สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ

Automatic Specimen Cutting Machine

T 049865

นาย ธีรศักดิ์ รักเสมอวงศ์

Mr. Theerasak Raksamerwong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49865
วัน เดือน ปี - 2 เม.ย. 2547
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ
นักศึกษา	นาย ธีรศักดิ์ รักเสมอวงศ์
รหัสประจำตัว	42010537
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ.พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ
นักศึกษา	นาย ธีรศักดิ์ รักเสมอวงศ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์ พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอขั้นตอนการดำเนินงานและการออกแบบสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ จุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติสำหรับใช้ในโรงปฏิบัติการในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและเพื่อลดต้นทุนในการสั่งซื้อเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติจากต่างประเทศ ในส่วนของโครงสร้างของเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติมีการประยุกต์ใช้เครื่องเจียระไนมือซึ่งทำการเปลี่ยนเป็นใบตัดในการตัดชิ้นงานทดสอบ และใช้ลมช่วยระบายความร้อนขณะทำการตัด การทำงานของเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติออกแบบให้ฐานรองรับปากกาจับชิ้นงานซึ่งควบคุมด้วยมอเตอร์เคลื่อนที่เข้าหาใบตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatic Specimen Cutting Machine
Student	Mr.Theerasak Raksamerwong
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladgrabang
Academic Year	2002
Advisor	Mr.Pholchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

This thesis presents the operating processes and construction of an automatic specimen cutting machine. The objectives are construct an automatic specimen cutting machine for using in a workshop in the Industrial Engineering department and reduce the cost of imported machine. In this machine, a hand grinding machine is used a cut-off wheel instead of a grinding blade. Air power is also applied for reducing cutting heat. The operation of the automatic specimen cutting machine is designed as the supporting table controlled by a motor moves to the cut-off wheel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงาน เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการได้รับความเมตตาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ อ.พลชัย โชติปรายนกุล ในการให้คำแนะนำ ความเอาใจใส่ และช่วยเหลือปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนเป็นที่เรียบร้อย ผู้จัดทำรู้สึกขอบคุณเป็นอย่างสูง และจะนำสิ่งต่างๆที่ได้รับ นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตการทำงานต่อไป

ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคนในภาควิชาที่แนะนำและช่วยเหลือทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอบคุณหอพักป้าสนองและห้องโปรเจค ที่เป็นทั้งที่พักอาศัยและจัดทำโครงงาน

ขอขอบคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ตั้งแต่ระดับอนุบาลจนถึงระดับมหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ บิดา, มารดา ผู้ที่คอยอบรมสั่งสอน และคอยสนับสนุนในเรื่องการเรียนและกิจกรรมต่างๆจนมาถึงวันนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบุคลากรท่านอื่นๆ รวมทั้งเพื่อนๆที่น่ารัก และน้องๆทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ทำให้สามารถมาถึงวันนี้ได้

นาย ธีรศักดิ์ รักเสมอวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาราง		VI
สารบัญภาพ		VII
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญของโครงงาน	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
	1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา	1
บทที่ 2	หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 การตัด (Cutting)	2
	2.2 การตัดวัสดุโดยการขัด (Abrasive cutting)	2
	2.3 ตัวประกอบที่เกี่ยวข้องในการตัด	2
	2.4 ใบตัด (Cut-off wheel)	3
	2.5 การเลือกใบตัด (Choice of wheel)	3
	2.6 มอเตอร์ (Motor)	4
	2.7 โครงสร้างของล้อหินเจียระไนและความแข็ง (Wheel structure and grade)	14
	2.8 การระบุชนิดของล้อหินเจียระไน (Grinding wheel specification)	15
	2.9 การวัดความแข็งของล้อหินเจียระไนโดยใช้แรงที่ได้จากการวัด (Wheel grade testing using force measurements)	15
	2.10 การวัดเกรดของล้อหินเจียระไนโดยวิธีใช้ลมทดสอบ (Pneumatic method of testing grinding wheel grade)	18
	2.11 กลศาสตร์ของการตัดของกระบวนการเจียระไน (Mechanics of the grinding process)	19
	2.12 วัสดุประสาน (Bond Materials)	25
	2.13 เครื่องตัดวัสดุขนาดเล็ก (Cutting machines)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 **การดำเนินงาน**

3.1 การออกแบบโครงสร้าง..... 29

3.2 การออกแบบวงจรควบคุม..... 31

3.3 แผนการทดสอบ..... 32

บทที่ 4 **ผลการดำเนินงาน**

4.1 การดำเนินงานด้านโครงสร้างและวงจรควบคุม..... 34

4.2 ผลการทดสอบ..... 35

บทที่5 **สรุปผลการศึกษา**

5.1 สรุปผลการทดสอบ..... 37

5.2 ปัญหาและข้อจำกัดในการศึกษาโครงงาน..... 37

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงงานในอนาคต..... 37

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การเลือกใบตัดโดยพิจารณาจากชนิดของวัสดุที่จะตัด.....	4
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดสอบโครงสร้างภายในของชิ้นงานหลังการตัด.....	36
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของระนาบชิ้นงาน.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล	5
รูปที่ 2.2	แรงดูดและแรงผลักต่อกันระหว่างตัวนำ 1 ตัวนำให้แรงผลักต่อกันและ 2, 3 ตัวนำ ให้แรงดูดต่อกัน	6
รูปที่ 2.3	เส้นแรงแม่เหล็กในช่องระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้เป็นเส้นตรงพุ่งออกจากขั้วเหนือผ่านช่องว่างอากาศไปยังขั้วใต้	6
รูปที่ 2.4	เส้นแรงแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในสนามแม่เหล็กเส้นแรง ϕ_1 พุ่งขึ้น และเส้นแรง ϕ_2 พุ่งลง	7
รูปที่ 2.5	เส้นทางแม่เหล็กรวมระหว่าง ϕ_{NS} กับ ϕ_1 และϕ_N กับ ϕ_2 ในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือขั้วใต้	7
รูปที่ 2.6	ตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง	7
รูปที่ 2.7	ตัวนำเดี่ยวเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก	8
รูปที่ 2.8	รูปสัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักตัวนำกับเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าของตัวนำเดี่ยวในสนามแม่เหล็กรูปที่ 2.7	8
รูปที่ 2.9	แรงผลักตัวนำคู่ในสนามแม่เหล็ก	9
รูปที่ 2.10	แรงผลักตัวนำหลายตัวนำในสนามแม่เหล็ก	9
รูปที่ 2.11	ทอร์คของมอเตอร์และล้อขับสายพานสำหรับหมุนขับงาน	10
รูปที่ 2.12	ทอร์คของมอเตอร์ 1. เส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำของอาร์เมเจอร์ และ 2. เส้นแรงแม่เหล็กของขั้วเหนือ ขั้วใต้	11
รูปที่ 2.13	แรงและทอร์คของมอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก2-คู่ขั้วที่ประกอบด้วยตัวนำอาร์เมเจอร์ 28-ตัวนำ	11
รูปที่ 2.14	ทอร์คของมอเตอร์	11
รูปที่ 2.15	มอเตอร์หมุนขับปั๊มน้ำด้วยระบบสายพาน	13
รูปที่ 2.16	เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความแข็งของล้อหินเจียระไน	16
รูปที่ 2.17	เครื่องมือวัดค่าความแข็งโดยวิธีของ Peklenik	16
รูปที่ 2.18	กราฟค่าของแรงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าความแข็งของ Peklenik	17
รูปที่ 2.19	ค่าเฉลี่ยของแรงโดยวิธีของ Peklenik	17
รูปที่ 2.20	แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราผลผ่านของล้อหินเจียระไน	19
รูปที่ 2.21	การเบี่ยงเบนของความหนาของเศษของงานเจียระไน	20
รูปที่ 2.22	ปริมาณของแรงของการตัดจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของเศษที่เพิ่มขึ้น	20
รูปที่ 2.23	เครื่องมือที่ใช้หาขนาดช่องว่างของเม็ดหินเจียระไน	21
รูปที่ 2.24	เส้นกราฟความเค้นเฉือนและพลังงานจำเพาะ	22
รูปที่ 2.25	เป็นกราฟแสดงพลังงานจำเพาะ	22
รูปที่ 2.26	อัตราการป้อนของล้อหินเจียระไน	23
รูปที่ 2.27	เครื่องมือตัดและบริเวณตำแหน่งของการสึกหรอ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28	ช่วงของแรงที่เพิ่มขึ้นในการตัด	24
รูปที่ 2.29	แรงที่เพิ่มขึ้นกับการสึกหรอของล้อหินเจียระไน	24
รูปที่ 2.30	เป็นกราฟแสดงการสึกหรอของล้อหินเจียระไนสำหรับมีดคมตัดเดียว	25
รูปที่ 2.31	กระบวนการการเจียระไนของ Guest	25
รูปที่ 2.32	เครื่องตัดชิ้นงาน Exotom	26
รูปที่ 2.33	เครื่องตัดชิ้นทดสอบ Unitom	27
รูปที่ 2.34	เครื่องตัดโลหะ Labotom	27
รูปที่ 2.35	เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ Accuttom-5	28
รูปที่ 3.1	ชุดโครงสร้างหลัก	29
รูปที่ 3.2	ชุดป้อนชิ้นงาน	30
รูปที่ 3.3	ชุดตัดชิ้นงาน	30
รูปที่ 3.4	โครงสร้างการทำงานของชุดควบคุมความร้อน	31
รูปที่ 3.5	วงจรควบคุมการทำงานการป้อนชิ้นงาน	31
รูปที่ 3.6	แสดงภาพการทดสอบการทำงานของเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ	34
รูปที่ 4.1	แสดงภาพชิ้นงานที่นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์	35
รูปที่ 4.2	แสดงผิวของชิ้นงานที่นำไปทดสอบหาความเบี่ยงเบนของระนาบจากการตัด	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากปัจจุบัน เครื่องจักรหรือเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาค่อนข้างสูง ประกอบกับสภาวะเศรษฐกิจอยู่ในภาวะตกต่ำ ดังนั้น ในการที่จะซื้อเครื่องจักรหรือเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ ควรจะพิจารณาว่าจะสามารถผลิตเอง เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อได้

สำหรับงานทางด้านโลหะวิทยา ก็จำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือเครื่องจักร เข้ามาปฏิบัติการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นทดสอบ ดังนั้น จึงได้เกิดแนวความคิดที่จะจัดสร้างเครื่องจักร ที่ใช้ในห้องทดสอบทางโลหะวิทยา เพื่อเอาไว้ใช้ในการตัดชิ้นทดสอบ โดยให้ได้ประสิทธิภาพ และความสามารถใกล้เคียงกับของที่ผลิตในต่างประเทศ เครื่องจักร สามารถที่จะตัดชิ้นทดสอบให้มีความผิดพลาดในการตัดวัสดุต่ำ การสิ้นเปลืองวัสดุน้อย โครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงขณะตัด เพราะมีระบบน้ำหล่อเย็น มีระบบป้องกันอันตรายขณะทำงาน และการบำรุงรักษาที่สะดวก

ในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องตัดชิ้นทดสอบจะพิจารณาถึงความเหมาะสมกับการใช้งานในห้องปฏิบัติการทดสอบทางโลหะวิทยาเพื่อจะให้นักศึกษาได้รับประโยชน์ในการประกอบการศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาหลักการออกแบบและสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ
2) เพื่อสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติที่จะนำไปใช้สำหรับงานทางด้านโลหะวิทยา
3) เพื่อสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบที่จะนำไปใช้ประกอบการเรียนของนักศึกษาในวิชา Industrial Engineering Laboratory และ วิชา Metallurgy

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1) ออกแบบและสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติให้มีความเหมาะสมกับการใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบงานด้านโลหะวิทยา
2) ชิ้นงานทดสอบที่นำมาตัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 30 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษา

1) สามารถนำเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติไปใช้งานในภาควิชาต่อไปได้และเป็นการช่วยลดต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องจักรของภาควิชา
2) เรียนรู้หลักการออกแบบและวิธีการสร้างเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ
3) เรียนรู้การวางแผนและการดำเนินงานของโครงการ
4) เรียนรู้ถึงการนำเสนอและจัดทำรายงานของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตัด (Cutting)

การตัด คือ การทำให้วัสดุที่นำมาทำการตัดขาดหรือหลุดออกจากกัน โดยอาศัยแรงดันและเครื่องมือตัดที่มีความแข็งมากกว่าวัสดุที่ถูกตัด การตัดชิ้นงานนั้นจะต้องตัดให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดที่เที่ยงตรง และสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในขั้นตอนต่อไปได้ การตัดชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างของชิ้นงาน ความแข็งของชิ้นงาน งานแข็งของเครื่องมือตัด ความเร็วในการตัด และสารหล่อเย็น การตัดชิ้นงานสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตัดโดยการใช้เลื่อย การตัดโดยใช้แก๊สการตัดโดยใช้มีดตัด เป็นต้น หลักการในการตัดโลหะทั่วๆ ไป คือ วัสดุแข็งจะต้องใช้มีดตัดแข็งและวัสดุที่อ่อนควรใช้ใบตัดอ่อน

การตัดโลหะนั้น จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ประการคือ

1) เครื่องจักรตัดโลหะ (Machine tools) ตัวอย่างเช่น เครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องกัด เครื่องไส และอื่นๆ
2) ใบมีดตัด (Cutting tools) ซึ่งมีชื่อเรียกที่แตกต่างกัน เช่น ใบมีดกลึง ใบมีดกัด สว่าน ใบตัด เป็นต้น
3) ชิ้นงาน (Work piece) คือ ชิ้นโลหะที่นำมาตัดให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ต้องการ
4) เศษโลหะ (Chip) คือ เศษของโลหะที่ถูกตัดออกมาจากชิ้นงาน โดยปกติแล้วเศษโลหะจะไม่มีคุณค่าประโยชน์ นอกจากจะนำไปหลอมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
5) ช่างควบคุมเครื่อง เราจะต้องศึกษาความสัมพันธ์ ขององค์ประกอบเหล่านี้ เพื่อความเข้าใจที่อาจนำมาเป็นหลักปฏิบัติ

2.2 การตัดวัสดุโดยการขัด (Abrasive cutting)

การตัดวัสดุโดยการขัด เป็นการตัดวัสดุที่ต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง การหมุนของใบตัดกับแรงกดที่เหมาะสม ซึ่งต้องอาศัยเม็ดตัดเป็นตัวช่วยในการตัดวัสดุ โดยการตัดด้วยเครื่องมือตัดทั่วไปใบมีดตัดและมุมในการตัดจะขึ้นอยู่กับสภาวะของการทำงาน แต่ใบตัดที่เป็นเม็ดตัดจะมีมุมในการตัดของเม็ดตัดที่คงที่ และจะต้องมีการใช้น้ำหล่อเย็นช่วยในการระบายความร้อนให้กับใบตัดและชิ้นงานที่นำมาทำการตัด ซึ่งมีผลต่อคุณภาพการตัด และความคงทนของใบมีด

การตัดโดยการขัดมีความสามารถในการตัดวัสดุที่แข็งกว่าที่เครื่องมือตัดอื่นๆ ไม่สามารถตัดได้ การตัดมีความเรียบผิว ความแม่นยำและความละเอียดดี เหมาะสมกับการตัดชิ้นงานที่มีคุณภาพ เช่น ชิ้นงานที่ต้องนำไปตรวจสอบชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำ แต่อัตราการตัดโลหะออกจะช้ากว่าวิธีการตัดปาดทั่วไป

2.3 ตัวประกอบที่เกี่ยวข้องในการตัด

ตัวประกอบที่เกี่ยวข้องในการตัดจะมีอยู่ 3 ประการคือ

1) ความร้อน
2) การไหลของโลหะ
3) การบิดเบี้ยวในการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ใบตัด (Cut-off wheel)

ใบตัดได้ถูกผลิตขึ้นให้มีความแตกต่างกันในด้านของขนาดรูปร่างและความสามารถของเม็ดตัดให้เหมาะสมกับวัสดุที่นำมาตัด ใบตัดทั่วๆ ไปจะมีความหนาตั้งแต่ 0.15-5.0 มิลลิเมตร การผลิตใบตัดมีข้อพิจารณาอยู่ 2 ประการ คือ

2.4.1 เม็ดตัด (abrasive particles)

โดยทั่วไปเม็ดตัดที่นำมาทำใบตัดสำหรับงานตัดวัสดุ สามารถแบ่งออกได้ตามวัสดุที่นำมาผลิตได้ ดังนี้

1) อลูมินัมออกไซด์ (Aluminum oxide) หรือที่เรียกกันว่า "โครันดัม" (Corundum) ใบตัดชนิดนี้ที่ทำจากเม็ดตัดอลูมินัมออกไซด์ สามารถใช้ตัดวัสดุได้เกือบทุกชนิด
2) ซิลิคอนคาร์ไบด์ (Silicon Carbide) หรือที่เรียกกันในทางการค้าว่า "คาโบรันดัม" (Caborundum) ใบตัดที่ทำจากเม็ดตัดซิลิคอนคาร์ไบด์ จะใช้สำหรับตัดวัสดุประเภทนอกกลุ่มเหล็ก
3) เพชร (Diamond) ใบตัดที่ทำจากเม็ดตัดเพชรจะใช้สำหรับตัดวัสดุที่มีความแข็ง เช่น เซรามิค หิน เป็นต้น

ใบตัดที่ทำจากเม็ดตัดอลูมินัมออกไซด์และซิลิคอนคาร์ไบด์จะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก สามารถตัดวัสดุได้หลากหลาย และคุณภาพการตัดดี ส่วนใบตัดที่ทำจากเม็ดตัดเพชรจะมีราคาแพง

2.4.2 การออกแบบใบตัด (Design of wheel) [www.struer.com]

เนื่องจากเม็ดตัดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน พื้นฐานในการออกแบบใบตัดจึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ ใบตัดที่ทำจากเพชร และใบตัดที่ทำจากคิวบิกโบรอนไนไตร (CBN) ใบตัดประเภทนี้จะถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานเนื่องจากเม็ดตัดมีความแข็งแรงสูงมาก ถูกยึดด้วยตัวประสานที่มีความคงทนสูง และจะมีชั้นบางๆ ของเม็ดตัดเท่านั้นที่เคลือบติดอยู่ตามเส้นรอบวงของใบตัด เราเรียกใบตัดประเภทนี้ว่าใบตัดสิ้นเปลืองใช้งานระยะยาว (Long-term consumable wheel) ส่วนประเภทที่สองคือใบตัดที่ทำมาจาก อลูมินัมออกไซด์ และใบตัดที่ทำมาจากซิลิคอนคาร์ไบด์ ใบตัดประเภทนี้จะถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานที่สั้น สึกหรอเร็ว ยึดด้วยตัวประสานทั้งใบตัด แต่มีราคาถูกกว่าใบตัดประเภทแรก เราเรียกใบตัดประเภทนี้ว่าใบตัดสิ้นเปลือง (consumable wheel)

2.5 การเลือกใบตัด (Choice of wheel)

ในการตัดสินใจเลือกใบตัดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่จะนำมาตัด การเลือกใช้ใบตัดชนิดใดสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากคู่มือการใช้วัสดุสิ้นเปลืองของบริษัทจัดจำหน่าย ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 เพื่อความถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งนี้ใบตัดมีความแตกต่างกันตามความต้องการ แต่หลักการในการตัดคือ วัสดุอ่อนจะต้องใช้ใบมีดที่แข็ง ส่วนวัสดุที่แข็งควรใช้ใบตัดอ่อน สามารถเลือกใบตัดโดยพิจารณาวัสดุที่จะตัดได้ดังนี้

1) โลหะกลุ่มเหล็ก ควรใช้ใบตัดที่ทำมาจาก อลูมินัมออกไซด์ ยึดด้วยตัดยึดประสานเบคเคไลท์
2) โลหะกลุ่มเหล็ก ที่มีความแข็งแรงสูง เช่น เหล็กหล่อขาว ควรใช้ใบตัดที่ทำมาจากคิวบิกโบรอนไนไตร ยึดด้วยตัวยึดประสานเบคเคไลท์
3) โลหะนอกกลุ่มเหล็ก ควรใช้ใบตัดที่ทำมาจากซิลิคอนคาร์ไบด์ ยึดด้วยตัวยึดประสานเบคเคไลท์
4) พวกเซรามิค เป็นวัสดุที่แข็ง เปราะ ควรใช้ใบตัดที่ทำมาจากเพชร ยึดด้วยตัวยึดประสานโลหะ
5) ซินเตอร์คาร์ไบด์ เป็นวัสดุที่มีความแข็งเหนียว ควรใช้ใบตัดที่ทำมาจากเพชร ยึดด้วยตัวยึดประสานเบคเคไลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเลือกใบตัดโดยพิจารณาจากชนิดของวัสดุที่จะตัด (www.struer.com)

Application	Cut-off Wheel diameter mm						
	Shaft diameter 32 mm				Shaft dia. 22 mm	Shaft diameter 12.7 mm	
	432 × 3.0	350 × 2.5	300 × 2.0	250 × 1.5	235 × 1.5	125 × 0.5	150 × 0.5
Plastic very soft metals						370SA 126 × 0.6	
Non-ferrous soft metals	106MA	86EXO	56UNI	36TRE	06TRE	357CA 355CA*	459CA
Very ductile metal (Titanium)		90EXO	56UNI	40TRE	10TRE	357CA	459CA
Soft ferrous metals	104MA	84EXO 8UEXO	54UNI	35TRE		357CA 355CA*	457CA
Medium soft Ferrous metals	104MA	84EXO 8UEXO	54UNI	34TRE 37TRE	04TRE	357CA 355CA*	457CA
Medium hard Ferrous metals	102MA 202MA	83EXO 8UEXO	53UNI	33TRE	03TRE	457CA 355CA*	456CA
Hard ferrous metals	102MA	81EXO	51UNI	32TRE	02TRE	356CA 365CA*	456CA
Very hard ferrous metals	101MA	81EXO	51UNI	31TER	01TRE	355CA*	
Extremely hard ferrous metals				38TRE		355CA*	
Sintered carbides Hard ceramics		26EXO 350 × 1.5	25EXO 305 × 1.8	24TRE 252 × 1.1	23TRE 202×1.01	127 × 0.6	452CA 152 × 0.8
Minerals and Ceramics				25TRE 250 × 1.1	20TRE 202 × 1.1	390CA 127 × 0.3	430CA 150 × 0.4

*355CA : CBN, 127 × 0.6 mm

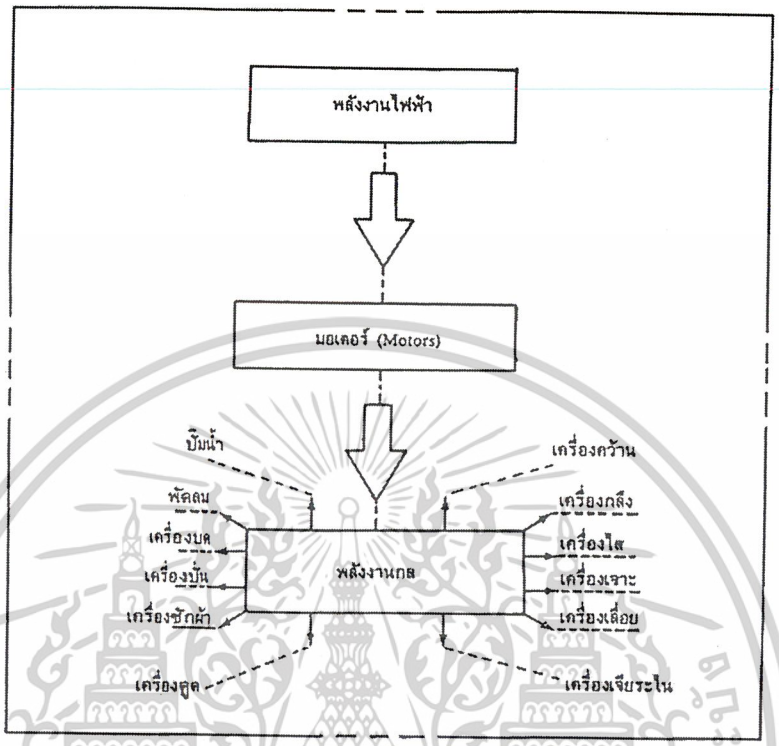
2.6 มอเตอร์ (Motor)

เครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องกล ที่ใช้งานกันอยู่โดยทั่วไปภายในอาคารบ้านเรือนและโครงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ พัดลม เครื่องบด เครื่องปั่น เครื่องซักผ้า ปั๊มน้ำ เครื่องกลึง เครื่องไส เครื่องเจาะ เครื่องคว้าน เครื่องเลื่อย เครื่องเจียระไน ฯลฯ ต่างก็ทำงานด้วยการหมุนขับของมอเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์จึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ให้กำเนิดพลังงานกลที่จำเป็นและสำคัญยิ่งประเภทหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกล



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ คือ เครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

2.6.1.1 ตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเมื่อวางไว้ใกล้กันจะให้แรงดูดและแรงผลักต่อกัน ดังนี้

- ตัวนำที่ให้กระแสไหลทางเดียวกัน จะให้แรงดูดต่อกัน และ
- ตัวนำที่ให้กระแสไหลสวนทางกัน จะให้แรงผลักต่อกัน

แรงดูดและแรงผลักระหว่างตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คำนวณได้ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \lambda / a \ [N] \qquad (2.1)$$

เมื่อ

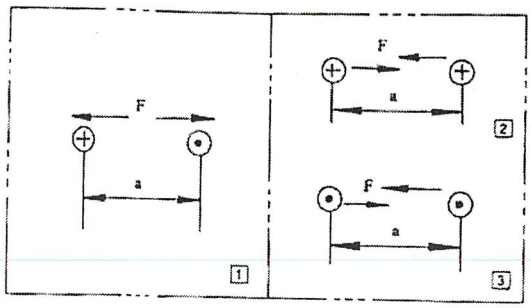
F = แรงดูดและแรงผลักต่อกันระหว่างตัวนำ (นิวตัน: N)

I_1, I_2 = กระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำทั้งสอง [แอมแปร์ : A)

λ = ความยาวตัวนำ [เมตร: m]

a = ระยะห่างระหว่างตัวนำ หน่วยเมตร [m]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

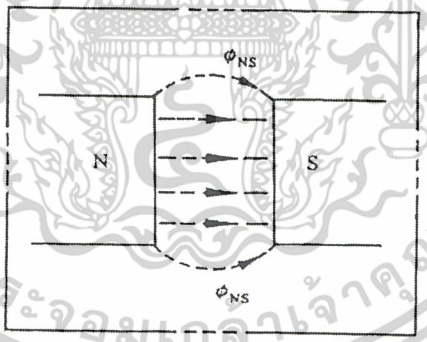


รูปที่ 2.2 แรงดูดและแรงผลักต่อกันระหว่างตัวนำ [1] ตัวนำให้แรงผลักต่อกัน และ [2] , [3] ตัวนำให้แรงดูดต่อกัน

2.6.1.2 แรงกระทำต่อตัวนำในสนามแม่เหล็ก

ตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เมื่อวางไว้ในสนามแม่เหล็กจะให้กำเนิดแรงกระทำต่อตัวนำ ทำให้ตัวนำเคลื่อนที่ได้ในสนามแม่เหล็กตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

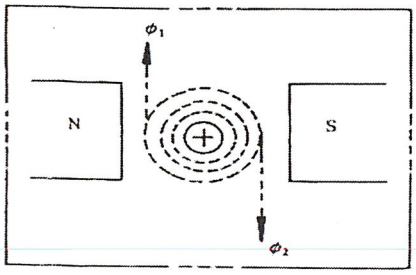
1) เส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ϕ_{NS} เป็นเส้นตรงมีทิศทางพุ่งออกจากขั้วเหนือ (N) ผ่านช่องว่างอากาศ (air-gap) ไปยังขั้วใต้ (S) ตามรูปที่ 2.2 ดังนี้



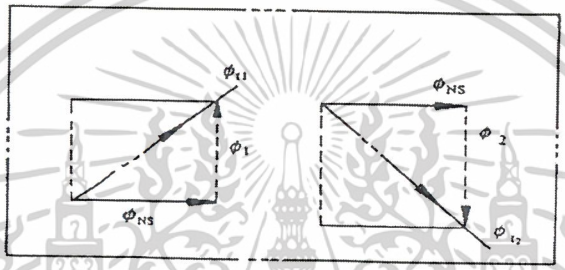
รูปที่ 2.3 เส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้เป็นเส้นตรงพุ่งออกจากขั้วเหนือผ่านช่องว่างอากาศไปยังขั้วใต้

2) เส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำซึ่งให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และวางไว้ในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วแม่เหล็ก มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือขวาของสกรู ทางซ้ายมือเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 พุ่งขึ้น และทางด้านขวามือเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_2 พุ่งลง ตามรูปที่2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เส้นแรงแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในสนามแม่เหล็ก เส้นแรง ϕ_1 พุ่งขึ้น และเส้นแรง ϕ_2 พุ่งลง



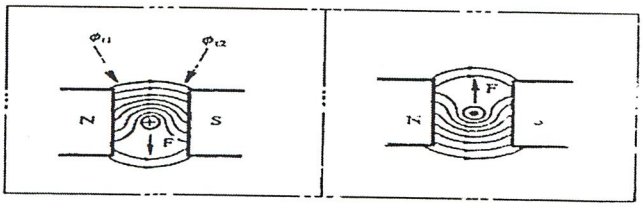
รูปที่ 2.5 เส้นทางแม่เหล็กรวมระหว่าง ϕ_{NS} กับ ϕ_1 และϕ_N กับ ϕ_2 ในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้

3) เส้นแรงแม่เหล็กรวมในช่องว่างอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_{NS} กับเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 และ ϕ_2 ตามรูปที่ 2.5

$$\phi_{t1} = \phi_{NS} + \phi_1 \quad (2.2)$$

$$\phi_{t2} = \phi_{NS} + \phi_2 \quad (2.3)$$

4) ผลของเส้นแรงแม่เหล็กรวมในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือขั้วใต้ผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.6 และมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ดังนี้

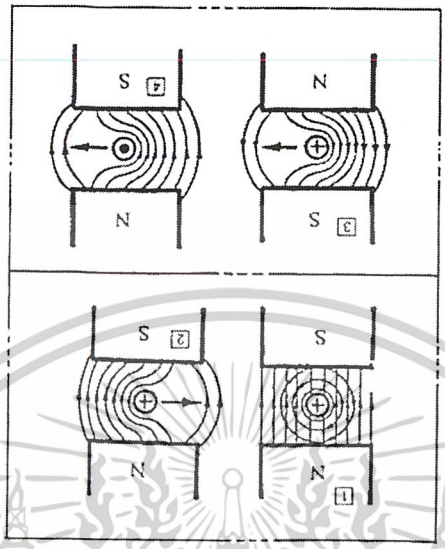


รูปที่ 2.6 ตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กมีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

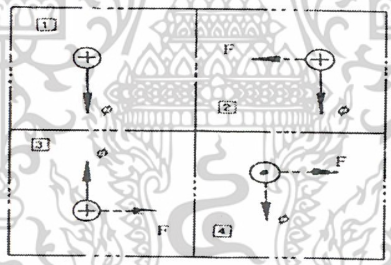
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การคำนวณแรงผลักตัวนำในสนามแม่เหล็ก

- แรงผลักตัวนำเดี่ยว



รูปที่ 2.7 ตัวนำเดี่ยวเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.8 รูปสัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงผลักตัวนำกับเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าของตัวนำเดี่ยวในสนามแม่เหล็กรูปที่ 2.7

แรงผลักตัวนำให้เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กตามรูปที่ 2.7 และ 2.8 จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก กับเส้นแรงแม่เหล็กในช่องว่างอากาศระหว่างขั้วเหนือ ขั้วใต้ ดังนี้

$$F = B \cdot \lambda \cdot I \text{ [N]} \qquad (2.4)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

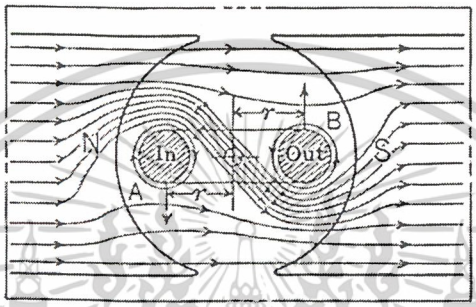
F = แรงผลักตัวนำ [นิวตัน/ตัวนำ]

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก หน่วยเทสลา [T : Wbm-2]

λ = ความยาวของตัวนำในสนามแม่เหล็ก [เมตร : m]

I = กระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก หน่วย แอมแปร์ [A]

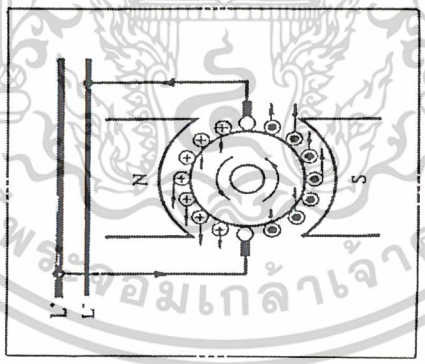
- แรงผลักตัวนำหลายตัวนำ : ตัวนำทุกตัวนำที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในสนามแม่เหล็ก จะให้กำเนิดแรงกระทำต่อตัวนำทุกตัวนำ ผลรวมของแรงกระทำต่อทุกตัวนำ มากพอที่จะทำให้ตัวนำหมุนได้ในสนามแม่เหล็ก ตามรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 แรงผลักตัวนำคู่ในสนามแม่เหล็ก

In : กระแสไหลเข้า

Out : กระแสไหลออก



รูปที่ 2.10 แรงผลักตัวนำหลายตัวนำในสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 2.9 เป็นตัวนำคู่ให้ตัวนำทางด้านซ้ายมือกระแสไหลเข้า ส่วนทางด้านขวามือกระแสไหลออก แรงผลักตัวนำที่เกิดขึ้นคำนวณได้ = $2 \cdot F = 2 \cdot B \cdot \lambda \cdot I$ [N]

รูปที่ 2.10 เป็นตัวนำหลายตัวนำ ทิศทางกระแสไฟฟ้ากำหนดให้กระแสไหลเข้าทางตัวนำด้านบนและไหลออกด้านล่าง แรงกระทำต่อทุกตัวนำ ทำให้ตัวนำหมุนได้ มีทิศทางเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง และแรงกระทำต่อตัวนำทั้งหมดคำนวณได้ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

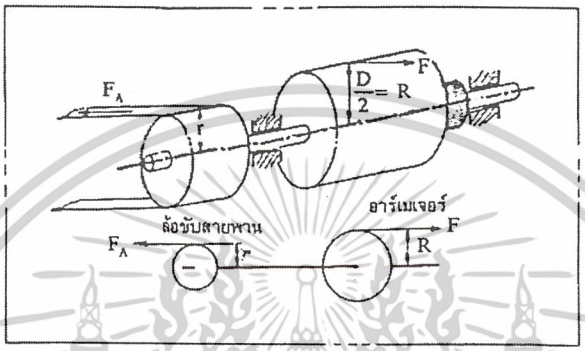
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = B \cdot \lambda \cdot I \cdot Z \text{ [N]} \qquad (2.5)$$

I = กระแสที่ให้ไหลผ่านตัวนำ (แอมแปร์/ตัวนำ)

Z = จำนวนตัวนำทั้งหมดในสนามแม่เหล็ก (ตัวนำ)

6) ทอร์คของตัวนำ



รูปที่ 2.11 ทอร์คของมอเตอร์และล้อขับสายพาสำหรับหมุนขับงาน

ทอร์ค (Torque) คือ โมเมนต์หมุนหรือแรงบิด เป็นผลคูณระหว่างแรงกับแขนแรง ดังนี้

รูปที่ 2.11 มอเตอร์มีขนาดรัศมีของอาร์เมเจอร์ = D/2 = R หมุนขับล้อสายพานขนาดรัศมี r ด้วยแรงผลักตัวนำ F และแรงดึงสายพานสำหรับหมุนขับงาน F_A

กำหนดให้

T = ทอร์ค : แรงบิด : โมเมนต์หมุน หน่วย [Nm]

F = แรงฉุดหรือแรงผลักตัวนำ [N]

R = รัศมีของอาร์เมเจอร์ : แขนแรง [m]

F_A = แรงดึงสายพานสำหรับหมุนขับงาน [N]

r = รัศมีขอล้อขับสายพาน : แขนแรง [m]

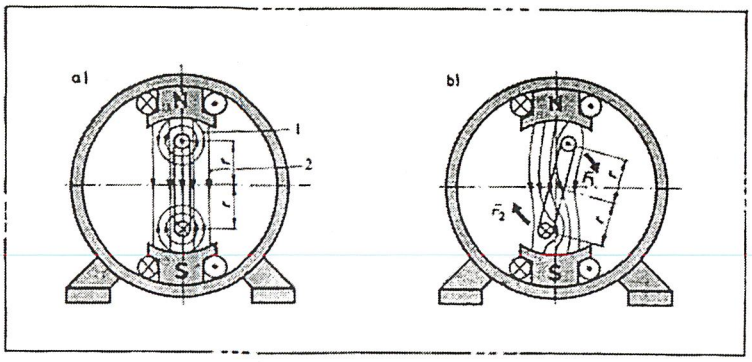
$\therefore$ ทอร์คของตัวนำ : $T = F \cdot R = B \cdot \lambda \cdot I \cdot Z \cdot R$ [Nm]

และ ทอร์คของล้อขับสายพาน : $T = F_A \cdot r$ [Nm]

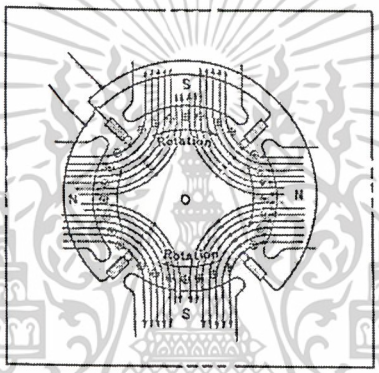
เนื่องจากล้อขับสายพานต่อแกนร่วมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ ทอร์คจึงเท่ากัน ดังนั้น

$$T = F \cdot R = FA \cdot r = B \cdot \lambda \cdot I \cdot Z \cdot R \text{ [Nm]} \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

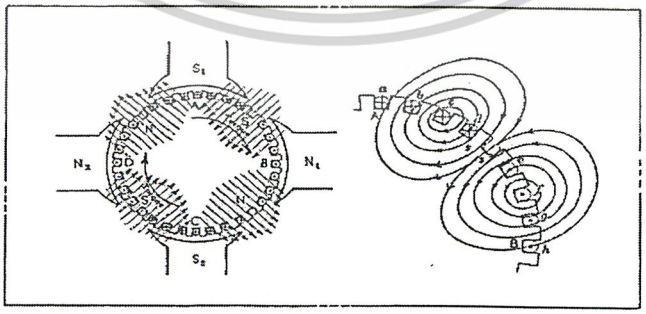


รูปที่ 2.12 ทอร์คของมอเตอร์ 1. เส้นแรงแม่เหล็กที่ล้อมรอบตัวนำของอาร์เมเจอร์ และ 2. เส้นแรงแม่เหล็กของขั้วเหนือ ขั้วใต้



รูปที่ 2.13 แรงและทอร์คของมอเตอร์ ชนิดขั้วแม่เหล็ก2-คู่ขั้วที่ประกอบด้วย ตัวนำอาร์เมเจอร์ 28-ตัวนำ

2.6.2 ทอร์คของมอเตอร์



รูปที่ 2.14 ทอร์คของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ในปัจจุบัน ตัวนำใส่ไว้ในร่องสล็อตของอาร์เมเจอร์แบบกลอง (Drum Armature) เช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ขนาดใหญ่กำลังสูงจะกินกระแสมากนักจะพันขดลวดอาร์เมเจอร์แบบ "Lap Winding" ส่วนมอเตอร์ขนาดเล็กกำลังต่ำกินกระแสน้อยพันขดลวดแบบ "Wave Winding"

แรงผลักที่เกิดขึ้นกระทำต่อตัวนำของมอเตอร์นั้น มิได้กระทำบนตัวนำอย่างเช่นที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 2.6.1.2 แต่อย่างใด แต่แรงที่เกิดขึ้นจะกระทำเฉพาะบนซี่ฟัน (Armature teeth) ของอาร์เมเจอร์เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากตัวนำได้ใส่ไว้ภายในร่องสล็อตของอาร์เมเจอร์นั่นเอง ตามรูปที่ 2.14

ให้พิจารณามอเตอร์ชนิดขั้วแม่เหล็ก 4-ขั้ว หรือ 2-คู่ขั้ว ตามรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าตัวนำ a, b, c และ d ให้กระแสไหลเข้าและไหลออกทางตัวนำ e, f, g และ h ดังนั้นส่วนของอาร์เมเจอร์ A-B ถูกเหนี่ยวให้เป็นขั้วใต้ (S) ส่วนของอาร์เมเจอร์ B-C เป็นขั้วเหนือ (N) C-D เป็นขั้วใต้ และ D-A เป็นขั้วเหนือ ทำให้มีแรงดูดและแรงผลักเกิดขึ้นบนอาร์เมเจอร์ดังนี้

ขั้ว N_1 ดูด A-B และผลัก B-C

ขั้ว N_2 ดูด C-D และผลัก D-A

ขั้ว S_1 ดูด D-A และผลัก A-B

ขั้ว S_2 ดูด B-C และผลัก C-D

ด้วยเหตุนี้มอเตอร์จึงสร้างทอร์คให้เกิดขึ้น และผลักดันให้อาร์เมเจอร์หมุนได้ ทอร์คของมอเตอร์สามารถคำนวณได้ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

$$T = F \cdot r = B \cdot \lambda \cdot I \cdot Z \cdot R$$

$$\boxed{B = \phi/A} \qquad (2.7)$$

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก [$T = Wbm^{-2} = Vsm^{-2}$]

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก/ขั้ว [Wb]

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนขั้วแม่เหล็ก [m^2]

$$\boxed{I = I_A/a} \qquad (2.8)$$

I = กระแสไฟฟ้าที่ให้ไหลผ่านตัวนำ [A/ตัวนำ]

I_A = กระแสอาร์เมเจอร์ (วัดที่ขั้วอาร์เมเจอร์) หน่วย [A]

a = จำนวนวงจรไฟฟ้าคู่ขนานบนขดลวดอาร์เมเจอร์ [วงจร]

เมื่อพันขดลวดแบบ "Lap Winding" $\underline{a = n_c \cdot P}$ และพันขดลวดแบบ "Wave Winding" $\underline{a = 2 \cdot n_c}$

$$\boxed{F = \frac{\phi}{A} \cdot \lambda \cdot \frac{I_A}{A} \cdot Z = \phi \cdot \lambda \cdot I_A \cdot Z/A \cdot a} \qquad (2.9)$$

$$\boxed{T = \phi \cdot \lambda \cdot I_A \cdot Z \cdot r/A \cdot a} \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

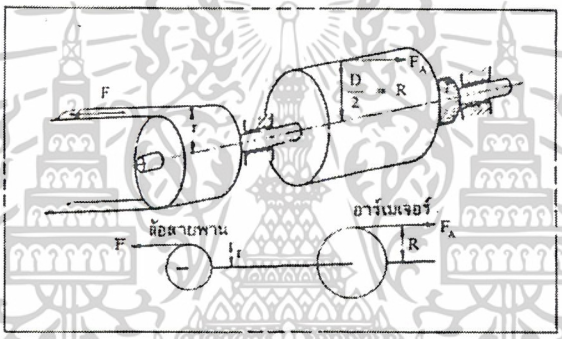
ให้ K = ค่าคงที่ของมอเตอร์ (คงที่ตามลักษณะสร้าง)

$$K = \lambda \cdot Z \cdot r/A \cdot a \qquad (2.11)$$

$$T = K \cdot \phi \cdot I_A \qquad (2.12)$$

ตามสมการที่ 2.12 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ทอร์คของมอเตอร์เป็นปฏิภาคโดยตรงกับเส้นแรงแม่เหล็ก และกระแสของมอเตอร์

$$T \propto \phi \text{ และ } T \propto I_A \qquad (2.13)$$



รูปที่ 2.15 มอเตอร์หมุนขับปั๊มน้ำด้วยระบบสายพาน

2.6.3 กำลังของมอเตอร์

กำลังหมุนขับของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากแกนอาร์เมเจอร์ตามสมการไฟฟ้าต่อไปนี้

กำหนดให้

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของอาร์เมเจอร์ [m]

F_A = แรงผลักตัวนำที่เกิดขึ้นบนอาร์เมเจอร์ [N]

T = ทอร์คของมอเตอร์ [Nm]

n = จำนวนรอบที่อาร์เมเจอร์หมุน [rpm]

P = กำลังหมุนขับของมอเตอร์ [W]

R = รัศมีของอาร์เมเจอร์ = D/2 [m]

$\therefore$ อาร์เมเจอร์ 1 รอบ ให้ระยะทาง = $\pi \cdot D$ [m]

อาร์เมเจอร์ n/60 [รอบ/วินาที] = $\pi \cdot D \cdot n/60$ [ms^{-1}]

ถ้าให้ v = อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของอาร์เมเจอร์ หน่วย เมตร/วินาที [m/s = ms^{-1})

$\therefore$ v = $\pi \cdot D \cdot n/60$ [ms^{-1}]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = F_A \cdot v \ [N \cdot ms^{-1} = Nms^{-1} = W] \quad (2.14)$$

$P = F_A \cdot \pi \cdot D \cdot n/60$

$= 2 \cdot \pi \cdot F \cdot R \cdot n/60$

$= \pi \cdot n \cdot T/30$ [W]

P_w = กำลังหมุนขับของมอเตอร์เป็นวัตถุ [W]

P_{kw} = กำลังหมุนขับของมอเตอร์เป็น กิโลวัตต์ (kW)

$$P_W = \pi nT/30 = 0.104\ n \cdot T \quad (2.15)$$

$$P_{kW} = \pi nT/30000 = 0.104 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot T \quad (2.16)$$

2.7 โครงสร้างของล้อหินเจียระไนและความแข็ง (Wheel structure and grade)

ในงานอุตสาหกรรมล้อหินเจียระไน ซึ่งจะต้องพิจารณาคุณสมบัติที่สำคัญของเม็ดหินเจียระไน ชนิดของตัวประสาน และโครงสร้างหรือช่องว่างระหว่างเม็ดหินกับวัสดุประสาน ล้อหินเจียระไนจะต้องประกอบไปด้วย

$$Qa + Qb + Qp = 100 \quad (2.17)$$

เมื่อ

Qa = เป็นสัดส่วนปริมาตรของเม็ดหินเจียระไน

Qb = เป็นสัดส่วนปริมาตรของวัสดุประสาน

Qp = เป็นสัดส่วนปริมาตรของช่องว่างของอากาศ

โดยทั้ง 3 ส่วนที่ประกอบกับขึ้น สามารถที่จะทำให้ลดน้อยลง โดยการควบคุมโครงสร้างของล้อหินเจียระไน และเกรนหรือความแข็งของล้อหินเจียระไน ในการจัดโครงสร้างของล้อหินเจียระไนจะทำการวัดการสลายตัวของเม็ดหินขัดในล้อหินเจียระไน

โครงสร้างที่เรียกว่า "หนาแน่นหรือทึบ" เมื่อ Qa มีค่าสูง

โครงสร้างที่เรียกว่า "โปร่ง" เมื่อ Qa มีค่าต่ำ

โครงสร้างจะถูกออกแบบด้วยตัวเลข เมื่อตัวเลขมีค่าต่ำ โครงสร้างจะเป็นโครงสร้างทึบซึ่งในมาตรฐานอเมริกาให้กำหนดช่วงตัวเลข จาก 1 ถึง 15 หมายเลข

Dense Open

ตัวเลขโครงสร้าง(Structure number) : 1 2 3 4 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจัดเกรดหรือความแข็งของล้อหินเจียระไน จะวัดได้ด้วยความสามารถของวัสดุประสาน ที่สามารถยึดให้ติดแน่นกันเป็นแผ่นกับเม็ดหินที่ใช้ทำล้อหินเจียระไน ซึ่งคุณสมบัตินี้มักจะชี้ให้เห็นถึงขนาดของแรงที่ต้องการให้เม็ดหินขัดสลายตัวหรือหลุดไปจากวัสดุประสานเกรดหรือล้อหินเจียระไน จะออกแบบโดยใช้ตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่ ถ้าเม็ดหินขัดหลุดออกจากตัวยึดเหนี่ยวได้ง่าย แสดงว่าหินเจียระไนอยู่ในขั้นอ่อน โดยจะแทนด้วยตัวอักษร A ขณะเดียวกันตัวอักษร Z จะใช้สำหรับล้อหินเจียระไนที่มีความแข็งมาก

มีหลายวิธีการด้วยกันที่ใช้ทดสอบล้อหินเจียระไน โดยสิ่งเหล่านี้จะรวมไปถึง การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร และแรงที่ทำให้เกิดการแทรกซึมของล้อหินเจียระไน ซึ่งในการทดสอบเกรดของล้อหินเจียระไนก็จะเป็นการตัดสินใจดูโดยใช้ทักษะของผู้ทำการตรวจสอบ

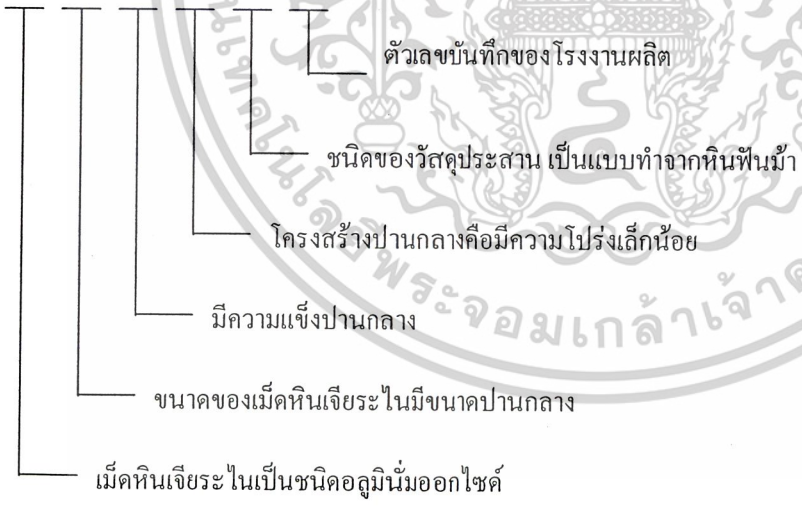
2.8 การระบุชนิดของล้อหินเจียระไน (Grinding wheel specification)

ชนิดของล้อหินตามมาตรฐานอเมริกา จะระบุชนิดของล้อหินเจียระไนดังต่อไปนี้คือ

1) ชนิดของเม็ดหินเจียระไน เช่น A แทนด้วยอลูมินั่มออกไซด์, S แทนด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์
2) ขนาดของเม็ดหินเจียระไน เช่น กำหนดเป็นตัวเลขเมช (mesh number)
3) ความแข็ง เช่น A จะอ่อน, Z จะแข็งมาก
4) โครงสร้าง จะบอกเป็นตัวเลข เช่น 1 โครงสร้างทึบ
5) ชนิดของตัวประสาน
6) การบันทึกของผู้ผลิต เช่น โรงงานที่ผลิต

ตัวอย่างการกำหนดชนิดของเม็ดหินเจียระไน

A - 46 - M - 6 - V - 21

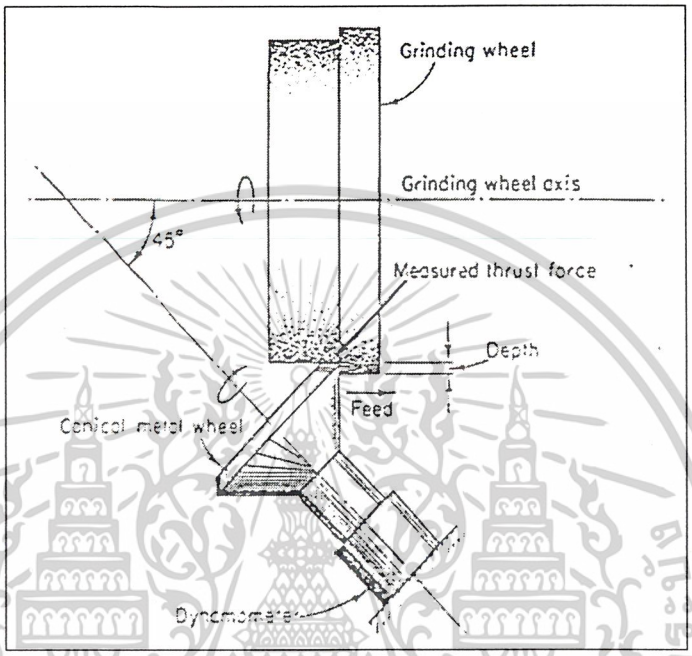


2.9 การวัดความแข็งของล้อหินเจียระไนโดยใช้แรงที่ได้จากการวัด (Wheel grade testing using force measurements)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความแข็งของล้อหินเจียระไนแสดงในรูปที่ 2.4 ล้อหินเจียระไนจะถูกหมุนบนเพลาของเครื่องกลึง และใช้ล้อโลหะรูปกรวย ซึ่งติดอยู่บนป้อมมีด จะถูกป้อนผ่านล้อหินเจียระไน โดยที่ล้อโลหะจะหมุนอย่างอิสระอยู่บนแกน แรงในแนวสัมผัสมีน้อย และแรงในแนวแกน (Fp) จะถูกวัดโดยไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งติดอยู่ที่รองรับของล้อโลหะ ในขณะที่ทำงานจะได้แรงที่เพิ่มขึ้นจะกระทำทุกทิศทาง และจะเพิ่มอัตราการป้อน และความลึกในการตัด

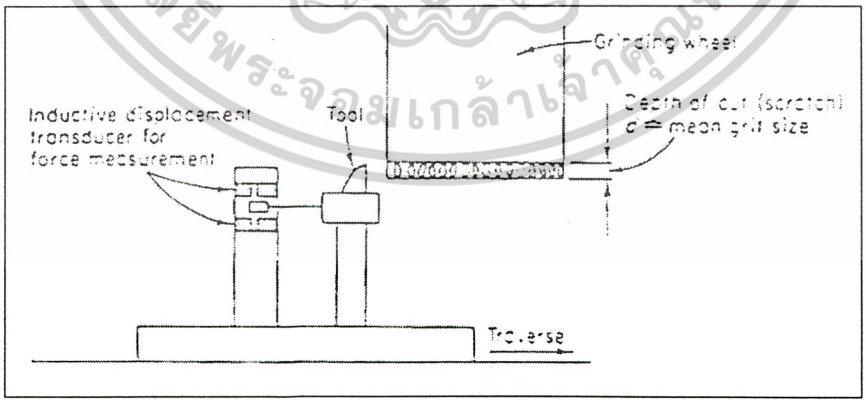
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะแสดงว่าล้อหินเจียระไนนั้นมีความแข็งมากจะต้องใช้แรงกดมาก ซึ่งล้อหินเจียระไนที่แข็งสามารถเลือกในรูปของอัตราส่วนของแรงของการผ่านครั้งแรกกับการผ่านครั้งที่สอง (การผ่านครั้งที่สองจะต้องมีการตั้งความลึกในการตัดใหม่) ซึ่งวิธีนี้ถ้าอัตราส่วนนี้มากจะชี้ให้เห็นว่าล้อหินเจียระไนมีความแข็ง แรงที่วัดได้จะขึ้นอยู่ในกับความลึกในการตัดและอัตราการป้อน ซึ่งข้อเสียเปรียบของวิธีการนี้คืออาจจะไม่ใช่เป็นการทดสอบความแข็งของล้อหินแต่จะเป็นการหาประสิทธิภาพของล้อหินมากกว่า



รูปที่ 2.16 เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความแข็งของล้อหินเจียระไน

Peklenik ได้ทำการพัฒนาวิธีการในการวัดความแข็งของล้อหินเจียระไน โดยได้แสดงไว้ดังในรูปที่ 2.17



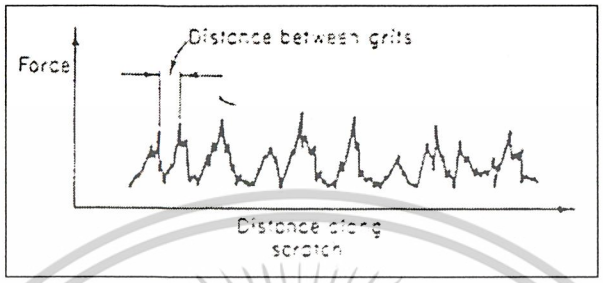
รูปที่ 2.17 เครื่องมือวัดค่าความแข็งโดยวิธีของ Peklenik

เครื่องมือตัดที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นร่องเกิดขึ้นในขณะทำการเจียระไนบนล้อหินเจียระไน โดยเครื่องมือตัดนี้จะมีมุมเอียง 52 องศา โดยมีอัตราส่วน 1 : 1 ซึ่งอัตราส่วนของความกว้างของการตัดและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

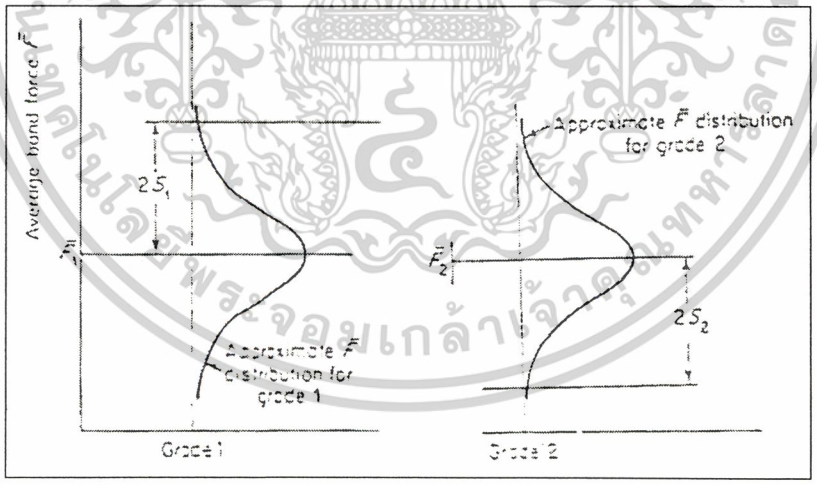
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ความลึกของการตัด ล้อหินเจียระไนจะให้ค่าเฉลี่ยของขนาดของเม็ดหินเจียระไน แรงที่ได้บนเครื่องมือตัดจะถูกวัดได้จากตัวชี้ที่ถูกติดตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่ง Peklenik ได้พยายามพิสูจน์ว่าเครื่องมือที่ใช้ในวิธีการนี้ โดยการเอาเม็ดหินเจียระไนออก แล้วทำการหาความแข็งจากแรงที่สังเกตได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กราฟค่าของแรงที่วัดได้จากเครื่องมือวัดค่าความแข็งของ Peklenik

จากการทดสอบหาค่าการกระจายและค่าเฉลี่ยของแรง ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าความแข็งของล้อหินเจียระไนมีค่าความแข็งสูงค่าเฉลี่ยของแรงก็จะสูงด้วย Peklenik ได้พยายามที่จะหามาตรส่วนของความแข็ง โดยการใช้หลักสถิติศาสตร์ การกระจายของค่าเฉลี่ยของแรงโดยพิจารณาการกระจายตัวเป็นแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ค่าเฉลี่ยของแรงโดยวิธีของ Peklenik

เมื่อกำหนดสภาวะของเกรด 2 ดีกว่าเกรด 1 และที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อ S_1 เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของแรงสำหรับเกรด 1 (Standard error)

F_1 เป็นค่าเฉลี่ยของแรงสำหรับเกรด 1

S_2 เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของแรงสำหรับเกรด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
49865

F_2 เป็นค่าเฉลี่ยของแรงสำหรับเกรด 2

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้จาก

$$S_1 = \sigma_1 / N_1^{1/2} \tag{2.18}$$

และ

$$S_, = \sigma_, / N_,^{1/2} \tag{2.19}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนจะได้จาก

$$C = \sigma / F \tag{2.20}$$

เมื่อ

σ_1 = เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงประสานของประชากรสำหรับเกรด 1

N_1 = เป็นขนาดตัวอย่างสำหรับเกรด 1

σ_2 = เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงประสานของประชากรสำหรับเกรด 2

N_2 = เป็นขนาดตัวอย่างสำหรับเกรด 2

σ = เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

F = เป็นค่าเฉลี่ยของแรง

C = เป็นค่าคงที่

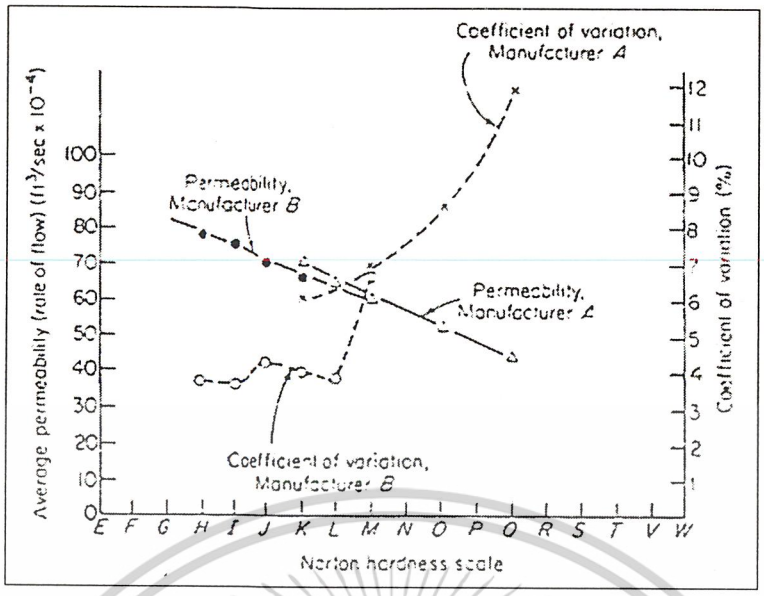
ดังนั้นจะได้ว่าวิธีการนี้มักจะมีประโยชน์สำหรับการเปรียบเทียบในการศึกษาและในที่สุดแล้ว ก็อาจจะเป็นวิธีที่นำไปหามาตรส่วนของความแข็งของล้อหินเจียระไน

2.10 การวัดเกรดของล้อหินเจียระไนโดยวิธีใช้ลมทดสอบ (Pneumatic method of testing grinding wheel grade)

Kaliszer ได้ใช้สมการที่จะกำหนดความแข็งหรือเกรดของล้อหินเจียระไน ถ้าเปอร์เซ็นต์ ปริมาตรของช่องว่างมีค่าลดลง ความแข็งก็จะมากขึ้นและได้ทำการหาค่าประมาณเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างความสัมพันธ์ของทั้งสอง รูพรุนที่เกิดขึ้นจะสามารถหาได้โดยวัดอัตราการไหลของอากาศผ่านล้อหินเจียระไนที่ตำแหน่งหลายๆ จุดรอบเส้นรอบวงนั้น ถ้า อัตราการไหลของอากาศมีค่ามาก จะทำให้ล้อหินเจียระไนมีค่ารูพรุนที่สูง

ตัวเลขของการทดสอบล้อหินเจียระไนและค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศหลายๆ ค่า ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.20 สรุปได้ว่า อัตราการไหลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น เกรดหรือความแข็งของล้อหินเจียระไนก็จะลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราผลผ่านของล้อหินเจียระไน

วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประโยชน์ใช้สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบ ซึ่งสามารถที่จะประเมินการแตกหักของล้อหินเจียระไนได้

2.11 กลศาสตร์ของการตัดของกระบวนการเจียระไน (Mechanics of the grinding process)

ล้อหินเจียระไนเปรียบเสมือนกับมีดตัดของงานกัด แต่ในการตัดนั้นช่องว่างของการตัดจะเป็นจุดที่ไม่เป็นไปตามรูปทรงตามเรขาคณิตตามที่กำหนด ตัวแปรที่มีผลต่อการตัดมีดังนี้ คือ

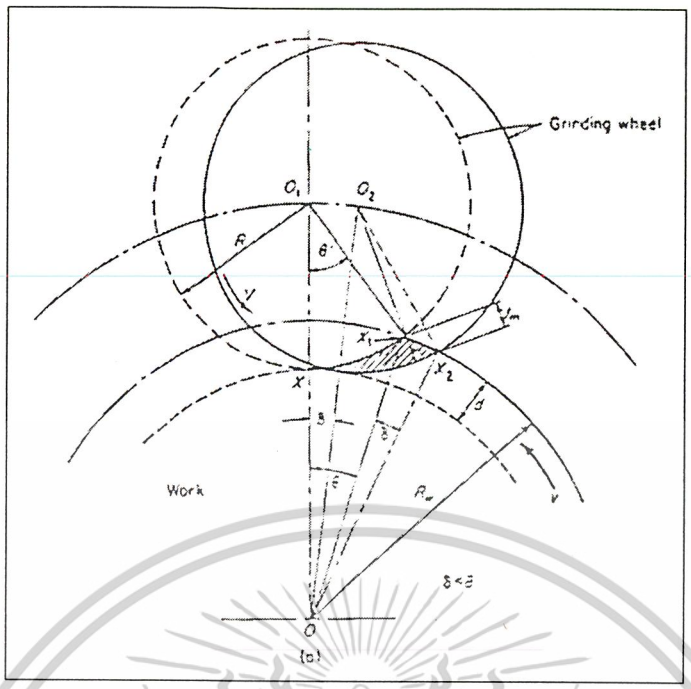
- ขนาดของการตัด
- อัตราการกำจัดของเม็ดหิน
- แรงที่ใช้ในการตัด

ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้คือ

2.11.1 รูปทรงทางเรขาคณิตของกระบวนการเจียระไน

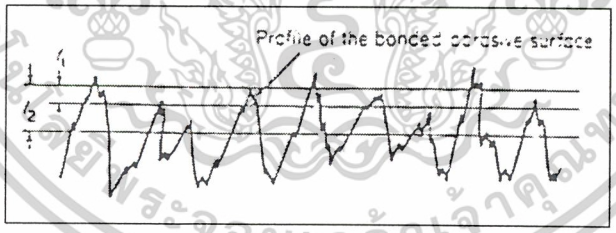
ในรูปที่ 2.21 เป็นการแสดงการเบี่ยงเบนของความหนาของเศษของงานเจียระไน ความเร็วของล้อหินเจียระไนและชิ้นงานในรูปที่ 2.21 จะมีทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งเป็นงานเจียระไนแบบดั้งเดิม ความลึกในการป้อนตัดจะมีค่าน้อยประมาณ 2/1,000-3/1,000 นิ้ว ขณะที่ความเร็วของล้อหินเจียระไน แทนด้วย V มักจะมีค่ามากกว่าความเร็วของชิ้นงานแทนด้วย V เปรียบเสมือนกับกระบวนการตัด ส่วนโค้งของการสัมผัสอาจจะต้องสมมุติให้แนวเส้นรองวง และความเร็วของชิ้นงานที่ทำการพิจารณาจะไม่ต่อเนื่องหรือสม่ำเสมอ ดังนั้นในการพิจารณาจะให้ชิ้นงานอยู่กับที่ ขณะที่เกรนหรือหินเจียระไนจะแสดงการตัดและเคลื่อนที่ดังในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



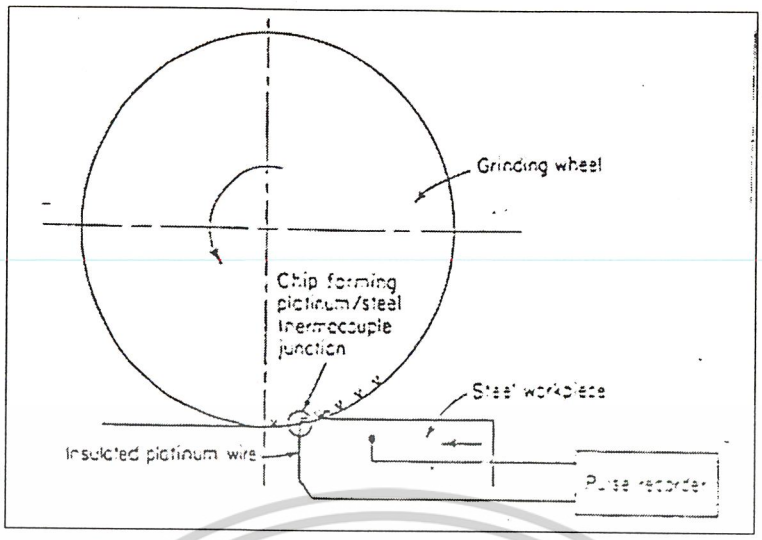
รูปที่ 2.21 การเบี่ยงเบนของความหนาของเศษของงานเจียระไน

ในการศึกษาลักษณะภายภาพของผิวของล้อหินเจียระไน จะเห็นได้ว่าความสูงจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งแสดงได้ว่าปริมาณของแรงของการตัดจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของเศษที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 2.22 ปริมาณตัวเลขของจุดตัดที่ t1 จะน้อยกว่า t2 เครื่องมือในรูปที่ 2.23 เป็นเครื่องมือที่หาขนาดช่องว่างของเม็ดหิน และตรวจสอบตัวแปรต่างๆ ของระบบ ซึ่งจะได้ค่าที่มีความแม่นยำสูง



รูปที่ 2.22 ปริมาณของแรงของการตัดจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของเศษที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 เครื่องมือที่ใช้หาขนาดช่องว่างของเม็ดหินเจียระไน

2.11.2 อัตราการกำจัดเม็ดหินเจียระไน

อัตราการกำจัดเม็ดหินในงานเจียระไน สามารถอธิบายในรูปของขนาดของการตัด และการติดตั้งเครื่องจักรสำหรับเครื่องมือตัดของกระบวนการตัดคมเดียว

$$Q = bdv \tag{2.21}$$

เมื่อ

Q = เป็นปริมาตรของวัสดุที่ถูกกำจัดออก ต่อหนึ่งหน่วยเวลา

d = เป็นความลึกของการป้อนตัด

v = เป็นความเร็วที่ผิวของชิ้นงาน

ในทางทฤษฎีแล้วปริมาตรของวัสดุที่ถูกกำจัดออกสามารถหาได้จากรูปทรงทางเรขาคณิตของเศษตัดและจำนวนเศษตัดที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา แต่ในทางปฏิบัติทำได้ยาก

พลังจำเพาะของการตัดในงานเจียระไน สามารถหาได้จากการวัดแรงและปริมาตรของโลหะที่ถูกำจัดออกไป ซึ่ง Marshall and Shaw ได้ทำการวัดค่าเฉลี่ยของแรงที่ผิวของชิ้นงานงานเจียระไนโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์ และคำนวณพลังงานจำเพาะของการตัด เช่น

พลังงานจำเพราะต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่ถูกกำจัดออก จากสมการ

$$U = F_h V/vbd \tag{2.22}$$

เมื่อ

F_h = เป็นแรงเฉลี่ยในแนวระดับ

V = เป็นความเร็วขอบของล้อหินเจียระไน

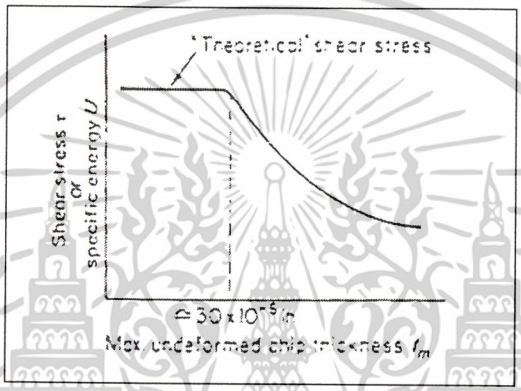
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานจำเพาะในการเจียระไนจะสามารถหาค่าได้และมีค่าสูงสำหรับงานตัดคมเดียวโดยจะแสดงว่าพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง จะทำให้ขนาดของการตัดจะเพิ่มขึ้น แนะนำว่าพลังงานจำเพราะมีค่าสูง จะมีผลต่อขนาดรูปร่างของชิ้นงาน ในความเป็นจริงแล้วรูปร่างของเศษที่ได้จากการตัดไม่คงที่ ในรูปที่ 2.24 แสดงความเค้นเฉือนและพลังงานจำเพาะ ได้ตามเส้นกราฟค่าคงที่ของความเค้นเฉือนของเศษที่ได้จากการตัดจะพิจารณาได้จากสมการดังนี้คือ

$$\tau_{theo} = G / 2\pi \qquad (2.23)$$

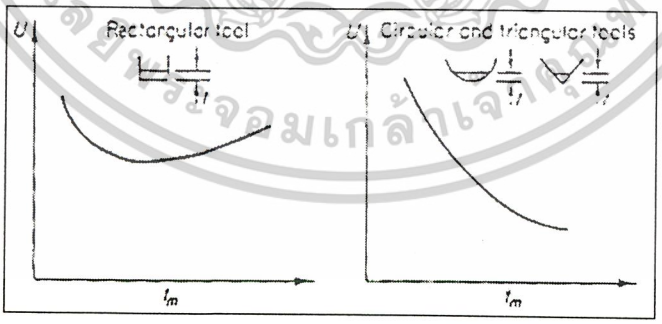
เมื่อ

G = เป็นค่าโมดูลัสของวัสดุสำหรับแรงบิด



รูปที่ 2.24 เส้นกราฟความเค้นเฉือนและพลังงานจำเพาะ

ในรูปที่ 2.25 เป็นการทดลองโดยใช้มีดคมตัดเดียว โดยที่รูปทรงของมีดตัดที่แตกต่างกันแล้วนำมาเขียนกราฟพลังงานจำเพาะ

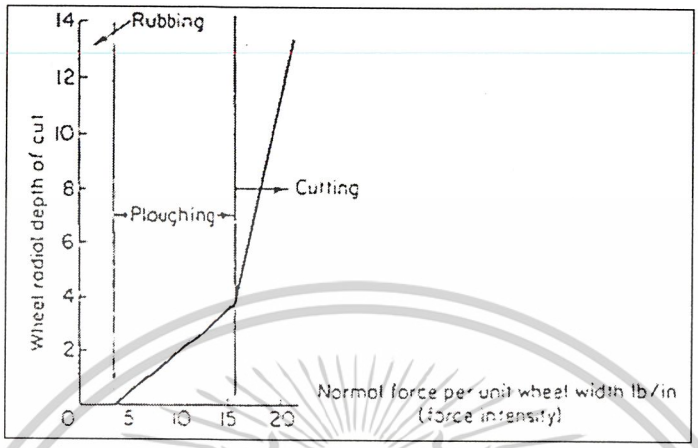


รูปที่ 2.25 เป็นกราฟแสดงพลังงานจำเพาะ

ดังนั้นสรุปได้ว่า รูปทรงของเครื่องมือตัดจะเป็นตัวควบคุมกราฟของพลังงานจำเพาะและแรงตัด ซึ่งจะปรากฏสำหรับเป็นข้อมูลของมีดตัดคมเดียว ในการทดสอบเครื่องมือตัดรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานจำเพาะ เป็นอิสระต่อความกว้างของการตัด

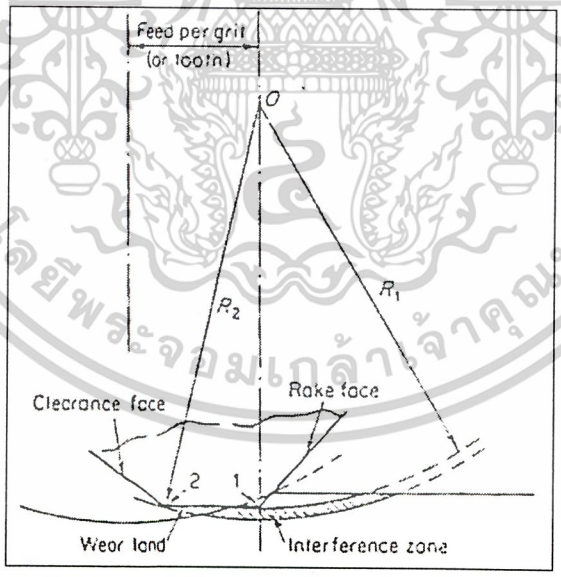
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hahn ได้ใช้การเจียระไนแบบตัดแทง ทำการเจียระไนกับชิ้นงานที่แรงคงที่ โดยการทดสอบจะเห็นได้ว่า อัตราการป้อนในแนวรัศมีมีค่าน้อย ภายใต้ภาระที่มีค่าน้อยๆ และชิ้นงาตจะทำให้เกิดรอย โดยเม็ดหินเจียระไนจะทำเป็นร่อง เมื่อภาระที่ได้เพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการป้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะอธิบายในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 อัตราการป้อนของล้อหินเจียระไน

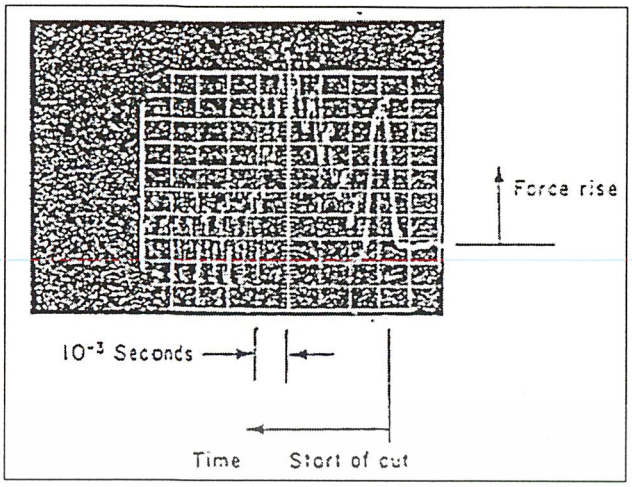
แรงที่ใช้ในการตัดสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการสวมอัด (ช่องว่างที่มีค่าเป็นลบ) ระหว่างชิ้นงานกับเม็ดหินเจียระไน ดังในรูป ที่ 2.27



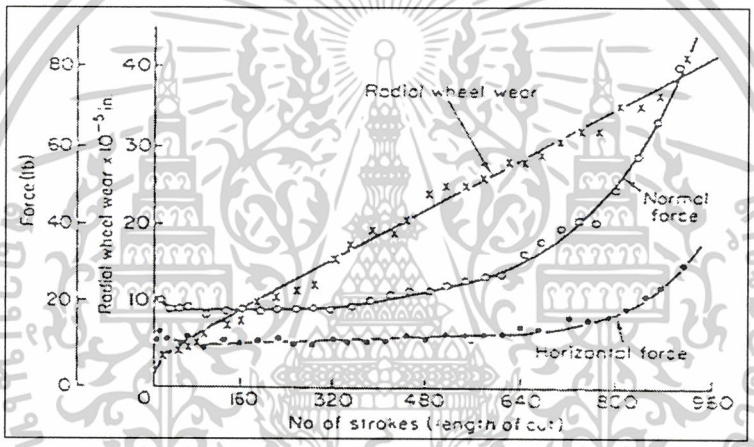
รูปที่ 2.27 เครื่องมือตัดและบริเวณตำแหน่งของการสึกหรอ

แรงที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการตัด 1 ครั้งจะแสดงเป็นช่วง 2 ช่วงของแรงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 2.28 และรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ช่วงของแรงที่เพิ่มขึ้นในการตัด



รูปที่ 2.29 แรงที่เพิ่มขึ้นกับการสึกหรอของล้อหินเจียระไน

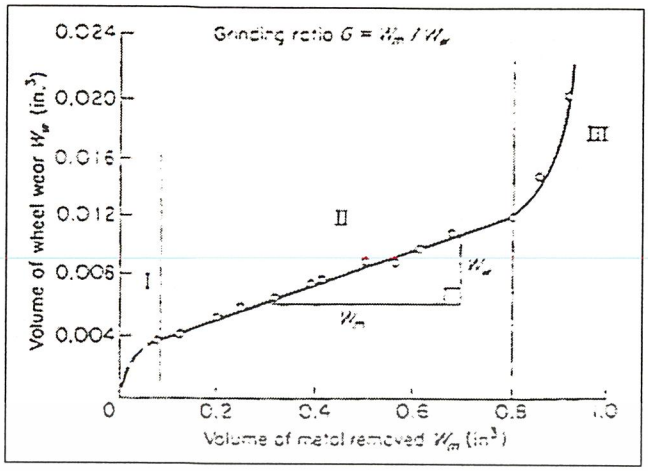
2.11.3 การประเมินสมรรถนะของงานเจียระไนและการสึกหรอของล้อหินเจียระไน

ความสามารถของงานเจียระไน เป็นหัวข้อที่ใช้สำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ของแต่ละงานเจียระไน และเป็นการเปรียบเทียบกับความสามารถของการตัด สำหรับกระบวนการตัดคมเดียว ความสามารถของงานเจียระไนเกี่ยวข้องกับแรงและกำลังที่ต้องการในงานเจียระไน การสึกหรอของล้อหินเจียระไนและอัตราการจัดเม็ดหินออก และความละเอียดของผิวที่ได้

ในวัสดุหนึ่งจะทำการพิจารณาดูความสามารถของงานเจียระไน ถ้าแรง กำลังและการสึกหรอของล้อหินเจียระไนมีค่าหรือความเป็นไปได้ต่ำ อัตราการกำจัดเม็ดหินออกจะมีค่าสูง และความละเอียดของผิวที่ได้มีความเรียบดี สมรรถนะของงานเจียระไนจะสามารถประเมินหรือกำหนดได้ในรูปดังที่กล่าวมาแล้วอันใดอันหนึ่งหรือรวมกันก็ได้

Krabacher ได้อภิปรายไว้ว่า ตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถของงานเจียระไนสามารถอภิปรายภายในรูปร่างความหนาของเศษตัด ซึ่งจะอภิปรายดังในรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 เป็นกราฟแสดงการสึกหรอของล้อหินเจียระไนสำหรับมีดกลึงตัดเดียว

I ช่วงแรก การสึกหรอของล้อหินเจียระไนเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เม็ดหินมีความคมมาก

II ช่วงที่สอง การสึกหรอจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่คงที่ เนื่องจากเม็ดหินเกิดการแตกหักและถูกดึงออกไป

III ช่วงที่สาม สืบเนื่องจากการแตกหักของเม็ดหินและการดึงออกมีค่าสูงมากทำให้มีอัตราส่วนของเม็ดหินที่ถูกดึงออกไปกับแรงในการตัดเพิ่มสูงขึ้นมาก

การสึกหรออาจจะเกิดจากสาเหตุโดยการสึกหรอทางกลไกเครื่องจักรกล การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างล้อหินเจียระไนกับวัสดุชิ้นงาน หรือการเกิดการแตกหักของความร้อนของเม็ดหิน

Variable	*Grinding Ratio*	*Net Power*	*Surface Finish*
Increase in wheel speed V	Increased	Slightly increased	Improved
Increased depth of cut d	Decreased	Increased	Deteriorated
Increase in work speed	Decreased	Increased	Deteriorated
Increase in workpiece dia.	Increased	Slightly increased	No significant change
Increase in metal removal rate	Decreased	Increased	Deteriorated
Increased work material hardness	Optimum exhibited	Slightly increased	Improved

*(after Krabacher)

รูปที่ 2.31 กระบวนการการเจียระไนของ Guest

2.12 วัสดุประสาน (Bond Materials)

โดยทั่วไปวัสดุประสาน แบ่งได้ดังนี้คือ

- ทำจากหินฟันม้าหรือดินขาว (Vitrifed) ตัวประสานชนิดนี้นิยมใช้มากในงานเจียระไน ทนอุณหภูมิได้สูง
- พวกน้ำแก้ว (Silicates of Sodium) วัสดุประสานแบบนี้จะใช้งานที่อุณหภูมิต่ำหรือทำให้ความร้อนเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของล้อหินให้น้อยที่สุด ซึ่งจะมีความแข็งกว่าชนิดทำจากหินฟันม้าแต่แบบน้ำแก้วจะยอมให้ผงขัดหลุดออกได้ง่ายกว่า มักจะใช้สำหรับวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

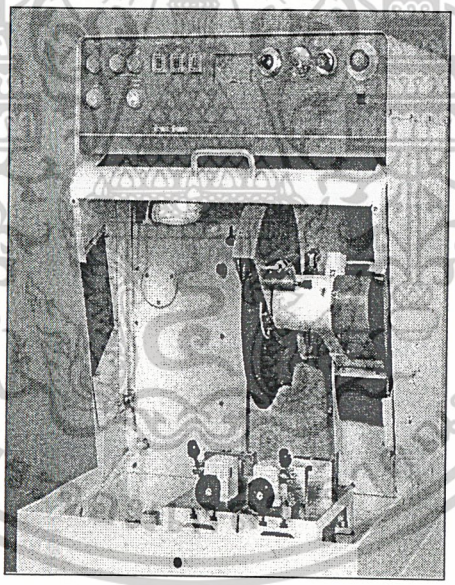
- ยาง (Rubber) วัสดุประสานนี้จะใช้สำหรับการตัดโลหะ และใช้สำหรับล้อควบคุมในงานเจียระไนไร้ศูนย์ เมื่อตัวประสานได้รับความร้อนจะทำให้อ่อนตัวและเม็ดหินหลุดออกได้ง่าย
- ครั่ง (Shellae) ใช้สำหรับงานตัดโลหะ โดยปกติแล้วจะใช้สำหรับวัสดุที่ผ่านการชุดแข็ง
- เรซินสังเคราะห์ (Resinoid or Synthetic resin) ใช้สำหรับล้อหินที่มีความแข็งแรงสูงและสามารถใช้งานที่มีความเร็วในการตัดสูง เหมาะที่จะใช้กับงานตัด การเจียรระไนกลม ที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก

2.13 เครื่องตัดวัสดุขนาดเล็ก (Cutting machines) [www.struer.com]

เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการออกแบบ จึงได้นำเครื่องตัดวัสดุขนาดเล็กชนิดต่างๆ มาทำการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.13.1 เครื่องตัดชิ้นงาน Exotom

เป็นเครื่องตัดที่สามารถตัดวัสดุได้ทุกชนิด การสึกหรอของใบมีดน้อยและใช้เวลาการตัดน้อย สามารถตัดวัสดุที่มีความยาวและรูปร่างที่ซับซ้อนได้ สามารถใช้ใบตัดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุด 350 มิลลิเมตร มีความเร็วรอบ 2675 รอบต่อนาที สามารถตัดวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ไม่เกิน 110 มิลลิเมตร ทำการตัดทั้งด้วยระบบอัตโนมัติและด้วยมือ

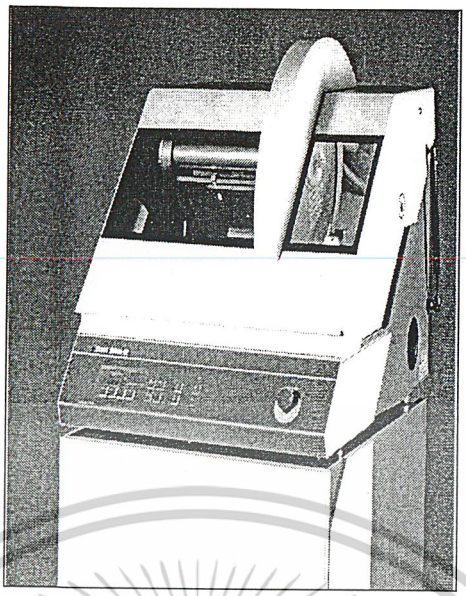


รูปที่ 2.32 เครื่องตัดชิ้นงาน Exotom

2.13.2 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ Unitom

เป็นเครื่องตัดที่ทำงานอัตโนมัติสามารถตัดวัสดุได้ทุกชนิด สามารถใช้ใบตัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 350 มิลลิเมตร มีความเร็วรอบ 2775 รอบต่อนาที ความเร็วป้อนตัดอยู่ในช่วง 0.05-3.0 มิลลิเมตรต่อวินาที สามารถที่จะตัดวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ไม่เกิน 120 มิลลิเมตร ทำการตัดด้วยระบบอัตโนมัติ

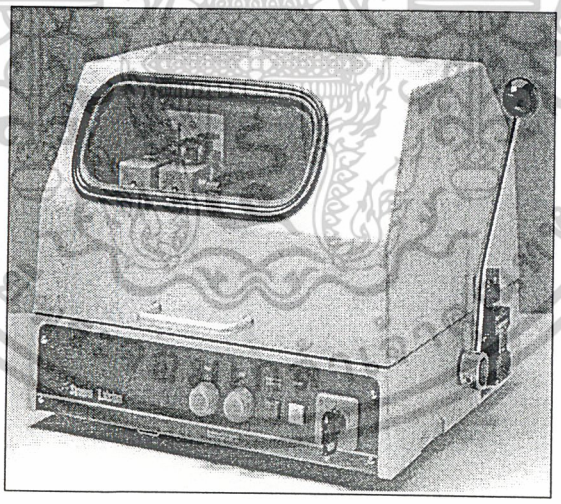
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ Unitom

2.13.3 เครื่องตัดโลหะ Labotom

เป็นเครื่องตัดโลหะขนาดเล็ก สามารถใช้ใบตัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 250 มิลลิเมตร มีความเร็วรอบ 2845 รอบต่อนาที สามารถตัดวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ไม่เกิน 90 มิลลิเมตรทำการตัดด้วยมือ

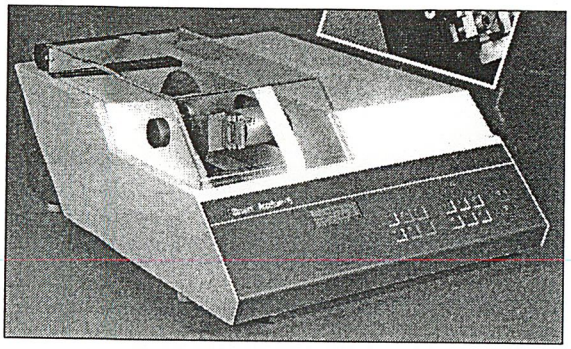


รูปที่ 2.34 เครื่องตัดโลหะ Labotom

2.13.4 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ Accutom-5

เป็นเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ มีความแม่นยำมาก สามารถใช้ใบตัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุด 152 มิลลิเมตร มีความเร็วรอบ 300-3000 รอบต่อ นาที ความเร็วป้อนตัดอยู่ในช่วง 0.005-3.000 มิลลิเมตรต่อวินาที สามารถตัดวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ไม่เกิน 100 มิลลิเมตร ทำการตัดด้วยระบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ Accuttom-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

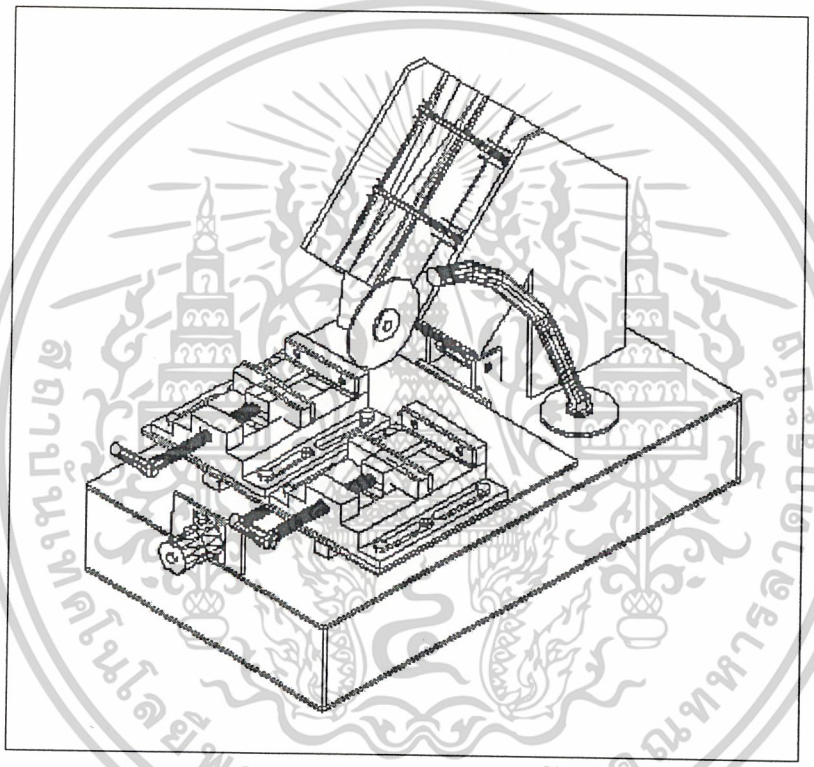
การดำเนินงาน

ในการศึกษาโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 การออกแบบโครงสร้าง

โครงสร้างของเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติจะประกอบด้วยชุดโครงสร้าง 4 ชุด คือ

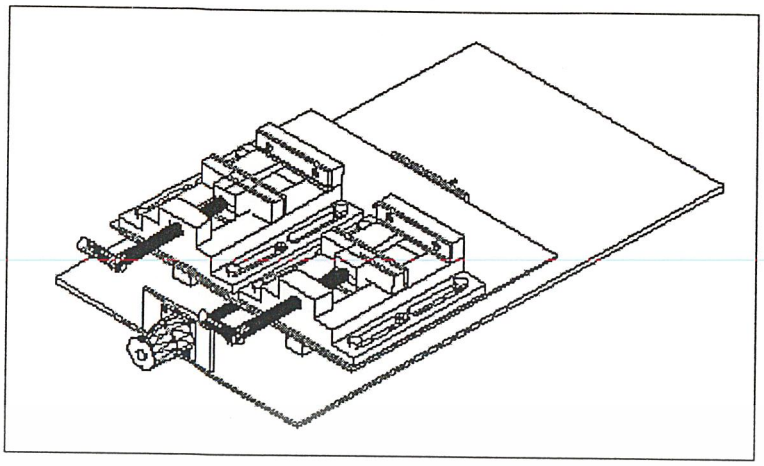
1) ชุดโครงสร้างหลัก



รูปที่ 3.1 ชุดโครงสร้างหลัก

2) ชุดป้อนชิ้นงาน ประกอบด้วยส่วนหลักๆคือ
   - ปากกาจับชิ้นงานและฐานรอง
   - ชุดขับเคลื่อนฐานรองรับปากกาจับชิ้นงาน

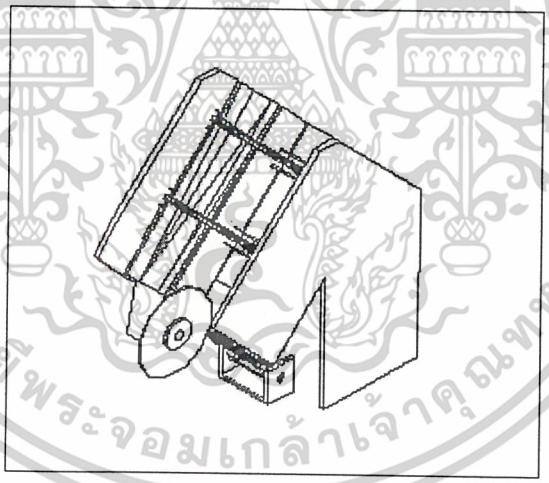
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ชุดป้อนชิ้นงาน

3) ชุดตัดชิ้นงาน ประกอบไปด้วยส่วนหลักๆคือ

- ชุดจับยึดเครื่องเจียระไน
- เครื่องเจียระไน

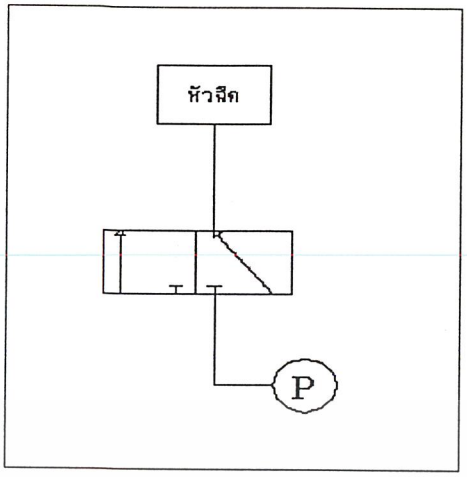


รูปที่ 3.3 ชุดตัดชิ้นงาน

4) ชุดควบคุมความร้อน

โครงสร้างการทำงานของชุดควบคุมความร้อน ออกแบบให้มีปั๊มลมเป็นแหล่งจ่ายผ่านวาล์วซึ่งเชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้าคือเมื่อมีกระแสไฟจึงให้ลมผ่านไปยังหัวฉีดเพื่อทำการเป่าลมขณะตัด

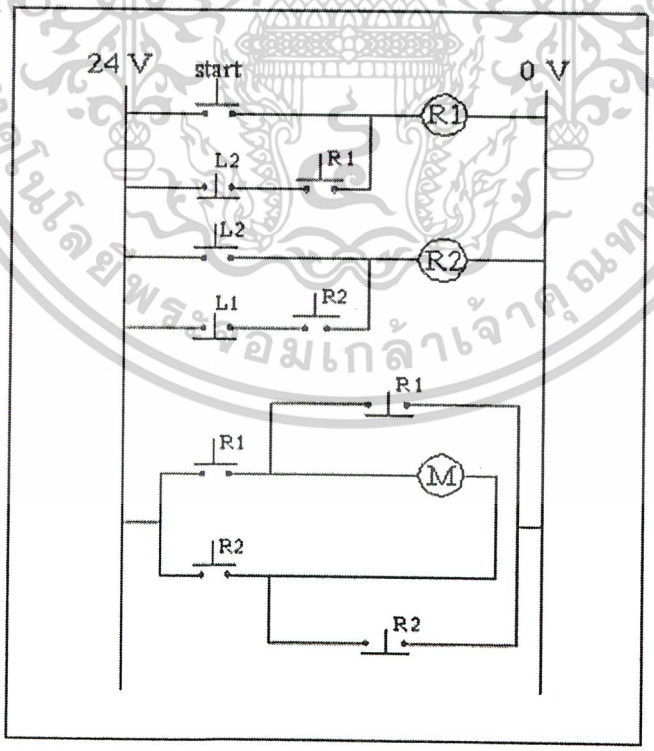
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 โครงสร้างการทำงานของชุดควบคุมความร้อน

3.2 การออกแบบวงจรควบคุม

ในส่วนของการออกแบบวงจรควบคุม มีการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานการป้อนชิ้นงาน การทำงานของวงจรออกแบบตามลักษณะการป้อนชิ้นงานคือควบคุมให้ชุดป้อนชิ้นงานเลื่อนเข้าหาชุดตัดหลังจากตัดจนชิ้นงานขาดจึงควบคุมให้ชุดป้อนชิ้นงานเคลื่อนที่กลับมาตำแหน่งเริ่มต้น



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมการทำงานการป้อนชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนการทดสอบ

หลังจากดำเนินการออกแบบจำเป็นต้องมีการทดสอบการตัดชิ้นงาน ดังนั้นจึงได้จัดทำแผนการทดสอบขึ้นเพื่อเป็นขั้นตอนในการทดสอบโดยจะแบ่งการทดสอบ ออกเป็น 2 การทดสอบคือ

1) การทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างภายในของชิ้นงาน มีรายละเอียดดังนี้

ก. จุดประสงค์

- เพื่อตรวจสอบโครงสร้างภายในของชิ้นงานหลังการตัด
- เพื่อวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของการควบคุมความร้อนขณะตัดกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของชิ้นงาน

ข. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- กล้องจุลทรรศน์
- เครื่องขัดชิ้นงานทดสอบ
- เครื่องเป่าชิ้นงานให้แห้ง
- สารเคมีกัดผิวชิ้นงานทดสอบ
- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร
- เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ

ค. วิธีการทดลอง

- นำเหล็กเหล็ก มาทำการตัด ให้ได้ขนาดความหนาของชิ้นงาน 20 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น
- นำชิ้นงานที่ได้จากการตัดไปขัดผิวหน้าให้ละเอียดด้วยกระดาษทราย ความละเอียดเบอร์ต่างๆ ได้แก่ #400 #600 #800 #1200 การขัดกระดาษทราย ในการเปลี่ยนความละเอียดของกระดาษทรายแต่ละครั้งให้เปลี่ยนแนวการขัดไปจากแนวเดิม 90 องศา เพื่อให้แนวขัดใหม่ตั้งฉากกับแนวเก่า
- นำชิ้นงานไปขัดละเอียดด้วยผงขัดอลูมินาบนผ้าสักหลาดโดยใช้ผงขัดที่มีความละเอียดตามลำดับขั้นคือ 1.0 ไมโครเมตร และ 0.3 ไมโครเมตร แล้วล้างน้ำสะอาด ล้างด้วยแอลกอฮอล์และเป่าให้แห้ง
- นำชิ้นงานที่ผ่านการขัดละเอียดด้วยผงอลูมินาไปทำการกัดผิวหน้าด้วยสารเคมี (Etchant) ที่เหมาะสม ใช้ ส่วนผสมขนาด 3% Nital (3% Nitric Acid ในแอลกอฮอล์ 97 ซม^3) ใช้เวลากัดผิวหน้าประมาณ 8-10 วินาที
- นำชิ้นงานที่ผ่านการกัดผิวหน้าแล้วไปล้างด้วยน้ำสะอาด ล้างแอลกอฮอล์ เป่าให้แห้งแล้วนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

2) การทดสอบหาความเบี่ยงเบนของระนาบจากการตัด มีรายละเอียดดังนี้

ก. จุดประสงค์

- เพื่อต้องการหาความเบี่ยงเบนของระนาบของวัสดุ
- เพื่อต้องการทราบถึงคุณภาพผิวของวัสดุหลังทำการตัด

ข. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- ชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แปรงขนอ่อน
- เวอร์เนียคาลิปเปอร์
- เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร
- เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ

ค. วิธีการทดสอบ

- นำเหล็ก มาทำการตัดให้ได้ความหนาขนาดต่างๆ จำนวน 5 ชิ้น
- นำเวอร์เนียคาลิปเปอร์มาวัดความหนาของชิ้นงาน โดยทำการวัดบนชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (บน,ล่าง ,ซ้าย,ขวา และกลาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

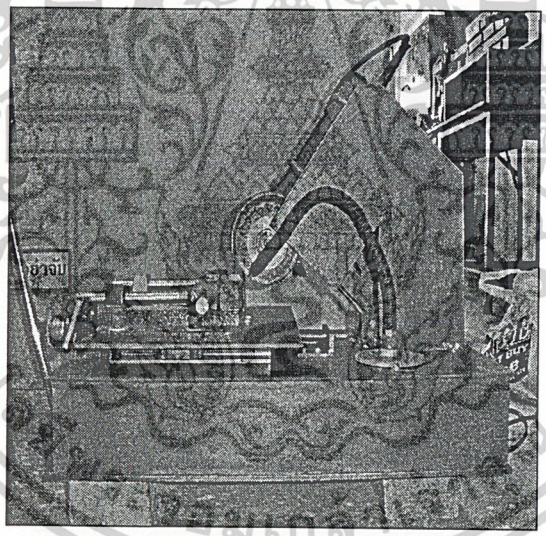
4.1 การดำเนินงานด้านโครงสร้างและวงจรควบคุม

การดำเนินงานด้านโครงสร้างและวงจรควบคุม แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) การประกอบโครงสร้างเครื่อง

นำชิ้นส่วนที่ได้จัดหาและทำการผลิตมาทำการประกอบตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ มีลำดับดังนี้

- ประกอบชุดปากกาจับชิ้นงานกับฐานรองรับ
- ยึด Slide Bar กับฐานรองรับส่วนการตัด
- นำ ฐานรองรับปากกาจับชิ้นงานมายึดติดกับ Slide Bar
- เชื่อมต่อชุดขับเคลื่อนกับฐานรองรับปากกาจับชิ้นงาน
- นำชุดยึดเครื่องเจียระไนมาเชื่อมติดกับฐานรองรับส่วนการตัด
- นำกล่องฐานสี่เหลี่ยมที่ผลิต มาเชื่อมติดกับฐานรองรับส่วนการตัด



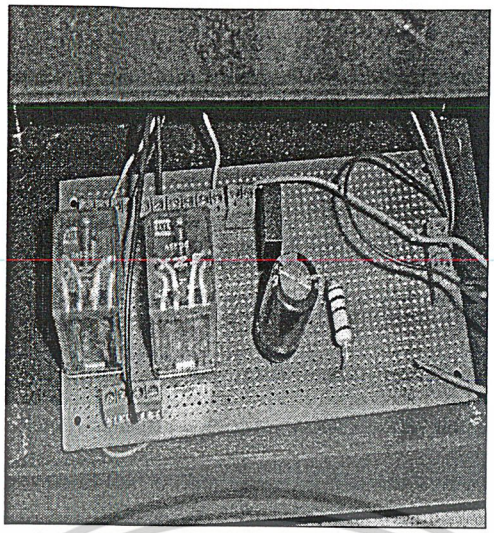
รูปที่ 4.1 แสดงภาพเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ
หลังการประกอบ

2) การจัดทำวงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง

ทำการประกอบวงจรควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย

- วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงที่ทำหน้าที่ควบคุมการเลื่อนของฐานรองรับปากกาจับชิ้นงาน
- วงจรแปลงไฟจากกระแสสลับ 220 โวลต์เป็นกระแสตรง 24 โวลต์

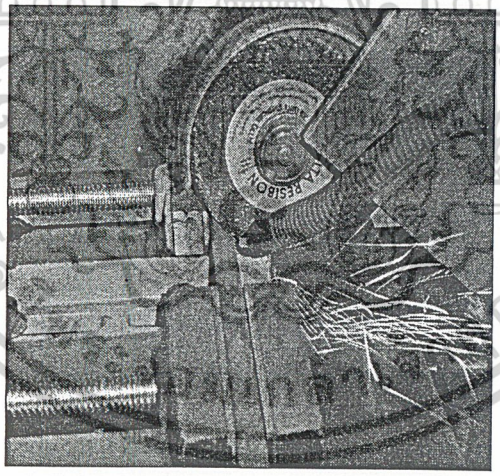
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงภาพวงจรควบคุมการทำงานของ
เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ

3) การทดลองตัดชิ้นงาน

หลังการประกอบโครงสร้างเครื่องและติดตั้งวงจรควบคุมการทำงานแล้ว ต้องมีการทดสอบการทำงานของเครื่อง โดยทดลองขับเคลื่อนฐานรองรับปากกาจับชิ้นงานและทดลองตัดชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.3 แสดงภาพการทดสอบการทำงานของ
เครื่องตัดชิ้นงานทดสอบอัตโนมัติ

4.2 ผลการทดสอบ

หลังจากดำเนินการสร้างเครื่องและทดลองตัดชิ้นงานแล้วได้มีการทดสอบตามแผนการทดสอบที่วางไว้ซึ่งมีผลดังนี้

- ผลการทดสอบโครงสร้างภายในของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบโครงสร้างภายในของชิ้นงานหลังการตัด

ครั้งที่ตัด	ลักษณะของโครงสร้างภายใน
1	ไม่เปลี่ยนแปลง
2	ไม่เปลี่ยนแปลง
3	ไม่เปลี่ยนแปลง
4	เปลี่ยนแปลง
5	เปลี่ยนแปลง

- ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของระนาบชิ้นงาน

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบความเที่ยงตรงของระนาบชิ้นงาน

ชิ้นที่ \ ตำแหน่งที่	1	2	3	4	5
1	19.2	19.2	19.1	19.2	19.2
2	19.2	19.3	19.2	19.3	19.3
3	18.3	18.3	18.2	18	18.1
4	18.6	18.7	18.5	18.5	18.6
5	18.6	18.4	18.4	18.4	18.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 สรุปผลการทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างภายในของชิ้นงาน

จากตารางการทดสอบสรุปได้ว่าโครงสร้างภายในของชิ้นงานหลังการตัดมีการเปลี่ยนแปลงบางชิ้นซึ่งเกิดจากลมที่ใช้ระบายความร้อนกระจายไม่ทั่วถึงชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการไหม้เกิดขึ้นพร้อมทั้งใบตัดบางส่วนก็เกิดเสียหายเนื่องจากการไหม้เกิดขึ้นทำให้ในการตัดชิ้นต่อมาทำให้ชิ้นงานมีโครงสร้างเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงชี้ชัดได้ว่าในการระบายความร้อนด้วยลมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชิ้นงานมาก การกระจายลมควรจะกระจายลมให้ครอบคลุมทั้งหมดของชิ้นงานหรือในบริเวณที่ทำการตัดอย่างกว้าง รวมทั้งต้องกระจายลมให้กับใบตัดด้วยเพื่อป้องกันใบตัดเกิดการเสียหายได้ อีกทั้งในการป้อนชิ้นงานควรป้อนชิ้นงานในความเร็วที่ไม่สูงนักเพื่อป้องกันการกระทบกันของใบตัดและชิ้นงานอย่างรุนแรงทำให้เกิดความร้อนและเสียหายได้

5.1.2 สรุปผลการทดสอบหาความเบี่ยงเบนของระนาบจากการตัด

จากตารางการทดสอบค่าที่วัดได้ของแต่ละชิ้นงานในตำแหน่งต่างๆมีค่าเท่ากันและต่างกันเพียงเล็กน้อยดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระนาบของการตัดไม่เบี่ยงเบน ผลกระทบของการเบี่ยงเบนของระนาบการตัดเกิดจากการติดตั้งใบตัดและชุดปากกาจับชิ้นงานต้องให้เกิดความเที่ยงตรงเพื่อป้องกันการเบี่ยงเบนของระนาบตัด

5.2 ปัญหาและข้อจำกัดในการศึกษาโครงงาน

1) ชิ้นงานที่นำมาทำการตัดยังไม่มีความหลากหลายเนื่องจากปากกาจับชิ้นงานที่ออกแบบสารถจับยึดชิ้นงานได้บางรูปแบบเท่านั้น
2) ความเร็วในการตัดชิ้นงานไม่สามารถให้ความเร็วที่สูงได้เนื่องจากข้อจำกัดในการใช้ลมในการระบายความร้อนทำให้ไม่สามารถกระจายความเย็นได้ทั่วถึงชิ้นงานถ้าเกิดใช้ความเร็วในการตัดสูง และยังทำให้ใช้เวลาในการตัดนาน
3) ในการติดตั้งเครื่องเจียระไนให้ใบตัดตั้งฉากกับปากกาจับชิ้นงานทำได้ลำบากเนื่องจากข้อจำกัดของชุดยึดเครื่องเจียระไน

5.3 แนวทางในการพัฒนาโครงงานในอนาคต

1) จัดทำระบบป้องกันความปลอดภัยในขณะตัดเพื่อป้องกันอันตรายจากสะเก็ดไฟและกรณีใบตัดเกิดเสียหาย
2) จัดทำวงจรควบคุมปั๊มลมอัตโนมัติเพื่อให้สามารถสั่งการและใช้งานลมในการระบายความร้อนได้สะดวก
3) จัดทำขาตั้งฐานเครื่องหรือยึดด้วยล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายจัดวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์. "การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1, 2". ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.
2. ทวี เทศเจริญ. "กรรมวิธีการผลิต" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. Higgins, Raymond A. "Engineering Metallurgy".Vol. 1:Applied Physical Metallurgy.-6Rev.ed. First published in Great Britain, 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้