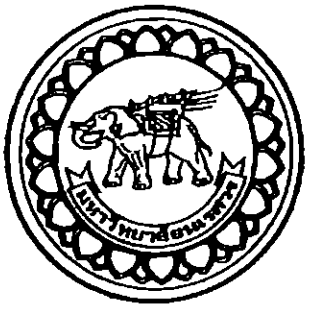


การออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นเพื่อใช้ตรวจสอบฝาสูบรถจักรยานยนต์

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FLEXIBLE TOOL FOR MOTORCYCLE CYLINDER HEAD SIZE CHECKING

นายภูวดล รวีพรสัมฤทธิ์ รหัส 51370959

นายศุภฤทธิ์ ศรีทิ รหัส 51371031

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ - 1 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 1b322943
เลขเรียกหนังสือ ม.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ส 625 ภ
2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่น เพื่อใช้ตรวจสอบฝาสูบรถจักรยานยนต์

ผู้ดำเนินโครงงาน นายภูวดล รวีพรสัมฤทธิ์ รหัส 51370959

นายศุภฤทธิ์ ศรีทิ รหัส 51371031

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ

(รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ

(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่น เพื่อใช้ตรวจสอบขนาดฝาสูบรถจักรยานยนต์**	
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นายภูวดล รวีพรสัมฤทธิ์**	**รหัส 51370959**
	นายศุภฤทธิ์ ศรีทิ	**รหัส 51371031**
ที่ปรึกษาโครงงาน	**ดร. พิสุทธิ์ อภิชยกุล**	
สาขาวิชา	**วิศวกรรมอุตสาหการ**	
ภาควิชา	**วิศวกรรมอุตสาหการ**	
ปีการศึกษา	2555	

.....

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น เพื่อใช้ตรวจสอบขนาดชิ้นงานชนิดฝาสูบรถจักรยานยนต์ เนื่องจากในการตรวจสอบชิ้นงานฝาสูบรถจักรยานยนต์ ในขั้นตอนการผลิตจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือที่ออกแบบและจัดทำขึ้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบขนาดในแนวแกน X, Y รวมถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ตำแหน่ง) ของชิ้นงานรุ่นนั้นๆ และสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.01 มิลลิเมตร ซึ่งชิ้นงานในรุ่นที่มีจำนวนการผลิตสูง การลงทุนออกแบบและสร้างเครื่องมือจะเกิดความคุ้มค่า แต่ในรุ่นที่มีจำนวนการผลิตต่ำจะไม่คุ้มค่าในการลงทุน

ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นปัญหาและได้ศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่นขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวและยังมีการออกแบบโดยใช้วัสดุที่มีราคาประหยัด สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐาน อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบชิ้นงานได้หลากหลายชนิด

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ ดร. พิสุทธิ์ อภิชยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ประเทือง โมรารายา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำแนวทางการแก้ปัญหา รวมไปถึงให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงงานเป็นอย่างดีมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ ยังต้องขอขอบคุณ พนักงานในแผนกงานประกันคุณภาพ บริษัท ไดชิน จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการส่ง Drawing ของชิ้นงาน เพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายภูวดล รวีพรสัมฤทธิ์
นายศุภฤทธิ์ ศรีทิ

พฤษภาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์การชี้วัดผลงาน (Output) 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 1
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 3
2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ 3
2.1.1 ระบบการควบคุมกระบวนการ (Process Control System) 3
2.1.2 กระบวนการ (Process) 3
2.1.3 ความผันแปร (Variation) 4
2.1.4 ขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติ (Natural Tolerance Limits) 4
2.1.5 ข้อกำหนด (Specifications) 5
2.1.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) 5
2.1.7 การประเมินและการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Assessment and Assignment of Tolerances 5
2.2 ทฤษฎี จิ๊กและฟิกเจอร์ 6

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.1 หลักการออกแบบเครื่องมือ 7
2.2.2 จุดประสงค์ของการออกแบบเครื่องมือ 7
2.2.3 หลักการของการกำหนดตำแหน่งและการรองรับชิ้นงาน 7
2.2.4 หลักการของการยึดจับชิ้นงาน 10
2.3 เครื่องมือวัดและตรวจสอบแบบค่าคงที่ 11
2.3.1 เกจทรงกระบอก (Plug Gauges) 11
2.3.2 เกจก้ามปู (Snap Gauges) 12
2.3.3 เกจสอบรัศมี (Radius Gauges) 12
2.3.4 เกจบล็อก (Block Gauges) 12
2.3.5 เกจเพลาเรียว (Taper Plug Gauges) 12
2.3.6 เกจรูเรียว (Taper Ring Gauges) 13
2.3.7 เกจแผ่น (Filler Gauges) 13
2.4 การเขียนแบบทางวิศวกรรม (Auto CAD) 13
2.5 คุณสมบัติทางโลหะวิทยา 14
2.5.1 เหล็กเหนียว 14
2.5.2 เหล็กหล่อ 14
2.5.3 โลหะผสมระหว่างกล้า 16
2.5.4 เหล็กกล้า เหล็กกล้าอาจจะแบ่งออกได้เป็น 17
2.5.5 เหล็กเครื่องมือ 21
2.5.6 เหล็กกล้าพิเศษ 21
2.6 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน 22
2.6.1 การคำนวณหาจุดคุ้มทุนโครงการเดี่ยว 22
2.6.2 ระยะเวลาการคืนทุน 24
2.7 เครื่องมือวัดแบบเลื่อนได้ที่มีขีดมาตรา 24
2.7.1 ไมโครมิเตอร์วัดนอก 24
2.7.2 ลักษณะส่วนประกอบสำคัญของไมโครมิเตอร์วัดนอก 24
2.7.3 หลักการแบ่งสเกลค่าความละเอียด 25
2.8 เครื่องมือวัด CMM หรือ Capability Maturity Model 26
2.8.1 ระดับที่ 1 26
2.8.2 ระดับที่ 2 27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.8.3 ระดับที่ 3 27
2.8.4 ระดับที่ 4 27
2.8.5 ระดับที่ 5 27
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 29
3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลรวมต่างๆ 29
3.2 ออกแบบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น 29
3.3 สร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น 29
3.4 ทดสอบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น 29
3.5 แก้ไขและปรับปรุงเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น 29
3.6 สรุปและจัดทำรูปเล่ม 29

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 30
4.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง 30
4.2 ขั้นตอนการออกแบบ 30
4.2.1 ออกแบบฐานของเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงาน 30
4.2.2 ออกแบบรางเลื่อน 30
4.2.3 ออกแบบวิธีติดตั้งเสาเพื่อใช้ตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฝาสูบ 30
4.3 ขั้นตอนการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ 31
4.3.1 วัสดุของฐานเครื่องมือตรวจสอบ 31
4.3.2 อุปกรณ์ใช้ทำรางเลื่อน 31
4.3.3 อุปกรณ์สำหรับนำเสามาติดเพื่อใช้ตรวจสอบระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 31
4.3.4 อุปกรณ์สำหรับยึดติดระหว่างเสาตรวจสอบกับปลายไมโครมิเตอร์ 31
4.4 สร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงาน 31
4.4.1 ฐานของชิ้นงาน 32
4.4.2 รางเลื่อน 32
4.4.3 เสาที่มีไว้ติดตั้งแห่งเกจที่ใช้ตรวจสอบ 33
4.4.4 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้ 34
4.4.5 ตัวยึดระหว่างเสาตรวจสอบกับปลายไมโครมิเตอร์ให้ติดกัน 34

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4.6 ประกอบ 34
4.5 ขั้นตอนการทดลอง 34
4.5.1 ชิ้นงานที่ 1 ฝาสูบ ฮอนด้าดรีม 34
4.5.2 ชิ้นงานที่ 2 ฝาสูบ ยามาฮ่ามีโอ 35
4.6 วิเคราะห์ต้นทุน 36
4.6.1 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน 36
4.7 ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ 37

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ 41
5.1 สรุปผล 41
5.1.1 ขนาดของชิ้นงาน ชนิดของชิ้นงาน และค่าความละเอียด 41
5.1.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาและปรับปรุง 41
บรรณานุกรม 42
ภาคผนวก 43
ภาคผนวก ก 44

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 2
2.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล 14
2.2 การให้ชื่อเหล็กกล้าไร้สนิมของ AISI และ SAE 19
2.3 ตัวอย่างความต้านแรงดึงของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงมาก 22
2.4 ตารางบอกระดับการพัฒนา 26
4.1 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 1 37
4.2 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 2 38
4.3 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 3 38
4.4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 4 39
4.5 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 1.....39
4.6 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 2.....39
4.7 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 3.....40
4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 4.....40

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การใช้ตัวกำหนดตำแหน่งแบบลดจุดสัมผัส....8
2.2 แนวของการเคลื่อนที่....9
2.3 ตัวกำหนดตำแหน่งกับชิ้นงาน....10
2.4 แรงจากเครื่องมือตัด....11
2.5 แสดงแผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน....23
2.6 รูปภาพแสดงจุดต่างๆ ของไมโครมิเตอร์วัดนอก....25
4.1 ฐานของชิ้นงาน....32
4.2 รางเลื่อน X....32
4.3 รางเลื่อน Y....33
4.4 ประกอบฐานและรางเลื่อน X, Y....33
4.5 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้....34
4.6 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์....34
4.7 ตรวจสอบฝาสูบ ฮอนด้าดรีม....35
4.8 ตรวจสอบฝาสูบ ยามาฮ่ามิโอ....35
4.9 แสดงลำดับการตรวจความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ....37

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ในส่วนของแผนกหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน (Diecast) ซึ่งเป็นแผนกแรกในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และการผลิตมีชิ้นงานหลากหลายชนิด ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน มีทั้งชิ้นงานที่ผลิตเป็นประจำ และชิ้นงานที่ผลิตเป็นครั้งคราว ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานในส่วนของแผนกหล่อขึ้นรูปชิ้นงาน ทางโรงงานจะมีเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานเฉพาะชิ้นงานที่มีการผลิตเป็นประจำเท่านั้น ซึ่งเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานจะถูกออกแบบให้สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้เพียงชนิดเดียว ส่วนชิ้นงานที่ผลิตเป็นครั้งคราว ทางโรงงานจะไม่มีเครื่องมือตรวจสอบขนาดชิ้นงานในส่วนของการผลิตชิ้นงานในส่วนของกระบวนการผลิต เนื่องจากต้นทุนในการในการผลิตเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานสูง ทำให้การผลิตเกิดของเสียขึ้นบ่อยครั้ง คณะผู้จัดทำโครงงานได้เข้าไปฝึกงานจึงได้ศึกษาวิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และต้องการที่จะแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้น คณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่นขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบขนาดชิ้นงานที่มีการผลิตเป็นครั้งคราวให้ได้ตามที่ต้องการและสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ อีกทั้งยังเป็นการแก้ปัญหาตามที่กล่าวมาข้างต้นและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และเป็นการลดต้นทุนของการสั่งทำเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

การออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

เครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 สามารถตรวจสอบขนาดชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้อย่างน้อย 2 ชนิด

1.4.2 สามารถช่วยลดต้นทุนในส่วนของการสั่งซื้อเครื่องมือตรวจสอบขนาดชิ้นงานได้อย่างน้อยร้อยละ 20

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยชิ้นงานที่ถูกตรวจสอบมีขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 83.5 มิลลิเมตร x 113.5 มิลลิเมตร เล็กที่สุด 12.5 มิลลิเมตร x 31.5 มิลลิเมตร

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนกรกฎาคม 2554 ถึง เดือนพฤษภาคม 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา											
	ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค.		ก.พ.	
1.8.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลรวม	←				→											
1.8.2 ออกแบบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น					←				→							
1.8.3 ลงมือปฏิบัติการสร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น									←		→					
1.8.4 ทดลองและทดสอบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น													←		→	
1.8.5 แก้ไขและปรับปรุงเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น															←	→
1.8.6 สรุปและจัดทำรูปเล่ม																←

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีต่างๆ เช่น การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ทฤษฎีจิ๊กฟิกซ์เจอร์ หลักการเครื่องมือวัดและตรวจสอบค่าคงที่ การเขียนแบบทางวิศวกรรม โดยใช้โปรแกรม Auto Cad การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน คุณสมบัติทางโลหะวิทยา เพื่อใช้ช่วยในการออกแบบและสร้างเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์

2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

วิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการผลิตว่ากระบวนการยังมีประสิทธิภาพสมบูรณ์อยู่หรือไม่ ซึ่งมีหลักการที่ใช้วิเคราะห์ ดังนี้ (ดร.อภิชัย ฤตวิรุฬห์)

2.1.1 ระบบการควบคุมกระบวนการ (Process Control System)

การที่ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วยสิ่งที่ป้อนเข้า (Input) คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) และ สิ่งแวดล้อม (Environment) โดยป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตหรือการแปรรูป (Transformation Process) เพื่อเพิ่มมูลค่า ได้ผลลัพธ์ (Output) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบให้กับลูกค้า (เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการบ่งชี้ความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า) และข้อเสนอแนะจากกระบวนการ (เป็นข้อมูลที่ได้มาจากวิธีการทางสถิติ) ที่มีความสำคัญอย่างในการนำไปใช้ในการปรับปรุง ควบคุมกระบวนการเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า องค์ประกอบของระบบการควบคุมกระบวนการ

2.1.2 กระบวนการ (Process)

สมรรถนะโดยรวมของกระบวนการขึ้นอยู่กับการสื่อสาร และการทำงานร่วมกันระหว่างซัพพายเออร์และลูกค้า การออกแบบ พัฒนา และปรับปรุงกระบวนการ การบริหารจัดการกระบวนการ

2.1.2.1 สารสนเทศของสมรรถนะ (Information About Performance) สารสนเทศของสมรรถนะที่แท้จริงของกระบวนการสามารถศึกษาได้จากผลลัพธ์ของกระบวนการสารสนเทศที่จะเป็นประโยชน์ที่สุดที่เกิดจากการเข้าใจในตัวกระบวนการ และความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในตัวกระบวนการ คุณลักษณะต่างๆ ของกระบวนการ เช่น เวลาที่ใช้ในการผลิต (Cycle) ควรที่จะกำหนด

เป็นค่าเป้าหมาย (Target Value) ที่ชัดเจน เพื่อใช้เป็นค่าเทียบในการตรวจจับเวลา ถ้าแตกต่างกันมากแสดงว่ามีความผันแปรเกิดขึ้นในกระบวนการซึ่งต้องรีบทำการแก้ไขโดยด่วน

2.1.2.2 การดำเนินการกับกระบวนการ (Acti on the Cprocess) เป็นการดำเนินการป้องกัน (Prevention) ความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้มีปริมาณน้อยที่สุดซึ่งจะส่งผลได้ดีต่อองค์กรคือลดความสูญเสียและต้นทุนต่างๆ เช่น การอบรมพนักงานในเรื่องเทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวกับคุณภาพ การเปลี่ยนซัพพายเออร์เนื่องจากได้รับวัตถุดิบที่มีคุณภาพ การเพิ่มความเข้มงวดในการตรวจสอบสินค้าในแต่ละขั้นตอนการผลิตรวมถึงการตรวจสอบขั้นสุดท้ายก่อนส่งมอบสินค้าให้กับผู้บริโภคเป็นต้น

2.1.2.3 การดำเนินการกับผลลัพธ์ (Action On The Output) การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการหรือไม่ การดำเนินการในลักษณะนี้ถือว่าเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุ (Detection) ไม่ได้มีการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหาการผลิตว่าทำไมสินค้าที่ผลิตได้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

2.1.3 ความผันแปร (Variation)

การวัดมิติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตเพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการ (มีมิติของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์อยู่ภายในข้อกำหนด) ไม่ควรวิเคราะห์ข้อมูลแยกเป็นชิ้นๆ ควรวิเคราะห์เป็นกลุ่มของข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ลักษณะของการแจกแจงข้อมูล (Distribution) การแจกแจงของข้อมูลสามารถจำแนกได้ตามลักษณะต่างๆ คือ

2.1.3.1 ตำแหน่ง (Location) แสดงถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูล

2.1.3.2 การกระจายตัว (Spread) แสดงถึงความผันแปรของข้อมูล

2.1.3.3 รูปทรง (Shape) แสดงถึงรูปแบบการแจกแจงของข้อมูล

การศึกษาความผันแปรมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะนำสารสนเทศที่ได้จากกควบคุมกระบวนการไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นที่ได้จากกระบวนการผลิตเดียวกันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะไม่เหมือนกันทุกประการ เนื่องจากความผันแปรที่มาจากหลายแหล่งรบกวนกระบวนการผลิต เช่น เครื่องมือที่ใช้มีการสึกหรอและไม่มีการบำรุงรักษา วัตถุดิบมีขนาดคลาดเคลื่อนไปจากข้อกำหนด พนักงานปฏิบัติการขาดความชำนาญในการผลิต อุณหภูมิและไฟฟ้าบริเวณสายการผลิตไม่คงที่ เพื่อที่จะลดความผันแปร และทำให้การจัดการกระบวนการผลิตเป็นไปอย่างราบรื่น ต้องทำการหาต้นตอที่ทำให้เกิดความผันแปร

2.1.4 ขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติ (Natural Tolerance Limits : NTL)

ขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติ คือ ขอบเขตความผันแปรตามธรรมชาติของกระบวนการ ซึ่งจะประกอบไปด้วยขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติด้านล่าง

(Lower Natural Tolerance Limit, LNTL) และขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติด้านบน (Upper Natural Tolerance Limit, UNTL) ซึ่งจะอยู่ในภายใต้สมมุติฐานที่ว่าคุณลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการวัดจะมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การจะหาค่า UNTL และ LNTL เกิดจากการบวกและหรือลบค่าเฉลี่ยด้วยสามเท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.1.5 ข้อกำหนด (Specifications)

ความต้องการของลูกค้าได้มาจากการที่ฝ่ายขาย ฝ่ายตลาดหรือทีมวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทำการสำรวจตลาดและสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างลูกค้า ข้อมูลที่ได้เป็นเชิงคุณภาพจากนั้นนำมาแปลงให้เป็นข้อกำหนดซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณโดยอาจให้เครื่องมือคุณภาพเรียกว่า QFD (Quality Function Deployment) ข้อกำหนดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ (Gitlow et al., 2005)

2.1.5.1 ข้อกำหนดเชิงสมรรถนะ (Performance Specifications) ลักษณะข้อมูลเป็นเชิงคุณภาพ วัดจากประสบการณ์จากลูกค้าซึ่งแสดงถึงความต้องการในการใช้ผลิตภัณฑ์ เช่น ร้านอาหารจะวัดโดยสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างของลูกค้า ในด้านบริการ ราคา และบรรยากาศภายในร้าน

2.1.5.2 ข้อกำหนดเชิงเทคนิค (Technical Specifications) โดยจะกำหนดเป็นค่าตัวเลขของคุณลักษณะทางคุณภาพสินค้า โดยทั่วไปในทางธุรกิจจะใช้ข้อกำหนดชนิดนี้แทนการใช้ข้อกำหนดแบบ เป้าหมาย (Target) ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหนึ่งๆ ถูกนำมาวัดโดยหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลเทียบกับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าตรงตามความต้องการของลูกค้าหรือไม่ การวัดสมรรถนะกระบวนการหรือการผลิตทำได้โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ ตำแหน่ง (Location) และการกระจายตัว (Dispersion)

2.1.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

ก่อนที่จะทำการปรับปรุง (Improve) กระบวนการควรทำการศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถของกระบวนการเสียก่อนเพราะว่า ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพด้านต่างๆ

2.1.7 การประเมินและการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Assessment and Assignment of Tolerances)

การวัดมิติของการประกอบกันของชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้เป็นหนึ่งผลิตภัณฑ์ถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.7.1 การผสมกันเชิงเส้น (Linear Combinations) มิติความยาวของผลิตภัณฑ์จะเกิดจากการผสมกันเชิงเส้นของความยาวของชิ้นงานแต่ละชิ้นคือ $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$ หลังจากนำชิ้น

ส่วนต่างๆ มาประกอบกันจะได้ความยาวทั้งสิ้น คือ

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_nx_n \quad (2.1)$$

โดย x_i เป็นการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ย และความผันแปร σ_i^2 Y เป็นมิติของผลิตภัณฑ์โดยมีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย

2.1.7.2 การผสมแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Combinations) เมื่อมิติของชิ้นงานที่จะทำการวัดมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นกับมิติของผลิตภัณฑ์ y ซึ่งจะเกิดจากการประกอบกันของมิติของชิ้นงาน $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ โดย

$$y = g(x_1, x_2, \ldots, x_n) \quad (2.2)$$

ในการคำนวณหาขีดจำกัดของข้อกำหนดของปัญหานี้ ทำได้โดยการประมาณสมการไม่เชิงเส้น g จากสมการเชิงเส้นของตัวแปร x_i แต่เนื่องจากการผสมแบบไม่เชิงเส้นมีความซับซ้อนมากในเชิงสถิติจึงไม่ขอกล่าวถึงแต่จะสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก Montgomery (2001) ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างของ BOM (Bill of Material) ที่สลับซับซ้อนผลิตได้จากกระบวนการที่มีชิ้นส่วนหลากหลายมาประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งมีความเสถียรภาพและมีความสามารถ แต่ในเวลาต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการพบว่ากระบวนการไม่มีความสามารถอาจมีหลายสาเหตุ แต่หนึ่งในสาเหตุหลักคือ การออกแบบและการจัดตั้งข้อกำหนดที่ไม่เหมาะสมหรือช่วงของขีดจำกัดข้อกำหนดแคบเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไม่ตรงตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ (Nonconformance to the Specifications) กล่าวคือเมื่อนำชิ้นส่วนที่มีความผันแปรและขีดจำกัดข้อกำหนดในแต่ละชิ้นซึ่งมีความแตกต่างกันมาประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ ย่อมมีผลกระทบต่อข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลทำให้เกิดความผันแปรของความคลาดเคลื่อนที่เรียกว่า Tolerance-stack-up เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกผลิตได้ตามข้อกำหนด จึงมีการคำนวณในทางสถิติเพื่อกำหนดช่วงของขีดจำกัดข้อกำหนดของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นและชิ้นส่วนประกอบที่เกิดจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบกันและทำการศึกษาและวิเคราะห์ว่าค่าขีดจำกัดข้อกำหนดของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกแบบไว้นั้นอยู่ในช่วงของขีดจำกัดข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการหรือไม่

2.2 ทฤษฎี จิ๊กและฟิกเจอร์

จิ๊กและฟิกเจอร์ เป็นเครื่องมือสำหรับงานอุตสาหกรรมซึ่งถูกนำไปใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงเหมือนกันทุกๆ ชิ้น ความสัมพันธ์และตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างจิ๊กและฟิกเจอร์ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อทำการยึดจับ รองรับ และกำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุกๆ ชิ้นเพื่อให้แน่ใจในการ เจาะรูหรือการตกแต่งด้วยวิธีอื่นๆ จะได้ตรงตามตำแหน่งเดิมหรือขนาดตามรายละเอียดที่กำหนดมาทุกประการ (วชิระ มีทอง)

2.2.1 หลักการออกแบบเครื่องมือ

หลักการออกแบบเครื่องมือ เป็นวิธีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานส่วนต่างๆ ให้มีสมรรถภาพเพิ่มขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงาน ซึ่งจะรวมไปถึงการวางแผน (Planning) การออกแบบ (Designing) และการเขียนแบบ (Drawing) สำหรับสร้างเครื่องมือนั้นให้สำเร็จนำมาใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ ในการออกแบบเครื่องมือที่ดี ผู้ออกแบบควรมีพื้นฐานทางด้านเครื่องมือกล การใช้เครื่องมือ และผู้ออกแบบจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือมาตรฐานที่เป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต ดังนั้น การออกแบบเครื่องมือควรพิจารณาวัตถุประสงค์ของการออกแบบเครื่องมือ

2.2.2 จุดประสงค์ของการออกแบบเครื่องมือ

จุดประสงค์ส่วนใหญ่ของการออกแบบเครื่องมือ ก็คือการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตงานอุตสาหกรรม แต่ในขณะเดียวกันทางด้านคุณภาพก็ยังคงเดิมไม่ลดต่ำลง และผลผลิตก็สูงขึ้นด้วย ในการที่จะทำให้สิ่งเหล่านี้สำเร็จเป็นอย่างดี นักออกแบบเครื่องมือจึงต้องปฏิบัติตามสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 หาวิธีที่ทำงานกับเครื่องมือให้เป็นแบบธรรมดา และง่ายๆ โดยให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

2.2.2.2 ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยผลิตชิ้นงานที่ราคาต่ำเท่าที่ทำได้

2.2.2.3 ออกแบบเครื่องมือให้มีคุณภาพสูงสุดเมื่อนำไปใช้กับการผลิตที่ต่อเนื่องกันตลอด

2.2.2.4 เพิ่มอัตราการผลิตด้วยเครื่องจักรที่มีอยู่แล้ว

2.2.2.5 ออกแบบเครื่องมือให้มีตัวกันโง่เพื่อป้องกันการใช้งานที่อาจผิดพลาดได้

2.2.2.6 เลือกวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือซึ่งมีอายุการใช้งานอย่างพอเหมาะกับการผลิต

2.2.2.7 หาวิธีป้องกันสำหรับการออกแบบเครื่องมือเพื่อให้การใช้เครื่องมือนั้นๆ มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้มากที่สุด

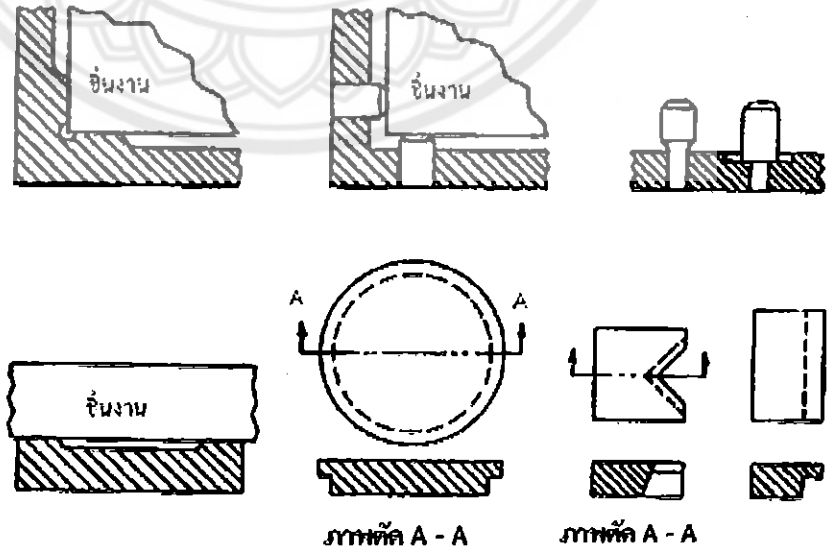
2.2.3 หลักการของการกำหนดตำแหน่งและการรองรับชิ้นงาน

2.2.3.1 เพื่อให้เป็นที่แน่ใจว่าการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ที่กระทำต่อชิ้นงานจะเกิดความถูกต้องเที่ยงตรงเป็นอย่างดีนั้น ชิ้นงานจะต้องถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องอยู่ในจิกหรือฟิกซ์เจอร์นั้น ซึ่งสิ่งนี้ก็คือการอ้างอิงจะต้องมีความถูกต้องเป็นอย่างดี และเมื่อมีความต้องการให้มีความละเอียดถูกต้องของงานที่ถูกกระทำนักออกแบบเครื่องมือจะต้องมีความแน่ใจว่าชิ้นงานได้ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องที่สุด และมีการรองรับชิ้นงานนั้นอย่างแข็งแกร่งด้วยสำหรับตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดว่าชิ้นงานจะต้องใส่ชิ้นงานออกอีกทั้งจะต้องใส่ตัวกันโง่ (Tool Foolproof) ไว้ด้วยเสมอถ้ามีความจำเป็น ซึ่งถ้าไม่ทำตามนี้อาจจะทำให้เกิดปัญหาตามขึ้นมาระหว่างการทำงาน เพราะการใส่ชิ้นงานเข้าหรือถอดชิ้นงานออกอาจต้องใช้เวลานาน และอาจจะใส่

ชิ้นงานเข้าไปในจิกหรือฟิกซ์เจอร์ผิดข้างได้ นักออกแบบเครื่องมือจะต้องจัดเตรียมตัวรองรับ (Support) ที่แข็งแกร่งสำหรับรองรับชิ้นงานถ้าตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) ของชิ้นงานถูกออกแบบให้เกี่ยวข้องกันก็สามารถที่จะใช้ตัวรองรับให้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งได้

2.2.3.2 กฎเบื้องต้นสำหรับการกำหนดตำแหน่ง การกำจัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานและการกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานนั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยความชำนาญและการวางแผนที่ดี ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะต้องมีการวางแผนมาก่อนล่วงหน้าในระหว่างการออกแบบเครื่องมือจะมากระทำหรือติดตั้งทีหลังไม่ได้ นักออกแบบเครื่องมือจะต้องมีความคิดคำนึงถึงข้อปลีกย่อยต่างๆ ต่อไปนี้ในระหว่างการออกแบบ

ก. การกำหนดตำแหน่งและตัวกำหนดตำแหน่งเมื่อใดก็ตามถ้าเป็นไปได้ ตัวกำหนดตำแหน่ง ควรจะให้สัมผัสกับงานตรงส่วนที่ได้รับการตกแต่งมาแล้วเสมอไป ซึ่งสิ่งนี้จะเป็นการทำให้ตำแหน่งของชิ้นงานที่อยู่ในจิกหรือฟิกซ์เจอร์มีความเที่ยงตรงและเป็นการประกันได้ว่าจิกหรือฟิกซ์เจอร์นี้จะสามารถใช้ได้กับชิ้นงานได้ซ้ำๆ กันตลอดไปหรือหมายความว่าเมื่อนำชิ้นงานใหม่มาใส่แทนชิ้นงานเก่าแล้วตำแหน่งของชิ้นงานที่ใส่ไปใหม่ก็จะยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งของชิ้นงานเก่าซึ่งจะทำให้การทำงานจะต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ไม่ติดขัดและความละเอียดถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งก็เป็นส่วนสำคัญของความสามารถในการใช้งานซ้ำๆ กันไปตลอดของจิกหรือฟิกซ์เจอร์ ตัวกำหนดชิ้นงานแต่ละตัวควรจะมีระยะห่างจากกันให้มากที่สุดเท่าที่จะห่างกันได้โดยไม่ทำให้ชิ้นงานผิดพลาดไป ซึ่งสิ่งนี้จะทำให้มีการใช้ตัวกำหนดตำแหน่งจำนวนน้อย และมีความเที่ยงตรงในการที่จะสัมผัสผิวหน้าของชิ้นงาน และตัวกำหนดตำแหน่งควรติดตั้งในที่ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการที่เศษโลหะจะเข้าไปติดอยู่ได้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรจะทำให้ตัวกำหนดตำแหน่งนูนขึ้นมา ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 การใช้ตัวกำหนดตำแหน่งแบบลดจุดสัมผัส

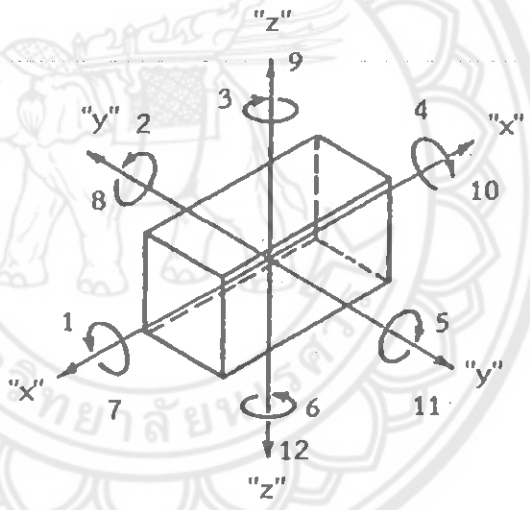
ที่มา : วชิระ มีทอง.การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์.

ข. ค่าผิดพลาดที่ยอมรับให้ใช้ได้ เมื่อทำการออกแบบจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ ผู้ออกแบบจะต้องคำนึงถึงค่าความผิดพลาดของชิ้นงานที่ยอมรับให้ใช้ได้ด้วย

ค. การป้องกันการใส่งานผิด การป้องกันการใส่งานผิดข้างหรือตำแหน่งนี้เป็นสิ่งที่นักออกแบบเครื่องมือจะต้องหาวิธีเพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อใส่ชิ้นงานเข้าไปในจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์แล้ว ชิ้นงานก็จะฟิตพอดีและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง อาจมีการติดตั้งสลักกันโง่ (Fool Proofing Pin)

ง. ตัวกำหนดตำแหน่งที่ซ้ำซ้อนการใช้ตัวกำหนดตำแหน่งที่ซ้ำซ้อนกันควรที่จะต้องหลักเลี่ยงให้มากที่สุด ซึ่งถ้าหากมีการกำหนดตำแหน่งที่ซ้ำซ้อนเกิดขึ้นอาจจะทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นมาก แล้วก็ยังทำให้ความเที่ยงตรงลดน้อยลงไปด้วย

2.2.3.3 แนวของการเคลื่อนที่ ในขั้นตอนการผลิตวัตถุที่ไม่ได้ถูกจำกัดการเคลื่อนที่ และมีอิสระในการเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้ทั้งหมด 12 ทิศทาง ดังที่แสดงในรูปที่ 2.2 วัตถุชิ้นหนึ่งเมื่อมีอิสระในการเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่หมุนรอบแนวแกน หรือเคลื่อนที่ขนานกับแนวแกนของวัตถุนั้นซึ่งจะมีอยู่ 3 แนวแกนนั้นก็คือ X Y และ Z

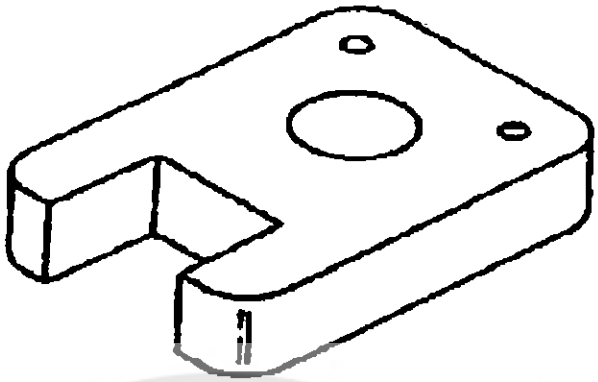


รูปที่ 2.2 แนวของการเคลื่อนที่

ที่มา : วชิระ มีทอง.การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์.

2.2.3.4 การจำกัดการเคลื่อนที่ ในการที่จะกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานให้อยู่ในจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์โดยที่จะได้ตำแหน่งที่ถูกต้องเที่ยงตรงนั้นการเคลื่อนที่ของชิ้นงานจะต้องถูกจำกัดไว้ด้วยและการที่จะจำกัดหรือบังคับไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่นั้นกระทำได้โดยใช้ตัวกำหนดตำแหน่งและตัวจับยึดงาน ฟิกซ์เจอร์ที่จะใช้กับชิ้นงานในรูปที่ 2.2 จะเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นหลักการของการจำกัดการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากรูปชิ้นงานจะถูกวางลงบนสลัก 3 ตัว จะทำให้ชิ้นงานนั้นถูกจำกัดการเคลื่อนที่ไป 5 ทิศทางคือ 2, 5, 1, 4, 12 การที่จะใช้ตัวกำหนดตำแหน่งชนิดที่เป็นสลัก (Pin) หรือคุม (Button) นี้จะทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้น้อยที่สุด เนื่องจากพื้นที่ที่สัมผัสของตัวกำหนดตำแหน่ง

กับชิ้นงานอยู่สูงจากพื้นทำให้เศษโลหะสามารถตกลงไปข้างล่างได้ไม่ติดอยู่กับสลักตำแหน่ง นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการทำก็ถูกกว่าด้วย และสามารถที่จะเปลี่ยนสลักไปตามความต้องการ



รูปที่ 2.3 ตัวกำหนดตำแหน่งกับชิ้นงาน
ที่มา : วชิระ มีทอง.การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์.

2.2.4 หลักการของการยึดจับชิ้นงาน

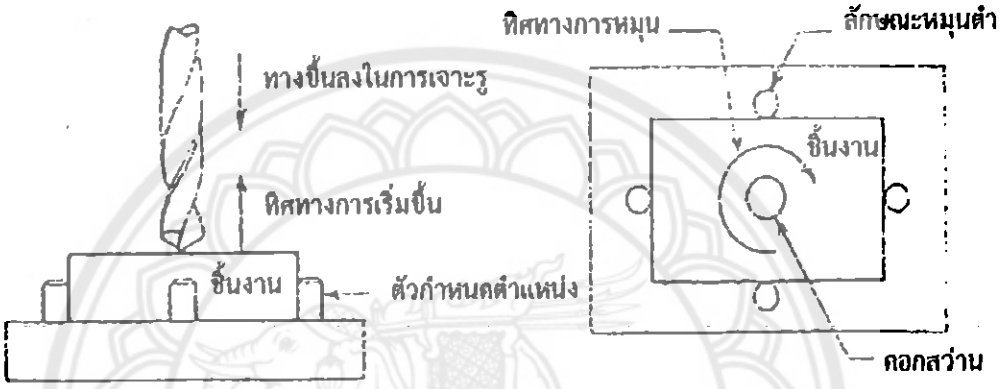
2.2.4.1 ตัวยึดจับชิ้นงาน ตัวยึดจับชิ้นงานนี้ หมายถึง ชิ้นส่วนของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ที่ทำหน้าที่ในการยึดจับชิ้นงาน ไม่ว่าจะเป็นแบบแผ่นยึด ตัวจับ และแบบหนีบยึดจับชิ้นงานให้ติดแน่นอยู่กับจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการอย่างเที่ยงตรง และอยู่ในตำแหน่งโดยสามารถต่อต้านแรงที่เกิดจากการตัดของเครื่องมือตัดที่กระทำต่อชิ้นงานได้ ตัวยึดกับชิ้นงานจะคล้ายกันกับตัวกำหนดตำแหน่ง คือจะต้องทำให้การใส่ชิ้นงานเข้าหรือถอดชิ้นงานออกมาจากจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์เป็นไปอย่างรวดเร็ว

2.2.4.2 กฎขั้นพื้นฐานของการยึดจับชิ้นงาน การทำงานของปากกาหรือตัวยึดจับชิ้นงานในการที่จะยึดชิ้นงานให้ติดแน่นกับจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ในระหว่างที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่จะต้องให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมั่นคงเพื่อให้ได้ผลงานออกมาอย่างดี และถูกต้อง ดังนั้นตัวยึดจับชิ้นงานจึงต้องมีการคิดวางแผนให้ดีที่สุดระหว่างการออกแบบจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ ซึ่งนักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. ตำแหน่งของปากกาหรือตัวยึดจับชิ้นงาน ตัวยึดจับชิ้นงานจะต้องสัมผัสกับชิ้นงานตรงจุดที่ชิ้นงานมีความแข็งแกร่งที่สุดเสมอไป ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้แรงที่เกิดจากการยึดจับนั้นไปทำให้ชิ้นงานเกิดการแอ่นโค้งหรือทำให้ชิ้นงานเสียหายชิ้นงานจะต้องถูกรับรองไว้ด้วย และสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือตัวยึดจับชิ้นงานต้องไม่ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่จะไปขัดขวางการทำงานของเครื่องมือตัดทำให้การทำงานของเครื่องจักรต่อชิ้นงานเป็นไปอย่างลำบาก

ข. แรงจากเครื่องมือตัด แรงแบบนี้เป็นแรงที่เกิดจากการตัดชิ้นงานของเครื่อง ดังนั้นการที่จะยึดจับชิ้นงานให้ถูกต้องนักออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์จึงจำเป็นจะต้องรู้ว่าเครื่องมือ

(Tool) คืออะไร มีชนิดของการตัดเป็นอย่างไรบ้างมีทิศทางในการตัดอย่างไร ซึ่งการออกแบบจะต้องสามารถใช้แรงที่เกิดจากการตัดเป็นประโยชน์ด้วย แรงในการตัดส่วนมากจะเป็นแบบทิศทางกดลงและถูกต้านทานโดยฐาน นอกจากนี้แรงบิดที่เกิดขึ้นก็จะทำให้ชิ้นงานที่ถูกตัดหรือถูกเจาะหมุนรอบแกนของดอกสว่านได้ และอีกแรงหนึ่งก็คือแรงที่ทำให้เกิดการปืนขึ้นของชิ้นงานในระหว่างการเจาะเมื่อดอกสว่านเจาะทะลุอีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน สำหรับจิ๊กเจาะรูในรูป แรงที่ทำให้ชิ้นงานหมุนรอบดอกสว่านจะถูกต่อต้านโดยกำหนดตำแหน่ง ที่อยู่รอบชิ้นงานที่ทำการยึดให้ชิ้นงานติดแน่นอยู่ในตำแหน่งเดิม และการใส่ตัวยึด ให้ยึดชิ้นงานก็จะเป็นการช่วยให้ชิ้นงานติดแน่นอยู่ในตำแหน่งนั้นโดยไม่เกิดการเคลื่อนที่ขึ้น



รูปที่ 2.4 แรงจากเครื่องมือตัด

ที่มา: วชิระ มีทอง.การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์

ค. แรงในการยึดจับชิ้นงาน แรงในการยึดจับชิ้นงานนี้เป็นแรงที่จำเป็นจะต้องมีเพื่อสำหรับยึดจับชิ้นงานให้อยู่นิ่งตรงตำแหน่งที่กำหนดให้ในระหว่างที่มีการปฏิบัติการกับชิ้นงาน และแรงนี้จะถูกต่อต้านโดยตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) การยึดจับชิ้นงานจะช่วยป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งเดิมหรือถูกดึงออกจากจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ในระหว่างที่ชิ้นงานถูกกระทำอยู่

2.3 เครื่องมือวัดและตรวจสอบแบบค่าคงที่

ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานก่อนที่จะส่งให้กับลูกค้าจะมีการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (อำพัน เมธนาวิน, 2554)

2.3.1 เกจทรงกระบอก (Plug Gauges)

การผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นรูหรือรูคว้านจำนวนมากชิ้นโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือตรวจสอบรูที่ผลิตเสร็จแล้วว่าสามารถว่าสามารถนำไปใช้งานได้หรือใช้งานไม่ได้ขนาดของรูเหล่านั้นถ้ามีขนาดอยู่ในพิกัดความเผื่อ แสดงว่าชิ้นงานรูหรือรู-คว้านเหล่านั้นสามารถ

นำไปใช้งานได้ เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความโตของรูว่ามีขนาดอยู่ในพิกัดความเผื่อหรือไม่เรียกว่า "เกจทรงกระบอก"

เกจทรงกระบอกเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบขนาดของรูในกระบวนการผลิต เพื่อตรวจสอบดูว่ารูเหล่านั้นมีขนาดอยู่ในพิกัดความเผื่อหรือไม่

2.3.2 เกจก้ามปู (Snap Gauges)

การผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นเพลาจำนวนมากชิ้นโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตรวจสอบขนาดของเพลาที่ผลิตเสร็จแล้วว่าสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ ขนาดของเพลาเหล่านั้นถ้ามีขนาดอยู่ในพิกัดความเผื่อจะสามารถนำไปใช้งานได้ เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบขนาดของเพลาว่ามีขนาดอยู่ในพิกัดความเผื่อหรือไม่เรียกว่า "เกจก้ามปู"

เกจก้ามปูเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบขนาดของเพลาในกระบวนการผลิต เพื่อตรวจสอบดูว่าขนาดของเพลานั้นมีขนาดอยู่ในพิกัดความเผื่อหรือไม่

2.3.3 เกจสอบรัศมี (Radius Gauges)

ผิวชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นผิวโค้ง ซึ่งมีทั้งรัศมีโค้งในและรัศมีโค้งนอก เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบผิวโค้งเรียกว่า "เกจสอบรัศมี"

เกจสอบรัสมีเป็นเครื่องมือวัดใช้สำหรับตรวจสอบรัศมีความโค้งของชิ้นงาน ทั้งรัศมีโค้งนอกและรัศมีโค้งใน

2.3.4 เกจบล็อก (Block Gauges)

เกจบล็อกหรือสลิปเกจ (Slip Gauges) เป็นเครื่องมือวัดที่มีลักษณะเป็นแท่งใช้เป็นเครื่องมือวัดในการวัดขนาดงาน และใช้เป็นแท่งตรวจสองความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดอื่นๆ เนื่องมาจากเกจบล็อกถูกสร้างให้มีขนาดความเที่ยงตรงสูง

เกจบล็อกเป็นเครื่องมือวัด และตรวจสอบที่ให้ค่าความเที่ยงตรงสูงมาก ใช้สำหรับวัดความหนาหรือความสูงของชิ้นงาน หรือใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของขนาดเครื่องมือวัด

2.3.5 เกจเพลาเรียว (Taper Plug Gauges)

การวัดเรียวเป็นเรื่องที่สำคัญ ไม่ว่าจะเป็นการวัดเพลาเรียวหรือรูเรียว เพื่อที่จะทำให้มีขนาดพอดีกับขนาดความโตปลายด้านเล็กกับขนาดความโตปลายด้านโต และมีระยะห่างพอดี ซึ่งอยู่ระหว่างขนาดความโตทั้ง 2 ด้าน การวัดขนาดที่ส่วนต่างๆ ของเรียวดังที่กล่าวมา หากใช้บรรทัดเหล็ก เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์วัด ค่าที่วัดได้อาจจะคลาดเลื่อนหรือไม่ถูกต้องเพราะขนาดของ

เรียวจะพอดีถูกต้องจะต้องใช้ตัวเพลาเรียวและตัวรูเรียว ประกอบเข้าด้วยกันดังนั้นการวัดตรวจสอบจึงต้องสร้างมาตรฐานเรียวเพื่อใช้ในการตรวจสอบ ซึ่งเรียกว่า "เกจเพลาเรียว" หรือ "เกจรูเรียว"

เกจเพลาเรียวเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบอัตราเรียวของชิ้นส่วนเครื่องมือกล หรือใช้ตรวจสอบขนาดของรูเรียวว่าได้ขนาดอยู่ในมาตรฐานเรียวหรือไม่

2.3.6 เกจรูเรียว (Taper Ring Gauges)

เกจรูเรียวเป็นเครื่องมือวัด และตรวจสอบที่มีลักษณะการใช้งานตรงข้ามกันกับเกจเพลาเรียว ดังได้กล่าวมาแล้ว คือ เกจรูเรียวถูกกำหนดให้เป็นตัวมาตรฐานใช้ตรวจสอบขนาดของเพลาเรียว

เกจรูเรียวเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบอัตราเรียวของเพลา ว่ามีขนาดความโตและอัตราเรียวถูกต้องหรือไม่

2.3.7 เกจแผ่น (Filler Gauges)

การทำงานของเครื่องจักร ชิ้นส่วนบางชิ้นทำงานโดยการเลื่อนสัมผัสไปมากับชิ้นส่วนอื่น เช่น ร่างรางเลื่อนต่างๆ ของเครื่องกลึง เครื่องวัด และเครื่องไส เป็นต้น ในขณะทำงานต้องมีการหล่อลื่นเพื่อช่วยลดแรงเสียดทาน แต่เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งชิ้นส่วนเหล่านั้นจะสึกหรอ เกิดการหลวมคลอนเกินพิกัดมาตรฐานที่กำหนดไว้ ในการวัดตรวจสอบช่องว่างชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดตรวจสอบที่เรียกว่า "เกจแผ่นหรือเกจวัดความหนา" (Thickness Gauges)

เกจแผ่นเป็นเครื่องมือวัดระยะห่างระหว่างผิวงานสองชิ้นที่เลื่อนสัมผัสกัน และเกิดการสึกหรอเป็นช่องว่าง หรือใช้สำหรับตั้งระยะห่างของผิวงานให้ได้ระยะห่างตามที่ต้องการ

2.4 การเขียนแบบทางวิศวกรรม (Auto CAD)

AUTO CAD คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ เขียนแบบ และผลิตงานออกแบบที่เกี่ยวข้องได้ในเกือบทุกประเภท เช่น ตั้งแต่งานแผนผังแบบชิ้นเล็กๆ จนกระทั่งงานใหญ่ๆ จนถึงแผนที่โลก ด้วยความไม่มีขีดจำกัดใดๆ เป็นตัวหลักของการผลิตผลงานการออกแบบทั้งหมดในอนาคต และเป็นที่ยอมรับสาหรับคนทั่วโลก ในเรื่องของมาตรฐานการออกแบบโดยทั่วไป ซึ่งความสามารถของโปรแกรม AUTO CAD นั้น จะทำได้ตั้งแต่งานในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ตลอดจนเป็นพื้นฐานของการนำไปสู่การสร้างงาน ANIMATION (ภาพเคลื่อนไหวและการนาเสนองาน (PRESENTATION) ในรูปแบบต่างๆ ในขั้นตอนต่อๆ ไปที่สูงขึ้น และใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ ได้อีกในหลายๆ รูปแบบ

โปรแกรม Auto CAD ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Autodesk ด้วยการเริ่มต้นของ John Walker โปรแกรม Auto CAD เวอร์ชั่น 1 ได้ถูกเปิดตัวสู่ชาวโลกครั้งแรกในเดือน ธันวาคม ค.ศ. 1982 จนถึงปัจจุบัน โปรแกรม Auto CAD มีใช้มาแล้วทั้ง 26 เวอร์ชั่นและเวอร์ชั่นล่าสุดคือ Auto CAD 2012 (อภิรัตน์ บางศิริ, 2551)

2.5 คุณสมบัติทางโลหะวิทยา

โลหะที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็นหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การใช้งานโลหะจึงควรเลือกใช้งานตามคุณสมบัติ ดังนี้ (ชาญ ถนัดงาน และ วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, 2545)

2.5.1 เหล็กเหนียว

เหล็กเหนียว (Wrought iron) ประกอบด้วยเหล็กบริสุทธิ์สแล็ก (Slag) ร้อยละ 1 ถึง ร้อยละ 3 นอกจากนั้นยังประกอบด้วยคาร์บอน แมงกานีส ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เหล็กเหนียวทำโดยแทสแล็กที่หลอมละลายจากเตาหลอมลงไปในเบ้าที่มีเนื้อเหล็กอยู่แล้วผสมกัน จากนั้นจึงนำมาอัดรีด (Rolling) หรือ (Hammering) ให้เป็นแท่งเพื่อลดสแล็กส่วนเกินออก แท่งเหล็กนี้จะนำไปขึ้นรูปร้อนให้เป็นท่อน ท่อ แผ่น หรือรูปพรรณต่างๆ ได้ เหล็กเหนียวมาความเหนียวและอ่อนซึ่งดีขึ้นรูปได้และตีอัดเพื่อให้ติดกัน (Forge Welded) ได้ นอกจากนั้นยังทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้า เนื่องจากจะเกิดออกไซด์ (Oxide) ปกคลุมพื้นผิวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีการกัดกร่อน เหล็กเหนียวที่ผ่านการรีดมีคุณสมบัติทางกลในแนวยาว (แนวที่ผ่านการรีด) ดีกว่าในแนวขวางเหล็กเหนียวจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกถ้าได้ใส่โลหะผสมลงไปในเนื้อเหล็กเหนียว เช่น นิกเกิล ร้อยละ 1.5 ถึง ร้อยละ 3.5 ถ้าความต้านแรงดึงอัลติเมต (Ultimate Strength) ของเหล็กเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อได้แผ่นการขึ้นรูปเย็นแล้วบ่มอย่างเหมาะสม

ตัวอย่างคุณสมบัติเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล ร้อยละ 3.25

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล

คุณสมบัติทางกล, หน่วย	เหล็กเหนียว (คุณสมบัติในแนวยาว)	เหล็กเหนียวผสมนิกเกิล ร้อยละ 3.25
แรงดึง, นิวตันต่อลบ.มม.	290-360	380-415
จุดคราก, นิวตันต่อลบ.มม.	180-240	310-345
การยืดตัว (200 mm),ร้อยละ	25-40	25-30
พื้นที่หน้าตัดลดลง,ร้อยละ	40-55	35-45

ที่มา : ชาญ ถนัดงาน และ วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ (2545)

2.5.2 เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อ (Cast Iron) ที่ใช้งานทั่วไปมีคาร์บอนผสมอยู่ ร้อยละ 2.5 ถึง ร้อยละ 4.0 เป็นที่ทราบกันดีว่ามีคาร์บอนผสมอยู่มากเหล็กจะเปราะและมีความเหนียวน้อยลง เพราะฉะนั้นเหล็กหล่อจึงขึ้นรูปเย็นไม่ได้ แต่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วจะไหลได้ง่ายจึงสามารถจะหล่อเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ดี เมื่อเย็นตัวลง แล้วทำการบ่มจะทำให้สามารถตัดกลึงได้ เหล็กหล่อมีความต้านแรงดึงต่ำกว่าความต้านแรงกด (Compressive Strength) จึงจะเหมาะกับสมชิ้นงานที่รับแรงกด นอกจากนั้นคุณสมบัติของ

เหล็กหล่อยังเปลี่ยนแปลงไปได้มากเมื่อผสมโลหะผสมชนิดต่างๆ แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนต่างกันเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานเหล็กหล่อเดิมแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ เหล็กหล่อสีขาว (White Cast Iron) เหล็กหล่อเหนียว (Malleable Cast Iron) เหล็กหล่อสีเท่า (Gray Cast Iron) และเหล็กหล่อเหนียวพิเศษ (Nodular Cast Iron) นอกจากนี้ยังมีอีก 2 แบบ คือ เหล็กหล่อเย็น (Chilled Cast Iron) และเหล็กหล่อผสม (Alloy Cast Iron)

2.5.2.1 เหล็กหล่อสีขาว เป็นเหล็กหล่อที่มีเนื้อละเอียดสีขาวเพราะไม่มีแกรไฟต์ คาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กทั้งหมดจะรวมกับเหล็กในรูปของซีเมนไตต์ (Cementite) ซึ่งมีแรงต้านสูงและแข็งมากแต่เปราะแตกง่ายจึงไม่นิยมนำมาใช้ตัดกลึงเหล็กหล่อสีขาวมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัด แม้ว่าจะมีใช้อยู่ในบ้างในงานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการกด แบบผลักดันโลหะ (Extrusion Dies) แล้วผิวของถังผสมซีเมนต์ เป็นต้น

2.5.2.2 เหล็กหล่อเหนียว เป็นเหล็กหล่อสีขาวที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้วเมื่อนำเหล็กหล่อสีขาวไปเผาให้มีอุณหภูมิประมาณ 880 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ (คล้ายกับการเทมเปอริ่ง) คาร์บอนในเนื้อเหล็กที่อยู่ในรูปของซีเมนไตต์จะค่อยๆ แยกตัวออกเมื่อเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิปกติคาร์บอนที่เหลืออยู่จะจับตัวกันเป็นกลุ่มในรูปเกือบกลม เหล็กหล่อเหนียวมีคุณสมบัติดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา ยกเว้นคุณสมบัติทางด้านการทนต่อการสึกหรอ เหล็กหล่อเหนียวนั้นตัดกลึงได้สะดวก หล่อเป็นชิ้นบาง เช่น (12 มม. ถึง 50 มม.) จึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ น้ำมัน การเกษตร และรถไฟโดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ทำห้องเฟือง (Gear Box) จานเบรกในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถไถ เป็นต้น เหล็กหล่อเหนียวเมื่อผสมโลหะผสมลงไปจะทำให้คุณสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลง โลหะผสมที่นิยมใช้ได้แก่ ทองแดง หรือทองแดงกับโลลิบดีนัม ทองแดงช่วยให้เหล็กหล่อเหนียวทนต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงดึงคราก (Yield Strength) ดีขึ้น แต่ความเหนียวจะลดลง

2.5.2.3 เหล็กหล่อสีเทา เป็นเหล็กหล่อที่มักใช้งานกันมากที่สุดในกระบวนการเหล็กหล่อทั้งหมด ดังนั้นจึงมักเรียกเหล็กสีเทาว่า เหล็กหล่อ เหล็กหล่อสีเทาจะมีคาร์บอนผสมอยู่ ร้อยละ 2.5 ถึง ร้อยละ 4.0 และมักจะมีซิลิกอนผสมอยู่มากกว่า ร้อยละ 2 คาร์บอนจะรวมตัวกันเป็นสารประกอบกับเหล็กเรียกว่า ซีเมนไตต์ บางส่วนและส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของคาร์บอนบริสุทธิ์ หรือที่เรียกว่าแกรไฟต์ เป็นแถบยาวๆ แทรกอยู่ในเนื้อเหล็กจึงทำให้มองเห็นเนื้อเหล็กเป็นสีเทา ถ้ามีซิลิกอนผสมอยู่มากกว่าจะทำให้ความต้านทานของเหล็กหล่อสีเทาลดลง เหล็กหล่อสีเทาที่แข็งที่สุดและแข็งแรงที่สุดจะมีโครงสร้างแบบเพอร์ไลต์ (Perlite) ส่วนที่นิ่มที่สุดจะมีโครงสร้างผสมระหว่างแกรไฟต์กับเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และมีคาร์บอนผสมอยู่น้อย ความแข็งแรง และความต้านแรงของเหล็กหล่อสีเทาเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มคาร์บอน ASTM A48 - 46 จัดจำพวกเหล็กหล่อสี่เทาออกเป็นเจ็ดชั้นคุณภาพ โดยจะใช้หมายเลข 20, 25, 30, 35, 40, 50 และ 60 หมายเลขนี้จะบอกถึงความต้านแรงดึงต่ำสุดเป็น ksi (kip per in ,1 kip = 1000 lb) ตัวอย่างเช่น เหล็กหล่อสีเทาชั้นคุณภาพ 20 มีค่าความต้านแรงดึงต่ำสุด

20 ksi หรือ 20,000 psi เป็นต้น คุณสมบัติทางกลอย่างอื่นของเหล็กหล่อสีเทาดู เหล็กหล่อทุกชนิดเชื่อมได้ยาก แต่ก็สามารถเชื่อมได้ถ้ามีการปฏิบัติอย่างเหมาะสม เช่น อุ่นชิ้นงานก่อนเชื่อม เตรียมผิวที่จะเชื่อม เลือกวิธีที่จะเชื่อมและลวดเชื่อม ข้อควรระวังก็คือการให้ความร้อนและการลดความร้อนจากเหล็กหล่อ อาจทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้

2.5.2.4 เหล็กหล่อเหนียวพิเศษ เป็นเหล็กที่มีแกรไฟต์รูปทรงกลมแทรกอยู่ในเนื้อเหล็กซึ่งเกิดจากการผสมแมกนีเซียมหรือซีเรียม (Cerium) ลงในเหล็กหล่อสีเทาขณะที่หลอมละลายก่อนเทลงในแบบหล่อ ข้อแตกต่างจากเหล็กเหนียวก็คือ เหล็กหล่อเหนียวพิเศษจะเกิดแกรไฟต์รูปทรงกลมขณะแข็งตัว และไม่ต้องทำเทมเปอริ่ง เมื่อผสมโลหะผสมบางชนิดลงไปจะทำให้เหล็กหล่อเหนียวพิเศษทนต่อการกัดกร่อนได้ดีและทนต่อการครีบ (Creep) ที่อุณหภูมิสูงสุด เหล็กหล่อเหนียวพิเศษมีความต้านแรง ความเหนียว ความเหนียวนุ่มสูงกว่า เหล็กหล่อสีเทาและมีรูพรุนน้อยกว่า จึงมักใช้ในการขึ้นรูปเป็นเพลาข้อเหวี่ยง ลูกสูบ ฝาสูบ ลูกกลิ้ง ล้อสายพาน แบบขึ้นรูป เป็นต้น

2.5.2.5 เหล็กหล่อเย็น เป็นเหล็กหล่อที่มีผิวนอกเป็นเหล็กหล่อสีขาว มีซีเมนไตต์เป็นหลัก ดังนั้นจึงแข็งมาก แต่ผิวในจะมีเนื้อเป็นเหล็กหล่อสีเทา ทำได้โดยใส่แผ่นโลหะเย็นในแบบใกล้ผิวแบบเมื่อเทโลหะที่หลอกเหลวลงไป น้ำโลหะที่สัมผัสกับแท่นโลหะเย็นจะลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจึงทำให้มีโครงสร้างเป็นซีเมนไตต์ดังกล่าว เหล็กหล่อเย็นตัดกลึงได้โดยเจียระไนอย่างเดียวเท่านั้น และมักใช้ในการทำแบบตอก (Punching Die) ชิ้นส่วนสำหรับการบด ล้อรถไฟ เป็นต้น

2.5.2.6 เหล็กหล่อผสม เป็นเหล็กหล่อที่ผสมโลหะผสมต่างๆ ทำให้คุณสมบัติทางโลหะดีขึ้น ทนความร้อนดีขึ้น ทนต่อการกัดกร่อนและสึกหรอดีขึ้น หรืออาจทำให้หล่อได้ง่ายขึ้น และตัดกลึงได้ง่านขึ้น โลหะผสมทั่วไปที่ใช้ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง โครเมียม โมลิบดีนัม และวานาเดียม

2.5.3 โลหะผสมระหว่างกล้า

โลหะผสมที่เจตนาจะผสมลงไปในโลหะก็เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของโลหะ เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon Steel) ซึ่งมีปริมาณแมงกานีส ฟอสฟอรัส และซิลิกอน อยู่น้อย และไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ที่เนื่องมาจากคาร์บอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่โลหะผสมชนิดต่างๆ ลงไปในเหล็กกล้าคาร์บอนจำนวนมากหรือน้อยตามความต้องการเพื่อให้เกิดผลอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังต่อไปนี้

2.5.3.1 เพิ่มความต้านแรง

2.5.3.2 ปรับปรุงคุณสมบัติในการชุบแข็ง

2.5.3.3 ปรับปรุงคุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำหรือสูง

2.5.3.4 เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน

2.5.3.5 ปรับปรุงคุณสมบัติในการตัดกลึง

2.5.3.6 ปรับปรุงคุณสมบัติต้านทานต่อการสึกกร่อน

2.5.3.7 เพิ่มความเหนียวนุ่ม

2.5.4 เหล็กกล้าเหล็กกล้าอาจจะแบ่งออกได้เป็น

2.5.4.1 เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ที่ระหว่าง ร้อยละ 0.05 ถึง ร้อยละ 0.30 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) จะมีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.30 ถึง ร้อยละ 0.50 เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) มีคาร์บอนผสมมากกว่า ร้อยละ 0.5 ขึ้นไป

ก. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีใช้งานมากทางด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและในงานโครงสร้าง เช่น ใช้ทำท่อโครงสร้าง ถัง รถไฟ ตัวถังรถยนต์ สลักเกลียว แป้นเกลียว แผ่นเหล็กชุบสังกะสี ถ้าเหล็กกล้าชนิดนี้มีกัมมะถันผสมอยู่มากเรียกว่าเหล็กกลึงเสรี (Free Cueing Steel) ซึ่งนิยมใช้อย่างมากในเครื่องทำเกลียวอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมส่วนมากใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ทั้งรีดร้อนและรีดเย็น เหล็กกล้าที่ผ่านการรีดเย็นจะมีความต้านแรงดันกลึงได้ดี และมีขนาดแน่นอนถ้าต้องการให้ผิวเหล็กทนต่อการสึกหรอก็ทำได้โดยการชุบผิวเข็ง

ข. เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง สามารถนำมาชุบหรือเทมเปอร์ได้โดยทางกรรมวิธีทางความร้อนโดยทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้งานที่ต้องการความต้านแรง และทนต่อการสึกกร่อน ผลิตภัณฑ์จากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางคือ เพลา แกน เพราข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ค. เหล็กกล้าคาร์บอนสูง ใช้มากเมื่อมีผลิตภัณฑ์ต้องการความแข็ง และความต้านแรงสูงพร้อมกันนั้นก็ทนต่อการสึกหรอได้ดีด้วย เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจึงจะมีคุณสมบัติตามต้องการ โดยปกติที่หาซื้อตามท้องตลาดจะอยู่ในสภาพที่ผ่านการแอนนีลมาแล้ว ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วต้องทำกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความแข็งแรงตามต้องการ เหล็กกล้าชนิดนี้ใช้ทำเครื่องมือชนิดต่างๆ เช่น ดอกสว่าน อุปกรณ์ตัดเกลียวใน ดอกคว้านรู แบบพิมพ์ และเครื่องมือต่างๆ และมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคมเช่น มีด สกัด กรรไกร เป็นต้น นอกจากนั้นยังทำลวดสปริงและลวดสลิงอีกด้วย การใช้เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีข้อควรระวังคือ ความแข็งและความต้านแรงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้ทำเครื่องมือตัดบางชนิดที่ทำงานด้วยอุณหภูมิสูง และถ้านำไปชุบแข็งอาจเกิดการบิดเบี้ยวและแตกร้าวได้ ประการสุดท้ายเหล็กคาร์บอนสูง มีข้อเสียคือเมื่อชุบแข็งจะได้ผิวแข็งที่ตื้น นอกเสียจากเป็นชิ้นงานบาง ดังนั้นจึงหวังผลจากการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนสูง ได้ไม่มากนัก

2.5.4.2 เหล็กกล้าผสมต่ำ ความต้านแรงสูง เป็นเหล็กกล้าผสมต่ำความต้านแรงสูงที่จะถูกนำไปใช้งานในลักษณะที่ผลิตออกมาโดยตรงเป็นส่วนมาก หรืออาจจะใช้กรรมวิธีความร้อนในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลขึ้นอีกก็ได้ สำหรับการนำไปใช้งานโดยตรงโลหะผสมที่ใส่เข้าไปก็เพื่อทำให้

พวกเฟอร์ไรต์แข็งตัวขึ้นแต่คุณสมบัติทางกลยังมิได้แสดงออกมาอย่างเต็มที่ เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีความร้อนเหล็กกล้าชนิดนี้จะได้รับการปรับปรุงให้มีความต้านแรงดึง ความเหนียว ความแข็ง ความเหนียวนุ่มขึ้นไปอีก

2.5.4.3 เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำ เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำใช้กันมากในงานทางด้านการขนส่งและการก่อสร้าง เหล็กกล้าชนิดนี้มิได้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ฉะนั้นคุณสมบัติต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับการผสมโลหะผสมลงไปอย่างเหมาะสมกับปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ ตัวอย่างหนึ่งของเหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำมีความต้านแรงดึงครากประมาณ 345 นิวตันต่อลบ.มม. และมีความต้านของแรงดึงอัลติเมต ประมาณ 485 นิวตันต่อลบ.มม. เหล็กกล้าชนิดนี้จะเชื่อมต่อได้ง่ายและชุบแข็งในอากาศไม่ได้ เพื่อให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความต้านแรงเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ความสูงประมาณร้อยละ 0.3 แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อมีความต้านแรงเพิ่มขึ้นคุณสมบัติทางด้านความเหนียว การขึ้นรูปและการเชื่อมจะลดลง

2.5.4.4 เหล็กกล้าหล่อ เหล็กกล้าหล่อมีจะส่วนประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกับเหล็กเหนียว (Wrought steel) แต่ว่าได้เพิ่มให้มีวิลิคอน และแมงกานีสมากกว่า และได้ลดก๊าซออกซิเจนและก๊าซอย่างอื่นในเนื้อเหล็ก เหล็กกล้าหล่อใช้ทำชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนซึ่งต้องการให้มีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็กกล้าเหนียว ด้วยราคาถูกกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น นอกจากนั้นเหล็กกล้าหล่อยังมีคุณสมบัติทางกลดีกว่าเหล็กหล่อ กรรมวิธีความร้อนยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลบางประการของเหล็กกล้าหล่อได้อีกด้วย

2.5.4.5 เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าไร้สนิมมี 3 แบบ คือ ออสตินิติก (Austenitic), เฟอร์ริติก (Ferritic), มาร์เทนซิติก (Martensitic) เหล็กกล้าประเภทนี้จะมีคุณสมบัติต่อการกัดกร่อนต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโคเมียมที่ผสมอยู่ เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติกขัดมันได้เป็นเงางาม จึงมักใช้ในงานตกแต่งเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นยังใช้งานทางด้านที่ต้องการให้ทนความร้อน เหล็กกล้าไร้สนิมได้แบ่งออกเป็นชนิดโดยระบบเลขจำนวนของ Ais (American Iron and Steel Institute) และ (Society of Automotive Engineers) ระบบของ SAE ใช้ตัวเลข 5 ตัว ส่วนของ AISI ใช้ตัวเลข 3 ตัวในระบบของ AISI เลขตัวเลขบอกอนุกรม (Series) ของเหล็กกล้าไร้สนิม เลขสองตัวสุดท้ายจะบอกชนิดของเหล็กกล้า ตัวอักษรที่ตามหลังเลขที่ 3 บอกถึงกับการดัดแปลงในอนุกรมนั้น อนุกรมการให้ชื่อเหล็กกล้าไร้สนิมดูได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การให้ชื่อเหล็กกล้าไร้สนิมของ AISI และ SAE

AISI	SAE	การแบ่งจำพวกทั่วไป
2xx	203xx	เหล็กกล้าเหนียวออสตินิติผสมโครเมียม – นิกเกิล – แมงกานีส ไม่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก ชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
3xx	303xx	เหล็กกล้าเหนียวออสตินิติผสมโครเมียม – นิกเกิล ชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
4xx	514xx	เหล็กเหนียวไร้สนิมมาร์เทนซิติกผสมโครเมียม – เหล็กเหนียว มีคุณสมบัติแม่เหล็ก และชุบแข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
4xx	514xx	เหล็กเหนียวไร้สนิมเฟอร์ริติกผสมโครเมียม – เหล็กเหนียวมีคุณสมบัติแม่เหล็กและชุบแข็งได้ด้วยกรรมวิธีทาความร้อน

ที่มา : ชาญ ถนัดงาน และ วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ (2545)

ก. เหล็กกล้าไร้สนิม แบบออสตินิติก เป็นกลุ่มของโครเมียม – นิกเกิล ซึ่งจะอยู่ในอนุกรม 300 กลุ่มของโครเมียม – นิกเกิล – แมงกานีส ประกอบด้วยชนิด 201 และ 202 อนุกรม 300 โดยทั่วไปแล้วมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าแบบมาร์เทนซิติกและเฟอร์ติกเหล็กกล้าไร้สนิมทุกชนิดมีความคงทนต่อการตกสะเก็ด (Scaling) และมีความต้านแรงที่อุณหภูมสูงดี ชนิด 203 เป็นชนิดที่ใช้งานทั่วๆ ไป และมักเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 18–18 ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรม ทางด้านอาหาร อุปกรณ์ขนถ่ายวัตถุ เครื่องใช้ในครัว เครื่องประดับทางด้านสถาปัตยกรรม โรงงานนม โรงทอผ้า เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียวที่อุณหภูมิสูงและต่ำ หาได้ง่ายและราคาพอสมควร ชนิดที่ใช้กันมากในอนุกรมนี้คือ 304, 316, 346 และ 347

ข. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติกชุบแข็งไม่ได้ และจะแข็งในขณะขึ้นรูปเย็นแล้วตามด้วยการแอนนิสอย่างรวดเร็วหลังจากการขึ้นรูปเย็น เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติกตัดกลึงได้ยากเพราะจะแข็งขึ้นจากการขึ้นรูปเย็น ดังนั้นจึงมีอัตราการตัดกลึง ร้อยละ 50 ของเหล็กกล้า B1112 ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ อนุกรม 300 นี้มีความเหนียวมากแต่จะแข็งเมื่อขึ้นรูปเย็นจึงมีคุณสมบัติทางด้านการขึ้นรูปไม่ดีนัก เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติกดีอัดขึ้นรูปได้ และเชื่อมได้โดยวิธีการเชื่อมหลอมเหลว (Fusionweld) ภาคหลังการเชื่อมควรทำการแอนอีลด้วย

ค. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบเฟอริติก (บางส่วนของอนุกรม 400) จะชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน ละไม่สามารถทำให้แข็งมากนักโดยการขึ้นรูปเย็น มีความเหนียวจึงรีดตัดทอได้ เมื่อขึ้นรูปเย็นความต้านแรงดึงครากจะเพิ่มขึ้นปริมาณ ร้อยละ 30 แต่ความต้านแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้นเหล็กกล้าไร้สนิมแบบเฟอร์ริติกดีอัดขึ้นรูป และรีดได้สะดวกแต่คุณสมบัติทางด้านการตัดกลึงไม่ดีนัก ดังนั้น ในการตัดกลึงจึงต้องใช้เครื่องมือตัดที่มีความคมอยู่เสมอ เหล็กกล้าชนิดนี้เชื่อม

ไฟฟ้าเชื่อมโดยใช้ความต้านทานได้ (Resistance Welding) แต่จะต้องทำแอนนีลเพื่อลดความเปราะและเพิ่มความเหนียวนุ่ม ในการที่จะให้ได้รอยเชื่อมที่แข็งแรงที่สุดจะต้องใช้ลวดเชื่อมแบบออสตินิติก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเหล็กกล้าเฟอร์ริติกจะมีความเหนียวนุ่มลดลง คุณสมบัติทางด้านการคืบเลวลง และความต้านแรงตึงแตกหัก (Breaking Strength) ลดลง

ง. เหล็กกล้าไร้สนิมแบบบาร์เทนซิติก คล้ายกับแบบเฟอร์ริติกคือ อยู่ในกลุ่มโครเมียม เหล็กและเป็นส่วนหนึ่งของอนุกรม 400 เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกที่ใช้ทั่วไป คือ 410 ซึ่งมีราคาแพงที่สุด เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกรับแรงกระแทกได้ดี และชุบแข็งได้โดยเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 982 องศาแล้วชุบในน้ำมัน หลังจากนั้นจึงทำการเทมเปอร์ การใช้งานของเหล็กกล้ามาร์เทนซิติกอนุกรม 400 มีอยู่มากมาย เช่น 410 ใช้ทำวาล์วกระแกรงกองผง เพราเครื่องสูบ ใบมีดสลักเกลียว แป้นเกลียว และชิ้นส่วนต่างๆ ในอุตสาหกรรมเคมี ชนิด 403 ใช้ทำใบของกังหันไอน้ำใบเครื่องอัดลมของเครื่องยนต์เจ็ต และชิ้นส่วนที่รับความเค้นสูง ชนิด 416 จะใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของคาร์บูเรเตอร์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ วาล์ว เพลา แล้วต้ามกอล์ฟ ชนิด 420 เมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจะมีความแข็งสูงจึงใช้ในการผลิตใบมีด อุปกรณ์การผ่าตัด เป็นต้น ชนิด 440 มีความทนทานต่อการสึกหรอ จึงใช้ในการผลิตลูกปืนในแบริ่ง บูชิ่ง (Bushing) ชิ้นส่วนของวาล์ว บ่าวาล์ว และมีราคาแพง ถ้ามีคาร์บอนผสมอยู่มากจะต้องตัดกลึงกลางด้วยความเร็วตัดต่ำและป้อนที่ละน้อย ชนิดที่เหมาะกับการขึ้นรูปเย็นคือ 403 และ 410 เหล็กกล้ามาร์เทนซิติก ตีอัดขณะร้อน และนำไปรีดในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1035 องศาเซลเซียส ถึง 1232 องศาเซลเซียส เหล็กกล้ามาร์เทนซิติกที่เชื่อมด้วยไฟฟ้าและเชื่อมโดยใช้ความต้านทานได้นั้นคือ ชนิด 403, 410 และ 416 เพื่อให้การเชื่อมต่อมีประสิทธิ์ภาพที่ดี (คือไม่เปราะและแตกร้าว) ควรทำการเผางานก่อนที่จะเชื่อมให้มีอุณหภูมิระหว่าง 65 องศาเซลเซียส ถึง 130 องศาเซลเซียส เสียก่อน ภายหลังจากการเชื่อมจึงปล่อยให้เย็นตัวลงในอากาศจนถึงอุณหภูมิระหว่าง 650 องศาเซลเซียส ถึง 732 องศาเซลเซียส

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกมีคุณสมบัติเลิศทางด้านการคืบและการแตกหักที่อุณหภูมิสูงถึง 540 องศาเซลเซียส เหล็กไร้สนิมทั้งสามแบบนี้บัดกรีอ่อน (Soft Soldered) และบัดกรีแข็ง (Hard Soldered) ได้ การบัดกรีอ่อน (ใช้ลวดบัดกรีเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุก – ตะกั่ว) ไม่มีปัญหาแต่อย่างใด เพราะใช้อุณหภูมิต่ำ จึงไม่ทำให้เกิดคาร์ไบด์ (Carbide) ที่ไม่ต้องการ แต่การบัดกรีแข็ง (ใช้ลวดบัดกรีเป็นทองเหลืองหรือเงิน) ต้องใช้อุณหภูมิสูง (อย่างต่ำที่สุด 620 องศาเซลเซียส) จึงจะทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสสินิติกคาร์ไบด์ที่ไม่ต้องการขึ้นได้ เพราะฉะนั้นถ้าต้องการบัดกรีแข็งจะต้องใช้เหล็กกล้าที่มีชนิดคาร์บอนต่ำหรืออาจใช้ลวดทองแดงในการบัดกรีได้ (Copper Braze) แต่จะต้องใช้ทองแดงที่มีความบริสุทธิ์มากและต้องมีวิธีปกป้องผิวในขณะบัดกรีด้วย นอกจากนั้นในการบัดกรีต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 1095 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจมีผลต่อกรรมวิธีทางความร้อนที่ได้รับกระทำกับเหล็กกล้าไร้สนิมมาก่อนแล้ว ดังนั้น การบัดกรีเช่นนี้จึงมักใช้กับรอยเล็ก เท่านั้น

2.5.5 เหล็กเครื่องมือ

เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของเหล็กเครื่องมือทำให้เหล็กเครื่องมือชุบแข็งได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน จึงมีคุณสมบัติพิเศษเหมาะกับการนำไปทำเครื่องมือตัด เครื่องมือเฉือน แบบขึ้นรูป (Forming die) ดอกสว่าน อุปกรณ์ (Punches) เป็นต้น และมีคุณสมบัติดังนี้

2.5.5.1 มีความแข็งแรงและความต้านแรงสูงในขณะที่อุณหภูมิจากการตัดกลึงสูงขึ้น

2.5.5.2 สามารถรับแรงกระตุก กระแทก โดยไม่บิ่นหรือแตกหัก (นั้นเพื่อความเหนียวนุ่ม)

2.5.5.3 สามารถทนต่อการสึกหรอและการขูดขีดเมื่อใช้งานอย่าต่อเนื่อง เพื่อทำให้ไม่ต้องรับเครื่องมือหรือเปลี่ยนเครื่องมือบ่อยครั้งปรากฏว่าไม่มีวัสดุเครื่องมือชนิดใดที่มีลักษณะน่าพึงพอใจดังกล่าวทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องดัดแปลงปรับปรุง ให้มีคุณลักษณะเหมาะสมตามความต้องการของชิ้นงาน เหล็กเครื่องมือแบ่งประเภทโดยลักษณะจำเพราะตามระบบของ AISI และ SAE รวมทั้งวิธีการชุบ การใช้งานคุณสมบัติพิเศษ และชนิดที่นิยมกันมากในอุตสาหกรรม

2.5.6 เหล็กกล้าพิเศษ

เหล็กกล้าพิเศษใช้งานเมื่อต้องการวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นพิเศษ บางครั้นจำเป็นต้องใช้งานที่มีอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำ โดยไม่ต้องการความต้านแรงสูงมากนัก ดังจะแบ่งได้ตามรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.6.1 การจะใช้งานที่อุณหภูมิสูง อุปกรณ์ที่ใช้ในโรงต้นกำลัง กังหันก๊าซ เครื่องยนต์เจ็ต โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานเคมี และงานอื่นๆ ต้องการใช้เหล็กกล้าที่ต้านทานการเกิดออกไซด์และมีคุณสมบัติทางการคืบดีที่อุณหภูมิสูง เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกหรอเปราะเมื่ออยู่ภายในได้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสติตินิติกบางชนิด ตัวอย่างเช่น 302, 300, 310, 316, 312 และ 327 ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 925 องศาเซลเซียส ถึง 109 องศาเซลเซียส แต่จะทำให้ความต้านทานคืบลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 595 องสาเหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกและเฟอร์ริติก บางชนิด ตัวอย่างเช่น 405, 410, 418, 430 และ446 ก็สามารถใช้งานอย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 705 องศา ถึง 1095 องศาเซลเซียส แต่ความต้านทานจะลดลงที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส และจะมีค่าลดลงเกือบเป็น 0 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงจะนำมาใช้งานไม่ได้ถ้าความต้านแรงที่อุณหภูมิสูงเป็นตัวประกอบสำคัญในการออกแบบ เหล็กกล้าไร้สนิมจะมีความทานต่อการตกสะเก็ดเป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่น ชนิด 440 ต้านทานต่อการตกสะเก็ดได้เมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่องได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 760 องศาเซลเซียส ส่วนชนิดอื่นๆ ก็ทนต่อการตกสะเก็ดที่อุณหภูมิสูงกว่า 760 องศาเซลเซียส

2.5.6.2 การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ คุณสมบัติของเหล็กกล้าเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิต่ำ เริ่มมีความสำคัญมากขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำมัน การทำก๊าซเหลว การผลิตยางสังเคราะห์ (Syntheticrubber) การผลิตพวกคาร์บอน เครื่องบินที่บินระดับสูง อุปกรณ์ทางทหารและ

อื่นๆ ที่ต้องการใช้เหล็กกล้าที่อุณหภูมิต่ำ แต่ทางด้านอุตสาหกรรมยังมีใช้น้อยมากเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำคือ เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสตินิติก

2.5.6.3 เหล็กกล้าความต้านทานแรงสูงมาก (Ultrahigh Strength Steel) ซึ่งมีความต้านทานแรงดึงครากและความต้านทานแรงดึงอัลติเมตสูงมาก ตารางที่ 2.3 จะเป็นตัวอย่างของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงมาก 8 ชนิด

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างความต้านแรงดึงของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงมาก

ชนิดของเหล็กกล้า	ความต้านแรงดึงคราก N/mm^2	ความต้านแรงดึง N/mm^2
เหล็กกล้าผสมที่มีคาร์บอนปานกลาง	1725	2070
เหล็กเครื่องมือขึ้นรูปร้อน	1655	2000
เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก	1620	1690
เหล็กกล้าไร้สนิมออสตินิติกกรีดเย็น	1240	1380
เหล็กกล้าไร้สนิมออสตินิติก	1515	1620
เหล็กกล้าผสมต่ำ ความต้านแรงสูง ชุบแข็งได้	1690	1965
เหล็กกล้าผสมสูงชุบและเทมเปอร์	2000	2415
ลวดเหล็กกล้าคาร์บอนสูง	4000	4135

ที่มา : ชาญ ถนัดงาน และ วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ (2545)

2.6 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนโครงการต่างๆ บางครั้งต้องการจะทราบว่าจำนวนผลผลิตที่จะผลิตคุ้มทุนควรเป็นเท่าไรเพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน คือจุดที่รายได้กับรายจ่ายเท่ากัน นั่นคือกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเหมาะกันโครงการระยะสั้น เงื่อนไขต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดโครงการ เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลทำให้การตัดสินใจคลาดเคลื่อนได้ (จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, 2552)

2.6.1 การคำนวณหาจุดคุ้มทุนโครงการเดี่ยว

กำหนดให้ C คือ ต้นทุนรวมในการผลิต

F คือ ต้นทุนคงที่

V คือ ต้นทุนแปรผัน

N^* คือ จำนวนที่ผลิตที่จุดคุ้มทุน

N คือ จำนวนการผลิตที่จุดใดๆ

V คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

R คือ รายได้

P คือ กำไร

P คือ ราคาขายต่อหน่วย

ต้นทุนรวมในการผลิต $V = F + V$ (2.3)

แต่ $V = V^n$ (2.4)

แทนค่าในสมการที่ (2.3) จะได้ $C = F + vN$ (2.5)

รายได้ (R) = pN (2.6)

กำไร (P) = รายได้ (R) – ต้นทุนรวม (C) (2.7)

แทนค่าสมการที่ (2.5) และ (2.6) ลงในสมการที่ (2.7)

กำไร (P) = pN – (F + vN)

ให้กำไร (P) เท่ากับศูนย์ จะได้ต้นทุนเท่ากับรายได้

0 = pN – (F + vN)

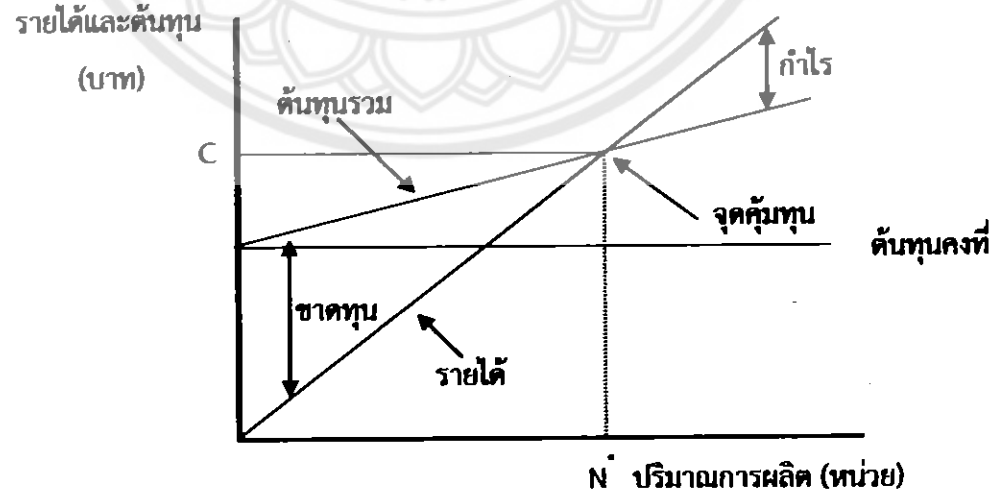
0 = pN – F – vN

pN – vN = F

N(p - v) = F

$N^* = F/P - T$ (2.8)

เมื่อ N^* เป็นปริมาณที่จุดคุ้มทุนพอดี จากการคำนวณดังกล่าวสามารถนำไปแสดงด้วยแผนภูมิได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ที่มา : จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ (2552)

2.6.2 ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

ในการวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนนอกจากจะพิจารณาจุดคุ้มทุนแล้ว บางครั้งยังต้องการทราบว่าจะคืนทุนด้วยระยะเวลาเท่าไร การคำนวณหาจะต้องแปลงมูลค่าของเงินเป็นมูลค่าปัจจุบันรายปีก็ได้ ปีที่ทำให้รายจ่ายเท่ากับรายรับนั่นคือระยะเวลาการจ่ายคืนทุน

2.7 เครื่องมือวัดแบบเลื่อนได้ที่มีขีดมาตรา

เครื่องมือวัดแบบเลื่อนได้ที่มีขีดมาตรา แบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์ นาฬิกาวัด (อำพัน เมธนาวิน, 2554)

2.7.1 ไมโครมิเตอร์วัดนอก

ลักษณะสร้างของไมโครมิเตอร์วัดนอกเมื่อขันสลักเกลียวลงไปบนชิ้นงาน หรือขันน็อตเข้ากับสลักเกลียว เกลียวหรือน็อต จะเคลื่อนที่เป็นระยะเท่ากับ 1 ระยะพิต (Pitch) โดยใช้บรรทัดวัดระยะเคลื่อนที่ของเกลียว

2.7.2 ลักษณะส่วนประกอบสำคัญของไมโครมิเตอร์วัดนอก

2.7.2.1 หัวหมุนกระทบเลื่อน (Ratchet Stop) มีไว้สำหรับหมุนผ่อนแรงในขณะที่แกนวัดสัมผัสกับชิ้นงาน มีลักษณะเป็นซี่เฟือง มีสปริงสับให้หมุนไปทางเดียว ขณะที่หมุน หัวหมุนกระทบเลื่อนจนแกนวัดสัมผัสชิ้นงาน จะมีเสียงคลิ๊กๆ ไมโครมิเตอร์บางตัวไม่มีหัวหมุนกระทบเลื่อน แต่มีปลอกความฝืด (Friction Stop) ซึ่งมีไว้สำหรับผ่อนแรง เพื่อป้องกันเกลียวเสียหาย และทำให้การอ่านค่าที่สเกลได้ถูกต้อง

2.7.2.2 ปลอกหมุนวัด (Thimble) มีลักษณะเป็นปลอกพิมพ์ลายที่บริเวณส่วนปลาย เพื่อสะดวกต่อการใช้หมุนวัด เพื่อให้ปลายของแกนวัดเข้าใกล้ชิ้นงานให้มากที่สุด ต่อจากนั้นจึงหมุนที่หัวหมุนกระทบเลื่อน บริเวณปลายด้ามที่ไม่ได้พิมพ์ลายของปลอกหมุนวัด จะทำให้ลายเอียง (หลบมุม) เพื่อสร้างขีดสเกล

2.7.2.3 สเกลที่ปลอกหมุนวัด (Thimble Scale) เปรียบเสมือนสเกลช่วยของ เวอร์เนียร์-คาลิเปอร์ แบ่งออกเป็น 50 ช่องสำหรับไมโครมิเตอร์ระบบเมตริก และแบ่งออกเป็น 25 ช่องสำหรับไมโครมิเตอร์ระบบอังกฤษ

2.7.2.4 สเกลที่ก้านปลอก (Barrel Scale) เปรียบเสมือนสเกลหลักของ เวอร์เนียร์คาลิ-เปอร์ สำหรับไมโครมิเตอร์ระบบอังกฤษ สเกลที่ก้านปลอกมีความยาว 1 นิ้ว ส่วนไมโครมิเตอร์ระบบเมตริก สเกลที่ก้านปลอกมีตวามยาวเท่ากับ 25 มม. โดยมีขีดสเกลที่บอกระยะทาง 0.5 มม. อยู่ใต้เส้นอ้างอิง (Index Line)

2.7.2.5 ก้านปลอก (Barrel or Sleeve) มีลักษณะเป็นปลอกรูปทรงกระบอก สวมติดกับโครงสามารถปรับให้ขยับไปมาได้ ใช้เป็นตัวยึกเกลียวและสร้างสเกลที่ก้านปลอก

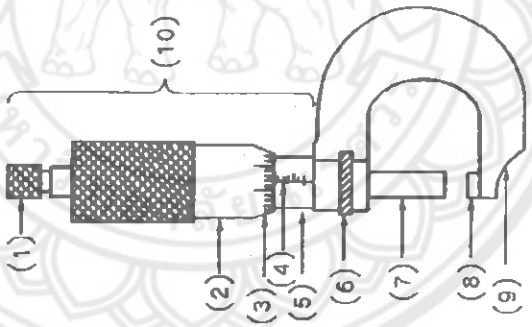
2.7.2.6 แหวนล็อค (Clamp Ring) มีไว้สำหรับยึดเพื่อไม่ให้แกนวัดเคลื่อนที่ มี 2 ลักษณะ คือล็อคแบบวงแหวนและล็อคแบบกระเดื่อง

2.7.2.7 แกนวัด (Spindle) เป็นชิ้นส่วนเดียวกับสลักเกลียวที่อยู่ด้านใน ผ่านการเจียระไนอย่างดี บริเวณส่วนปลายที่ใช้เป็นจุดสุดท้ายทำจากเหล็กคาร์ไบด์ (Carbide Tip) เพื่อป้องกันการสึกหรอจากการสัมผัสชิ้นงาน

2.7.2.8 แกนรับ (Anvil) ทำหน้าที่เป็นจุดเริ่มต้น ผ่านการเจียระไน และติดเหล็กคาร์ไบด์เช่นเดียวกับแกนวัด

2.7.2.9 โครง (Farme) มีหลากหลายขนาด ขึ้นอยู่กับขนาดความโตของชิ้นงานที่จะใช้วัด ถ้าเป็นไมโครมิเตอร์ระบบเมตริก ขนาดความโตจะเริ่มจาก 0 ถึง 25 มิลลิเมตร, 25 ถึง 50 มิลลิเมตร ฯลฯ โดยจะเพิ่มขนาดครั้งละ 25 มิลลิเมตร ส่วนไมโครมิเตอร์ระบบอังกฤษเริ่มจาก 0 ถึง 1 นิ้ว, 1 ถึง 2 นิ้ว ฯลฯ โดยเพิ่มขนาดครั้งละ 1 นิ้ว เพื่อสำหรับไมโครมิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่จะเจอะรูที่โครงเพื่อลดน้ำหนัก

2.7.2.10 ชิ้นส่วนหัว (Head) เป็นส่วนที่เชื่อมติดกับโครง ภายในชิ้นส่วนหัวจะมีแกนเกลียวและแหวนเกลียว (compression nut) สำหรับปรับความฝืดของปลอกหมุนวัด



รูปที่ 2.6 รูปภาพแสดงจุดต่างๆ ของไมโครมิเตอร์วัดนอก

ที่มา : อำพัน เมธนาวิน (2554)

2.7.3 หลักการแบ่งสเกลค่าความละเอียด

เมื่อหมุนเกลียวไป 1 รอบจะ = 1 ระยะพิตช์เกลียว (0.50 มิลลิเมตร) ที่ปลอกหมุนวัดแบ่งออกเป็น 50 ขีด การเคลื่อนที่ของเกลียว ถ้าหมุนเกลียว 1 รอบ (50 ขีด) เกลียวเคลื่อนที่จะ = 0.50 มิลลิเมตร ถ้าหมุนเกลียว 1/50 รอบ (1 ขีด) เกลียวเคลื่อนที่ = 0.50/50 = 0.01 มิลลิเมตร การอ่านค่าวัดจากไมโครมิเตอร์ อ่านค่าจากขีดสเกล 1.00 มิลลิเมตร = 5.00 มิลลิเมตร อ่านค่าจากขีดสเกล 0.5 มิลลิเมตร = 0.50 มิลลิเมตร อ่านค่าจากขีดสเกล 0.01 มิลลิเมตร = 0.19 มิลลิเมตร อ่านค่ารวม

ได้เท่ากับ 5.69 มิลลิเมตร อ่านค่าจากขีดสเกล 1.0 มิลลิเมตร = 33.00 มิลลิเมตร อ่านค่าได้จากขีดสเกล 0.5 มิลลิเมตร = 0.50 มิลลิเมตร อ่านค่าได้จากขีดสเกล 0.01 มิลลิเมตร = 0.00 มิลลิเมตร ซึ่งจะ อ่านค่ารวมได้เท่ากับ = 33.50 มิลลิเมตร

2.8 เครื่องมือวัด COORDINATE MEASURING MACHINE

เป็นเครื่องมือวัดที่แบ่งระดับของการพัฒนา Software ออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งทั้งนี้ยกเว้นในระดับที่ 1 ซึ่งในแต่ละระดับของการแบ่งขั้นการพัฒนานี้ การปฏิบัติงานเป้าหมายในแต่ละขั้น จะเป็นการปฏิบัติที่ทำให้เป็นการข้ามไปยัง CMM ขั้นถัดไปได้ ซึ่งองค์กรย่อมจะต้องมีเป้าหมายที่จะเริ่มเติมเต็มระดับของ CMM ในองค์กรของตน และนั่นเป็นสิ่งที่ช่วยสร้างระเบียบวินัยของการพัฒนา Software อย่างเป็นลำดับขั้นต่อไปได้ (Capability Maturity Model (CMM), 2004)

ตารางที่ 2.4 ตารางบอกระดับการพัฒนา

ขั้นที่	เป้าหมาย	กระบวนการ (Key process Area)
5 Optimizing	การพัฒนาระบบได้อย่างต่อเนื่อง	การป้องกันจุดที่จะสร้างความเสียหาย มาตรการณ์รองรับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี มาตรการรองรับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ
4 Manage	รับรองผลงานได้	มีการรับรองคุณภาพของวิธีการทำงาน มีการรับรองคุณภาพของ Software
3 Defined	มีมาตรฐานการทำงาน	มีเป้าหมายที่ชัดเจนระบุกระบวนการได้ชัดเจนการฝึกงาน (Training) มี Software จัดการระบบมี Software เพื่อรับการพัฒนาโปรแกรมการประสานงานชัดเจนมีการทบทวนการทำงาน
2 Repeatable	มีวินัยบนระบบ	กระบวนการควบคุมการเก็บข้อมูลความต้องการมีการวางแผนโครงการมีการตรวจสอบและติดตามโครงการมีการจัดการการจ้างเขียนจากภายนอกมีการทดสอบงานมีการควบคุมการกำหนดคุณสมบัติ
1 Initial	การเดินระบบแบบสับสนอลหม่านทั่วไป	

ที่มา : Capability Maturity Model (2004)

2.8.1 ระดับที่ 1

เป็นระดับที่อธิบายถึงขั้นตอนของความเป็นจริงทั่วไป การสร้างโปรแกรมเป็นไปอย่างไม่มีจุดประสงค์ ไม่มีการระบุถึงวิธีการพัฒนา หรือ คุณภาพงานที่ออกมาได้เป็นระดับที่ต่ำ

2.8.2 ระดับที่ 2

เป็นขั้นที่ระบบจะถูกพัฒนาเพื่อหลีกหนีจากระบบในขั้นแรกโดยสิ้นเชิง มีการวางแผนว่าระบบคือ กระบวนการทำงานจะเป็นเช่นไร และดำเนินการตามนั้น กระบวนการหลักของเครื่อง CMM ระดับที่ 2 คือ สามารถสร้างระบบที่สามารถทำซ้ำได้อีกครั้งโดยที่ไม่มีความสับสน ซึ่งแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันไปบ้าง เพราะวิธีการทำโครงการต่างๆ ที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งเป็นวิธีการที่จะจัดระเบียบให้กับตัวองค์กร และไม่ได้มีการขึ้นอยู่กับตัวบุคคลใดบุคคลหนึ่งเหมือนการจัดการในสมัยก่อนๆ

2.8.3 ระดับที่ 3

กระบวนการขององค์กรมีมาตรฐานอยู่แล้ว แต่จะเพิ่มไปในทุกๆ ส่วนของหลายๆแผนกขององค์กรจนทั่วถึงกัน กระบวนการพัฒนาและวิธีการจัดการจะต้องถูกผนวกเข้าไป ณ ขั้นตอนนี้ และในบางกรณี หากกลุ่มผู้พัฒนาจะต้องใช้วิธีการพัฒนาในรูปแบบที่นอกเหนือจากวิธีการพื้นฐาน กระบวนการจะถูกออกแบบมาในรูปแบบของโครงร่างของข้อมูลนำเสนอเสียก่อน

2.8.4 ระดับที่ 4

เป็นระดับการจัดการที่สามารถเข้าถึงการจัดการในระดับการพัฒนา Software ได้ ในขั้นนี้ จะมีการรวบรวมข้อมูลจากทุกๆ ส่วนของการพัฒนางานจะถูกจัดเก็บเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ เพื่อใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำงานให้ดียิ่งขึ้นในทุกๆ ส่วนขององค์กร การจัดการวิธีการทำงานในเชิงคุณภาพ จะสามารถพิจารณาได้ว่า มีขั้นตอนการทำงานส่วนใด และช่วงไหนที่เข้ามาเปลี่ยนแปลงตัว Project และรวมไปถึง ระบบการจัดการคุณภาพของ Software ที่จะเป็นระดับที่รับรองได้ว่า งานที่ทำออกมาจะมีคุณภาพเป็นที่รับประกันได้ และมีเสถียรภาพ

2.8.5 ระดับที่ 5

เป็นระดับที่ใช้ในการปรับคุณภาพขององค์กร ให้อยู่ในสถานะที่กะทัดรัด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด มีการพุ่งไปยังการปรับปรุงคุณภาพได้เรื่อยไป โดยไม่มีจุดสิ้นสุด และเป็นจุดที่มีการใช้กระบวนการป้องกันข้อผิดพลาดมาใช้ ซึ่งการป้องกันข้อผิดพลาด จะต้องใช้เทคโนโลยีทั้งหมดที่มีในองค์กรมาประยุกต์ใช้ และตัวระบบจะสามารถที่จะวิเคราะห์และสามารถบอกถึงความผิดพลาดได้โดยไม่กระทบถึงระบบการทำงานหลักในองค์กร และรวมไปถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงวิธีการ

ทำงานได้ง่ายขึ้นเพราะระบบงานเบื้องต้นมีเสถียรภาพมากพอ หรือแม้กระทั่งการตรวจพอข้อผิดพลาด ก็จะสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้แทบจะทันที

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤษฎา พรมอยู่, สมเพชร ทะริน และเนตรนภา ขันแข็ง (2550) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องแบนกล้วยตาก เพื่อช่วยเพิ่มกำลังการผลิตกล้วยตากให้สูงขึ้น เพื่อการนำออกไปจำหน่ายตามท้องตลาดได้อย่างรวดเร็ว โดยเครื่องแบนกล้วยตากมีขนาด 75 x 100 x 77 เซนติเมตร สามารถจะแบนกล้วยตากได้ 24 ลูกต่อครั้ง ในแต่ละครั้งใช้เวลา 42.50 วินาที หรือคิดเป็น 1 นาที จะสามารถจะแบนกล้วยตากได้ 33 ลูก ซึ่งจุดคุ้มทุนของเครื่องแบนกล้วยตากเมื่อกำหนดราคาขายอยู่ที่ 35 บาทต่อกิโลกรัม เพราะฉะนั้น จะต้องขายกล้วยตากจำนวน 807 กิโลกรัมต่อปี หรือ วันละ 6 กิโลกรัมต่อวัน จึงจะถึงจุดคุ้มทุน (กฤษฎา พรมอยู่, สมเพชร ทะริน และ เนตรนภา ขันแข็ง, 2550)

ดนุพล ขยันขาย และรุ่งโรจน์ ลัทธิสิทธิ์ (2550) ได้สร้างอุปกรณ์ยึดจับและเครื่องเหลาสำหรับผลิตใบลมกลับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น ผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว คุณภาพดีและลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากของเสีย โดยแบ่งงานออกเป็นสองอย่างคือ อุปกรณ์จับยึด (ฟิกเจอร์) และเครื่องเหลา ซึ่งอุปกรณ์จับยึดก่อนกระบวนการตัดมีขนาด 2 x 6 นิ้ว จะทำงานโดยใช้หลักการลูกเบี้ยวแบบแผ่นเยื้องศูนย์ เพื่อสะดวกและรวดเร็วในการปฏิบัติงาน ในส่วนหลังกระบวนการตัดมีขนาด 15 x 6 นิ้ว ทำงานโดยมีร่องสำหรับไว้ใส่ใบลมกลับ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของใบลมกลับขณะทำการตัด และมีการใส่สเกลเพื่อต้องการความเที่ยงตรงของความยาวใบลมในส่วนของเครื่องเหลามีขนาด 15 x 15 นิ้ว ทำงานโดยอาศัยระบบมอเตอร์ 0.33 แรงม้า 220 โวลล์น้ำหนัก 3.8 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุดที่แนะนำในการเหลาใบลมกลับ 2,620 รอบต่อนาที เพื่อทำให้ใบลมกลับมีความเรียบผิวที่เรียบที่สุด ซึ่งมีความสามารถของการลดของเสียได้ถึง ร้อยละ 96.13 และจะถึงจุดคุ้มทุนที่การขาย 8,334 ใบต่อปีหรือผลิตวันละ 28 ใบภายนะยะเวลา 1 ปี (ดนุพล ขยันขาย และรุ่งโรจน์ ลัทธิสิทธิ์, 2550)

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลรวมต่างๆ

ศึกษาชิ้นงานที่ต้องการวัด หรือตรวจสอบจากบริษัทผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์ของจักรยานยนต์ ศึกษาการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์และเครื่องมือวัดและตรวจสอบแบบค่าคงที่ เพื่อนำไปวิเคราะห์การออกแบบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น

3.2 ออกแบบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น

ทำการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือวัดและตรวจสอบแบบค่าคงที่โดยมีข้อกำหนดเกี่ยวกับการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์

3.3 สร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น

ทำการสร้างชิ้นส่วนย่อยตามการออกแบบที่ได้กำหนดไว้ และทำการประกอบชิ้นส่วนย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันตามแบบที่กำหนด

3.4 ทดสอบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น

3.4.1 เป็นขั้นตอนการทดสอบผลงาน โดยนำเครื่องมือมาตรวจสอบชิ้นงานที่เสร็จแล้วมาทดสอบเพื่อใช้งานจริง

3.4.2 เก็บข้อมูลทั้งหมดเพื่อทำการวิเคราะห์

3.5 แก้ไขและปรับปรุงเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่น

ทำการวิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดสอบจากชิ้นงานเพื่อนำมาปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

3.6 สรุปและจัดทำรูปเล่ม

นำผลทดสอบและการวิเคราะห์หลังจากที่แก้ไขแล้วมาสรุปและจัดทำรูปเล่มพร้อมเสนอ

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาลักษณะเฉพาะชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ

4.2 ขั้นตอนการออกแบบ

ออกแบบเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานแบบยืดหยุ่นเพื่อให้สามารถตรวจสอบชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบและสามารถใช้ตรวจสอบชนิดงานในลักษะที่ใกล้เคียงกันได้ โดยคำนึงถึงระยะต่างๆ ของฝาสูบรถจักรยานยนต์รวมไปถึงการออกแบบชิ้นงานให้สามารถสามารถตรวจสอบชิ้นงานที่มีลักษณะเล็กหรือใหญ่กว่าชิ้นงานหลักด้วย ซึ่งได้มีการกำหนดขอบเขตของชิ้นงาน ดังนี้ ระยะที่เล็กที่สุด 31.5 มิลลิเมตร × 12.5 มิลลิเมตร และระยะที่กว้างที่สุด 113.5 มิลลิเมตร × 83.5 มิลลิเมตร รวมไปถึงการออกให้ชิ้นงานสามารถเพิ่มจุดตรวจตรวจสอบได้

การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างชิ้นงาน ทั้งนี้คำนึงความสะดวกในการจัดหาวัสดุที่หาซื้อง่ายตามท้องตลาด ราคาไม่แพง ง่ายต่อการดูแลรักษารวมไปถึงอุปกรณ์ที่รองรับค่าความคลาดเคลื่อนตามที่ต้องการด้วย ซึ่งมีการออกแบบดังนี้

4.2.1 ออกแบบฐานของเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงาน

ออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปทรงเลขาคณิตโดยออกแบบให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อให้มีความง่ายต่อการทำงาน การจัดเก็บ การดูแลรักษา และการเคลื่อนย้าย

4.2.2 ออกแบบรางเลื่อน

ออกแบบรางเลื่อนให้มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน X, Y โดยรางเป็นรูปตัว L เพื่อสามารถปรับระยะห่างในการตรวจสอบชิ้นงานในแต่ละประเภทได้

4.2.3 ออกแบบวิธีติดตั้งเสาเพื่อใช้ตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฝาสูบ

ในการออกแบบต้องคำนึงถึงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นปัจจัยหลัก ชิ้นงานต่างชนิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะต่างกัน ต้องออกแบบให้สามารถตรวจสอบระยะห่างและเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบในแบบต่างๆ ได้ จึงออกแบบเสาตรวจสอบให้มีเกลียวเพื่อถอดเปลี่ยนสำหรับตรวจสอบชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกันไปได้

4.3 ขั้นตอนการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์

จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาสร้างเครื่องมือให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานรวมไปถึงความสะดวกต่อการจัดหาและจัดซื้อวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ง่ายต่อการเก็บรักษาและราคาไม่แพง

4.3.1 วัสดุของฐานเครื่องมือตรวจสอบ

เลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาเป็นฐานโดยคำนึงถึงความแข็งแรง ทนทาน ราคาที่เหมาะสมโดยใช้เหล็กแผ่นขนาด 203.2 x 203.2 x 9.525 มิลลิเมตร

4.3.2 อุปกรณ์ใช้ทำรางเลื่อน

เลือกอุปกรณ์โดยคำนึงถึงความทนทาน ความเที่ยงตรงและน้ำหนักเบาเพราะน้ำหนักจะส่งผลโดยตรงต่อการเลื่อนเปลี่ยนระยะให้ง่ายขึ้น

4.3.2.1 เหล็กฉาก ขนาด 3.175 มิลลิเมตร

4.3.2.2 เหล็กฉาก ขนาด 1.5875 มิลลิเมตร

4.3.2.3 ไมโครมิเตอร์ ค่าความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

4.3.2.4 เหล็กเส้น ขนาด 3 มิลลิเมตร

4.3.2.5 กิ๊ฟลอก

4.3.3 อุปกรณ์สำหรับนำเสามาติดเพื่อใช้ตรวจสอบระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง

4.3.3.1 เหล็กเหนียวสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 มิลลิเมตร

4.3.3.2 กิ๊ฟลอก

4.3.4 อุปกรณ์สำหรับยึดติดระหว่างเสาตรวจสอบกับปลายไมโครมิเตอร์

4.3.4.1 เหล็กเหนียวสี่เหลี่ยมขนาด 12 มิลลิเมตร

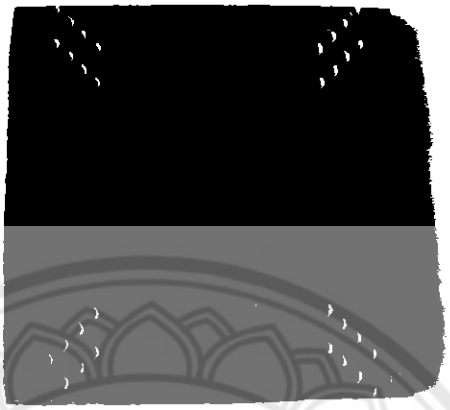
4.3.4.2 น็อตขนาด 3 มิลลิเมตร

4.4 สร้างเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงาน

ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน

4.4.1 ฐานของชิ้นงาน

ตัดตามขนาดและตกแต่งเพื่อให้เป็นตามที่ออกแบบไว้ ลากเส้นทแยงมุมเพื่อหาจุดศูนย์กลาง กำหนดจุดที่ต้องการทำเกลียวเพื่อใช้ประกอบอุปกรณ์ที่ใช้เคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y ดังรูป

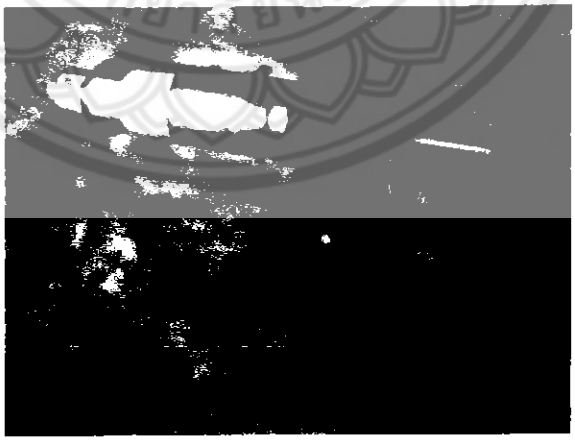


รูปที่ 4.1 ฐานของชิ้นงาน

4.4.2 รางเลื่อน

นำไมโครมิเตอร์ของแต่ละคู่มาประกอบข้าด้วยกันในแกน X, Y เพื่อสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกน X, Y ได้

4.4.2.1 เซอะร่องที่ปลายไมโครมิเตอร์เพื่อให้สามารถใส่กิ๊ฟลอกแล้วนำมาประกอบติดกับเหล็กฉาก หลังจากนั้นนำเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร มาเชื่อมติดเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน X ทำเหมือนกันทั้ง 4 ชิ้น ดังรูป



รูปที่ 4.2 รางเลื่อน X

4.4.2.2 เซอะร่องที่ปลายไมโครมิเตอร์เพื่อให้สามารถใส่กิ๊ฟลอกได้แล้วจึงนำไปประกอบติดกับเหล็กฉาก นำเหล็กเส้นกวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร เพื่อให้เคลื่อนที่ได้ในแกน Y ทำเหมือนกันทั้ง 4 ชิ้น ดังรูป

รูปที่ 4.3 รางเลื่อน Y

4.4.2.3 นำเครื่องมือในแนวแกน X และแกน Y มาประกอบติดกันหลังจากนั้นนำไปติดตั้งที่ฐานของเครื่องมือตรวจสอบโดยใช้น็อต 6 มิลลิเมตร ในการยึดติด ดังรูป

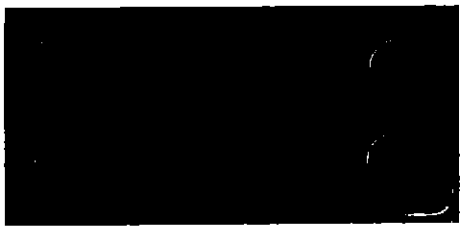
รูปที่ 4.4 ประกอบฐานและรางเลื่อน X, Y

4.4.3 เสาที่มีไว้ติดตั้งแท่งเกจที่ใช้ตรวจสอบ

นำเหล็กเหนียวสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 มิลลิเมตร มาเจาะรูเพื่อทำการต๊าปเกลียวขนาด 6 มิลลิเมตร เพื่อมีไว้สำหรับนำแท่งเกจมาติดตั้งหลังจากนั้นนำเสาไปติดที่ปลายของไมโครมิเตอร์ที่แนวแกน X

4.4.4 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้

นำสเต็นเลดมาวัดให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้แล้วเจาะรูขนาด 85 มิลลิเมตร ดังรูป



รูปที่ 4.5 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้

4.4.5 ตัวยึดระหว่างเสาตรวจสอบกับปลายไมโครมิเตอร์ให้ติดกัน

นำเหล็กขนาด 12 มิลลิเมตร มาเจาะรูตามที่ออกแบบไว้

4.4.6 ประกอบ

นำชิ้นส่วนต่างมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูป

รูปที่ 4.6 ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์

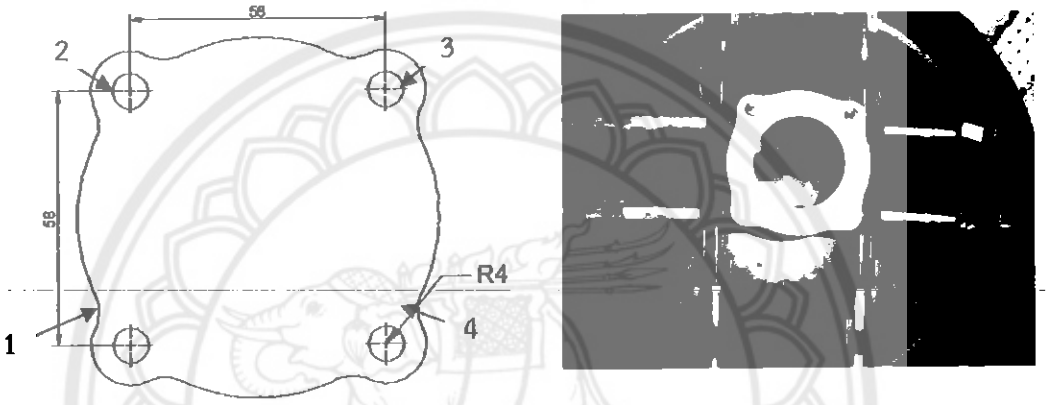
4.5 ขั้นตอนการทดลอง

4.5.1 ชิ้นงานที่ 1 ฝาสูบ ฮอนด้าตรีม

ชิ้นงานที่ใช้ตรวจสอบเครื่องมือวัดเป็นปะเก็นฝาสูบที่มีขนาดเดียวกับฝาสูบเนื่องจากข้อจำกัดในการจัดหาฝาสูบที่นำมาใช้ในการทดสอบจัดเป็นปะเก็นฝาสูบที่มีขนาดเดียวกับฝาสูบเนื่องจากข้อจำกัดในการจัดหาฝาสูบที่นำมาใช้ในการทดลอง

ลักษณะของชิ้นงานมีรูที่ต้องตรวจสอบทั้งหมด 4 รูและมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ในแต่ละจุดดังนี้ จุดที่ 1, 2, 3, 4 มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และในแต่ละจุดมีระยะห่างระหว่าง

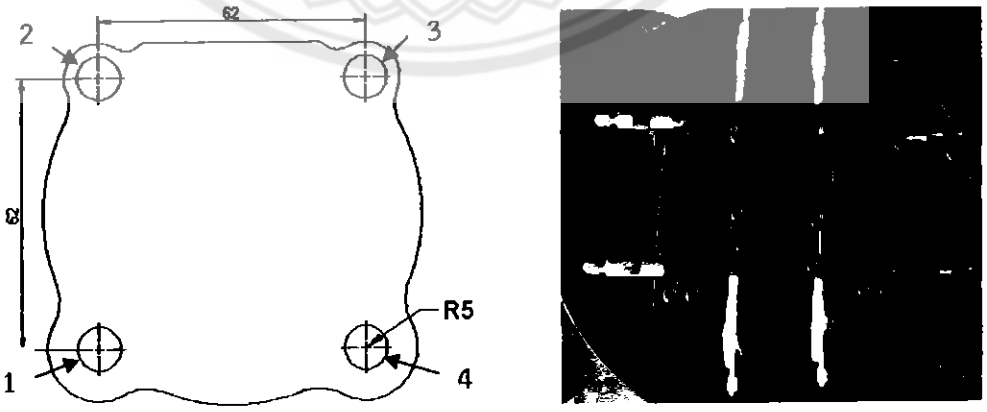
เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละจุด ดังนี้ จุดที่ 1 ถึง 2 จุดที่ 2 ถึง 3 จุดที่ 3 ถึง 4 และจุดที่ 4 ถึง 1 มีระยะห่างของเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร เท่าๆกันเป็นลักษณะรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำการปรับระยะเครื่องมือตรวจสอบขนาดของชิ้นงานแบบยืดหยุ่นโดยเริ่มจากการหมุนที่หัวหมุนกระทบเลื่อนของไมโครมิเตอร์ให้ได้ระยะตามที่ต้องการ โดยเริ่มจากการตั้งระยะห่างจากการหมุนหัวหมุนกระทบเลื่อนในแกน X ทั้ง 4 จุด และแกน Y ทั้ง 4 จุด ตามลำดับ เมื่อปรับระยะของเครื่องมือตรวจสอบให้ได้มีความใกล้เคียงตามระยะที่ต้องการตรวจสอบหลังจากนั้นนำชิ้นงานมาสวมลงในเสาตรวจสอบทั้งสี่เสาเพื่อตรวจสอบชิ้นงานว่าได้ขนาดตามที่ต้องการหรือไม่ แล้วทำการล็อกไมโครมิเตอร์ทุกตัวเพื่อป้องกันการขยับตำแหน่งของไมโครมิเตอร์ หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาตรวจสอบ ดังรูป



รูปที่ 4.7 ตรวจสอบฝาสูบ ฮอนด้าดรีม

4.5.2 ชิ้นงานที่ 2 ฝาสูบ ยามาฮ่ามีโอ

ตรวจสอบขนาดของชิ้นต่างๆ ที่ต้องการตรวจสอบแล้วปฏิบัติตามขั้นตอนแบบเดียวกับชิ้นงานที่ 1 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละจุดมีขนาดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างแต่ละจุดมีค่าเท่ากับ 62 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.8 ตรวจสอบฝาสูบ ยามาฮ่ามีโอ

4.6 วิเคราะห์ต้นทุน

ไมโครมิเตอร์ ราคาตัวละ 450 บาท 8 ตัว	ราคา 3600 บาท
เหล็กแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20.32 × 20.32 × 0.9525 เซนติเมตร	ราคา 85 บาท
เหล็กเหนียวสี่เหลี่ยมขนาด 10 × 10 × 60 มิลลิเมตร ราคา 4 บาท จำนวน 4 ตัว	ราคา 16 บาท
เหล็กฉากขนาด 40 × 40 × 3.175 มิลลิเมตร ราคา 11 บาท จำนวน 4 ชิ้น	ราคา 44 บาท
เหล็กฉากขนาด 25 × 25 × 1.5875 มิลลิเมตร ราคา 9 บาท จำนวน 4 ชิ้น	ราคา 36 บาท
กิ๊ฟลอก ราคาตัวละ 10 บาท จำนวน 8 ตัว	ราคา 80 บาท
น็อตหกเหลี่ยมขนาดเกลียว 6 มิลลิเมตร ราคาตัวละ 10 บาท จำนวน 8 ตัว	ราคา 80 บาท
น็อตขนาด 3 มิลลิเมตร ราคาตัวละ 1 บาท จำนวน 20 ตัว	ราคา 20 บาท
เหล็กกล่องขนาด 13 × 10 × 1 มิลลิเมตร ราคา 2 บาท จำนวน 4 ชิ้น	ราคา 8 บาท
น็อตเบอร์ 10 ราคา 5 บาท จำนวน 8 ตัว	ราคา 40 บาท
เหล็กหกเหลี่ยม ขนาด 10 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร ราคา 10 บาท จำนวน 4 ชิ้น	ราคา 40 บาท
แผ่นสแตนเลส ขนาด 150 × 150 × 1.5875 มิลลิเมตร	ราคา 320 บาท
ค่าต๊าบเกลียว 6 มิลลิเมตร ราคารูละ 25 บาท จำนวน 32 รู	ราคา 800 บาท
ค่าแรงในการทำงาน	ราคา 400 บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการสร้างเครื่องมือครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ C = F + V

= 4369 + 1200

= 5569 บาท

4.6.1 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน

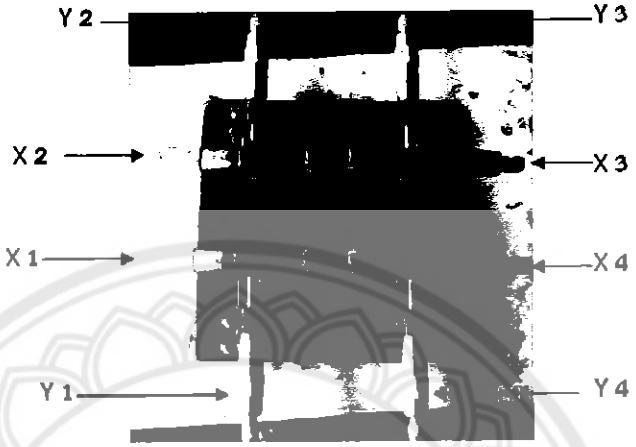
ราคาของการสั่งทำเครื่องมือที่มีค่าความละเอียดและขนาดของพื้นที่ในการตรวจสอบที่คล้ายคลึงกันจะมีราคาในการสั่งทำต่อชิ้นงานหนึ่งชนิดมีราคาอยู่ที่ 16000 ถึง 20000 บาท ซึ่งในกรณีของชิ้นงานนี้มีราคาในการสั่งทำเครื่องมืออยู่ที่ ราคา 16500 บาท

สรุป ต้นทุนรวมของการผลิตเครื่องมือ	5569 บาท
ต้นทุนการสั่งผลิตเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานของ ฮอนด้าดรีม อยู่ที่ราคา	16500 บาท
ต้นทุนการสั่งผลิตเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานของ ยามาฮ่ามีโอ อยู่ที่ราคา	16500 บาท

ดังนั้น เครื่องมือที่สร้างขึ้นมาถูกกว่า ร้อยละ 83.124

4.7 ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ

ตรวจสอบชิ้นงานโดยนำชิ้นงานไปตรวจสอบกับเครื่อง COORDINATE MEASURING MACHINE (CMM) รุ่น Moving Bridge Type เพื่อต้องการหาค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานว่าชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนเท่าไหร่โดยใช้วิธีการตรวจสอบทีละคู่ในระยะต่างๆ ดังที่แสดงในตารางด้านล่าง



รูปที่ 4.9 แสดงลำดับการตรวจความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 1

ระยะ (มม.)	แนวแกน	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
5	X	5.009	5.010	5.008	5.009	5.009	0.90
	Y	5.008	5.010	5.009	5.010	5.009	0.93
10	X	10.009	10.007	10.010	10.009	10.009	0.88
	Y	1.010	1.009	1.009	1.008	1.009	0.88
15	X	15.008	15.009	15.007	15.009	15.008	0.83
	Y	15.009	15.007	15.008	15.009	15.008	0.83
20	X	20.009	20.010	20.008	20.010	20.009	0.93
	Y	20.010	20.009	20.008	20.009	20.009	0.90

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 2

ระยะ (มม.)	แนวแกน	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
5	X	5.008	5.011	5.009	5.009	5.009	0.93
	Y	5.009	5.010	5.008	5.010	5.009	0.93
1	X	10.008	10.009	10.010	10.009	10.009	0.90
	Y	10.010	10.009	10.010	10.008	10.009	0.93
15	X	15.009	15.008	15.008	15.010	15.009	0.88
	Y	15.08	15.009	15.008	15.010	15.009	0.88
20	X	20.008	20.009	20.008	20.009	20.009	0.90
	Y	20.009	20.008	20.009	20.010	20.009	0.85

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 3

ระยะ (มม.)	แนวแกน	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
5	X	5.010	5.009	5.008	.0508	5.009	0.88
	Y	5.009	5.008	5.009	5.010	5.009	0.90
10	X	10.008	10.009	10.010	10.009	10.009	0.90
	Y	10.008	10.009	10.009	10.010	10.009	0.90
15	X	15.008	15.010	15.009	15.008	15.009	0.90
	Y	15.010	15.009	15.008	15.007	15.009	0.85
20	X	20.009	20.007	20.008	20.011	20.009	0.88
	Y	20.008	20.009	20.008	20.010	20.009	0.88

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือคู่ที่ 4

ระยะ (มม.)	แนวแกน	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
5	X	5.011	5.009	5.008	5.008	5.009	0.90
	Y	5.010	5.009	5.009	5.010	5.010	0.95
10	X	10.009	10.010	10.008	10.009	10.009	0.90
	Y	10.009	10.010	10.008	10.008	10.009	0.88
15	X	15.008	15.009	15.008	15.010	15.009	0.88
	Y	15.009	15.008	15.010	15.008	15.009	0.88
20	X	20.007	20.010	20.008	20.009	20.009	0.85
	Y	20.010	20.008	20.009	20.010	20.009	0.93

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
8	8.002	8.001	8.002	8.002	8.002	0.18
10	10.002	10.002	10.001	10.002	10.002	0.18

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 2

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
8	8.002	8.002	8.002	8.001	8.002	0.18
10	10.002	10.002	10.002	10.002	10.002	0.2

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 3

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
8	8.003	8.002	8.002	8.002	8.002	0.23
10	10.001	10.002	10.002	10.002	10.002	0.18

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเกจตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือคู่ที่ 4

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	ครั้งที่ 1 (มม.)	ครั้งที่ 2 (มม.)	ครั้งที่ 3 (มม.)	ครั้งที่ 4 (มม.)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ
8	8.001	8.001	8.001	8.002	8.001	0.13
10	10.001	10.001	10.002	10.001	10.001	0.13

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 ขนาดของชิ้นงาน ชนิดของชิ้นงาน ค่าความละเอียดและความคลาดเคลื่อน

สามารถตรวจสอบชิ้นงานได้ตั้งแต่ชิ้นงานที่มีขนาด 1.25 มิลลิเมตร × 3.15 มิลลิเมตร ถึงชิ้นงานขนาด 8.35 มิลลิเมตร × 11.35 มิลลิเมตร ในส่วนของขนาดของรูภายในของชิ้นงานสามารถตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร และ 1.0 มิลลิเมตร ค่าความละเอียดของเครื่องมือมีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจากความละเอียดของไมโครมิเตอร์และสามารถใช้ตรวจสอบฝาสูบขอรถจักรยานยนต์ประเภท ฮอนด้าตรีมและยามาฮ่ามีโอ

ในส่วนของรถจักรยานยนต์ประเภทฮอนด้าตรีม มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 0.97 และยามาฮ่ามีโอ มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ ร้อยละ 0.97 และสามารถลดต้นทุนในส่วนของการสั่งซื้อเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงานได้ ร้อยละ 83.124

5.1.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาและปรับปรุง

ควรใช้อุปกรณ์ที่มีค่าความละเอียดที่มากกว่า 0.01 มิลลิเมตร และสามารถปรับระยะห่างให้มากขึ้น เพื่อรองรับชิ้นงานที่ต้องการค่าความละเอียดที่มากขึ้น เช่น เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ที่มีค่าความละเอียดที่ 0.001 มิลลิเมตร เป็นต้น

ควรมีฐานของเครื่องมือที่มีขนาดใหญ่กว่านี้เพื่อรองรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และเพื่อรองรับการเพิ่มจุดในการตรวจสอบชิ้นงาน

บรรณานุกรม

กฤษฎา พรมอยู่, สมเพชร ทะริน และ เนตรนภา ขันแข็ง. (2550). **ออกแบบและสร้างเครื่องแบบกล้วยตาก.** ปริญญานิพนธ์ ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์. (2552). **การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและการจัดทำงบประมาณ.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชาญ ถนัดงาน และ วริทธิ์ อึ้งภากรณ์. (2545). **การออกแบบเครื่องจักรกล.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น.

ดนุพล ขยันขาย และ รุ่งโรจน์ ลัทธิสิทธิ์. (2550). อุปกรณ์ยึดจับและเครื่องเหลาสำหรับผลิตใบลมกลับ. ปริญญานิพนธ์ ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดร.อภิชัย ฤตวิรุฬห์. **การควบคุมคุณภาพ.** พิษณุโลก

วชิระ มีทอง. **การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์.** กรุงเทพ: กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

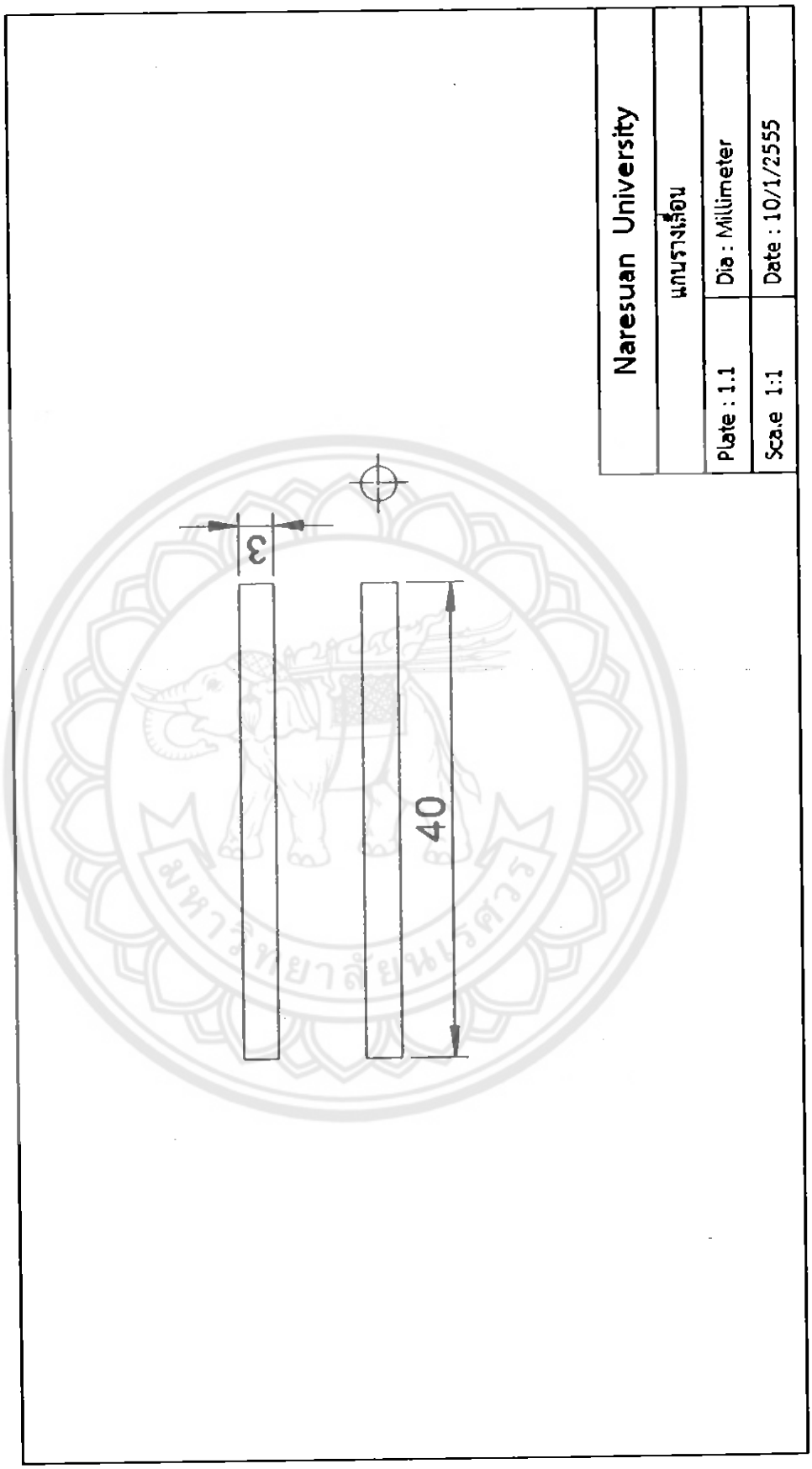
อำพัน เมธนาวิน. (2554). **การวัดละเอียด.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น,

อภิรัตน์ บางศิริ. (2551). AutoCAD 2009. ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : ซัคเซส มีเดีย.

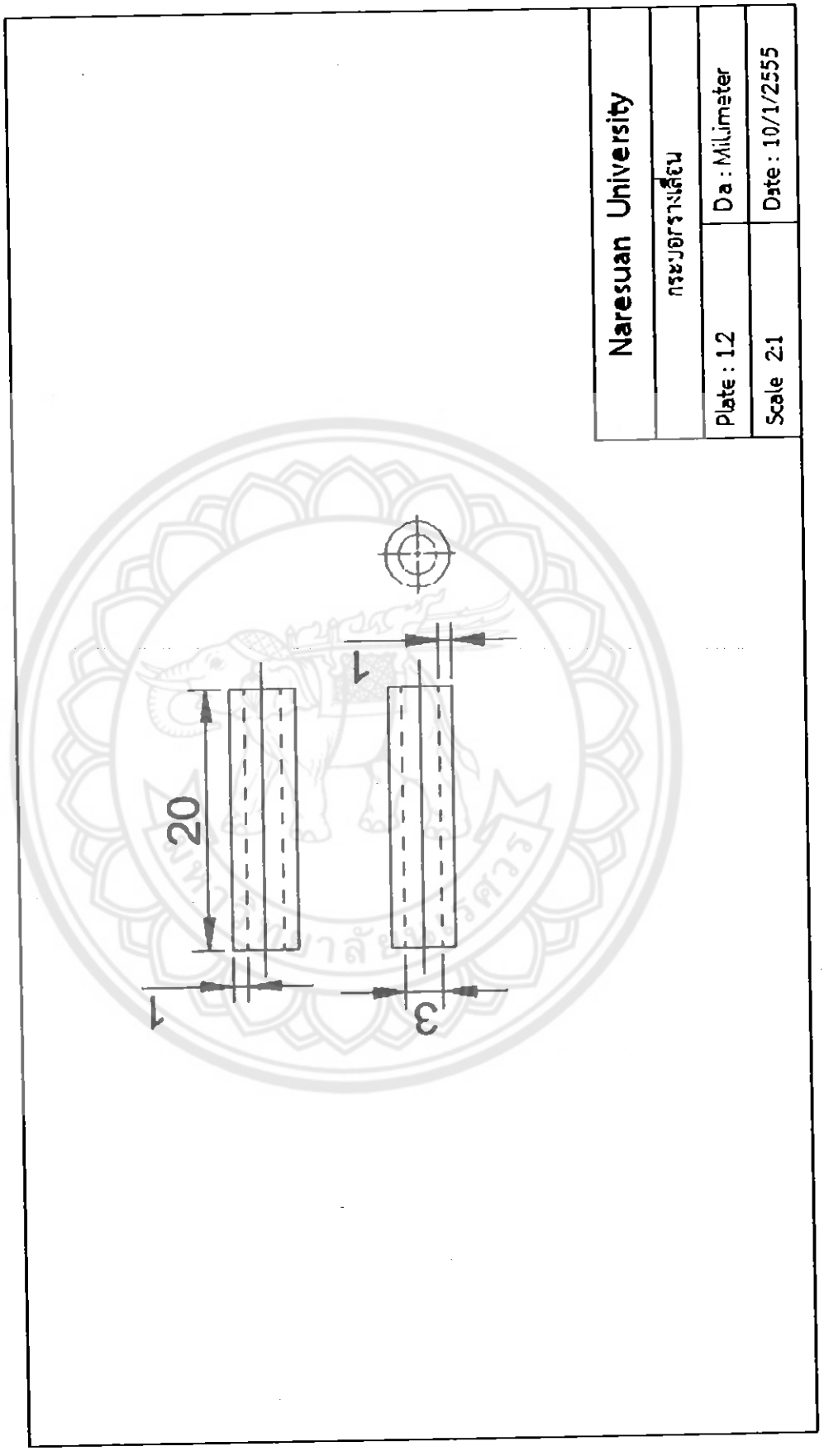
Capability Maturity Model (CMM). Parasoft Corporation Copyright 1993 - 2004, Print Febuary 4, 2004

ภาคผนวก

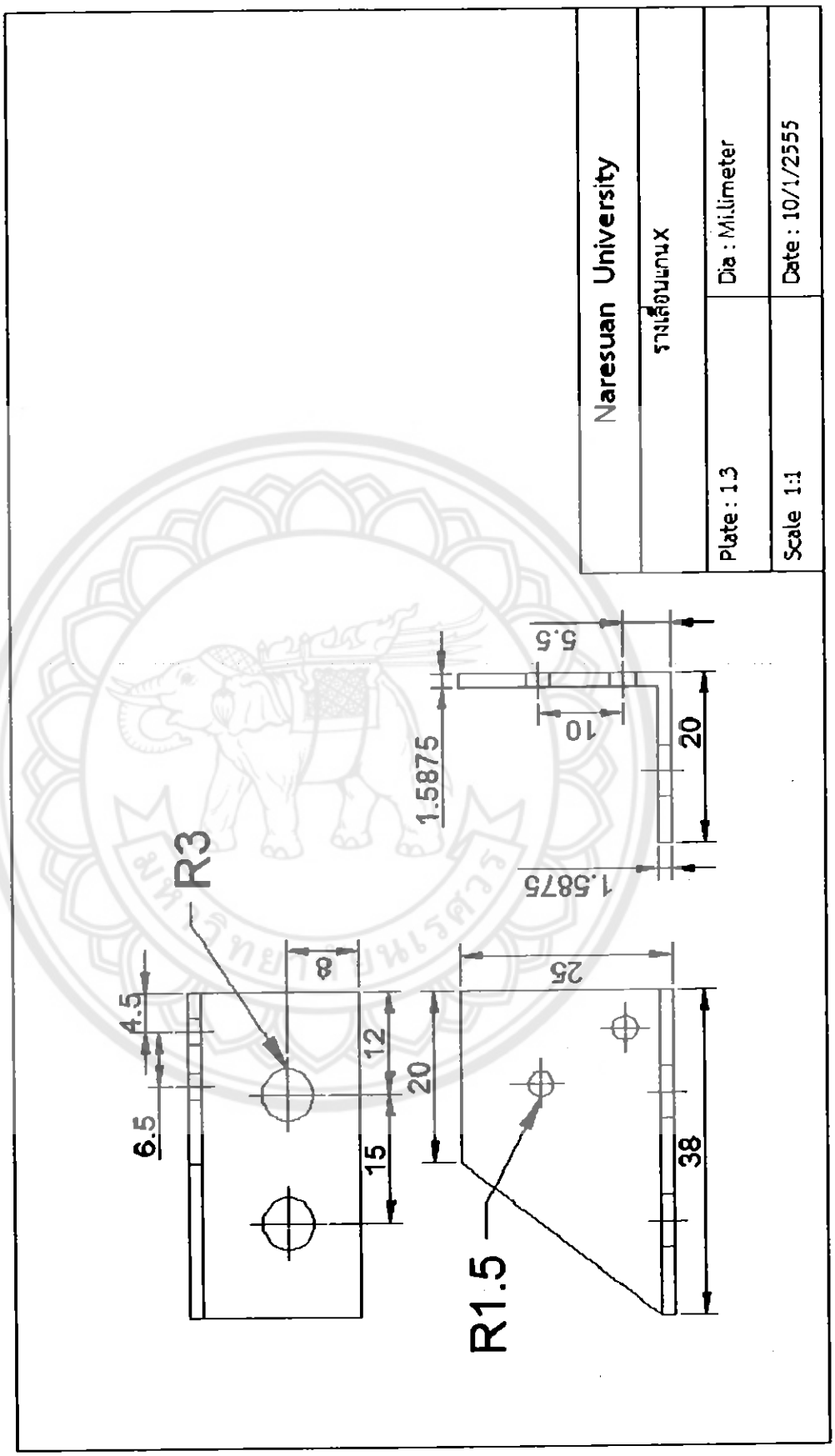
ภาคผนวก ก



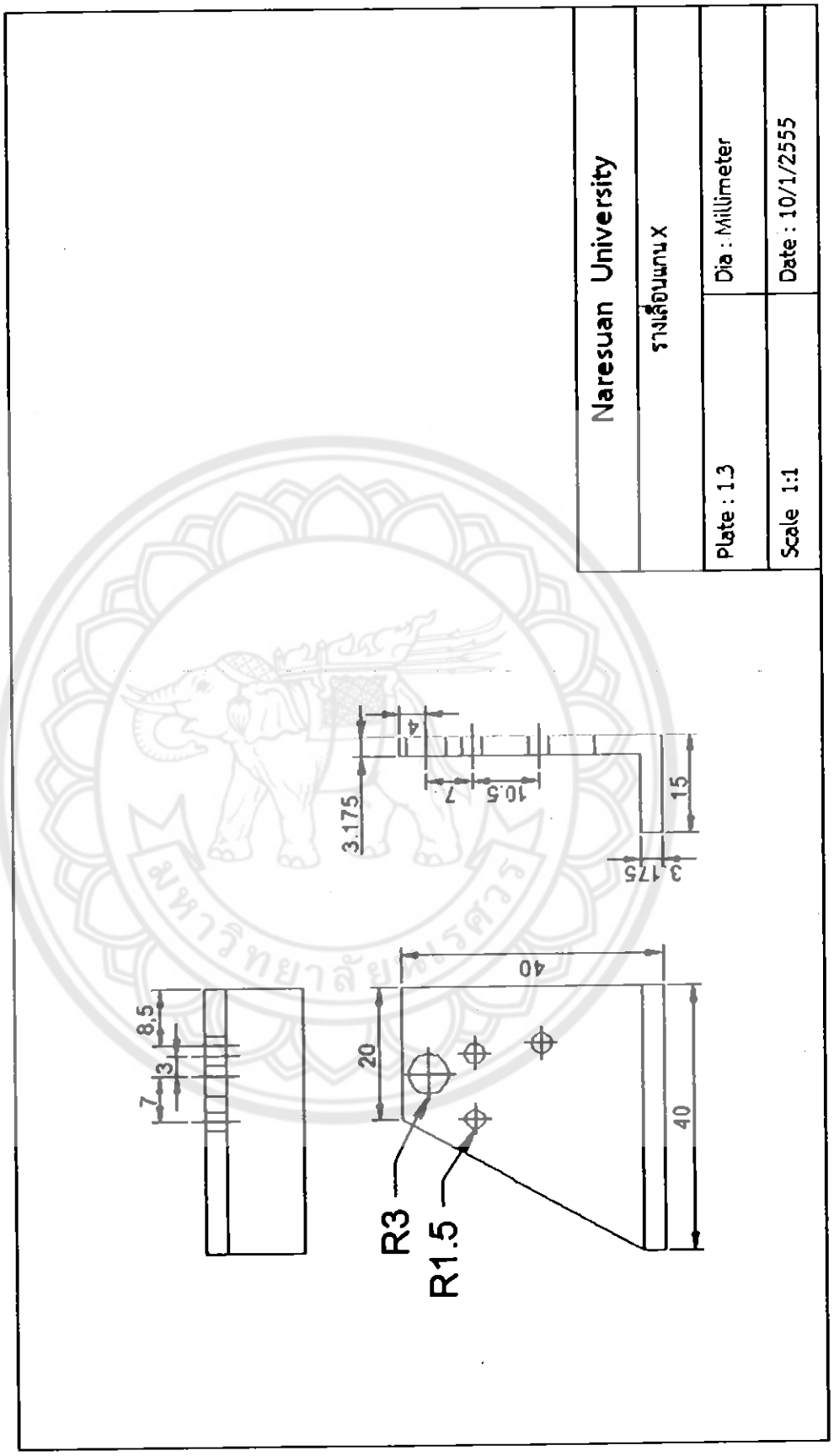
รูปที่ ก.1 แกนรางเลื่อน



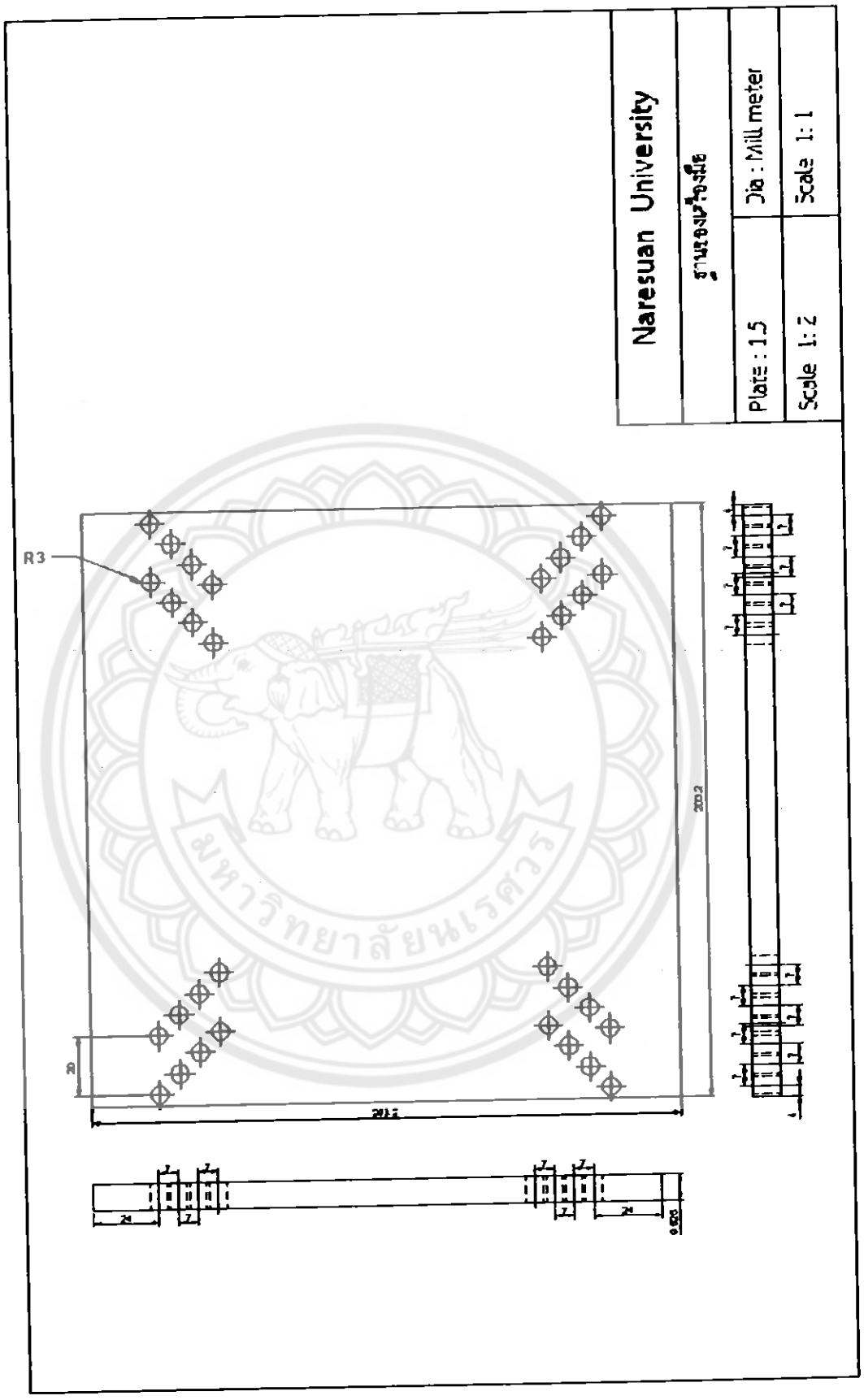
รูปที่ ก.2 กระบอกรางเลื่อน



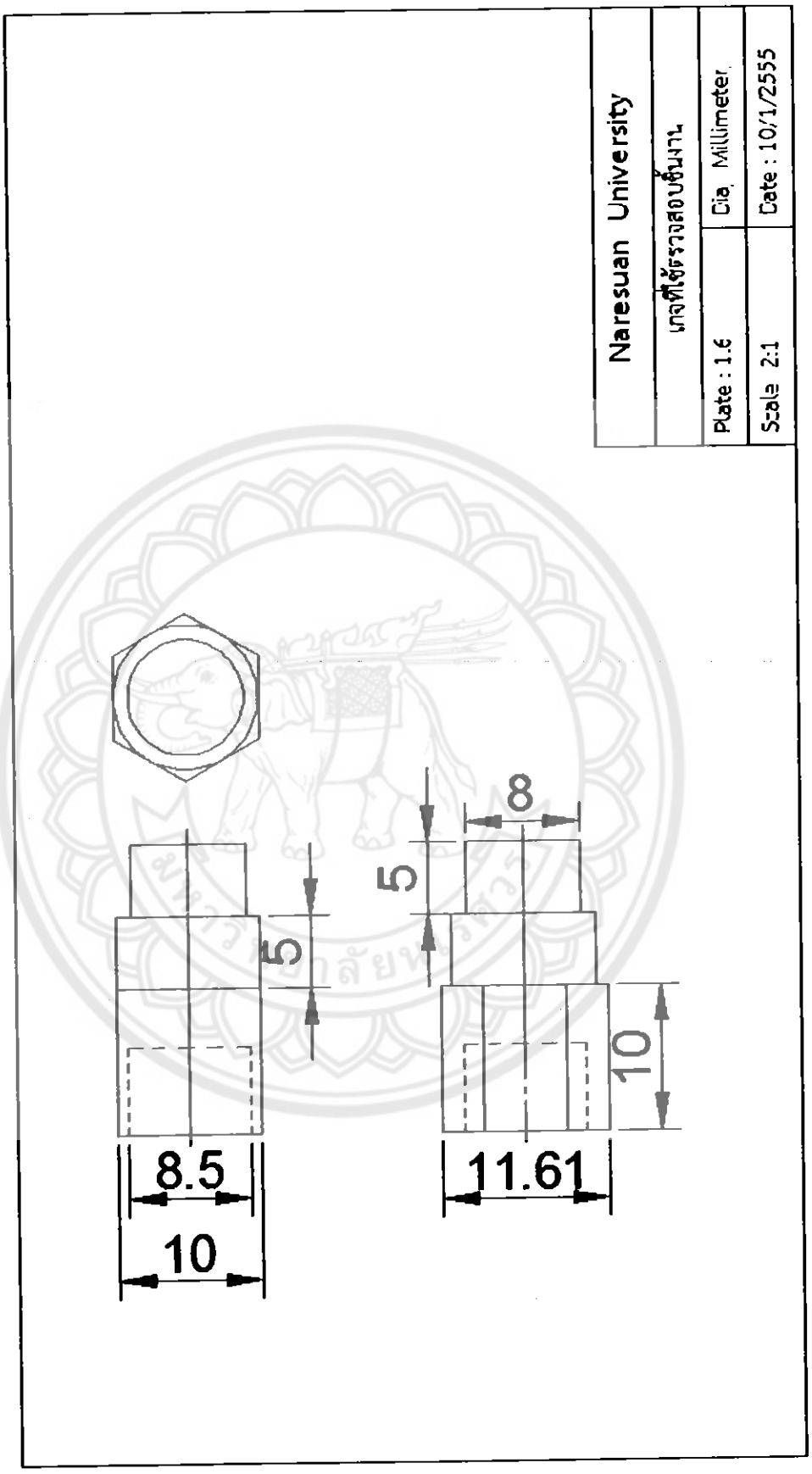
รูปที่ ก.3 รางเลื่อนแกน X



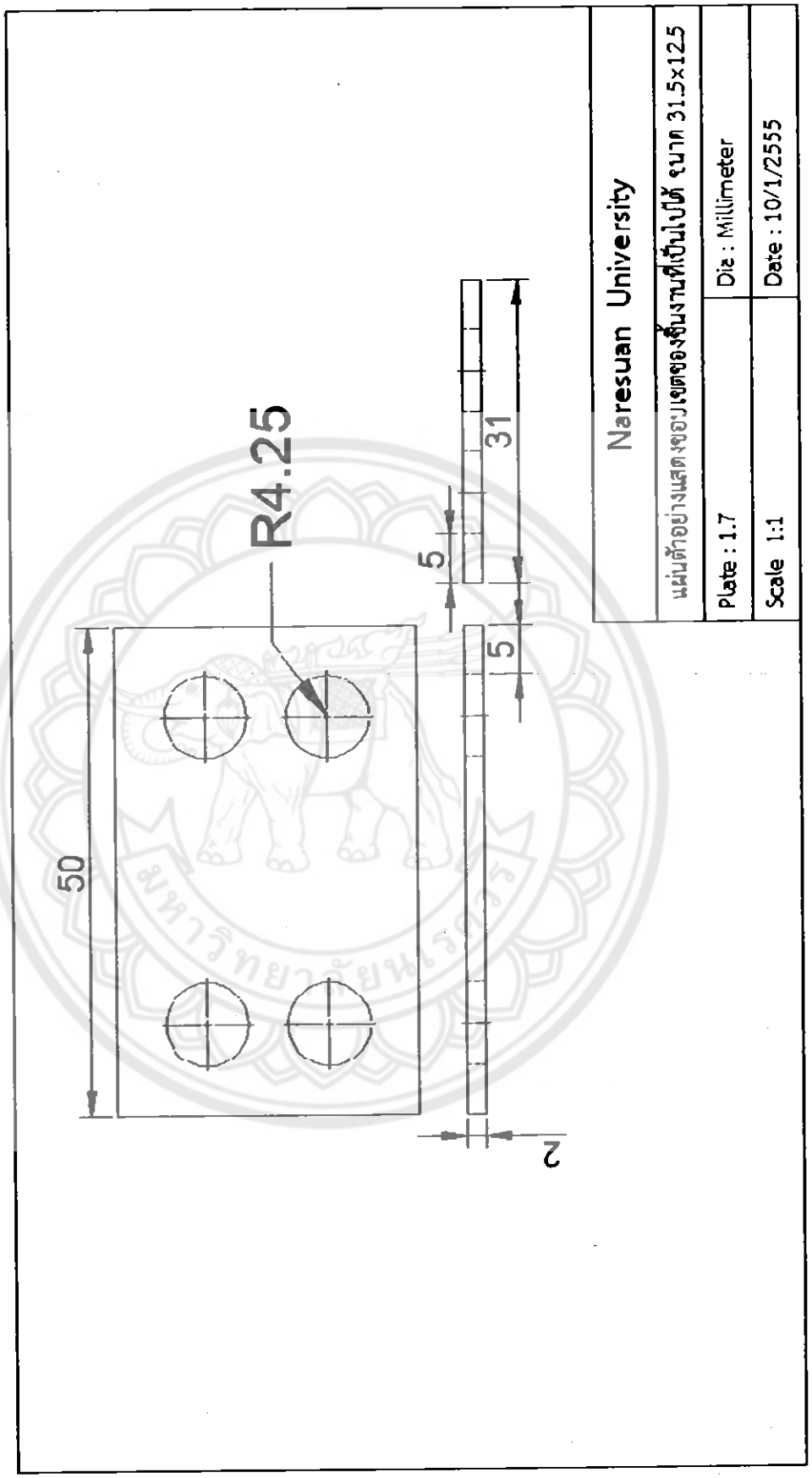
รูปที่ ก.4 รางเลื่อนแกน Y



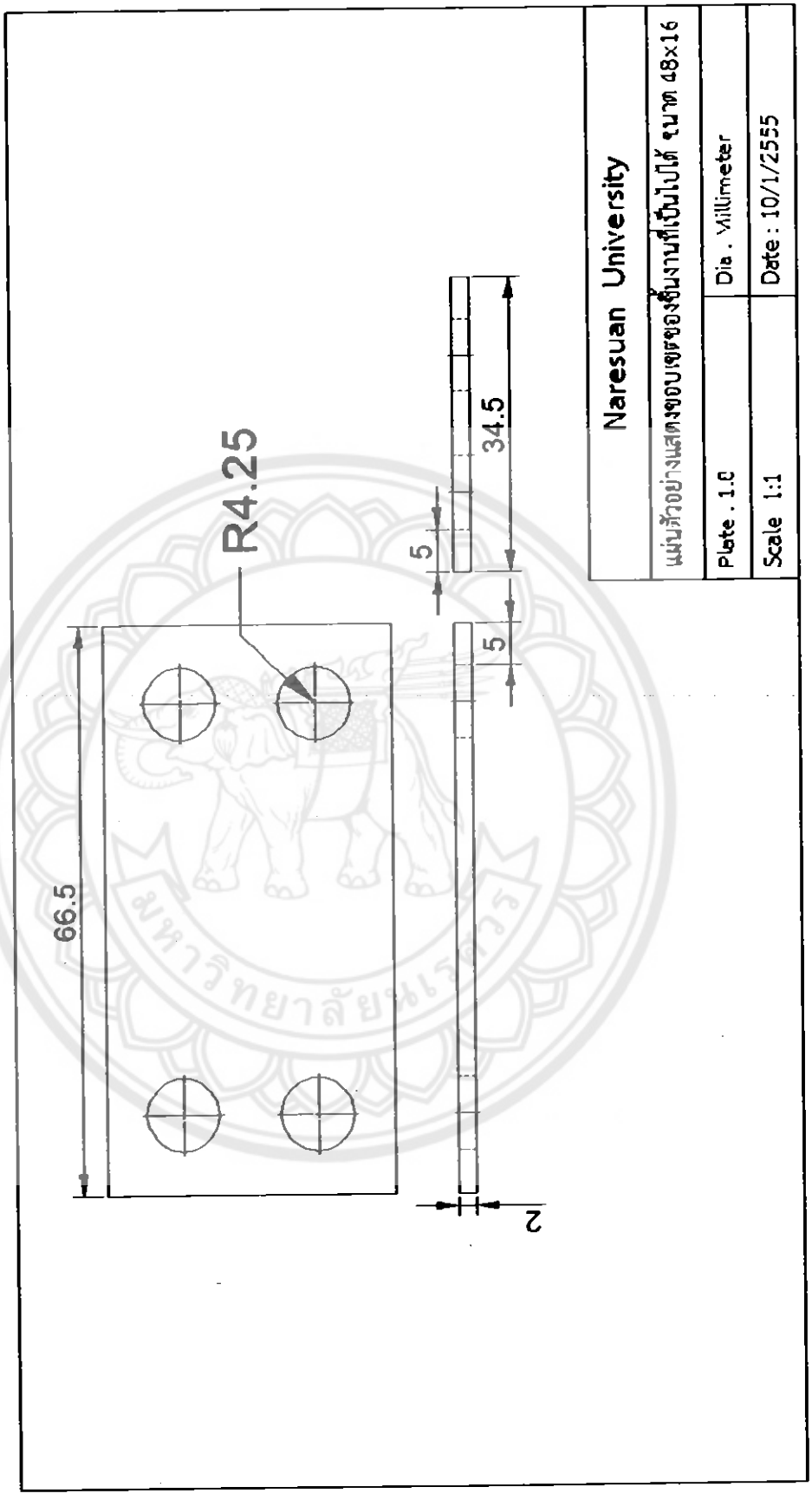
รูปที่ ก.5 ฐานของเครื่องมือ



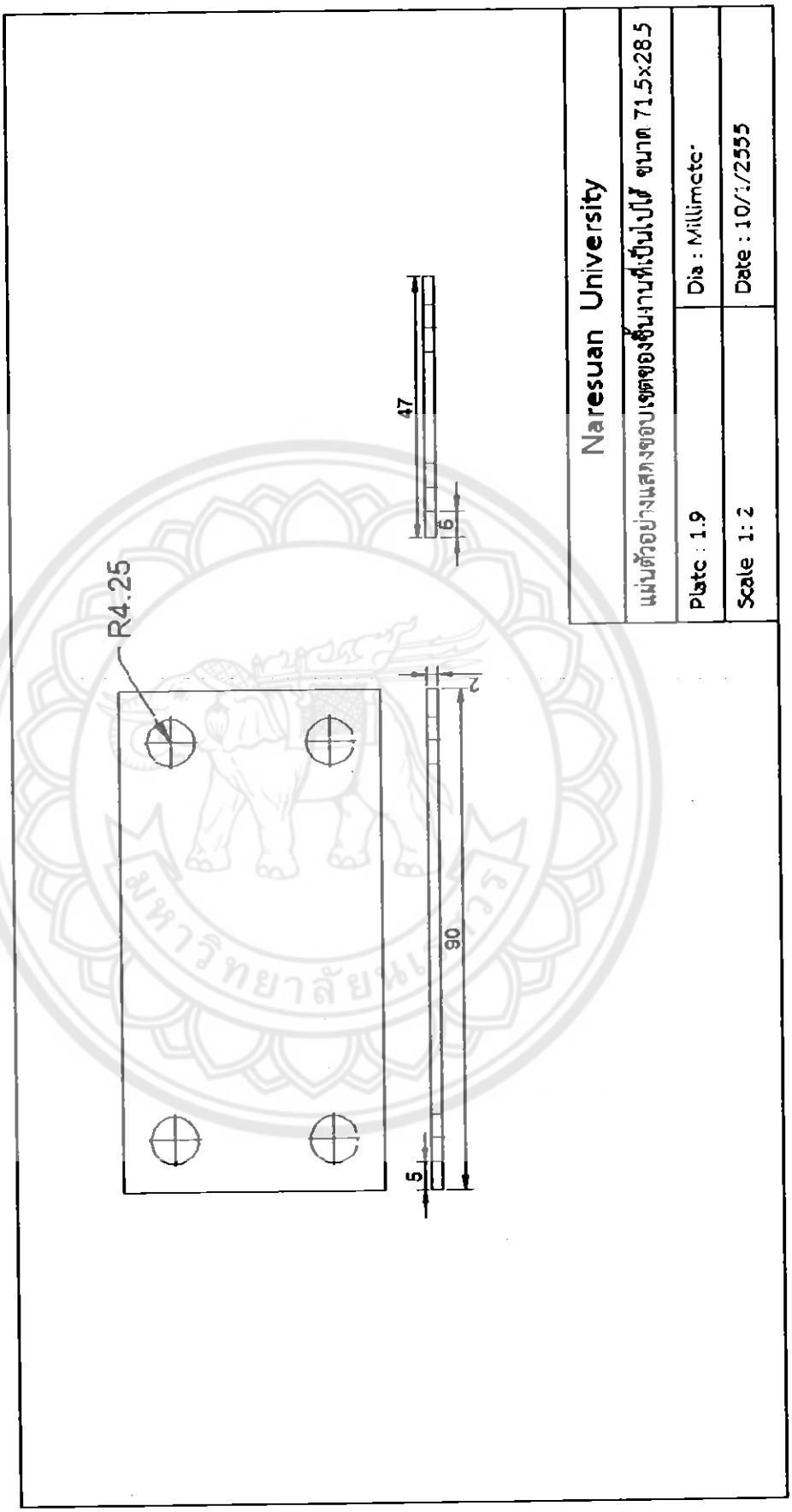
รูปที่ ก.6 เกจที่ใช้ตรวจสอบชิ้นงาน



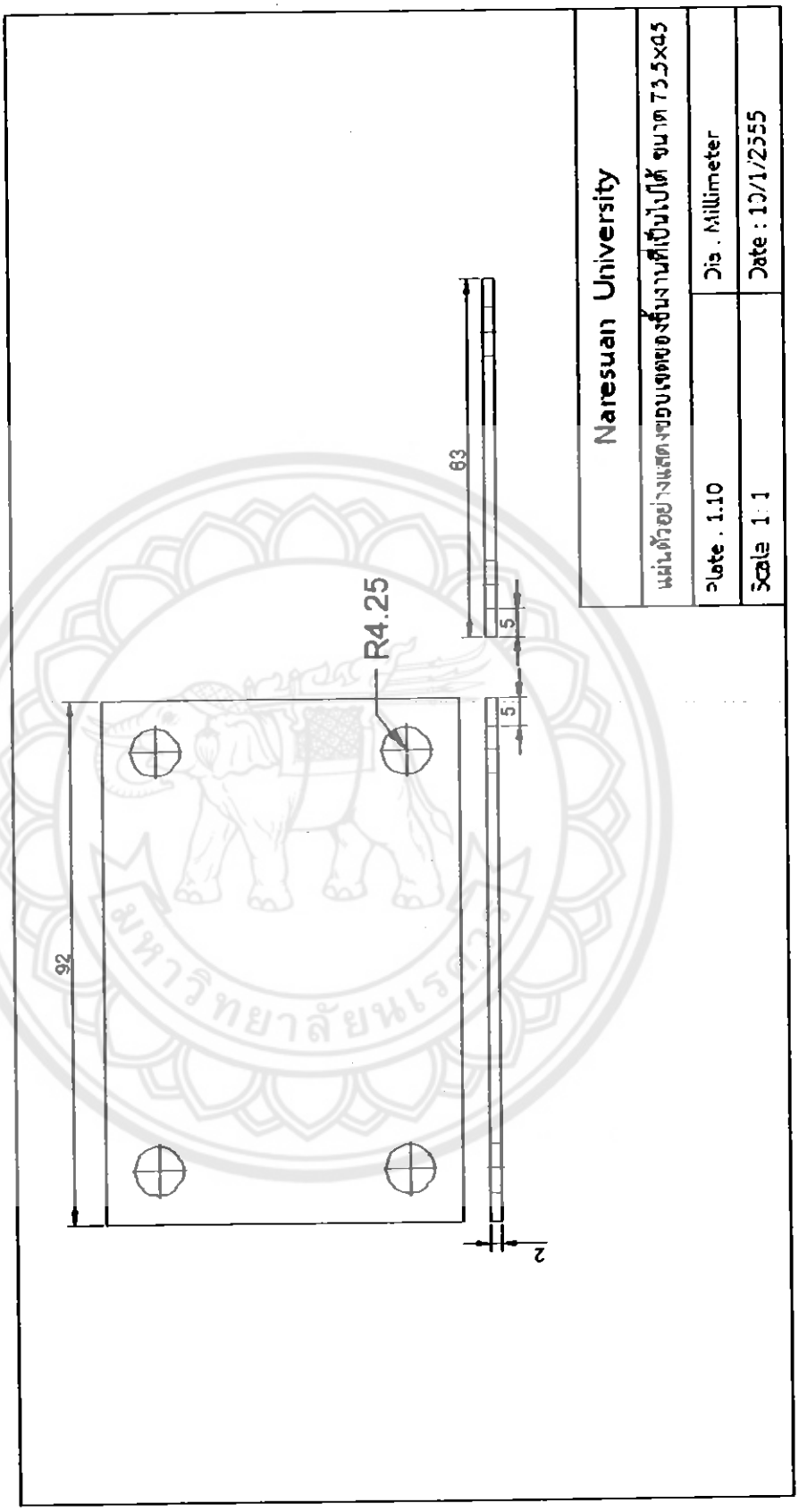
รูปที่ ก.7 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้ ขนาด 31.5x12.5



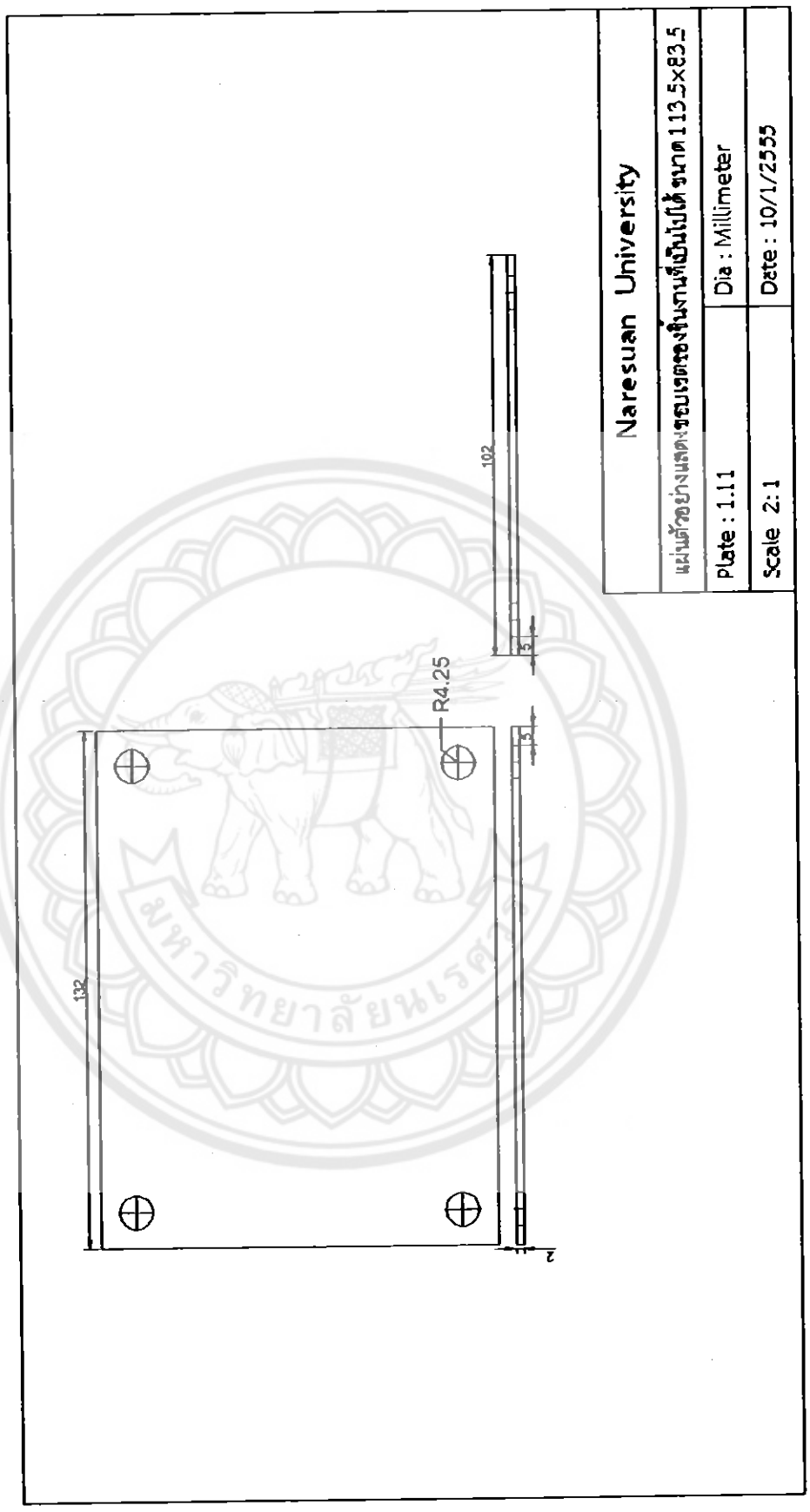
รูปที่ ก.8 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้ ขนาด 48×16



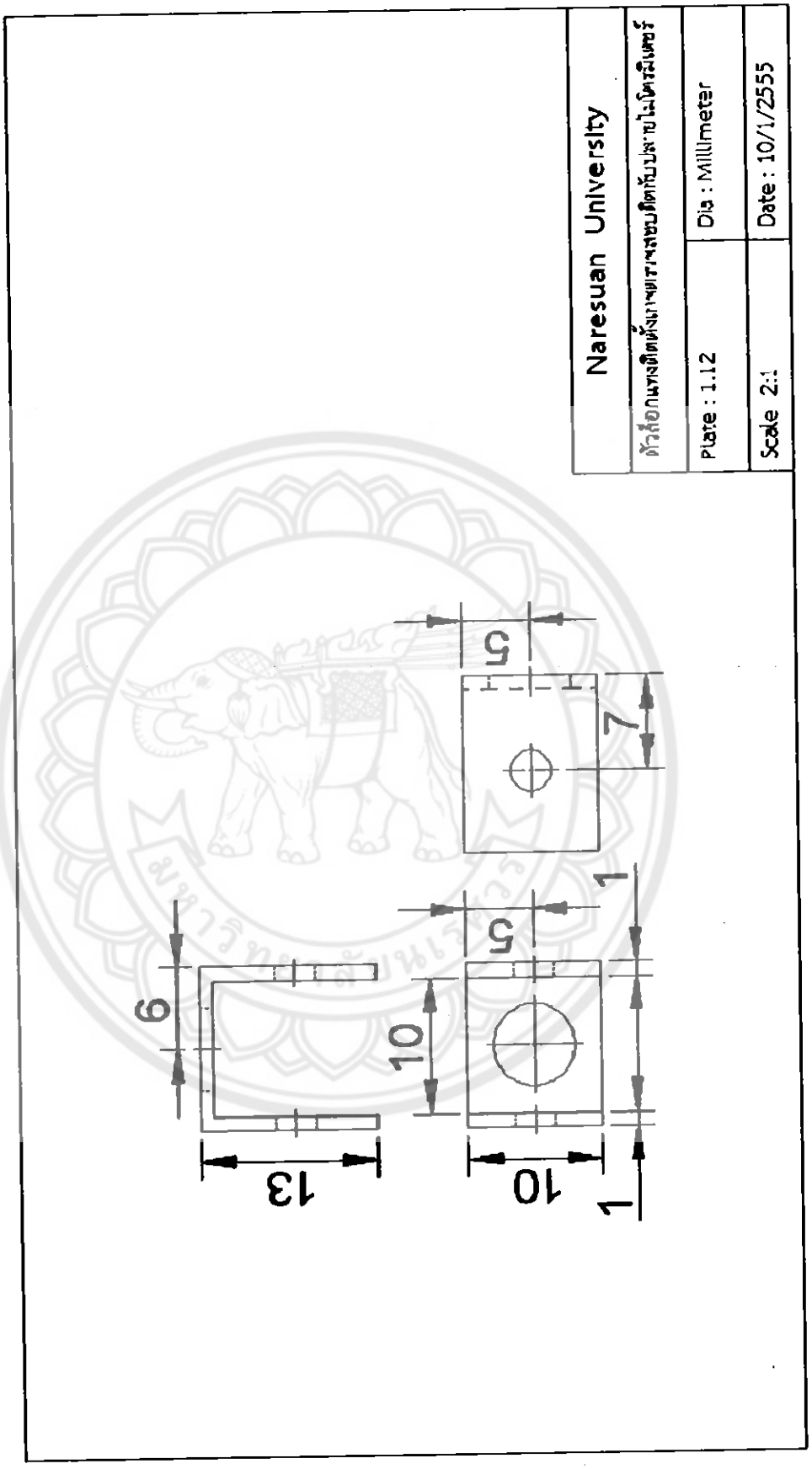
รูปที่ ก.9 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้ ขนาด 71.5x28.5



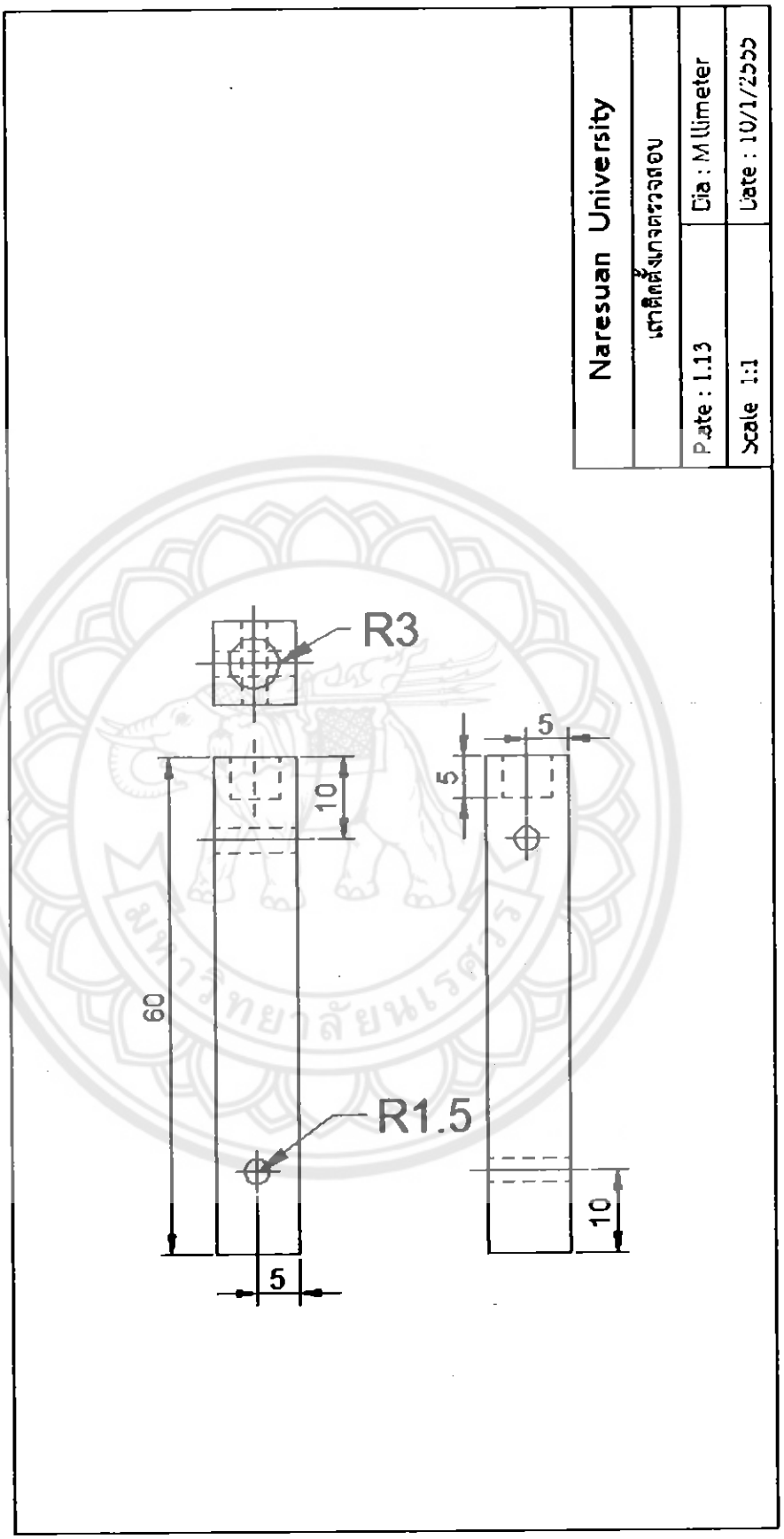
รูปที่ ก.10 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้ ขนาด 73.5x45



รูปที่ ก.11 แผ่นตัวอย่างแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่เป็นไปได้ ขนาด 113.5x83.5



รูปที่ ก.12 ตัวล็อกแทงติดตั้งเกจตรวจสอบติดกับปลายไมโครมิเตอร์



รูปที่ ก.13 เสาติดตั้งเกจตรวจสอบ