การศึกษาผิวเรียบของวัสดุความละเอียดสูงโดยใช้เทคนิคฟีโซ่อินเตอร์เฟอร์โรมิเตอร์

A study of high accuracy surface flatness by Fizeau Interferometer technique

พงศ์สิทธิ์ รัตนกรวิทย์[1] และ พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ[2]

Pongsit Rattanakonvit[1] and Pichet Limsuwan[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาผิวเรียบของวัสดุความละเอียดสูงโดยใช้เทคนิคฟีโซ่อินเตอร์เฟอร์โรมิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบแบบไม่สัมผัส สำหรับผิววัสดุที่ใช้ในการศึกษาได้แก่วัสดุที่มีผิวเป็นระนาบ แสงจากแหล่งกำเนิดซึ่งเป็นฮีเลียม-นีออนเลเซอร์กำลัง 10 มิลลิวัตต์ ที่ให้ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร ผ่านสปาเชียนฟิลเตอร์และทำให้เป็นลำแสงขนานโดยระบบเลนส์ขยายลำแสง ลำแสงที่ขนานแล้วจะตกกระทบออฟติกคอลแฟลท และบางส่วนของลำแสงที่ตกกระทบจะทะลุผ่านออฟติกคอลแฟลทซึ่งใช้เป็นผิวเรียบอ้างอิง และตกกระทบที่ผิวของวัสดุที่ทดสอบ ลำแสงที่สะท้อนสองลำแสง ลำแสงหนึ่งสะท้อนจากผิวด้านหลังของออฟติกคอลแฟลทและอีกลำหนึ่งสะท้อนจากผิวด้านหน้าของของวัสดุที่นำมาทดสอบ แล้วเกิดการแทรกสอดระหว่างลำแสงทั้งสองเป็นลวดลายการแทรกสอด ภาพลวดลายการแทรกสอด จะถูกสังเกตโดยกล้อง ซี ซี ดี และบันทึกภาพโดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณภาพที่อยู่ในคอมพิวเตอร์ ความเรียบของผิวที่ทดสอบถูกแปรความหมายจากภาพลวดลายของการแทรกสอด

ABSTRACT

This research work is to study a high accuracy surface flatness of plano surface materials by Fizeau Interferometer technique which is a non-contacting method for flatness testing. Coherence light beam from He-Ne laser with output 10 mw at wavelength of 632.8 nm is filtered by spatial filter and then the laser beam is expanded and collimated by a beam expander. The collimated laser baem is incident on the reference optical flat and parts of the incident light is transmitted and incident on the test surface and the rest of incident light is reflected at the back surface of the optical flat.Two reflected light beam, one beam from the back surface of the optical flat and another beam from the front surface of the test surface will interfere and form the interference fringes. The fringe pattern is observed CCD camera and is recorded by the video capture card in the computer. The surface flatness of test object is then determined by the interference fringes pattern or interferogram

1 นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาระบบควบคุมและเครื่องมือวัด สาขาย่อยมาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คำนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ ซึ่งเป็นอุตสหกรรมที่ผลิตจำพวก เลนส์ กระจก และอุปกรณ์ทางแสง และการผลิตซิลิกอลเวเฟอร์ รวมทั้งอุตสหกรรมประเภทจักรกลอุตสาหกรรม ความเรียบของวัสดุเป็นข้อกำหนดในการยอมรับชิ้นงานนั้นๆ เพราะคุณภาพของชิ้นงานเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นชิ้นงานเหล่านี้จะมีมูลค่าของชิ้นงานค่อนข้างสูง เนื่องจากจะต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตและการทดสอบที่เป็นเทคโนโลยีระดับสูงนั่นคือมีความละเอียดและความถูกต้องสูง

เครื่องวัดความเรียบที่มีการใช้งานอยู่อย่างแพร่หลายเป็นเครื่องมือเชิงกล ที่ใช้หลักการของหัวลาก (Stylus profile instrument) โดยที่หัวลากนี้จะมีขนาดเล็กและมีให้เลือกหลายขนาดขึ้นอยู่กับความละเอียด ในขณะทำการวัดหัววัดจะถูกลากไปบนผิวของชิ้นงานและหัวลากก็จะสั่นสะเทือนตามลักษณะของพื้นผิวซึ่งก็จะส่งสัญญาณออกไปยังส่วนประมวลผลและแสดงผลออกมาในรูปกราฟและค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ขนาดของแอมปลิจูดสูงสุด ความกว้างของลูกคลื่น ค่าเฉลี่ยของแอมปลิจูด ด้วยวิธีการวัดลักษณะนี้จะเห็นได้ว่ามีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ข้อมูลที่ได้จากการวัดความเรียบจะอยู่ในเส้นเท่านั้น และเนื่องจากในขณะทำการวัดจะต้องลากหัวลากไปบนพื้นผิวที่ทดสอบดังนั้นพื้นผิวที่ทดสอบอาจเกิดการเสียหายได้ สำหรับความละเอียดในการวัดก็จะมีข้อจำกัดซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของหัวลาก จึงทำให้เครื่องมือชนิดนี้เหมาะสำหรับการวัดที่ไม่ละเอียดนัก จำพวกชิ้นงานจากงานจักรกลอุตสาหกรรม

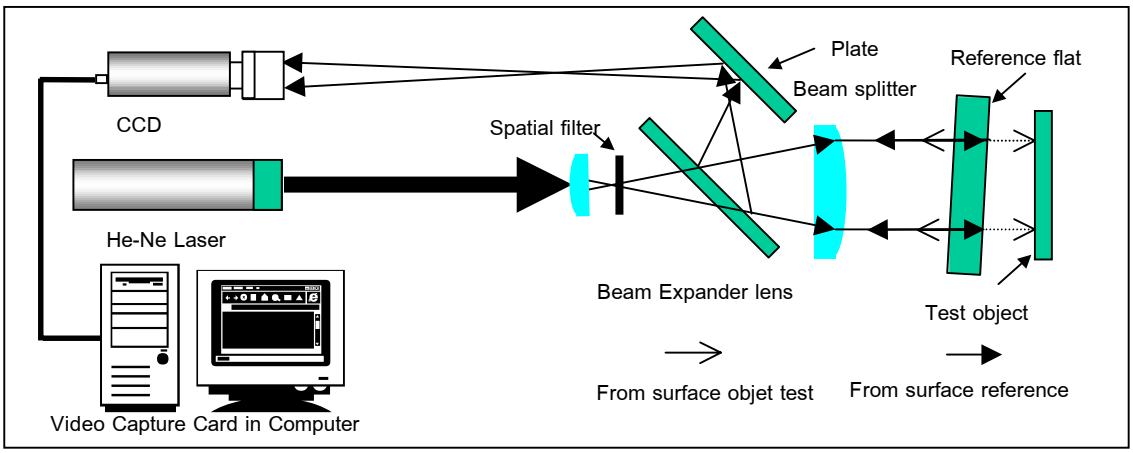
สำหรับในการวัดความเรียบในระดับสูงจะใช้เครื่องมือที่ใช้หลักการทางแสง[1,2] โดยใช้การวิเคราะห์ลวดลายของการแทรกสอด (Interferogram) ซึ่งเกิดจากการแทรกสอดของแสง 2 ขบวนโดยแสงขบวนหนึ่งสะท้อนมาจากผิวที่ทราบความเรียบและมีความเรียบสูง (Reference optical flat) ส่วนลำแสงอีกขบวนหนึ่งจะสะท้อนมาจากพื้นผิวที่ต้องการทดสอบ ซึ่งลักษณะของพื้นผิวที่แตกต่างกันนี้จะให้ลวดลายที่แตกต่างกัน ซึ่งลวดลายการแทรกสอดที่ได้นี้จะนำมาแปรความหมายที่จะบอกถึงลักษณะพื้นผิวต่อไป ด้วยวิธีการวัดดังกล่าวนี้จะมีข้อดีกว่าวิธีทางกลคือในขณะทำการทดสอบ ผิวของชิ้นงานจะไม่ถูกสัมผัสดังนั้นจึงแน่ใจได้ว่าชิ้นงานจะไม่เสียหายหลังจากการทดสอบ และข้อดีมากคือภาพลวดลายการแทรกสอดที่เกิดขึ้นสามารถนำมาไปแปรความหมายในลักษณะของพื้นผิวที่เป็น 3 มิติได้ซึ่งในส่วนนี้จะต้องมีโปรแกรมที่นำข้อมูลของลวดลายการแทรกสอดมาคำนวณให้เป็นภาพ 3 มิติ ซึ่งจะไม่ขอกล่าวในรายงานนี้

ในวิธีการวัดความเรียบผิวโดยใช้หลักการของการแทรกสอดนั้นมีด้วยกันหลายวิธี สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแทรกสอดแบบฟีโซ่อินเตอร์เฟอร์โรเมตรี มาศึกษาวัสดุที่มีความละเอียดสูง เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและให้ผลที่ชัดเจนพอสมควร ชิ้นงานที่นำมาทดสอบนี้จะเป็นประเภทอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ ที่มีลักษณะเป็นระนาบแบน (Plano plane) และสามารถสะท้อนแสงได้ดี เช่นกระจกของระบบเลเซอร์และชิ้นงานที่ได้จากการเคลือบฟิล์ม

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหาวิธีการตรวจสอบความเรียบของผิววัสดุ เพื่อให้สามารถบอกระดับความเรียบและ ลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานที่ทดสอบที่เป็นระนาบแบนได้ นอกจากนั้นยังหาวิธีการบันทึกข้อมูลของผิวที่ทดสอบเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในลำดับต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

สำหรับชุดการทดสอบความเรียบผิวแบบฟีโซ่ที่ได้ติดตั้งขึ้นบน Optical bread board แสดงโดยแผนภาพดังรูปที่1



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์ในการทดสอบความเรียบผิววัสดุ

ในรูปที่ 1 เป็นการแสดงทางเดินของแสงที่เกิดการแทรกสอดแบบฟีโซ่อินเตอร์เฟอร์โรมิตรี แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้เป็นฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร กำลัง 10 มิลิวัตต์ ขนาดของลำแสงประมาณ 1 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการตรวจสอบผิวที่ทดสอบ ขนาดของลำแสงจะถูกขยายด้วยระบบของบีมเอ็กแพนเดอร์เลนส์ซึ่งประกอบด้วยอินพุทเลนส์และเอาท์พุทเลนส์โดยที่ทั้งสองเลนส์เป็นเลนส์นูนแกมระนาบ อินพุตเลนส์และเอาท์พุตเลนส์มีความยาวโฟกัส 5.1 และ 209.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ เลนส์ทั้งสองอยู่ห่างกัน 214.5 มิลลิเมตรทำให้ได้กำลังขยายเป็น 20 เท่า ทำให้ได้ขนาดของลำแสงเป็นวงกลมรัศมีประมาณ 2 เซนติเมตร โดยที่ลำแสงยังคงเป็นลำแสงขนานอยู่ ระหว่างเลนส์ทั้งสองติดตั้งตัวแยกลำแสง (Beamsplitter) ซึ่งวางทำมุม 45 องศากับแนวลำแสงตก ตัวแยกลำแสงที่ใช้งานนี้เป็นชนิดแผ่น (Plate beamsplitter) เนื่องจากถ้าใช้เป็นผลึกแยกลำแสง (Cube beam splitter) จะเกิดการสะท้อนภายในผลึกและทำให้เกิดลำแสงมารบ กวนการแทรกสอด ทำให้สังเกตลวดลายการแทรกสอดไม่ชัดเจน และตัวแยกลำแสงชนิดแผ่นยังสามารถเลือกให้มีขนาดใหญ่ได้แต่ถ้าเป็นผลึกแยกลำแสงแล้วจะมีขนาดจำกัด

ในชุดทดสอบนี้ใช้แผ่นแยกลำแสงขนาด 5 x 5 ตารางเซนติเมตร แสงที่ผ่านแผ่นแยกลำแสงจะแยกแสงออกเป็น 2 ลำ ลำหนึ่งจะสะท้อนทำมุม 90 องศากับแนวเดิม ซึ่งลำแสงแนวนี้จะไม่นำมาพิจารณา ส่วนอีกลำหนึ่งจะทะลุผ่านแผ่นแยกลำแสงไปตกกระทบยังแผ่นผิวเรียบอ้างอิง (Optical flat ที่มีความเรียบ $\lambda/20$) ซึ่งทำมุมเอียงเล็กน้อยและจะสะท้อนกลับออกมา ในขณะเดียวกันจะมีแสงบางส่วนทะลุผ่านแผ่นผิวเรียบอ้างอิงเนื่องจากโปร่งใส แสงส่วนนี้จะเดินทางไปตกกระทบพื้นผิววัสดุที่ต้องการทดสอบและจะสะท้อนกลับทางเดิมซึ่งหน้าคลื่นที่สะท้อนกลับมานี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของพื้นผิว ลำแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากทั้งสองผิวจะเกิดการแทรกสอดกัน ซึ่งภาพลวดลายการแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะตกกระทบบนแผ่นแยกลำแสงแล้วสะท้อนไปตกกระทบกับแผ่นแยกลำแสงอีกแผ่นหนึ่งเพื่อทำให้ลำแสงทำมุม 180 องศา กับแนวลำแสงที่ออกมาจากฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ ภาพลวดลายการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนี้ถูกบันทึกโดยกล้องซี ซี ดี ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับวี ดี โอ แคปเจอร์การ์ดที่ติดอยู่ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ภาพถ่ายของชุดการทดสอบความเรียบผิวแบบฟีโซ่อินเตอร์เฟอร์โรมิเตอร์

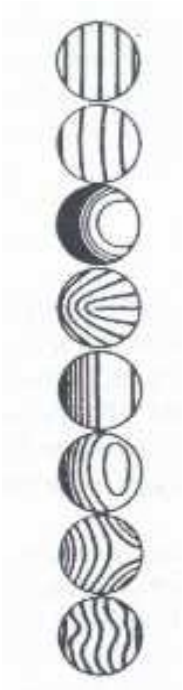
โปรแกรมฐานข้อมูลจะเก็บภาพลวดลายการแทรกสอดที่ได้เป็นฐานข้อมูลของวัสดุชนิดต่าง ๆที่มีความเรียบผิวต่าง ๆกันและนำภาพที่ได้มาคำนวณหาความเรียบผิวซึ่งเป็นค่า PV (Peak to Valley) จะบอกถึงระยะระหว่างจุดสูงสุดและต่ำสุดของพื้นผิว

<u>คุณลักษณะของระบบ</u>

- สามารถทดสอบผิววัสดุที่มีการสะท้อนของแสงได้ดี และเป็นวัสดุที่มีผิวเป็นระนาบ
- ขนาดของพื้นที่ผิวชิ้นงานต้องไม่เกินรัศมี 2 เซนติเมตร

การคำนวณหาความเรียบของพื้นผิว

สำหรับวิธีการในการบอกความหมายของพื้นผิวจากลวดลายการแทรกสอดนั้น ใช้วิธีวิเคราะห์จากภาพลวดลายการแทรกสอดดังรูปที่ 3 และการหาความเรียบของผิวใช้วิธี Fringe splitting ดังรูปที่4 ซึ่งวิธีการนี้เป็นการศึกษาจากลักษณะรูปร่างของลวดลายการแทรกสอดที่เกิดขึ้น ได้แก่พวก ความตรง ความขนาน และระยะห่างของแถบมืดแถบสว่าง ซึ่งใช้ได้ในกรณีของผิววัสดุที่มีความเรียบ



ผิวเรียบมาก

ผิวเรียบ

ผิวเป็นทรงกลม

ผิวมีลักษณะเป็นทรงกรวย

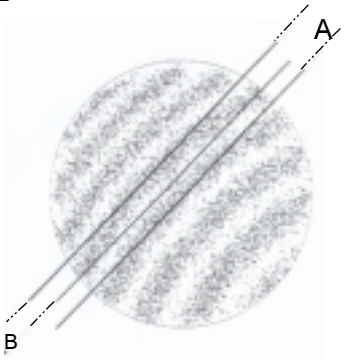
ผิวมีลักษณะเป็นทรงกระบอก

ผิวมีลักษณะเป็นทรงรี

ผิวมีลักษณะบิดเบี้ยว

ผิวขรุขระ

รูปที่ 3 แสดงลวดลายการแทรกสอดที่เกิดจากผิวลักษณะต่าง ๆกัน[1]



รูปที่ 4 แสดงการหาความเรียบด้วยวิธี Fringe splitting [3]

A=ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางยอดของฟริงสองฟริงที่ติดกัน

B=ความโค้งของฟริงเป็นระยะจากกึ่งกลางยอดของฟริงจนถึงริมขอบฟริง

ความเรียบ(PV) = B/A X λ/2

ผลและวิจารณ์

การทดสอบความเรียบของผิวเรียบมาตรฐาน

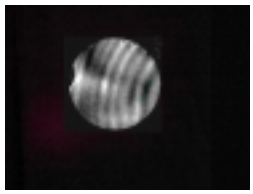
ในการทดสอบความเรียบผิว ในตอนแรกของการทดสอบเป็นการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของระบบ จึงได้ทำการทดสอบความเรียบผิวของผิวเรียบที่ทราบระดับความเรียบ ในการดำเนินงานครั้งนี้ได้ใช้ออฟติกคอลแฟลทเป็นชิ้นงานที่นำมาทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย

- ออฟติกคอลแฟลทความเรียบระดับ $\lambda/4$
- ออฟติกคอลแฟลทความเรียบระดับ $\lambda/10$

ออฟติกคอลแฟลททั้ง 2 อันมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนา ½ นิ้ว ทำด้วย Fused Silica มีค่า Thermal expansion 0.55 X 10^{-6} 1/C° โดยใช้ออฟติกคอลแฟลทที่มีผิวเรียบระดับ $\lambda/20$ เป็นผิวเรียบอ้างอิง

สำหรับภาพลวดลายการแทรกสอดและความเรียบผิวที่คำนวณได้ของออฟติกคอลแฟลททั้งสองชิ้นแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่1 แสดงผลการทดสอบความเรียบผิวของออฟติกคอลแฟลท

ระดับความเรียบ	ภาพลวดลายการแทรกสอด	ความเรียบ (μm)					ความคลาดเคลื่อน
		1	2	3	4	5	
$\lambda/4$ = 632.8x10^{-9}/4 = 0.1582 μm		0.1633	0.1536	0.1758	0.1626	0.1763	5.12%
ค่าเฉลี่ย		0.1663					
$\lambda/10$ = 632.8x10^{-9}/10 = 0.0633 μm		0.0564	0.0597	0.0573	0.0485	0.0606	10.74%
ค่าเฉลี่ย		0.0565					

จากผลการทดสอบความเรียบของผิวเรียบมาตรฐานของออฟติกคอลแฟลท จำนวน 2 ชิ้นพบว่าวิธีการ fringe splitting ที่ทำการวัดระยะของแถบมืดแถบสว่างของฟริงโดยใช้วิธีการลากเส้นในคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นพิกเซล แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความเรียบ แล้วเปรียบเทียบกับค่าผิวเรียบที่ทราบค่าคือ $\lambda/4$ และ $\lambda/10$ ตามลำดับจะได้ว่าออฟติกคอลแฟลทระดับ $\lambda/4$ มีความคลาดเคลื่อน 0.0081 μm หรือ 5.12 % และออฟติกคอลแฟลทระดับ $\lambda/10$ มีความคลาดเคลื่อน 0.0068 μm หรือ 10.74%

การทดสอบความเรียบของผิววัสดุ

ในขั้นตอนที่สองได้ทำการทดสอบความเรียบผิวของวัสดุคือกระจกสะท้อนแสงที่ใช้ในระบบเลเซอร์ จำนวน 3 ชิ้น ซึ่งมีค่าการสะท้อนต่างๆกัน คือที่ 70 % 85 %และ 90 % เพื่อที่จะศึกษาถึงระดับความเรียบของกระจกเหล่านี้ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่2 แสดงผลการทดสอบความเรียบผิวของกระจกเลเซอร์

วัสดุ	ภาพลวดลายการแทรกสอด	ความเรียบ (μm)					ลักษณะของผิว
กระจกเลเซอร์ที่สะท้อนแสง70%		0.1478	0.1489	0.1567	0.1578	0.1425	เรียบ
ค่าเฉลี่ย		0.1507					
กระจกเลเซอร์ที่สะท้อนแสง 85%		0.1592	0.1452	0.1557	0.1513	0.1457	เรียบ
ค่าเฉลี่ย		0.1514					
กระจกเลเซอร์ที่สะท้อนแสง 90%		0.1421	0.1514	0.1635	0.1478	0.1566	เรียบ
ค่าเฉลี่ย		0.1523					

สรุป

จากผลการทดสอบผิวเรียบอ้างอิงมาตรฐาน พบว่าวิธี fringe splitting เป็นวิธีการที่ใช้วัดความเรียบผิวที่บอกค่าเป็น PV และมีความถูกต้อง แต่สาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองซึ่งที่ได้จากการคำนวณผิดพลาดก็คือ การวัดหาระยะของแถบมืดแถบสว่าง ซึ่งขณะนี้ใช้การวัดจากระยะของฟริงจากการประมาณในการสังเกตโดยลากเส้นในคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน่วยวัดเป็นพิกเซล สำหรับกระจกเลเซอร์ที่นำมาทดสอบพบว่ามีความเรียบอยู่ในระดับ $\lambda/4$

ในการพัฒนาขั้นต่อไปคือพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลของพื้นผิวให้สามารถหาค่าความเรียบของภาพฟริงที่เกิดขึ้นได้ โดยการอ่านค่าระยะต่างๆของฟริงโดยอัตโนมัติ และนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณซึ่งจะให้ผลการทดสอบถูกต้องยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

M.Daniel.1992.Optical Shop Testing. Second edition. Wiley&Sons, Inc.:1-36

Optical Techniques for Measuring Flatness.1971. Edmund Scientific Co.,

W.Gordon Graham.1998.A Practical Guide to the Use of Non-contacting Plano- interferometer. Graham Optical Systems . :1-30