

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 นิยามศัพท์ที่สำคัญ	5
2.3 ทฤษฎีที่สำคัญ	5
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	34
3.1 แผนการดำเนินงาน	34
3.2 วัสดุที่จะนำมาใช้ทำการขึ้นรูปลึง	36
3.3 การเตรียมชิ้นงาน	36
3.4 กำหนดตัวแปรทดสอบ	40
3.5 ขั้นตอนการทดสอบและการเก็บข้อมูล	42
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	47
4.1 ผลของการทดสอบด้วยชนิดของครอว์ปีด	47
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยครอว์ปีด	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	90
5.1 สรุปผลการทดลอง	90
5.2 ข้อเสนอแนะ	93
บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก ก	96
การคำนวณ	97
ภาคผนวก ข	103
ข้อมูลการทดลอง	104
ภาคผนวก ค	112
การทดสอบตามมาตรฐาน	113
ประวัตินักวิจัย	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขนาดของครอว์บีตและตำแหน่งของระยะห่างในการยึดติด	19
2.2	ค่าอัตราส่วนการดึงขึ้นรูปสูงสุด	23
2.3	การจัดแบ่งประเภท และส่วนผสมทางเคมี	25
2.4	ความต้านทานแรงดึงและการยึดตัว	26
2.5	รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์	30
2.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง	30
4.1	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยแรงขึ้นรูปของครอว์บีตทั้งสามชนิด	74
4.2	Two-way ANOVA: Punch force(kN) versus Type draw bead, High(mm)	76
4.3	ค่าความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีตทั้งสามชนิดที่จุด A6	78
4.4	Two-way ANOVA: Equivalentstrain versus type draw bead, high	80
ข.1	แรงของการขึ้นรูปของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยม	104
ข.2	แรงของการขึ้นรูปของครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลม	105
ข.3	แรงของการขึ้นรูปของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียง	106
ข.4	ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยม	107
ข.5	ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลม	107
ข.6	ความรุนแรงด้วยความเครียดเทียบเท่าของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียง	108
ข.7	ความหนาของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยม	108
ข.8	ความหนาของครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลม	109
ข.9	ความหนาของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียง	109
ข.10	ความเครียดความหนาของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยม	110
ข.11	ความเครียดความหนาของครอว์บีตชนิดครึ่งวงกลม	110
ข.12	ความเครียดความหนาของครอว์บีตชนิดสามเหลี่ยมเอียง	111
ค.1	ข้อมูลการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้า SPCC	114
ค.2	ตารางสถิติ F $\alpha = 0.05$	116

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2. 1	ชิ้นงานที่ขึ้นรูปแบบไม่สมมาตร	6
2. 2	ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร	6
2.3	สิ่งบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงานดึงขึ้นรูป	11
2.4	แสดงลักษณะการคัดของครอว์ปีด	12
2.5	ลักษณะของครอว์ปีดในแม่พิมพ์ดึงขึ้นรูป	14
2.6	ครอว์ปีดแบบหน้าตัดกลม	15
2.7	ครอว์ปีดแบบหน้าครึ่งตัดกลม	15
2.8	ครอว์ปีดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	16
2.9	ครอว์ปีดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า	16
2.10	ครอว์ปีดแบบหน้าตัดรูปตัววี	17
2.11	ร่องปีดแบบหน้าตัดตามรูปร่างของครอว์ปีด	17
2.12	ร่องปีดแบบหน้าตัดครึ่งวงกลม	17
2.13	ร่องปีดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	18
2.14	ร่องปีดแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู	18
2.15	ร่องปีดแบบหน้าตัดสามเหลี่ยม	18
2.16	ตำแหน่งและระยะของครอว์ปีด	19
2.17	ชิ้นงานทดสอบแรงดึงในทิศทางต่างของโลหะแผ่น	20
2.18	รูปแบบของกริดวงกลม	27
2.19	อิเล็กทรอนิกส์	27
2.20	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด	28
2.21	การเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลม	28
3.1	แผนภาพการดำเนินโครงการ	35
3.2	เครื่องกักอัดโนมิตีเดนโปรแกรมตามที่ได้ตั้งไว้	36
3.3	ชิ้นงานครอว์ปีด	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.4	แผ่นตัดเปล่า	37
3.5	การติดตั้งอุปกรณ์จับยึด	37
3.6	การจับยึดแผ่นงานด้วยแคลมป์	38
3.7	แผ่นชิ้นงานที่ผ่านการกัด CNC	38
3.8	แผ่นชิ้นงานสำเร็จ	38
3.9	ทำความสะอาดแผ่นแบลงก์ด้วยน้ำยาอิลีคโตรโไลต์ และวางแผ่นแบลงก์บนถาด	39
3.10	นำน้ำยาอิลีคโตรโไลต์มาทาแผ่นผ้าสักหลาดแล้วรีดด้วยลูกกลิ้ง	39
3.11	แผ่นแบลงก์ที่ผ่านการตีกริดเรียบร้อยแล้ว	40
3.12	ครอว์ปัดแบบเอียงด้านเดียว	41
3.13	ครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยม	41
3.14	ครอว์ปัดชนิดส่วนโค้งครึ่งวงกลม	41
3.15	แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน	42
3.16	อุปกรณ์ขยายสัญญาณ	42
3.17	การประกอบครอว์ปัด	43
3.18	การขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร	44
3.19	จุดที่ใช้ในการตรวจสอบความเครียดบนชิ้นงาน	44
3.20	แสดงการวัดขนาดของกริดบนชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้วโดยการใช้โปรแกรม Microscopy Image Processing System	45
4.1	จุดบกพร่องชิ้นงานหลังการขึ้นรูปของครอว์ปัด	48
4.2	ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 3 มม.	48
4.3	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 3 มม.	49
4.4	ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 4 มม.	49
4.5	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 4 มม.	50
4.6	ชิ้นงานที่ใช้ครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 5 มม.	50
4.7	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของครอว์ปัดชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 5 มม.	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 6 มม.	51
4.9	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 6 มม.	52
4.10	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 7 มม.	52
4.11	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 7 มม.	53
4.12	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 8 มม.	53
4.13	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยมที่ความสูง 8 มม.	54
4.14	แรงซึ้นรูปซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยม	54
4.15	จุดตรวจวัดที่ตรวจสอบความเครียด	55
4.16	ความเครียดเทียบเท่าที่ไม่มีครอว์ปีค	56
4.17	ความเครียดเทียบเท่าของครอว์ปีคชนิดสามเหลี่ยม	56
4.18	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 3 มม.	58
4.19	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 3 มม.	58
4.20	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 4 มม.	59
4.21	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 4 มม.	59
4.22	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 5 มม.	60
4.23	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 5 มม.	60
4.24	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 6 มม.	61
4.25	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 6 มม.	61
4.26	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 7 มม.	62
4.27	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 7 มม.	62
4.28	ซึ้นงานที่ไ้ครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 8 มม.	63
4.29	แรงซึ้นรูปกับแรงกดซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลมที่ความสูง 8 มม.	63
4.30	แรงซึ้นรูปซึ้นงานของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลม	64
4.31	ความเครียดเทียบเท่าของครอว์ปีคชนิดครึ่งวงกลม	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.32	ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 3 มม.	66
4.33	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 3 มม.	66
4.34	ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 4 มม.	67
4.35	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 4 มม.	67
4.36	ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 5 มม.	68
4.37	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 5 มม.	68
4.38	ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 6 มม.	69
4.39	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 6 มม.	69
4.40	ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 7 มม.	70
4.41	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 7 มม.	70
4.42	ชิ้นงานที่ใช้ดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 8 มม.	71
4.43	แรงขึ้นรูปกับแรงกดชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียงที่ความสูง 8 มม.	71
4.44	แรงขึ้นรูปชิ้นงานของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง	72
4.45	ความเครียดเทียบเท่าของดรอว์บีคชนิดสามเหลี่ยมเอียง	72
4.46	กราฟ Residual plots for punch force (kN)	75
4.47	กราฟ Individual value plot of punch force (kN) by type draw bead, high (mm)	77
4.48	กราฟ Boxplot of punch force (kN) by type draw bead, high (mm)	77
4.49	กราฟ Residual plots for equivalent strain	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.50	กราฟ Individual value plot of equivalent strain vstype draw bead, high (mm)	80
4.51	กราฟ Boxplot of equivalent strain vstype draw bead, high (mm)	81
4.52	แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์ปิดที่ความสูง 3 มม.	82
4.53	แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์ปิดที่ความสูง 4 มม.	82
4.54	แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์ปิดที่ความสูง 5 มม.	83
4.55	แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์ปิดที่ความสูง 6 มม.	84
4.56	แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์ปิดที่ความสูง 7 มม.	84
4.57	แรงขึ้นรูปขึ้นงานของครอว์ปิดที่ความสูง 8 มม.	85
4.58	ความหนาของขึ้นงานครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมหลังการขึ้นรูป	86
4.59	ค่าความเครียดความหนาของขึ้นงานครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมหลังการขึ้นรูป	86
4.60	ความหนาของขึ้นงานครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมหลังการขึ้นรูป	87
4.61	ค่าความเครียดความหนาของขึ้นงานครอว์ปิดชนิดครึ่งวงกลมหลังการขึ้นรูป	88
4.62	ความหนาของขึ้นงานครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงหลังการขึ้นรูป	88
4.63	ค่าความเครียดความหนาของขึ้นงานครอว์ปิดชนิดสามเหลี่ยมเอียงหลังการขึ้นรูป	89
ก.1	เส้นขอบรูปของขึ้นงานหาความยาว Lt (L Total)	97
ก.2	การคำนวณแผ่นตัดเปล่า	100
ค.1	เส้นโค้งการไหลตัวของวัสดุ SPCC	115