



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กบนพื้นผิวเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง ด้วยไฟเบอร์เลเซอร์

Texturing of micro-lubricant pores on high-speed steel surface by fiber laser

วิทยา ดาวดอน^{1*} วิบุญ ตั้งวโรตมณกุล² สุรินทร์ มณีศรี¹

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Witthaya Daodon^{1*} Viboon Tangwarodomnukun² Surin Maneesri¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000

² Department of Production Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

* Corresponding author.

E-mail: witthaya.da@rmu.ac.th; Telephone: 0 4423 3000 ext. 3330

วันที่รับบทความ 11 พฤศจิกายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 29 ธันวาคม 2563 ; วันที่ตอบรับบทความ 3 กุมภาพันธ์ 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กบนพื้นผิวเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงด้วยกระบวนการเลเซอร์ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของกำลังเลเซอร์ (Laser power) และตำแหน่งโฟกัส (Focal position) ที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็ก ขึ้นทดสอบทำจากเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง (High-speed steel) เกรด JIS SKH51 มีความแข็ง 63 ± 2 HRC ผิวขัดมัน ซึ่งเหล็กเกรดนี้คือหนึ่งในวัสดุที่ใช้สำหรับผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ หลุมกักเก็บน้ำมันสร้างโดยกระบวนการ Laser surface texturing แบบ Fiber laser ซึ่งใช้ไฟเบอร์เป็นวัสดุตัวกลางต้นกำเนิดแสง จากการศึกษาอิทธิพลของกำลังเลเซอร์ พบว่า ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมัน และขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนหรือรอยไหม้ (Heat-affected zone) เพิ่มขึ้น เมื่อกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด คือ 41 ไมโครเมตร สำหรับอิทธิพลตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ รอยไหม้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ที่เพิ่มขึ้น การขยับโฟกัสของเลเซอร์ให้สูงขึ้นจากพื้นผิว ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมใหญ่ขึ้น ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 1 มิลลิเมตร และกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ ได้หลุมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด คือ 67 ไมโครเมตร กระบวนการเลเซอร์สามารถสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 30 ~ 67 ไมโครเมตร และสามารถสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กแบบหลายแถวครอบคลุมพื้นที่บนผิวราบ

คำสำคัญ

หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็ก เหล็กกล้าความเร็วรอบสูง กระบวนการเลเซอร์ ไฟเบอร์เลเซอร์

Abstract

The objective of this research is to study the fabrication of micro-lubricant pores on high-speed steel by using a laser texturing process. Effects of laser power and focal position on size of micro-lubricant pores were investigated. Specimens were made of JIS SKH51 high-speed steel with a hardness of 63 ± 2 HRC and polished smooth surface. This steel grade is one of the materials utilized for making tools and die. A laser surface texturing process with fiber laser source using an optical fiber as the active gain medium was employed. Studying influence of laser power demonstrated the diameter of

micro-lubricant pores and the heat-affected zone diameter increased when the laser power increased, the laser power of 18 watts gave larger diameter of 41 μm . For the focal position, the heat-affected zone diameter became larger with raising the focal position. Elevating the focal position far from the surface resulted in larger diameter of micro-lubricant pores. At the focal position of 1 mm. and laser power of 18 watts exhibited the largest diameter of micro-lubricant pores, 67 μm . The laser texturing process can be utilized for the fabrication of the micro-lubricant pores with a diameter between 30 to 67 μm . and this process is able to texture array of dimples over the area of flat surface.

Keywords

micro-lubricant pores; high-speed steel; laser texturing process; fiber laser

1. คำนำ

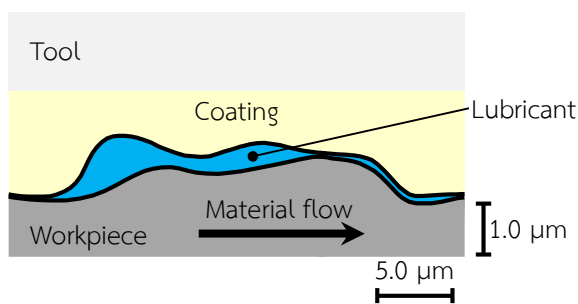
การลดน้ำหนักของรถยนต์ถือเป็นประเด็นหนึ่งที่สำคัญสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของรถยนต์ การใช้เหล็กที่มีความแข็งแรงสูงขึ้นทำให้สามารถลดความหนาของชิ้นส่วนลงได้ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักลดลง ดังนั้น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจึงถูกใช้ผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ แต่ความแข็งแรงที่สูงของเหล็กนำไปสู่ความสามารถขึ้นรูปที่ต่ำ ขึ้นรูปยากและทำให้เกิดการยึดติด (Adhesion) ของเนื้อวัสดุไปบนผิวแม่พิมพ์ได้ง่าย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอของแม่พิมพ์ ดังนั้น ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะจึงใช้สารหล่อลื่นเพื่อลดการสึกหรอ [1] อย่างไรก็ตาม ระหว่างการขึ้นรูป ความดันสัมผัสที่สูง ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าแม่พิมพ์และชิ้นงานอาจจะก่อให้เกิดการแตกตัวของฟิล์มสารหล่อลื่น และนำไปสู่การเกิดรอยขีดข่วน โดยรอยขีดข่วนส่งผลให้คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำ Mizuno และ Okamoto [2] ศึกษาอิทธิพลของความหนืดสารหล่อลื่นต่อสภาวะการหล่อลื่น พบว่า ลักษณะพื้นผิวมีอิทธิพลต่อความสามารถในการหล่อลื่นสำหรับระบบการหล่อลื่นแบบใช้น้ำมัน ลักษณะพื้นผิวซึ่งมีหลุมขนาดเล็กที่สามารถช่วยกักเก็บและจ่ายน้ำมันหล่อลื่น ก่อให้เกิดฟิล์มบางของสารหล่อลื่นคั่นระหว่างผิวสัมผัส ทำให้ความสามารถในการหล่อลื่นดีขึ้น กลไกการหล่อลื่นดังกล่าว คือ การหล่อลื่นแบบไมโคร-พลาสโตไฮโดรไดนามิกส์ (Micro-plasto-hydrodynamic lubrication) กลไกการหล่อลื่นนี้ เกิดขึ้นด้วยการใช้สารหล่อลื่นความหนืดสูงภายใต้แรงดันและความเร็วการขึ้นรูปสูง

การประยุกต์ใช้ Texturing ซึ่งก่อให้เกิดหลุมขนาดเล็ก (Micro-pocket) บนผิวของแม่พิมพ์สามารถช่วยการหล่อลื่นในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ Texturing โดยใช้ Excimer laser radiation ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างหลุมขนาดเล็กบนผิวของ

แม่พิมพ์ตัวผู้ (Punch) ซึ่งเคลือบด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) สำหรับงานทุบขึ้นรูปเย็น (Cold forging) [3] Wakuda และคณะ [4] แสดงให้เห็นว่า ความเสียดทานลดลงอย่างมาก โดยการ Texturing สร้างหลุมขนาดเล็กบนผิวซิลิกอนไนไตรด์เซรามิกส์ Popp และ Engel [5] แสดง Pressurization ของสารหล่อลื่นที่กักเก็บอยู่ในหลุมขนาดเล็ก (รูปที่ 1) ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือ (Tool life) ในงานทุบขึ้นรูป (Forging) การสึกหรอของแม่พิมพ์ลดลงด้วยสารหล่อลื่นที่กักเก็บอยู่ในหลุมขนาดเล็ก [6] Meng และคณะ [7] แสดงให้เห็นว่า ความเสียดทานสามารถลดลงได้โดยสร้างหลุมรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีก้นเรียบขนาดเล็กบนผิวของแม่พิมพ์ Aramaki และคณะ [8] แสดง ในการทดสอบลากขึ้นรูป (Drawing test) ของแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High strength steel) แม่พิมพ์ที่ถูกเตรียมผิวโดย Shot-peening และ Nitriding ปรับปรุงการต้านทานการเกิดรอยขีดข่วน นอกจากนี้ อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ (Die life) ที่ใช้ในการทดสอบลากขึ้นรูปของแผ่นเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ถูกปรับปรุงโดยการประยุกต์ใช้ Shot-peening และ Solid lubricant [9] ความสามารถต้านทานการเกิดรอยขีดข่วนของเครื่องมือซึ่งถูกเตรียมผิวด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการกลึง (Turning) การเจียรนัย (Grinding) การขัดมัน (Polishing) Shot-peening และ Laser surface texturing ถูกศึกษา และพบว่า การขัดเพื่อลบยอดแหลม (Sharp peak) ขนาดเล็กบนพื้นผิวสัมผัสซึ่งทำให้ได้พื้นผิวที่ประกอบด้วยทั้งส่วนราบเรียบและหลุมขนาดเล็กช่วยปรับปรุงความสามารถต้านทานการเกิดรอยขีดข่วนของเครื่องมือขึ้นรูป (Forming tool) [10] Abe และคณะ [11] ปรับปรุงความสามารถต้านทานการเกิดรอยขีดข่วนในกระบวนการรีดลดความหนาแน่น (Ironing) ของถ้วยเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) โดยใช้แม่พิมพ์ (Die) ที่ทำ

จาก TiCN-based cermet และบนผิวของแม่พิมพ์มีหลุมสำหรับกักเก็บสารหล่อลื่นขนาดเล็ก ซึ่งถูกสร้างโดย Shot-peening และการขัดมัน การกระจายตัวของสารหล่อลื่นที่ถูกเก็บในหลุมขนาดเล็ก ช่วยลดความเสียหายระหว่างกระบวนการรีดความหนาแน่น จากหลายงานวิจัยที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า การสร้างหลุมขนาดเล็ก (Micro-pores) บนผิวของแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ สามารถช่วยกักเก็บน้ำมัน และเพิ่มความสามารถการหล่อลื่นระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ส่งผลให้สามารถลดการสึกหรอ ยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ และสามารถปรับปรุงคุณภาพผิวของชิ้นงานให้ดีขึ้น ความสามารถในการหล่อลื่นจะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อ หลุมขนาดเล็กมีขนาดที่เหมาะสม การสร้างหลุมขนาดเล็กสามารถสร้างด้วยกระบวนการดังนี้ เช่น Shot-peening, chemical etching, laser surface texturing เป็นต้น เนื่องจาก กระบวนการ Laser surface texturing สามารถสร้างหลุมขนาดเล็กให้มีขนาดต่างกันได้ด้วยการปรับค่าตัวแปรของกระบวนการ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กบนพื้นผิวเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงซึ่งเป็นหนึ่งในวัสดุเหล็กสำหรับผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ โดยใช้กระบวนการเลเซอร์สำหรับการสร้างหลุม อิทธิพลของตัวแปรกำลังเลเซอร์ และตำแหน่งโฟกัสที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กถูกศึกษา



รูปที่ 1 โปรไฟล์ของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กบนพื้นผิวของเครื่องมือและกลไกการหล่อลื่น [5]

2. วิธีการวิจัยสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็ก

2.1 วัสดุชิ้นทดสอบและอุปกรณ์

ชิ้นทดสอบทำจากเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง (High-speed steel) เกรด JIS SKH51 ที่ผ่านการชุบแข็งให้มีความ

แข็ง 63 ± 2 HRC หลังจากนั้น ผิวของชิ้นทดสอบถูกเตรียมด้วยการเจียรนัย (Grinding) แล้วตามด้วยการขัดมัน (Polishing) ให้มีความหยาบผิวเฉลี่ย 0.06 ± 0.02 ไมโครเมตร ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าความเร็วรอบสูง เกรด JIS SKH51 แสดงในตารางที่ 1 และสมบัติทางกลแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงเกรด JIS SKH51 (wt%) [12]

C	Cr	Mo	V	W
0.8	3.75	4.73	1.78	5.50

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงเกรด JIS SKH51 [13]

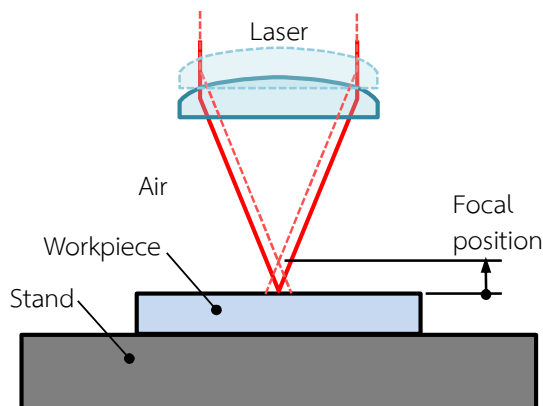
Poisson ratio	Young's modulus (GPa)	Hardness (HRC)
0.29	207	63 ± 2

2.2 การสร้างพื้นผิวที่มีหลุมขนาดเล็กด้วยเลเซอร์ (Laser surface texturing)

การสร้างพื้นผิวที่มีหลุมขนาดเล็กนี้ ใช้การกัดวัสดุด้วยลำแสงเลเซอร์ (Laser beam machining) ซึ่งเป็นกระบวนการทางความร้อน (Thermal process) ไม่ต้องใช้เครื่องมือทางกลในการกำจัดเนื้อวัสดุ การกัดวัสดุด้วยลำแสงเลเซอร์ใช้การฉายลำแสงเลเซอร์ไปบนพื้นผิวของชิ้นงาน โดยที่ชิ้นงานดูดซับพลังงานจากเลเซอร์ทำให้เกิดการทำลายพันธะระหว่างอะตอมของวัสดุ (Chemical degradation) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิหลอมละลาย และระเหิดตัวของวัสดุ เนื้อวัสดุที่หลอมเหลวจะเกิดการดีดตัวหลุดออกจากชิ้นงานและบางส่วนระเหิดกลายเป็นไอออกไป ทำให้ชิ้นงานเกิดเป็นหลุมขึ้น [14] เลเซอร์ที่ใช้สร้างหลุมขนาดเล็กเป็นเลเซอร์แบบ Fiber laser ซึ่งใช้ไฟเบอร์เป็นวัสดุตัวกลางต้นกำเนิดแสง ความยาวคลื่น (Wavelength) ของเลเซอร์ คือ 1064 นาโนเมตร ก่อนการยิงเลเซอร์เช็ดทำความสะอาดผิวชิ้นทดสอบ ด้วยเมทานอล (Methanol) การติดตั้งชิ้นทดสอบบนเครื่องเลเซอร์มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2

สภาวะเงื่อนไขของกระบวนการเลเซอร์ดังแสดงในตารางที่ 3 อิทธิพลของตัวแปรกำลังเลเซอร์ (Laser power) และตำแหน่งโฟกัส (Focal position) ที่ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กถูกศึกษา ผิวของชิ้นทดสอบถูกยิงด้วยเลเซอร์ที่กำลังเลเซอร์ และตำแหน่งโฟกัสต่างๆ เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมที่ต่างกัน กำลังเลเซอร์ที่ใช้ คือ 7, 9, 11, 13, 15 และ 18 วัตต์ และตำแหน่งโฟกัส คือ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ชิ้นทดสอบหลังจากยิงเลเซอร์ถูกทำความสะอาดโดยใช้เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaning) และเมทานอล รอยไหม้และรอยนูนที่บริเวณขอบหลุมถูกขัดให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800, 1000 และ 1500 ตามลำดับ ตามด้วยการขัดมันด้วยอลูมินาขนาด 0.3 และ 0.1 ไมโครเมตร ถ่ายภาพหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัด และหลังการขัดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กถูกวัดโดยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ



รูปที่ 2 การสร้างพื้นผิวที่มีหลุมขนาดเล็กด้วยเลเซอร์

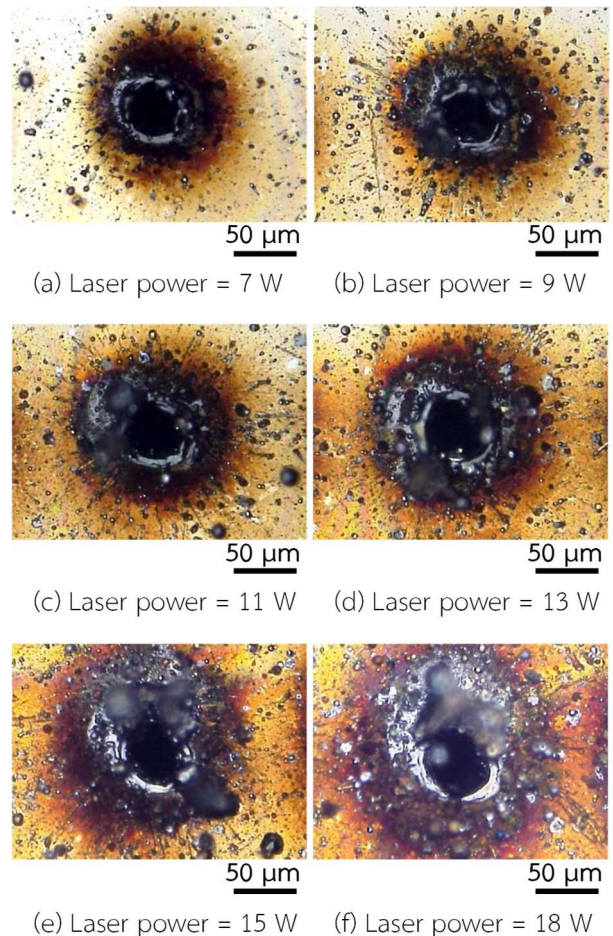
ตารางที่ 3 สภาวะเงื่อนไขของการสร้างพื้นผิวที่มีหลุมขนาดเล็กด้วยเลเซอร์

Parameters	
Laser source	Fiber laser source
Wavelength (nm.)	1064
Laser power, P (W)	7, 9, 11, 13, 15 and 18
Focal position, F (mm.)	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 and 1.0
Laser radiation time (sec.)	0.1

3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

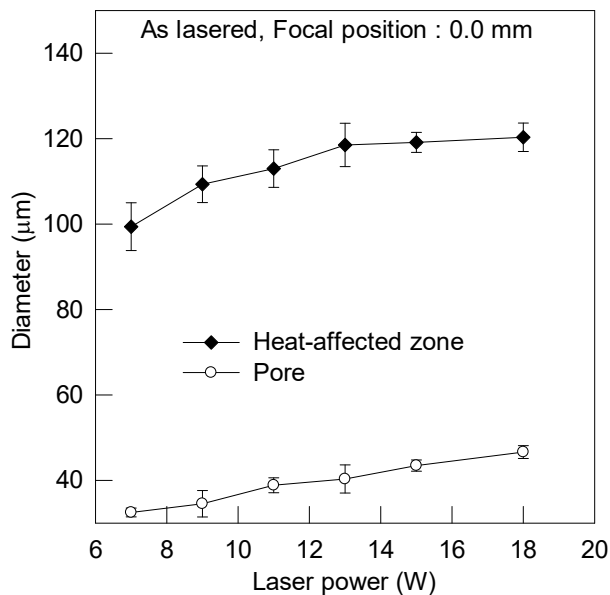
3.1 อิทธิพลของกำลังเลเซอร์ต่อขนาดหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็ก

หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัด ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกันมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า พื้นผิวของชิ้นทดสอบถูกหลอมละลายเป็นหลุมด้วยเลเซอร์ และบริเวณขอบปากหลุมมีลักษณะเป็นรอยนูน และรอยไหม้พร้อมกับมีสะเก็ดโลหะกระจายตัวอยู่รอบๆ ขอบหลุม เมื่อกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น พบว่า ขนาดของรอยไหม้รอบๆ หลุมใหญ่ขึ้น รอยไหม้ คือ บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนซึ่งบริเวณดังกล่าวอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัดที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกัน

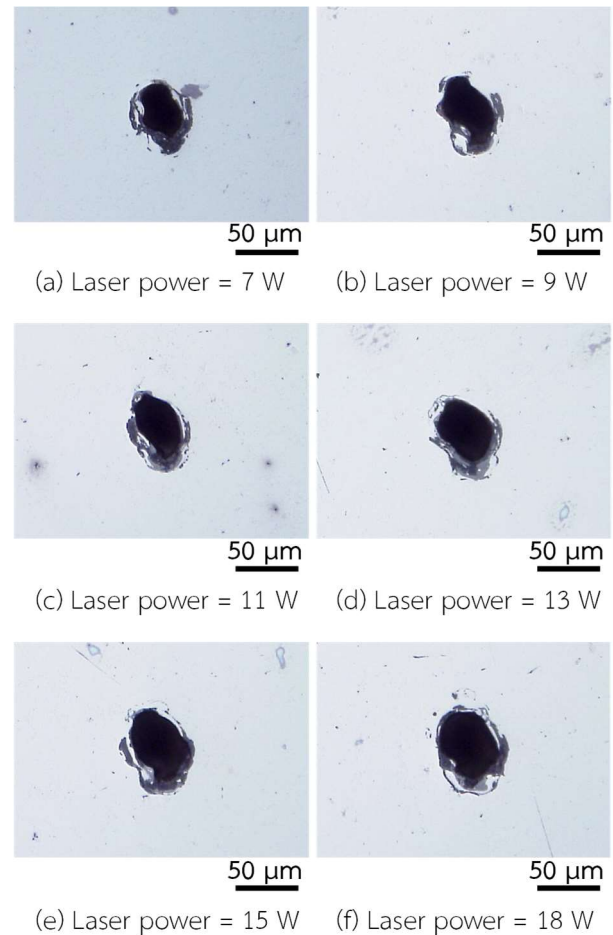
หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการตัดถูกถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยไหม้ ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการตัด และขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนหรือรอยไหม้ ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกันแสดงในรูปที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมก่อนการตัดใหญ่ขึ้น ตามกำลังเลเซอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยหลุมที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 46.6 ไมโครเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอยไหม้ 120 ไมโครเมตร ซึ่งใหญ่กว่าหลุมที่กำลังเลเซอร์อื่น กำลังเลเซอร์ (Laser power) มีผลโดยตรงต่อพลังงานของลำแสงเลเซอร์ในแต่ละพัลส์ที่เปล่งออกมา พลังงานที่ได้ออกมาอยู่ในรูปพลังงานความร้อน ซึ่งทำให้น้ำมันวัสดุเกิดการหลอมละลาย และระเหยออกจากบริเวณการกัด [15] ดังนั้น กำลังเลเซอร์เป็นตัวกำหนดอัตราการกำจัดเนื้อวัสดุ ถ้ากำหนดค่ากำลังเลเซอร์มาก หมายความว่าพลังงานที่ใช้ในการกำจัดเนื้อวัสดุก็มากตามและทำให้ได้ร่องหรือหลุมที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 4 ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการตัด และขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกัน

รอยนูน และรอยไหม้ถูกตัดให้เรียบโดยการขัดกระดาษทราย เริ่มจากการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบไปละเอียด และขัดมันด้วยอลูมินา ตามลำดับ หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็ก

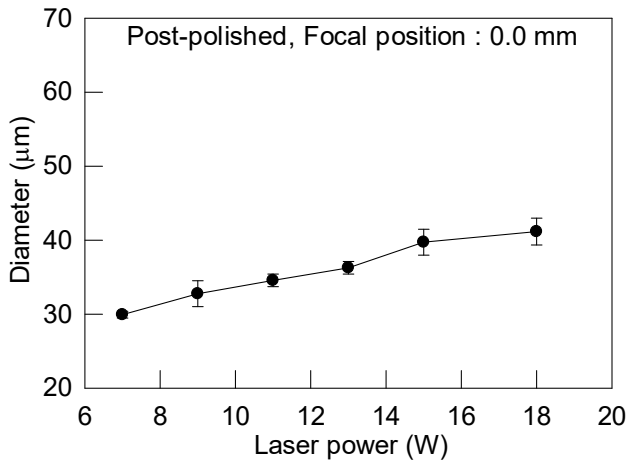
หลังการตัด ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกันมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5 รอยไหม้และรอยนูนถูกตัดออกเหลือเฉพาะผิวเรียบที่มีหลุมลึกลงไป ที่ตำแหน่งโฟกัสเท่ากัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมใหญ่ขึ้น เมื่อกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการตัด ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกัน

ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการตัด ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกันแสดงในรูปที่ 6 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กที่กำลังเลเซอร์ 7, 9, 11, 13, 15 และ 18 วัตต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคือ 30, 33, 35, 36, 40 และ 41 ไมโครเมตร ตามลำดับ หลุมกักเก็บน้ำมันหลังการตัดสำหรับกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Wagner และคณะ [6] พบว่า หลุมกักเก็บน้ำมันที่มีขนาด 50 ไมโครเมตร สามารถปรับปรุงสภาวะทางด้านไดรบอลอย

(Tribology) ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องมือ (Tool life) ในงานชุบขึ้นรูปเย็น (Cold forging) ดังนั้นจึงศึกษาตำแหน่งโฟกัสของเลเซอร์ เพื่อสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันที่มีขนาดใกล้เคียงกับ 50 ไมโครเมตร

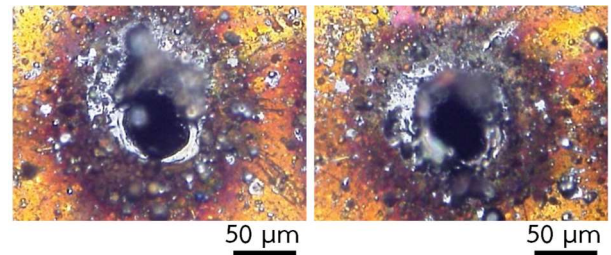


รูปที่ 6 ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการขัด ที่ตำแหน่งโฟกัส 0 มิลลิเมตร และที่กำลังเลเซอร์ต่างกัน

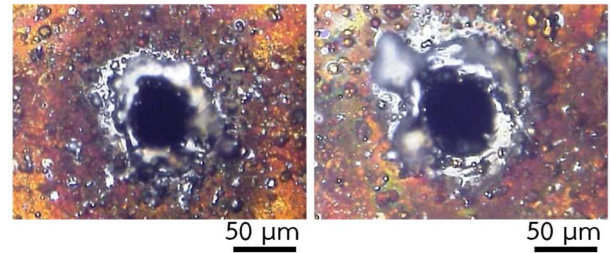
3.2 อิทธิพลของตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ต่อขนาดหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็ก

หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัด ที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ และที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน แสดงในรูปที่ 7 การปรับตำแหน่งโฟกัสของเลเซอร์ คือ ขยับให้โฟกัสสูงขึ้นเหนือพื้นผิวของชิ้นทดสอบ (รูปที่ 2) เมื่อตำแหน่งโฟกัสเพิ่มขึ้น พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยไหม้รอบๆ หลุมมีขนาดใหญ่ขึ้น

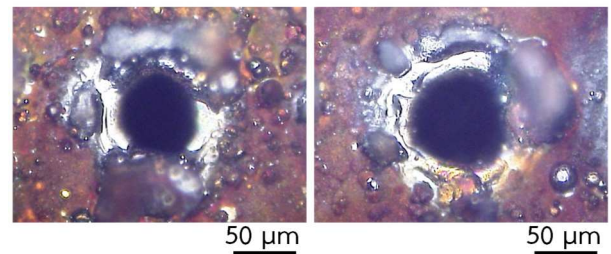
ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัด ที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน แสดงในรูปที่ 8 สำหรับกำลังเลเซอร์ 15 และ 18 วัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมกักเก็บน้ำมันมีขนาดใกล้เคียงกัน และมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์เพิ่มขึ้น ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 1 มิลลิเมตร และกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ ได้หลุมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด คือ 67 ไมโครเมตร



(a) Focal position 0 mm (b) Focal position 0.2 mm



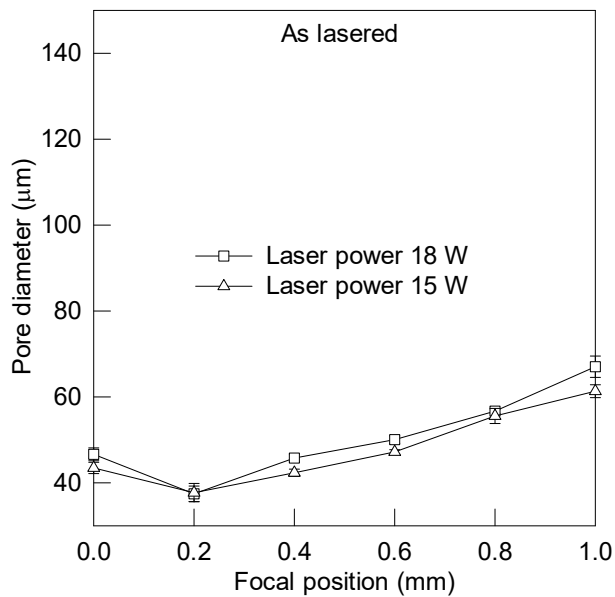
(c) Focal position 0.4 mm (d) Focal position 0.6 mm



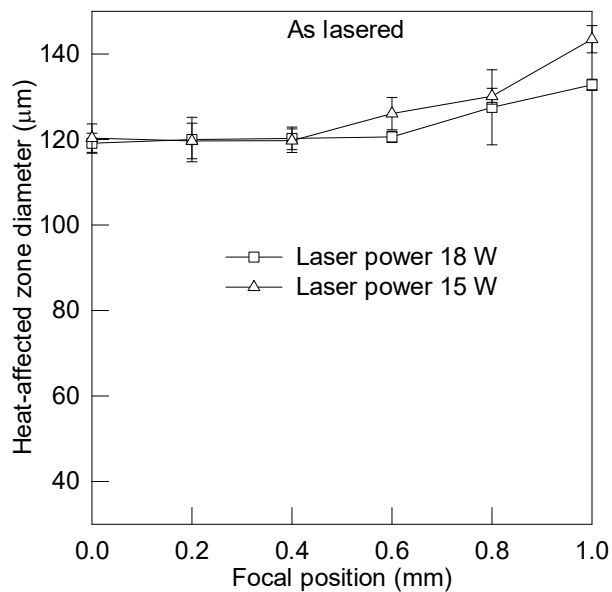
(e) Focal position 0.8 mm (f) Focal position 1.0 mm

รูปที่ 7 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัด ที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ และที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน

ขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน หรือ รอยไหม้ขัดที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน แสดงในรูปที่ 9 สำหรับตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ตั้งแต่ 0 ถึง 0.4 มิลลิเมตร รอยไหม้มีขนาดคงที่ คือ 120 ไมโครเมตร ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ตั้งแต่ 0.6 ถึง 1 มิลลิเมตร รอยไหม้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ที่เพิ่มขึ้น ตำแหน่งโฟกัสของเลเซอร์ คือ ตำแหน่งจุดที่ปลายลำแสงเลเซอร์ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด [16] สำหรับตำแหน่งที่อยู่เหนือหรือต่ำกว่าจุดโฟกัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้ได้หลุมที่ใหญ่ขึ้น

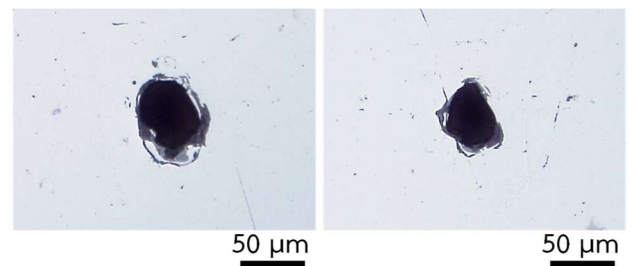


รูปที่ 8 ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กก่อนการขัด ที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน

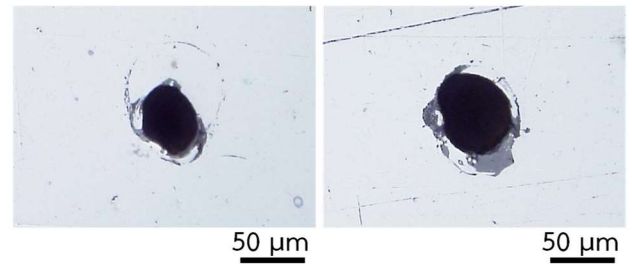


รูปที่ 9 ขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน ที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน

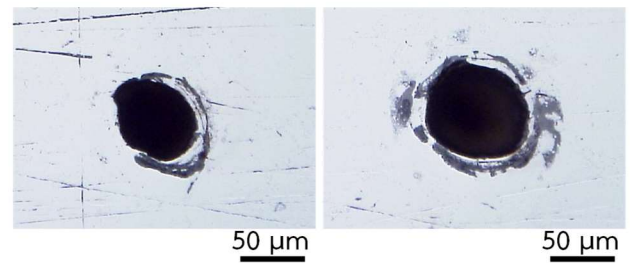
หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการขัด ที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ และที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกันแสดงในรูปที่ 10 รอยขนและรอยไหม้ถูกขัดออก แต่ก็ยังมีร่องรอยการหลอมละลายรอบๆ ขอบหลุมกักเก็บน้ำมันเหลืออยู่เล็กน้อย การขยับโฟกัสของเลเซอร์ให้สูงขึ้นจากพื้นผิว ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมใหญ่ขึ้น



(a) Focal position 0 mm (b) Focal position 0.2 mm

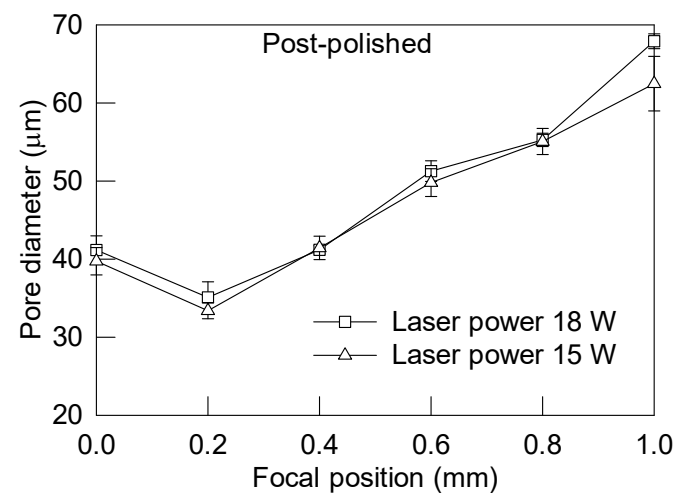


(c) Focal position 0.4 mm (d) Focal position 0.6 mm



(e) Focal position 0.8 mm (f) Focal position 1.0 mm

รูปที่ 10 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการขัด ที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ และที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน



รูปที่ 11 ขนาดหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการขัด ที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกัน

ขนาดหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กหลังการขัด ที่ตำแหน่งโฟกัสต่างกันแสดงในรูปที่ 11 ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 0.2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมกักเก็บน้ำมันเล็กลง แต่หลังจากนั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมใหญ่ขึ้น ขนาดของหลุมที่กำลังเลเซอร์ทั้ง 15 วัตต์ และ 18 วัตต์ มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 1 มิลลิเมตร และกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ ได้หลุมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด คือ 67 ไมโครเมตร Vilhena และคณะ [17] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรของหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กที่สร้างด้วยกระบวนการ Laser texturing ต่อสมบัติทางด้านไทรบอโลยี พบว่า หลุมกักเก็บน้ำมันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 50 ถึง 63 ไมโครเมตร สามารถช่วยการหล่อลื่นได้ดี และจากผลการวิเคราะห์กลไกการหล่อลื่นของหลุมกักเก็บน้ำมันที่มีขนาดต่างกัน บนผิวของแม่พิมพ์รีดลวดความหนาผนัง (Ironing die) โดย Shimizu และคณะ [19] พบว่า แรงที่ใช้รีดลวดความหนาผนังมีค่าสูง เมื่อใช้แม่พิมพ์ที่มีหลุมกักเก็บน้ำมันขนาด 10 ไมโครเมตร เนื่องจากหลุมขนาด 10 ไมโครเมตร กักเก็บน้ำมันหล่อลื่นได้ปริมาณน้อย ไม่สามารถสร้างแรงดันไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic pressure) ส่งผลให้เกิดการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างผิวของแม่พิมพ์และผิวของชิ้นงาน และก่อให้เกิดการยึดติด (Adhesion) ของวัสดุชิ้นงานไปบนผิวของแม่พิมพ์ สำหรับหลุมกักเก็บน้ำมันขนาด 100 ไมโครเมตร แรงที่ใช้รีดลวดความหนาผนังมีค่าต่ำลง แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยหลุมขนาดใหญ่มีปริมาตรมาก น้ำมันหล่อลื่นจึงกักตัวอยู่ในหลุม มีเพียงปริมาณน้อยที่จ่าย (Supply) ไปคั่นระหว่างผิวหน้าสัมผัสการรีดลวดความหนาผนังโดยใช้แม่พิมพ์ที่มีหลุมกักเก็บน้ำมันขนาด 50 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่า แรงดันไฮโดรไดนามิกมีค่าสูงสุด หลุมกักเก็บน้ำมันสามารถจ่ายน้ำมันหล่อลื่นอย่างเพียงพอ (Sufficient lubricant supply) เข้าสู่ผิวหน้าสัมผัส ส่งผลให้มีความสามารถในการหล่อลื่นดี และแรงรีดลวดความหนาผนังมีค่าต่ำที่สุด

ในงานวิจัยนี้ ตัวแปรของกระบวนการเลเซอร์ซึ่งสามารถสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันที่มีขนาดใกล้เคียง 50 ไมโครเมตรได้ มีดังนี้ สำหรับกำลังเลเซอร์ 15 วัตต์ ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ได้หลุมขนาด 50, 55 และ 63 ไมโครเมตร ตามลำดับ สำหรับกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ ที่

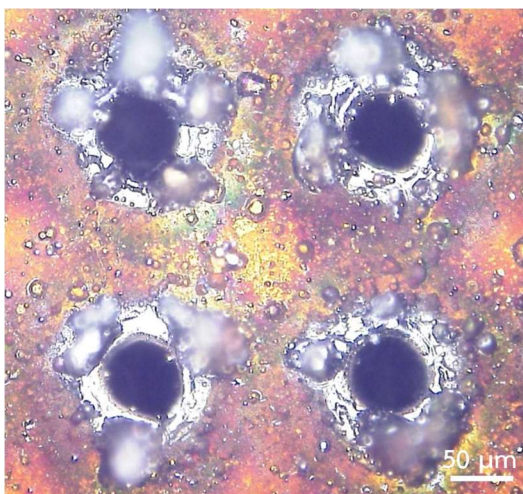
ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร ได้หลุมขนาด 51 และ 55 ไมโครเมตร ตามลำดับ

Geiger และคณะ [3] ใช้ Excimer laser radiation สร้างหลุมขนาดเล็กบนผิวแม่พิมพ์ตัวผู้หรือพUNCH (Punch) ที่ใช้ในงานทุบขึ้นรูปเย็น พื้นผิวของแม่พิมพ์ต้องสามารถกักเก็บและป้อนสารหล่อลื่นเข้าสู่หน้าสัมผัส นอกจากนั้นต้องสามารถเก็บเศษหรืออนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นระหว่างการขึ้นรูป ดังนั้น หลุมขนาดเล็กจึงสร้างเป็นรูปแบบหลายแถวครอบคลุมพื้นที่บนผิวหน้าสัมผัส ระยะห่างระหว่างแถวของหลุมขนาดเล็กมีหลายระยะด้วยกัน เช่น 125, 200, 250 และ 500 ไมโครเมตร เป็นต้น [10, 17, 18] ดังนั้น การสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กบนพื้นผิวเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงนี้ เบื้องต้นใช้ระยะห่างระหว่างแถว 200 ไมโครเมตร และค่าของตัวแปรของกระบวนการเลเซอร์ใช้ค่าดังนี้ ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 0.8 mm กำลังเลเซอร์ 15 และ 18 วัตต์ หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กแบบหลายแถว แสดงในรูปที่ 12 และ 13 เนื่องจากที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์มีพลังงานของลำแสงที่สูงกว่าที่กำลังเลเซอร์ 15 วัตต์ ทำให้รอยไหม้มีขนาดโต คือ 119 ไมโครเมตร ในขณะที่ 15 วัตต์มีขนาด 117 ไมโครเมตร การสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กแบบหลายแถวซึ่งทำงานต่อเนื่องจะทำให้ความร้อนสะสมบนชิ้นงาน รอยไหม้ของกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ มีสีเข้มกว่าของกำลังเลเซอร์ 15 วัตต์ หลุมหลังการขัดของกำลังเลเซอร์ 15 และ 18 วัตต์ มีขนาด 58 และ 59 ไมโครเมตร ตามลำดับ

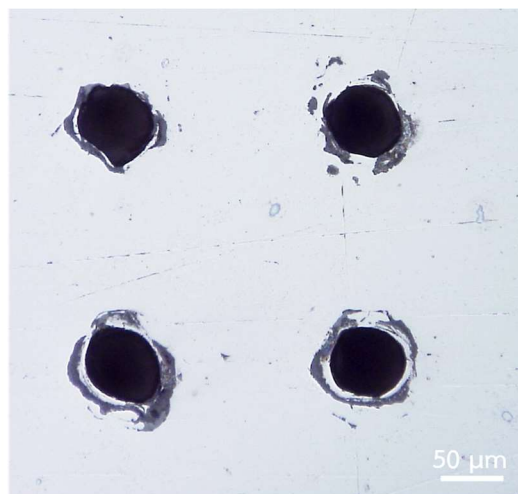
4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กบนพื้นผิวเหล็กกล้าความเร็วรอบสูงด้วยกระบวนการเลเซอร์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อิทธิพลของกำลังเลเซอร์ พบว่า ขนาดของหลุมกักเก็บน้ำมัน และขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนหรือรอยไหม้เพิ่มขึ้น เมื่อกำลังเลเซอร์เพิ่มขึ้น หลุมกักเก็บน้ำมันหลังการขัดสำหรับกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด คือ 41 ไมโครเมตร



(a) As lasered surface

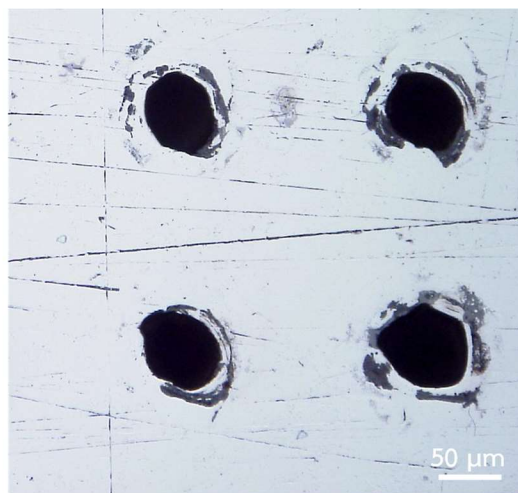


(b) Post-polished surface

รูปที่ 12 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กแบบหลายแถว ก่อนและหลังการขัด ที่กำลังเลเซอร์ 15 วัตต์ และที่ตำแหน่งโฟกัส 0.8 มิลลิเมตร



(a) As lasered surface



(b) Post-polished surface

รูปที่ 13 หลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กแบบหลายแถว ก่อนและหลังการขัด ที่กำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ และที่ตำแหน่งโฟกัส 0.8 มิลลิเมตร

2. อิทธิพลของตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ ขนาดของบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน หรือรอยไหม้ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ตั้งแต่ 0 ถึง 0.4 มิลลิเมตร มีขนาดคงที่ คือ 120 ไมโครเมตร ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ตั้งแต่ 0.6 ถึง 1 มิลลิเมตร รอยไหม้มีขนาดใหญ่ขึ้นตามตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ที่เพิ่มขึ้น การขยับโฟกัสของเลเซอร์ให้สูงขึ้นจากพื้นผิว ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมใหญ่ขึ้น ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 1 มิลลิเมตร และกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ หลังการขัดได้หลุมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด คือ 67 ไมโครเมตร

3. กระบวนการเลเซอร์สามารถสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 30 ~ 67 ไมโครเมตร สภาวะเงื่อนไขของกระบวนการเลเซอร์ที่เหมาะสมต่อการสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลังการขัดระหว่าง 50 ไมโครเมตร ถึง 63 ไมโครเมตร คือ กำลังเลเซอร์ 15 วัตต์ ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิเมตร และกำลังเลเซอร์ 18 วัตต์ ที่ตำแหน่งโฟกัสเลเซอร์ 0.6 และ 0.8 มิลลิเมตร

4. กระบวนการเลเซอร์สามารถสร้างหลุมกักเก็บน้ำมันขนาดเล็กแบบหลายแถวครอบคลุมพื้นที่บนผิวราบได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้ "กองทุนสนับสนุนวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้" งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2564 โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ NKR2564INC005 ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bay N, Azushima A, Groche P, Ishibashi I, Merklein M, Morishita M, et al. Environmentally benign tribo-systems for metal forming. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2010;59(2): 760–780.
- [2] Mizuno T, Okamoto M. Effects of lubricant viscosity at pressure and sliding velocity on lubricating conditions in the compression-friction test on sheet metals. *Transactions of the ASME Journal of the Lubrication Technology*. 1982;104(1): 53–59.
- [3] Geiger M, Popp U, Engel U. Excimer laser micro texturing of cold forging tool surfaces - influence on tool life. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2002;51(1): 231-234.
- [4] Wakuda M, Yamauchi Y, Kanzaki S, Yasuda Y. Effect of surface texturing on friction reduction between ceramic and steel materials under lubricated sliding contact. *Wear*. 2003;254(3-4): 356-363.
- [5] Popp U, Engel U. Microtexturing of cold-forging tools-influence on tool life. *Proceed IMechE Part B Journal of the Engineering Manufacture*. 2006;220: 27-33.
- [6] Wagner K, Völkl R, Engel U. Tool life enhancement in cold forging by locally optimized surfaces. *Journal of Materials Processing Technology*. 2008;201(1-3): 2-8.
- [7] Meng F, Zhou R, Davis T, Cao J, Wang QJ, Hua D, Liu J. Study on effect of dimples on friction of parallel surfaces under different sliding conditions. *Applied Surface Science*. 2010;256, (9): 2863-2875.
- [8] Aramaki M, Yamada N, Furukimi O. Effect of combined shot treatment and nitriding on galling property of die used for high strength steels. *Journal of the Iron and Steel Institute of Japan International*. 2011;51(7): 1137-1141.
- [9] Furukimi O, Aramaki M, Abe K, Fukaura H, Yamada N. Improvement of die life with surface texture control and solid lubricant. *Heat Treatment and Materials Journal of Heat Treatment and Materials*. 2012; 67(2): 153-157.
- [10] Podgornik B, Jerina J. Surface topography effect on galling resistance of coated and uncoated tool steel. *Surface and Coatings Technology*. 2012;206(11-12): 2792-2800.
- [11] Abe Y, Mori K, Hatashita F, Shiba T, Daodon W, Osakada K. Improvement of seizure resistance in ironing of stainless steel cup with cermet die having fine lubricant pockets. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016;234: 195-207.
- [12] JIS Handbook. *Non-Ferrous Metals & Metallurgy*. Japanese Standards Association; 2013.
- [13] MatWeb. LLC. *JIS SKH51 Molybdenum High Speed Tool Steel*. Available from: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=46b45817a9a442f8bf650836955feeb9> [Accessed 29th October 2020].
- [14] Sun S, Brandt M. Laser beam machining. In: Davim JP. (ed.) *Nontraditional Machining Processes*. London: Springer; 2013. pp. 35–96.

- [15] Thawari G, Sarin Sundar JK, Sundararajan G, Joshi SV. Influence of process parameters during pulsed Nd: YAG laser cutting of nickel- base superalloys. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005;170(1-2): 229-239.
- [16] Pfeifer R, Herzog D, Hustedt M, Barcikowski S. Pulsed Nd: YAG laser cutting of NiTi shape memory alloys-Influence of process parameters. *Journal of Materials Processing Technology*. 2010;210(14): 1918-1925.
- [17] Vilhena LM, Podgornik B, Vižintin J, Možina J. Influence of texturing parameters and contact conditionson tribological behaviour of laser textured surfaces. *Meccanica*. 2011;46(3): 567–575.
- [18] Vilhena LM, Sedlaček M, Podgornik B, Vižintin J, Babnik A, Možina J. Surface texturing by pulsed Nd:YAG laser. *Tribology International*. 2009;42 (10): 1496-1504.
- [19] Shimizu T, Kobayashi H, Vorholt J, Yang M. Lubrication analysis of micro-dimple textured die surface by direct observation of contact interface in sheet metal forming. *Metals (MDPI)*. 2019;9(9): 917.