สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

การวิเคราะห์การออกแบบเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC

An Analysis Design of the CNC High-Speed Milling Machine

ลงทะเบียนวันที่ 11 ก.พ. 2552
เลขทะเบียน 099463
เลขหมู่ วพ TJ 1185 ส๔๑ ก
หัวเรื่อง - เครื่องมือกล
- เครื่องกัด

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ แก่นทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ วงศ์กระจ่าง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สญชัย เข็มเจริญ

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและสร้างองค์ความรู้
โดยได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประจำปีงบประมาณ 2550

แบบแสดงหลักฐานการมีส่วนร่วมในผลงานทางวิชาการ

☐ ตำราเรียนหรือหนังสือ ☑ งานวิจัย ☐ ผลงานทางวิชาการในลักษณะอื่นๆ

ผู้ร่วมงาน จำนวน 4 คน แต่ละคนมีส่วนร่วมดังนี้:-

ชื่อผู้ร่วมงาน	ปริมาณงานร้อยละ	หน้าที่ความรับผิดชอบ
ผศ. สมศักดิ์ แก่นทอง	80	หัวหน้าโครงการวิจัย
ผศ.ดร. ศิวกร อ่างทอง	10	นักวิจัย
ผศ.ดร. อนันต์ วงศ์กระจ่าง	5	นักวิจัย
ผศ. สญชัย เข็มเจริญ	5	นักวิจัย

หมายเหตุ งานวิจัย เรื่อง *การวิเคราะห์การออกแบบเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC*

ลงชื่อ.....
(ผศ. สมศักดิ์ แก่นทอง)

ลงชื่อ.....
(ผศ.ดร. ศิวกร อ่างทอง)

ลงชื่อ.....
(ผศ.ดร. อนันต์ วงศ์กระจ่าง)

ลงชื่อ.....
(ผศ. สญชัย เข็มเจริญ)

บทคัดย่อ

เครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC แบบ Vertical Milling Machine แบบ 3 แกน เป็นเครื่องจักรควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ มีความแม่นยำในการทำงานสูง เหมาะกับความต้องการของผู้ผลิตในยุคปัจจุบันอย่างยิ่ง เพราะเครื่องกัดแบบนี้ สามารถทำการผลิตได้รวดเร็วและมีความเที่ยงตรงแม่นยำในการทำงานสูง ในปัจจุบันปริมาณการนำเข้าเครื่องจักรกลประเภทนี้ เพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ซึ่งทำให้ประเทศไทยต้องเสียดุลการค้าต่างประเทศ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความต้องการทำการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องกัดรอบสูงที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบ CNC ขึ้นมาเพื่อเป็นการศึกษาปัญหาในการสร้างและออกแบบเครื่องกัดรอบสูง อีกทั้งยังเป็นการหาแนวทางในการสร้างเครื่องจักรเพื่อการผลิตขึ้นมาใช้เองภายในประเทศ เพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้า

ในการศึกษาออกแบบครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC เครื่องนี้ ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ทุกๆ ชิ้นส่วน ซึ่งในการออกแบบนั้น นอกจากจะต้องออกแบบให้มีรูปร่างเหมาะสมและสะดวกในการใช้งานแล้วยังต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่างๆ ที่จะต้องสามารถรองรับภาระโหลดที่เกิดขึ้นในขณะทำงานได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบผู้ออกแบบได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่สำคัญๆ ต่างๆ ด้วยโปรแกรม Finite Elecment Analysis (FAE) เพื่อทดสอบว่าชิ้นส่วนที่ออกแบบมานั้นมีความแข็งแรงพอที่จะรองรับภาระโหลดได้ โดยจะไม่มีปัญหาการบิดตัวหรือโก่งตังของโครงสร้าง อันจะให้เกิดปัญหาความแม่นยำในการทำงานของเครื่องได้ หลังจากมั่นใจแล้วว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงมากพอที่จะรองรับภาระโหลดได้โดยไม่มีปัญหาจึงได้ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบจนแล้วเสร็จ จากนั้นจะทำการตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักรตามมาตรฐาน ISO 1984 หากพบข้อผิดพลาด ก็จะทำการแก้ไขปรับแต่งชิ้นส่วนทางกลและชดเชยความแม่นยำในระบบควบคุมให้ได้ตามมาตรฐานกำหนด และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการทดสอบการทำงานของเครื่องกัด

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการออกแบบและสร้างเครื่องกัดรอบสูงควบคุมการทำงานด้วย CNC สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เครื่องต้นแบบสามารถใช้กัดชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยมีความผิดพลาดน้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด ทั้งนี้ยังเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ความแข็งด้วย FAE อีกด้วยว่าชิ้นส่วนต่างๆ สามารถรับภาระโหลดได้เป็นอย่างดีตามที่วิเคราะห์ไว้ก่อนหน้าแล้ว จากผลการทดลองกัดชิ้นงานตัวอย่างได้ผลเป็นที่น่าพอใจ มีความเที่ยงตรงแม่ยำในการทำงานในระดับที่ดีมาก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การออกแบบสร้างเครื่องกัด CNC ได้ดำเนินการเสร็จตามแผนการดำเนินงานของโครงการ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยได้รับความอนุเคราะห์ จากหน่วยงานและผู้เชี่ยวชาญหลายท่านที่กรุณาได้ให้คำแนะนำและติชมมาโดยตลอด

ดังนั้นคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ทุกๆ หน่วยงาน และผู้เชี่ยวชาญทุกๆ ท่านที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ในการสนับสนุน การดำเนินงานวิจัยชิ้นนี้ให้แล้วเสร็จ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย และขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ที่ได้อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย และการขออนุมัติจัดซื้อจัดจ้าง และเบิกจ่ายงบประมาณ นอกจากนี้คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณผู้ร่วมงานวิจัยทุกๆ ท่านที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่านในการร่วมกันทำงานอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ วงศ์กระจ่าง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สญชัย เข็มเจริญ ที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ นายราม ชาติภุกต์ นอกจากจะทำหน้าที่ เป็นผู้ช่วยนักวิจัยที่ดี แล้วยังทำหน้าที่รวบรวมเอกสารและจัดทำรูปเล่มงานวิจัยชิ้นนี้อีกด้วย

ผู้ช่วยศาตราจารย์ สมศักดิ์ แก่นทอง
หัวหน้าคณะผู้วิจัย

สารบัญ

บทคัดย่อ ..... **i**

กิตติกรรมประกาศ ..... **ii**

สารบัญ ..... **iii**

สารบัญรูป ..... **vi**

สารบัญตาราง ..... **x**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้ของการวิจัย 3

บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎี **4**

2.1 เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling) 4

2.2 การออกแบบโครงสร้างเครื่องจักร 6

2.1.1 แนวทางการออกแบบ 6

2.1.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องกัด 10

2.2 แนวคิดและขั้นตอนการออกแบบ 12

2.2.1 ความคิดและขั้นตอนการออกแบบ 12

2.2.2 การออกแบบเครื่องจักรตามความคิด 13

2.2.3 การตรวจสอบความแม่นยำและแก้ไขตามหลักการออกแบบ 15

2.3 การเลือกใช้วัสดุสำหรับการออกแบบเครื่องจักร 22

2.3.1 ทฤษฎีของวัสดุวิศวกรรม 22

2.3.2 วัสดุในงานออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 22

2.3.3 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ 23

2.3.4 สมบัติทางโลหะของวัสดุ 25

2.4 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 31

2.4.1 ทฤษฎีความแข็งแรงของวัสดุ 31

2.4.2 หลักการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 37

2.5 ระบบการควบคุมการทำงาน 44
2.5.1 ชนิดของการควบคุมการเคลื่อนที่ (Control Modes) 44
2.5.2 องค์ประกอบของระบบควบคุมซีเอ็นซี (CNC Control system components) .. 47
2.5.3 ระบบควบคุมการขับเคลื่อน 48
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 79
3.1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องกัด CNC 79
3.1.1 เสา (Double Column) 79
3.1.2 ฐานเครื่อง (Base) 80
3.1.3 Saddle 81
3.1.4 Spindle Head 82
3.1.5 โต๊ะงาน (Table) 83
3.1.6 รางนำเลื่อน (Linear guide way) 84
3.2 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องกัด CNC 84
3.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องกัด CNC 92
3.4 การประกอบชุดขับเคลื่อน 93
3.5 การประกอบชุดควบคุม 96
3.6 ขั้นตอนการทดสอบค่าความแม่นยำเครื่องกัด CNC 97
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล 103
4.1 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องกัด CNC 103
4.2 ผลการวิเคราะห์การทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องกัด CNC 105
4.2.1 Double Column 106
4.2.2 Base 106
4.2.3 Saddle 107
4.2.4 Spendle Head 108
4.2.5 Table 109
4.3 ผลการคำนวณอายุการใช้งาน Linear guide way 110
4.4 สรุปผลการวิเคราะห์ 112
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 114
5.1 สรุปผลการวิจัย 114

5.1.2 ข้อกำหนดเฉพาะของเครื่อง (Specification) 114
5.1.2 ลักษณะทั่วไปของเครื่อง 115
5.2 ข้อเสนอแนะ 116
เอกสารอ้างอิง 118
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์โครงสร้างชิ้นส่วน 119
ภาคผนวก ข ตารางแสดงคุณสมบัติวัสดุเหล็กหล่อ 125
ภาคผนวก ค แสดงตารางการเลือกใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน 128
ภาคผนวก ง ตารางแสดงการเลือกใช้ Ball screws 132
ภาคผนวก จ ตารางแสดงการเลือกใช้ Linear guide way 139
ภาคผนวก ฉ การคำนวณอายุการใช้งาน Linear guide way 143
ภาคผนวก ช ตารางแสดงการตรวจสอบความแม่นยำเครื่องกัด CNC 150
ภาคผนวก ซ รูปเครื่องกัด CNC 157
ภาคผนวก ญ Drawing 159

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 โครงสร้างเครื่องกัดรอบสูงควบคุมด้วยระบบ CNC 2
รูปที่ 2.1 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y และ Z ของเครื่องกัดแบบต่างๆ 5
รูปที่ 2.2 เครื่องกัด CNC แนวตั้ง (Vertical CNC milling machine) 6
รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการพิจารณาในการออกแบบเครื่องจักร [มนูกิจ 2548] 7
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทั่วไปของเครื่องกัดแต่ละชนิด [Ken Wallace 1988] 8
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนรูปจากแรงภาระสถิตย์กระทำนอกจุดกึ่งกลาง 9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเครื่องแบบ Bridge 10
รูปที่ 2.7 โครงสร้างเครื่องที่มีจุดรองรับโหลดเพียงจุดเดียว 10
รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกัด CNC 11
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการออกแบบจนถึงการสร้าง [มนูกิจ 2548] 12
รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนและความคิดเริ่มต้นในการออกแบบ [ศุภชัย 2547] 14
รูปที่ 2.11 แบบแสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบ [มนูกิจ 2548] 15
รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการตรวจสอบความตรงของชิ้นส่วนทางกล 18
รูปที่ 2.13 แสดงวิธีการตรวจสอบความตรงของเครื่องจักรโดยใช้ระดับน้ำ 18
รูปที่ 2.14 แสดงวิธีการตรวจสอบความขนานของเครื่องจักร 19
รูปที่ 2.15 แสดงวิธีการตรวจสอบความฉากของเครื่องจักร 20
รูปที่ 2.16 แผนภาพความเค้นความเครียดของวัสดุ [วริทธิ์ 2522] 24
รูปที่ 2.17 การประเมินค่าความต้านแรงดึงและความแข็งของชิ้นงานเหล็ก หล่อสีเทา [มานพ 2545] 27
รูปที่ 2.18 ทฤษฎีความเค้นปกติสูงสุดใน 3 มิติ 33
รูปที่ 2.19 แสดงทฤษฎีความเสียหายของความเค้นปกติสูงสุดของความเค้น 2 แกน (Biaxial) 33
รูปที่ 2.20 แสดงทฤษฎีความเครียดปกติสูงสุดสำหรับความเค้น 2 มิติ 35
รูปที่ 2.21 วงกลมมอห์ร 3 วง วงกลม [มานพ 2545] 36
รูปที่ 2.22 ภาระที่ให้กับชิ้นงานในการทดสอบความล้า [มนูกิจ 2548] 37
รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะชิ้นส่วนมีแรงภายนอกมากระทำให้เกิดความเค้น 38
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุสร้างเครื่องจักร 39
รูปที่ 2.25 รูปแสดงชิ้นงานจากการทดสอบบิด Torsion Test 40

รูปที่ 2.26 ทิศทางความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นจากความเค้นดึงในแนวแกน 41
รูปที่ 2.27 แสดงลักษณะความเค้นที่กิดขึ้นในวัสดุเมื่อมีแรงกระทำแบบวัฏจักร 42
รูปที่ 2.28 กราฟ S-N ของความเค้นที่เกิดจากแรงกระทำแบบวัฏจักร 42
รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างชิ้นส่วนทดสอบความแข็งแรงด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ 43
รูปที่ 2.30 ขั้นตอนสู่การแสดงผลการวิเคราะห์ผลความแข็งแรงด้วยปรแกรม 43
รูปที่ 2.31 การควบคุมการเคลื่อนที่ในการตัดเฉือนแบบจุดต่อจุด 45
รูปที่ 2.32 การควบคุมการการเคลื่อนที่ในการตัดเฉือนแบบเส้นตรง 46
รูปที่ 2.33 การควบคุมการเคลื่อนทีในการตัดเฉือนตามเส้นขอบรูป 46
รูปที่ 2.34 การควบคุมการเคลื่อนที่ตัดเฉือนตามเส้นขอบรูปแบบ 3 แกน 47
รูปที่ 2.35 องค์ประกอบของระบบควบคุมเครื่องจักร CNC 47
รูปที่ 2.36 องค์ประกอบของการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร CNC 48
รูปที่ 2.37 มอเตอร์สำหรับหัวสปินเดิลเครื่องกัด CNC แบบต่างๆ 49
รูปที่ 2.38 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมระบบไดนามิกส์ 50
รูปที่ 2.39 อุปกรณ์นำเลื่อนเชิงเส้นตรง (Linear guide way) 50
รูปที่ 2.40 แสดง Model Number และการเลือกใช้งาน linear guide way 51
รูปที่ 2.41 ลักษณะการคำนวณแนว Horizontal 55
รูปที่ 2.43 แสดง Load ของช่วงการเคลื่อนที่จากการคำนวณ [NIPPON] 58
รูปที่ 2.44 บอลสกรู (Ball-screw) ขับเคลื่อนแกนของ Table และ Spindle 59
รูปที่ 2.45 Model Number การเลือกใช้งานBall-screw [THK] 60
รูปที่ 2.46 แสดงข้อมูลค่าความละเอียดที่ของ Lead screw [THK] 61
รูปที่ 2.47 แสดงกราฟเทียบค่าอายุการใช้งาน Ball-screw [THK] 68
รูปที่ 2.48 ลักษณะการวางเพลา Ball screws 70
รูปที่ 2.49 แสดงชุดควบคุมการทำงาน (Controller) ของเครื่องจักร 73
รูปที่ 2.50 แสดงฟังก์ชั่นการการทำงานของแผงควบคุมเครื่องจักร 74
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งการ Applied Loads ลงบน Double Column เครื่องกัด CNC 80
รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการ Applied Loads ลงบน Base เครื่องกัด CNC 81
รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งการ Applied Loads ลงบน Saddle เครื่องกัด CNC 82
รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการ Applied Loads ลงบน Spindle Head 83
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการ Applied Loads ลงบน Table เครื่องกัด CNC 83

รูปที่ 3.6 ลักษณะโครงสร้างเครื่องกัด CNC 86
รูปที่ 3.7 โครงสร้างรับแรงของ Base เครื่องกัด CNC 87
รูปที่ 3.8 Table และระบบขับเคลื่อนแนวแกน X 88
รูปที่ 3.9 เสา Double column และระบบขับเคลื่อนแนวแกน Y 88
รูปที่ 3.10 Spindle Head และระบบขับเคลื่อนแนวแกน Z 89
รูปที่ 3.11 แสดงการติดตั้งต้นกำลังและระบบควบคุมเครื่องจักร 90
รูปที่ 3.12 แสดงการออกแบบตัวเครื่องกัด CNC ด้วยคอมพิวเตอร์ 91
รูปที่ 3.13 แสดงวิธีการกำหนดขนาดของเครื่องกัด CNC 91
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องกัด CNC 93
รูปที่ 3.15 การประกอบชุดขับเคลื่อนแกน X บน Base เครื่องกัด CNC 94
รูปที่ 3.16 การประกอบชุดขับเคลื่อนแกน X บนเสา Double column 94
รูปที่ 3.17 แสดงการประกอบชุดขับเคลื่อนแกน Z 95
รูปที่ 3.18 แสดงการประกอบระบบขับเคลื่อนแกน Z เครื่องกัด CNC 96
รูปที่ 3.19 แสดงการติดตั้งสายควบคุมตัวเครื่องกัด CNC 96
รูปที่ 3.20 แสดงแผงควบคุมและตู้ควบคุมการทำงานเครื่องกัด CNC 97
รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะของตู้ควบคุม Controller เครื่องกัด CNC 97
รูปที่ 3.22 แสดงวิธีการตรวจสอบการเคลื่อนของเครื่องจักร ในระนาบ XZ และระนาบ YZ 98
รูปที่ 3.23 แสดงวธีการตรวจสอบค่ามุมของการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ในระนาบ XZ และ
ระนาบ YZ 98
รูปที่ 3.24 แสดงวิธีการตรวจสอบค่า Flatness ของหน้า Table 99
รูปที่ 3.25 แสดงวิธีการตรวจสอบ Parallelism กันของหน้า Table 99
รูปที่ 3.26 แสดงวิธีการตรวจสอบ Spindle nose 100
รูปที่ 3.27 แสดงวิธีการตรวจสอบการ run-out ของเครื่องจักร 100
รูปที่ 3.28 วิธีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนระนาบเส้นตั้งฉาก 101
รูปที่ 3.29 แสดงการตรวจสอบความ Parallelism ของร่องสลิ็อตบน Table 101
รูปที่ 3.30 แสดงการตรวจสอบความ Parallelism ร่องสลิ็อตกับระนาบแกน Y 101
รูปที่ 3.31 แสดงการตรวจสอบความได้ฉากกันของแกน X และแกน Y 102
รูปที่ 3.32 แสดงการสร้างชิ้นงานตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของเครื่อง 102
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้าง เสา Double Column เครื่องกัด CNC 106

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้าง Base เครื่องกัด CNC 107
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้าง Saddle เครื่องกัด CNC 108
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้าง Spindle head เครื่องกัด CNC 109
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้าง Table เครื่องกัด CNC 110
รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของ linaer guide way แกน X, Y, และ Z ของเครื่องกัด CNC 111
รูปที่ 4.7 เครื่องกัด CNC แบบ Vertical Milling Machine ที่ออกแบบ 112
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง เครื่องกัด CNC 113
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการคำนวณอายุการใช้งาน Linear guide way 113
รูปที่ 5.1 เครื่องกัด CNC แบบ Vertical Milling Machine 115
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างงานกัดโมลแม่พิมพ์สำหรับงานหล่อขึ้นรูป 116

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่าความแข็งแรงของเหล็กเหนียวที่ผ่านกรรมวิธีการรีดจากการทดสอบ 25

ตารางที่ 2.2 ค่าความแข็งแรงของเหล็กหล่อเหนียว (GGG) และเหล็กหล่อเหนียว ออสตินิติก [มานพ 2545] 28

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล [อนันต์ 2533] 30

ตารางที่ 2.4 การใช้ชื่อเหล็กกล้าไร้สนิมของ AISI และ SAE [วริทธิ์ 2522] 31

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างความต้านแรงดึงของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงมาก 31

ตารางที่ 2.6 แสดงความเครียดหลักและความเค้นหลักในสภาวะ 1 ถึง 3 มิติ [มานพ 2545] 34

ตารางที่ 2.7 สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย [มนูกิจ 2548] 40

ตารางที่ 2.8 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการรับแรง (Load factor) 51

ตารางที่ 2.9 หลักการคำนวณ Load ที่เกิดบน Rolling guides [NIPPON] 52

ตารางที่ 2.9 หลักการคำนวณ Load ที่เกิดบน Rolling guides (ต่อ) 53

ตารางที่ 2.10 แสดงการคำนวณ Load ที่เกิดขึ้นบน Rolling guides ภายใต้ความเร่ง ขณะใช้งาน 54

ตารางที่ 2.11 Accumulated reference lead error and variation (Tolerances) 60

ตารางที่ 2.12 Variation for 300mm Tread length and for one revolution (Tolerances) 61

ตารางที่ 2.13 Manufacture Limits of threaded shaft as classified by accuracy grade 62

ตารางที่ 2.14 Axial play (Unit : mm) 62

ตารางที่ 2.15 Manufacture limits for G1 and G2 play (Unit : mm) [THK] 63

ตารางที่ 2.16 แสดงลักษณะการติดตั้ง Ball-screw [THK] 64

ตารางที่ 2.17 แสดงค่า Load พื้นฐานของแรงที่กระทำบริเวณปลายเพลาขนาดต่างๆ 65

ตารางที่ 2.18 ตัวประกอบของ Load (fw) 68

ตารางที่ 2.18 แสดงสัญลักษณ์ของแผงควบคุมการทำงานเครื่องกัด (ต่อ) 77

ตารางที่ 2.18 แสดงสัญลักษณ์ของแผงควบคุมการทำงานเครื่องกัด (ต่อ) 78

ตารางที่ 3.1 ชนิดของ Linear guide way ที่เลือกใช้งานออกแบบเครื่องกัด CNC 84

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบค่าความแม่นยำเครื่องกัด CNC 103

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบค่าความแม่นยำเครื่องกัด CNC (ต่อ) 104

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบค่าความแม่นยำเครื่องกัด CNC (ต่อ) 105