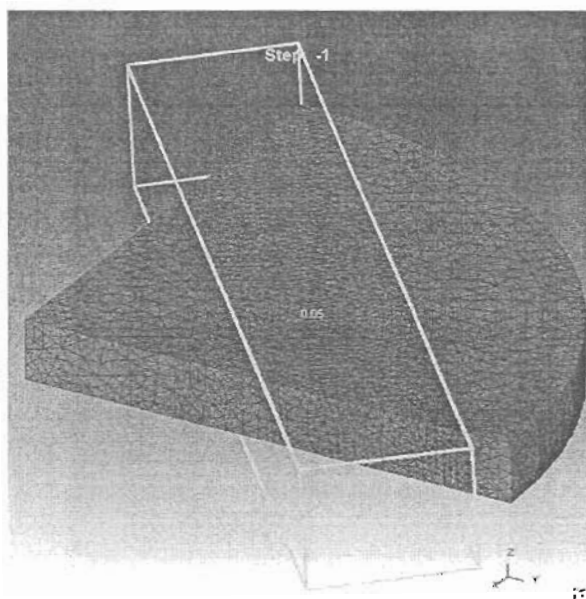
ภาพที่ 3-15 แสดงสมบัติวัสดุชิ้นงาน

สมบัติทางกลของชิ้นงานและความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจริง (Flow Curve) หาได้จากการทดสอบแรงดึงแสดงวิธีการไว้ในภาคผนวก ก โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจริงของ Power Law แสดงพฤติกรรมของวัสดุที่ใช้ทดลอง เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถอธิบายพฤติกรรมของวัสดุแบบเหนียวจากจุดครากตัวจนถึงภาวะแรงสูงสุดได้เหมาะสม

3.4.1.4 การแบ่งส่วนเอลิเมนต์ ชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้เป็นชนิดสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยม การแบ่งส่วนเอลิเมนต์ แบ่งที่ส่วนของชิ้นงาน คือ เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O สิ่งที่ต้องกำหนดในการแบ่งเอลิเมนต์มี 2 ส่วนหลัก ดังนี้

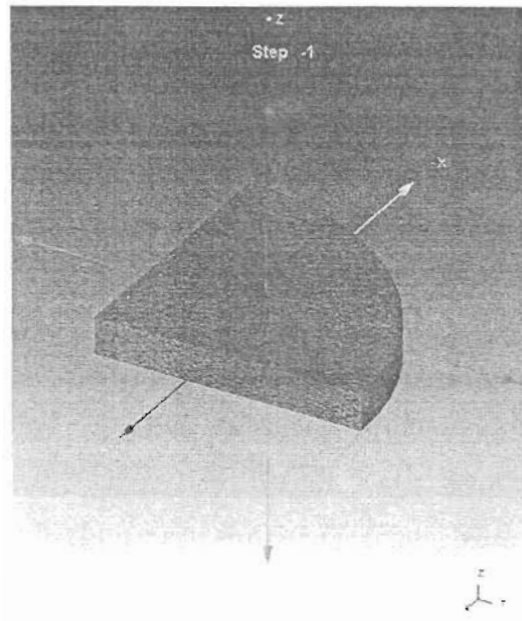
ก) กำหนดจำนวนเอลิเมนต์ เป็นการกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ที่ต้องการแบ่งโดยประมาณ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เอลิเมนต์จำนวน 40,000 เอลิเมนต์

ข) กำหนดความหนาแน่นของเอลิเมนต์ โดยกำหนดให้เอลิเมนต์มีความหนาแน่นมากบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปมากและความเค้นสูง ได้แก่บริเวณช่องว่างระหว่างพันธกับตาย หรือบริเวณ Shear Band และเนื่องจากการวิจัยนี้พิจารณาในส่วนของตายโรล ความสูงรอยเสี้ยน (Burr) และความลาดเอียงภาคตัดขวางรอยตัดเฉือน ดังนั้น จึงต้องทำให้เอลิเมนต์มีความหนาแน่นมากบริเวณส่วนที่ใกล้ขอบตาย ดังแสดงในภาพที่ 3-16 โปรแกรม DEFORM สามารถกำหนดความหนาแน่นของเอลิเมนต์โดยแบ่งเป็นอัตราส่วน (Ratio) ตามตำแหน่งต่างๆ ได้ตามต้องการ และจะต้องลงตัด และวัดค่าระยะตัดเฉือน ความสูงรอยเสี้ยน และความเอียงรอยตัดเฉือน ว่าอัตราส่วนนี้ทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลองหรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็ต้องปรับเปลี่ยนค่าจนได้อัตราส่วน ความหนาแน่นของ เอลิเมนต์ที่เหมาะสม



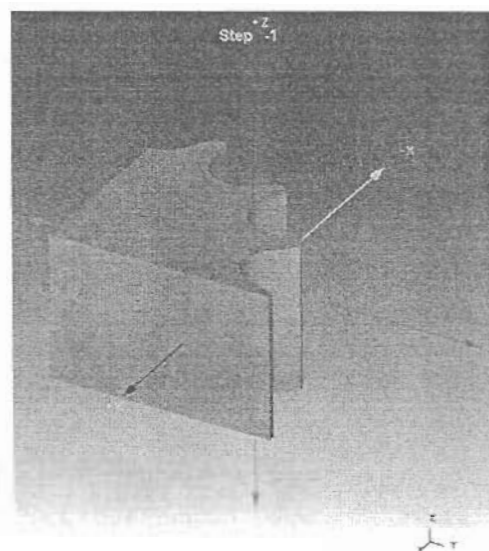
ภาพที่ 3-16 แสดงการแบ่งส่วนเอลิเมนต์

3.4.1.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบ เงื่อนไขขอบที่กำหนดในแบบจำลอง กำหนดโดยไม่ให้มีการเคลื่อนที่ของโหนดในแนวแกน X และแนวแกน Y ตลอดแนวความยาวในส่วนงานชิ้นงานที่ถูกยึดเอาไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3-17



ภาพที่ 3-17 แสดงเงื่อนไขของแบบจำลองชิ้นงาน

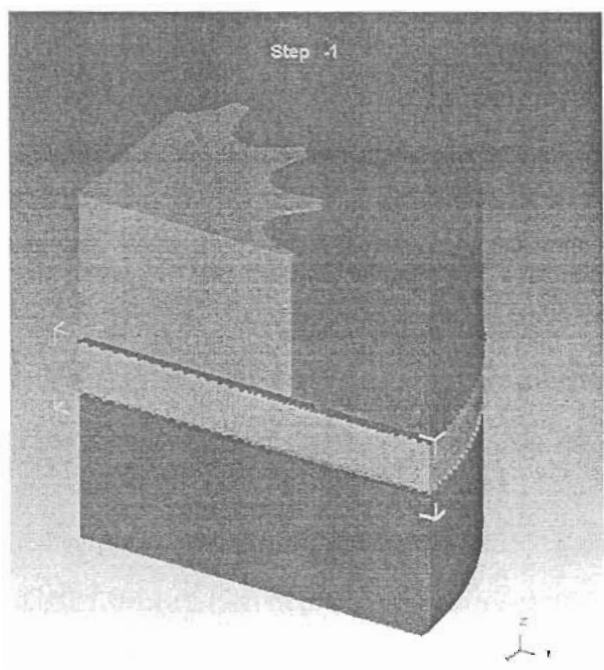
3.4.1.6 การกำหนดการเคลื่อนที่ของแบลงก์กิ้งพั่นซ์ กำหนดให้แบลงก์กิ้งพั่นซ์ มีทิศทางการเคลื่อนที่ลงในแนวแกน - Z ด้วยความเร็วคงที่ 40 mm/s



ภาพที่ 3-18 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่ของแบลงก์กิ้งพั่นซ์

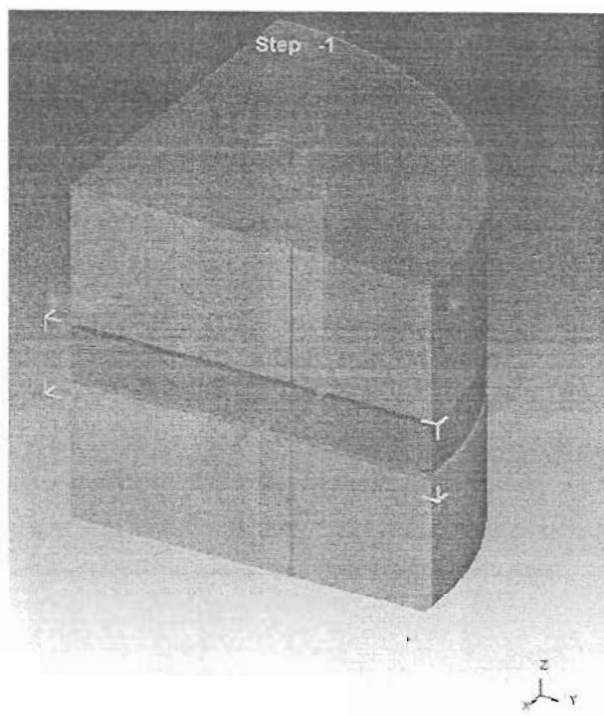
3.4.1.7 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

ก) การกำหนดคู่สัมผัส คือการกำหนดคู่สัมผัสระหว่างวัตถุ โดยกำหนดให้มีการสัมผัสกันระหว่าง เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O กับวัตถุเครื่องมือ (แปลงกึ่งพื้นซ์และตาย) โดยเหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O ซึ่งเป็นวัตถุที่มีการเปลี่ยนรูปเป็น Slave และวัตถุเครื่องมือเป็น Master ดังแสดงในภาพที่ 3-19 วัตถุชิ้นงานเป็นสีเหลือง Slave ส่วนแปลงกึ่งพื้นซ์เป็น Master สีเขียว



ภาพที่ 3-19 แสดงการกำหนดคู่สัมผัสระหว่างวัสดุกับชิ้นงาน

ข) การกำหนดความเสียหายระหว่างเหล็กกล้า ตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O กับวัตถุเครื่องมือ(แปลงกึ่งพื้นซ์และตาย) โดยกำหนดเป็นความเสียหาย कुलอมर्ब มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเท่ากับ 0.114 ดังแสดงในภาพที่ 3-20

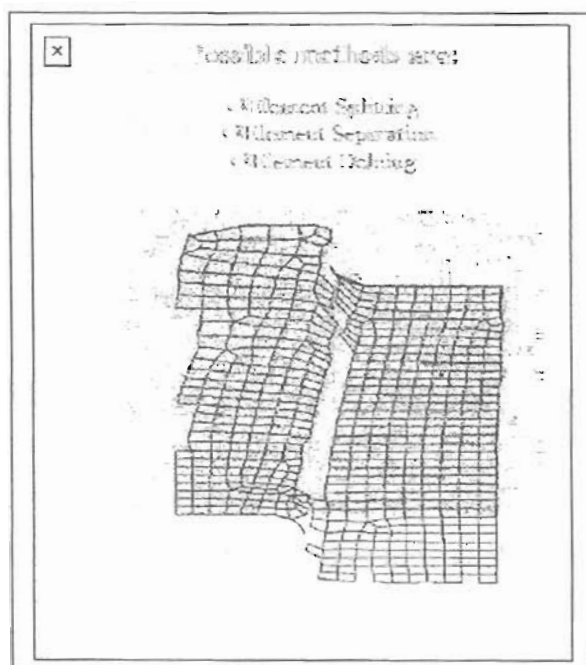


ภาพที่ 3-20 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบการสัมผัสระหว่างวัสดุ

3.4.2 การประมวลผล

การประมวลผล (Post-Processing) ทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขของนิวตัน-ราฟสัน ในการแก้ปัญหาสำหรับกรณีวิธีการจำลองการไพน์แบลนก์ เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O

การแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) ในโปรแกรม DEFORM ในโปรแกรมจะมีอยู่หลายเกณฑ์ (Criteria) ที่ใช้เพื่อกำหนดให้วัสดุเกิดการแตกหักหรือฉีกขาดออกจากกัน เช่น Normalized Cockroft and Latham, Cockroft and Latham, McClintock, Rice and Tracy, Oyane, Ayada [37] เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เกณฑ์การแตกเหนียวแบบ Rice and Tracy และในโปรแกรม DEFORM ได้ใช้วิธีลบเอลิเมนต์ (Elements Deletion) ดังแสดงในภาพที่ 3-21 การดำเนินการที่เกี่ยวกับ เอลิเมนต์จะมีทั้งการลบเอลิเมนต์ การแยกเอลิเมนต์ (Element Separation) ใช้วิธีการแยกเอลิเมนต์ที่อยู่ติดกันออกจากกัน การผ่าเอลิเมนต์ (Element Splitting) คือการใช้วิธีการผ่าเอลิเมนต์ออกเป็นสองส่วน แต่ในโปรแกรม DEFORM เลือกใช้วิธีการลบเอลิเมนต์ดังที่กล่าวมาแล้ว อัลกอริทึม (Algorithm) ที่ใช้ในการลบเอลิเมนต์ของโปรแกรม DEFORM ดังแสดงในภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-21 วิธีลบเอลิเมนต์



ภาพที่ 3-22 ขั้นตอนในการลบเอลิเมนต์ของโปรแกรม DEFORM

3.4.3 แสดงการประมวลผล

การแสดงผลการประมวลผล (Post-Processing) หลังจากการประมวลผลของกรรมวิธีการตัดขอบ เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SP4D P/O เสร็จสิ้นแล้ว ผลที่ได้จากการประมวลผลจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลขภาพกราฟฟิค และกราฟความสัมพันธ์ เช่น กราฟความสัมพันธ์ของแรงต่อเวลา หรือแรงต่อระยะการเคลื่อนที่ ภาพกราฟฟิคของความเค้น และความเครียด เป็นต้น

3.5 การดำเนินการทดลอง

หลังจากประมวลผลการทดลองโดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ DEFORM เสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้นำเอาชิ้นงานที่ทำการจำลองมาทำการทดสอบ โดยสุ่มตัวอย่างจากชิ้นงานที่ได้ทำการทดลองจริง (Experiment) โดยในการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองเป็นขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 ออกแบบชุดแม่พิมพ์ไฟน์แบล็ก ให้ตรงตามขอบเขตเงื่อนไขการออกแบบแม่พิมพ์ไฟน์แบล็กและออกแบบพื้นที่ตายตรงกับข้อมูลการจำลองที่เห็นว่าเหมาะสมที่สุด และที่เห็นว่าไม่เหมาะสมที่สุด จากนั้นสุ่มตัวอย่างชิ้นงานมาทำการวัดค่า นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาจำนวนตัวอย่าง ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% และนำชิ้นงานสุ่มตามจำนวนที่คำนวณได้มาวัดค่าหาขนาดพิกัดความเรียบผิว คุณภาพผิวงานตลอดถึงพิกัดรูปทรงภาคตัดขวางรอยตัดเฉือน

3.5.2 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อหาปัจจัยแวดล้อมที่อาจทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นภายในขั้นตอนการทดลอง และให้แน่ใจว่าการทดลองไม่เกิดปัจจัยย่อยเข้ามาแทรกแซงผลการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

3.6 ประมวลผลการทดลอง (Post-Processing)

เปรียบเทียบผลการจำลองการไฟน์แบล็ก ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูปกับการทดลอง (Experiment) เพื่อยืนยันผลการจำลอง

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

จากการดำเนินการทดลองในบทที่ 3 ก็จะได้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์และสรุปผล โดยข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะนำเสนอเป็นขั้นตอนตามการดำเนินการดังต่อไปนี้

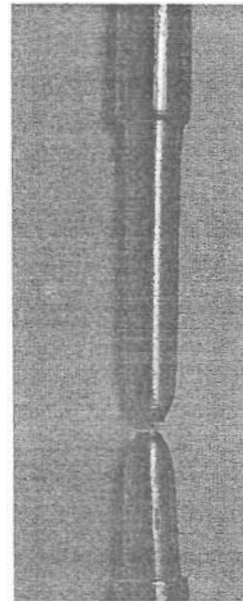
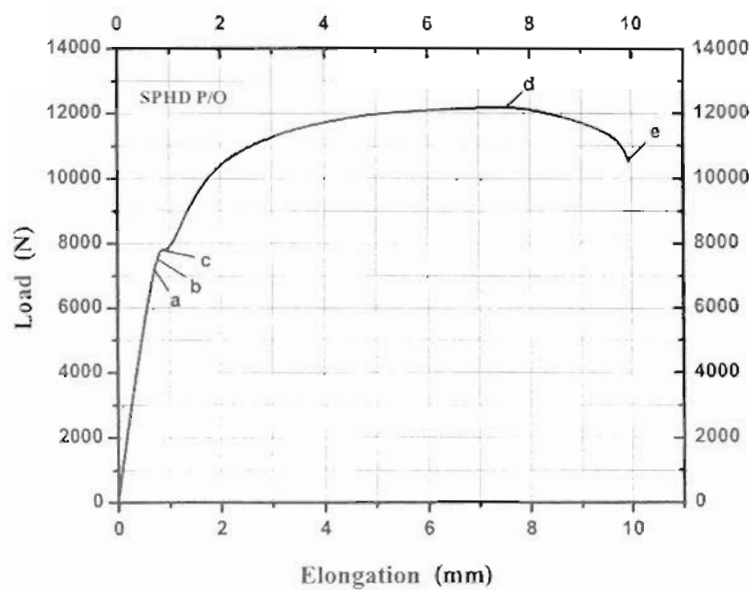
4.1 ผลการทดสอบแรงดึง

การทดสอบโดยการดึง เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายที่สุดในทุกวิธีของการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุ และนิยมทดสอบกันมาก เพราะสามารถที่จะให้ผลที่เป็นสมบัติทางกลพื้นฐานได้พอสมควร เช่น ให้ผลเกี่ยวกับความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะ และลักษณะการแตกหักของวัสดุ ซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบ และเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป โดยทั่วไปการทดสอบจะใช้แรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเพื่อดึงชิ้นงานทดสอบให้ยืดออก และขาดในที่สุดสำหรับการทดสอบโดยการดึงนั้นจะนิยมทดสอบกับวัสดุที่มีสมบัติเหนียวมากกว่าวัสดุเปราะ

ก่อนที่จะนำเอาวัสดุชนิดใดมาทำการทดลอง มีสิ่งที่จะต้องดำเนินการก่อนเป็นครั้งแรกคือการนำวัสดุชนิดนั้นและต้องเป็นวัสดุที่จะใช้ในการผลิต มาทำการทดสอบหาสมบัติของวัสดุเพื่อหาค่าอ้างอิงที่จะไปใช้ในการทดลองและการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการทดสอบแรงดึง ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการทดสอบนี้คือเหล็กตามมาตรฐาน JIS. SPHD P/O ความหนา 7.2 mm การทดสอบได้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 554 N/mm^2 กราฟผลทดสอบแรงดึงแสดงไว้ดัง ภาพที่ 4-1

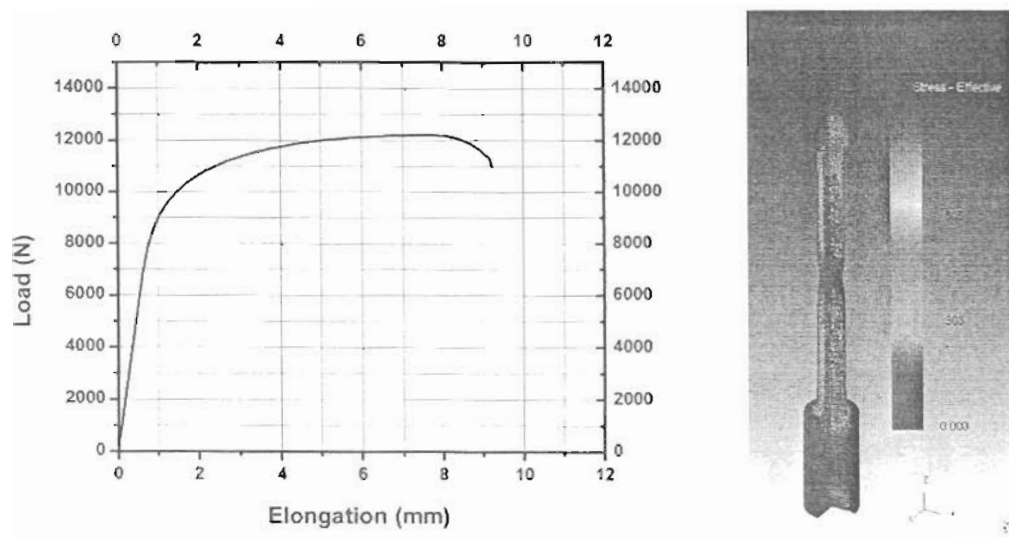
4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและส่วนที่ยืดออกหรือระหว่างความเค้นและความเครียด

ในการหาความแข็งแรงและสมบัติต่างๆ ของวัสดุ จะต้องทดสอบตัวอย่างของวัสดุนั้นจนกระทั่งหักหรือขาด โดยการทดสอบที่ใช้คือการทดสอบแรงดึง ซึ่งจากการทดสอบจะได้กราฟดังภาพที่ 4-1

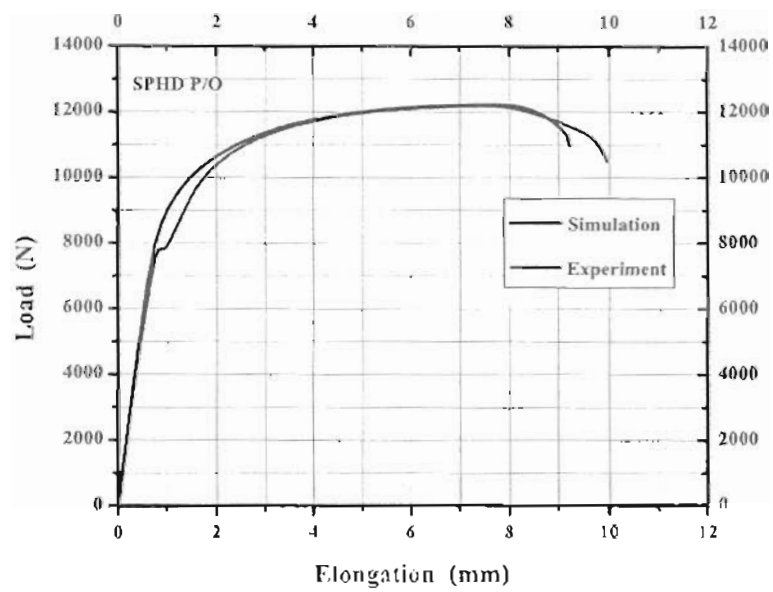


ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง

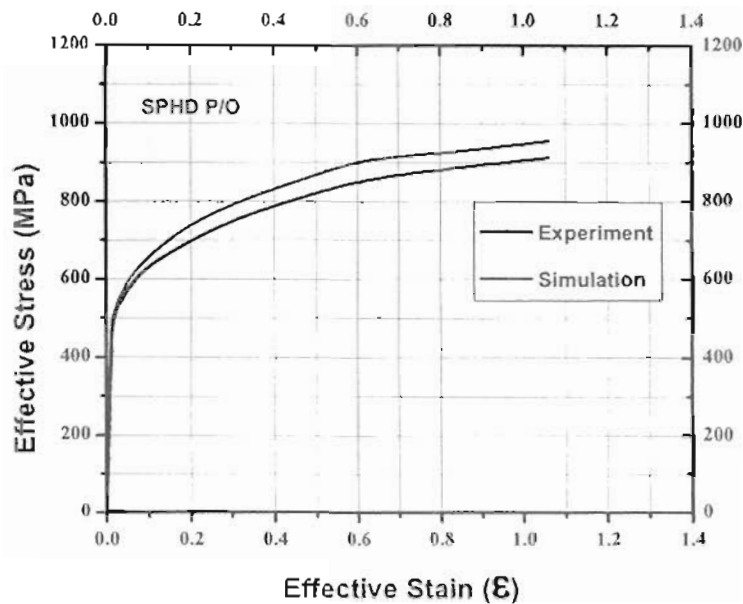
การทดสอบแรงดึงจะทำให้ทราบสมบัติต่างๆของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการจำลอง ดังนั้นในการจำลองจึงจำเป็นต้องมีการทดลองการดึงโดยไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาสมบัติต่างๆ โดยผลของการจำลองจะต้องถูกและตรงกัน กับการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง



ภาพที่ 4-2 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการจำลอง



ภาพที่ 4-3 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบการทดสอบแรงดึงระหว่างการจำลองและการทดลอง



ภาพที่ 4-4 กราฟเปรียบเทียบความเค้น - ความเครียดประสิทธิผล
ระหว่างการจำลองและการทดลอง

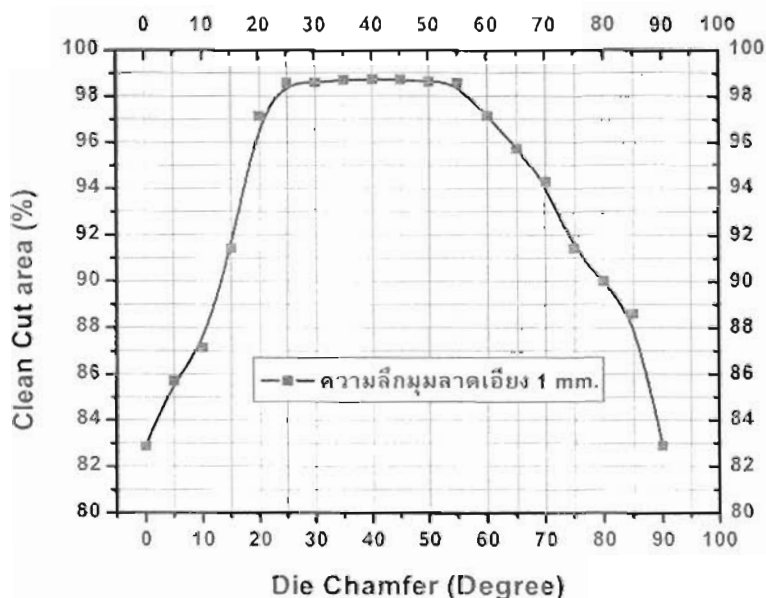
การเปรียบเทียบผลของความเค้นและความเครียดประสิทธิผลระหว่างการจำลอง และการทดลอง สามารถบ่งบอกได้ว่า สมบัติของวัสดุจากการทดลองให้ผลที่ใกล้เคียงกับการจำลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การหาสมบัติวัสดุจากการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ให้ผลตรงกับทดลอง ซึ่งมีความผิดพลาดบ้างเล็กน้อย โดยเกิดจากปัจจัยต่างๆ ในการทดสอบแรงดึง ดังภาพที่ 4-4

4.2 การวิเคราะห์การจำลองเพื่อการตัดสินใจ

เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบมุมเอียงปากตาย ที่ทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณรอยตัดเฉือน ที่มีผลกับความราบเรียบผิวรอยตัด ผู้วิจัยได้ทำการจำลองการทำงานไฟน์แบลنگก์ด้วยกรรมวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบเพื่อดูในเบื้องต้นก่อนว่า มุมเอียงปากตายที่มีผลกระทบต่อความราบเรียบผิวรอยตัด จะมีแนวโน้มไปทางใด โดยการจำลองจะกำหนดค่ามุมเอียงปากตายตั้งแต่ 0-90 โดยเพิ่มครั้งละ 5 องศา ที่ระยะความลาดเอียงปากตาย 1 mm ซึ่งจะนำผลที่ได้มาวิเคราะห์การจำลองต่อไป

ผลจากการจำลอง แสดงดังภาพที่ 4-5 ซึ่งมุมเอียงปากตายที่ให้ค่าความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน (h_{s1}) จะให้ผลมีแนวโน้มดีขึ้นจากมุม 0-45 องศาจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงจนถึงมุมปากตาย 90 องศา ดังนั้นจึงสามารถเลือกมุมปากตายช่วงระหว่าง 0-45 องศา มาวิเคราะห์

เหตุผลในการเลือกมุมปากตายอีกอย่างคือ กรรมวิธีการในการผลิตมุมปากตายช่วงระหว่าง 0-45 องศาสามารถทำได้ง่ายกว่า



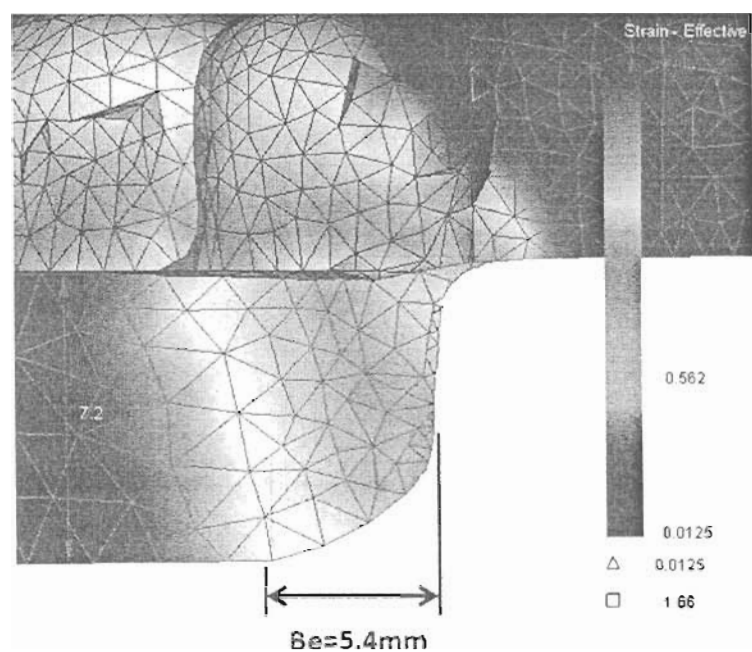
ภาพที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมปากตายกับความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน

จากภาพที่ 4-5 แสดงว่าการจำลองให้ผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน เช่น เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบ (h_{s1}) ความกว้างตายโรล (C) ซึ่งความกว้าง ตาย-โรล ควรต่ำกว่า 30% ของความหนาวัสดุและความลึกตายโรล (D) ไม่ควรเกิน 20% ของความหนาวัสดุ ซึ่งในการจำลองครั้งนี้ให้ผลสอดคล้องกับทฤษฎี

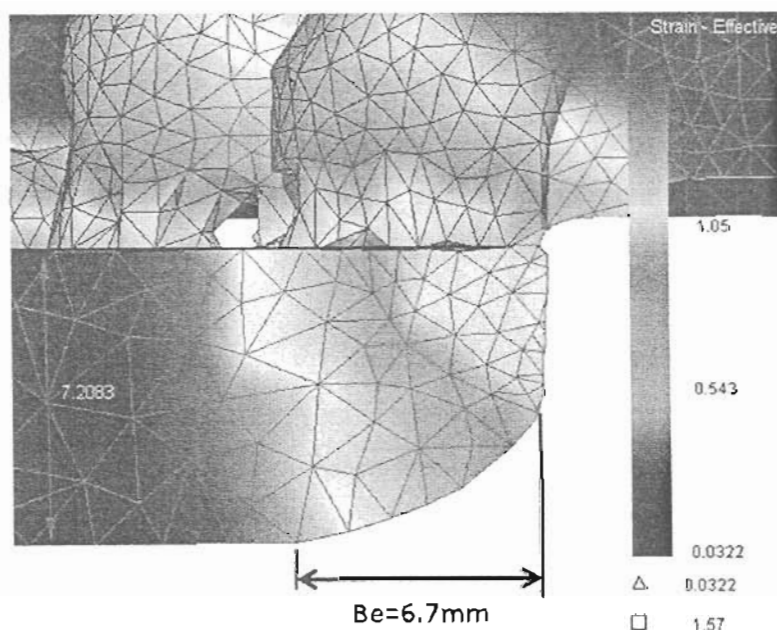
4.3 การจำลองและวิเคราะห์ผล

เมื่อวิเคราะห์ผลของมุมเอียงปากตาย ที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวตัดเฉือนมากที่สุด แล้วจากนั้นนำผลของช่วงองศามุมปากตายดังกล่าวมาทำการจำลองในขั้นตอนต่อไปคือ กำหนดเงื่อนไขการจำลองโดยให้มุมปากตาย 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 องศาตามลำดับ และปรับเปลี่ยนความลึกมุมเอียงปากตายของแต่ละช่วงองศา โดยค่าความลึกมุมเอียงปากตายมีค่าดังนี้ คือ 0.5, 1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 mm โดยแรงกดวี-ริง และแรงกดเคอร์เตอร์พันซ์คงที่ ได้ผลดังนี้

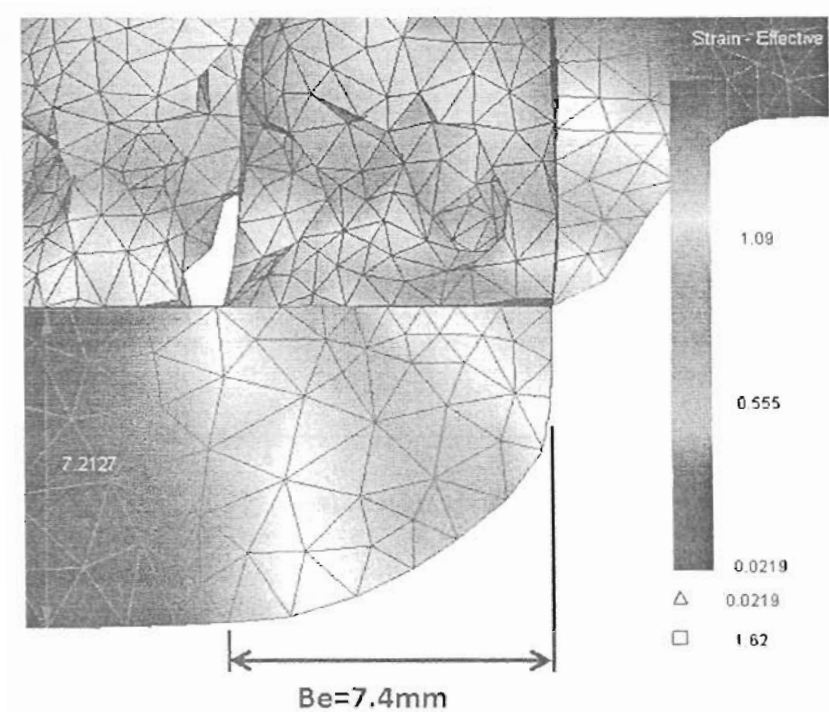
4.3.1 อิทธิพลของมุมปากคายและความลึกมุมปากคายต่อความกว้างตายโรล



ภาพที่ 4-6 ภาพแสดงการวัดค่าความกว้างตายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-7 ภาพแสดงการวัดค่าความกว้างตายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 3 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-8 ภาพแสดงการวัดค่าความกว้างตายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา
ความลึกเอียงมุม 5 mm ของการจำลอง

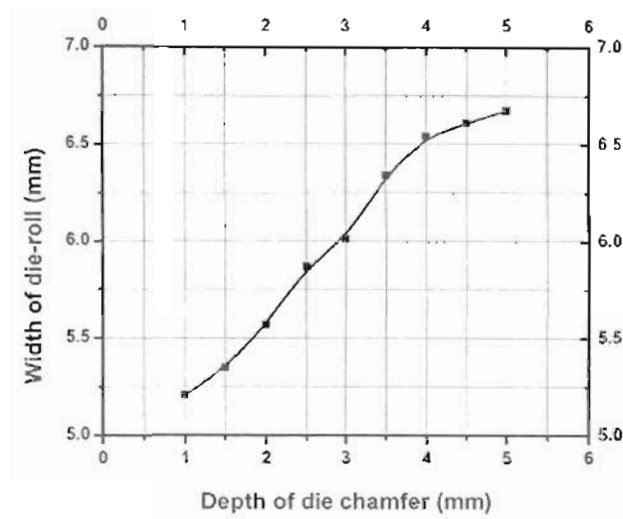
ภาพที่ 4-6 ถึง 4-8 จะเป็นภาพที่แสดงวิธีการวัดค่าของความกว้างตายโรลจากการจำลอง ทำให้ได้ข้อมูล ระหว่างความลึกมุมปากตายกับความกว้างตายโรลมาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ โดยจะเห็นว่าความลึกมุมปากตายมีค่ามากขึ้น ทำให้ความกว้างตายโรลมากขึ้นตามในลักษณะ เส้นซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

สำหรับมุมปากตาย 5 องศา

$$Y = 0.38091X + 4.87756 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



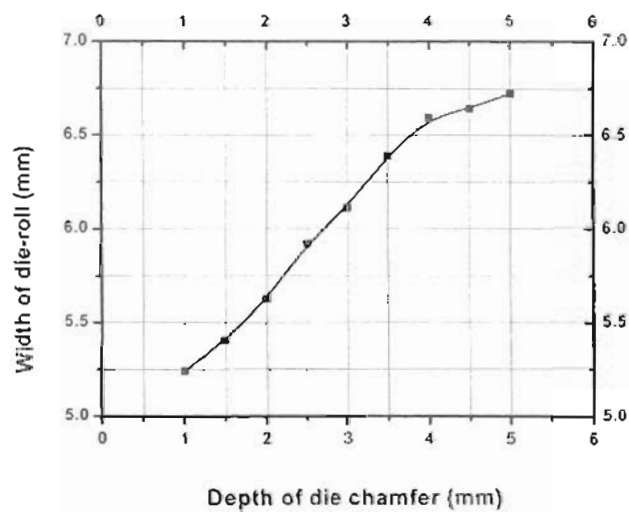
ภาพที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 5 องศา

สำหรับมุมปากตาย 10 องศา

$$Y = 0.37917X + 4.93607 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



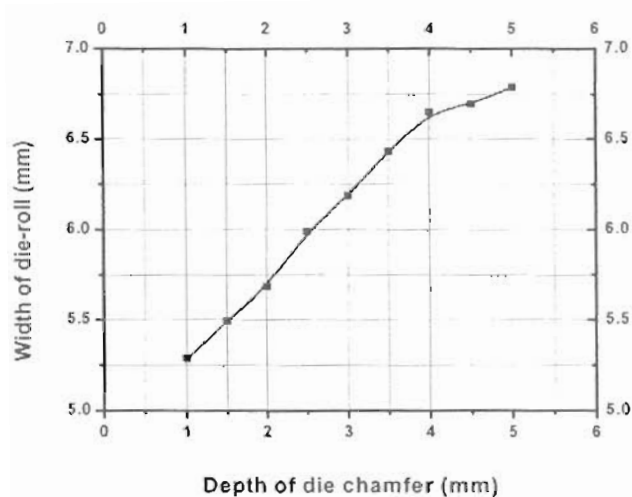
ภาพที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 10 องศา

สำหรับมุมปากตาย 15 องศา

$$Y = 0.37662X + 5 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



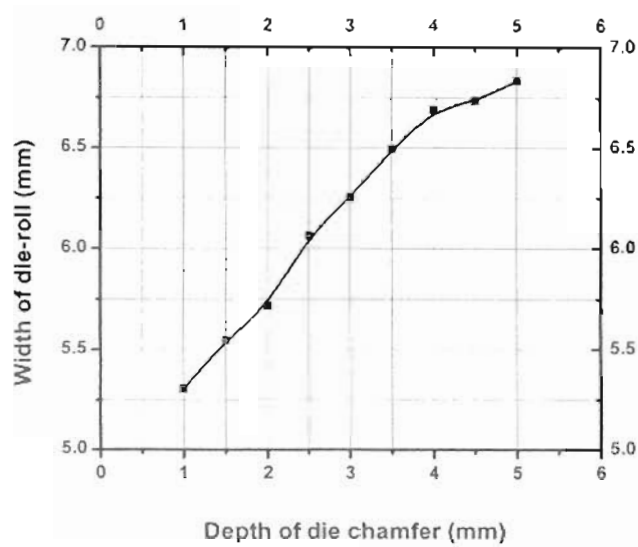
ภาพที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 15 องศา

สำหรับมุมปากตาย 20 องศา

$$Y = 0.3773X + 5 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



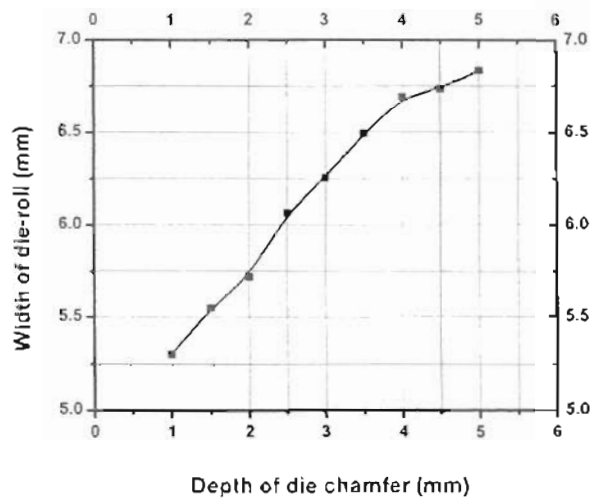
ภาพที่ 4-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรลกับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 20 องศา

สำหรับมุมปากด้าย 25 องศา

$$Y = 0.3773X + 5 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างด้ายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากด้าย (mm)



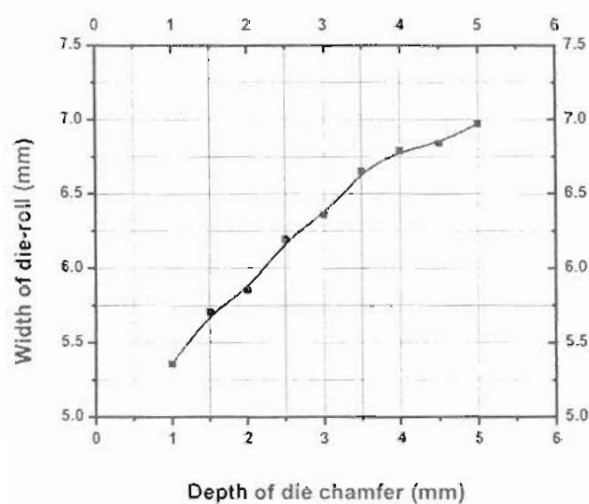
ภาพที่ 4-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างด้ายโรลกับความลึกมุมปากด้ายที่มุม 25 องศา

สำหรับมุมปากตาย 30 องศา

$$Y = 0.3779X + 5.17211 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



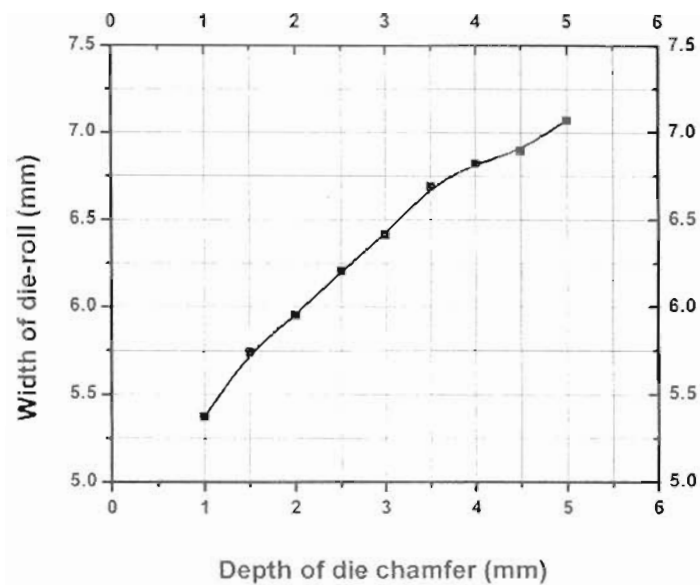
ภาพที่ 4-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 30 องศา

สำหรับมุมปากตาย 35 องศา

$$Y = 0.3847X + 5.20025 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



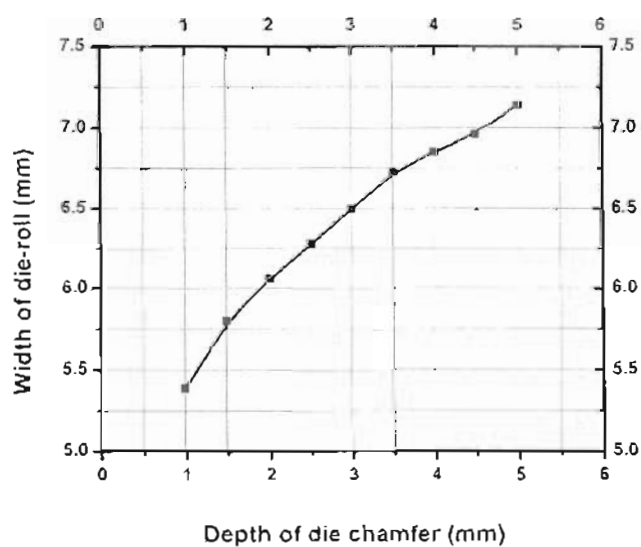
ภาพที่ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 35 องศา

สำหรับมุมปากตาย 40 องศา

$$Y = 0.38429X + 5.26339 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



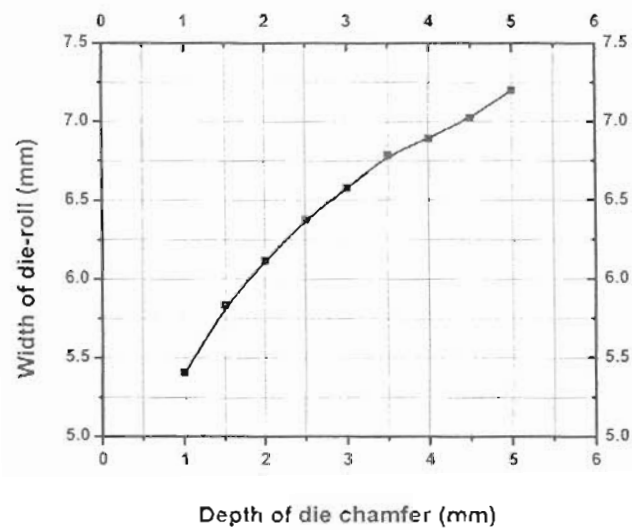
ภาพที่ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 40 องศา

สำหรับมุมปากตาย 45 องศา

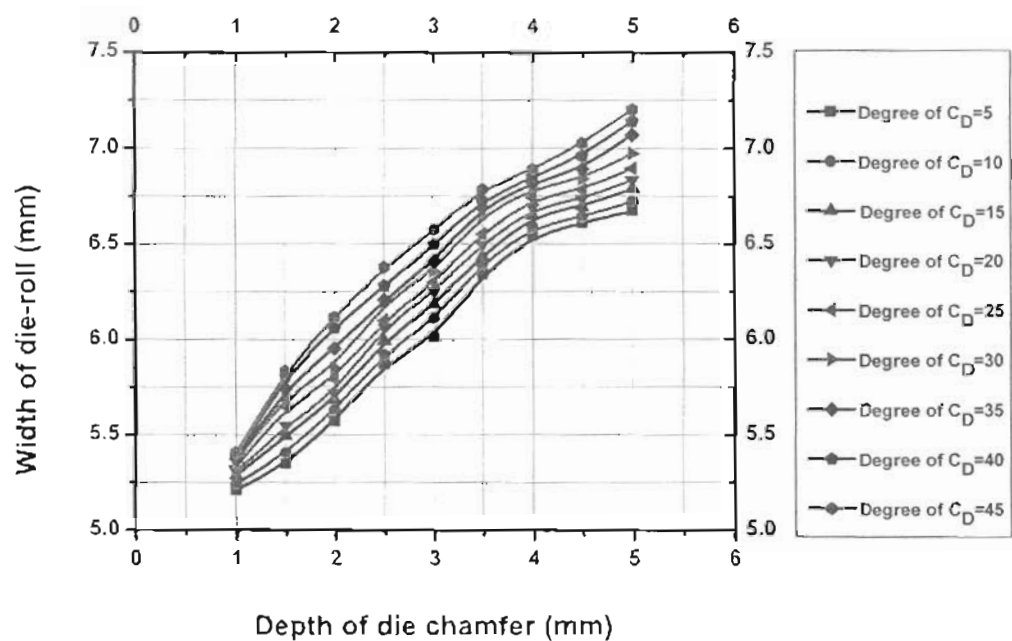
$$Y = 0.39037X + 5.30166 \quad \text{กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

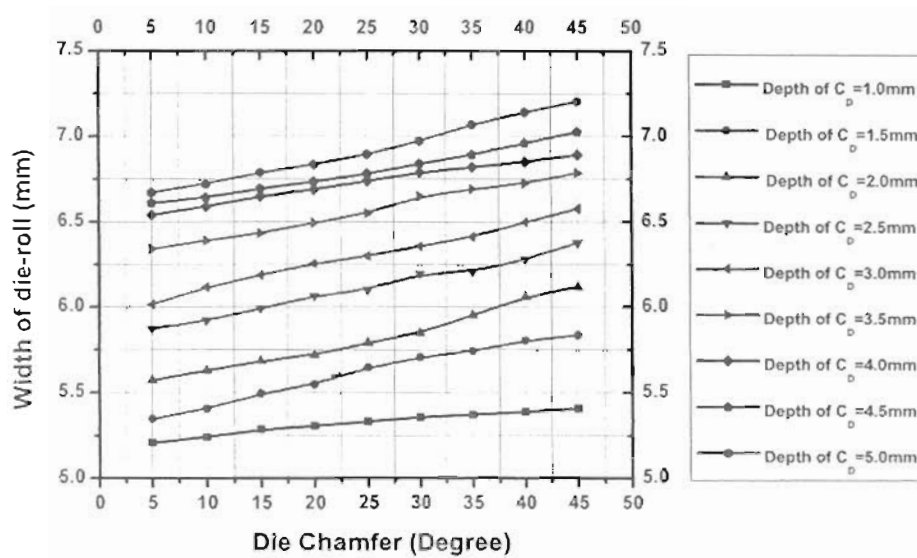
X = ความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 45 องศา

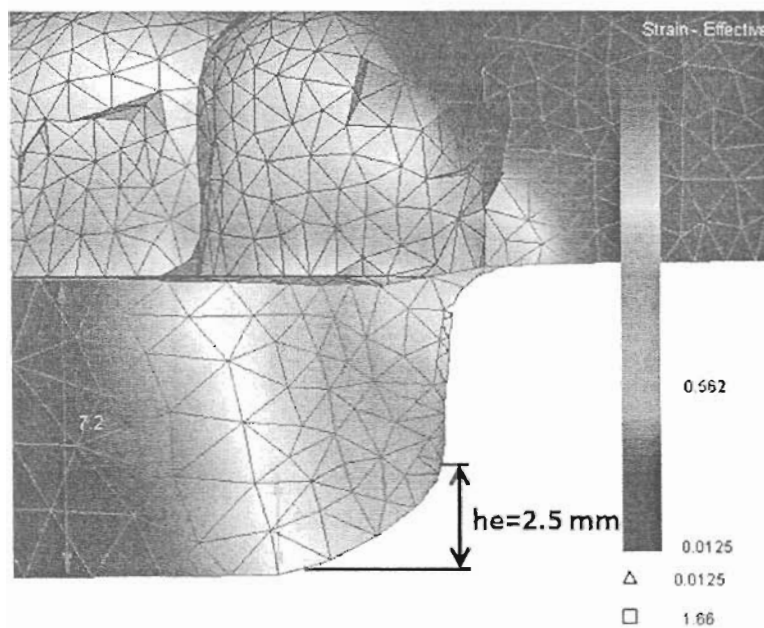


ภาพที่ 4-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับความลึกมุมปากตาย

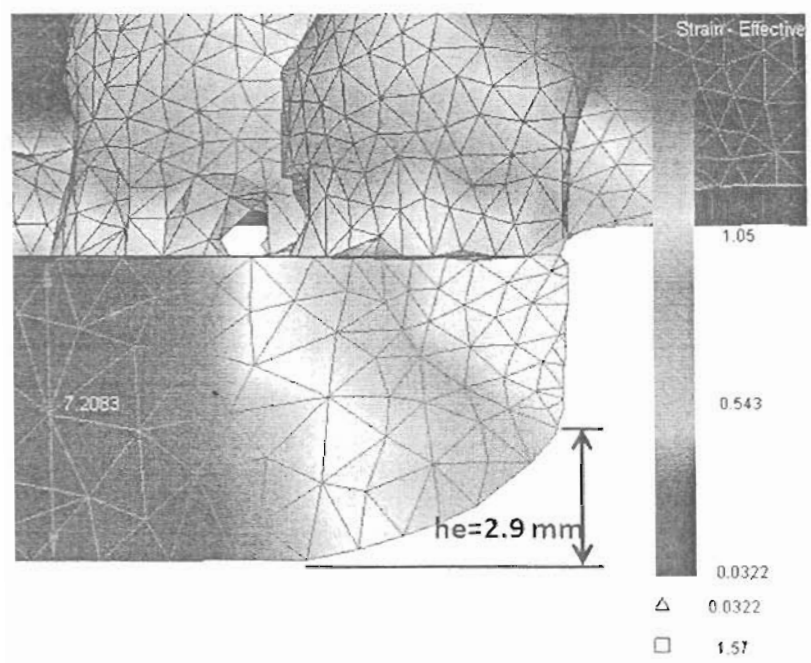


ภาพที่ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างตายโรลกับมุมปากตาย

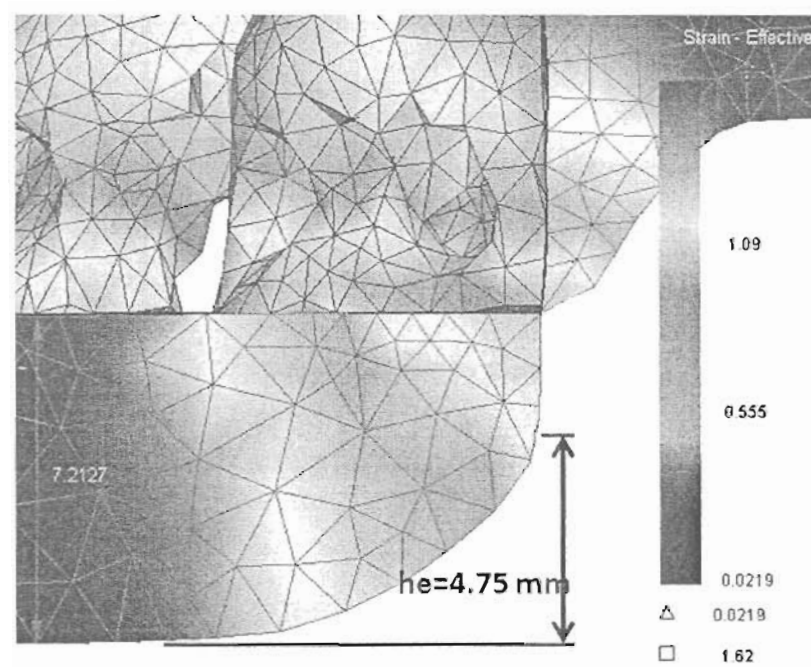
4.3.2 อิทธิพลของมุมปากตายและความลึกมุมปากตายต่อความลึกตายโรล



ภาพที่ 4-20 ภาพแสดงการวัดค่าความลึกตายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-21 ภาพแสดงการวัดค่าความลิกคายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลิกเอียงมุม 3 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-22 ภาพแสดงการวัดค่าความลิกคายโรลที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลิกเอียงมุม 5 mm ของการจำลอง

ภาพที่ 4-20 ถึง 4-22 เป็นภาพที่แสดงการวัดค่าของความลึกตายโรลจากการจำลอง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกมุมปากตาย กับความลึกตายโรลจะมีลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นโค้งพหุนามเมียร์ กล่าวคือ ความลึกมุมปากตายยิ่งมากจะทำให้ความลึกตายโรลมากตามแต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากกว่าจะเห็นได้จากสมการดังนี้

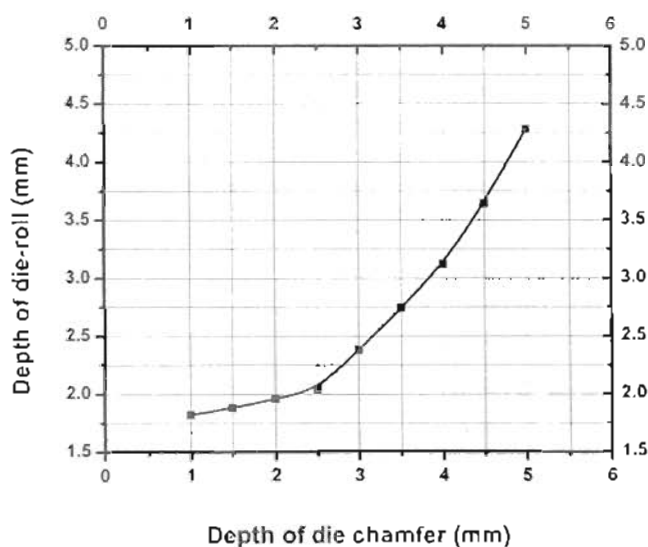
สำหรับมุมปากตาย 5 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.40778 - 1.36507X + 1.21497X^2 - 0.50757X^3 + 0.11145X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 5 องศา

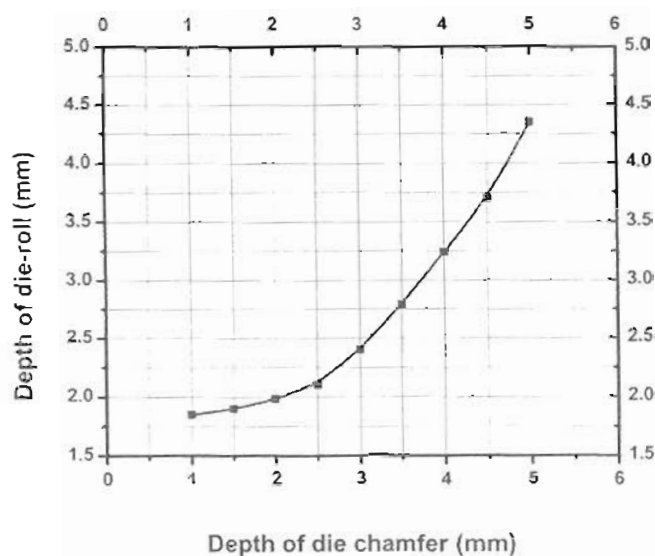
สำหรับมุมปากตาย 10 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.435 - 1.38929X + 1.24821X^2 - 0.52662X^3 + 0.1168X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 10 องศา

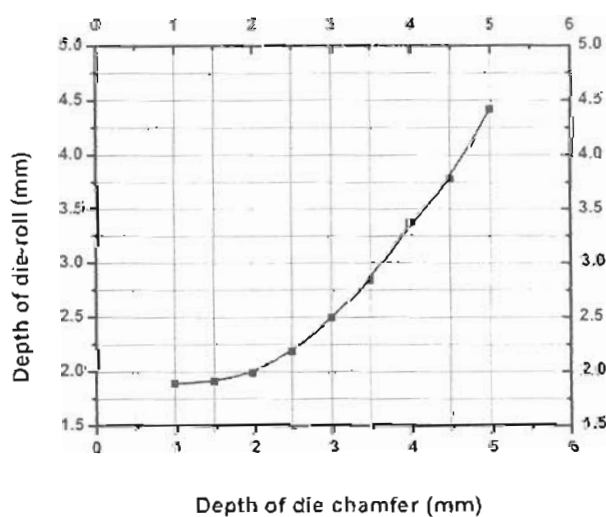
สำหรับมุมปากตาย 15 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.77656 - 2.05842X + 1.74364X^2 - 0.68954X^3 + 0.14228X^4 - 0.0111X^5$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 15 องศา

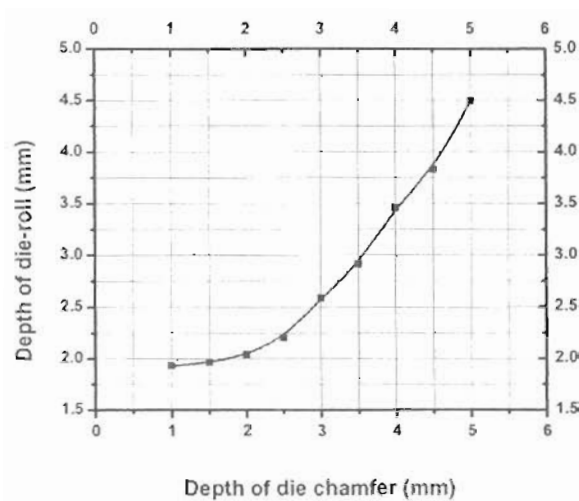
สำหรับมุมปากตาย 20 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.60106 - 1.51293X + 1.25086X^2 - 0.48818X^3 + 0.10509X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 20 องศา

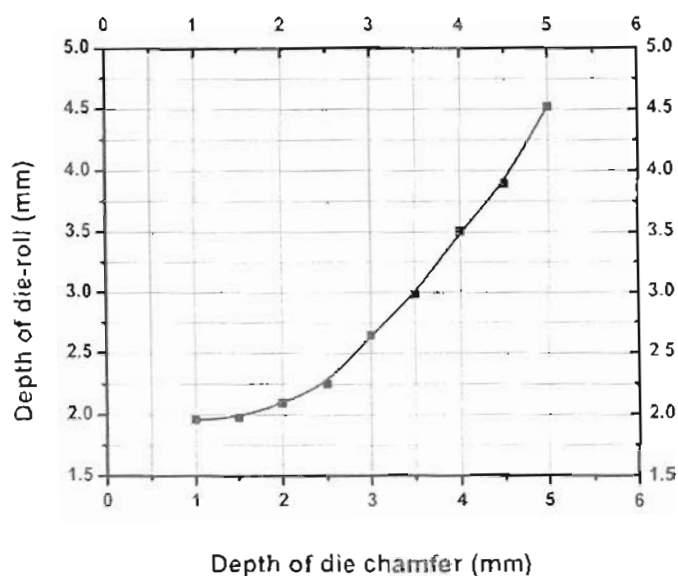
สำหรับมุมปากตาย 25 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.58628 - 1.43951X + 1.19645X^2 - 0.46251X^3 + 0.09937X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 25 องศา

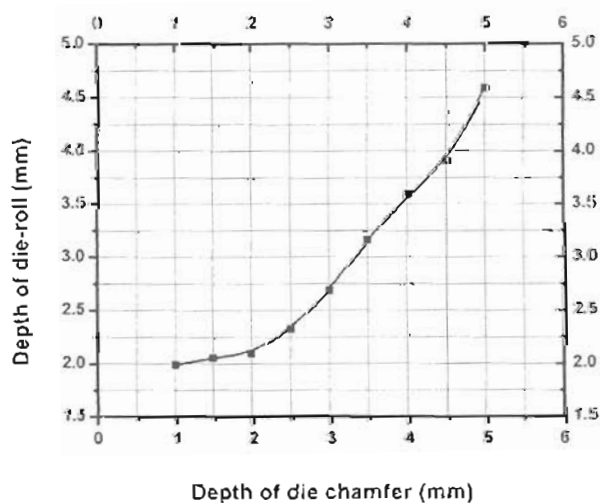
สำหรับมุมปากตาย 30 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.40294 - 0.76005X + 0.4943X^2 - 0.14632X^3 + 0.03679X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 30 องศา

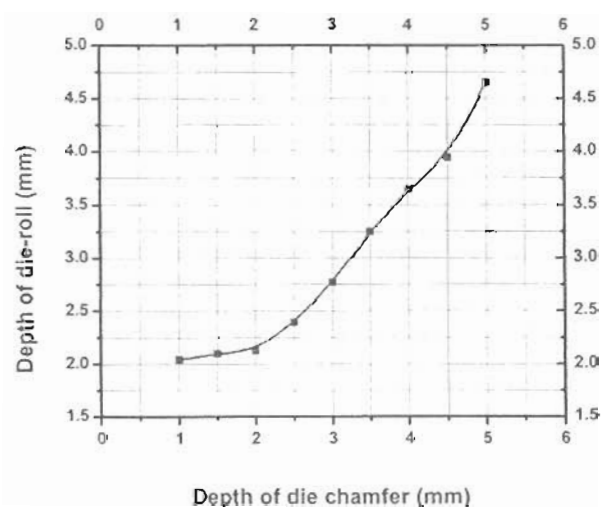
สำหรับมุมปากตาย 35 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.47472 - 0.75266X + 0.41656X^2 - 0.08778X^3 + 0.02199X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 35 องศา

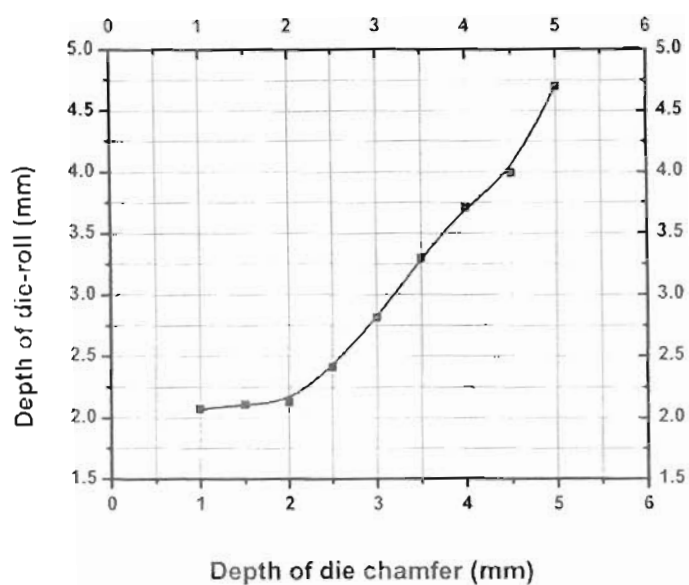
สำหรับมุมปากตาย 40 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

$$Y = 2.45861 - 0.61321X + 0.24946X^2 - 0.0079X^3 + 0.00603X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 40 องศา

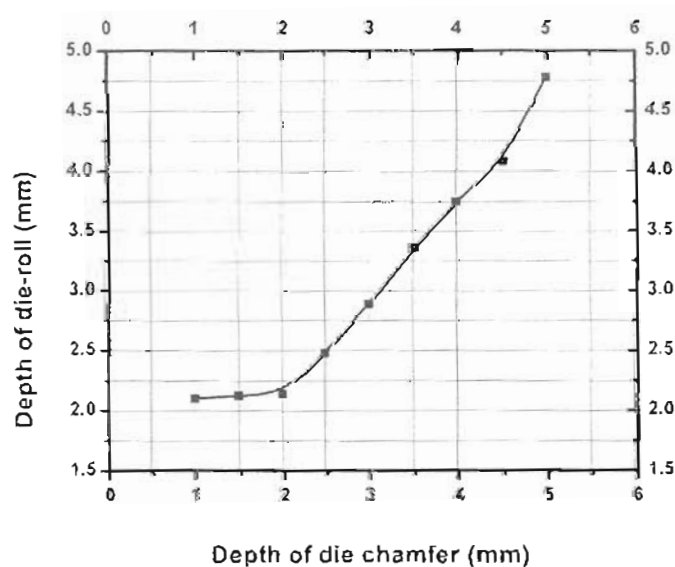
สำหรับมุมปากตาย 45 องศา

กรณีที่ $1 \leq X \leq 5$

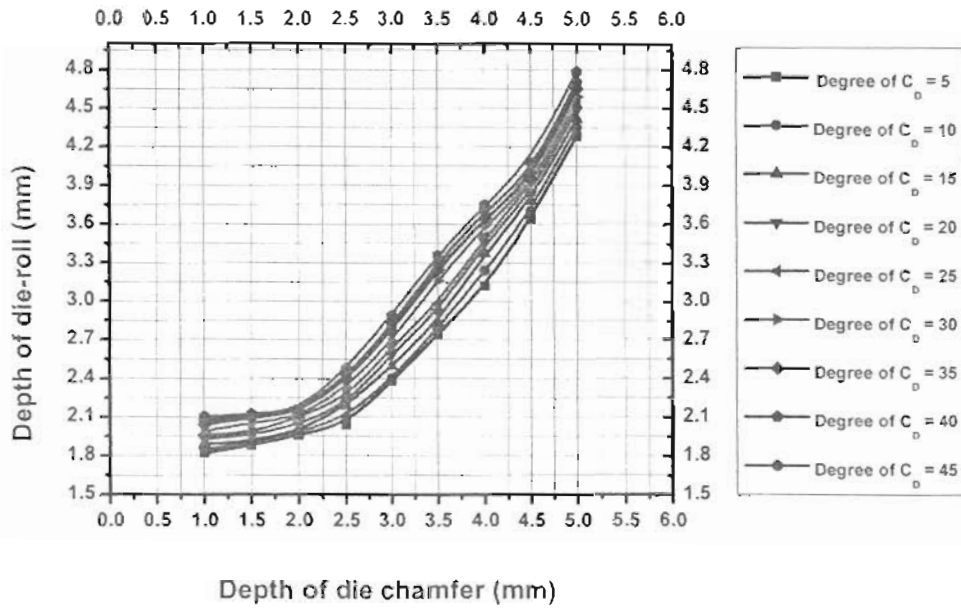
$$Y = 2.76 - 1.20352X + 0.68049X^2 - 0.14483X^3 + 0.02549X^4$$

เมื่อ Y = ความกว้างตายโรล (mm)

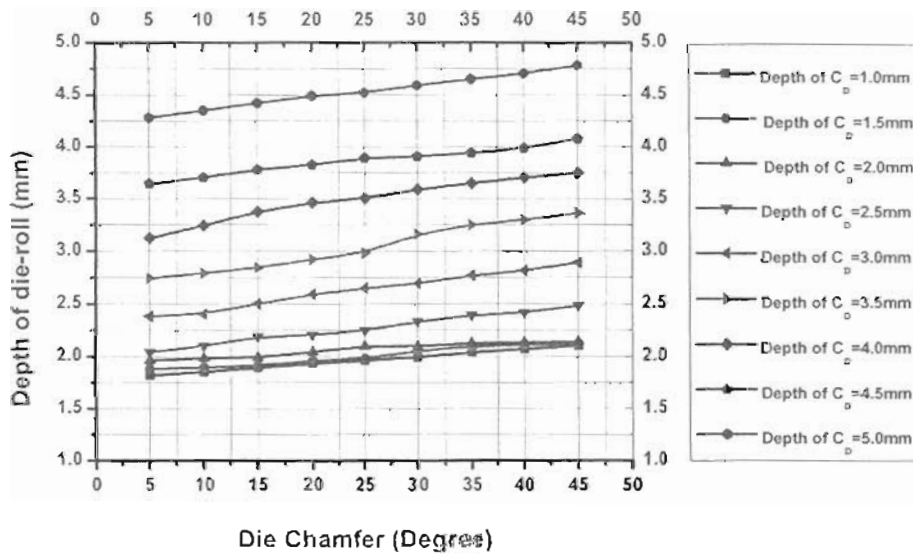
X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตายที่มุม 45 องศา

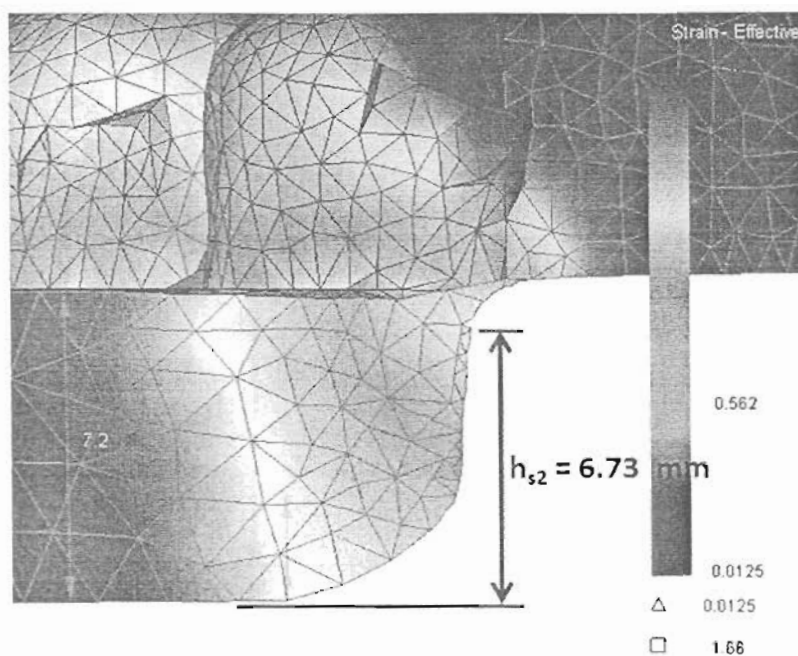


ภาพที่ 4-32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับความลึกมุมปากตาย

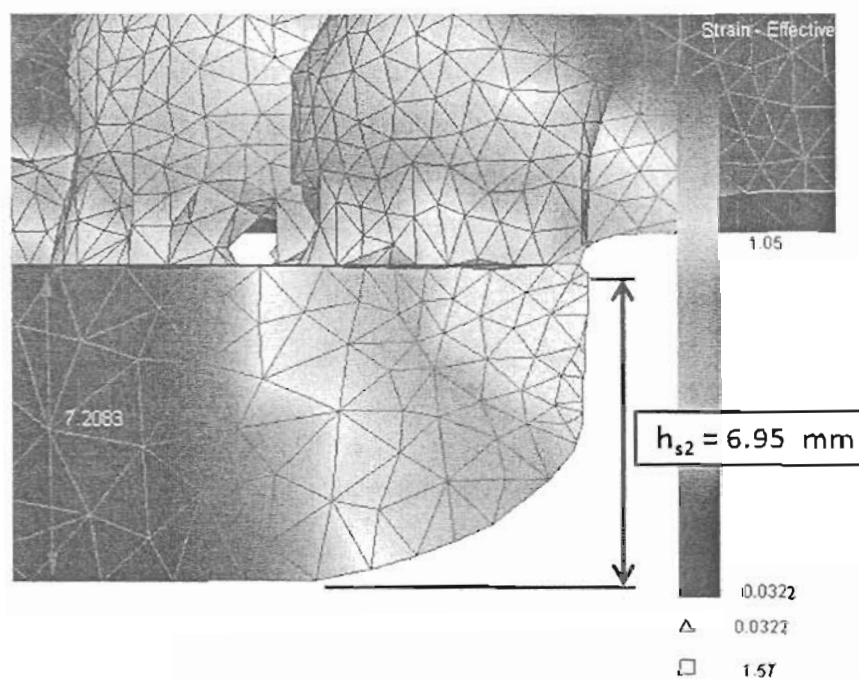


ภาพที่ 4-33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกตายโรลกับมุมปากตาย

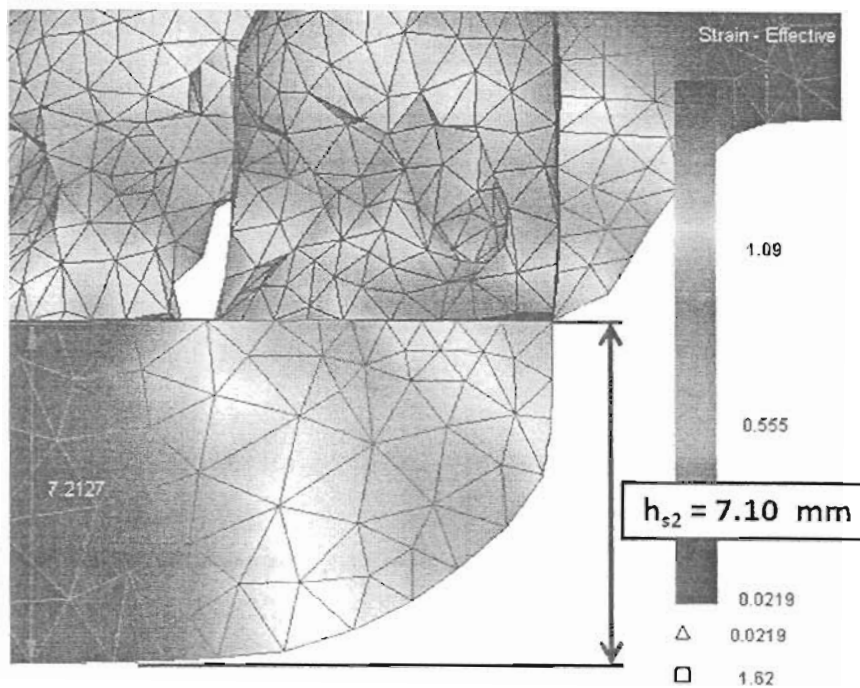
4.3.3 อิทธิพลของมุมปากตายและความลึกมุมปากตายต่อความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน



ภาพที่ 4-34 ภาพแสดงการวัดความราบเรียบผิวที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-35 ภาพแสดงการวัดความราบเรียบผิวที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 3 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-36 ภาพแสดงการวัดความราบเรียบผิวที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 5 mm ของการจำลอง

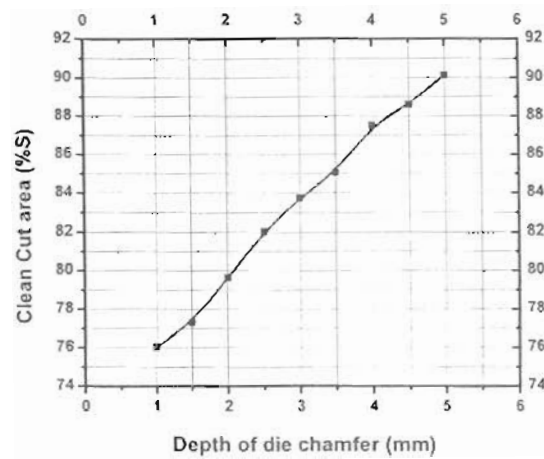
กรรมวิธีการไฟน์แมลงก็สิ่งที่จำเป็นมากที่สุดคือ ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนเพื่อบรรลุนิพจน์ประสกรณงานวิจัยนี้ จึงให้ความสนใจเกี่ยวกับความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนเป็นพิเศษจากการจำลองได้แสดงวิธีการวัดค่าความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนดังภาพที่ 4-34 ถึง 4-36 พบว่าความลึกมุมปากคายมีผลต่อความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนมากกว่าความกว้างคายโรล และความลึกคายโรล ดังจะเห็นได้จากค่าความชันของสมการความสัมพันธ์ระหว่างความลึกมุมปากคายกับความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน ดังนี้

สำหรับมุมปากคาย 5 องศา

$$Y = 3.41363X + 73.08988 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากคาย (mm)



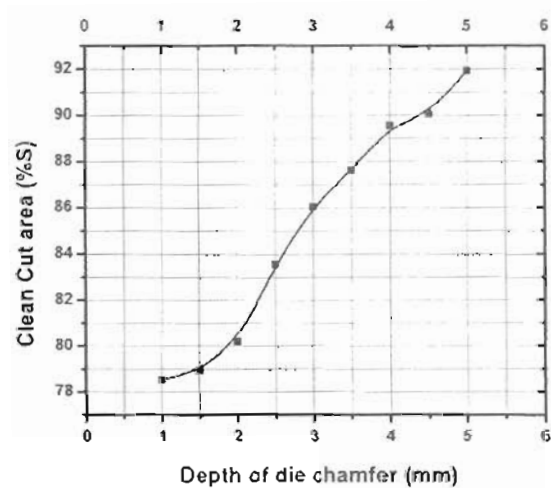
ภาพที่ 4-37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 5 องศา

สำหรับมุมปากตาย 10 องศา

$$Y = 3.45791X + 74.7511 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



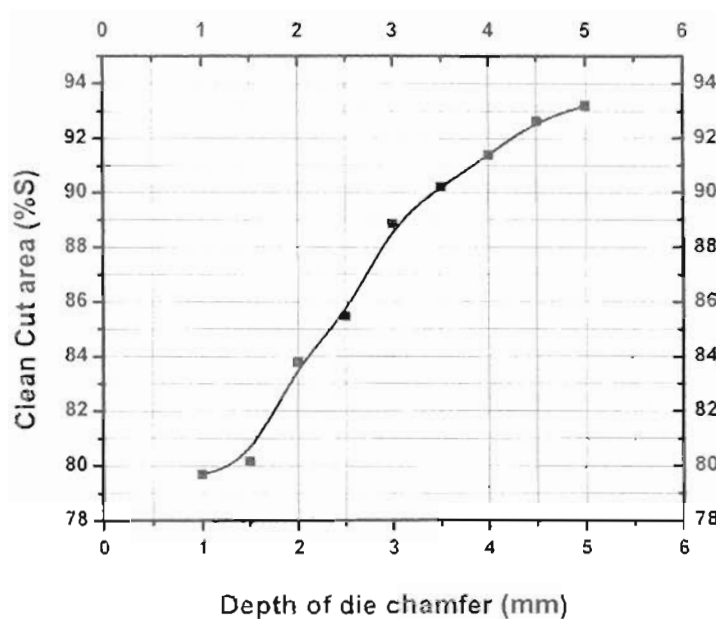
ภาพที่ 4-38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 10 องศา

สำหรับมุมปากตาย 15 องศา

$$Y = 3.53829X + 76.6514 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



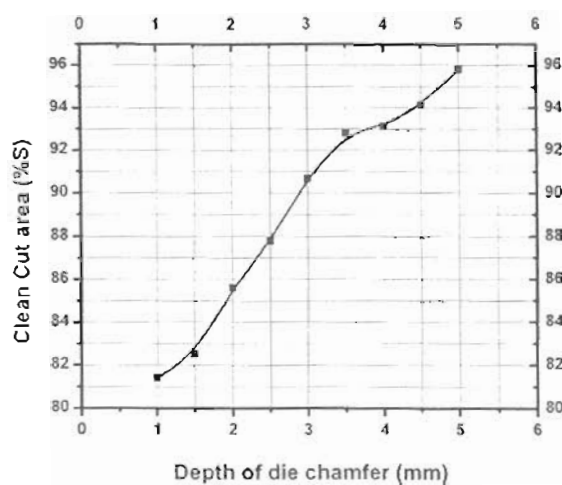
ภาพที่ 4-39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 15 องศา

สำหรับมุมปากตาย 20 องศา

$$Y = 3.5096X + 78.71121 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



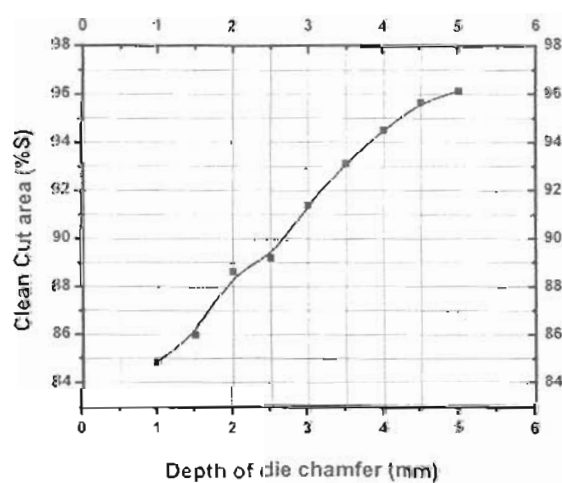
ภาพที่ 4-40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 20 องศา

สำหรับมุมปากตาย 25 องศา

$$Y = 2.83X + 82.57453 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



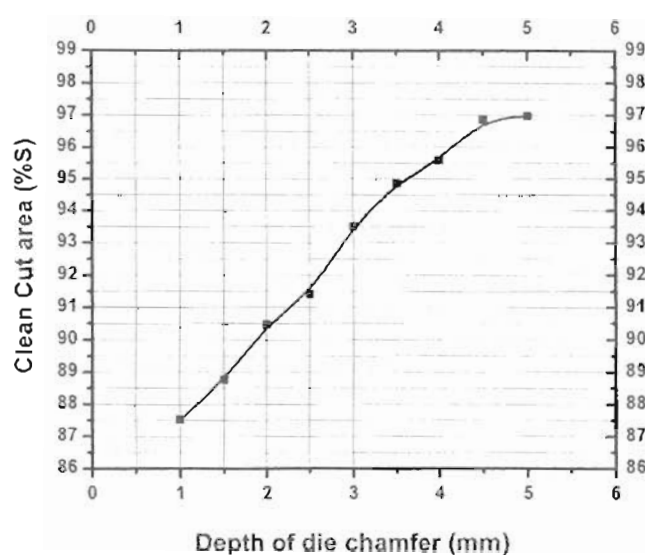
ภาพที่ 4-41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 25 องศา

สำหรับมุมปากตาย 30 องศา

$$Y = 2.3916X + 85.735 \quad \text{กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



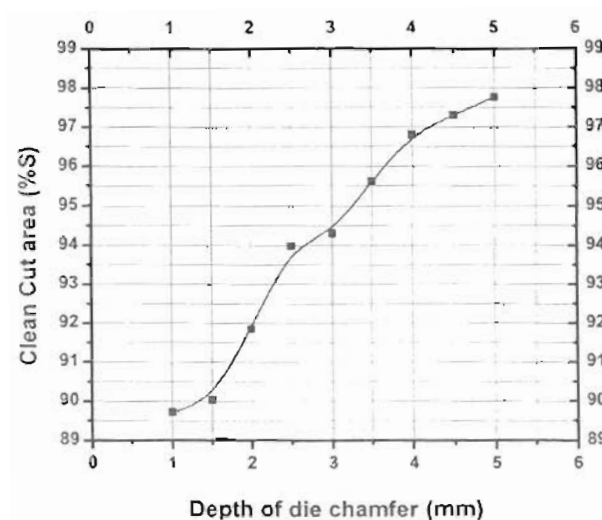
ภาพที่ 4-42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 30 องศา

สำหรับมุมปากตาย 35 องศา

$$Y = 2.07882X + 87.91159 \quad \text{กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



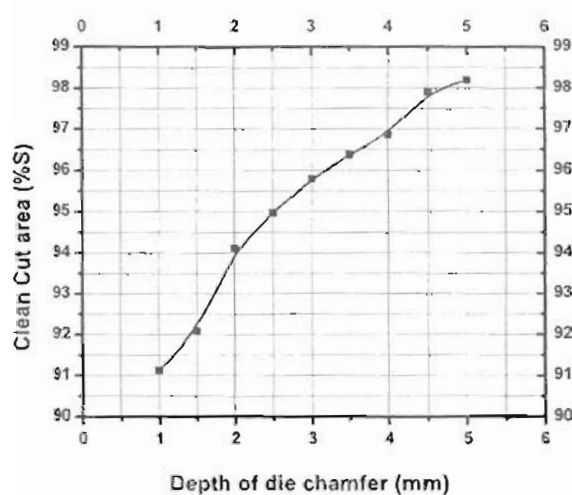
ภาพที่ 4-43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 35 องศา

สำหรับมุมปากตาย 40 องศา

$$Y = 1.64651X + 90.34299 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



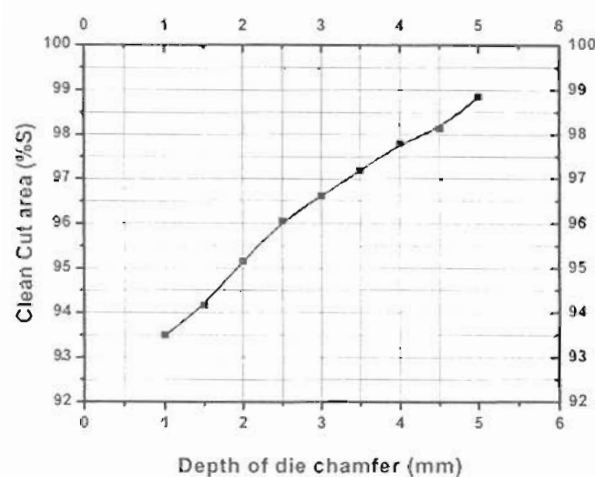
ภาพที่ 4-44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย 40 องศา

สำหรับมุมปากตาย 45 องศา

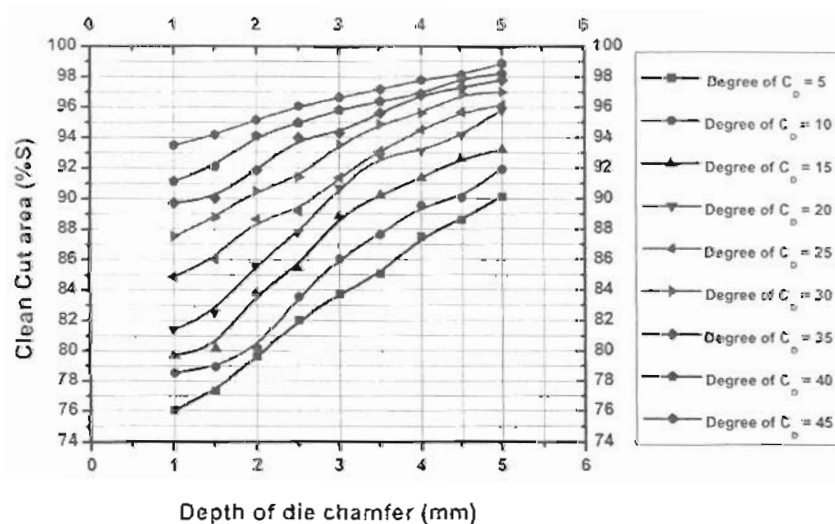
$$Y = 1.23426X + 92.67381 \text{ กรณีที่ } 1 \leq X \leq 5$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อต่อความหนาวัสดุ

X = ความความลึกมุมปากตาย (mm)



ภาพที่ 4-45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อกับมุมปากตาย 45 องศา

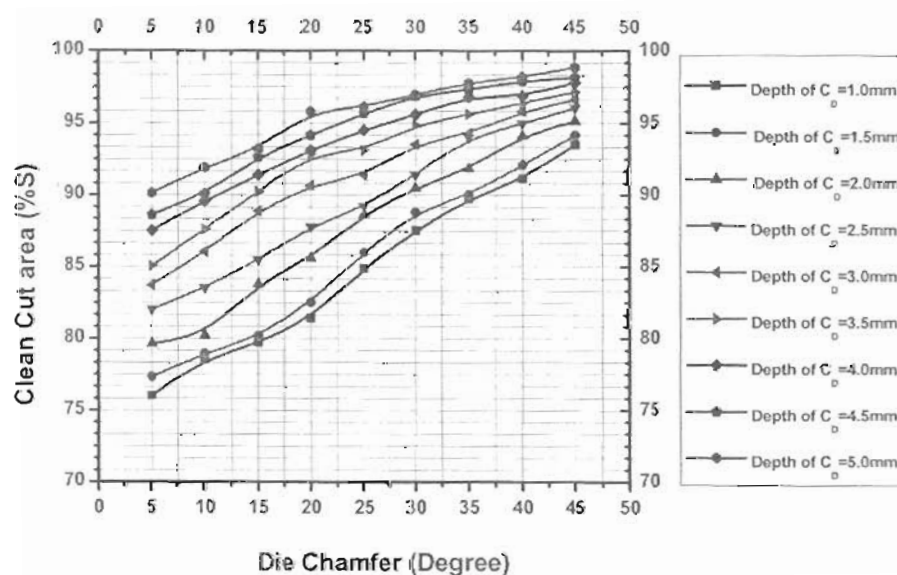


ภาพที่ 4-46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อกับความลึกมุมปากตาย

จากกราฟดังภาพที่ 4-46 ความลึกมุมปากตายและมุมเอียงปากตายมีผลต่อความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน ความลึกมุมปากตายมากทำให้ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนมาก เช่นเดียวกัน มุมปากตายมากทำให้ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนมาก และเมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับความลึกมุมปากตายที่ดีที่สุดมาเขียนในรูปสมการ เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้งานได้ดังนี้

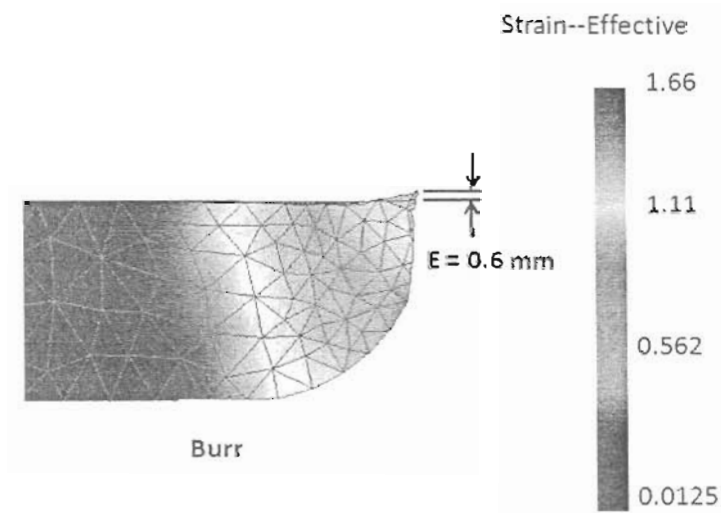
$$Y = 0.19831X + 90.5 \quad \text{กรณีที่ } 5 \leq X \leq 45$$

เมื่อ Y = เปอร์เซนต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนต่อความหนาวัสดุ
 X = มุมปากตาย (องศา)

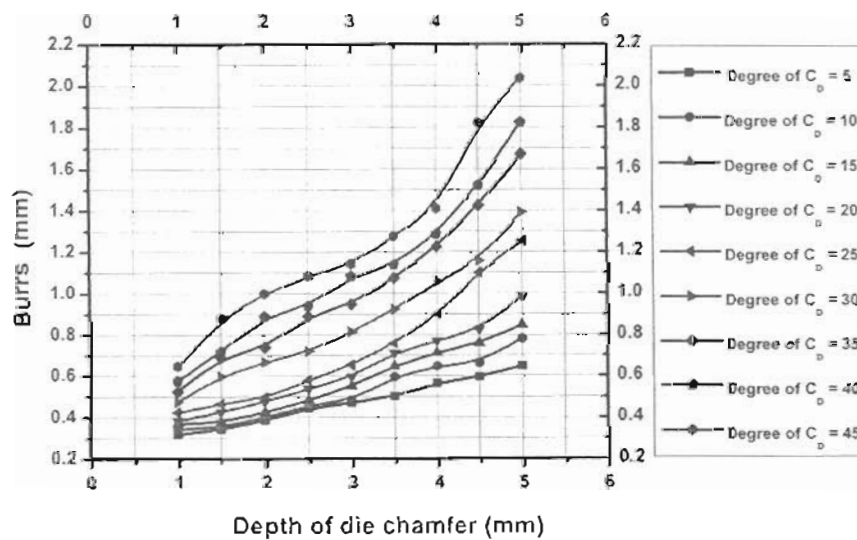


ภาพที่ 4-47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนกับมุมปากตาย

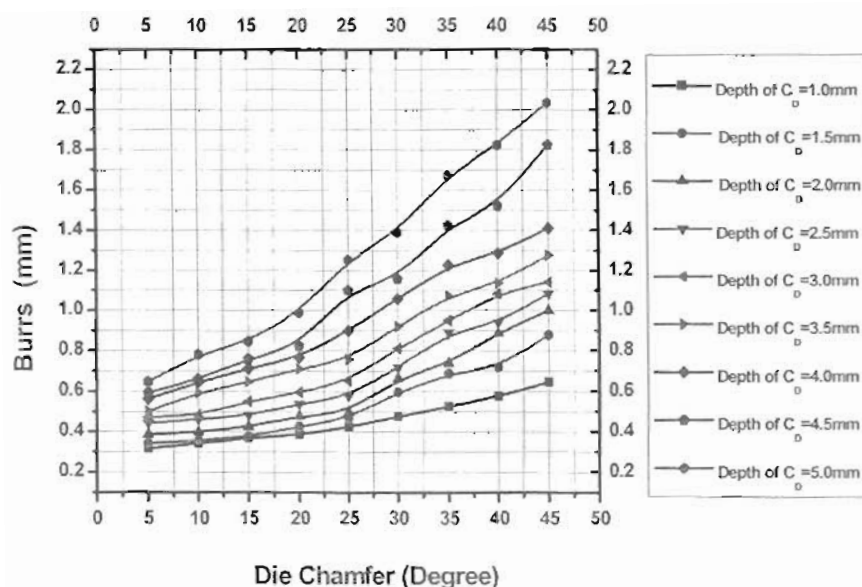
3.3.4 อิทธิพลของมุมปากตายและความลึกมุมปากตายต่อความสูงรอยเสี้ยน



ภาพที่ 4-48 ภาพแสดงการวัดความสูงรอยเสี้ยนที่ระยะเอียงมุม 45 องศา ความลึกเอียงมุม 1 mm ของการจำลอง



ภาพที่ 4-49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงรอยเสี้ยนกับความลึกมุมปากตาย



ภาพที่ 4-50 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงรอยเสี้ยนกับมุมเอียงปากตาย

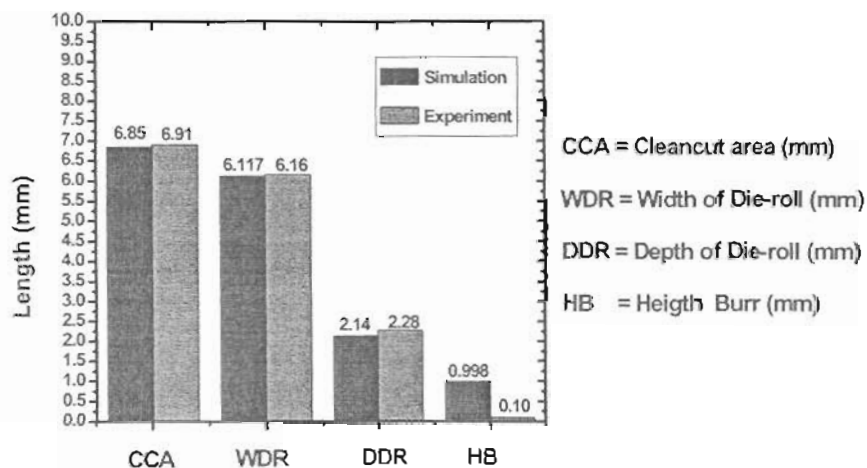
จากกราฟ ความลึกมุมปากตายและมุมเอียงปากตายมีผลต่อความสูงของรอยเสี้ยน กล่าวคือ ความลึกมุมปากตายมากทำให้ความสูงรอยเสี้ยนมาก เช่นเดียวกันมุมเอียงปากตายมากก็ทำให้ความสูงรอยเสี้ยนมาก เนื่องจากความลึกและมุมเอียงปากตายมากจะส่งผลกับช่องว่างของตายมากตามด้วย ดังกราฟภาพที่ 4-49 และ 4-50

4.4 เปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลอง

รูปร่างบริเวณปากตาย และความลึกมุมปากตาย จากการจำลองและทดลอง สามารถวิเคราะห์ยืนยันผลได้ 4 อย่างด้วยกัน คือ ค่าความราบเรียบรอยตัดเฉือน ความกว้างตายโรล ความลึกตายโรล และ ความสูงรอยเสี้ยน

จากผลของการจำลองได้รอยตัดเฉือนที่ดีที่สุดที่มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน (h_{s2}) สูงถึง 9% โดยการพิจารณาชิ้นงานจะคำนึงถึงความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนเป็นหลัก

ในทางทฤษฎีแล้ว ความกว้างตายโรลที่เกิดขึ้นในกรรมวิธีการไฟน์แบลนก์ ไม่ควรเกิน 30% และความลึกตายโรลไม่ควรเกิน 20% แต่สำหรับเฟืองโซ่รถจักรยานยนต์ค่าดังกล่าวขึ้นอยู่กับมาตรฐานพิถีขนาดและรูปทรง ตามมาตรฐานกำหนด



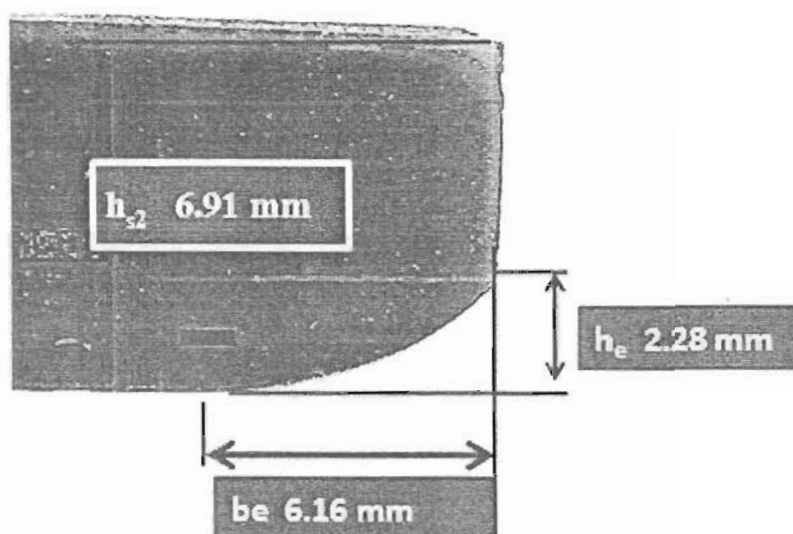
ภาพที่ 4-51 กราฟเปรียบเทียบยืนยันผลการจำลองและการทดลอง

ภาพที่ 4-51 แสดงให้เห็นผลการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองและการทดลอง จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มมุมปากตายและความลึกมุมปากตายมากขึ้นจะทำให้ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือนมากตามแต่ค่าความสูงรอยเสี้ยนแตกต่างกัน สาเหตุมาจากโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ออกแบบมารองรับการขึ้นรูปร้อนและขึ้นรูปเย็น แบบผสมผสานทฤษฎีออยเลอร์กับลาการีล ดังนั้นจึงทำให้ค่าตัวแปรที่ต้องการวิเคราะห์จึงผิดพลาดไปบ้าง

เมื่อพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนรูปถาวรวัสดุชิ้นงานจากปัจจัยของมุมปากตาย กับความลึกมุมปากตายทำให้ทราบว่าบริเวณ Shear Zone เนื้อวัสดุเกิดการไหลตัวโดยไม่เกิดการแตกหักขึ้นตลอดระยะการเคลื่อนที่ผ่าน

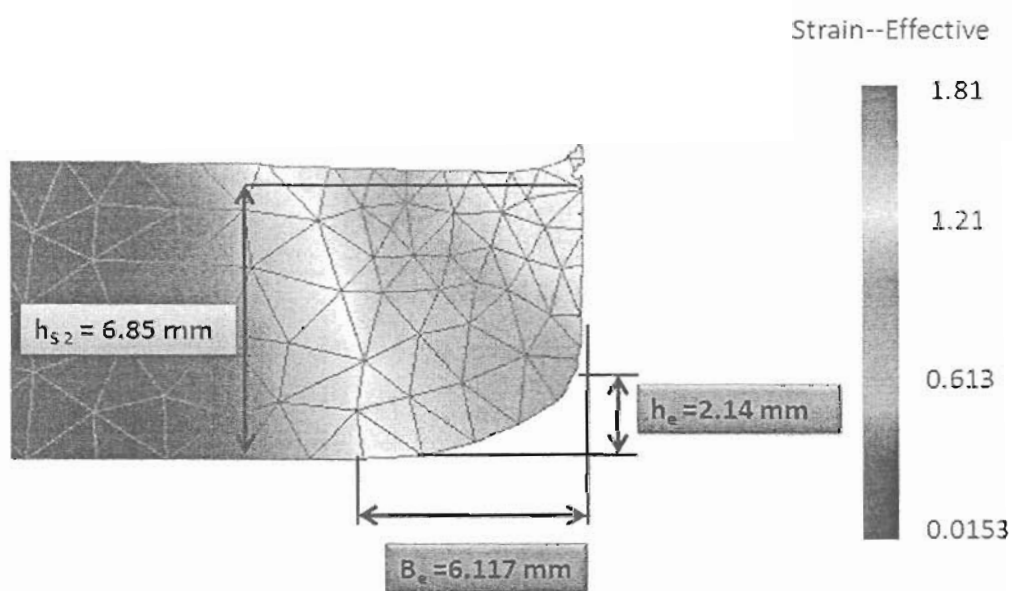
4.5 ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการวิธีไฟน์แบลนก์

ขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการการจำลองและการทดลอง จะต้องทำการเปรียบเทียบเพื่อที่จะหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าความราบเรียบรอยตัดเฉือน ความกว้างตายโรล ความลึกตายโรล และความสูงรอยเสี้ยนเพื่อยืนยันผลการจำลอง



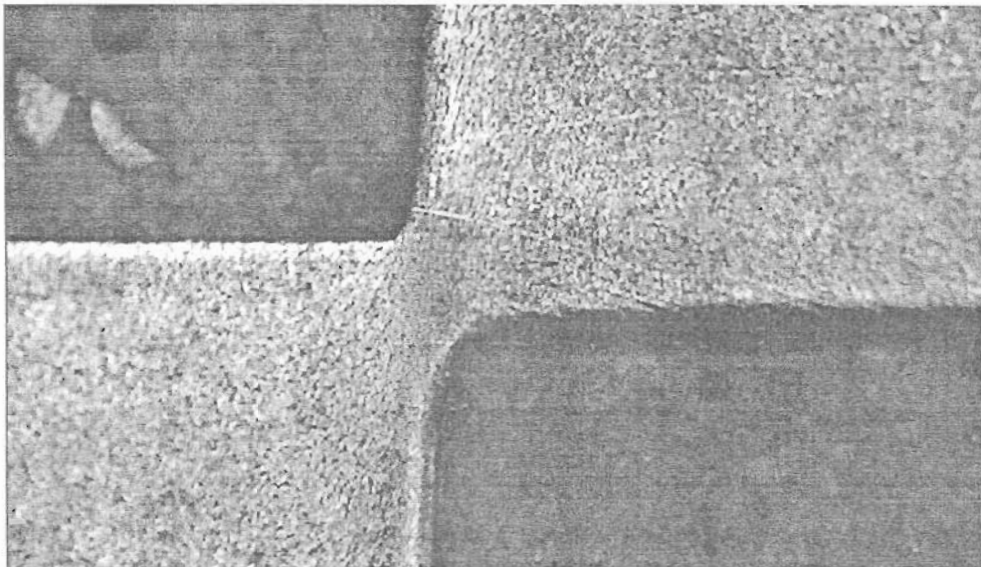
ภาพที่ 4-52 แสดงการวัดลักษณะรูปทรงชิ้นงานจากการทดลอง (ขยาย 8 เท่า)

ภาพที่ 4-52 แสดงให้เห็นถึงภาพขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง โดยพิจารณาคุณภาพของขอบตัดที่มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm จะได้ชิ้นงานมีความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน 95.97 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาชิ้นงาน เกิดความกว้างตายโรลต่ำสุดที่ 6.16 mm ความลึกตายโรลต่ำสุด 2.28 mm



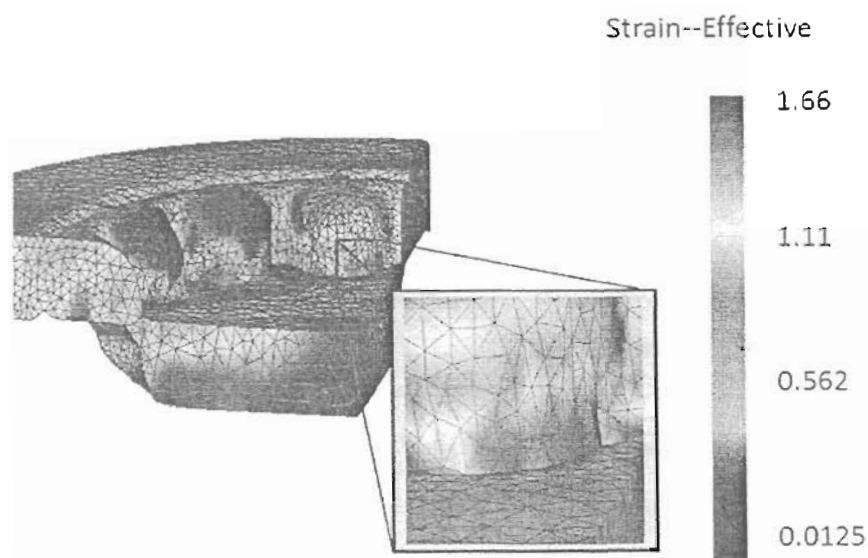
ภาพที่ 4-53 แสดงรูปทรงและคุณภาพผิวชิ้นงานจากการจำลอง

ภาพที่ 4-53 แสดงลักษณะขอบตัดที่ได้จากจำลองโดยมีค่าแรงกดวี-ริง 12 ตัน และ เคนเตอร์พันซ์ 5 ตัน โดยพิจารณาคุณภาพของขอบตัดที่มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm จะได้ชิ้นงานมีความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน 95.13 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาชิ้นงาน เกิดความกว้างตายโรลต่ำสุดที่ 6.118 mm ความลึกตายโรลต่ำสุด 2.14 mm



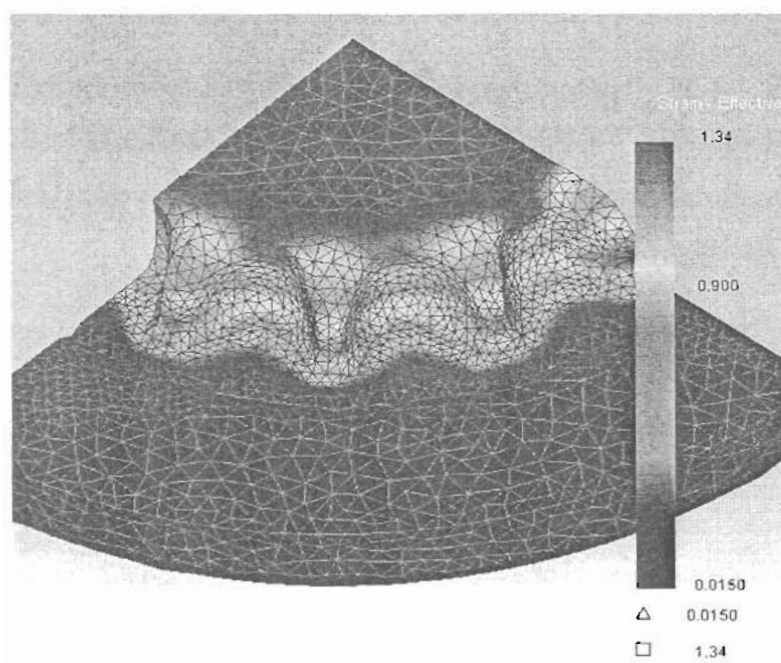
ภาพที่ 4-54 แสดงการตัดเฉือนชิ้นงานที่ระยะกดพันซ์ 6.5 mm มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm (ขยาย 8 เท่า)

ภาพที่ 4-54 แสดงให้เห็นภาพขอบตัดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองไฟน์แบลنگก์ตามเงื่อนไขที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของการจำลอง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงทิศทางการไหลตัวของวัสดุ และผิวที่ได้จากการทดลอง



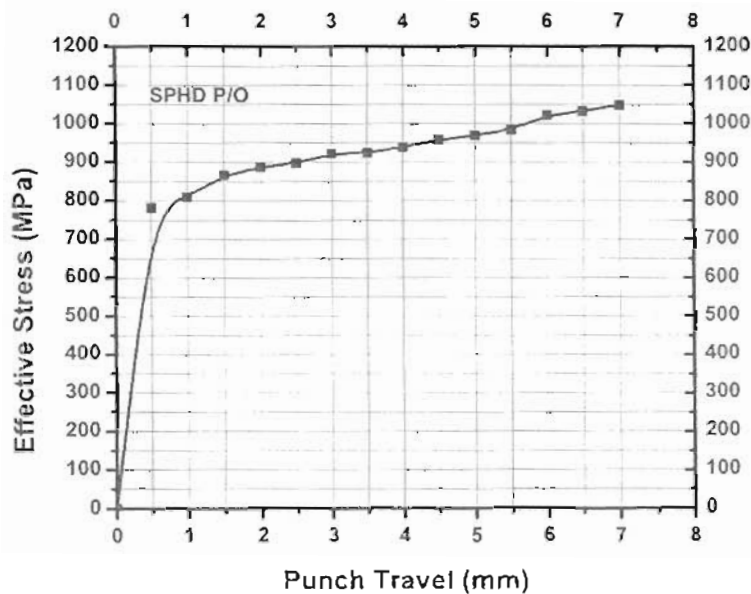
ภาพที่ 4-55 แสดงผลการจำลองที่มุมปากตาย 45 องศา ความลึกมุมปากตาย 2 mm แรงกดแบบลูกโซ่ 12 ตัน แรงกดเคาน์เตอร์พันซ์ 5 ตัน

ภาพที่ 4-55 ได้แสดงให้เห็นภาพในการจำลองไฟน์แมลงก็จะเห็นได้ว่าการจำลองได้รอยตัดเนื้อที่มีความราบเรียบผิวรอยตัดสูง



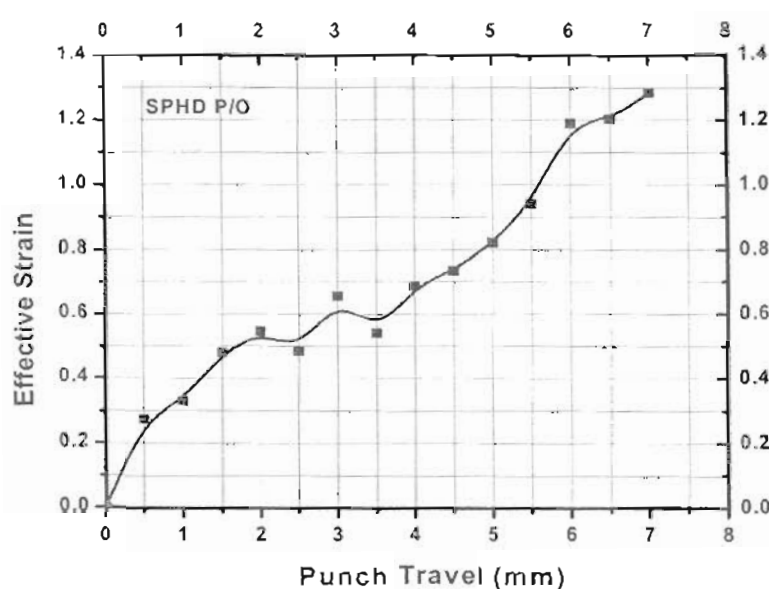
ภาพที่ 4-56 แสดงการกระจายตัวของ effective strain

ภาพที่ 4-56 แสดงผลของความเค้นประสิทธิผลที่ระยะกดพื้นที่ตำแหน่งต่างๆ ทำให้ทราบว่า ระยะกดของพื้นที่ช่วงแรกๆ จะทำให้ความเค้นประสิทธิผลมีค่าสูงจากนั้นจะรักษาระดับความเค้น ในลักษณะคงที่หรือสูงขึ้นเล็กน้อย ตลอดระยะการเคลื่อนที่ของพื้นที่นั้นหมายความว่าเราสามารถรักษาระดับความเค้นช่วงการเปลี่ยนรูปถาวรได้ดี



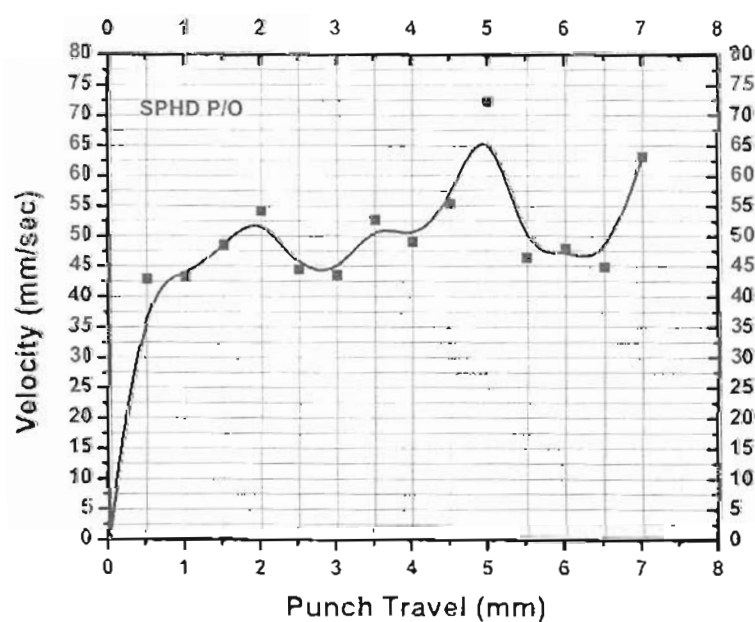
ภาพที่ 4-57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่พื้นที่กับความเค้นประสิทธิผล

จากภาพที่ 4-57 แสดงระยะการเคลื่อนที่พื้นที่กับความเค้นประสิทธิผลที่ระยะการเคลื่อนที่พื้นที่ตำแหน่งต่างๆ จะมีลักษณะอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่แบบเชิงเส้นแต่กราฟที่ได้จะมีลักษณะไม่ราบเรียบไปบ้างสืบเนื่องมาจากความต้านทานของพลังงานในเนื้อวัสดุ และความไม่เป็นเอกพันธ์ของเนื้อวัสดุด้วย



ภาพที่ 4-58 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่พunchกับความเครียดประสิทธิผล

จากภาพที่ 4-58 แสดงระยะการเคลื่อนที่พunchกับความเร็วพunchในช่วงแรกจะเกิดความเร็วที่สูงขึ้นเนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขขอบที่ความเร็วพunch 40 mm/sec จากนั้นความเร็วจะรักษาระดับคงที่แต่เนื่องด้วยความต้านพลังงานบนเนื้อวัสดุ และความไม่เป็นเอกพันธ์ทำให้ความเร็วพunchเปลี่ยนแปลงบางช่วง



ภาพที่ 4-59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่พunchกับความเร็วพunch

ตารางที่ 4-1 แสดงถึงผลการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ผลที่ได้คือคุณภาพของรอยตัดเนื้อมีความสอดคล้องกัน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความราบเรียบที่มีค่าความผิดพลาดดังตารางที่ 4-2 เหตุของค่าความผิดพลาดของผลการทดลองอาจเกิดมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความร้อนในกรรมวิธีการตัดเนื้อ สารหล่อลื่น ประสิทธิภาพของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้นำมาคิดในขั้นตอนการจำลองด้วย

ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง

รายละเอียดการวัดค่าต่างๆ สำหรับการไฟน์แบลنگก์แบบไร้แหวนจิก	ผลลัพธ์จากการ จำลอง	ผลลัพธ์จากการ ทดลอง
1. ความกว้างดายโรล (mm)	6.117	6.168
2. ความลึกดายโรล (mm)	2.14	2.28
3. ความลาดเอียงภาคตัดขวางผิวรอยตัด W (mm)	0	0
4. ความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อ h_{s2} (mm)	6.85	6.91
5. ความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อ h_{s1} (mm)	7.2	7.2

ตารางที่ 4-2 สรุปค่าความผิดพลาดระหว่างการจำลองและการทดลอง

รายละเอียดการวัดค่าต่างๆ สำหรับการไฟน์แบลنگก์แบบไร้แหวนจิก	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด $100 - \left[\frac{\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง}}{\text{ค่าที่ได้จากการจำลอง}} \times 100 \right]$	ผลลัพธ์ค่า ความ ผิดพลาด (%)
1. ความกว้างดายโรล (mm)	$100 - \left[\frac{6.168}{6.117} \times 100 \right]$	0.83
2. ความลึกดายโรล (mm)	$100 - \left[\frac{2.28}{2.14} \times 100 \right]$	6.54
3. ความลาดเอียงภาคตัดขวางผิวรอยตัด W (mm)	$100 - \left[\frac{0}{0} \times 100 \right]$	0.0
4. เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อ h_{s1}	$100 - \left[\frac{7.2}{7.2} \times 100 \right]$	0.0
5. ความราบเรียบผิวรอยตัดเนื้อ h_{s2} (mm)	$100 - \left[\frac{6.91}{6.85} \times 100 \right]$	0.875

4.6 สรุป

ความพยายามในการลดปัญหาการเกิดความเสียหายขึ้นบนผิวชิ้นงาน ในกรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์ โดยการจำลองการทำงานด้วยระเบียบวิธีไฟน์ด์เอลิเมนต์ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาไฟน์ด์เอลิเมนต์ มาทำนายการเกิดความเสียหายของผิวชิ้นงาน ในกรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์ จากผลการจำลองพบว่า การจำลองการทำงานทางด้านไฟน์ด์เอลิเมนต์ สามารถนำมาจำลองการเกิดรอยฉีกขาด และสอดคล้องกับการทดลอง ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้ว่า การจำลองการทำงานทางด้านไฟน์ด์เอลิเมนต์สามารถใช้ทำนายการเกิดความเสียหายของผิวชิ้นงานในกรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลกระทบของมุมปากตายสำหรับงานไฟน์แบลنگก์ โดยทำการทดลอง และการวิเคราะห์จากการจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

มุมปากตายที่มีผลต่อคุณภาพผิวและคุณภาพรูปทรงที่ได้จากการจำลองดังนี้คือ มุมปากตายมีค่ามากขึ้นซึ่งทำให้ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน และความกว้างตาย-โรลมากขึ้นตาม จะได้ความสัมพันธ์ของกราฟความลึกมุมปากตายมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ในส่วนของความลึกตาย-โรล ได้ความสัมพันธ์ของกราฟความลึกมุมปากตายเป็นแบบพอลิโนเมียล ค่าที่ทำให้ความราบเรียบรอยตัดเฉือนดีที่สุดคือมุมปากตาย 45 องศา ที่ความลึกมุมปากตาย 2 mm โดยได้ค่าความกว้างตาย-โรล 6.117 mm ความลึกตาย-โรล 2.14 mm ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน h_{s1} 100 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุและ h_{s2} 95.13 เปอร์เซ็นต์ของความหนาวัสดุ

ค่าความผิดพลาดระหว่างการทดลองเทียบกับการจำลอง ดังนี้ ความกว้างตายโรล 0.83% ความลึกตายโรล 6.54 % เปอร์เซ็นต์ความราบเรียบผิวรอยตัดเฉือน h_{s2} 0.875 % และ ความลาดเอียงภาคตัดขวาง 0.0 % ผลจากกรรมวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่ากรรมวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อทำนายคุณภาพผิวชิ้นงานในกรรมวิธีการไฟน์แบลنگก์

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

5.2.1 ประโยชน์ต่อผู้วิจัย

5.2.1.1 รู้และเข้าใจกรรมวิธีไฟน์แบลنگก์เพิ่มมากขึ้น

5.2.1.2 สามารถใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method : FEM) วิเคราะห์งานด้านขึ้นรูปโลหะก่อนการออกแบบแม่พิมพ์และผลิตชิ้นงานได้

5.2.1.3 มีความคิดในการประยุกต์การออกแบบแม่พิมพ์ให้ใช้กับเครื่องเพรสที่มี

5.2.1.4 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานพัฒนาองค์กรและประเทศชาติได้

5.2.2 ประโยชน์ด้านวิชาการ

5.2.2.1 เป็นเอกสารอ้างอิงในการค้นคว้าและศึกษางานวิจัยในขั้นต่อไป

5.2.2.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้เผยแพร่ต่อผู้มีความสนใจในงานไฟน์แบลنگก์

5.2.3 ประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม

สามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ และพัฒนากรรมวิธีการตัดให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ เพื่อลดต้นทุนและขั้นตอนการผลิต

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยพอที่จะสรุปข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนา และประยุกต์ใช้กับภาคอุตสาหกรรมในเรื่องกรรมวิธีไฟน์แบลنگก์เพื่อให้ได้คุณภาพของขอบตัดที่ดี ดังนี้

5.3.1 ในการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีไฟน์แบลنگก์ ควรมีค่าที่แตกต่างกันมากๆ เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้สามารถเปรียบเทียบผลกันได้ง่าย และชัดเจน

5.3.2 ควรมีการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรที่ทำการศึกษาให้ละเอียด เพื่อที่จะศึกษาแนวโน้มผลการทดลองที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. สุเทพ เขี่ยมชัยภูมิ. การศึกษาไฟน์แบลนก์แบบไร้แหวนจิก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
2. Brokken, Drik – Eindhoven. Numerical modelling of ductile fracture in blanking. Nederland : Technische Universiteit Eindhoven, 1999.
3. Taupin, Etienne, et al. "Material fracture and burr formation in blanking of fem simulations and comparison with experiments." Journal of Material Processing Technology. 59 (1996) : 68-78.
4. Gang Fang, Pan Zeng and Lulian Lou. "Finite element simulation of clearance on the forming process." Journal of Materials Processing Technology. 64 (2002) : 209-215.
5. สมชาย ทองเทศ. การศึกษาลักษณะของมุมเอียงที่มีต่อการตัดเนื้อ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2540.
6. Chen, Z. H., et al. "A Study of Strain Localization in the Fine-Blanking Process Using the Large Deformation Finite Element Method." Journal of Materials Processing Technology. 86 (1999) : 163-197.
7. Chen, Z. H., et al. "Numerical Simulation of Fine-Blanking Process Using Mixed Finite Element Method." Journal of Materials Processing Technology. 44 (2002) : 1309-1333.
8. Hambli, R. "Finite Element Simulation of Fine Blanking Process Using a Pressure Dependent Damage Model." Journal of Materials Processing Technology. 116 (2001) : 252-264.
9. Chan, L. C., et al. Numerical simulation for fine-blanking-a new approach. Ph.D. Thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, Hong Kong Polytechnic University, 2000.
10. Chen, Z. H., et al. An investigation on the formation and propagation of shear band in fine-blanking process. Ph.D. Thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, Hong Kong Polytechnic University, 2003.

11. Lee, T. C., Chan, L. C. and Cheng, P. F. "Application of the Finite Element Deformation Method in the Fine Blanking Process." Journal of Material Processing Technology. 63 (1997) : 744-749.
12. Klocke, F., Sweeney, K. and Esterns, H. W. "Improved tool design for fine blanking through the application of numerical modeling techniques." Journal of Materials Processing Technology. 115 (2001) : 70-75.
13. Murakawa, M., et al. "Determination of Optimum Working Parameters in Fine Blanking by Means of a FEM. Clde." Advanced Technology of Plasticity. 3 (1999) : 2207-2212.
14. พงศ์พันธ์ แก้วดาพิพย์, มาซาฮิโกะ จิน และ มาซาโอะ มุระคาว่า. การศึกษาแรงที่กระทำต่อด้านข้างพื้นที่ตายของแม่พิมพ์ตัดโดยใช้ FEM. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 14, 23 พฤศจิกายน 2543, เชียงใหม่, ประเทศไทย, 2543.
15. Chan, L.C., et al. "Experimental Study on the Shearing Behavior of Fine-Blanking Versus Bar Cropping." Journal of Materials Processing Technology. 80-81 (1998) : 126-130.
16. Lee, T. C., Chan, L. C. and Wu, B. J. "Straining Behaviour in Blanking Process- Fine Blanking Vs conventional Blanking." Journal of Material Processing Technology. 48 (1995) : 105-111.
17. Michigan Precision Industries, Inc. "Tip and Techniques for Fine Blanking." FMA'S Journal of Fabricator. 12(2), (1982) : 1-13.
18. ชมรมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย. ความรู้เบื้องต้นแม่พิมพ์ตัดละเอียด. กรุงเทพมหานคร : สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย, 2543.
19. จุลศิริ ศรีงามผ่อง. วิศวกรรมงานแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2532.
20. ช่างู ถนัดงาน และคนอื่นๆ. โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้าน Press working ระยะที่ 3 การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดใหญ่สำหรับงานเพรสที่ต้องการผลิตภัณฑ์คุณภาพสูง. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2532.
21. ช่างู ถนัดงาน. เทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
22. สุรวุฒิ ยะนิล. การวิเคราะห์หาแรงในการไฟน์แบลนกกโดยระเบียบวิธีไฟน์ดเอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.

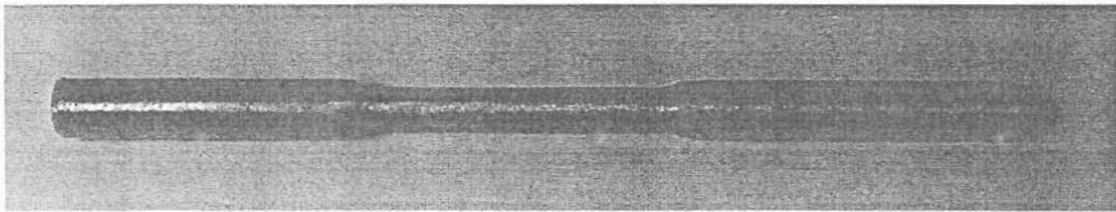
23. Bizer, F. Forming and Fineblanking. 2nd ed. Germany : McGraw – Hill Companies Inc., 1999.
24. Edlesthawerke Buderus AG., et al. Cold Forming and Fineblanking a handbook on cold processing, material properties, component design. Switzerland : McGraw – Hill Companies Inc., 1997.
25. Feintool AG Lyss. "Cost-effective fineblanking and forming system." Journal of fineblanking technology. 36 (2005) : 4-5.
26. Kurt Lange. Handbook of Metal Forming. New York : McGraw – Hill Companies Inc., 1985.
27. Blatter, W. and Mocek, G.V. Training manual Introduction into technology Fineblanking tools. Switzerland : McGraw – Hill Companies Inc., 1987.
28. Gang Fang, Pan Zeng and Lulian Lou. Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process. Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, 2001.
29. Gang Fang, Pan Zeng and Lulian Lou. "Finite element simulation of the effect of clearance on the forming quality in the blanking process." Journal of Materials Processing Technology. 122 (2002) : 249-254.
30. อำนาจ แก้วสามัคคี และคนอื่นๆ. แม่พิมพ์ปั๊มโลหะแผ่น. กรุงเทพมหานคร : สมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย, 2547.
31. Ivana Suchy. Handbook of Die Design. New York : McGraw – Hill Companies Inc, 1998.
32. Schuler-Berlin, Heidelberg. Metal forming handbook. New York : Springer, 1998.
33. Wisselink, H. Analysis of Guillotining and slitting, Finite Element Simulation. Ph.D. Thesis, University of Twente, 2000.
34. Hatanaka, N., Yamaguchi, K. and Takakura, N. Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal. Ph.D. Thesis, Department of Mechanical and Systems Engineering, Kyoto Institute of Technology, 2003.
35. Grimm, W. "Technologiepartner profitieren von innovativen Werkzeug-Konzepten." Journal of fineblanking technology. 36 (2005) : 10-11.
36. Haack, J. "Optimale Teileentwicklung and Teilegestaltung-Grundlage für eine prozessichere und wirtschaftliche Fertigung." Journal of fineblanking technology. 36 (2005) : 34-37.

37. Goijaerts, A. M. Prediction of Ductile Fracture in Metal Blanking. Ph.D. Thesis, Eindhoven University of Technology, 1999.
38. ศุภกฤษณ์ ศรีสำโรง. การศึกษาระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัดที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานในงานไฟน์แบลนก์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.
39. Adrianus Maria Goijaerts. Prediction of Ductile Fracture in Metal Blanking. Netherlands : University Press Facilities, 1999.
40. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 5th ed. New York : Josn Wiley & Sons, 2001.
41. Breitling, J., et al. "Precision shearing of billets special equipment and process simulation." Journal of Materials Processing Technology. 71 (1997) : 119-125.
42. 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.
43. 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.
44. Kwak, T. S., Kim, Y. J. and Bae, W. B. "Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking." Journal of Materials Processing Technology. 6281 (2002) : 1-7.
45. S. Thipprakmas, M. Jin. and M. Murakawa. "Finite element simulation of Blanked Surface Features in Fine Blanking Process, Proceedings 8th ICTP." Advanced Technology of Plasticity. 1 (2005) : 85-86.
46. Faura, F., Garcia, A. and Eaterns, M. "Finite element Analysis of optimum clearance in the blanking process." Journal of Materials Processing Technology. 80 (1998) : 121-125.

ภาคผนวก ก

เงื่อนไขและวิธีการทดสอบการดึง (Tensile Test)

ชิ้นงานทดสอบจากวัสดุ JIS.SPHD P/O โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.1 mm. และความยาวก่อนดึงทดสอบ 38.0 mm.

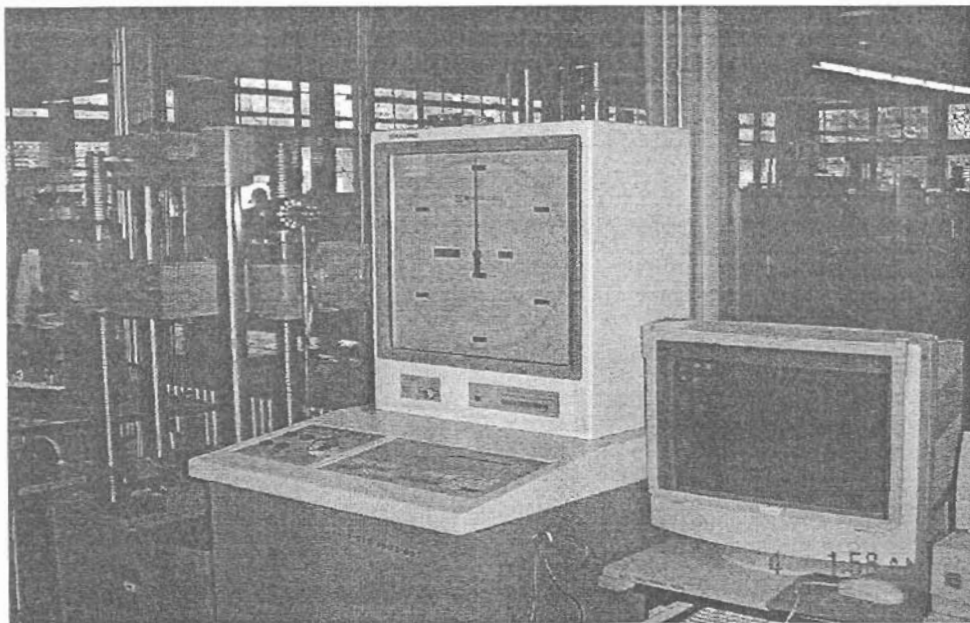


ภาพที่ ก-1 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นทดสอบเพลากลม (Specimen)

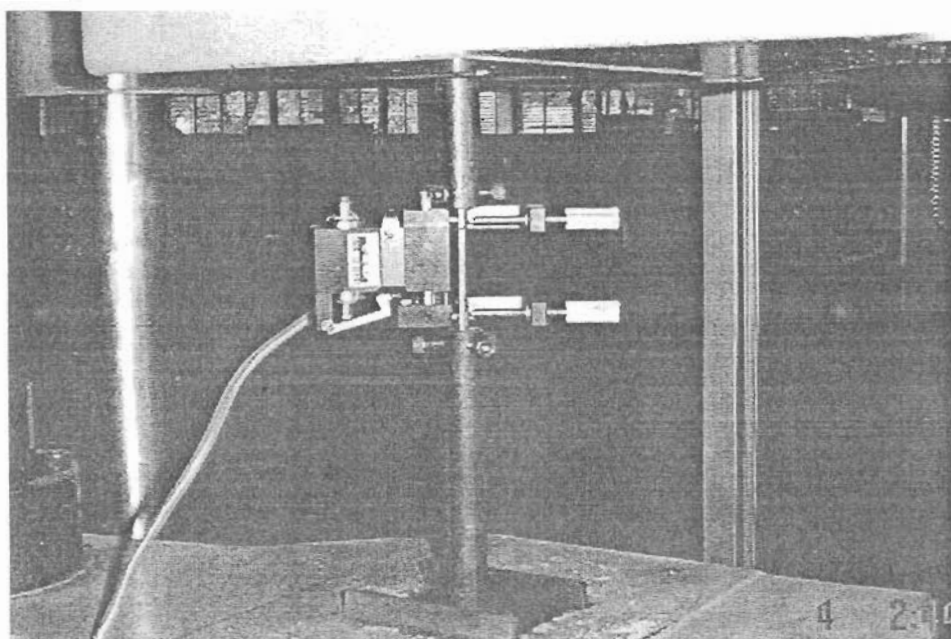
เครื่องทดสอบการดึง

เครื่องทดสอบการดึงขนาด 25 ตัน Shimadsu Universal Testing Machine ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

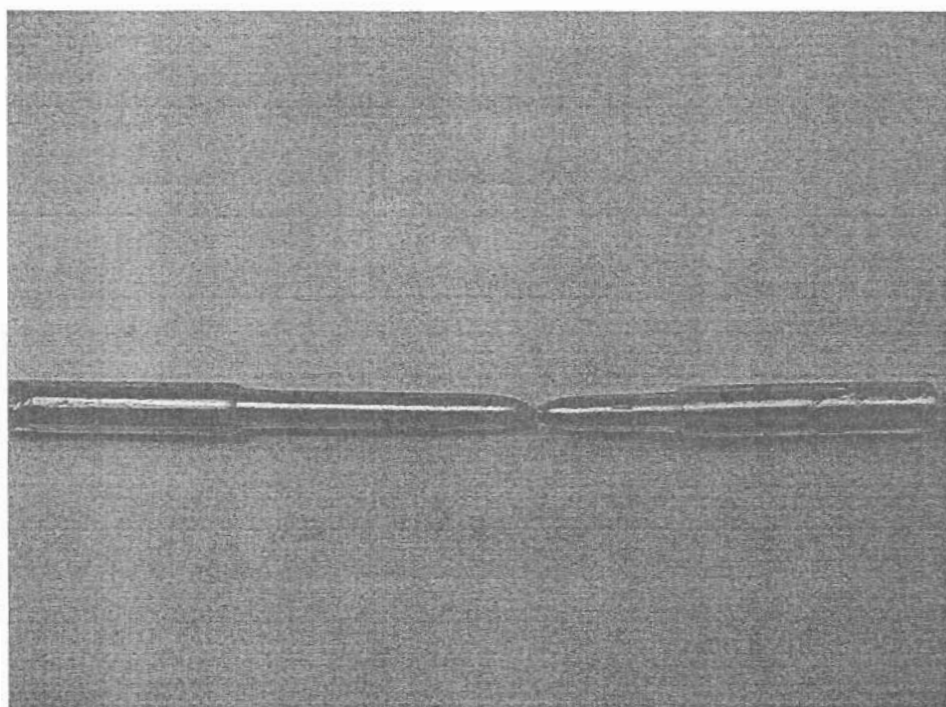
1. ส่วนของตัวเครื่องทดสอบ (Hardware)
2. ส่วนของโปรแกรมประมวลผล (Software รุ่น Win UH) ดังแสดงในภาพที่ ก-2



ภาพที่ ก-2 เครื่องทดสอบแรงดึง Shimadsu Universal Testing Machine



ภาพที่ ก-3 การติดตั้ง Extensometer กับชิ้นทดสอบ

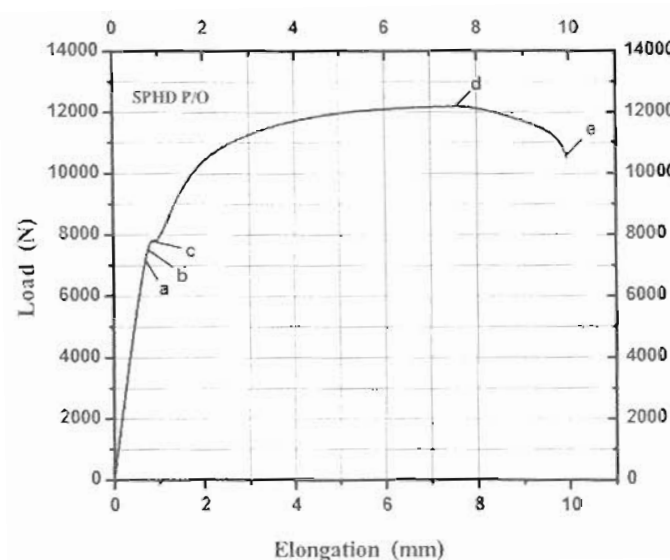


ภาพที่ ก-4 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นทดสอบที่ขาดแล้ว (Specimen)

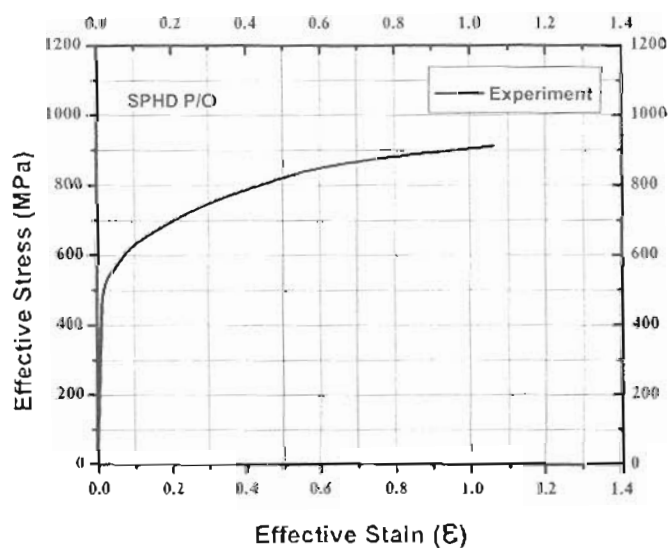
ตารางที่ ก-1 บันทึกผลการดึง

จากการทดลอง			จากการคำนวณ		
Load(P) KN	ε	Diameter D _i (mm)	σ (N/mm ²)	$\bar{\varepsilon}$	$\bar{\sigma}$ (N/mm ²)
1510	0.002	5.1	73.918	0.002	74.501
2250	0.006	5.08	110.143	0.006	111.896
3010	0.007	5.06	147.346	0.007	149.684
3760	0.01	5.05	184.06	0.009	187.72
4550	0.011	5.03	222.733	0.0109	228.976
5270	0.013	5.01	257.979	0.013	267.32
6020	0.0163	4.98	257.979	0.016	309.063
6780	0.018	4.95	331.897	0.018	352.132
7540	0.022	4.92	369.101	0.022	396.57
8300	0.032	4.90	406.305	0.032	440.144
9060	0.037	4.88	443.508	0.036	484.392
9810	0.043	4.86	480.223	0.042	528.68
10570	0.058	4.85	517.427	0.057	572.137
11800	0.108	4.71	530.575	0.102	675.857
12100	0.201	4.59	554.630	0.183	730.65
11500	0.248	4.44	523.327	0.221	741.144

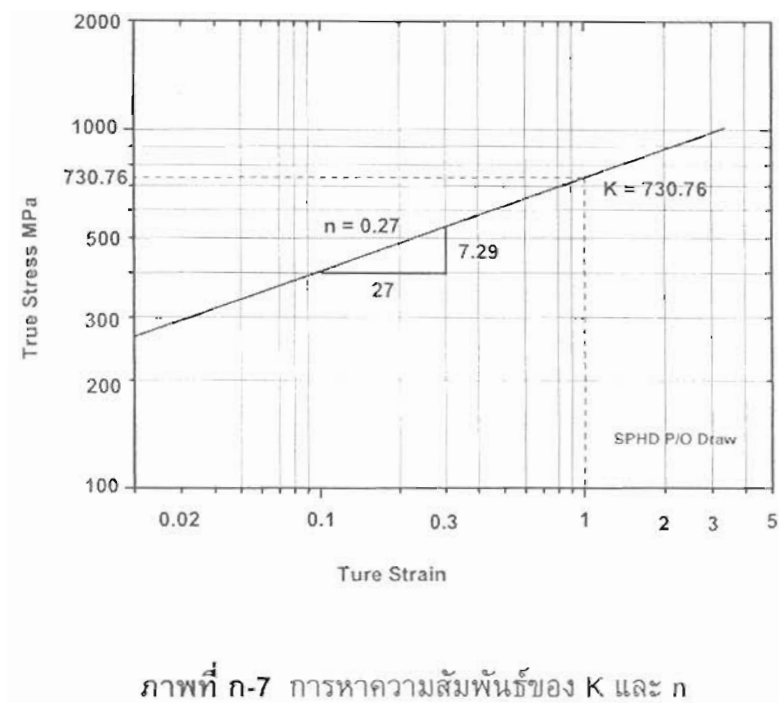
เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ ก-1 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดจริง (True Stress-Strain Curve) รวมทั้งความสัมพันธ์ ระหว่างผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง ได้ดังภาพที่ ก-5



ภาพที่ ก-5 กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึงโดยวิธีการทดลอง



ภาพที่ ก-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง True Stress-Strain Curve



จะได้ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดจริงตามสมการคือ $730.76 \epsilon^{0.26}$ MPa

ภาคผนวก ข

สมบัติทางกลของสารหล่อลื่น HOLIFA HFF 24

ตารางที่ ข-1 สมบัติทางกลของสารหล่อลื่น HOLIFA HFF 24

Appearance	Brown Liquid
Specific Gravity 20° C (g/cm ²)	0.841
Viscosity 40° C (mm ² /s)	Approximate 142
Viscosity Index	125
Flash Point (° C)	208
Pour Point (° C)	Approximate +6

สารหล่อลื่น HOLIFA HFF 24 เป็นสารหล่อลื่นที่ใช้ในงานไฟน์แบลงก์ มีคุณสมบัติคล้ายกับสารหล่อลื่นที่ได้จากธรรมชาติ (Mineral Lubricant) ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตรายเมื่อสัมผัสโดยตรง อีกทั้งบริษัทผู้ผลิตเครื่องเพชร และแม่พิมพ์ได้แนะนำให้ใช้ตามคู่มือการทำงาน (Fien Tool) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารหล่อลื่นชนิดนี้ในการทดลองเพื่อความเหมาะสมกับงานไฟน์แบลงก์ และเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน

ภาคผนวก ค

การหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

การหาขนาดตัวอย่าง

ในการทดลองที่ต้องคำนวณหาขนาดของตัวอย่าง (Sample Size; n) ที่จะทำการเก็บผลเพื่อให้ได้ผลเป็นที่ยอมรับ และเชื่อถือได้โดยอาศัยหลักการทางสถิติในงานวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์

การหาขนาดตัวอย่างทดลองกรณีการทดลองเมื่อปัจจัยคงที่

$$\phi^2 = \left[(1 + 0.01P)^2 - 1 \right] n$$

โดยที่

ϕ = OC-Curve Parameter

P = เปอร์เซนต์ความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เพิ่มจนทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน

a = จำนวนของปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง

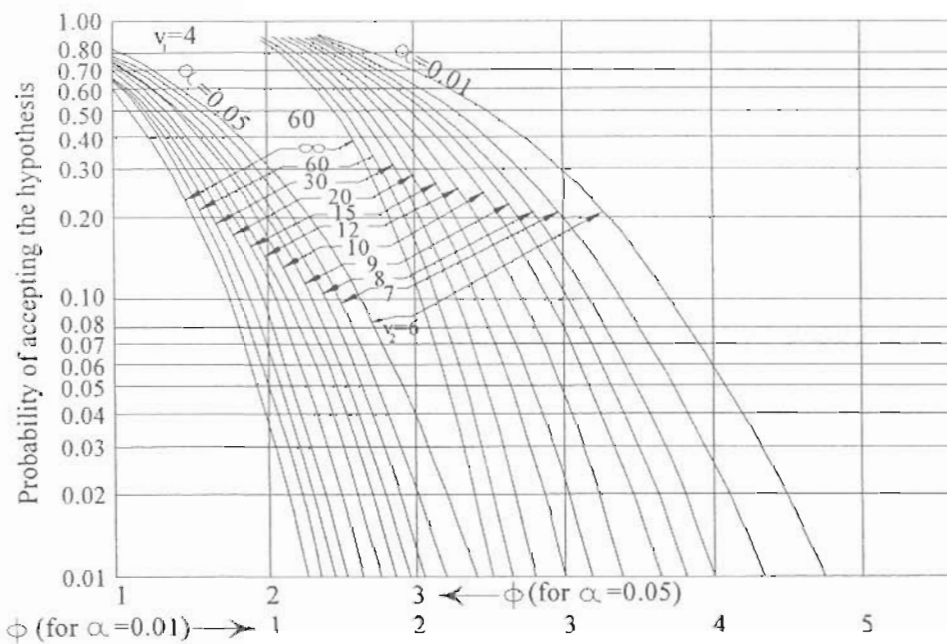
กำหนดให้ $P = 20\%$, $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.1$

เมื่อจำนวนของปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง (a) = 5

$$v_1 = (a - 1) = (5 - 1) = 4$$

$$v_2 = a(n - 1) = 5(4 - 1) = 15$$

นำค่าที่ได้ไปเปิดตารางในภาพที่ ค-1 จนกว่าจะได้ n ที่ทำให้ได้ค่า β น้อยกว่า 0.1 ซึ่งถือว่าเป็น n ที่เหมาะสม



ภาพที่ ค-1 Operating Characteristic Curves for the Fixed Effect Model Analysis of Variance

ตารางที่ ค-1 สรุปค่าจำนวนชิ้นงานทดสอบที่เหมาะสม

n	ϕ^2	ϕ	β	(1- β)	ν_1	ν_2
4	1.76	1.372	0.50	0.50	4	15
5	2.20	1.490	0.35	0.65	4	20
6	2.64	1.625	0.29	0.71	4	25
7	3.08	1.755	0.19	0.81	4	30
8	3.52	1.876	0.12	0.88	4	35
9	3.96	2.20	0.03	0.97	4	40

จากการหาขนาดตัวอย่างในตารางที่ ค-1 ได้จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมในการเก็บผลการทดลองคือ 9 ตัวอย่าง ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาคผนวก ง

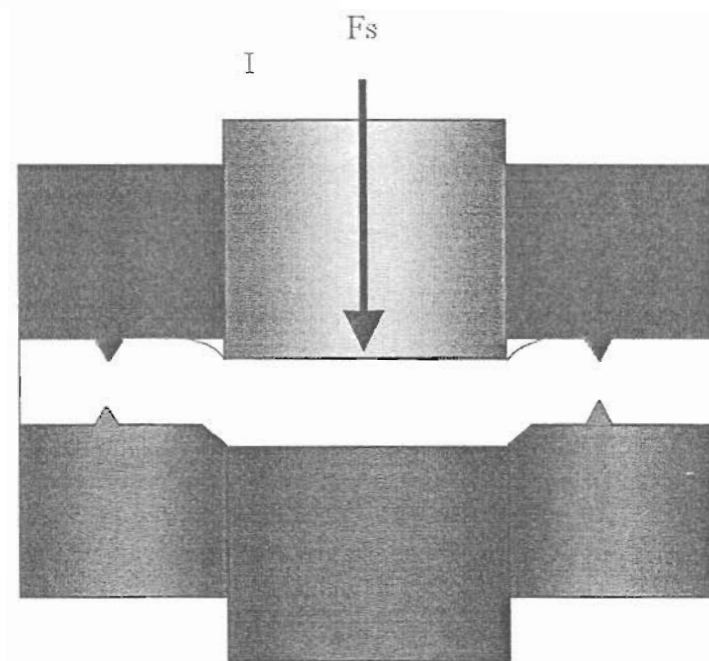
การคำนวณแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

การคำนวณแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

- วัสดุในการทดลอง : เหล็กกล้าตามมาตรฐาน JIS.SPHD P/O ขนาด
ความหนา 7.2 mm
- ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด; σ_u : 339 MPa
- ค่าช่องว่างระหว่างพื้นที่กับตาย; C : 0.5 % ของความหนาวัสดุ (0.035 mm)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงาน : ϕ 62 mm
- ค่าจากการทดลอง (f_1) : 0.9 [2]
- ค่าจากการทดลอง (f_2) : 4.0 [2]
- ค่าจากการทดลอง (f_3) : 0.2 [2]
- ค่าจากการทดลอง (q_c) : 69 MPa [2]
- ความสูงแหวนจิก (h) : 1.0 mm

จากหัวข้อที่ 2.4.1 ทฤษฎีการคำนวณหาแรงเพรสสำหรับแม่พิมพ์ไฟน์แบลงก์ สามารถคำนวณหาแรงได้ดังนี้



1. การคำนวณหาแรงตัด (Shear Force; F_s) จากสมการที่ (2-1) จะได้

$$F_s = L \cdot s \cdot R_m \cdot f_1$$

เมื่อ L = ความยาวเส้นรอบรูป = 226 mm

$$S = \text{ความหนา} = 7.2 \text{ mm}$$

$$R_m = \text{ความต้านทานแรงดึง} = 7.2 \text{ mm}$$

$$f_1 = \text{แฟกเตอร์} = 0.9$$

จากสมการ $F_s = L \cdot s \cdot R_m \cdot f_1$

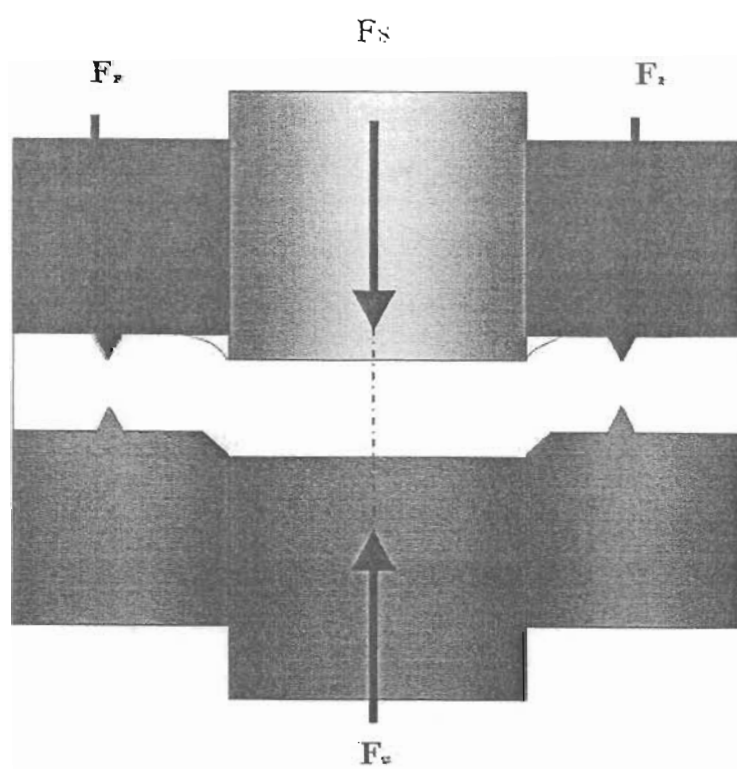
ดังนั้น

$$F_s = 226 \times 7.2 \times 344 \times 0.9$$

$$= 592945.9 \text{ N}$$

$$\therefore F_s = 60.443 \text{ Tons}$$

2. การคำนวณหาแรงกดในส่วนที่มีแหวนจิก (Ring indenter Force ; F_R)



จากสูตร

$$F_R = f_2 \times L_R \times h \times R_m$$

เมื่อ ระยะห่างระหว่างแหวนจิกกับขอบตาย ; $A = 3 \text{ mm}$
 ดังนั้น

$$L_R = \pi \times 66 \text{ mm}$$

ค่าจากการทดลอง (f_2) : 4.0

ความสูงแหวนจิก (h) : 1.0 mm

จากสมการ

$$F_R = f_2 \times L_R \times h \times \sigma_u$$

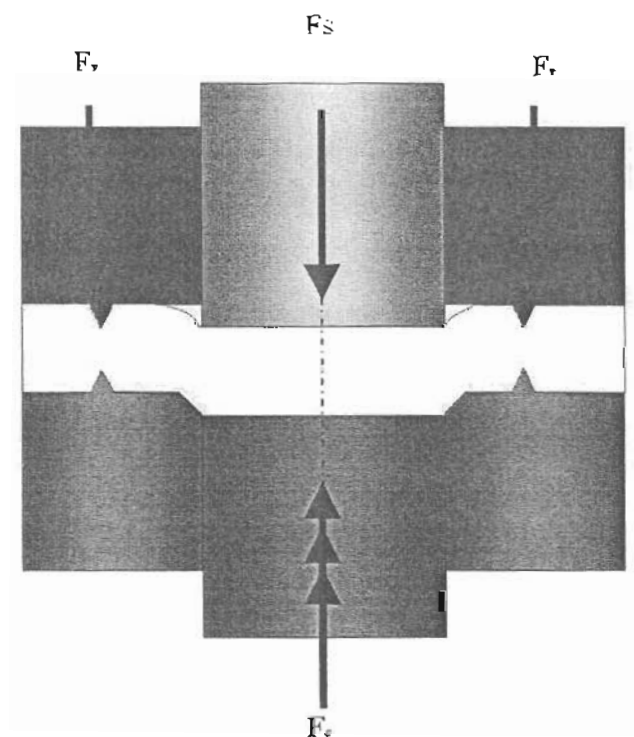
$$\therefore F_R = 4 \times 207 \times 1 \times 344 \quad \text{N}$$

$$= 285306.8 \quad \text{N}$$

$$= 29.083 \quad \text{Tons}$$

ดังนั้นแรงกดแหวนจิก = 29.083 Tons

3. คำนวณแรงต้านการตัดเฉือน (Counter Force; F_c) จากสมการที่ (2-3) ได้



จากสูตร

$$F_G = A_s \times q_G$$

เมื่อ

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} 62^2 \quad \text{mm}^2$$

$$= 3019.07 \text{ mm}^2$$

$$q_G = 69 \text{ MPa}$$

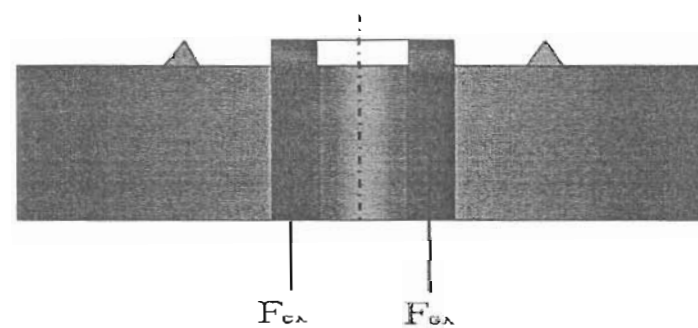
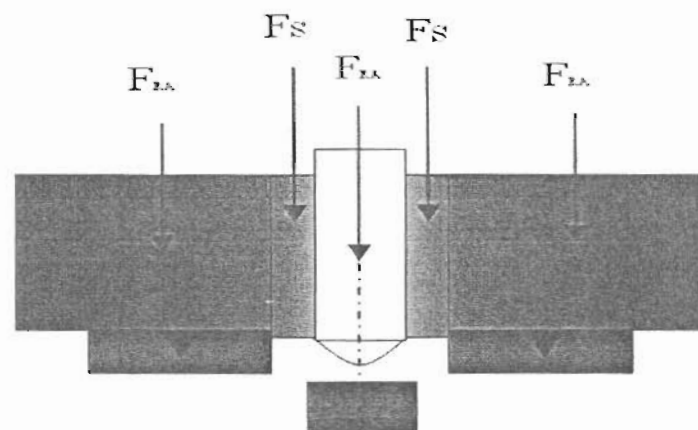
จะได้

$$F_g = 3019.07 \text{ mm}^2 \times 69 \text{ N/mm}^2$$

$$= 208316.35 \text{ N}$$

$$= 21.23 \text{ Ton}$$

4. คำนวณแรงปลดชิ้นงาน (Ejector and stripping force)



จากสูตร

$$F_{RA} = F_{GA} = F_S \times f_3$$

เมื่อ

$$F_S = 60.443 \text{ Ton}$$

$$f_3 = 0.2$$

ดังนั้น

$$F_{RA} = F_{GA} = 60.443 \times 0.2$$

$$\therefore F_{RA} = 12.08 \quad \text{Ton}$$

$$= 12.08 \quad \text{Tons}$$

5. คำนวณแรงรวมที่ใช้ในการไถ่แบลงก์หลัก (Total Major Force; F_T) จากสมการที่ (2-4) ได้ดังนี้

$$F_R = F_S + F_R + F_G$$

$$= 60.443 + 29.038 + 21.23 \quad \text{Tons}$$

ดังนั้นแรงรวมที่ใช้ในการไถ่แบลงก์เท่ากับ 110.756 Tons

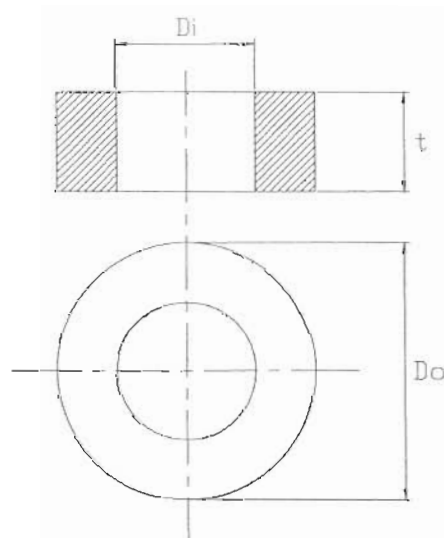
ภาคผนวก จ

การทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

การทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

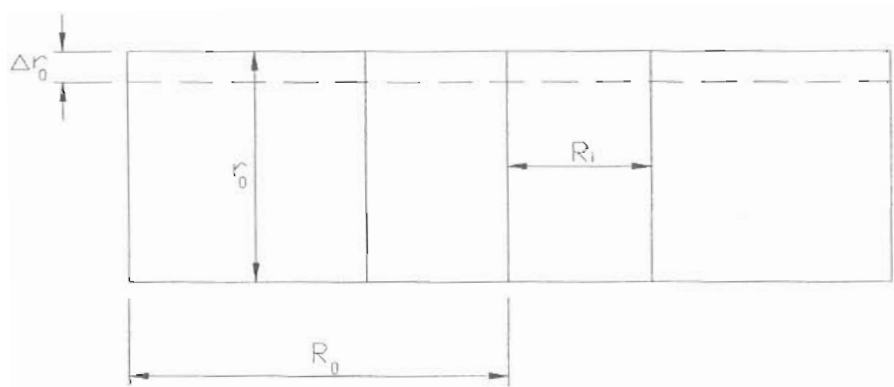
สัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างแม่พิมพ์ และชิ้นงานทุกขั้นตอนในการขึ้นรูปโลหะ มีผลต่อความเค้น (Stress) ความดัน (Pressure) รูปแบบการไหลตัว (Flowing) อุณหภูมิ (Temperature) และแรงขึ้นรูป (Total Force) ดังนั้นวิธีที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายในการขึ้นรูป (μ) จะนิยมใช้วิธี การทดสอบแรงอัดขึ้นทดสอบรูปวงแหวน (Ring Compression) ซึ่งพัฒนาโดย เมลล์ และ ค็อกคร็อพ (Male and Cockcroft) โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินค่าความเค้นในการไหลตัว (Flow Stress : σ_f) ของวัสดุและเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ) โดยการทดลองจะต้องอยู่บนสมมติฐานที่ว่า การเปลี่ยนรูปของวัสดุจะต้องเป็นแบบสม่ำเสมอ (Homogeneous) และมีความเสียหายที่คงที่ตลอดการขึ้นรูป

หลักการที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าความเสียหายภายใต้ช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ของชิ้นทดสอบคือ การหาขนาดความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบที่เปลี่ยนไป เมื่อนำชิ้นทดสอบรูปวงแหวนมากดบนแม่พิมพ์แผ่นราบที่มีค่าความแข็ง ชนิดของวัสดุชิ้นทดสอบและค่าความละเอียดผิวควรเหมือนแม่พิมพ์จริง เพื่อให้ได้อัตราส่วนของความสูงลดลงประมาณ 50% โดยมีขนาดของวงแหวนในอัตราส่วน $D_o : D_i : t$ เท่ากับ 6 : 3 : 2 ขณะทำการขึ้นรูปการกดขึ้นทดสอบ ทิศทางของแรงกดจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวชิ้นทดสอบ ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการไหลตัวในทิศทางขนานกับผิวแม่พิมพ์ ถ้าเราสังเกตที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นทดสอบที่อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างผิวชิ้นทดสอบกับผิวแม่พิมพ์ โดยการเปลี่ยนรูปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นทดสอบมีอยู่ 3 ลักษณะคือ



ภาพที่ จ-1 แสดงขนาดของชิ้นทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่าเดิม แสดงว่า $\mu = 0$ ซึ่งจะเกิดเมื่อมีการไหลตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงแหวน ที่เป็นสัดส่วนต่อกัน แต่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงแหวนมีขนาด เท่าเดิม
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพิ่มขึ้น แสดงว่า μ มีค่าน้อย เมื่อวงแหวนเกิดการไหลตัวตามแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย จึงไม่เกิดการหดตัวกลับของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในลดลง แสดงว่า μ มีค่ามาก เมื่อวงแหวนเกิดการไหลตัวตามแรงเฉือนที่เกิดขึ้น อัตราการขยายตัวของวงแหวนจะเริ่มลดลงเนื่องจากความเสียหายที่มีมากพอที่จะทำให้เกิดการหดตัวของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นทดสอบ ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจึงมีค่าลดลง

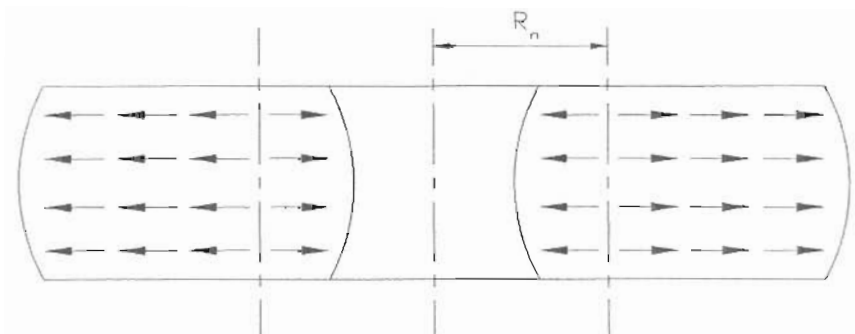


ก) วงแหวนก่อนการทดสอบ



ข) การเปลี่ยนรูปเนื่องจากความเสียหายต่ำ

ภาพที่ จ-2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนรูป ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังการทดสอบ



ค) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังการทดสอบ

ภาพที่ จ-2 (ต่อ)

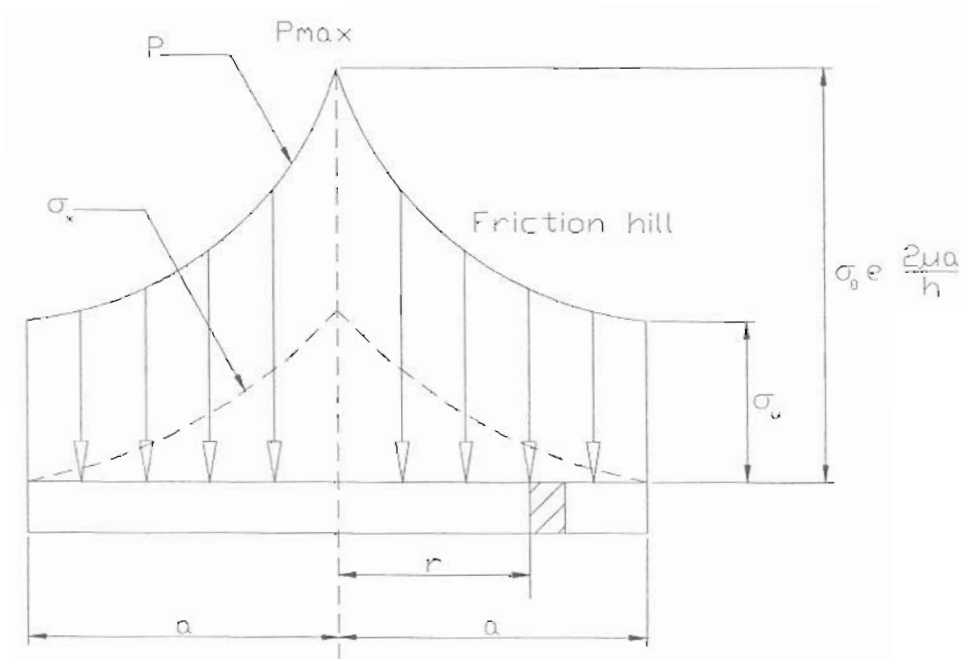
ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นวงกลมแบนราบ สามารถอธิบายได้โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย คูลอมป์ ดังนี้

$$\mu = \frac{\tau_i}{\rho} \quad (จ-1)$$

เมื่อ τ_i = ความเค้นเฉือนที่ผิวสัมผัส
 ρ = ความเค้นตั้งฉากที่ผิวสัมผัส

โดยที่ความดันที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงกลมแบนราบจะมีการกระจายแบบ สมมาตรรอบแกน และความดันจะมากที่สุดที่จุดศูนย์กลางแผ่น ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเรียกว่า Friction Hill โดยมีสมการดังนี้

$$\rho = \sigma_o e^{\frac{2\mu}{h}(a-r)} \quad (จ-2)$$



ภาพที่ จ-3 Friction Hill ที่เกิดขึ้นบนแผ่นจานกลม

จากสมการที่ 2 สามารถหาสมการความดันเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\bar{p} = \frac{\int_0^a 2\pi r p dr}{\pi a^2} = \frac{\sigma_0}{2} \left(\frac{h}{\mu a} \right)^2 \left[e^{2\mu a/h} - \frac{2\mu a}{h} - 1 \right] \quad (จ-3)$$

ตามทฤษฎีของ Von mises จะให้ความสัมพันธ์ของแรงภายใต้สภาวะ Sticking คือ

$$\tau_i = \tau_o = k = \frac{\sigma_o}{\sqrt{3}} \quad \text{ได้ดังนี้}$$

$$p = \sigma_v \left[1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{[a-r]}{h} \right] \quad (จ-4)$$

วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจากการทดสอบแรงอัดขึ้นทดสอบรูปวงแหวน (Ring Compression Test) โดยใช้สารหล่อลื่น (Lubricant Test) ระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ โดยอาศัยกฎของคลอมป์ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกคร็อบ (Male and Cockcroft) สามารถหาได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. หาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นทดสอบ สามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{Reduction in Internal Diameter} = \frac{d_0 - d_1}{d_0} \times 100 \quad (\text{จ-5})$$

เมื่อ d_0 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในก่อนกดทดสอบ

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังกดทดสอบ

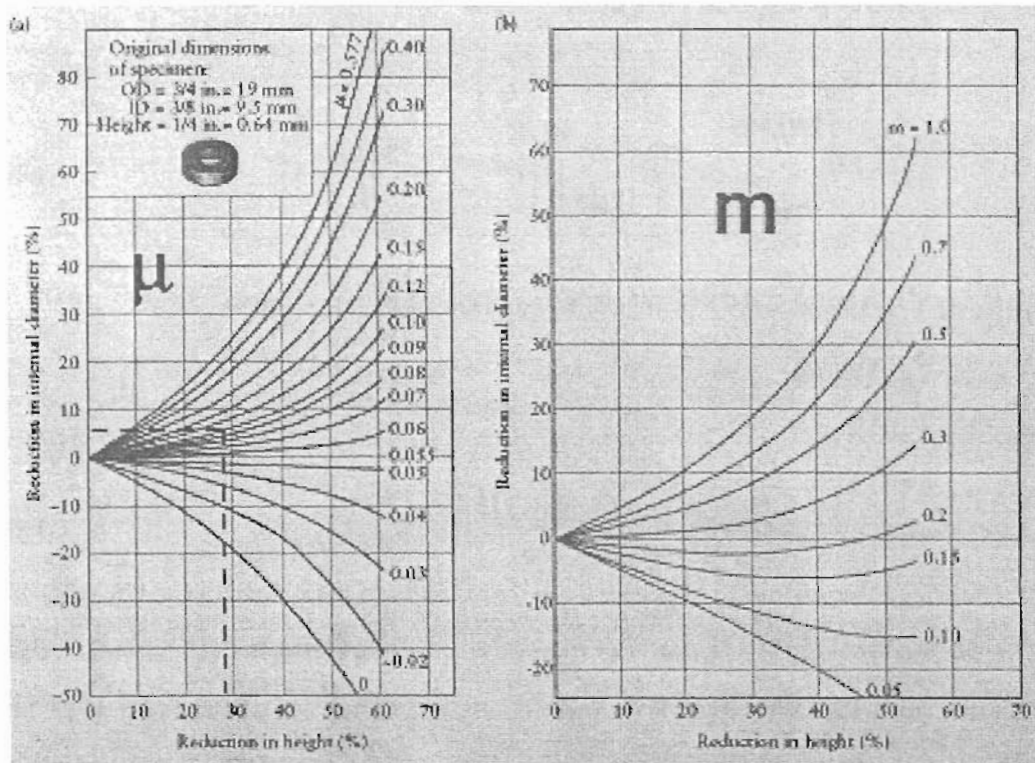
2. หาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชิ้นทดสอบ สามารถหาได้ดังนี้

$$\% \text{Reduction in Height} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100 \quad (\text{จ-6})$$

เมื่อ h_0 = ขนาดความสูงของชิ้นทดสอบก่อนกด

h_1 = ขนาดความสูงของชิ้นทดสอบหลังกด

3. นำค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชิ้นทดสอบไปอ่านค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ) ได้จากกราฟ (Calibration Curve) ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกคร็อป (Male and Cockcroft)



ภาพที่ จ-4 กราฟ Calibration Curve ตามทฤษฎีของเมลล์และค็อกคร็อป

ตารางที่ จ-1 แสดงผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายชั้นทดสอบ

ความละเอียดผิวพื้นและตาย Ra 0.3 μm

ชนิดวัสดุ	น้ำมันหล่อลื่น Holifa HFF. 24									
	ความ เรียบผิว Ra (μm)	ชั้น ที่	Internal Diameter (mm)		Height (mm)		% ID	% H	μ	$\bar{\mu}$
			ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง				
เหล็กกล้า คาร์บอนต่ำ SPHD P/O	1.4	1	10.2	10.9	7.1	5.2	5.88	26.76	0.115	0.114
		2	10.2	11.0	7.1	5.0	7.84	29.57	0.118	
		3	10.2	10.7	7.1	5.3	4.90	25.35	0.110	
		4	10.2	10.7	7.1	5.3	4.90	25.35	0.110	
		5	10.2	10.8	7.1	5.1	5.88	28.17	0.116	

จากผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายตามกฎของคูลอมบี้ สำหรับวัสดุชิ้นงาน
 ไฟน์แบล็กที่นำมาใช้กับน้ำมันหล่อลื่น Holifa HFF. 24 และแม่พิมพ์ไฟน์แบล็กในงานของ
 ผู้วิจัยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย (μ) = 0.114

ภาคผนวก จ

การวัดคุณภาพผิวและคุณภาพรูปร่าง

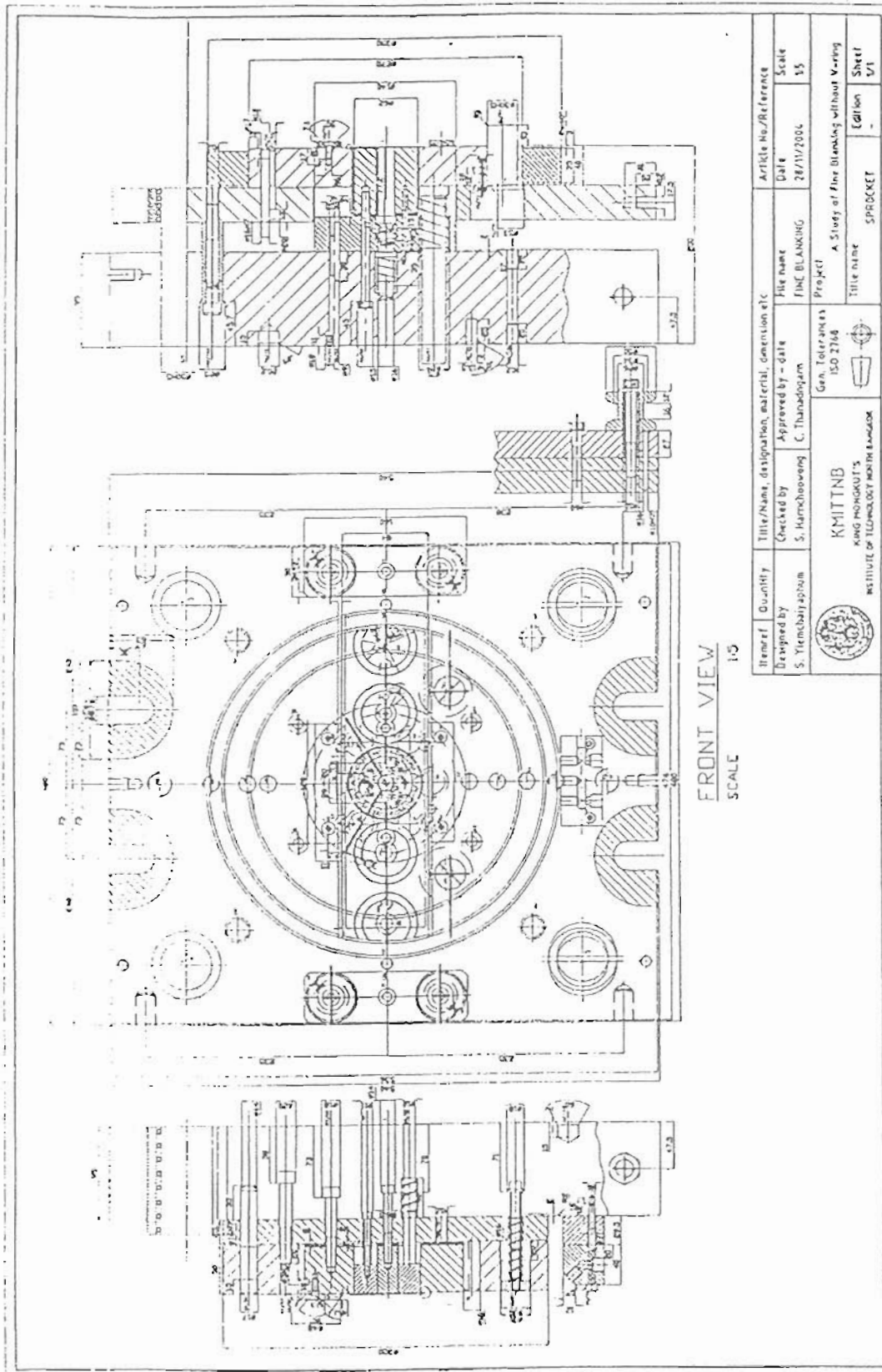
ตารางที่ จ.1 ผลการวัดคุณภาพผิวและคุณภาพทรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

มุมลาดเอียง องศา	ความลึกคมตัด	คุณภาพผิวและ คุณภาพรูปทรง ของชิ้นงาน	ผลการสุ่มวัดชิ้นงาน									ค่าเฉลี่ย mm
			ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4	ชั้นที่ 5	ชั้นที่ 6	ชั้นที่ 7	ชั้นที่ 8	ชั้นที่ 9	
45	2.0	ความกว้างด้ายโรล c	6.23	6.11	6.168	6.20	6.24	6.11	6.19	6.21	6.17	6.18
		ความลึกด้ายโรล d	2.19	2.21	2.28	2.22	2.27	2.2	2.19	2.23	2.29	2.23
		ความลึกต่ำสุดรอยฉีกขาด h_{s1}	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100 %
		ความลึกสูงสุดรอยฉีกขาด h_{s2}	94.98	95.24	95.15	95.19	94.84	95.37	94.83	95.23	95.12	95.10 %
		ความลาดเอียงผิวรอยตัด w	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		สการ์ E	3	4	4	3	3	4	4	3	4	4
		ความกว้างรอยฉีกขาดที่ ยอมรับได้ b_A	0.32	0.30	0.33	0.30	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31
		ความสูงรอยเส้น e	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
		ความเรียบผิว R_a (μm)	3.47	3.33	3.41	3.38	3.42	3.40	3.48	3.47	3.44	3.42

ความละเอียดผิวแม่พิมพ์โฟมบล็ก R_a 3.38 μm

ภาคผนวก ข

แบบแม่พิมพ์ไฟน์เบลงก์



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายวีระพรรณ กระจับเงิน
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : ศึกษาผลกระทบของมุมปากตายในงานไฟน์แบลنگก์
 สาขาวิชา : วิศวกรรมการผลิต

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2514 ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 30 หมู่ 3 ตำบลบางเตือ อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี เป็นบุตรของ นายสุดใจ นางมาลี กระจับเงิน ซึ่งเป็นบุตรคนที่ 1 ในจำนวนพี่น้องทั้งหมด 2 คน

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนปทุมวิไล อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี ปีการศึกษา 2530 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโรงงาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคนนทบุรี ปีการศึกษา 2533 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างกลโรงงาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคนนทบุรี ปีการศึกษา 2535 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ-เครื่องมือกล คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปี พ.ศ. 2537

ประวัติการทำงาน ปี พ.ศ. 2538 รับราชการเป็นอาจารย์ประจำแผนกเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคสัทธิบ จังหวัดชลบุรี จนถึงปัจจุบัน