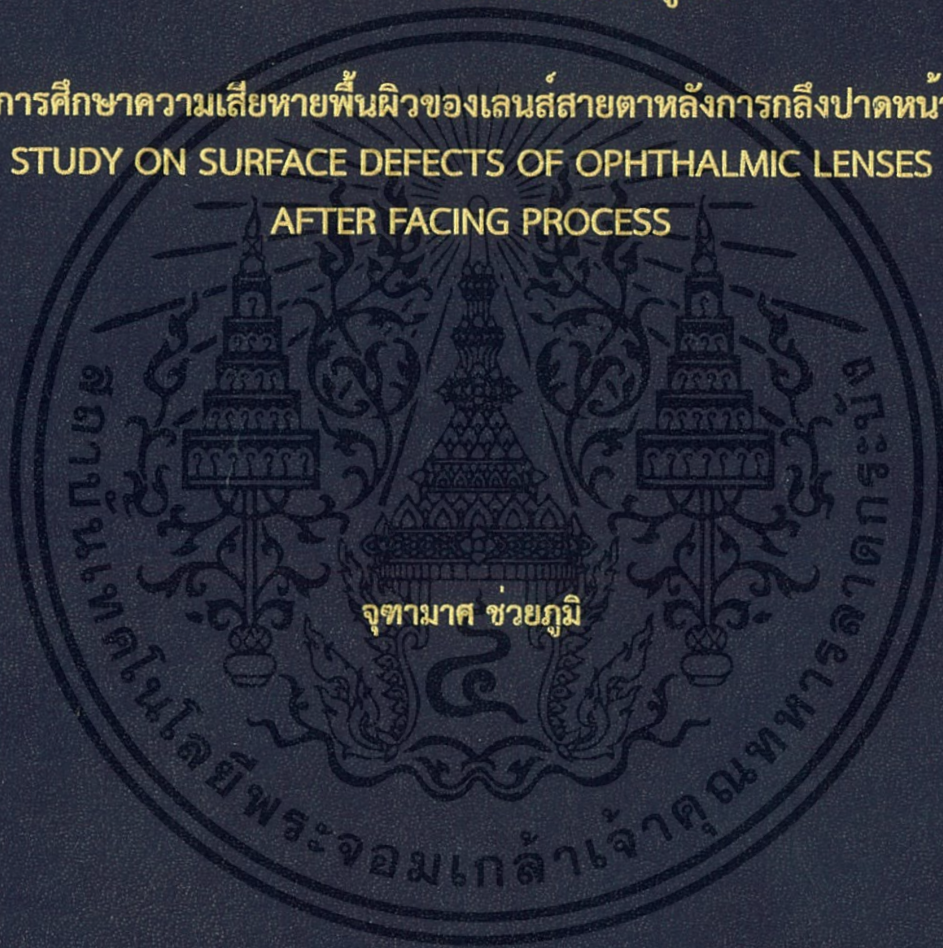




รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลึงปาดหน้า
STUDY ON SURFACE DEFECTS OF OPHTHALMIC LENSES
AFTER FACING PROCESS



จุฑามาศ ช่วยภูมิ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลึงปาดหน้า

STUDY ON SURFACE DEFECTS OF OPHTHALMIC LENSES

AFTER FACING PROCESS

จุฑามาศ ช่วยภูมิ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้า

ชื่อ-สกุล นักศึกษา น.ส.จุฑามาศ ช่วยภูมิ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.อนุนต์ .พิณโสภณ

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน Mr. Fabien Lafon

สถานประกอบการ บริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟคเจอร์ริง ประเทศไทย จำกัด

บทคัดย่อ

การศึกษาความเสียหายของพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้า โดยการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman เพื่อหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวเลนส์ ประกอบไปด้วยปัจจัยที่นำมาศึกษา 5 ปัจจัย ได้แก่ รัศมีของมีดกลิ้ง, Peak height, ความหนาของเศษ, อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน, จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน และหลังจากวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า 3 ใน 5 ปัจจัยคือ รัศมีของมีดกลิ้ง Peak height และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวเลนส์หลังการกลิ้งปาดหน้า จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งเพื่อศึกษาคุณภาพของพื้นผิวเลนส์หลังการกลิ้งปาดหน้า โดยการระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ ทำการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบพื้นผิวเลนส์ด้วยสายตา ผลจากการทดลองพบว่าคุณภาพพื้นผิวของเลนส์ขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัย ได้แก่ รัศมีของมีดกลิ้ง, Peak height, อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน, และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน

คำสำคัญ : การกลิ้งปาดหน้า, เทคนิค Plackett-Burman, ความหยาบของพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: STUDY ON SURFACE DEFECTS OF OPHTHALMIC LENSES AFTER FACING PROCESS

Student intern name: Miss Jutharmars Chuaiphum

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Advisor name: Asst. Prof. Unnat Pinsopon

Mentor name: Mr. Fabien Lafon

ABSTRACT

This project studied the effects of facing parameter on lens roughness. The parameter studied in this project are tool radius, peak height, chip thickness, workpiece speed max and workpiece speed factor. The experiments designed by Plackett-Burman technique were conducted to investigate the effects of facing parameter. Experiment results revealed that peak height, tool radius, and workpiece speed factor are the most significant parameter that effect the lens surface roughness. Another set of experiments called One-factor at a time were conducted to investigate the surface quality. The result showed that tool radius, peak height, workpiece speed factor, and workpiece speed max effect the lens surface quality

Key word : Facing Process, Plackett-Burman Technique, Surface Roughness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การปฏิบัติสหกิจศึกษาในครั้งนี้ต้องขอขอบคุณ บริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด และฝ่ายงาน Surfacing ที่ให้โอกาสในการเข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ทำให้ได้มีประสบการณ์ในการทำงานจริง เรียนรู้วิธีการทำงาน การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุก ๆ ฝ่ายที่คอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติสหกิจ อีกทั้งยังช่วยไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติสหกิจศึกษา

รายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.อนุรัตน์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำในการดำเนินงานสหกิจศึกษา รวมถึงการเขียนรายงานในครั้งนี้ อันเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติสหกิจศึกษา ผู้ศึกษาขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการสหกิจศึกษาที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือตลอดการปฏิบัติสหกิจศึกษา ให้คำแนะนำในการปฏิบัติสหกิจศึกษา ตลอดจนอบรมในด้านของกฎระเบียบ การทำงาน และความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งทำให้การปฏิบัติสหกิจศึกษาสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้จัดทำ

น.ส.จุฑามาศ ช่วยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง	1
1.3 ขอบเขตการทดลอง	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เลนส์สายตา.....	3
2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตา.....	4
2.1.2 การผลิตเลนส์สายตา	5
2.2 กระบวนการผลิตเลนส์แบบสั่งผลิต	7
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.3.1 กระบวนการตัดวัสดุ (Machining)	9
2.3.2 การศึกษาพื้นผิววัสดุ.....	13
2.3.3 การออกแบบการทดลอง	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ IV เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	23
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	24
3.3 วิธีการทดลอง	26
3.3.1 ปัจจัยที่นำมาศึกษา	26
3.3.2 การออกแบบการทดลอง Plackett-Burman Design.....	28
3.3.3 การออกแบบการทดลอง Factorial Design	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	32
4.1 ผลการทดลอง Plackett-Burman และการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	32
4.2 การทดลอง Factorial Design และ การตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตา.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก.....	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 Plackett-Burman 8-Run Design.....	17
ตารางที่ 2.2 Plackett-Burman 12-Run Design.....	17
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน.....	23
ตารางที่ 3.2 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยที่ต้องการศึกษา.....	28
ตารางที่ 3.3 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman.....	29
ตารางที่ 3.4 การสร้างการทดลองแบบ Plackett-Burman.....	30
ตารางที่ 3.5 การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman โดยการทำซ้ำ 3 ครั้ง แบบสุ่ม.....	30
ตารางที่ 3.6 ระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง Factorial Design รูปแบบทั่วไป.....	31
ตารางที่ 3.7 การออกแบบการทดลอง Factorial Design แบบทั่วไป เมื่อไม่มีการทดลองซ้ำ.....	31
ตารางที่ 4.1 การทดลอง One-factor at a time เมื่อไม่มีการทดลองซ้ำ.....	36
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง One-factor at a time จากการทดลอง 1 ครั้ง.....	37

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแสดง (a)เลนส์สำเร็จรูป(Finished Lens), (b)เลนส์กึ่งสำเร็จรูป(Semi-finished Lens)	6
รูปที่ 2.2 รูปแบบของเลนส์ (a) เลนส์ชั้นเดียว (Single Vision Lenses), (b) เลนส์สองชั้น (Bifocal Lenses), และ (c) เลนส์หลายชั้นไร้รอยต่อ (Progressive Lenses).....	6
รูปที่ 2.3 เลนส์ที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์ (Surfacing)	7
รูปที่ 2.4 กระบวนการย้อมสี (Tinting)	8
รูปที่ 2.5 กระบวนการเคลือบ (Coating)	8
รูปที่ 2.6 การประกอบเลนส์เข้ากับกรอบแว่นตา.....	9
รูปที่ 2.7 ความเร็วในการตัด (v) ระยะบ่อน (f) และความลึกของการตัด (d) ในการกลึงชิ้นงาน	9
รูปที่ 2.8 การกลึง (Turning).....	11
รูปที่ 2.9 การกลึงปาดหน้า (Facing).....	12
รูปที่ 2.10 มีดกลึงสำหรับกระบวนการตัดเลนส์สายตา.....	12
รูปที่ 2.11 การกัด (Milling).....	13
รูปที่ 2.12 ลักษณะพื้นผิว Surface Roughness, Waviness, Lay และ Flaw.....	14
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความหยาบของพื้นผิวและการหาค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิว (R_a).....	15
รูปที่ 3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ มินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (Minitab version 18).....	24
รูปที่ 3.2 เครื่องตัด VFT Orbit	24
รูปที่ 3.3 (a) เครื่องมือกัด (Milling tool), (b) เครื่องมือกลึง (Turning tool).....	25
รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความหยาบผิวชิ้นงาน Form Talysurf	25
รูปที่ 3.5 ชุดการวัดความหยาบสำหรับเครื่อง Form Talysurf	26
รูปที่ 3.6 มีดกลึงที่มีรัศมีต่างกัน (a) มีดกลึงรัศมี 2 mm., (b) มีดกลึงรัศมี 5 mm.....	26
รูปที่ 3.7 แสดงสภาวะการตัดชิ้นงานได้แก่ Cutting dept, Peak height, Spiral distance และ ของมีดกลึง.....	รัศมี 27

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 ความหนาของเศษ.....	27
รูปที่ 3.9 กราฟแสดงโปรไฟล์อัตราการบ่อนสูงสุด และจำนวนเท่าของอัตราการบ่อนสูงสุด.....	28
รูปที่ 4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองแบบ Plackett-Burman.....	32
รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	33
รูปที่ 4.3 Pareto Chart	34
รูปที่ 4.4 ปัจจัยหลักจากการทดลอง.....	35



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แว่นตา อุปกรณ์สำคัญสำหรับผู้ที่มีปัญหาทางด้านสายตา ไม่ว่าจะเป็นสายตาสั้น สายตายาว สายเอียง สายตาผู้สูงอายุ นอกจากนี้แว่นตาจะเป็นอุปกรณ์ที่แก้ปัญหาค่าสายตาต่าง ๆ แล้ว แว่นตายังเป็นอุปกรณ์เสริมสำหรับผู้ที่ต้องการถนอมสายตา หรือสวมใส่เพื่อความสวยงาม ส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญที่สุดของแว่นตา คือ เลนส์สายตา ซึ่งมีทั้งการผลิตเลนส์สำเร็จรูป (Finished Lenses) สำหรับค่าสายตาตามมาตรฐาน และการผลิตเลนส์กึ่งสำเร็จรูป (Semi-Finished Lenses) สำหรับค่าสายตาที่มีความซับซ้อน เพื่อใช้ในกระบวนการกัดผิวเลนส์ให้กลายมาเป็นเลนส์สำเร็จรูปสำหรับใช้งานต่อไป

กระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์ (Surfacing) เป็นการบวนผลิตเลนส์ที่มีความแม่นยำสูง สามารถให้ค่าสายตาที่ถูกต้องสำหรับผู้ใช้งานและนิยมใช้ในการผลิตเลนส์ที่มีค่าสายตาซับซ้อน จึงมักพบกระบวนการนี้ในการผลิตเลนส์ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ในกระบวนการนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยคือ ขั้นตอนการตัด (Machining) ซึ่งประกอบไปด้วย การกัด (Milling) และการกลึงปาดหน้า (Facing or Face Turning) หลังจากผ่านขั้นตอนของการตัดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการขัด (Polishing) ทำให้เลนส์มีลักษณะเป็นพลาสติกใส เพื่อคุณภาพในการใช้งาน

ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์นั้น เกิดจากขั้นตอนที่อยู่ภายในขั้นตอนการกลึงปาดหน้า เนื่องจากการกลึงเกิดขึ้นในสภาวะที่ต่างกันจากการควบคุมเครื่องจักรของพนักงาน หรือการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนทำการผลิต ซึ่งทำให้ผิวเลนส์ที่ถูกกัดเกิดความเสียหาย และไม่สามารถส่งมอบเลนส์ที่ผลิตให้กับลูกค้าได้ จึงมีการปรับปรุงความเสียหายนั้นโดยการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ใช้ในขั้นตอนการกัด โดยการลองผิดลองถูกเพื่อปรับปรุงความเสียหายนั้น ๆ ซึ่งผลจากการลองผิดลองถูกโดยไม่มี ความเข้าใจในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่าง ๆ อาจทำให้การแก้ปัญหา หรืออาจทำให้เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ และส่งผลกระทบต่อสายการผลิต เช่น ผลิตงานไม่ทันตามเวลา ผลิตงานได้น้อยลง และของเสียที่เกิดจากการผลิตเพิ่มขึ้น เป็นต้น

ดังนั้น หากมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการกัด ที่สัมพันธ์กับการเกิดความเสียหายของผิวเลนส์หลังการกลึงปาดหน้า จะทำให้การแก้ปัญหาเป็นไปในแนวทางที่ดีขึ้นและประสบผลสำเร็จมากขึ้น สามารถลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากการลองผิดลองถูกของผู้ควบคุมเครื่องจักรได้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในขั้นตอนการกลึงปาดหน้า ที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวเลนส์
2. เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์สายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการทดลอง

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภายในขั้นตอนการกลึงปาดหน้า ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ตัวแปรที่ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยศึกษาความเสียหายในเรื่องของความหยาบของผิวเลนส์หลังการตัดชิ้นรูปเลนส์ที่ผลิตจากวัสดุ Polycarbonate และการวัดความหยาบของพื้นผิวโดยใช้เครื่องมือวัดความหยาบของพื้นผิววัสดุ

ศึกษาตัวแปรโดยการออกแบบการทดลอง ซึ่งใช้สองกระบวนการเพื่อหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความหยาบของผิวเลนส์ คือ การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman และการออกแบบการทดลอง Factorial Design และวิเคราะห์ผลการทดลองโดยอ้างอิงผลการทดลองทางสถิติ ซึ่งใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (Minitab version 18) เป็นโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการทดลองแสดงสภาวะหลังการกลึงปาดหน้า ที่เกี่ยวข้องกับความหยาบของพื้นผิวเลนส์
2. ผลการทดลองสามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตให้เป็นไปในแนวทางที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้านั้น ได้ทำการศึกษาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ดังนี้

2.1 เลนส์สายตา

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตา

2.1.2 การผลิตเลนส์สายตา

2.2 กระบวนการผลิตเลนส์แบบสั่งผลิต

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 กระบวนการตัดวัสดุ (Machining)

2.3.2 การศึกษาพื้นผิววัสดุ

2.3.3 การออกแบบการทดลอง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เลนส์สายตา

คำว่า “Lens” มาจากภาษาละติน โดยใช้คำว่า “Lentil” เนื่องจากรูปร่างของเลนส์ที่มีลักษณะคล้ายเมล็ดถั่ว เมื่อหนึ่งพันปีก่อนคริสตกาลได้ขุดพบหลักฐานชิ้นหนึ่งเป็นผิวของแก้วหรือผลึกหินคริสตัลซึ่งมีลักษณะโค้งนูน ในยุคเริ่มแรกนั้น เลนส์ได้ถูกใช้เพื่อเป็นแว่นขยาย จนถึงต้นศตวรรษที่ 13 เลนส์ได้เริ่มถูกนำมาใช้ในรูปภาพเพื่อการมอง โดยเลนส์ในสมัยนั้นทำมาจากคริสตัลควอตซ์ ซึ่งจะเรียกเลนส์นั้นว่า “Prebble Lenses” นับว่าเป็นครั้งแรกที่เริ่มมีการผลิตเลนส์เพื่อจำหน่าย

ต่อมาได้มีการผลิตเลนส์โดยใช้แก้วสีน้ำตาล นำมาฝนจนมีลักษณะคล้ายแผ่นแก้วบางๆ และเมื่อแผ่นแก้วได้รับความร้อนจะถูกหลอมจนนิ่มแล้วนำไปเทใส่เข้าหล่อเพื่อให้มีรูปร่างตามต้องการ การผลิตเลนส์สายตาเพื่อรักษาความผิดปกติทางสายตา เชื่อกันว่าเริ่มผลิตในช่วงปี ค.ศ. 1214 – 12294 โดย Mr.Roger Bacon ซึ่งทำการผลิตครั้งแรกในเมืองเวนิส ประเทศอิตาลี

การทำเลนส์สายตานั้น จะทำด้วยมือโดยช่างฝีมือผู้ซึ่งมีประสบการณ์จากการเจียรระไนคริสตัลสำหรับผลิตเครื่องประดับ ต่อมาได้เริ่มทำการผลิตแม่พิมพ์แบบกดขึ้นในช่วงกลางปี ค.ศ. 1500 นับว่าเป็นครั้งแรกของการปรับปรุงการผลิตเลนส์สายตา เนื่องจากความต้องการของผู้ใช้งานที่มีเพิ่มมากขึ้นทุกวัน กลุ่มผู้ใช้งานที่มีปริมาณความต้องการมากที่สุดได้แก่ กลุ่มผู้ที่มีอายุมากกว่า 45 ปี ซึ่งนับเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้อุตสาหกรรมด้านนี้มีการพัฒนาและขยายตัวอยู่ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 ในปี ค.ศ. 1930 ผู้ผลิตเริ่มมีความสนใจในการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตาจากแก้วมาเป็นพลาสติกชนิดต่าง ๆ โดยอาศัยจุดเด่นของวัสดุประเภทพลาสติกคือ น้ำหนักที่เบาและมีความโปร่งใสมากกว่า นอกจากนั้นในการออกแบบวัสดุที่ใช้ผลิตนั้น ยังมีหัวใจสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ คุณสมบัติทางกายภาพ 3 ประการคือ ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ดัชนีการสะท้อนแสง (Reference Index of Reflection) และค่าการกระจายแสงสีหรือค่า Abbe (Abbe Number)

ดังนั้นในการออกแบบเลนส์จึงต้องทำให้เลนส์ที่ได้มีน้ำหนักเบา บาง และมีค่า Abbe สูง การพัฒนาวัสดุประเภทพลาสติกที่ใช้ทำเลนส์เริ่มจาก สารประเภทเมทาคริเลต ซึ่งมักจะเกิดปัญหาเนื่องจากมีความทนทานต่อการขีดขูดต่ำ ภายหลังมีการหาวัสดุมาแทนที่ซึ่งถือได้ว่าเป็นการพัฒนาที่ประสบความสำเร็จมากระดับหนึ่งของอุตสาหกรรมเลนส์สายตาคือ ในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 สารตั้งต้นเพื่อผลิตเลนส์ได้เปลี่ยนมาเป็นพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซตมีชื่อทางเคมีว่า Diallyl Diglycol Carbonate ใช้ชื่อทางการค้าว่า ADC หรือ CR39 (จากบริษัทหรือ PPG) ซึ่งมีคุณสมบัติทนการขีดขูดได้ดี และมีน้ำหนักเบากว่าวัสดุชนิดอื่นที่ใช้ในการผลิตในเวลานั้น หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ทำเลนส์เรื่อยมาจนเป็นวัสดุประเภทโพลีคาร์บอเนต ซึ่งนับว่าเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีความโดดเด่นมาก เนื่องจากเลนส์ที่ผลิตได้จะบางกว่าเลนส์ทั่วไปมาก

ในอนาคตอุตสาหกรรมจะมีการพัฒนาทั้งทางด้าน การค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ ๆ และกระบวนการขึ้นรูปเพื่อให้ได้เลนส์สายตาที่มีคุณสมบัติที่ดีทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางแสง รวมไปถึงมีราคาที่เหมาะสม

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตา

โพลีเมอร์ที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตเลนส์สายตาสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) Diethylene Glycol Bis (Allyl Carbonate)

จุดเด่นของวัสดุประเภทนี้คือ สารตั้งต้นที่สามารถนำมาใช้ร่วมกันมีหลากหลายประเภท เช่น ไวนิลอะซิเตต (Vinyl Acetate) และเมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate) เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อให้คุณสมบัติตามต้องการเช่น ความต้านทานแรงกระแทก ความทนต่อการเสีรูปร่างด้วยความร้อน และความส่องผ่านของแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะ

เลนส์พลาสติกเทอร์โมเซตแบบโมโนเมอร์เดี่ยว (โฮโมพอลิเมอร์) ที่ได้จากสารตั้งต้นประเภทนี้จะมีดัชนีการหักเหแสง 1.49 – 1.50 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่เป็นค่าดัชนีการหักเหแสงต่ำ

นอกจากนี้เลนส์ที่ผลิตจากวัสดุประเภทนี้จะมีความใสและไม่มีสี เละเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกโปร่งใสชนิดอื่นจะพบว่ามีความทนต่อการขีดขูด ทนต่อรอยขีดขูด ทนต่อความร้อนและทนต่อ

สารเคมีได้ดีกว่า จะทำให้ได้เลนส์สายตาที่มีความแข็งแรงสูงมีความสามารถในการคงรูปและคงคุณสมบัติด้านการมองเห็นได้ดี

2) Methacrylate

จุดเด่นของวัสดุประเภทนี้คือมีความแข็งดี มีความทนแรงกระแทกและการขีดถูในระดับที่ยอมรับได้ ทนทานต่อสภาพอากาศ ทนทานต่อสารเคมีทั่วไปได้ดี (ยกเว้นสารประกอบอินทรีย์บางชนิด) และวัสดุประเภทนี้สามารถผสม Photochromic Dyes ได้ตลอดเนื้อสารเพื่อให้ได้เป็น Photochromic Lens ส่งผลให้การส่องผ่านหรือการแสดงสภาวะสีเข้มลดลงเล็กน้อย เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น

3) Thiourethane

มีจุดเด่นคือมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อการขีดถูได้ดี ทนต่อแรงกระแทกได้ดีเยี่ยม บางและมีน้ำหนักเบา และมีคุณสมบัติด้านแสงและการมองเห็นที่ดี

4) Polycarbonate

มีจุดเด่นคือมีความโปร่งใสและความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะต่ำ ค่าดัชนีการหักเหของแสง 1.586 จัดอยู่ในช่วงที่เป็นค่าดัชนีการหักเหของแสงสูง มีความเหนียวทนแรงกระแทกดีมาก ด้านทานการคืบได้ดีเยี่ยม (Creep Resistance) การคงรูปดี ดูดความชื้นได้น้อยมาก และข้อได้เปรียบอีกหนึ่งประการสำหรับเลนส์โพลีคาร์บอเนตคือ มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดีกว่า Diethylene Glycol Bis และเลนส์แก้ว นอกจากนี้เลนส์โพลีคาร์บอเนตยังมีจุดด้อยที่น่าสนใจคือ การมีผิวหน้าที่อ่อนนุ่มและความต้านทานต่อการขีดถูต่ำ ทำให้เกิดรอยขีดขูดได้ง่ายกว่าวัสดุประเภทอื่น สามารถปรับแก้ได้โดยการเคลือบผิวหน้าเลนส์เพื่อเพิ่มความต้านทานและป้องกันการขีดถู [1]

2.1.2 การผลิตเลนส์สายตา

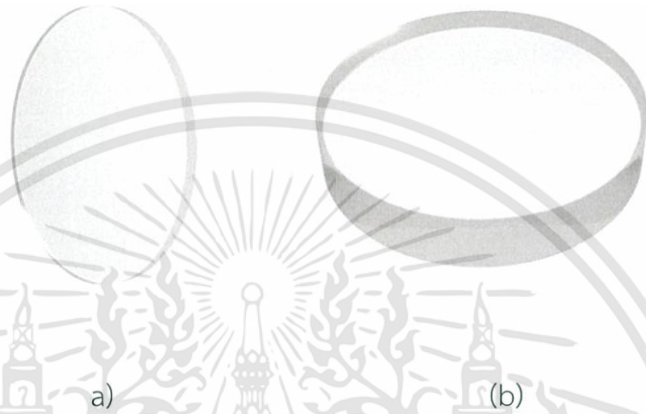
เลนส์พลาสติกมีการผลิตออกมาในสองรูปแบบ คือ เลนส์สำเร็จรูป และเลนส์กึ่งสำเร็จรูป

1) เลนส์สำเร็จรูป

เป็นเลนส์สายตาที่มีโค้งผิวเลนส์ทั้งด้านนอกและด้านในให้ได้ความโค้งเป็นค่าสายตาตามมาตรฐาน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้ตัดประกอบแว่นตาได้ทันที โดยเลนส์สำเร็จรูปนี้จะมีการจำหน่ายอยู่ทั่วไป และมีราคาถูกเนื่องจากการผลิตจำนวนมากในแต่ละรอบการผลิต ดังรูปที่ 2.1 (a)

2) เลนส์กึ่งสำเร็จรูป

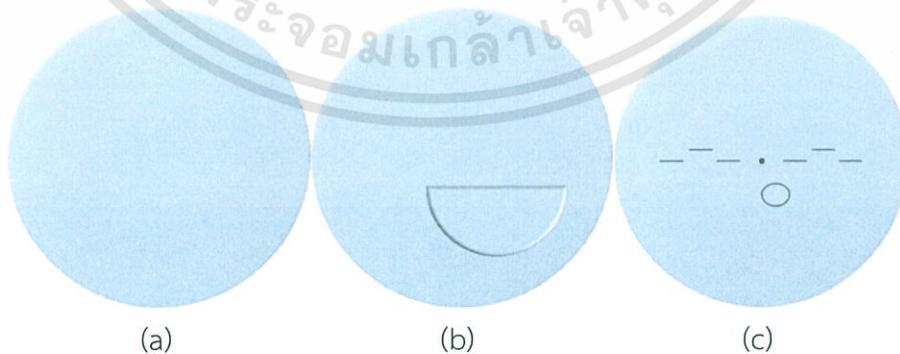
เป็นเลนส์สายตาที่มีการทำความโค้งที่ผิวเลนส์ด้านนอกให้ได้ค่าตามแบบมาตรฐานโดยผู้ซื้อจะต้องมีห้องแล็บ (Rx Lab) เพื่อนำเลนส์กึ่งสำเร็จรูปไปผ่านกระบวนการผลิตอีกหนึ่งรอบ โดยการทำให้ผิวด้านในของเลนส์มีค่าสายตาค่าสั่งของผู้ใช้งานแต่ละราย ดังรูปที่ 2.1 (b)



รูปที่ 2.1 รูปแสดง (a) เลนส์สำเร็จรูป (Finished Lens), (b) เลนส์กึ่งสำเร็จรูป (Semi-finished Lens).

ที่มา : MR Lenses optical holdings group. <http://mrlenses.co.za>

นอกจากนี้เลนส์สำเร็จรูปและเลนส์กึ่งสำเร็จรูป ยังสามารถผลิตเลนส์ได้หลายรูปแบบประกอบไปด้วยเลนส์ชั้นเดียว (Single Vision Lenses) หรือเลนส์ที่มีค่าสายตาค่าเดียว เลนส์สองชั้น (Bifocal Lenses) เป็นเลนส์ที่ใช้แก้ไขการมองเห็นที่ระยะไกล หรือระยะอ่านหนังสือ มักพบในเลนส์สายตาสำหรับผู้สูงอายุ โดยตัวเลนส์จะมีการแบ่งช่วงค่าสายตาที่ชัดเจน และเลนส์หลายชั้นไร้รอยต่อ (Progressive Lenses) เป็นเลนส์สายตาสำหรับคนที่มีค่าสายตา 2 แบบ เช่นเดียวกับเลนส์สองชั้น แต่ลักษณะภายนอกจะมีลักษณะเช่นเดียวกับเลนส์ชั้นเดียวเพื่อความสวยงามในการสวมใส่ [2]



รูปที่ 2.2 รูปแบบของเลนส์ (a) เลนส์ชั้นเดียว (Single Vision Lenses), (b) เลนส์สองชั้น (Bifocal Lenses), และ (c) เลนส์หลายชั้นไร้รอยต่อ (Progressive Lenses)

2.2 กระบวนการผลิตเลนส์แบบสั่งผลิต

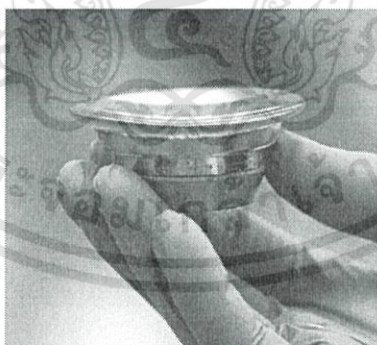
เลนส์แบบสั่งผลิต (Prescription Lens หรือ Rx Lens) คือการนำเลนส์กึ่งสำเร็จรูปมาผ่านกระบวนการผลิตอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เลนส์กึ่งสำเร็จรูปมีผิวด้านในที่มีค่าสายตาตามคำสั่งของผู้ใช้งาน ซึ่งกระบวนการผลิตเลนส์แบบสั่งผลิตนั้นจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีคำสั่งผลิตจากผู้ใช้งาน และการผลิตจะเกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการ หรือ Rx Lab

กระบวนการผลิตเลนส์ประเภทนี้ประกอบไปด้วยหลายกระบวนการย่อยตามความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนี้

1) กระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์ (Surfacing)

หลังจากที่มีคำสั่งผลิต คำสั่งจะถูกส่งมายังผ่านผลิตที่เรียกว่า Prescription lab หรือ Rx lab จากนั้นจะมีการจัดเลนส์กึ่งสำเร็จรูปเพื่อเตรียมผลิตเป็นเลนส์ที่มีค่าสายตาตามคำสั่งของผู้ใช้งาน โดยในกระบวนการนี้ประกอบไปด้วยขั้นตอนแรกคือ การติดฟิล์มป้องกันที่ผิวโค้งด้านนอกของเลนส์กึ่งสำเร็จรูปเพื่อรักษาผิวเลนส์ด้านนอกไม่ให้เกิดความเสียหาย

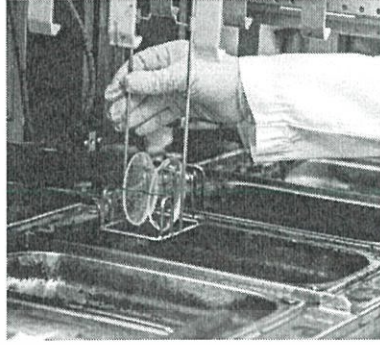
จากนั้นเลนส์ที่ทำการติดฟิล์มแล้วจะถูกยึดเข้ากับอุปกรณ์สำหรับการกัดผิวด้านใน จากนั้นเลนส์จะถูกส่งไปกัดผิวด้านในด้วยเครื่องตัดเพื่อให้ได้เลนส์ที่มีค่าต่าง ๆ ตามคำสั่งผลิต เมื่อได้เลนส์ที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะนำเลนส์ที่ได้มาขัดเพื่อให้เลนส์ใสและทำการทำเครื่องหมายอ้างอิงตำแหน่งต่าง ๆ บนเลนส์ในกรณีที่เป็นเลนส์หลายชั้นไร้รอยต่อ (Progressive Lens) ก่อนจะทำการแยกเลนส์ออกจากตัวยึดและฟิล์ม และนำเลนส์ไปทำการตรวจสอบความเสียหายบนผิวเลนส์และตรวจสอบค่าสายตาตามคำสั่งผลิต จากกระบวนการนี้จะได้เลนส์สำเร็จที่มีค่าการมองเห็นต่าง ๆ เป็นไปตามคำสั่งผลิต



รูปที่ 2.3 เลนส์ที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์ (Surfacing). [3]

2) กระบวนการย้อมสี (Tinting)

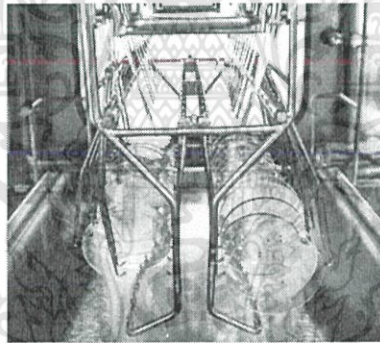
สำหรับเลนส์ที่ต้องการการย้อมสีให้เลนส์มีสีสันต่าง ๆ เลนส์ที่ผ่านกระบวนการตัดเรียบร้อยแล้วจะถูกส่งมาที่กระบวนการย้อมสี เพื่อให้เลนส์มีสีสันตามที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งมีขั้นตอนเฉพาะในการย้อมสีและการตรวจสอบสีให้มีความใกล้เคียงกันมาตรฐานมากที่สุด



รูปที่ 2.4 กระบวนการย้อมสี (Tinting). [3]

3) กระบวนการเคลือบ (Coating)

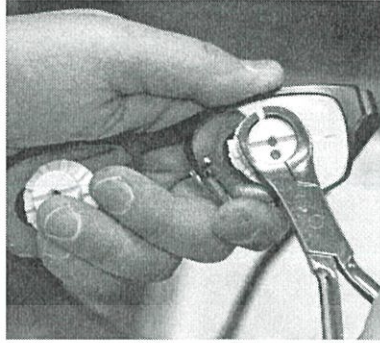
เลนส์ที่ได้หลังจากกระบวนการตัด หรือกระบวนการย้อมสีจะถูกนำมายังขั้นตอนการเคลือบ เพื่อเพิ่มการป้องกันทั้งกับตัวเลนส์และสายตาของผู้ใช้งานตัวอย่างเช่น การป้องกันรังสีต่าง ๆ การลดรอยนิ้วมือบนเลนส์ เป็นต้น ทั้งนี้ในกระบวนการนี้เลนส์จะต้องถูกนำไปทำความสะอาดด้วยสารทำความสะอาด ก่อนที่จะนำไปเคลือบสารเพื่อจุดประสงค์ตามคำสั่งผลิต หลังจากนั้นจะมีการตรวจสอบหลังการเคลือบอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าเลนส์ที่ได้มีคุณภาพตามมาตรฐาน



รูปที่ 2.5 กระบวนการเคลือบ (Coating). [3]

4) กระบวนการประกอบแว่นตา (Edging and Mounting)

หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆมาเรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการสุดท้ายคือการประกอบเลนส์เข้ากับกรอบแว่นตา ซึ่งเลนส์ที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ที่ผ่านมา จะได้เลนส์สำเร็จที่มีลักษณะเป็นวงกลม จึงต้องทำการตัดเลนส์ให้มีรูปทรงเช่นเดียวกับกรอบแว่นเพื่อให้สามารถประกอบเป็นแว่นตาเพื่อสวมใส่ได้ กระบวนการนี้จะเริ่มจากการวัดรูปร่างของกรอบแว่น รวมถึงวัดตำแหน่งดวงตาของผู้สวมใส่ จากนั้นจะทำการตัดเลนส์ให้มีขนาดพอดีกับกรอบแว่นตา แล้วทำการประกอบและตรวจสอบเพื่อให้ได้แว่นตาที่ได้มาตรฐานและมีค่าต่าง ๆ ตามคำสั่งผลิต ก่อนส่งแว่นตาที่ผลิตให้กับผู้ใช้งาน [3]



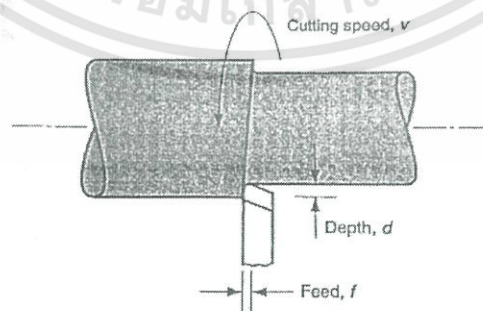
รูปที่ 2.6 การประกอบเลนส์เข้ากับกรอบแว่นตา. [3]

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 กระบวนการตัดวัสดุ (Machining)

การตัด (Machining) คือกลุ่มกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยเครื่องมือตัด (Cutting tool) ที่มีความคมตัดเนื้อวัสดุบางส่วนออกจากชิ้นงานเริ่มต้น ทำให้ส่วนที่เหลือกลายเป็นรูปทรงที่ต้องการ การตัดขึ้นรูปมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งให้รูปทรงและพื้นผิวต่างกันไป กระบวนการที่พบบ่อยได้แก่ การกลึง (Turning) การกัด (Milling) การเจาะ (Drilling) ซึ่งข้อดีของการตัดขึ้นรูปได้แก่ สามารถใช้ได้กับวัสดุหลายประเภท สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีคุณภาพ ส่วนข้อเสียของการตัดขึ้นรูปได้แก่ ความสิ้นเปลืองวัสดุ และใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูปค่อนข้างนาน

เนื่องจากการตัดเกิดขึ้นได้ด้วยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในมิติต่าง ๆ ระหว่างเครื่องมือตัดและชิ้นงาน ซึ่งการเคลื่อนที่เหล่านี้เรียกว่า สภาวะการตัด (Cutting Condition) ประกอบด้วย การเคลื่อนที่หลัก (Primary motion) คือ ความเร็วในการตัด (Cutting speed) นอกจากนี้ยังต้องมีการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดผ่านชิ้นงานไปตามด้านต่าง ๆ ของชิ้นงานนั้น ซึ่งเรียกว่า การเคลื่อนที่รอง (Secondary motion) คือ ระยะป้อน (Feed) และแนวการตัดสุดท้ายคือ ระยะที่คมตัดแทงเข้าไปในเนื้อชิ้นงาน ซึ่งเรียกว่า ความลึกของการตัด หรือ ระยะป้อนลึก (Dept of cut) [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความเร็วในการตัด (v) ระยะป้อน (f) และความลึกของการตัด (d) ในการกลึงชิ้นงาน [4]

เครื่องมือตัด (Cutting tool) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ สำหรับกระบวนการกลึง ซึ่งวัสดุทำเครื่องมือตัด (Tool Material) ที่ดีคือ วัสดุที่ใช้ในการปาดชิ้นงานได้ผลที่ถูกต้องในราคาต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับเครื่องมือกลใด ๆ ได้แก่ ความสามารถในการต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ความต้านทานต่อการขีดสีและความเหนียวแน่นซึ่งเพียงพอที่จะต้านทานต่อการแตกร้าวได้ ชุดเครื่องมือตัดใด ๆ อาจทำขึ้นได้จากวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดสำหรับวัตถุประสงค์แตกต่างกันไป ซึ่งวัสดุหลักที่ใช้ในการทำเครื่องมือตัดอาจกล่าวได้ดังนี้

1) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) ใช้กันในช่วงที่ยังไม่มีการค้นพบเหล็กกล้าความเร็วสูง โดยวัสดุนี้จะมีปริมาณคาร์บอน 0.8% - 1.2% จึงสามารถทำการชุบแข็งได้ดี และด้วยกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมอาจเพิ่มความแข็งแรงของมันจนมีค่าใกล้เคียงกับเหล็กกล้าความเร็วสูงต่าง ๆ หรืออาจทำให้มีความเหนียวแน่นได้ตามความต้องการ อย่างไรก็ตามเหล็กกล้านี้มีความสามารถในการชุบแข็งหรือความลึกในการชุบแข็งต่ำและจะสูญเสียความแข็งที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงถูกจำกัดใช้เฉพาะเครื่องมือตัดขนาดเล็ก และไม่เหมาะสมในการตัดด้วยความเร็วสูงหรือใช้ในงานหนัก แต่จะใช้กับวัสดุอ่อน

2) เหล็กกล้าความเร็วสูง (High Speed Steel : HSS) หรือเหล็กกล้ารอบสูง จะมีส่วนประกอบของโลหะผสมสูง มีความสามารถในการชุบแข็งได้ดีเป็นพิเศษ และสามารถรักษาสภาพของคมตัดที่ดีไว้ได้จนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งสภาพนี้เป็นคุณสมบัติในด้านความต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง อันเป็นคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุดในเครื่องมือตัดต่าง ๆ

3) โลหะผสมหล่อนอกกลุ่มเหล็ก (Cast Nonferrous Alloy) ประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือ โคโรเมียม โคบอลต์ และทังสเตนกับธาตุผสมในปริมาณน้อยกว่า ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปที่มีการสร้างรูปคาร์ไบด์ เช่น แทนทาลัม(Tantalum) ฟลูออไรด์หรือโบรอน(Boron) ซึ่งเป็นวัสดุที่เหมาะสมเป็นพิเศษสำหรับทำเครื่องมือตัด เมื่อหล่อให้เข้าสู่รูวัสดุจะมีความแข็งสูงและสามารถรักษามุมตัดที่ดีไว้ได้ถึงอุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าความเร็วสูง จะสามารถใช้งานที่อัตราเร็วตัดสูงกว่าถึง 2 เท่าที่อัตราป้อนเดียวกัน อย่างไรก็ตามโลหะผสมนี้จะมีราคาแพงกว่า ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อนและทำการตัดปาดได้ด้วยการเจียรระไนเท่านั้น

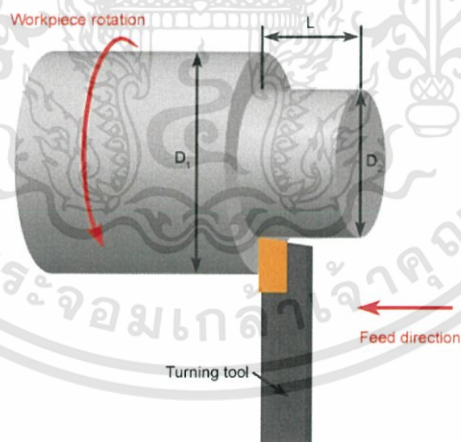
4) คาร์ไบด์ (Carbide) ทำขึ้นโดยโลหะผงเท่านั้น โดยผงโลหะของทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์จะถูกอัดให้มีรูปร่างตามต้องการแล้วนำเข้าสู่กระบวนการกึ่งยัดเหนียวในเตา ซึ่งมีบรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1550 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทำผิวสำเร็จโดยการเจียรระไน เครื่องมือคาร์ไบด์นี้มีส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์ 94% และโคบอลต์ 6% เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่น ๆ จำนวนมาก ยกเว้น เหล็กกล้า เนื่องจากเศษตัดจะยึดติดหรือเชื่อมเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และฝังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างรวดเร็ว

5) เพชร (Diamond) ใช้เป็นเครื่องมือตัดคมเดียวสำหรับการตัดที่อัตราเร็วสูง ซึ่งต้องมีการรับรองอย่างมั่นคงแข็งแรงเนื่องจากวัสดุเพชรมีความแข็งและเปราะสูงมากเป็นพิเศษ รูปแบบการใช้งานคือ ใช้ในการปาดวัสดุที่มีความแข็งจนยากต่อการปฏิบัติการด้วยเครื่องมืออื่น ๆ ทั้งยังต้องการความแม่นยำและผิวสำเร็จที่ดีเยี่ยมหรือใช้ในการตัดที่ความเร็วสูงสำหรับวัสดุอ่อนกว่า เช่น การตัดปาดพลาสติก ยางแข็ง คาร์บอนอัด และอลูมิเนียมที่อัตราเร็วตัด 5 – 25 เมตรต่อวินาที รวมทั้งยังสามารถใช้ในการตกแต่งล้อหินเจียรระโน แม่แบบดิ่งลวดขนาดเล็ก การเจียรระโนและการขัดถูจำเพาะอย่าง

6) เซรามิกส์ (Ceramics) เป็นส่วนผสมของผงอลูมิเนียมออกไซด์และสารตัวเติมจำพวกไททาเนียม แมกนีเซียม หรือโครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide) รวมตัวประสานที่ผ่านเข้ากระบวนการทำมีดเล็บ (Cutting tool insert) ตัวมีดเล็บที่ได้อาจยึดเข้ากับฐานมีได้โดยการใช้ตัวบีบจับ (Champ) หรือการใช้อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) โดยสมบัติของมีดเล็บคือ มีความแข็งแรงในด้านการต้านแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง แต่ค่อนข้างเปราะ ดังนั้นมีดเล็บจึงต้องมีค่ามุมคายเป็นลบในช่วง 5 – 7 องศา เพื่อความแข็งแรงเช่นเดียวกับฐานการรองรับซึ่งต้องทำอย่างแน่นหนา [5]

2.3.1.1 การกลึง (Turning)

เป็นการใช้เครื่องมือตัดแบบคมเดียวตัดเอาเนื้อวัสดุออกในขณะที่ชิ้นงานกำลังหมุน ทำให้เกิดเป็นทรงกระบอกหรือรูปร่างสมมาตร โดยความเร็วในการตัดเกิดจากการหมุน และระยะป้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดไปตามทิศทางที่ขนานกับแกนการหมุนของชิ้นงาน [4] ดังแสดงในรูปที่ 2.8

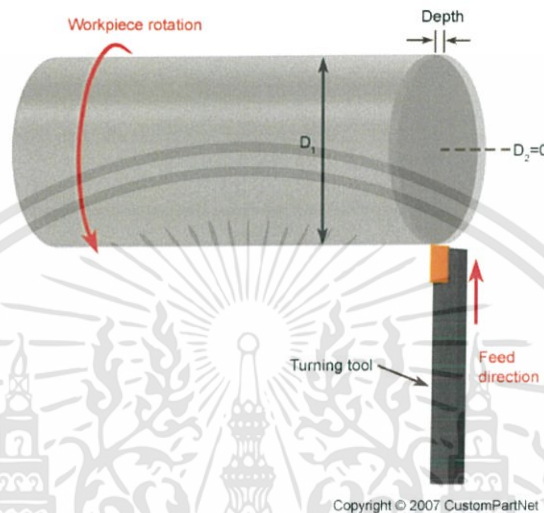


Copyright © 2007 CustomPartNet

รูปที่ 2.8 การกลึง (Turning)

ที่มา : Custompart.Net. <https://www.custompartnet.com/wu/turning>

การกลึงปาดหน้า (Facing) เป็นลักษณะการกลึงปาดผิวหน้าตัดของชิ้นงานออก ชิ้นงานจะหมุน ส่วนมีดกลึงจะเคลื่อนที่เข้าออกในแนวตั้งฉากกับ spindle เพื่อปาดผิวหน้า และเลื่อนซ้าย-ขวาในแนวเดียวกับ spindle เพื่อควบคุมความยาว [9] ดังรูปที่ 2.9 มีดที่ใช้ในการกลึงปาดหน้าสำหรับกระบวนการตัดเลนส์สายตา จะใช้มีดกลึงที่ทำมาจากเพชร มีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลม ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การกลึงปาดหน้า (Facing)

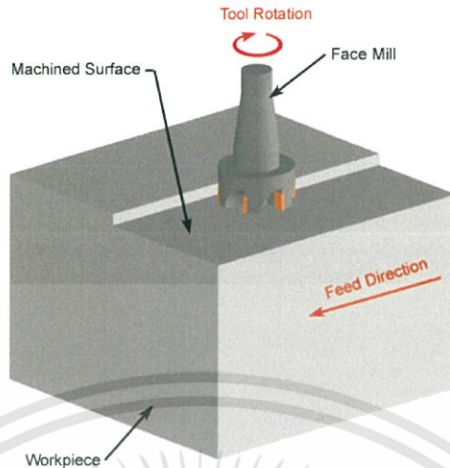
ที่มา : Custompart.Net. <https://www.custompartnet.com/wu/turning>



รูปที่ 2.10 มีดกลึงสำหรับกระบวนการตัดเลนส์สายตา

2.3.1.2 การกัด (Milling)

เป็นการใช้เครื่องมือตัดแบบหลายคมตัด หมุนและเคลื่อนที่ซ้ำๆ สัมผัสกับชิ้นงาน เพื่อทำให้เกิดระนาบหรือพื้นผิวแบบต่าง ๆ โดยที่ความเร็วในการตัดเกิดจากการหมุนของเครื่องมือตัดดังแสดงในรูปที่ 2.11



Copyright © 2007 CustomPartNet

รูปที่ 2.11 การกัด (Milling)

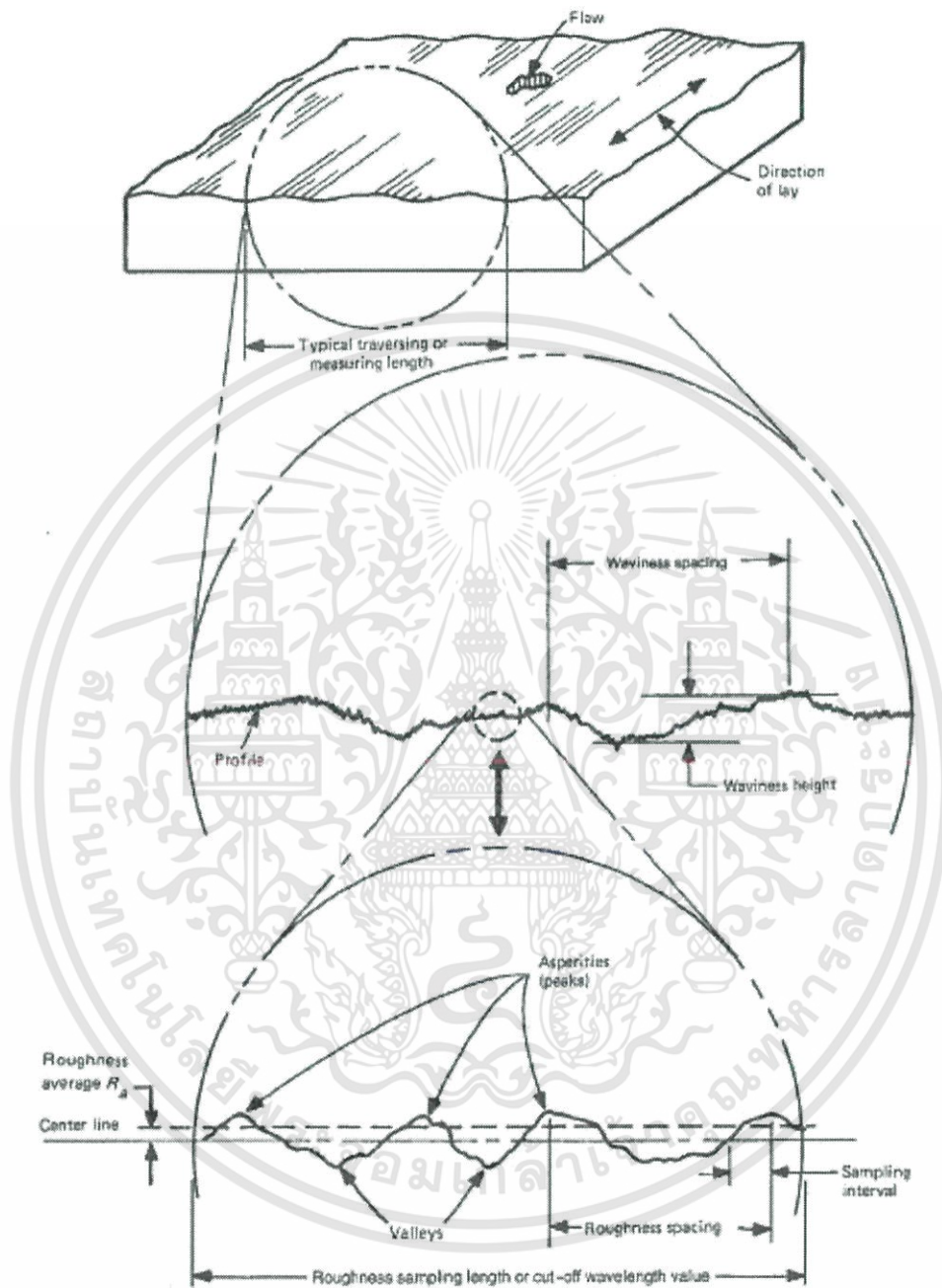
ที่มา : Custompart.Net. <https://www.custompartnet.com/wu/milling>

2.3.2 การศึกษาพื้นผิววัสดุ

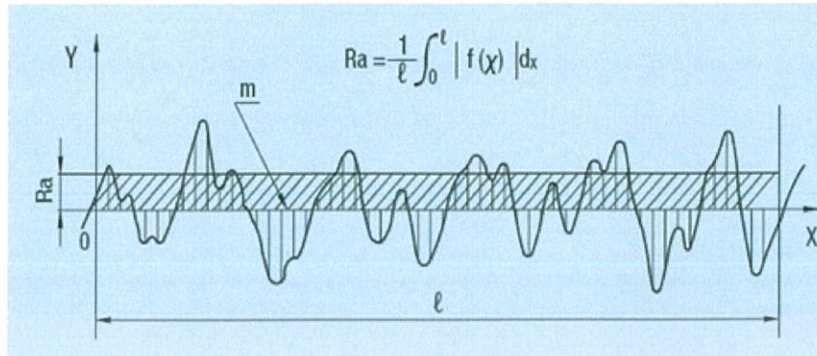
ลักษณะพื้นผิว (Surface Texture) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ หรือการสุมส่วนของพื้นผิวปกติ ซึ่งแสดงออกมาในสภาพสามมิติของพื้นผิว ประกอบไปด้วย Roughness, Waviness, Lay, และ Flaw [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.12

ความหยาบของพื้นผิว (Surface roughness) จัดเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุ ในการวัดความหยาบพื้นผิวจะใช้เครื่องวัดความหยาบพื้นผิวซึ่งปัจจุบันมีหลายแบบให้เลือกใช้งาน แบ่งตามการวัดความหยาบพื้นผิวตามเนื้อวัสดุ ซึ่งค่าที่ใช้แสดงความหยาบพื้นผิวมีหลายค่าให้ใช้ ซึ่งจะเลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ในการวัด โดยในรายงานเล่มนี้จะใช้ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิตเป็นค่าแสดงความหยาบของพื้นผิว

ความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวตามอนุกรมเลขคณิต (R_a) วัดจากกราฟความหยาบผิวที่อยู่บนเส้นอ้างอิง ระยะค่าเฉลี่ยนี้จะอยู่บนกราฟตามแนวแกน x ของเส้นอ้างอิง และแนวแกน y จะเป็นขนาดความหยาบผิว [7] ดังแสดงในรูปที่ 2.13 กราฟแสดงความหยาบของพื้นผิวและการหาค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิว (R_a) จากรูปค่า R_a จะหาได้จากสมการ $R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx$ เมื่อ $Y = f(x)$ และมีหน่วยเป็น ไมครอน (μm)



รูปที่ 2.12 ลักษณะพื้นผิว Surface Roughness, Waviness, Lay และ Flaw. [6]



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความหยาบของพื้นผิวและการหาค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิว (R_a). [7]

2.3.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variable) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น ๆ [8]

2.3.3.1 ประเภทของการทดลอง (Types of Experiment)

ในการทดลองสามารถจะจำแนกประเภทของการทดลองได้ 5 ประเภทหลัก ตามข้อมูลที่ทราบเกี่ยวกับระบบและวัตถุประสงค์ของการทดลอง ดังนี้

1) การทดลองเดี่ยวหรือการทดลองเพียงครั้งเดียว (Single experiment) คือการทดลองในกรณีที่มีผู้ทดลองมีความรู้ความเข้าใจในระบบหรือกระบวนการที่ต้องการศึกษาเป็นอย่างดี ทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญในกระบวนการเบื้องต้น แต่ต้องการทราบและชี้บ่งถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

2) การทดลองต่อเนื่อง (Continuous Experiment) คือ การทำการทดลองเพื่อที่จะลดค่าการเปลี่ยนแปลง (Variation) ในกระบวนการ โดยมีหมายในการปรับปรุงกระบวนการอย่างชัดเจน เช่น ต้องการปรับปรุงดัชนีวัดสมรรถภาพกระบวนการ (C_p , C_{pk} , C_{pm}) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ผู้ทดลองไม่มีความรู้ในกระบวนการหรือระบบที่ต้องการปรับปรุงมากนัก แต่ทราบว่ากระบวนการยังไม่ได้มาตรฐาน มีของเสียซึ่งต้องทำลายทิ้ง (Scrap) และของเสียที่นำกลับมาแก้ไขได้ (Rework) มากเกินไป

3) การทดลองแบบคัดทิ้ง (Screening Experiment) คือการทดลองที่ทำขึ้นสำหรับศึกษาระบบหรือกระบวนการใหม่ซึ่งทำการติดตั้งหรือจะติดตั้งพัฒนาขึ้นมาใหม่ ซึ่งกระบวนการที่ใหญ่หรือซับซ้อน และผู้ทดลองมีความเข้าใจในกระบวนการน้อย วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ พยายามปรับลดรายละเอียดของตัวแปรหรือปัจจัยในกระบวนการ หรือระบบเพื่อที่จะได้จำนวนปัจจัยที่เหมาะสม และทำการทดลองได้จริงในการทดลอง เพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในกระบวนการหรือระบบที่ศึกษาต่อไป

4) การทดลองแบบเจาะจง (Focusing Experiment) คือการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อโดยมีเป้าหมายกำหนดจากความต้องการในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่เลือกศึกษานั้น ๆ

5) การทดลองเชิงลำดับ (Sequential Experiment) คือการทดลองที่สร้างขึ้นเนื่องจากกระบวนการที่สนใจศึกษาสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหรือกระบวนการย่อย ๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้มีปัจจัยที่ศึกษาในภาพรวมในแต่ละขั้นตอนมาก จึงจำเป็นต้องแบ่งกระบวนการออกเป็น ส่วน ๆ และทำการทดลองกำหนดปัจจัย จากนั้นจึงนำมารวมเป็นข้อกำหนดของกระบวนการในภาพรวมเพื่อให้สามารถทำการศึกษาระบวนการหรือระบบที่มีขนาดใหญ่มากได้จริงในทางปฏิบัติ [8]

2.3.3.2 การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman (Plackett-Burman Design)

แผนการทดลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Plackett และ Burman ในปีค.ศ. 1946 เพื่อใช้ในการคัดเลือกปัจจัยออกบางส่วน (Screen Factors) เพื่อลดจำนวนปัจจัยลงเหลือเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ (มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง) เพื่อให้สามารถทำการทดลองได้ เนื่องจากข้อจำกัดของการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (2^{k-p} หรือ 3^{k-p}) จำนวนการทดลอง (n) โดยที่ไม่ทดลองซ้ำ จะเปลี่ยนลดลงไปในสัดส่วนของกำลังระดับ (2^p หรือ 3^p) นั่นคือ การทดลอง 7 ปัจจัย 2 ระดับ $n = 2^{k-p} = 2^{7-p}$ เมื่อ $p = 0, 1, 2, \dots, 6$ ดังนั้น $n = 128, 64, 32, \dots, 4$ แต่ในกรณีของ Plackett-Burman Design อาศัยหลักการของเมตริกซ์ Hadamard ซึ่งจำนวนการทดลองจะเปลี่ยนไปในเทอมของ 4 นั่นคือ 4, 8, 12, 16, 20, 24, ... แต่ละสดมภ์ประกอบด้วยค่า -1 หรือ +1 และจากจำนวนสดมภ์ทั้งหมด (n-1) สดมภ์ มีลักษณะสมดุลงเกิดขึ้นในจำนวนครั้งเท่ากัน แบบออร์โทกอนัลเป็นคู่ (Pairwise Orthogonal)

การสร้างแผนการทดลองแบบ Plackett-Burman ทำได้ดังนี้คือ

- (1) สร้างเวกเตอร์ของค่าในสดมภ์แรก (Column ปัจจัย A) ขนาดเท่ากับ n-1 โดยที่ n คือจำนวนการทดลองทั้งหมดที่ใช้ในแผนภาพแบบ Plackett-Burman เช่น $n = 8$ เวกเตอร์ในสดมภ์แรก คือ ค่า code ของปัจจัย $A = (+ + + - + - -)$
- (2) สร้างเวกเตอร์ code สำหรับ column ที่เหลือ โดยการใช้ค่าในแถวที่ n-1 ของเวกเตอร์ใน column ก่อนหน้า เลื่อนมาเป็นค่าเริ่มต้นในแถวแรก และเลื่อนค่าลงไป 1 ตำแหน่ง นั่นคือ ค่าสุดท้ายของปัจจัย A ในแถวที่ n-1 จะเท่ากับค่าแรกของปัจจัย B ดังนั้น code ของปัจจัย B = $(- + + + - + -)$ ทำเช่นนี้จนครบทุกสดมภ์ เพิ่ม code ของแถวสุดท้ายโดยใส่ค่า “-” ทุกสดมภ์ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 Plackett-Burman 8-Run Design [8]

ผลการทดลอง (Run)	ปัจจัย						
	A	B	C	D	E	F	G
1	+	-	-	+	-	+	+
2	+	+	-	-	+	-	+
3	+	+	+	-	-	+	-
4	-	+	+	+	-	-	+
5	+	-	+	+	+	-	-
6	-	+	-	+	+	+	-
7	-	-	+	-	+	+	+
8	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 2.2 Plackett-Burman 12-Run Design [8]

Run	ปัจจัย										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+
2	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-
3	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+
4	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+
5	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
6	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
7	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-
8	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-
9	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+
10	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-
11	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

จะเห็นได้ว่าในการทดลองแบบแผนการทดลองแบบ Plackett-Burman นั้นจำเป็นต้องทราบเพียงค่าเวกเตอร์เริ่มต้นขนาด (n-1) ของปัจจัยเท่านั้น เช่น

กรณี $n = 8$ ค่าเวกเตอร์เริ่มต้นคือ (+ + + - - -)

$n = 12$ ค่าเวกเตอร์เริ่มต้นคือ (+ + - + + - - - + -)

$n = 16$ ค่าเวกเตอร์เริ่มต้นคือ (+ + + + - - + + - - + - -)

$n = 20$ ค่าเวกเตอร์เริ่มต้นคือ (+ + - - + + + - + - + - - - - + + -)

Plackett-Burman Design เป็นแผนการทดลองที่มี Resolution III ข้อดีที่เห็นได้ชัดเจนคือ การกำหนดจำนวนการทดลองที่จำกัดในการศึกษาปัจจัยได้จำนวนมากพร้อม ๆ กัน เช่นการทดลอง 12 ครั้ง ศึกษาได้สูงสุด 11 ปัจจัย แต่เช่นเดียวกับการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนหรือการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปที่ไม่เก็บข้อมูลซ้ำ การวิเคราะห์ที่ใช้การคำนวณค่าผลกระทบแทนการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ จำนวนปัจจัยหลักที่ศึกษาได้สูงสุดจะไม่เกิน $(n-1)$ เสมอ เนื่องจาก Plackett-Burman เป็นแบบการทดลองที่มี Resolution III จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในกรณีที่มีผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญสูง ข้อสมมติที่สำคัญหรือข้อจำกัดในการทดลองนี้คือ ในกรณีที่มีผลกระทบร่วม ผลกระทบร่วมนั้นต้องไม่มีอิทธิพลที่จะกลบอิทธิพลหลักของปัจจัยหลัก แต่อย่างไรก็ตามผู้ทดลองสามารถปรับ Plackett-Burman Design ที่มี Resolution III ให้เป็น Resolution IV ได้โดยใช้หลักการของ Foldover Design [8]

2.3.3.3 การทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ การศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ซึ่งผลกระทบร่วม (Interaction) คือ ความล้มเหลวของผลต่างของค่าตอบสนอง (Y) ที่จะมีค่าต่าง เท่ากัน เมื่อผู้ทดลองทำการเปลี่ยนค่าระดับของปัจจัยที่หนึ่งภายใต้แต่ละระดับของปัจจัยที่สอง โดยในการทดลองแฟคทอเรียล จำนวนทดลองที่ทำมีค่าน้อยเท่ากับ ผลคูณระหว่างค่าระดับปัจจัยของทุกปัจจัย ถ้าจำนวนปัจจัย (k) มีจำนวนมาก จำนวนการทดลอง (Run : N) จะมีค่าสูงไปด้วย

ข้อดีของการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) คือ ผู้ทดลองสามารถศึกษาผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้พร้อมกันในการทดลอง กรณีที่ไม่พบผลกระทบร่วม ผู้ทดลองสามารถยืนยันผลได้ว่าในการทดลองมีแต่ปัจจัยหลัก หรือผลกระทบหลักเท่านั้นที่มีผล เมื่อทดลองครั้งต่อไปจะสามารถลดจำนวนการทดลองลงโดยใช้วิธีการทดลองเปลี่ยนค่าปัจจัยครั้งละ 1 ปัจจัย (One-factor at a time) ส่วนในกรณีที่ผลกระทบร่วมมีผล ก็จะทำให้ผู้ทดลองสามารถทราบถึงรูปแบบและอิทธิพลของผลกระทบนั้นเพื่อจะได้แนวทางในการควบคุมให้ได้จุดที่เหมาะสม [8]

2.3.3.4 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

เป็นวิธีทดสอบเพื่อหาข้อสรุปทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของระบบ เป็นพื้นฐานของการอนุมานทางสถิติ การหาข้อสรุปมักจะอิงและเน้นในค่าสถิติหลักทั้งสองกลุ่มคือ ค่าเฉลี่ย (μ) ซึ่งเป็นค่าที่ ชี้บ่งตำแหน่ง และค่าความแปรปรวน (σ^2) เนื่องจากการแปรผันโดยตรงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้อธิบายการกระจายของข้อมูล หรือความแตกต่างภายในระบบ

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) คือ การทดสอบเพื่อสรุปหรือพิสูจน์ข้อความซึ่งเป็นข้อสมมติเกี่ยวกับระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษาว่า เป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ เช่น ต้องการพิสูจน์ว่ารถยนต์ที่ผลิตขึ้นมาใช้น้ำมันน้อยหรือวิ่งได้ระยะทางเฉลี่ยมากกว่า 12 กิโลเมตรต่อลิตร ซึ่งเป็นการพิสูจน์ตำแหน่งของค่ากลาง (μ) โดยผู้กล่าวตั้งใจจะชี้ให้เห็นว่า $\mu > 12$ ในการทดสอบสมมติฐานนั้น จะแบ่งข้อสมมติเป็นสองส่วนหลักเรียกว่า สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) และสมมติฐานอื่นหรือสมมติฐานรอง (Alternate or Alternative Hypothesis)

- (1) สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis ; H_0) ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าเท็จ (Disprove) หรือข้อความที่ต้องการปฏิเสธ ข้อความที่ระบุในสมมติฐานหลักจะเป็น บทกลับหรือส่วนกลับของสมมติฐานอื่นหรือสมมติฐานรองเสมอ
- (2) สมมติฐานอื่น (Alternate Hypothesis ; H_1) ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริง (Prove) หรือต้องการยอมรับ ยกเว้น กรณีพิสูจน์ว่าเท่ากัน เครื่องหมายเท่ากับจะปรากฏในสมมติฐานหลัก เนื่องจากวิธีการในการทดสอบจะต้องทำการกำหนดระดับการทดสอบ (Significance Level หรือ Type I Error; α) จึงจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ใน H_0 ตามนิยามของค่า α

นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการทดสอบสมมติฐาน มีดังต่อไปนี้

- ความผิดพลาดในการทดสอบ (Test Error) คือการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานออกมาแล้วขัดหรือไม่ตรงกับค่าที่แท้จริงของระบบ ค่าความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- (1) ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error ; α) คือ โอกาสที่ผลสรุปจากการทดสอบสมมติฐานยืนยันการปฏิเสธข้อความในสมมติฐานหลัก (H_0) เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ระบุใน H_0 สอดคล้องกับค่าที่แท้จริง ซึ่งค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 นี้ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ระดับนัยสำคัญ (Significance Level) หรือระดับการทดสอบ (Level of Test)” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1} \\ &= P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_0 \text{ ถูกต้อง})\end{aligned}$$

(2) ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error ; β) คือ โอกาสที่ผลสรุปจากการทดสอบสมมติฐานไม่สามารถปฏิเสธข้อความในสมมติฐานหลักได้ (Fail to Reject หรือ FTR H_0) เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ระบุในสมมติฐานรอง (H_1) ถูกต้อง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$\begin{aligned}\beta &= \text{ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2} \\ &= P(\text{ไม่ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_1 \text{ ถูกต้อง})\end{aligned}$$

ซึ่งค่านี้จะนำไปคำนวณค่า “อำนาจการทดสอบ (Power of the Test)” โดย

$$\begin{aligned}\text{อำนาจการทดสอบ} &= 1 - \beta \\ &= P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_1 \text{ ถูกต้อง})\end{aligned}$$

จะเห็นว่า อำนาจการทดสอบ คือ การที่เราสามารถสรุปผลได้ตามที่คาดไว้ สิ่งที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงถูกต้องตามความเป็นจริงของระบบ

- การทดสอบทางเดียว (One-Tailed or One-Side Test) คือ การทดสอบสมมติฐานที่เครื่องหมายที่ระบุในสมมติฐานรอง (H_1) คือเครื่องหมายมากกว่า ($>$) หรือน้อยกว่า ($<$)
- การทดสอบสองทาง (Two-Tailed or Two-Side Test) คือการทดสอบสมมติฐานที่เครื่องหมายที่ระบุในสมมติฐานรอง (H_1) คือเครื่องหมายไม่เท่ากับ (\neq)
- บริเวณวิกฤตหรือบริเวณปฏิเสธ H_0 (Critical Region or Rejection Region) คือ บริเวณที่มีพื้นที่รวมเท่ากับ α และตำแหน่งของบริเวณบนการแจกแจงสถิติที่ใช้ทดสอบระบุตามเครื่องหมายในสมมติฐานรอง (H_1)

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน แบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก คือ

- (1) การตั้งสมมติฐาน คือ การระบุข้อความที่ต้องการพิสูจน์เกี่ยวกับระบบหรือประชากร โดยทั่วไปจะกำหนด H_1 ก่อน และส่วนกลับของข้อความใน H_1 บนเส้นจำนวนจริงจะระบุไว้ใน H_0 (H_1 คือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริง (Prove) และ H_0 คือข้อความที่เป็นบทกลับของ H_1 (Disprove))
- (2) การกำหนดระดับทดสอบหรือระดับนัยสำคัญ (Significance Level ; α) โดยทั่วไปค่าที่นิยมใช้คือ 5% หรือ $\alpha = 0.05$ แต่ตามความเป็นจริง ค่า α ที่สามารถใช้ได้ในช่วง 1% ถึง 10% หรือมีระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่า 90%
- (3) ระบุค่าตัวทดสอบทางสถิติหรือการแจกแจงทางสถิติที่ใช้ทดสอบ (Test Statistics) และคำนวณค่าโดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่าง ค่าตัวทดสอบทางสถิติที่ใช้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ (θ) ที่สนใจเกี่ยวกับระบบ เช่น สนใจทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย ($\theta = \{\mu, \mu_1 - \mu_2\}$) แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ (i) ทราบค่าความแปรปรวนที่แท้จริง (σ^2) ใช้ทดสอบ Z

(ii) ไม่ทราบ σ^2 แต่ทราบค่าความแปรปรวนจากตัวอย่าง (S^2) ใช้ตัวทดสอบ t และสนใจทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวน ($\theta = \{\sigma^2, \sigma_1^2/\sigma_2^2\}$) แบ่งเป็น 2 กรณีคือ (i) กรณีศึกษาประชากรเดียว (σ^2) ใช้ตัวทดสอบ χ^2 (ii) กรณีศึกษาสองประชากร (σ_1^2/σ_2^2) ใช้ตัวทดสอบ F

(4) กำหนดบริเวณวิกฤตหรือบริเวณปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ซึ่งมีพื้นที่ขนาดเท่ากับ และตำแหน่งถูกกำหนดตามเครื่องหมายใน H_1 ค่าที่เป็นตัวแบ่งบริเวณปฏิเสธ H_0 และบริเวณที่ปฏิเสธ H_0 ไม่ได้ คือค่าวิกฤต (Critical Value) ซึ่งได้จากการเปิดตารางของตัวทดสอบนั้น ๆ ซึ่งปัจจุบันถ้าใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะใช้ค่า P-value เป็นตัวช่วยตัดสินใจแทน

(5) สรุปผลการทดสอบ ในปัจจุบันการสรุปผลทำได้ 2 ลักษณะ คือ

(i) พิจารณาค่าสถิติที่คำนวณได้ใน (3) ว่าอยู่ในบริเวณปฏิเสธ H_0 หรือไม่ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าใน (3) ตกในบริเวณปฏิเสธ H_0

(ii) พิจารณาเทียบพื้นที่โดยใช้ค่า P-value เทียบกับพื้นที่ของบริเวณปฏิเสธ H_0 (α) และจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า P-value $< \alpha$ เท่านั้น

P-Value คือ ระดับนัยสำคัญที่น้อยที่สุดหรือโอกาสที่น้อยที่สุดที่จะสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักในการทดสอบสมมติฐาน เมื่อสมมติฐานหลักนั้นถูกต้อง

1 - (P-Value) คือ ระดับความน่าเชื่อถือที่แท้จริงของการทดสอบสมมติฐานนั้น ๆ

ดังนั้นการใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน จะทำให้ทราบความเชื่อมั่นที่แท้จริงและสะดวก เนื่องจากไม่ต้องมีตารางสถิติของตัวทดสอบอยู่ข้างกาย และตัดปัญหาการเปิดตารางผิด ที่สำคัญคือ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติทั่วไปจะคำนวณค่านี้ให้อัตโนมัติ ที่สำคัญคือ ต้องทราบว่าในการสรุปผลนั้น จะทำการปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า P-Value $< \alpha$ เท่านั้น ไม่ต้องคำนึงถึงเครื่องหมายใน H_1 เนื่องจากจะใช้ในการคำนวณ P-Value มาก่อนแล้วนั่นเอง [8]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยา สุขุมะลิ และ ระพี กาญจนะ [10] ทำการวิจัยในเรื่องการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอตอร์คท์มือถือ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยของแต่ละปัจจัย เพื่อลดปัญหาการเสียรูปของกรอบยึดในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอตอร์คท์มือถือ โดยมีระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญและพิจารณาเลือกระดับปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญ 5 ลำดับแรกมาทำการศึกษาและวิเคราะห์หาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง, องศาของมุมแท่นรอง, องศาของทิศทางแผ่นฟิล์มหลังจากการแยกจากกรอบยึด, ระยะกรอบยึดที่ยึดออกจากแท่นรองเพื่อรอหัวจับหยิบ และระยะความสูงที่หัวจับหยิบกรอบยึด ผลการทดลองจาก Plackett-Burman พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของกรอบยึดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองและระยะความสูงที่หัวจับหยิบกรอบยึด หลังจากนั้นนำปัจจัย

ทั้งสองพิจารณาด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design โดยกำหนดปัจจัยเป็น 3 และผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดคือที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองเท่ากับ 140.0 m/s และที่ระยะความสูงที่หัวจับยึดกรอบยึดเท่ากับ 0.045 mm สามารถลดปริมาณของเสียจากเดิม 8.65% เหลือเพียง 3.29% ส่งผลให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ถึง 5.25%

M. G. Rathil และ Sharda R. Nayse [11] ทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบของสภาวะการตัด ได้แก่ ความเร็วตัด, อัตราการป้อน, และระยะป้อนลึก ที่มีผลต่อความหยาบพื้นผิวของ mild steel ในกระบวนการกลึง ด้วยมีดกลึงที่ทำมาจากเหล็กกล้าความเร็วสูง ในการตัดแบบ dry condition และหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ให้ค่าความหยาบน้อยที่สุด การทดลองจะทำการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi's และวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากผลการทดลองพบว่าความเร็วตัดคือพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความหยาบของพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญที่สุด รองลงมาคือ อัตราการป้อนและระยะป้อนลึก

บรรจง เฟื่องฟู [12] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการกัดขึ้นรูปวัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก โดยทำการกัดเหล็กกล้าแม่พิมพ์ 3 ชนิด ด้วยสภาวะการตัดต่าง ๆ ที่กำหนด ผิวงานกัดของเหล็กกล้าแม่พิมพ์ด้วยสภาวะที่กำหนดถูกนำมาทำการศึกษาคุณภาพของผิวงานกัด ได้แก่ค่าความหยาบผิว การสึกหรอคมตัดของมีดกัด ผลการทดลองสรุปได้ว่า ความหยาบผิวของเหล็กกล้าแม่พิมพ์พลาสติกที่ผ่านการกัดซึ่งมีค่าความหยาบสูงสุด 0.593, 2.120, และ 2.627 ไมโครเมตรตามลำดับ ที่สภาวะการกัดที่เหมาะสมคือการป้อนด้วยอัตราป้อน 45 มิลลิเมตรต่อวนาที ความเร็วรอบ 637 รอบต่อวนาที และระดับความลึกการกัดที่ระยะ 3 มิลลิเมตร ส่วนสภาวะการกัดที่ทำให้เกิดการสึกหรอสูงสุดของคมตัดของดอกกัดเอนมิล พบว่าการกัดแม่พิมพ์ชนิดแรก ที่อัตราป้อน 55 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบ 510 ระดับการกัดที่ความลึก 10 มิลลิเมตร

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

ในการศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้า ได้ทำการศึกษาความหยาบของผิวเลนส์ที่ได้หลังการกลิ้งปาดหน้า วัสดุผลิตเลนส์ที่ทำมาจากโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ด้วยคุณสมบัติที่มีความอ่อนนุ่มและทนต่อการขีดข่วน ทำให้เกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย ดังนั้นการทดลองด้วยวัสดุประเภทนี้จะทำให้เห็นผลการทดลองที่ชัดเจน และเป็นแนวทางในการศึกษาความหยาบของวัสดุอื่น ๆ ต่อไปได้ ในการทดลองผู้ทดลองจึงได้ทำการวางแผนการดำเนินงานและวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้า ได้ทำการวางแผนการดำเนินงาน ดังตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน ในการเข้าร่วมโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟคเจอร์ริง (ประเทศไทย) จำกัด ระหว่างเดือนสิงหาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 4 เดือน

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←→			
ศึกษากระบวนการตัดชิ้นรูปเลนส์สายตา และปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหาย	←→			
ออกแบบการทดลอง		←→		
การทดลอง Plackett-Burman Design และวิเคราะห์ผลการทดลอง		←→		
การทดลอง Factorial Design และวิเคราะห์ผลการทดลอง			←→	
สรุปผลการทดลอง				←→

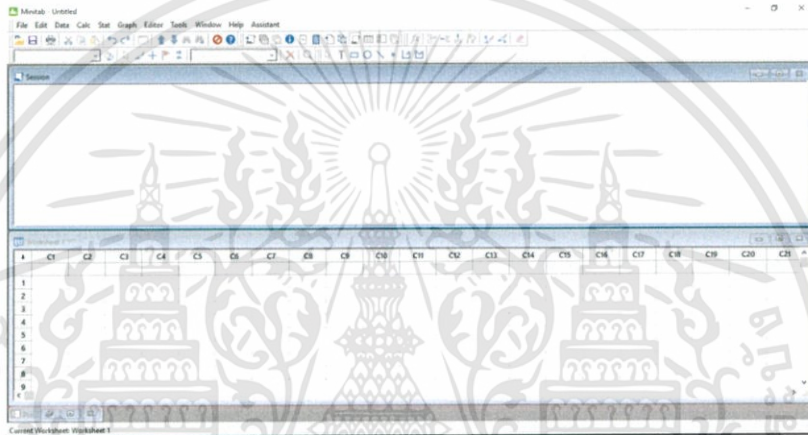
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้านั้น ได้ทำการทดลองทางสถิติเพื่อใช้วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบของชิ้นงาน โดยมีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

1) โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ มินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (Minitab version 18)

เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ใช้ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการทดลอง



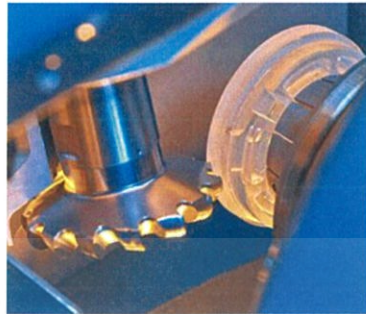
รูปที่ 3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ มินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (Minitab version 18)

2) เครื่องตัดชิ้นรูปพลาสติก VFT Orbit

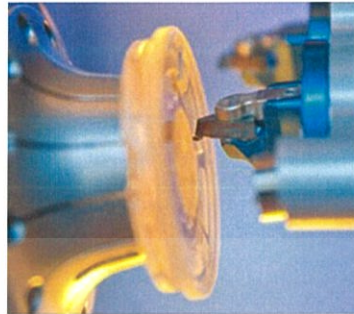
เป็นเครื่องตัดชิ้นรูป CNC สำหรับตัดชิ้นรูปเลนส์สายตาโดยเฉพาะ ภายในประกอบไปด้วยเครื่องมือกัด (Milling tool) เครื่องมือกลึง (Turning tool) ที่ทำมาจากเพชร โดย VFT ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 เครื่องตัด VFT Orbit. [13]



(a)

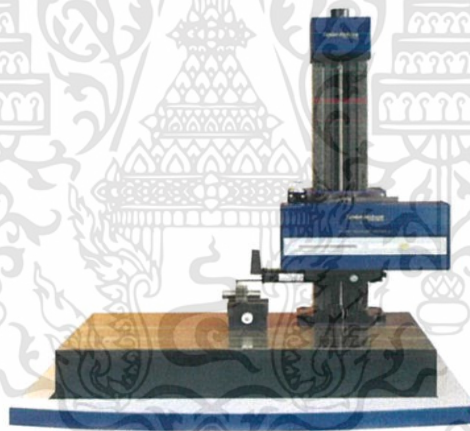


(b)

รูปที่ 3.3 (a) เครื่องมือกัด (Milling tool), (b) เครื่องมือกลึง (Turning tool). [13]

3) เครื่องมือวัดความหยาบของผิวชิ้นงาน Form Talysurf

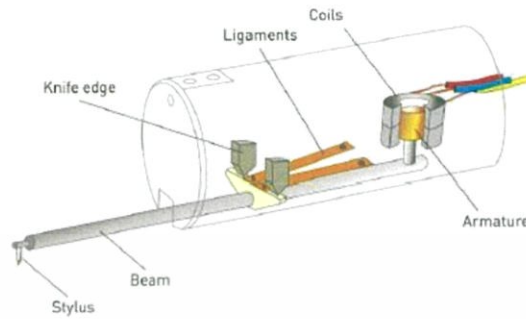
Form Talysurf เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะพื้นผิวของวัสดุ ดังรูปที่ 3.4 สามารถวัดได้ในหลายรูปแบบ โดยในการทดลองครั้งนี้จะใช้สำหรับวัดความหยาบของพื้นผิววัสดุและแสดงผลเป็นค่าความหยาบเฉลี่ย (Ra)



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความหยาบผิวชิ้นงาน Form Talysurf [14]

หลักการทำงานของ Form Talysurf

ใช้วัดความหยาบของพื้นผิวด้วยหลักการทางอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบไปชุดการวัดที่เป็นก้านวัด ที่ปลายประกอบด้วยหัววัดที่ทำมาจากเพชรที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.002 mm ดังรูปที่ 3.5 เมื่อหัววัดเลื่อนผ่านชิ้นงาน จะทำการวัดโปรไฟล์ของพื้นผิวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของก้านวัดขึ้น-ลง การเคลื่อนที่ของก้านวัดจะถูกเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าและแสดงผลการวัดผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 ชุดการวัดความหยาบสำหรับเครื่อง Form Talysurf [14]

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ปัจจัยที่นำมาศึกษา

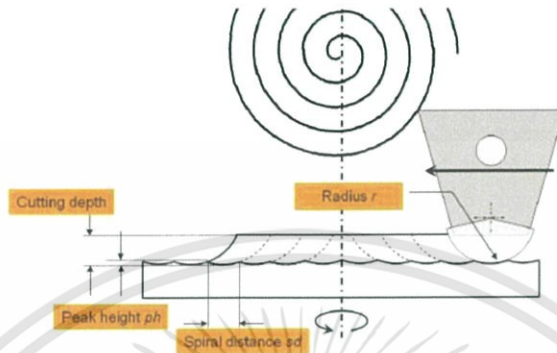
ในการศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาในกระบวนการกลึงปาดหน้า จากการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายที่อยู่ในขั้นตอนการกลึงปาดหน้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งกระบวนการตัดขึ้นรูป เนื่องจากเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการตัดขึ้นรูป ก่อนที่เลนส์จะถูกนำไปขัดให้เรียบ ซึ่งในการกลึงปาดหน้าประกอบไปด้วยสถานะในการกลึงที่ผู้ควบคุมเครื่องตัดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงนำมาเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการทดลองในครั้งนี้ ปัจจัยที่นำมาศึกษาประกอบไปด้วย

- 1) มีดกลึง (Turning) เป็นมีดกลึงที่ทำมาจากเพชร มีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม Rake angle 20° และมีขนาดรัศมีที่แตกต่างกัน 2 ขนาดคือ รัศมี 2 mm. และรัศมี 5 mm. ดังรูปที่ 3.6



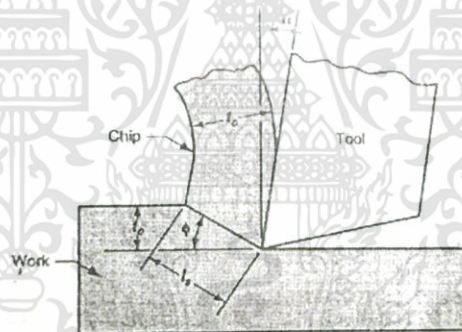
รูปที่ 3.6 มีดกลึงที่มีรัศมีต่างกัน (a) มีดกลึงรัศมี 2 mm., (b) มีดกลึงรัศมี 5 mm.

2) Peak Height คือความลึกที่มีดกถึงถึงรอยรัศมีของมีดไว้ที่ผิวหน้าของวัสดุ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงสภาวะการตัดชิ้นงานได้แก่ Cutting dept, Peak height, Spiral distance และรัศมีของมีดกถึง [15]

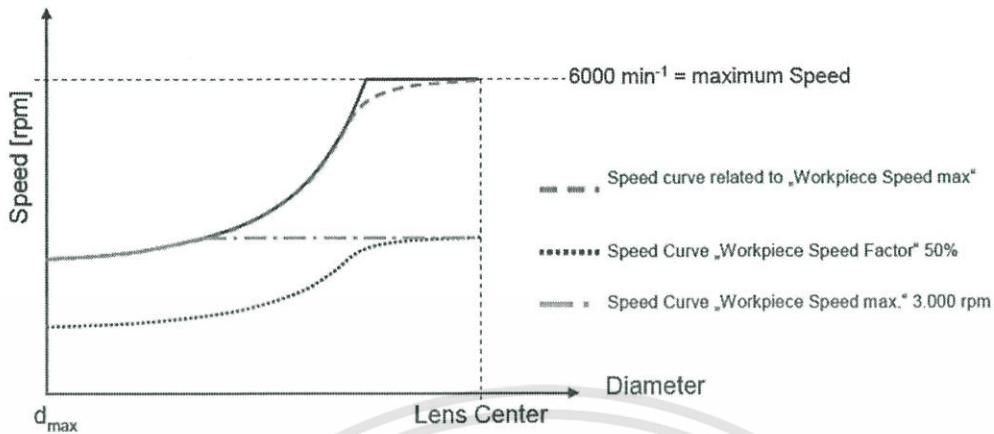
3) Chip thickness หรือความหนาของเศษ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ความหนาของเศษ [4]

4) Work piece speed max คือ อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.9

5) Work piece speed factor คือ จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน โดยความเร็วที่กึ่งกลางชิ้นงานจะมีความเร็วเท่ากับความเร็วสูงสุดที่กำหนด แสดงเป็นค่าร้อยละ ทำให้ลักษณะกราฟอัตราการป้อนของชิ้นงานแตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงโปรไฟล์อัตราการป้อนสูงสุด และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุด [15]

ดังนั้นสามารถกำหนดปัจจัยในการทดลองได้ทั้งหมด 5 ปัจจัยได้แก่ รัศมีของมีดกลึง, ระยะป้อนลึก, ความหนาของเศษ, อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน, จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน โดยแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วยระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษาดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยที่ต้องการศึกษา

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัย		
		1	2	3
รัศมีของมีดกลึง	mm	2	5	
Peak height	μm	0.125	0.25	0.375
ความหนาของเศษ	mm	0.1	0.2	0.3
อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน	rpm	2250	4500	5000
จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน	%	37	75	100

3.3.2 การออกแบบการทดลอง Plackett-Burman Design

เนื่องจากหากนำปัจจัยและระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษา มาทำการทดลองโดยใช้การทดลอง Factorial Design เมื่อคำนวณหาจำนวนการทดลอง สำหรับการทำการทดลองซ้ำ 3 รอบจะหาได้ดังนี้

$$\text{จำนวนการทดลอง} = 2^1 \times 3^4 \times 3 = 486 \text{ การทดลอง}$$

ซึ่งเป็นจำนวนการทดลองที่มากเกินไป และใช้ต้นทุนในการทดลองสูง ดังนั้นจึงนำเอากการทดลองแบบ Plackett-Burman เข้ามาช่วยในการหาปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนในการทดลองได้ เนื่องจากจำนวนการทดลองที่ลดลง

ในการทดลองแบบ Plackett-Burman จะทำการทดลอง 5 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีระดับปัจจัย 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ มินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (minitab version 18) โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้

- 1) จำนวนทดลอง 12 การทดลอง โดยกำหนดจากการทดลอง Plackett-Burman ที่จำนวนการทดลองจะเปลี่ยนไปในเทอมของ 4 โดยจำนวนการทดลอง 12 เป็นค่าที่เพียงพอสำหรับการทดลอง 5 ปัจจัยเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
- 2) การทำซ้ำ (Replication) 3 ครั้ง เพื่อความเที่ยงตรงของข้อมูล ซึ่งหากการทดลองทั้ง 3 ครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน จะทำให้ข้อมูลมีความเที่ยงตรงมาก
- 3) ทำการทดลองแบบสุ่ม เพื่อขจัดความลำเอียง ซึ่งอาจเกิดจากตัวผู้ทดลองในการจัดลำดับการทดลอง และเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่กำหนดว่า ความคลาดเคลื่อนจะต้องมีการกระจายปกติและเป็นอิสระต่อกันโดยการทำการทดลองแบบสุ่ม

ดังนั้น รวมจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 36 การทดลอง

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัย	
		-	+
รัศมีของมีดกลึง	mm	2	5
Peak height	µm	0.25	0.375
ความหนาของเศษ	mm	0.2	0.3
อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน	rpm	4500	5000
จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน	%	75	100

จากเงื่อนไขในการทดลองสามารถสร้างการทดลองแบบ Plackett-Burman ได้ดังนี้

- 1) เพื่อความสะดวกในการสร้างการทดลอง กำหนดให้ A คือ รัศมีของมีดกลึง, B คือ Peak height, C คือ ความหนาของเศษ, D คือ จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน และ E คือ อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน จากนั้นทำการใส่ค่าเวกเตอร์ของค่าปัจจัยแรก (Column ปัจจัย A) ขนาดเท่ากับ $12-1 = 11$ ตาม code ของการทดลองที่กำหนดเอาไว้ในการทดลองแบบ Plackett-Burman คือ (+ + - + + + - - - + -) ดังตารางที่ 3.4 (a)
- 2) สร้างเวกเตอร์ code สำหรับ column ที่เหลือ โดยการใช้ค่าในแถวที่ n-1 ของเวกเตอร์ใน column ก่อนหน้า เลื่อนมาเป็นค่าเริ่มต้นในแถวแรก และเลื่อนค่าลงไป 1 ตำแหน่ง นั่นคือ ค่าสุดท้ายของปัจจัย A ในแถวที่ n-1 จะเท่ากับค่าแรกของปัจจัย B ดังนั้น code ของปัจจัย B = (- + + - + + - - - +) ทำเช่นนี้จนครบทุกปัจจัยเพิ่ม code ของแถวสุดท้ายโดยใส่ค่า “-” ทุกปัจจัย ดังตารางที่ 3.4 (b) และ (c)

ตารางที่ 3.4 การสร้างการทดลองแบบ Plackett-Burman

(a)						(b)						(c)					
Run	A	B	C	D	E	Run	A	B	C	D	E	Run	A	B	C	D	E
1	+					1	+	-	+	-	-	1	+	-	+	-	-
2	+					2	+	+	-	+	-	2	+	+	-	+	-
3	-					3	-	+	+	-	+	3	-	+	+	-	+
4	+					4	+	-	+	+	-	4	+	-	+	+	-
5	+					5	+	+	-	+	+	5	+	+	-	+	+
6	+					6	+	+	+	-	+	6	+	+	+	-	+
7	-					7	-	+	+	+	-	7	-	+	+	+	-
8	-					8	-	-	+	+	+	8	-	-	+	+	+
9	-					9	-	-	-	+	+	9	-	-	-	+	+
10	+					10	+	-	-	-	+	10	+	-	-	-	+
11	-					11	-	+	-	-	-	11	-	+	-	-	-
12						12						12	-	-	-	-	-

3) เพิ่มการทดลองซ้ำเป็น 3 ครั้ง และทำการสุ่มลำดับในการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติมินิแท็บเวอร์ชัน 18 ในการสุ่มลำดับการทดลอง ผลการออกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman โดยการซ้ำ 3 ครั้ง แบบสุ่ม

Run	A	B	C	D	E	Run	A	B	C	D	E
1	-	-	-	+	+	19	+	+	-	+	-
2	+	-	+	-	-	20	-	+	+	+	-
3	-	+	+	-	+	21	+	-	+	+	-
4	-	-	-	+	+	22	+	+	+	-	+
5	-	-	+	+	+	23	+	+	+	-	+
6	-	+	+	-	+	24	+	+	-	+	+
7	+	+	-	+	-	25	+	-	+	+	-
8	-	-	-	-	-	26	-	+	+	-	+
9	-	-	-	-	-	27	+	-	-	-	+
10	+	+	+	-	+	28	+	-	-	-	+
11	-	-	+	+	+	29	-	+	+	+	-
12	+	+	-	+	+	30	-	+	-	-	-
13	-	-	-	-	-	31	+	+	-	+	-
14	-	+	-	-	-	32	+	+	-	+	+
15	-	+	+	+	-	33	+	-	+	+	-
16	+	-	+	-	-	34	+	-	+	-	-
17	+	-	-	-	+	35	-	-	+	+	+
18	-	+	-	-	-	36	-	-	-	+	+

3.3.3 การออกแบบการทดลอง Factorial Design

ทำการออกแบบการทดลอง Factorial Design รูปแบบทั่วไป เมื่อทราบปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความหยาบพื้นผิวชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ รัศมีของมีดกลึง, Peak height และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน โดยเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับปัจจัยใน 2 ปัจจัย คือ Peak height และจำนวนเท่าของอัตราเร็วสูงสุดของชิ้นงาน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระดับที่กว้างขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง Factorial Design รูปแบบทั่วไป

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัย		
		1	2	3
รัศมีของมีดกลึง	mm	2	5	
Peak height	μm	0.125	0.25	0.375
จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน	%	37	75	100

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แบบสุ่ม สามารถคำนวณหาจำนวนการทดลองได้ดังนี้

$$\text{จำนวนการทดลอง} = (\text{ผลคูณของจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย}) \times (\text{การทดลองซ้ำ})$$

$$\text{จำนวนการทดลอง} = (2 \times 3 \times 3) \times 3 = 54 \text{ การทดลอง}$$

โดยในการทดลองแต่ละครั้งประกอบไปด้วยจำนวนการทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง และผลการออกแบบการทดลอง Factorial Design แบบทั่วไปแสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การออกแบบการทดลอง Factorial Design แบบทั่วไป เมื่อไม่มีการทดลองซ้ำ

Tool radius (mm)	Peak height (μm)	Workpiece speed factor (%)	Tool radius (mm)	Peak height (μm)	Workpiece speed factor (%)
2	0.125	37	5	0.125	37
		75			75
		100			100
	0.25	37		0.25	37
		75			75
		100			100
	0.375	37		0.375	37
		75			75
		100			100

บทที่ 4 ผลการทดลอง

จากการศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้า โดยทำการทดลองทางสถิติ วัดความหยาบของผิวชิ้นงาน ปรากฏผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

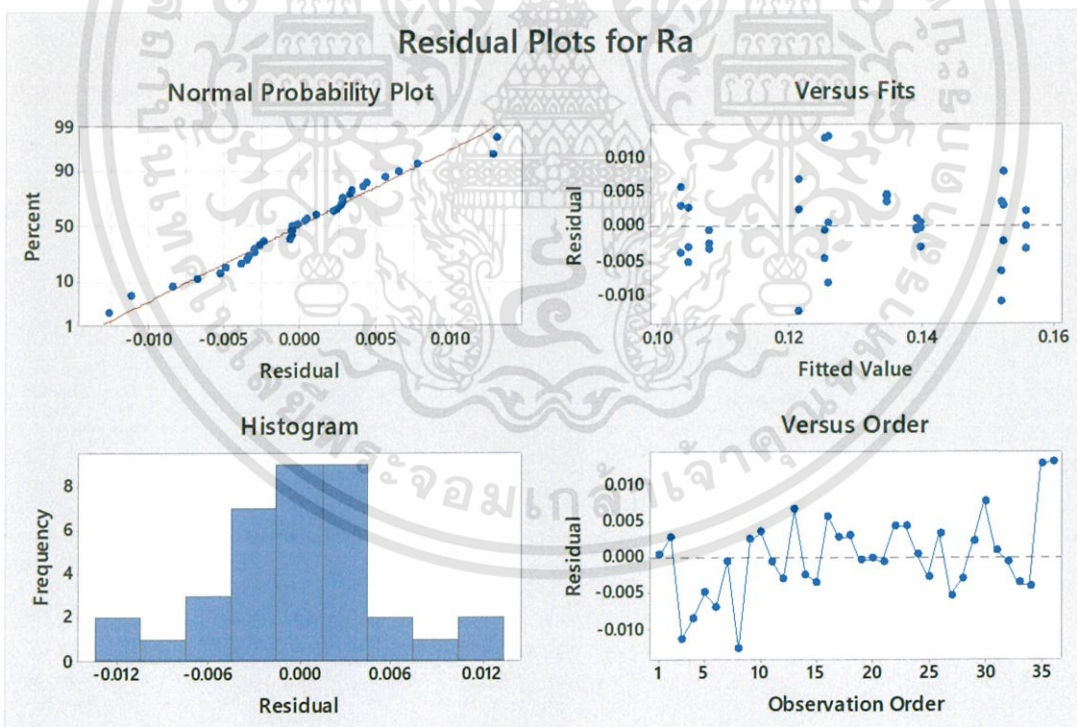
4.1 ผลการทดลอง Plackett-Burman และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2 การทดลอง Factorial Design และ การตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตา

4.1 ผลการทดลอง Plackett-Burman และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากมีการกำหนดปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญแล้ว และระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตาราง 3.3 โดยการทดลองแบบ Plackett-Burman เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากตารางที่ 3.3 ทั้ง 5 ปัจจัย มี 2 ระดับและทำการทดลองซ้ำ 3 Replicates แบบสุ่ม ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 36 ครั้ง

จากผลการทดลอง วัดความหยาบของพื้นผิวและบันทึกค่าความหยาบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ มินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (Minitab version 18) สำหรับแสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองแบบ Plackett-Burman

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เป็นการตรวจความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเพื่อความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้ ซึ่งจากรูปทำการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) พบว่าจากกราฟ Normal Probability Plot (ซ้ายบน) ข้อมูลอยู่ใกล้เคียงกับเส้นปกติ จุดตัดจะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และลักษณะการเกิดจุดตัดจะต้องไม่กระจุกเป็นกลุ่ม ๆ สามารถอนุมานได้ว่าข้อมูลนี้มีความเหมาะสม และจากกราฟ Versus Fits (ขวาบน) ตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของข้อมูล ซึ่งดูได้จากการกระจายตัวของข้อมูลที่แทนด้วยจุด จากลักษณะการกระจายของข้อมูลสามารถอธิบายได้ว่าการกระจายที่ค่อนข้างเป็นอิสระต่อกัน และกราฟ Versus Order (ขวาล่าง) ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับปัจจัย พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน สามารถสรุปได้ว่าผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแบบ Plackett-Burman มีความถูกต้องและสามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไปได้

จากผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติมินิแท็บ เวอร์ชัน 18 (Minitab version 18) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0.011492	0.002298	63.15	0.000
Linear	5	0.011492	0.002298	63.15	0.000
Tool Radius	1	0.002656	0.002656	72.96	0.000
Peak height	1	0.008668	0.008668	238.14	0.000
Chip thickness	1	0.000006	0.000006	0.16	0.694
Work piece speed factor	1	0.000161	0.000161	4.43	0.044
Work piece speed max	1	0.000002	0.000002	0.05	0.818
Error	30	0.001092	0.000036		
Lack-of-Fit	6	0.000210	0.000035	0.95	0.479
Pure Error	24	0.000882	0.000037		
Total	35	0.012584			

รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.2 ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 โดยการทดสอบสมมติฐานการทดลอง โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

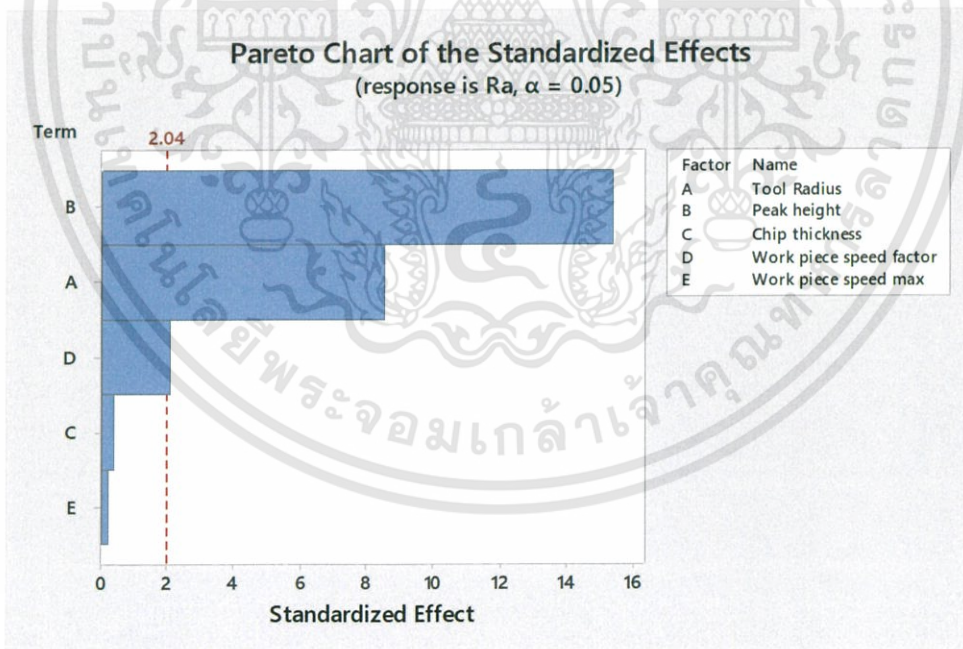
สมมติฐานหลัก (H_0) : $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = 1$ (ปัจจัยไม่มีผลต่อความหยาบของพื้นผิวชิ้นงาน)

สมมติฐานรอง (H_1) : $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \neq 1$ (ปัจจัยมีผลต่อความหยาบของพื้นผิวชิ้นงาน)

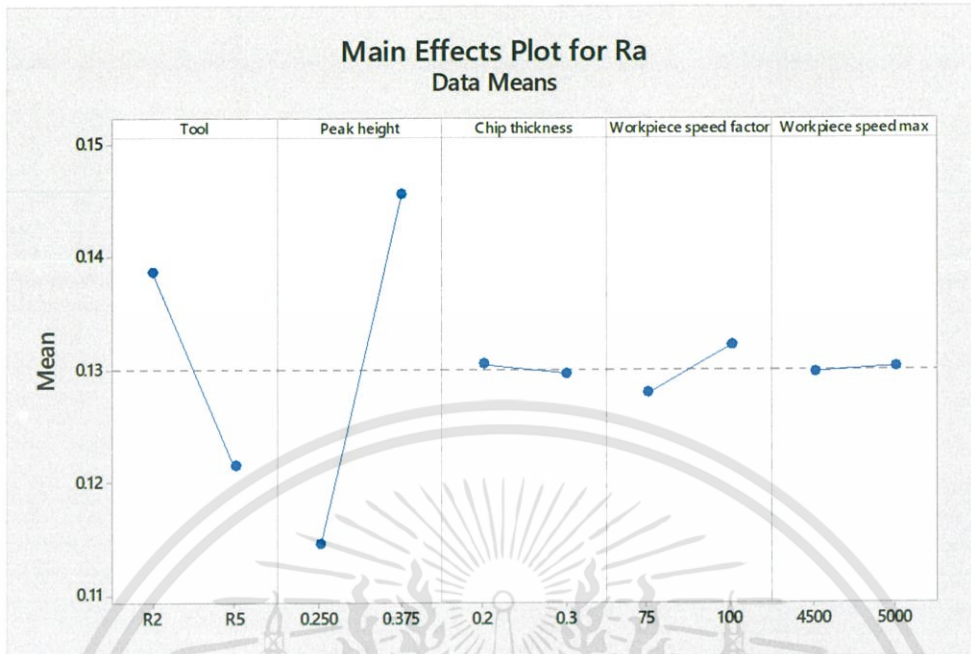
เมื่อ 1 แทนค่าของระดับของปัจจัยน้อย (-), และ 2 แทนค่าระดับปัจจัยมาก (+)

จากการวิเคราะห์พบว่า P-Value ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เกิดขึ้นในปัจจัย 3 ปัจจัยได้แก่ รัศมีของมีดกลึง, Peak height, และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน ทำให้สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก และอธิบายได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 ดังที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงาน หลังกระบวนการตัดขึ้นรูป

และจากการวิเคราะห์ด้วย Pareto Chart ดังรูปที่ 4.3 โดยมีเส้นประสีแดงที่มีระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นเส้นอ้างอิง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานจะมีค่ามากกว่าเส้นอ้างอิงนี้ตามลำดับความสำคัญของปัจจัย พบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับแรกคือ Peak height และปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาคือ รัศมีของมีดกลึง และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน ตามลำดับ จากการสร้างกราฟปัจจัยหลักดังรูปที่ 4.4 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักตามค่าที่กำหนด ส่งผลกับค่าความหยาบพื้นผิวชิ้นงานที่ต่างกัน จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการลดค่า Peak height และ จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน จะทำให้ค่าความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานมีค่าลดลงในขณะที่การเพิ่มค่ารัศมีของมีดกลึง จึงจะทำให้ค่าความหยาบพื้นผิวชิ้นงานลดลง สำหรับสองปัจจัยที่พบการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าระดับปัจจัยต่างกันมีค่าต่างกันเล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลต่อความหยาบของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังที่กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 4.3 Pareto Chart



รูปที่ 4.4 ปัจจัยหลักจากการทดลอง

4.2 การทดลอง Factorial Design และการตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตา

หลังจากทราบปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหยาบของผิวชิ้นงานหลังกระบวนการตัดขึ้นรูปแล้ว ทำการทดลอง Factorial Design ของปัจจัยหลัก เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยว่ามีผลกระทบต่อความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานหรือไม่ จึงทำการออกแบบการทดลอง Factorial Design สำหรับ 3 ปัจจัย โดยระดับของแต่ละปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3.6 ในบทที่ 3 ทำการทดลองซ้ำ 3 Replicates ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 54 ครั้ง

เนื่องจากผลจากการทดลอง Plackett-Burman สำหรับปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานหลังกระบวนการตัดขึ้นรูปนั้น เป็นไปตามสมมติฐานของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบกับการศึกษาความหยาบของพื้นผิวชิ้นงานไม่สามารถ ครอบคลุมความเสียหายทั้งหมดของผิวชิ้นงานได้ เนื่องจากการวัดความหยาบของผิวชิ้นงานจะวัดเป็นเส้นตรงหนึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานเท่านั้น ทำให้มีการศึกษาความเสียหายของพื้นผิวชิ้นงานเพิ่มเติม โดยมีการกำหนดสมมติฐานการทดลองขึ้น คือ ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยทั้งหมด ไม่มีผลต่อความเสียหายของผิวชิ้นงานหลังกระบวนการตัดขึ้นรูป และผลจากการทดลอง Plackett-Burman สามารถครอบคลุมไปถึงคุณภาพตลอดพื้นผิวชิ้นงาน

จากสมมติฐานที่กล่าวมานั้นทำให้การออกแบบการทดลอง Factorial Design ไม่มีความจำเป็นในการวิเคราะห์ความเสียหายอีกต่อไป ดังนั้นเพื่อการศึกษาคุณภาพพื้นผิวชิ้นงาน จึงได้ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าปัจจัยครั้งละหนึ่งปัจจัย (One-factor at a time) มีวัตถุประสงค์เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวหลังจากการเปลี่ยนค่าปัจจัย โดยต้องการทราบว่าปัจจัยที่ศึกษาสามารถก่อให้เกิดความเสียหายในรูปแบบใดได้บ้าง

และเพื่อเป็นการยืนยันว่าผลการทดลองแบบ Plackett-Burman ที่แสดงว่ามี 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อความหยาบของพื้นผิวชิ้นงาน สามารถครอบคลุมไปถึงคุณภาพของพื้นผิวชิ้นงานได้ โดยมีเงื่อนไขในการทดลองดังนี้

- 1) ทำการทดลองอีกครั้งสำหรับทุกปัจจัย เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงในเชิงคุณภาพและเป็นการยืนยันว่าผลการทดลอง Plackett-Burman สามารถครอบคลุมถึงคุณภาพตลอดทั้งพื้นผิวของชิ้นงาน จึงทำการทดลองทั้ง 5 ปัจจัย โดยที่มี 4 ปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับและมีเพียงปัจจัยเดียวที่ประกอบด้วย 2 ระดับ จะได้จำนวนการทดลอง 10 การทดลองในแต่ละครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.2
- 2) ทำการทดลองซ้ำ 3 รอบเช่นเดียวกับการออกแบบการทดลอง Plackett-Burman ดังนั้นจะได้จำนวนการทดลองทั้งหมดเป็น 30 การทดลอง

ตารางที่ 4.1 การทดลอง One-factor at a time เมื่อไม่มีการทดลองซ้ำ

ครั้งที่	A	B	C	D	E
1	2	0.25	0.2	75	2250
2	2	0.25	0.2	75	4500
3	2	0.25	0.2	75	5000
4	2	0.25	0.2	37	4500
5	2	0.25	0.2	100	4500
6	2	0.25	0.2	75	4500
7	2	0.25	0.1	75	4500
8	2	0.125	0.3	75	4500
9	2	0.375	0.2	75	4500
10	5	0.25	0.2	75	4500



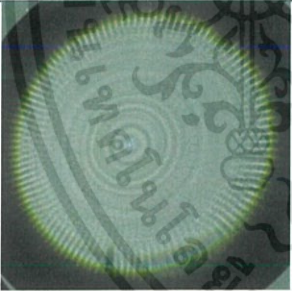

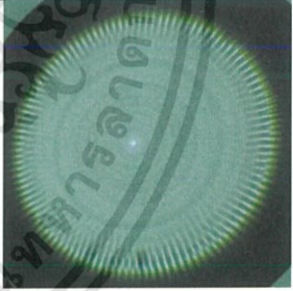

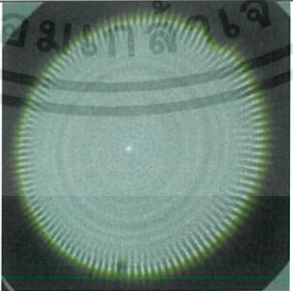
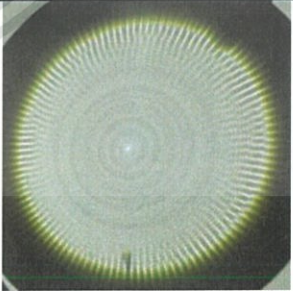
เมื่อ A คือ รัศมีของมีดกลึง, B คือ Peak height, C คือ ความหนาของเศษ, D คือ จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน และ E คือ อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน

ทำการทดลองโดยการตัดชิ้นรูปชิ้นงานและทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานด้วยสายตา ด้วยการใช้อ Arc Lamp มีหลักการคือ ให้แสงที่มีความเข้ม ส่องผ่านชิ้นงาน จะปรากฏภาพพื้นผิวของชิ้นงานที่ฉาก จะทำให้เห็นผิวของชิ้นงานที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งวิธีการทดสอบด้วยสายตาวีธีนี้โดยปกติจะทำการตรวจสอบความเสียหายของเลนส์หรือชิ้นงานในการทดลองที่ผ่านกระบวนการขัดเท่านั้น และทำการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์

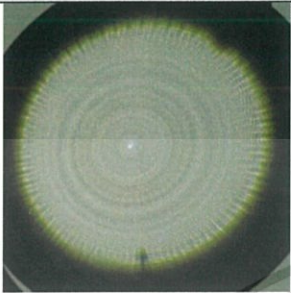
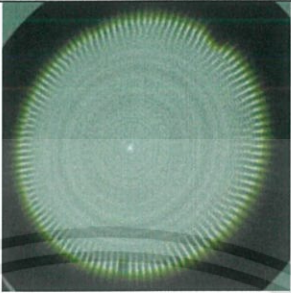
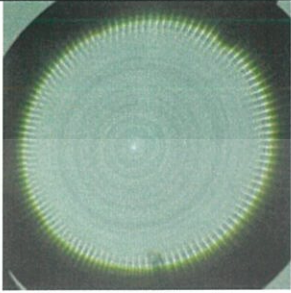


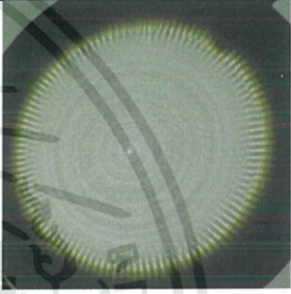
เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ทำการตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตาในกระบวนการกลึงปาดหน้า จึงมีการระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดชิ้นรูปเลนส์สายตา ในการตัดสินความแตกต่างของชิ้นงานจากการเปลี่ยนปัจจัยครั้งละหนึ่งปัจจัย และการศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

จากการทดลองพบว่าสำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยครั้งละหนึ่งปัจจัยในการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง สำหรับค่าปัจจัยเดียวกัน ให้รูปแบบของพื้นผิวในลักษณะใกล้เคียงกัน จากนั้นทำการศึกษาความแตกต่างของ พื้นผิวระหว่างค่าปัจจัยซึ่งพบว่าหากมองโดยภาพรวมทุกค่าในแต่ละปัจจัย จะให้พื้นผิวที่แตกต่างกัน และจะ เห็นได้ชัดเจนใน 4 ปัจจัย ประกอบไปด้วย รัศมีของมีดกลึง, Peak height, อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน, และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนปัจจัยที่มีได้กล่าวถึงคือ ความหนาของเศษจากตารางที่ 4.3 จะพบความแตกต่างระหว่างค่าของปัจจัยที่เปลี่ยนไปเล็กน้อย ซึ่งผู้เชี่ยวชาญ ลงความเห็นที่ไม่สามารถแสดงความแตกต่างที่ชัดเจนได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลอง One-factor at a time จากการทดลอง 1 ครั้ง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		
	1	2	3
A	 2 mm	 5 mm	
B	 0.125 μm	 0.25 μm	 0.375 μm
C	 0.1 mm	 0.2 mm	 0.3 mm

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลอง(ต่อ) One-factor at a time จากการทดลอง 1 ครั้ง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		
	1	2	3
D	 <p>37 %</p>	 <p>75 %</p>	 <p>100 %</p>
E	 <p>2250 rpm</p>	 <p>4500 rpm</p>	 <p>5000 rpm</p>

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษาความเสียหายพื้นผิวของเลนส์สายตาหลังการกลิ้งปาดหน้า ได้ทำการทดลองโดยการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman และการทดลอง One-factor at a time มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในขั้นตอนการกลิ้งปาดหน้า ที่ส่งผลต่อความหยาบของผิวเลนส์หลังจากผ่านขั้นตอนการกลิ้งปาดหน้า และทำการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในเบื้องต้นให้กับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการตัดขึ้นรูปเลนส์สายตา โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบของพื้นผิวเลนส์หลังการกลิ้งปาดหน้า และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายอื่น ๆ โดยจำแนกรูปแบบของความเสียหาย ซึ่งจากการทำการทดลองสามารถทำการสรุปผลและเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลองดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองแบบ Plackett-Burman และการทดลอง One-factor at a time สามารถสรุปผลการทดลองออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

- 1) จากการทดลอง Plackett-Burman เพื่อหาปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหยาบของพื้นผิวเลนส์หลังกระบวนการตัดขึ้นรูป พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบของพื้นผิว จากการวิเคราะห์ผลจากการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ รัศมีของมีดกลิ้ง, Peak height, และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน และจาก Pareto Chart ปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรกคือ Peak height ปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาคือ รัศมีของมีดกลิ้ง และจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงานตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลการลดค่า Peak height และ จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน จะทำให้ค่าความหยาบพื้นผิวของชิ้นงานมีค่าลดลง ในขณะที่การเพิ่มค่ารัศมีของมีดกลิ้ง จึงจะทำให้ค่าความหยาบพื้นผิวชิ้นงานลดลง
- 2) จากการทดลองโดยใช้วิธี One-factor at a time ภายใต้สมมติฐานการทดลองที่ว่า ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยทั้งหมด ไม่มีผลต่อความเสียหายของผิวชิ้นงานหลังกระบวนการตัดขึ้นรูป และผลจากการทดลอง Plackett-Burman สามารถครอบคลุมไปถึงคุณภาพตลอดพื้นผิวชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าคุณภาพของชิ้นงานสามารถตรวจสอบได้โดยภาพรวมของชิ้นงานเท่านั้น และเกิดความแตกต่างที่ชัดเจนใน 4 ปัจจัย ได้แก่ รัศมีของมีดกลิ้ง, Peak height, จำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน และอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการทดลอง Plackett-Burman ไม่ครอบคลุมคุณภาพตลอดทั้งพื้นผิวของชิ้นงาน เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพเกิดปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพพื้นผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้นมาหนึ่งปัจจัยคือ อัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำการทดลองเพื่อศึกษาความเสียหายของเลนส์หลังกระบวนการตัดขึ้นรูป ได้ข้อเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการทดลอง และการพัฒนาการทดลอง ดังต่อไปนี้

- 1) ในการทดลองนอกจากทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบของพื้นผิวเลนส์หลังกระบวนการตัดขึ้นรูปแล้ว ควรทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอีกครั้ง เพื่อยืนยันว่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยไม่ได้ส่งผลต่อความหยาบของพื้นผิวเลนส์ ก่อนที่จะทำการสรุปผลและทำการทดลองลำดับต่อ ๆ ไป
- 2) ในการตรวจสอบคุณภาพเลนส์หลังกระบวนการตัดขึ้นรูป อาจใช้วิธีการตรวจสอบอื่น ๆ ที่มีความแม่นยำมากขึ้น หรือสามารถมองเห็นพื้นผิวของเลนส์หลังกระบวนการตัดขึ้นรูปได้ชัดเจนขึ้น เช่น การตรวจสอบพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น



บรรณานุกรม

- [1] ณีภุชวี เปรมเล็ก, พัชรา ทศนาธนชัย, นพคุณ แสนโพธิ์, จิระวุฒิ จันเกษม, และผศ.ดร.พิชญ์ ศุภผล. รอบรู้เรื่องเลนส์สายตา. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2011. [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=15719 สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2561.
- [2] บริษัท ไทยออปติคอลล กิ๊ป จำกัด (มหาชน). เอกสารเผยแพร่แบบแสดงรายการข้อมูลประจำปี (56-1), 2556. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2561.
- [3] Essilor Group Canada. Step in Manufacturing Essilor Lenses, 2017. [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต. <https://www.varilux.ca/en/progressive-lenses/manufacturing-lenses/#> สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2561.
- [4] วรรณชัย กัลยาศิริ. เอกสารคำสอนวิชา 01212001 กรรมวิธีการผลิต 1 (Manufacturing Process I). โครงการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] บริษัท ช่างสยามแมชชีนเนอรี จำกัด. การกลึง Turning Operation, 2010. [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต. <http://www.csmltd.co.th/index.php?lay=show&ac=article&id=539123413&Ntype=1> สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2562.
- [6] Rharat Bhushan. Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques. Modern Tribology Handbook Volume One. The Ohio State University. CRC Press, 2001
- [7] บริษัท มิซูมิ ประเทศไทย จำกัด. Surface Roughness (ความหยาบของพื้นผิว). [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต.
https://th.misumiec.com/maker/misumi/mech/campaign/email20120206/surface_roughness.html สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มกราคม 2562
- [8] รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง Design and Analysis of Experiments. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2551.
- [9] งานเครื่องมือกลเรื่อง งานกลึง. [ออนไลน์]. สืบค้นจากอินเทอร์เน็ต.
http://cncprog.blogspot.com/p/blog-page_11.html สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2562.

- [10] วิทยา สุมะลี และ ระพี กาญจนะ. การกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอตอร์ศัทพ์มือถือโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม, 2017
- [11] M. G. Rathil และ Sharda R. Nayse. Effect of Cutting speed, Feed rate and Dept of cut on Surface Roughness of Mild Steel in Turning Operation. Department of Mechanical Engineering, Government College of Engineering Aurangabad. India, 2014
- [12] บรรจง เฟื่องฟู. การศึกษาประสิทธิภาพการกัดขึ้นรูปวัสดุเหล็กแม่พิมพ์. สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2555
- [13] Satisloh AG. VFT-orbit Generating All-Format Lenses Circumvolution Technology, 2014.
- [14] Taylor Hobson. Surface Finish Measurement Methods and Instrument.
- [15] Brice Pamart. General Turning Process. Satisloh,2014.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองแบบ Plackett-Burman

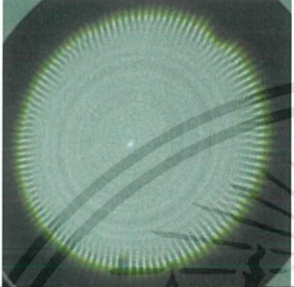
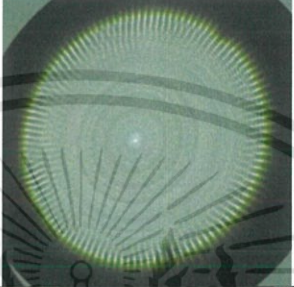
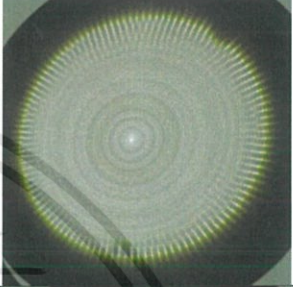



ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลองแบบ Plackett-Burman แบบสุ่ม

Run	Tool	Peak height	Chip thickness	Workpiece speed factor	Workpiece speed max	Wear counter	Cycle time	Ra
1	2	0.250	0.2	100	5000	52.0	22.9	0.1261
2	5	0.250	0.3	75	4500	232.0	22.8	0.1059
3	2	0.375	0.3	75	5000	53.0	23.3	0.1406
4	2	0.250	0.2	100	5000	54.0	23.3	0.1174
5	2	0.250	0.3	100	5000	55.0	23.2	0.1201
6	2	0.375	0.3	75	5000	56.0	22.9	0.1450
7	5	0.375	0.2	100	4500	233.0	20.7	0.1386
8	2	0.250	0.2	75	4500	51.0	25.1	0.1085
9	2	0.250	0.2	75	4500	57.0	25.5	0.1235
10	5	0.375	0.3	75	5000	234.0	21.5	0.1380
11	2	0.250	0.3	100	5000	58.0	22.9	0.1244
12	5	0.375	0.2	100	5000	325.0	21.0	0.1366
13	2	0.250	0.2	75	4500	59.0	25.4	0.1277
14	2	0.375	0.2	75	4500	60.0	23.8	0.1497
15	2	0.375	0.3	100	4500	61.0	22.1	0.1521
16	5	0.250	0.3	75	4500	236.0	22.8	0.1080
17	5	0.250	0.2	75	5000	237.0	22.3	0.1071
18	2	0.375	0.2	75	4500	62.0	24.1	0.1554
19	5	0.375	0.2	100	4500	238.0	21.0	0.1387
20	2	0.375	0.3	100	4500	63.0	22.5	0.1599
21	5	0.250	0.3	100	4500	239.0	21.9	0.1064
22	5	0.375	0.3	75	5000	240.0	21.6	0.1388
23	5	0.375	0.3	75	5000	241.0	21.5	0.1390
24	5	0.375	0.2	100	5000	242.0	20.7	0.1401
25	5	0.250	0.3	100	4500	243.0	21.9	0.1047
26	2	0.375	0.3	75	5000	64.0	23.0	0.1559
27	5	0.250	0.2	75	5000	244.0	22.4	0.0991
28	5	0.250	0.2	75	5000	245.0	22.7	0.1013
29	2	0.375	0.3	100	4500	65.0	22.4	0.1577
30	2	0.375	0.2	75	4500	66.0	23.7	0.1599
31	5	0.375	0.2	100	4500	246.0	21.1	0.1402
32	5	0.375	0.2	100	5000	247.0	20.7	0.1391
33	5	0.250	0.3	100	4500	248.0	21.8	0.1038
34	5	0.250	0.3	75	4500	249.0	22.8	0.0992
35	2	0.250	0.3	100	5000	67.0	23.3	0.1378
36	2	0.250	0.2	100	5000	68.0	22.9	0.1389

ผลการทดลองเปลี่ยนค่าปัจจัยครั้งละ 1 ปัจจัย (One-factor at a time)

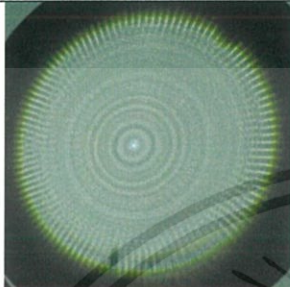
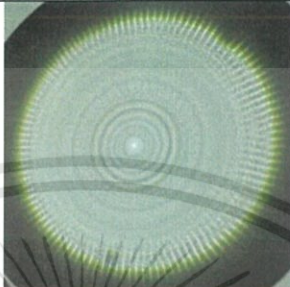
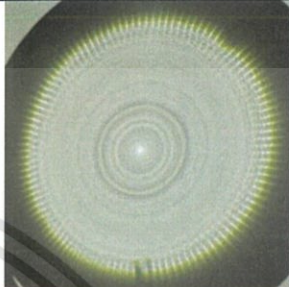





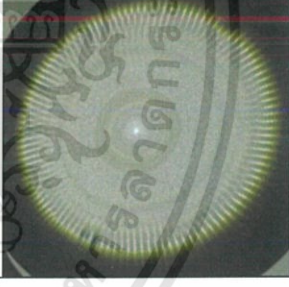
1. ผลการเปลี่ยนแปลงรัศมีของมีดกลึง (Tool radius)

ตารางที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลง Tool radius

Tool radius	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2 mm.			
5 mm.			

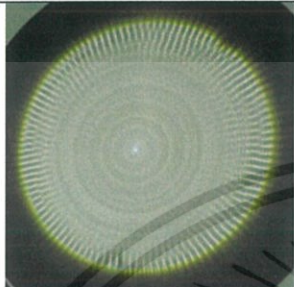
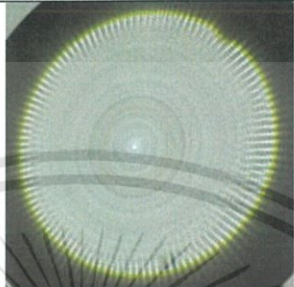
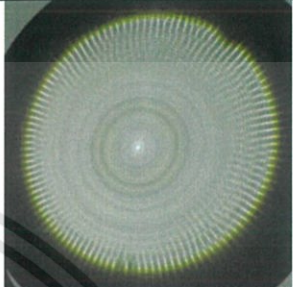


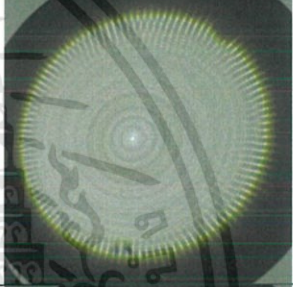



2. ผลการเปลี่ยนแปลง Peak height

ตารางที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลง Peak height

Peak height	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.125 μm .			
0.25 μm .			
0.375 μm .			

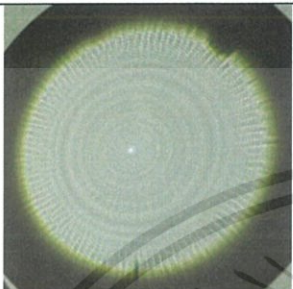
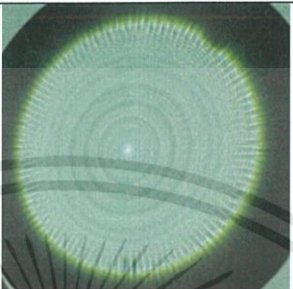
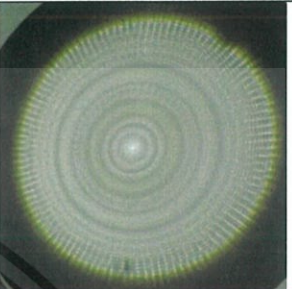
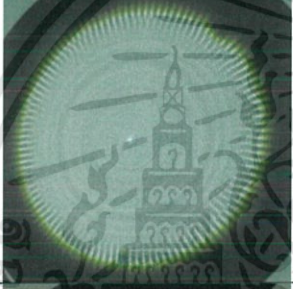


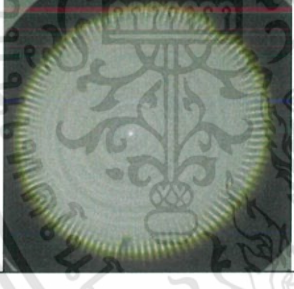
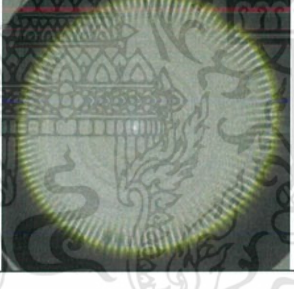
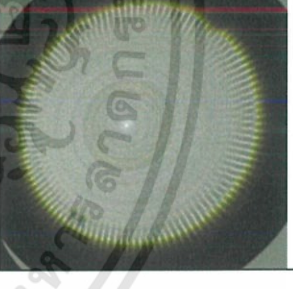
3. ผลการเปลี่ยนแปลงความหนาของเศษ (Chip thickness)

ตารางที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลง Chip thickness

Chip thickness	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.1 mm.			
0.2 mm.			
0.3 mm.			

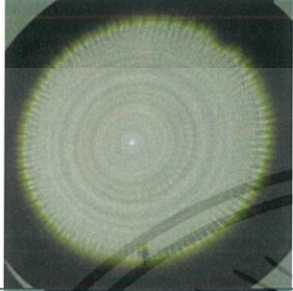
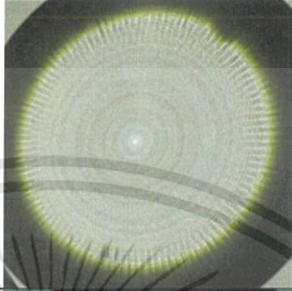
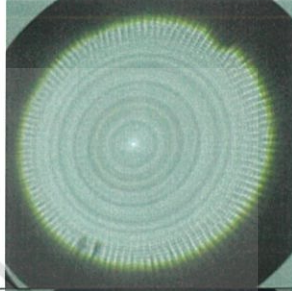



4. ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน (Workpiece speed max)

ตารางที่ 5 ผลการเปลี่ยนแปลง Workpiece speed max

Workpiece speed max	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2250 rpm			
4500 rpm			
5000 rpm			

5. ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนเท่าของอัตราการป้อนสูงสุดของชิ้นงาน (Workpiece speed factor)

ตารางที่ 6 ผลการเปลี่ยนแปลง Workpiece speed factor

Workpiece speed factor	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
37%			
75%			
100%	