



รายงานการวิจัย

การทดสอบและทดลองผลกระทบของการเชื่อมด้วยเลเซอร์ โดยการใช้
ร่วมกับแก๊สเฉื่อยต่อคุณภาพของการเชื่อมงานอัญมณีและเครื่องประดับ

**Investigate the Effect of the Laser Welding with Supplied Inert
Gas on the Quality of the Jewelry Product**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การทดสอบและทดลองผลกระทบของการเชื่อมด้วยเลเซอร์ โดยการใช้
ร่วมกับแก๊สเฉื่อยต่อคุณภาพของการเชื่อมงานอัญมณีและเครื่องประดับ
(Investigate the Effect of the Laser Welding with Supplied Inert
Gas on the Quality of the Jewelry Product)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร. สุกัญญา เตชะไทรภพ
สาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์และฟิสิกส์
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง เป็นเพราะรับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
จึงขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้ อีกทั้งเจ้าหน้าที่F5 ตัดจัดเตรียมชิ้นงาน อีกทั้งนางสาวอพนตรี ข้าช่วย นาย
อำนาจ สอนเจริญ พีรัตน์ และพี่ห้ำไค้อนุเคราะห์เครื่องเลเซอร์และจัดทำชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัยใน
ครั้งนี้

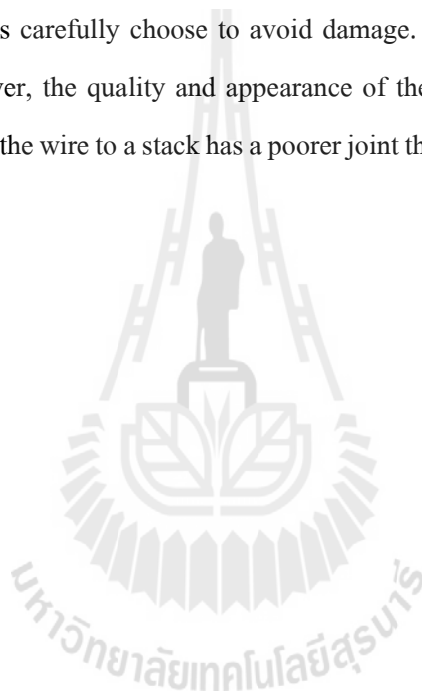
ผู้วิจัยขอแสดงความขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ. โอกาสนี้

อาจารย์ ดร. สุกัญญา เตชะไตรภพ



Abstract

Laser parameters affect the laser welding on jewelry both types of material or design. Gold has a lower reflectance than silver. Therefore, it requires less laser power than silver does. Even most of energy is reflected or scattered from the surface due to high reflective material and shiny surface. Required energy is reduced by applying oxidation or stain on the joint. A ring requires high laser energy because it has a thick and wide shank. A pendant has a thin sliver sheet holding the stone. Therefore, it require less laser power than a ring does. To limited heat dissipation to the adjacent area, the pulse duration time is reduced from 2.5 msec to 1.9 msec. For a very thin gold sheet, the type of laser pulse is carefully choose to avoid damage. Inert gas helps make the joint cleaner and smoother. However, the quality and appearance of the joint mainly depend upon the technique. At a joint, applying the wire to a stack has a poorer joint than applying both laser and wire.



บทคัดย่อ

การเชื่อมวัสดุทองคำและเงินในงานอัญมณีและเครื่องประดับด้วยเลเซอร์ ตัวแปรเลเซอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและลักษณะของชิ้นงาน ทองคำต้องการพลังงานเลเซอร์ที่ต่ำกว่าวัสดุเงิน เนื่องจากมีค่าการสะท้อนที่ต่ำกว่า ถึงแม้ว่าพลังงานเลเซอร์ส่วนใหญ่จะสะท้อนหรือกระเจิงออกจากชิ้นงาน เทคนิคการลดพลังงานเริ่มต้นที่ใช้ในการเชื่อม โดยการสร้างเขม่าหรือความสกปรกให้เกิดที่รอยเชื่อมทำให้พลังงานเลเซอร์ที่ต้องใช้ในเชื่อมงานลดลง ลักษณะงานแหวนที่มีความหนาต้องการกำลังเลเซอร์ที่สูงกว่า ส่วนงานจี้เป็นงานบางต้องการกำลังเลเซอร์น้อยกว่า การลดการกระจายความร้อนไปยังบริเวณใกล้เคียง เวลาของพัลส์มีค่าลดลงจาก 2.5 เป็น 1.7 มิลลิวินาที ลักษณะงานที่บางมากของแผ่นทองต้องการรูปแบบพัลส์ที่เหมาะสมในการเชื่อม ในการเชื่อมที่มีการใช้แก๊สเฉื่อยเข้าช่วย พบว่ารอยเชื่อมมีเขม่าน้อยและได้รอยเชื่อมที่เนียนและสวยกว่า แต่อย่างไรก็ตามทั้งในด้านความแข็งแรงและความสวยงามของรอยเชื่อมขึ้นตรงกับเทคนิคในการยิงเป็นสำคัญ การเชื่อมการเชื่อมแบบยิงไล่ให้รอยเชื่อมที่สวยและมีคุณภาพมากกว่าแบบยิงโป๊ะ



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 การเชื่อมด้วยหัวไฟ	4
2.2 การเชื่อมด้วยเลเซอร์	4
2.3 โหมดการเชื่อม (Welding mode)	6
2.3.1 เกิดตามคหรือรูพรุน (Porosity)	7
2.3.2 แก๊สปกคลุม (Shield gas)	7
2.4 ชนิดของแก๊สปกคลุม (Shielding gas type)	8
2.5 คุณสมบัติของวัสดุทองและเงิน (Properties of gold and silver material)	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การเตรียมการทดลอง	11
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	12
3.2.1 การทดลองการเชื่อมด้วยเลเซอร์นี้โอติเมียมแฮ็คเลเซอร์	12
3.2.2 การแสดงผลของการเชื่อมชิ้นงานด้วยกล้องกำลังขยายสูง	13
3.2.3 การเร่งปฏิกิริยา Oxidation	14
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 งานเชื่อมวัสดุเงิน ในรูป Butt joint	15
4.1.1 การเชื่อมวัสดุเงินที่เป็นแผ่นบางที่ค่าตัวแปรเลเซอร์ต่างๆ	15
4.1.2 การเชื่อมวัสดุเงินที่เป็นแผ่นบางโดยใช้เทคนิคและตัวแปรต่างๆ	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2.1 ความสกปรกและความกว้างของรอยต่อ	19
4.1.2.2 เทคนิคการยิงกับความแข็งแรงของการเชื่อม	21
4.2 การเชื่อมเครื่องประดับ	22
4.2.1 การเชื่อมแหวนเงิน	22
4.2.2 การเชื่อมจี้เงิน	25
4.2.3 การเชื่อมต่างหูทอง	26
4.3 การเชื่อมโดยการปรับลักษณะของเลเซอร์พัลส์	26
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการวิจัย	28
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม	30
ประวัติผู้วิจัย	32



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าพลังงานไอออไนซ์ ระดับที่หนึ่ง (First ionization potential) และค่า Molecular weight ของ โลหะ และแก๊ส	9
2.2	แสดงรายละเอียดของคุณสมบัติ โดยทั่วไปของทองและเงิน	10
4.1	ผลการทดสอบความแข็งแรงของการเชื่อมด้วยหัวไฟ และเลเซอร์	22



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโลหะ หลังจากที่ใช้แสงเลเซอร์ตกกระทบ	5
2.2	ขบวนการเชื่อมซึ่ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงาน (Power) และเวลา	6
2.3	แสดงลักษณะของรอยเชื่อมในแนวตัดขวาง ก. คอนดัคชัน โหมด (Conduction mode) และ ข. คีย์โฮโหมด (Keyhole mode)	7
2.4	แสดงความลึกของรอยเชื่อม (Penetration weld) ที่ได้จากการใช้แก๊สปกคลุมที่แตกต่างกัน	10
3.1	แสดงชิ้นงานเงินที่ได้ตัดเตรียมก่อนการเชื่อม	11
3.2	การเชื่อมชิ้นงานในลักษณะ Butt joint เพื่อกำหนดระยะช่องว่างของชิ้นงานทั้งสอง	12
3.3	ลักษณะชิ้นงานเงินที่นำไปทดสอบแรงดึง	12
3.4	เครื่องนีโอเนียมแฮคเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.5	กล้องกำลังขยายสูงที่ใช้ตรวจสอบรอยเชื่อม	13
3.6	กล้องเก็บชิ้นงานที่บรรจุแก๊สอยู่ภายใน	14
4.1	แสดงการเชื่อมวัสดุเงิน โดยกำลังเลเซอร์มีค่า ก. 3.0 ข. 4.0 ค. 5.0 และ ง. 6.0 กิโลวัตต์	16
4.2	แสดงภาพตัดขวาง ของการเชื่อมเมื่อกำลังเลเซอร์มีค่า ก. 3.0 และ ข. 6.0 กิโลวัตต์	16
4.3	แสดงการเชื่อมวัสดุเงินเมื่อขนาดเลเซอร์มีค่า ก. 0.5 ข. 0.4 ค. 0.3 และ ง. 0.2 มม.	17
4.4	แสดงการเชื่อมวัสดุเงินเมื่อเวลาพัลส์ของเลเซอร์มีค่า ก. 2 ข. 3 ค. 4 และ ง. 5 มิลลิวินาที	18
4.5	การเชื่อมชิ้นงานที่มีความสกปรก และขนาดความกว้างของรอยต่อ	19
4.6	การเชื่อมชิ้นงานมีการระบายสีที่ชิ้นงานด้านหนึ่ง	20
4.7	การใช้ลวดเชื่อมทำให้เกิดเขม่าในการเชื่อมงาน	21
4.8	แสดงชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวไฟหลังจากการทดสอบความแข็งแรง	23
4.9	การเชื่อมลักษณะ โป๊ยะแสดงทางซ้ายมือและการไล่ทางขวามือ	23
4.10	การเชื่อมแบบโป๊ยะโดยไม่ใช้แก๊สทางซ้ายมือและใช้แก๊สทางขวามือ	23
4.11	แหวนเงินที่ผ่านการเชื่อม แต่งและหุบแล้ว โดย ก. หัวไฟ ข. เลเซอร์แบบยิง โป๊ยะ และ ค. เลเซอร์แบบยิงไล่	24
4.12	ชิ้นงานเงินที่ผ่านการหุบด้วยโรเดียม และนำมาเชื่อมด้วย ก. หัวไฟ ข. เลเซอร์	25
4.13	ชิ้นงานต่างหูที่นำมาเชื่อมด้วย ก. หัวไฟ และเลเซอร์ โดย ข. ไม่ใช้แก๊ส และ ค. ใช้แก๊ส	26
4.14	การเชื่อมแผ่นเงินที่ลักษณะของเลเซอร์พัลส์ที่แตกต่างกัน	27

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

สมาคมผู้ผลิตอัญมณีและเครื่องประดับได้รายงานถึงมูลค่าการส่งออกในระดับแสนล้านอย่างต่อเนื่อง แต่ในปัจจุบันประเทศไทยเผชิญกับการแข่งขันจากประเทศอินเดีย และจีนเนื่องด้วยประเทศดังกล่าวมีค่าแรงที่ต่ำ และเป็นแหล่งผลิตเพชร พลอยสำคัญของโลก ดังนั้นการประกอบขึ้นด้วยเรือนโดยการใส่เพชร พลอย ประกอบขึ้นมาเป็นเครื่องประดับสำเร็จ จึงมีต้นทุนที่ต่ำกว่าประเทศไทยมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่เรากว่าประยุกต์ใช้เครื่องมือทางเทคโนโลยี และสนับสนุนทางวิชาการ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่ออุตสาหกรรมนี้ ทั้งนี้ทั้งนั้นเพื่อเป็นการสนับสนุนให้อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับสามารถแข่งขันกับตลาดโลกได้

เนื่องจากการแข่งขันทางการตลาดที่สูงขึ้น ผู้ผลิตอัญมณีจึงได้ออกแบบรูปแบบเครื่องประดับ ที่ความซับซ้อน เพื่อให้ไม่ให้เกิดการเลียนแบบได้ง่าย ดังนั้นเครื่องประดับหนึ่งชิ้นมักประกอบด้วยชิ้นส่วนของชิ้นงานมากกว่าหนึ่งชิ้นขึ้นไป เทคนิคการประกอบชิ้นงานที่ซับซ้อนต้องใช้เวลาการผลิตน้อยและต้นทุนต่ำ เพื่อให้สามารถแข่งขันในเรื่องของราคาและคุณภาพ ปัญหาที่พบจากการผลิตคือการใช้เทคนิคและการเครื่องมือที่ไม่เหมาะสม ทำให้งานบิดเบี้ยว ปรากฏรอยตามด (ตามดคือบริเวณที่เนื้อโลหะมีลักษณะไม่เรียบ เป็นหลุม ที่มีขนาดเล็ก) ทำให้ชิ้นงานต้องเข้าไปสู่กระบวนการกัดซ้ำซ้ำ ทำให้การผลิตใช้เวลานาน การส่งงานไม่ทันกำหนด และต้นทุนสูง

การประกอบชิ้นงานโดยทั่วไปมีการใช้เทคนิคสองอย่าง คือการใช้หัวไฟ (Torch) หรือแสงเลเซอร์ อย่างแรกคือการใช้หัวไฟ (Torch) หัวไฟให้เปลวไฟที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถกำหนดบริเวณและควบคุมการละลาย ของอัลลอยด์หรือเนื้อโลหะได้ การละลายและความร้อนที่แพร่กระจายจึงเกิดเป็นบริเวณกว้าง ความร้อนที่มากเกินไปนอกเหนือจากจะทำให้เพชร พลอยบริเวณใกล้เคียงแตกเสียหายได้ อาจทำให้ทำให้หลวละลายหรือรูปทรงของชิ้นงานบริเวณใกล้เคียงผิดเพี้ยน หรือทำให้เกิดการลุกลามของตามด รวมทั้งให้เกิดแตกต่างของสี และความผิดเพี้ยนของระหว่างบริเวณที่มีการเชื่อมและโลหะใกล้เคียงมีมากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวทำให้กระบวนการผลิตใช้เวลานาน ต้นทุนการผลิตสูงและคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน เป็นผลให้ลดศักยภาพการแข่งขันทางการตลาดลง

ส่วนเลเซอร์ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเชื่อมชิ้นงานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของเลเซอร์ที่มีลำแสงที่ไม่น่าบปลาย มีคุณภาพ พลังงานจากเลเซอร์จึงอยู่ในบริเวณที่จำกัด การกระจายความร้อนอยู่ในบริเวณแคบ การใช้ลำแสงเลเซอร์ในการเชื่อมจึงได้จุดเชื่อมที่มีขนาดเล็ก ไม่ทำให้เกิดการแตกร้าวเสียหายสำหรับ เพชร พลอย หินสีที่ไวต่อความร้อน รวมทั้งไม่ทำให้หลวละลายเครื่องประดับรูปทรง และที่สำคัญยังไม่ทำให้สีของบริเวณที่มีการเชื่อมมีความผิดเพี้ยน

ไปมาก[Brown 2003, Wright 2002] อีกทั้งการใช้แก๊สเฉื่อยช่วยในการเชื่อมชิ้นงานด้วยเลเซอร์ [Watanabe, 2006 และ Li et al., 1997] เพิ่มคุณภาพในด้านความสวยงามที่รอยเชื่อม ซึ่งอาจเป็นทางเลือกในการปรับปรุงคุณภาพของเครื่องประดับอีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้คาดว่าจะเป็นการชี้แนะทางวิชาการและเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการ อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับไทยได้นำเทคโนโลยีไปใช้ให้เหมาะสม ในการผลิตสินค้า ส่งผลให้มีการพัฒนาสินค้า เพิ่มผลิตภาพ และคุณค่าของสินค้า ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างโอกาสทางการตลาดที่เหนือกว่าคู่แข่ง

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เป้าหมายดังกล่าวครอบคลุม ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจ ให้สมดุลและยั่งยืน ในด้าน (3.1) การปรับโครงสร้างการผลิตเพื่อเพิ่มผลิตภาพ และคุณค่าของสินค้า และ บริการบนฐานความรู้และความเป็นไทย และ (3.2) การสร้างภูมิคุ้มกันของระบบเศรษฐกิจ และนอกจากนี้ยังครอบคลุมยุทธศาสตร์การเสริมสร้างธรรมาภิบาลในการบริหารจัดการประเทศ ใน ด้าน (5.5) ส่งเสริมภาคธุรกิจเอกชนให้เกิดความเข้มแข็ง สุจริต และมีธรรมาภิบาล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล และ
2. เพื่อเพิ่มศักยภาพทางการตลาดของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศ ควรให้มีการสนับสนุนทางวิชาการและเทคโนโลยี ในเรื่องของการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนเครื่องประดับด้วยเลเซอร์ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของงาน
3. ทำการทดสอบและทดลองการเชื่อมด้วยเลเซอร์และหัวไฟต่อการเชื่อมของอัลลอยด์เงินและทอง เพื่อศึกษาผลกระทบของความแข็งแรงของการเชื่อมและการผิผิวของสี รูปแบบ รวมทั้งตามด
4. ทำการทดสอบและทดลองการเชื่อมด้วยเลเซอร์ ในกรณีที่มีการใช้และไม่ใช้แก๊สเฉื่อยช่วย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ใช้เครื่องนีโอดิเมียมแอกต์เลเซอร์ (Nd:YAG Laser) แบบพัลส์ ในการทดลองและเก็บข้อมูลของการเชื่อม ร่วมกับการใช้แก๊สเฉื่อย โดยอัลลอยด์ที่เลือกใช้คือ เงินและทอง เนื่องจากเป็นอัลลอยด์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ การวิเคราะห์และเก็บข้อมูลจากการเชื่อมกระทำโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ดูผลจากการเชื่อม

และการเร่งปฏิกิริยาของการผิพื้อนของสีโดยขบวนการออกซิเดชั่น (Oxidation) ซึ่งค้นพบหลังจากทำการทดลองว่าการดูรายละเอียดการเชื่อมในงานอัญมณีเครื่องประดับนั้นสามารถตรวจสอบและเก็บข้อมูลโดยใช้กล้องกำลังขยายสูง 90 เท่า อีกทั้งปฏิกิริยา Oxidation ขึ้นกับขบวนการชุบและคุณภาพของการชุบ มากกว่าขบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ส่วนหนึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการเผยแพร่ความรู้เพื่อให้เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยเทคโนโลยี การบริการความรู้ ในรูปบทความ การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ Siam Physics Congress 2010 และ National Conference of Optics and Applications ครั้งที่ 6 ปี 2011



บทที่ 2

ทฤษฎี

การเชื่อมประกอบโลหะเข้าด้วยกันมีหลายวิธี ในการวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึงการเชื่อมด้วยหัวไฟและการเชื่อมด้วยเลเซอร์ การเชื่อมด้วยหัวไฟ (torch) ให้ความร้อนกระจายเป็นบริเวณกว้างทำให้เกิดรอยเชื่อม มีขนาดใหญ่ ส่วนการเชื่อมด้วยเลเซอร์ด้วยลำแสงเลเซอร์มีขนาดเล็กและเป็นเส้นตรง ทำให้การเล็งเป้าหมายรอยเชื่อมมีความแม่นยำ จึงเป็นที่นิยม [Duley, 1998, Smith et al., 1972, Wright, 2002, Brown, 2003, และ Kugler, 2003] อีกทั้งควบคุมการกระจายความร้อนไปยังบริเวณใกล้เคียงได้ดี จึงไม่ทำให้ไม่มีการบิดงอของชิ้นงานในบริเวณใกล้เคียง

ในการปรับปรุงคุณภาพความแข็งแรงและความสวยงามจากการเชื่อม ความแข็งแรงเกิดขึ้นได้ถ้ามีการลดการแทรกตัวของแก๊สในบรรยากาศที่เข้าไปแทรกตัวระหว่างที่โลหะอยู่ในสถานะของเหลว [Sibillano et al., 2005, Semark et al., 2000, Dowden et al., 1989, และ Beck et al., 1995] การแทรกตัวของอากาศเป็นผลให้เกิดรูพรุนหรือฟองอากาศจากการเชื่อม อีกทั้งเป็นผลให้เกิดเขม่าจากการเชื่อม ส่วนความสวยงามของการเชื่อมก็คือการได้รอยเชื่อมที่ไม่ขรุขระ สามารถกระทำได้โดยการลดการแทรกตัวของแก๊สในบรรยากาศด้วยแก๊สเฉื่อย [Watanabe, 2006, Li et al., 1997 และ Duley, 1998] และเทคนิคของการเชื่อมงานที่เหมาะสม

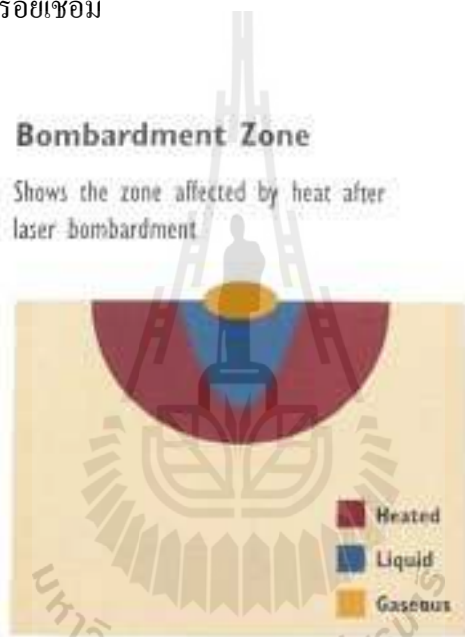
2.1 การเชื่อมด้วยหัวไฟ (Torch)

ความร้อนที่ได้จากการเชื่อมด้วยหัวไฟเป็นการผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงกับแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์ทำให้ได้เปลวไฟที่ให้ความร้อนสูง ความร้อนที่ออกมาจากหัวไฟมีขนาดใหญ่ในระดับเซนติเมตร ทำให้ปริมาณความร้อนกระจายอยู่บริเวณกว้าง ซึ่งต่างกับเลเซอร์ที่ให้ลำแสงออกมามีขนาดเล็กกว่าในระดับมิลลิเมตร ในการเชื่อมงานหัวไฟต้องทำให้ชิ้นงานร้อนเพียงพอ จากนั้นก็จะใช้ (อาจจะไม่ใช้) ลวดเติมเพื่อเชื่อมชิ้นงานให้ติดกัน ขนาดของเปลวไฟจากหัวไฟและขบวนการเชื่อมที่ต้องทำให้ชิ้นงานร้อนก่อนมีผลเสียอย่างมากต่อชิ้นงานที่มีลวดลายหรือใกล้กับอัญมณี เนื่องจากความร้อนดังกล่าวทำให้เครื่องประดับผิดรูปร่าง ผิดจากแบบเดิม อัญมณีมีตำหนิ และความเสียหายอื่นๆ

2.2 การเชื่อมด้วยเลเซอร์

ขบวนการเชื่อมโลหะด้วยเลเซอร์เป็นขบวนการที่ต่อเนื่อง เริ่มจากเมื่อลำแสงเลเซอร์ตกกระทบยังโลหะเป้าหมาย พลังงานส่วนหนึ่งของเลเซอร์ถูกสะท้อนกลับการสะท้อนกลับของแสงสามารถแสดงได้ด้วยค่า Reflectance โลหะเงินและทองมีค่า Reflectance สูงกว่า 98% [Bennett and Ashley, 1965]

ดังนั้นพลังงานส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการหลอมละลาย ประกอบกับถ้าชิ้นงานมีความเงามัน ลำแสงเลเซอร์จะเกิดการกระเจิง (Scattering) ออกจากเป้าหมายมากขึ้น ก็ทำให้ชิ้นงานได้พลังงานเลเซอร์ น้อยลงไปอีก พลังงานของเลเซอร์ที่ถูกดูดกลืนที่โลหะเป้าหมาย จะถูกนำไปทำให้เกิดการหลอมละลายของ โลหะและการฟอร์มตัวของกลุ่มแก๊ส (Gaseous) เหนือชิ้นงานที่เรียกว่าพลาสมา (Plasma) ดังรูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์นี้ไม่เป็นสิ่งที่ปรารถนาของการเชื่อม [Wang, 1995] เนื่องจากไปทำให้เกิดการลดขนาดของ พลังงานที่ตกกระทบเป้าหมายโลหะ อีกทั้งพลาสมาและกลุ่มแก๊สในบรรยากาศทำปฏิกิริยากับโลหะใน ระหว่างขบวนการเชื่อม ส่วนของพลังของเลเซอร์ที่ถูกดูดกลืนที่โลหะเป้าหมายจะถูกใช้ในการทำให้โลหะ ละลาย เพื่อเชื่อมโลหะเข้าด้วยกัน ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า บริเวณหลอมละลาย (Liquid Zone) ส่วนพลังงานที่มีขนาดไม่สูงเพียงพอที่จะทำการละลายโลหะได้ ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นพลังงานความร้อน เมื่อบริเวณ หลอมละลายเย็นตัวลงจะปรากฏรอยเชื่อม

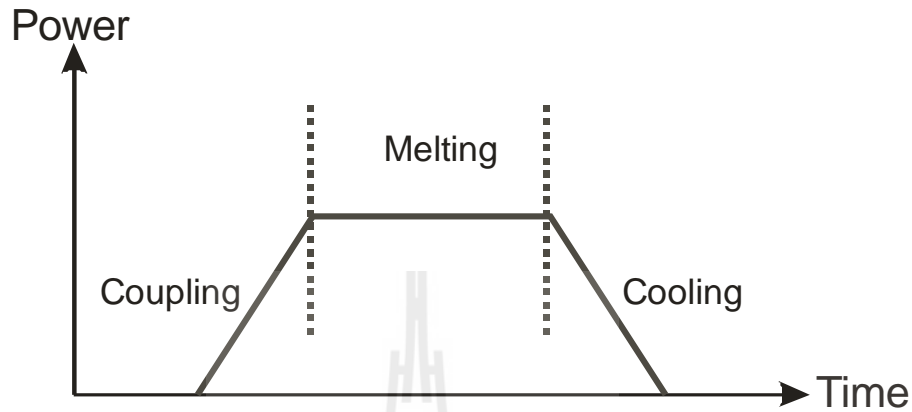


รูปที่ 2.1. รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อโลหะ หลังจากที่ถูกแสงเลเซอร์ตกกระทบ [Faerber et al., 2003]

ขบวนการเชื่อมที่เกิดอย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากที่เลเซอร์ถูกดูดกลืนที่เป้าหมายสามารถ อธิบายได้ดังนี้ โลหะจะรับพลังงานจากเลเซอร์ผ่านขบวนการคัปปลิง (Coupling process) ดังรูปที่ 2.2 โลหะ ได้รับความถ่ายเทพลังงานจากเลเซอร์ทำให้พลังงานที่โลหะสูงขึ้น จนกระทั่งนำไปสู่ขบวนการหลอมละลาย (Melting process) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวของโลหะ ส่วนพลังงานที่เหลือและ ไม่เพียงพอต่อการหลอมโลหะ เปลี่ยนสภาพเป็นพลังงานความร้อนและถูกถ่ายเทไปยังบริเวณใกล้เคียงกับ รอยเชื่อม เมื่อพลังงานของเลเซอร์ได้สิ้นสุดลง โลหะจะเกิดการเย็นตัวและเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็น

ของแข็ง (Solidification) ผ่านขบวนการเย็นตัว (Cooling process) ทำให้เกิดการเชื่อมของเนื้อโลหะเข้าด้วยกัน

ตัวแปรของเลเซอร์ (Laser parameters) ที่เกี่ยวเนื่องโดยตรงต่อขบวนการเชื่อม กล่าวคือ กำลังของพัลส์ (Power) และขนาดของเลเซอร์ (Laser spot size) เป็นการกำหนดระดับพลังงานที่จะกระทบ

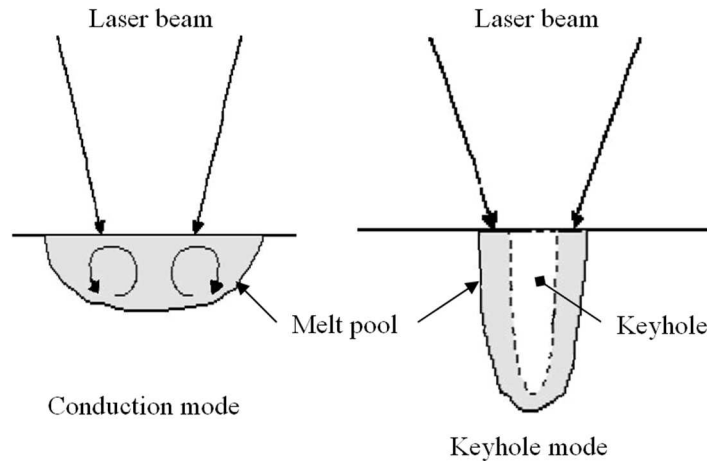


รูปที่ 2.2 ขบวนการเชื่อมซึ่ง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงาน (Power) และเวลา

ขบวนการหลอมละลาย และลักษณะของพัลส์ (Pulse) เกี่ยวเนื่องกับขบวนการค้ำปิ้งและขบวนการเย็นตัว ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิจัยต่อไป

2.3 โหมดการเชื่อม (Welding mode)

ระดับของหนาแน่นของพลังงานเลเซอร์ทำให้เกิดรอยเชื่อมเป็นสองลักษณะ กล่าวคือคอนดัคชันโหมด (Conduction mode) และ คีย์โฮโหมด (Keyhole mode) เมื่อความหนาแน่นของพลังงานเลเซอร์มีระดับต่ำ รอยเชื่อมเป็นรูปเสมือนถ้วย (Bowl-shape) ความลึกของรอยเชื่อมตื้น (Shallow) ดังรูปที่ 2.3 โดยทั่วไปเลเซอร์มีการกระจายของพลังงานในรูปแบบเกาส์เซียน (Gaussian beam profile) โดยบริเวณตรงกลางของลำแสงมีระดับพลังงานสูงสุด และส่วนที่ขอบของลำแสงทั้งสองข้างมีระดับพลังงานต่ำกว่า เมื่อลำแสงเลเซอร์ตกกระทบเป้าหมายโลหะ พลังงานตรงกลางของลำแสงเมื่อถูกดูดกลืนบริเวณผิวโลหะและมีขนาดเพียงพอในการหลอมละลายโลหะ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาพจากโลหะเป็นของเหลวในบ่อหลอมละลาย (Melt pool) สำหรับระดับพลังงานบริเวณขอบของลำแสงที่ไม่เพียงพอต่อการหลอมละลายของโลหะก็จะถูกถ่ายเทไปยังด้านข้างของบ่อหลอมละลายในรูปของความร้อน ผลของการกระจายของพลังงานดังกล่าวทำให้เกิดการกระจายของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อทิศทางของปรากฏการณ์การละลาย (Melting dynamic) ของโลหะภายในบ่อหลอมละลาย ผลของแรงตึงผิว (Surface tension) ทำให้เกิดแรงดึงออกจากบริเวณตรงกลางบ่อหลอมละลาย อีกทั้งมีแรงดันจากข้างล่างของบ่อหลอมละลาย เนื่องจากข้างล่างมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้านบนที่ได้รับพลังงานมากกว่าจากลำแสงเลเซอร์ เป็นผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรอย



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของรอยเชื่อมในแนวตัดขวาง ก. คอนดัคชั่น โหมด (Conduction mode) และ ข. คีย์โฮโหมด (Keyhole mode) [Duley, 1998]

เชื่อม (Weld diameter) ด้านบนที่ได้มีขนาดกว้าง และระดับความลึก (Weld penetration) ของรอยเชื่อมที่ตื้น เมื่อระดับความหนาแน่นของพลังงานของลำแสงเลเซอร์มีค่าสูงขึ้น ระดับพลังงานที่สูงถึง $10^4 \text{ Watt mm}^{-2}$ ทำให้โลหะที่ผิวหน้าเกิดการกลายเป็นไอ (vaporize) เรียกว่า plume และไอนี้ถูกไอออไนซ์ (Ionize) กลายเป็นกลุ่มแก๊สพลาสมา (Plasma formation) เป็นผลทำให้เกิดรู (Hole) ที่บ่อหลอมละลาย พลังงานของเลเซอร์จึงสามารถถูกดูดกลืนที่ด้านล่างของผิวหน้าโลหะได้ จากนั้นพลังงานถูกสะท้อนและหักเหไปภายในรูหลอมละลาย เป็นผลให้อัตราการดูดกลืนพลังงานเลเซอร์ที่บ่อหลอมละลายเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้ได้อัตราการความลึกของรอยเชื่อมต่อพลังงานที่สูงขึ้น [Duley, 1998 และ Messler, 1999] รอยเชื่อมที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเชื่อมเท่ากับขนาดของลำแสงเลเซอร์โดยประมาณ [Ponpitak, 2009]

2.3.1 การเกิดตามคหรือรูพรุน (Porosity) ระหว่างขบวนการเย็นตัวของการเชื่อม แก๊สที่แทรกตัวเข้าไปยัง Liquid metal กลายสภาพเป็นฟองอากาศ (Bubbles) ฟองอากาศพยายามลอยตัวออกจากบ่อหลอมละลาย ตามทิศทางของแรงดึงดูด อาทิ ผลของแรงดึงดูดผิวมีแรงดึงไปยังด้านข้างและด้านล่างของรอยเชื่อม ฟองอากาศไม่สามารถหลุดออกมาได้ทันก่อนที่เนื้อโลหะและรอยเชื่อมเกิดการประสานระหว่างขบวนการเย็นตัว ทำให้เนื้อโลหะที่รอยประสานมีจำนวนน้อยเนื่องจากผลของการแทรกตัวของฟองอากาศ ซึ่งทำให้ความแข็งแรง และความคงทนที่ได้จากการเชื่อมลดลง การเกิดฟองอากาศภายในรอยเชื่อมนับว่าเป็นผลกระทบเนื่องจากชนิดของโลหะ ระดับพลังงาน และรูปลักษณะของพลังงานสัมพันธ์กับเวลาระหว่างขบวนการคัปป์และเย็นตัว ในระหว่างที่มีการคัปป์ของพลังงานไปยังเนื้อโลหะ และพลังงานมีอัตราการเพิ่มอย่างรวดเร็วก็เป็นผลต่อการเพิ่มอัตราการถูกกักของฟองอากาศเช่นกัน

2.3.2 แก๊สปกคลุม (Shield gas) แก๊สปกคลุมที่นำมาใช้ในการระงับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแก๊สในบรรยากาศ กับ Molten metal คือแก๊สเฉื่อย (Inert gas) เนื่องจากแก๊สเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับ

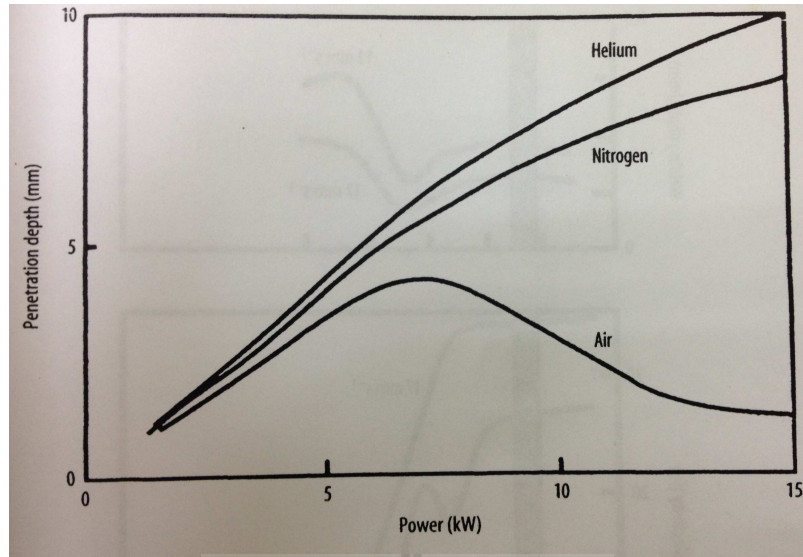
โลหะที่หลอมละลายอยู่ หน้าที่ของแก๊สปกคลุมคือทำการเป่าและขจัดแก๊สบรรยากาศออกไปจากบริเวณเป้าหมายของการเชื่อมก่อนที่จะมีการเชื่อม จากนั้นเมื่อลำแสงเลเซอร์ตกกระทบเป้าหมายแก๊สในบรรยากาศจึงไม่สามารถแทรกตัวทำปฏิกิริยากับโลหะหลอมละลายได้เนื่องจากแก๊สเฉื่อยได้ปกคลุม (Shield) บริเวณเชื่อมไว้แล้ว อีกทั้งแก๊สเฉื่อยยังทำการป้องกันการแทรกตัวของแก๊สในบรรยากาศระหว่างขบวนการเย็นตัวของโลหะ ทำให้การเกิดรูพรุนน้อยลง ลดการแตก ลดเขม่า และการเปราะจากการเชื่อมน้อยลง

2.4 ชนิดของแก๊สปกคลุม (Shielding gas type)

ประสิทธิภาพของการป้องกันผลของพลาสมาต่อชนิดแก๊สปกคลุม ขึ้นกับพลังงานไอออนไนซ์ ของแก๊สแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 2.1 กล่าวคือระดับพลังงานที่ต้องการในการทำให้แก๊สแตกตัว และกลายเป็นพลาสมา โดยปกติพลังงานไอออนไนซ์ ของแก๊สปกคลุมมีค่ามากกว่าพลังงานไอออนไนซ์ระดับที่หนึ่ง (First ionization potential) ของโลหะ ค่าแก๊สฮีเลียม (Helium) มีค่าพลังงานไอออนไนซ์ที่มากกว่าแก๊สไนโตรเจน (Nitrogen) จึงสามารถป้องกันการผลกระทบของพลาสมาต่อคุณภาพการเชื่อมโลหะได้ดีกว่า นีออน เป็นผลให้ความลึกของการเชื่อม (Penetration depth) ที่ได้มีค่าลึกกว่าแสดงดังรูปที่ 2.4 ส่วนแก๊สอาร์กอน (Argon) มีค่า Molecular weight ที่สูงกว่า จึงสามารถปกป้องรอยเชื่อมเป้าหมายจากการเกิด Oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของรอยเชื่อมที่เปราะง่าย ที่มีประสิทธิภาพดี [Dawes, 1992] แต่อย่างไรก็ตามการที่แก๊สอาร์กอนมีน้ำหนักที่มาก อาจทำให้ถูกกักที่บริเวณ weld zone จากนั้นเกิดการทำปฏิกิริยากับพลังงานตกกระทบที่สูงมีผลทำให้เกิดพลาสมาขึ้น เป็นผลให้ระดับความลึกของการเชื่อมตื้นลงได้ แต่อย่างไรก็ตามแก๊สอาร์กอนนิยมใช้ สำหรับการป้องกันการเกิด Oxidation ในช่วงต้นของการคัปปีงและช่วงท้ายระหว่างการกลายสภาพ เป็นของแข็งและเย็นตัว เหตุผลอีกประการที่แก๊สอาร์กอนได้รับความนิยมคือราคาที่ต่ำ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานไอออไนซ์ ระดับที่หนึ่ง (First ionization potential) และ
 ค่า Molecular weight ของโลหะ และแก๊ส [Steen, 2003, Ion, 2005, Larson, 1990, และ Israel Science and
 Technology, 2013]

Gas	Chemical symbol	Molecular weight	First ionization potential (eV)
Argon	Ar	39.95	15.68
Helium	He	4.00	24.46
Nitrogen	N ₂	28	15.65
Oxygen	O ₂	16	12.50
Aluminum	Al	27	5.96



รูปที่ 2.4 แสดงความลึกของรอยเชื่อม (Penetration weld) ที่ได้จากการใช้แก๊สปกคลุมที่แตกต่างกัน [Steen, 2003]

2.5 คุณสมบัติของวัสดุทองและเงิน (Properties of gold and silver material)

โลหะทองคำและเงินถือว่าเป็นโลหะที่มีมูลค่าสูง จึงถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอัญมณี และเครื่องประดับ คุณสมบัติโดยทั่วไปของโลหะทั้งสองแสดงดังตาราง 2.2 ถึงแม้ว่าโลหะทั้งสองชนิดจะมีค่าสะท้อน Reflectance สูงถึง 98% เป็นอย่างต่ำ แต่พลังงานของลำแสงนี้โอดีเนียมแฮ็คเลเซอร์เลเซอร์ก็ยังมีปริมาณที่เพียงพอในการเชื่อมโลหะ (Weldability) ค่าสะท้อน Reflectance ของวัสดุเงินมีค่าสูงกว่าทองคำ ดังนั้นโลหะเงินต้องการพลังงานเลเซอร์ที่สูงกว่าทองคำในการเชื่อม

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดของคุณสมบัติโดยทั่วไปของทองคำและเงิน [Togaya, 1999,

Davis, 2003, Bennett and Ashley, 1965]

โลหะ	Density g/cm ³	Melting Temperature (degree C)	Thermal conductivity W/(m. K)	ค่า Reflectance At 1000 nm
เงิน Ag	10.5	880-960	397	99%
ทอง Au	13.8	860-1060	297	98%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมการทดลอง

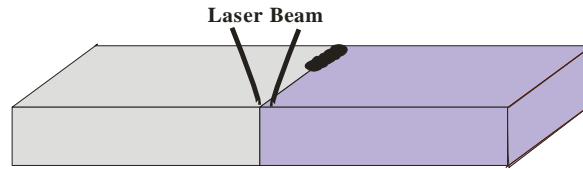
ในการทดลองและการทดสอบผลกระทบของการเชื่อมด้วยเลเซอร์ โดยการใช้ร่วมกับแก๊ส เกี่ยวต่อคุณภาพของการเชื่อมงานอัญมณีและเครื่องประดับ ได้ศึกษาวัสดุสองชนิดหลักกล่าวคือ วัสดุเงิน และทองคำ โดยได้จัดทำขึ้นในรูปของเครื่องประดับทอง 18K และเครื่องประเงิน 925 ในการหล่อวัสดุเงิน ทำการหล่อโดยในเนื้อเงินบริสุทธิ์ 92.5% ทองเหลือง 3.75% ทองแดง 3.75% จากนั้นทำการรีดขึ้นงานให้เป็นแผ่นที่มีความหนา 1.5 มม. และ 1 มม. จากนั้นนำไปตัดให้ได้ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม เป็นสองลักษณะกล่าวคือชิ้นงานที่ต้องการทดสอบผลกระทบของรอยเชื่อมกับเลเซอร์ในลักษณะทั่วไป ดังรูปที่ 3.1 ชิ้นงานมีขนาดไม่น้อยกว่า 6 มม. X 15 มม. จากนั้นได้ให้เหมาะกับการศึกษารอยการเชื่อมและการทดสอบหรือทดสอบความแข็งแรงของการเชื่อมโดยการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) ชิ้นงานเงินเป็นแผ่นมีความหนา 1 มม.

จากนั้นทำการตัดชิ้นงานแบ่งครึ่ง (ที่บริเวณที่จะมีการเชื่อมด้วยเลเซอร์ในภายหลัง) ด้วยเครื่องตัดละเอียด และทำการขัดชิ้นงานด้วยเครื่องขัดชิ้นงาน (Grinder Polish) โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 600 ในแนวระนาบและตัดขวาง จากนั้นทำการล้างคราบน้ำมันด้วยอะซิโตนก่อนทำการเชื่อม จากนั้นโลหะสองชนิดจะนำมาเชื่อมต่อในลักษณะของ Butt joint ดังรูปที่ 3.2 เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นงานมีช่องว่าง



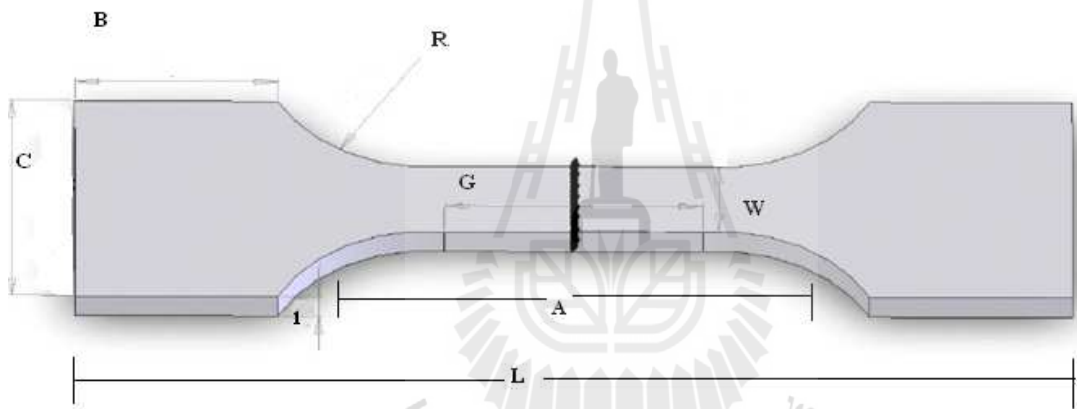
รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นงานเงินที่ได้ตัดเตรียมก่อนการเชื่อม

ระหว่างชิ้นงานอยู่ในระยะที่กำหนด ส่วนแก๊สเฉื่อยที่ใช้เป็นแก๊สอาร์กอน คอมเมอร์เซียวเกรด มีเปอร์เซ็นต์ของแก๊สอาร์กอน 99.9% จะถูกจัดวางที่ตำแหน่งห่างจากรอยเชื่อมในแนวระนาบ 14 มม. และสูงจากชิ้นงาน 3 มม.



รูปที่ 3.2 การเชื่อมชิ้นงานในลักษณะ Butt joint เพื่อกำหนดระยะช่องว่างของชิ้นงานทั้งสอง

ชิ้นงานเงินที่ต้องการนำมาทดสอบการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) ทำการตัดด้วยเครื่อง Wire cut ดังรูปที่ 3.3 ขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน American welding society (ASM) ชิ้นงานหนา 1 มม. G 25 ±0.1mm W ความกว้าง 6.0±0.1 มม. R รัศมี 6.6 มม. L ความยาวของชิ้นงาน 117 มม. A 42.5 มม. B 35 มม. C 10 มม. การประกอบชิ้นงานในการเชื่อมมีช่องว่างระหว่าง Butt joint มีค่าน้อยกว่า 150 ไมโครมิเตอร์ และการผิวด้านในแนวระนาบไม่เกิน 250 ไมโครมิเตอร์ [Mazumder, 1997]



รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานเงินที่นำไปทดสอบแรงดึง (Tensile strength)

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การทดลองการเชื่อมด้วยเลเซอร์นีโอไดเมียมแอนด์เลเซอร์ ให้พลังงานแบบพัลส์รุ่น LW6V ยี่ห้อ Z-tech ผลิตที่ประเทศอเมริกา ได้ถูกนำมาใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.4 พลังงานของเลเซอร์ถูกใช้ที่ระดับพลังงาน ขนาดลำแสง และเวลาของพัลส์ที่ค่าต่างๆ ในการเชื่อมงานทองคำระดับพลังงานไม่เกิน 2.0 กิโลวัตต์ ขนาดลำแสงที่ 0.2 มม. เวลาของพัลส์ที่ 2.0 มิลลิวินาที ลักษณะของพัลส์หลากหลายรูปแบบที่เหมาะสมกับชิ้นงาน ส่วนการเชื่อมงานเครื่องประดับเงินระดับพลังงานไม่เกิน 3.3 กิโลวัตต์ ขนาดลำแสงที่ 0.2 มม. เวลาของพัลส์ที่ 2.7 มิลลิวินาที ลักษณะของพัลส์เป็นสี่เหลี่ยม ส่วนการเชื่อมวัสดุเงินทั่วไปในรูปแบบ Butt joint ใช้พลังงานสูงถึง 6.0 กิโลวัตต์ ขนาดลำแสง 0.6 มม. เวลาของพัลส์ที่ 5

มิลลิวินาทีในลักษณะของพัลส์เป็นสี่เหลี่ยม ในการทดลองที่มีการใช้แก๊สอาร์กอนมีอัตราการไหลของแก๊สที่ 10 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 3.4 เครื่องนิโอนิเมียมแฮคเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การแสดงผลของการเชื่อมชิ้นงานด้วยกล้องกำลังขยายสูง ผลการทดลองของการเชื่อม ใช้กล้อง Dino-lite microscope ที่มีกำลังขยาย 90 เท่าในการดูรายละเอียดของรอยเชื่อม แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กล้องกำลังขยายสูงที่ใช้ตรวจสอบรอยเชื่อม

3.2.3 การเร่งปฏิกิริยา Oxidation หลังจากที่ชิ้นงานได้ผ่านการเชื่อมและชุบแล้ว ชิ้นงาน จะถูกนำไปถูกสัมผัสด้วยมือมนุษย์ซึ่งโดยปกติทำให้เกิดน้ำมันหรือสิ่งสกปรกบนชิ้นงาน จากนั้นก็จะนำ ชิ้นงานไปเก็บไว้ในกล่องปิดที่บรรจุแก๊สออกซิเจน เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยา Oxidation ที่ชิ้นงาน แสดงดัง รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กล่องเก็บชิ้นงานที่บรรจุแก๊สอยู่ภายใน



บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองได้จัดทำขึ้นงานในหลายลักษณะ โดยเริ่มจากการเชื่อมแผ่นโลหะเงินในลักษณะของ Butt joint เพื่อให้เข้าใจถึงตัวแปรเลเซอร์ที่มีผลต่อรอยเชื่อม จากนั้นผลที่ได้ไปใช้ในการเชื่อมงานเครื่องประดับงานเงินและทองคำที่จัดทำขึ้น ในกรณีที่มีการใช้แก๊สเฉื่อยอาร์กอนปรับอัตราไหลที่ 10 ลิตรต่อนาที โดยจะปล่อยแก๊สอาร์กอนปกคลุมบริเวณรอยเชื่อมเป้าหมายก่อนการเชื่อมและหลังการเชื่อมประมาณ 2-3 วินาทีซึ่งเพียงพอแก่ระยะเวลาการเย็นตัวจากการเชื่อม ได้ผลการทดลองที่จากการเชื่อมขึ้นงานในลักษณะต่างๆ จะกล่าวถึงในรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 งานเชื่อมวัสดุเงิน ในรูป Butt joint

4.1.1 การเชื่อมวัสดุเงินที่เป็นแผ่นบางที่ค่าตัวแปรเลเซอร์ต่างๆ ทำการเชื่อมวัสดุเงินหลังจากที่ขึ้นงานได้ผ่านการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 จนได้ความหนา 1.5 มม. ด้านข้างของขึ้นงานทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1200 เพื่อจะได้สังเกตรอยเชื่อมในด้านข้างได้ดี แต่ภายหลังพบว่าถ้าต้องการสังเกตรอยเชื่อมโดยใช้กล้องกำลังขยายสูงโดยไม่ต้องการใช้สารเคมีกัดกร่อน (Chemical etching) สามารถลดจากเบอร์ของกระดาษทราย 1200 เป็น 320 การขึ้นงานที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้ผ่านการเชื่อมแบบ Butt joint ให้ช่องว่างระหว่างขึ้นงานทั้งสองอยู่ระหว่าง 5 ถึง 25 ไมโครเมตร เลเซอร์ที่ใช้มีพลังงานถึง 2.0-6.0 กิโลวัตต์ ขนาดลำแสงที่ 0.2 ถึง 0.6 มม. เวลาของพัลส์ที่ 2.0 ถึง 5.0 มิลลิวินาทีในลักษณะของพัลส์เป็นรูปสี่เหลี่ยม

ผลการทดลองที่ได้ปรับกำหนดขนาดลำแสงที่ 0.3 มม. เวลาของพัลส์ที่ 4.0 มิลลิวินาทีได้เพิ่มพลังงานเลเซอร์จาก 3.0 จนถึง 6.0 กิโลวัตต์ แสดงดังรูปที่ 4.1 ก. และ 4.1 ข. ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อกำลังของเลเซอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจะให้รอยเชื่อมที่ใหญ่ มีการกระเด็นของโลหะ (Spatter) จากจุดเชื่อมมากขึ้น รวมทั้งเขม่ามากขึ้น รูปที่ 4.2 แสดงภาพตัดขวาง ของการเชื่อมเมื่อกำลังเลเซอร์มีค่า 3.0 และ ข. 6.0 กิโลวัตต์ กำลังเลเซอร์ที่น้อยให้รอยเชื่อมที่ตื้นไม่ลึกในลักษณะของถ้วยซึ่งเป็นผลของการเชื่อมในลักษณะ Conduction mode ที่จุดเชื่อมมีความกว้าง 0.32 มม. ส่วนกำลังเลเซอร์ 6.0 กิโลวัตต์ ให้ผลของการเชื่อมในลักษณะ Keyhole mode โดยจุดเชื่อมมีขนาด 1.12 มม. ที่ผิวบนที่เลเซอร์ตกกระทบ และมีขนาด 0.70 มม. ที่ผิวอีกด้าน

ก.



ข.



ค.

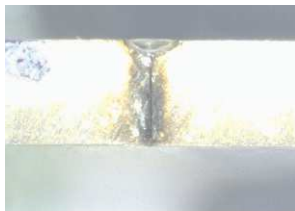


ง.

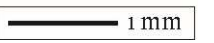


รูปที่ 4.1 แสดงการเชื่อมวัสดุเงิน โดยกำลังเลเซอร์มีค่า ก. 3.0 ข. 4.0 ค. 5.0 และ ง. 6.0 กิโลวัตต์

ก.



ข.



รูปที่ 4.2 แสดงภาพตัดขวาง ของการเชื่อมเมื่อกำลังเลเซอร์มีค่า ก. 3.0 และ ข. 6.0 กิโลวัตต์

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าขนาดของเลเซอร์มีผลต่อความหนาแน่นของพลังงานเลเซอร์ที่ขึ้นงาน กำลังของเลเซอร์ที่ 4.0 กิโลวัตต์ และเวลาของพัลส์ที่ 4.0 มิลลิวินาที โดยเปลี่ยนแปลงขนาดของเลเซอร์ 0.2 มม. – 0.5 มม. การเชื่อมที่เลเซอร์มีความหนาแน่นน้อยเมื่อขนาดเลเซอร์มีค่า 0.5 มม. ทำให้การเชื่อมไม่สมบูรณ์ ส่วนการลดขนาดลำแสงเลเซอร์ให้ความหนาแน่นของพลังงานเลเซอร์ที่มากขึ้น พลังงานมีการกระจายไปบริเวณข้างเคียงได้เป็นบริเวณกว้าง ทำให้รอยเชื่อมมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 0.34 มม., 0.52 มม. และ 0.54 มม. สำหรับขนาดเลเซอร์ 0.4 มม., 0.3 มม. และ 0.2 มม. ตามลำดับ ส่วนพลังงานตกกระทบที่มากเกินไปทำให้เกิด กระเด็นของโลหะ (Spatter) และเขม่าที่มากขึ้น จากจุดเชื่อมดังรูป 4.3 ง.

ก.



ข.



ค.



ง.

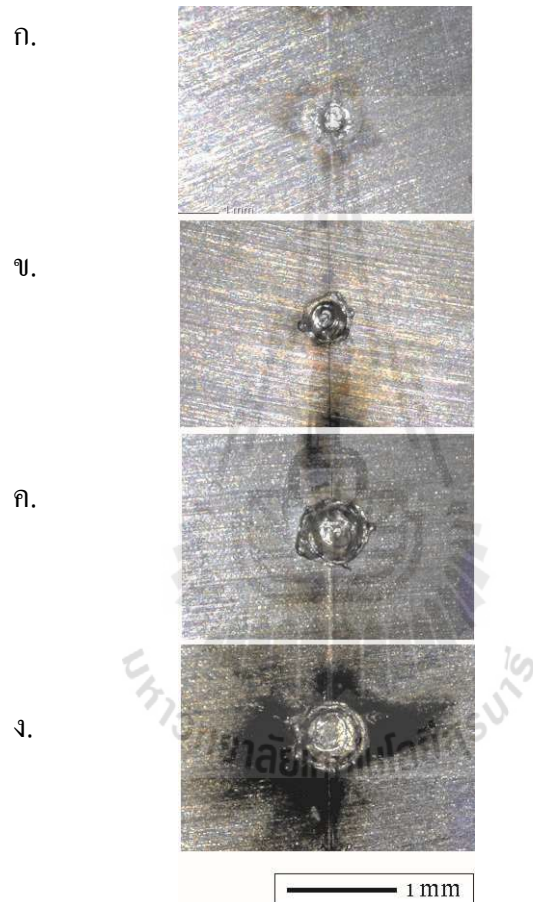


1 mm

รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมวัสดุเงินเมื่อขนาดเลเซอร์มีค่า ก. 0.5 ข. 0.4 ค. 0.3 และ ง. 0.2 มม.

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเวลาของพัลส์เลเซอร์มีผลต่อรอยเชื่อมที่ขึ้นงาน กำลังของเลเซอร์ที่ 4.0 กิโลวัตต์ และขนาดของเลเซอร์ 0.3 มม. โดยเปลี่ยนแปลงเวลาของเลเซอร์พัลส์ 2 – 5 มิลลิวินาที การ

เชื่อมที่เลเซอร์มีเลเซอร์พัลส์ที่ค่ามาก เป็นการเพิ่มเวลาการกระจายพลังงานของเลเซอร์ไปยังบริเวณใกล้เคียง หลังจากเลเซอร์ได้ผ่านการหลอมละลาย การกระจายพลังงานไปสู่บริเวณข้างเคียงในรูปของความร้อนได้มากขึ้นเมื่อเวลาของเลเซอร์พัลส์ยาว ทำให้ขนาดรอยเชื่อมที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น จากขนาดรอยเชื่อม 0.29 มม. , 0.43 มม., 0.54 มม. และ 0.58 มม. เมื่อเวลาของเลเซอร์พัลส์เพิ่มขึ้นจาก 2.0, 3.0, 4.0, และ 5.0 มิลลิวินาที ตามลำดับ และผลของการกระจายของโลหะมีน้อยกว่าการเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานโดยการลดขนาดของลำแสงเลเซอร์



รูปที่ 4.4 แสดงการเชื่อมวัสดุเงินเมื่อเวลาพัลส์ของเลเซอร์มีค่า ก. 2 ข. 3 ค. 4 และ ง. 5 มิลลิวินาที

ผลการทดลองที่ปรับเปลี่ยนตัวแปรเลเซอร์ค่าต่างๆซึ่งกล่าวมาแล้วนั้น แสดงให้เห็นว่าในการเชื่อมวัสดุเงินต้องการกำลังเลเซอร์อย่างน้อย 3.0 กิโลวัตต์ การเพิ่มกำลังเลเซอร์จะทำให้รอยการเชื่อมลึกขึ้นจาก Conduction mode เป็น Keyhole mode และมีเขม่าจากการเชื่อมมากขึ้น ส่วนการลดขนาดลำแสงมีผลทำให้ความหนาแน่นของพลังงานสูงขึ้นทำให้การเชื่อมมีการกระเด็นของโลหะเพิ่มมากขึ้น เมื่อความ

หนาแน่นของพลังงานสูงขึ้น ตัวแปรเลเซอร์อันสุดท้ายที่ได้ทำการทดลองคือเวลาของเลเซอร์พัลส์ เวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีความกว้าง ให้การกระเด็นของโลหะที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการลดขนาดของลำแสง

4.1.2 การเชื่อมวัสดุเงินแผ่นบางโดยใช้เทคนิคและตัวแปรต่างๆ ทำการเชื่อมในงานเครื่องประดับไม่ต้องการความร้อนสูง เพราะอาจทำให้วัสดุละลายหรือวัสดุเปลี่ยนไปจากเดิม และการที่วัสดุเงินมีการสะท้อนพลังงานเลเซอร์ส่วนใหญ่ที่ตกกระทบที่ชิ้นงาน ด้วยเหตุผลค่า Reflectance ที่สูงถึง 99% และการสะท้อนเนื่องจากความมันเงาของชิ้นงาน ทำให้พลังงานเลเซอร์ที่วัสดุเงินนำไปใช้ในการหลอมละลายมีปริมาณเพียงเล็กน้อย พลังงานส่วนใหญ่สะท้อนกลับ การทดลองต่อไปนี้เป็นารรวบรวมและนำเสนอเทคนิคในการลดการใช้กำลังเลเซอร์ในการเชื่อม หรือเป็นการเพิ่มการดูดกลืนพลังงานของเลเซอร์ที่ชิ้นงานนั่นเอง

4.1.2.1 ความสกปรกและความกว้างของรอยต่อ โดยปกติที่กำลังเลเซอร์ 3.3 กิโลวัตต์ ขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และเวลาพัลส์ 2.5 มิลลิวินาที ตกกระทบที่วัสดุเงินไม่เกิดการหลอมละลายของโลหะ หลังจากทำให้เกิดความสกปรกที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงานโดยใส่คราบน้ำมันและเขม่าที่จุดรอยต่อชิ้นงาน ความหนาแน่นของพลังงานเลเซอร์ค่าเดิมสามารถทำให้เกิดการหลอมละลายดังรูปที่ 4.5 จากรูปแสดงว่าเมื่อช่องว่างของรอยต่อชิ้นงานที่มากขึ้นทำให้การหลอมละลายที่น้อยลง เนื่องจากลำแสงเลเซอร์ส่วนใหญ่ทะลุผ่านช่องรอยต่อ ผลการทดลองที่ได้สรุปได้ว่าการเชื่อมชิ้นงานประกอบบนรอยต่อที่สกปรกใช้พลังงานเลเซอร์ที่น้อยกว่า อีกทั้งช่องรอยต่อชิ้นงานที่กว้างต้องการพลังงานเลเซอร์ที่สูงขึ้น



รูปที่ 4.5 การเชื่อมชิ้นงานที่มีความสกปรก และขนาดความกว้างของรอยต่อ

ในทดลองสร้างความสกรปรกให้กับชิ้นงานด้านหนึ่งของรอยต่อโดยการทาสี พบว่าการหลอมละลายของเลเซอร์ที่ด้านที่ได้ทาสีมีมากกว่าด้านที่ไม่ได้ทาสีดังรูปที่ 4.6 การสร้างความสกรปรกที่ชิ้นงานอีกวิธีที่สามารถกระทำได้โดยการใช้ลวดเชื่อม โดยปกติลวดเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมต้องการพลังงานเลเซอร์ที่ต่ำกว่าตัวชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม ดังนั้นที่พลังงานเลเซอร์ค่าหนึ่งลวดจะต้องมีการละลายมากกว่าชิ้นงาน แทรกตัวเข้าไปยังรอยต่อและเกิดการหลอมละลายของลวดเชื่อมและตัวชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อพัลส์เลเซอร์หยุดก็คือการหยุดขบวนการให้พลังงานในการหลอมละลายและนำไปสู่สถานะแข็งตัวของโลหะ ทำให้เกิดรอยเชื่อมขึ้น ในการทดลองให้ลำแสงเลเซอร์ตกกระทบที่ปลายลวดเชื่อม และทำให้เกิดการหลอมละลายของลวดและเกิดมีเขม่า จากนั้นเมื่อชิ้นงานมีความสกรปรก ลำแสงเลเซอร์สามารถถูกดูดกลืนได้ง่าย ทำให้เกิดการละลายของเนื้อโลหะได้ง่ายเมื่อมีการใช้เลเซอร์กำลังเลเซอร์ 3.3 กิโลวัตต์ ขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และเวลาพัลส์ 2.5 มิลลิวินาที ซึ่งแต่เดิมค่าตัวแปรเลเซอร์นี้ไม่สามารถทำให้ชิ้นงานหลอมละลายได้ด้วยตนเอง ดังรูปที่ 4.7 เมื่อต้องการเพิ่มความแข็งแรงของรอยต่อกล่าวคือเพิ่มปริมาณการละลายของลวดเข้าไปยังชิ้นงาน เลเซอร์จะถูกนำไปใช้ในการเปิดหน้ารอยต่อ หมายความว่ามีการใช้เลเซอร์เพิ่มความกว้างในกับช่องรอยต่อก่อนที่จะมีการป้อนลวดในการเชื่อม



รูปที่ 4.6 การเชื่อมชิ้นงานมีการระบายสีที่ชิ้นงานด้านหนึ่ง



รูปที่ 4.7 การใช้ลวดเชื่อมทำให้เกิดเขม่าในการเชื่อมงาน

ดังแสดงให้เห็นแล้วว่าเทคนิคการลดค่าพลังงานเลเซอร์ที่ใช้ในการเชื่อมงาน โดยลดค่า Reflectance หรือการเพิ่มการดูดกลืนพลังงานของแสงเลเซอร์ที่ขึ้นงาน ด้วยการสร้างความสกปรก ทาสี หรือสร้างเขม่า สามารถกระทำได้ ต่อไปนี้จะทำการทดลองการเชื่อมงานในลักษณะของการเพิ่มเนื้อลวดเข้าไปยังรอยต่อชิ้นงานและดูความแข็งแรงของรอยเชื่อม

4.1.2.2 เทคนิคการยิงกับความแข็งแรงของการเชื่อม การเชื่อมงานโดยใช้เลเซอร์จะมีการเชื่อมในสองลักษณะ กล่าวคือการโป๊ะและการไล่งาน การโป๊ะเป็นการเพิ่มโลหะจากลวดโดยไม่ให้ความสำคัญของการเพิ่มการแทรกซึมของเนื้อโลหะของลวดเข้าไปยังชิ้นงานทำให้ได้รอยเชื่อมเป็นปุ่มๆ ส่วนการไล่งานเป็นใช้เลเซอร์เพื่อเพิ่มการละลายแทรกซึมเนื้อลวดเข้าไปยังชิ้นงาน การหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันของลวดและวัสดุมากขึ้น ตัวแปรเลเซอร์ใช้ที่ขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และเวลาพัลส์ 2.5 มิลลิวินาที ค่าความถี่ 5 Hz กำลังเลเซอร์ 3.3 กิโลวัตต์ สำหรับการยิงไล่ ส่วนการยิงโป๊ะใช้กำลังเลเซอร์ 3.0 กิโลวัตต์ การเชื่อมด้วยเลเซอร์ยังมีการใช้แก๊สเฉื่อยที่ 10 ลิตรต่อนาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงของการเชื่อมด้วยเลเซอร์และหัวไฟดังตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการเชื่อมด้วยหัวไฟให้ความแข็งแรงในการเชื่อมมากที่สุด รอยต่อของการเชื่อมแทรกซึมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งแผ่น ทำให้หลังจากทดสอบความแข็งแรงวัสดุแยกจากกันบริเวณที่ไม่ใช้รอยเชื่อม ดังรูปที่ 4.8 ส่วนความแข็งแรงของการเชื่อมลักษณะยิงไล่ให้ค่ามากกว่าการยิงโป๊ะ เนื่องจากมีเนื้อลวดแทรกซึมเข้าไปในรอยต่อมากกว่าแสดงดังรูปที่ 4.9 ในการใช้แก๊สเฉื่อยช่วยเพิ่มความแข็งแรงของรอยเชื่อมเพียงเล็กน้อย และทำรอยเชื่อมที่สะอาดจนสังเกตได้แสดงดังรูป 4.10

จากผลการทดลองที่ได้การเชื่อมด้วยหัวไฟมีความแข็งแรงสูงสุด แต่ก็ให้รอยไหม้เป็นบริเวณกว้างเช่นกัน ส่วนการเชื่อมด้วยเลเซอร์ถึงแม้ว่าจะให้ความแข็งแรงของการเชื่อมที่ต่ำกว่าแต่ใน

การประยุกต์ใช้ในการเชื่อมเครื่องประดับได้ให้ความสำคัญเรื่องความสวยงามและรอยเชื่อมที่มีขนาดเล็กมากกว่าความแข็งแรง อีกทั้งการเชื่อมด้วยเลเซอร์ให้ความแข็งแรงที่เพียงพอสำหรับงานเครื่องประดับ

4.2 การเชื่อมเครื่องประดับ

การทดลองการเชื่อมแหวน จี้ และต่างหูด้วยหัวไฟและใช้เลเซอร์ในลักษณะการ โป๊ะและการ ไล่งาน ส่วนแผ่นทองบางใช้การปรับเปลี่ยนรูปสัณฐานของเลเซอร์พัลส์

4.2.1 การเชื่อมแหวนเงิน ได้ทำการเลื่อยแหวนเงินที่ได้ผ่านการลงสีดำ และชุบแล้วให้ ขาดออกจากกันด้านหนึ่งที่มีบริเวณรูปหัวใจระหว่างแนวสองตัว จากนั้นทำการเชื่อมแหวนเข้าด้วยกัน ดังรูป ที่ 4.11

ตารางที่ 4.1 ผลการทำสอบความแข็งแรงของการเชื่อมด้วยหัวไฟ และเลเซอร์

ลักษณะของชิ้นงาน	ค่าความแข็งแรง (mPa)
หัวไฟ	222.94
การยิงเลเซอร์ลักษณะ โป๊ะ โดยไม่ใช่แก๊ส	142.58
การยิงเลเซอร์ลักษณะ โป๊ะ โดยใช้แก๊ส	146.86
การยิงเลเซอร์ลักษณะยิงไล่ โดยไม่ใช่แก๊ส	175.38
การยิงเลเซอร์ลักษณะยิงไล่ โดยไม่ใช่แก๊ส	176.43



รูปที่ 4.8 แสดงชิ้นงานที่เชื่อมด้วยหัวไฟหลังจากการทดสอบความแข็งแรง



รูปที่ 4.9 การเชื่อมลักษณะ โป๊ะแสดงทางซ้ายมือและการได้ทางขวามือ



รูปที่ 4.10 การเชื่อมแบบ โป๊ะ โดยไม่ใช้แก๊สทางซ้ายมือและใช้แก๊สทางขวามือ

ด้วยหัวไฟและเลเซอร์ ให้ได้ใช้ขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และเวลาพัลส์ 2.5 มิลลิวินาที ค่าความถี่ 5 Hz กำลังเลเซอร์ 3.3 กิโลวัตต์ สำหรับการยิงไล่ ส่วนการยิงโป๊วะใช้กำลังเลเซอร์ 3.0 กิโลวัตต์ จากนั้นนำชิ้นงานไปแต่ง ขัด และชุบใหม่ดังแสดงดังรูปที่ 4.11 การแต่งเป็นการเอาเนื้อรอยเชื่อมที่นูนและไม่เสมอไปกับชิ้นงานออกไปด้วยตะไบหรือกระดาษทราย จากนั้นชิ้นงานจะถูกนำไปทำความสะอาด และผ่านขบวนการชุบต่อไป ในรูปที่ 4.11 ก. ข. และ ค. แสดงชิ้นงานที่ผ่านการเป่าไฟ การยิงเลเซอร์แบบโป๊วะ และการยิงเลเซอร์แบบการไล่ ตามลำดับ

ก.



ข.

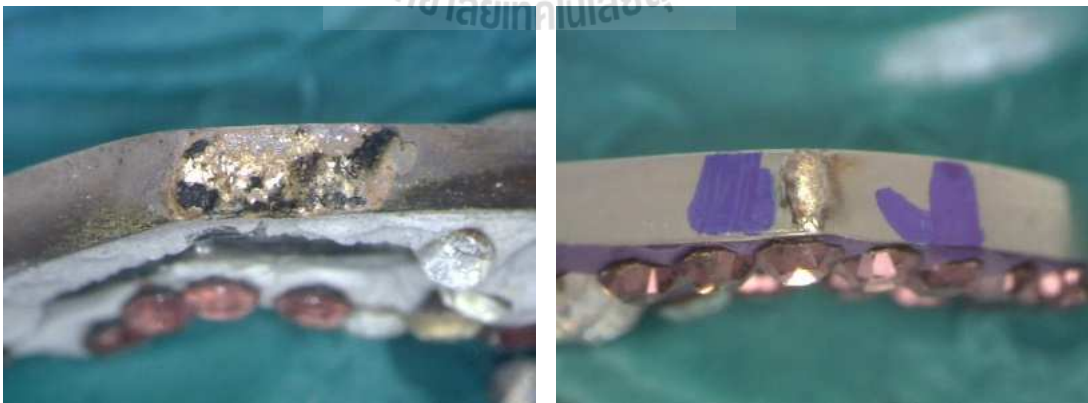


ค.

รูปที่ 4.11 แหวนเงินที่ผ่านการเชื่อม แต่งและชุบแล้วโดย ก.หัวไฟ ข.เลเซอร์แบบยิงโป๊วะ และ ค. เลเซอร์แบบยิงไล่

การเชื่อมแหวนโดยใช้หัวไฟทำให้เกิดการกระจายความร้อนไปสู่บริเวณใกล้เคียงเป็นบริเวณกว้าง ทำให้รอยเชื่อมมีขนาดใหญ่และสีดำที่ลงไว้ก็เลื่อนหายไป อีกทั้งชิ้นงานเมื่อผ่านการชุบอีกครั้งก็ไม่มี ความเงา หรือสีเงินเช่นเดิม ส่วนการยิงเลเซอร์ลักษณะทั้งสองแบบเห็นได้ชัดเจนว่าการยิงแบบโປ้ะมีรอยเชื่อมที่ไม่สม่ำเสมอ มีหลุมอยู่ทั่วไปเนื่องจากยิงแบบนี้เป็นการเพิ่ม(โປ้ะ)ลวดเงินให้ซ้อนทับกัน ส่วนการยิงแบบไล้หลังจากที่มีการเพิ่มเนื้อลวดไปยังชิ้นงานแล้ว เลเซอร์ถูกใช้ยิงไปที่รอยเชื่อมให้เกิดการละลายและประสานของเนื้อโลหะมากขึ้น จะสังเกตเห็นฟองอากาศออกจากตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบเป็นระยะระยะ ทำให้เนื้อโลหะของลวดแทรกตัวได้มากกว่า และอัดแน่นกว่าหลังจากการขัดจึงไม่เกิดหลุมหรือรอยเชื่อมที่ไม่เต็มเหมือนการยิงแบบโປ้ะดังแสดงในรูป 4.11 ส่วนคุณภาพความที่รอยเชื่อมที่ได้จากการยิงโປ้ะและยิงไล้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน หลังจากได้นำแหวนทั้งสองเก็บไว้ในกล่องแก๊สออกซิเจนเพื่อเร่งปฏิกิริยา Oxidation

4.2.2 การเชื่อมจี้เงิน จี้เงินได้ทำการฝังพลอยและได้ชุบโรเดียมแล้ว พบว่าเนื้อเงินได้ขาดหายไปบริเวณปลายแหลมของจี้จึงได้ทำการซ่อมชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานจี้มีความบางของโลหะน้อยกว่าแหวนมาก จึงได้ลดกำลังเลเซอร์เป็น 1.9 กิโลวัตต์ และเวลาพัลส์ 1.7 มิลลิวินาที ส่วนขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และค่าความถี่ 5 Hz มีค่าคงเดิม และใช้แก๊สอาร์กอนที่ 10 ลิตรต่ออนาที แสดงการซ่อมชิ้นงานจี้ด้วยหัวไฟและเลเซอร์แบบไล้ดังรูป 4.12 จะเห็นว่าการเชื่อมด้วยหัวไฟให้การกระจายความร้อนเป็นบริเวณกว้าง ทำให้พลอยหลุดออกจากจี้ และรอยเชื่อมที่ขรุขระ ส่วนการเชื่อมเลเซอร์ที่ใช้แก๊สเฉื่อยให้รอยเชื่อมที่เนียนไม่ขรุขระ ดังนั้นในการเชื่อมงานที่มีความบางและมีพลอยติดอยู่เลเซอร์เป็นทางเลือกที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า



ก.

ข.

รูปที่ 4.12 ชิ้นงานจี้ที่ผ่านการชุบด้วยโรเดียม และนำมาเชื่อมด้วย ก.หัวไฟ ข.เลเซอร์

4.2.3 การเชื่อมต่างหูทอง ต่างหูทองได้ทำการฝังพลอยและยังไม่ได้ผ่านการชุบ พบว่าต่างหูมีรอยที่บริเวณปลายเตย (ตัวยึดพลอย) จึงได้ทำการซ่อมชิ้นงานใน 3 ลักษณะคือหัวไฟ การยิงเลเซอร์แบบโล่ โดยไม่ใช้แก๊สอาร์กอน และใช้แก๊สอาร์กอนที่ 10 ลิตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.13 ใช้กำลังเลเซอร์ 1.8 กิโลวัตต์ และเวลาพัลส์ 1.7 มิลลิวินาที ส่วนขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และค่าความถี่ 5 Hz มีค่าคงเดิมเลเซอร์ตามลำดับ

พบว่า การเชื่อมด้วยหัวไฟได้ทำให้ต่างหูทองเสียหายผิดรูปร่าง ส่วนรอยเชื่อมที่ได้จากการใช้แก๊สเฉื่อยให้รอยเชื่อมที่สวยงามมีเขม่าน้อยกว่า ความเสียหายที่เกิดที่พลอยเป็นผลจากความร้อนและโลหะหลอมละลายที่กระเด็น ดังนั้นในการเชื่อมเลเซอร์ที่ใกล้กับพลอยต้องไม่ใช้กำลังเลเซอร์หรือเวลาของพัลส์ที่มากเกินไป



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 4.13 ชิ้นงานต่างหูที่นำมาเชื่อมด้วย ก.หัวไฟ และเลเซอร์โดย ข.ไม่ใช้แก๊ส และค.ใช้แก๊ส

4.3 การเชื่อมโดยการปรับลักษณะของเลเซอร์พัลส์

นำแผ่นทอง 100% มีความบางประมาณ 0.2 มม. มาทำการตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมพื้นผ้า จากนั้นทำการตัดชิ้นงานเป็นทางยาว และนำไปเชื่อมด้วยเลเซอร์ที่ลักษณะของพัลส์ที่แตกต่างกัน และได้ลดกำลังเลเซอร์เป็น 1.4 กิโลวัตต์ และเวลาพัลส์ 1.6 มิลลิวินาที ส่วนขนาดของลำแสงเลเซอร์ 0.2 มม. และค่าความถี่ 1 Hz มีค่าคงเดิม แสดงผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.14

จากการทดลองที่ใช้เลเซอร์พัลส์รูปสี่เหลี่ยมให้พลังงานที่ตกกระทบชิ้นงานมากที่สุด เกิดการทะลุของชิ้นงานด้านบนสุดของรูป ส่วนการเปลี่ยนพัลส์เป็น 25% ในแนวทางขึ้น ทำให้การทะลุที่ชิ้นงานน้อยลง เห็นได้จากรูทะลุที่แคบลง ส่วนพัลส์ลักษณะอื่นๆ ไม่สามารถทำให้เกิดการละลายของโลหะได้ เนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดการหลอมละลายของโลหะ ส่วนการใช้แก๊สในการเชื่อมแผ่นทองบางนี้ไม่ได้ช่วยให้การหลอมละลายดีขึ้นแต่อย่างใด



รูปที่ 4.14 การเชื่อมแผ่นเงินที่ลักษณะของเลเซอร์พัลส์ที่แตกต่างกัน



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยการทดสอบและทดลองผลกระทบของการเชื่อมด้วยเลเซอร์โดยการใช้ร่วมกับแก๊ส เกี่ยวต่อคุณภาพของการเชื่อมงานอัญมณีและเครื่องประดับจากผลการทดลองและการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าเลเซอร์เหมาะกับการเชื่อมมากกว่าหัวไฟ เนื่องจากหัวไฟให้ความร้อนเป็นบริเวณกว้างมาก อีกทั้งต้องมีการให้ความร้อนกับชิ้นงานก่อนการเชื่อม จึงทำให้ชิ้นงานเสียรูปทรง พลอยเสียหาย มีตำหนิงานหมองถึงแม้ว่าจะได้ผ่านขบวนการชุบอีกครั้ง ความแข็งแรงของการเชื่อมด้วยหัวไฟมีค่าสูงกว่าการเชื่อมด้วยเลเซอร์แต่งานเครื่องประดับไม่ได้ให้ความสำคัญของความแข็งแรงเท่ากับความสะดวก ดังนั้นงานเชื่อมด้วยหัวไฟไม่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมในงานเครื่องประดับ

พบว่าลักษณะของชิ้นงานอาทิ แหวน จี้ ต่างหู และชนิดของโลหะทองคำหรือเงิน มีผลต่อการปรับใช้ตัวแปรเลเซอร์เลเซอร์ การตัดต่อแหวนเป็นการเชื่อมชิ้นงานที่มีความหนาและยาวดังนั้นจึงต้องใช้ความหนาแน่นของพลังงานสูงถึง 3.3 กิโลวัตต์ จุดเลเซอร์ 0.2 มม. และเวลาพัลส์ 2.5 มิลลิวินาที ส่วนการซ่อมงานจี้ชิ้นงานมีความบางจึงได้ลดค่ากำลังเลเซอร์เป็น 1.9 กิโลวัตต์ และเวลาพัลส์ 1.7 มิลลิวินาที ส่วนงานทองคำนั้นต้องการพลังงานเลเซอร์ที่ต่ำกว่าเนื่องจากมีค่า Reflectance ที่ต่ำกว่าเงินใช้กำลังเลเซอร์ 1.8 กิโลวัตต์ และเวลาพัลส์ 1.7 มิลลิวินาที สีหรือความหมองที่ได้จากเชื่อมด้วยเลเซอร์ไม่มีความแตกต่างกันในการใช้กำลังเลเซอร์ที่ต่ำกว่าที่ 3.0 กิโลวัตต์ในการยิงโปิยะ หรือ 3.3 กิโลวัตต์ในการยิงโล่ เมื่อมีการเร่งปฏิกิริยา Oxidation สีที่แตกต่างที่รอยเชื่อมเกิดขึ้นจนสังเกตได้ เกิดขึ้นเนื่องจากลดเงินที่ใช้ในการเชื่อมปรากฏสีเหลืองที่รอยเชื่อมดังแสดงดังรูปที่ 4.11

นอกจากนี้คุณภาพของการเชื่อมงาน ในลักษณะความตามดและรอยขรุขระปรากฏในการเชื่อมแบบโปิยะรูปที่ 4.11 ข. เนื่องการเชื่อมลักษณะนี้เป็นการเพิ่มลวดทับทับกันที่จุดเชื่อม แต่ไม่ได้ใช้พลังงานจากเลเซอร์ไปช่วยเพิ่มการละลายให้ลวดแทรกเข้าไปยังรอยต่อให้มากขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับการใช้เลเซอร์แบบยิงโล่ให้งานที่เนียนประสานเป็นเนื้อเดียวกันของโลหะที่ต่ำกว่า 4.11 ค. อีกวิธีที่ให้รอยเชื่อมมีความเนียนประสานกันเป็นอันดีคือการใช้แก๊สเฉื่อยช่วย อีกทั้งยังเกิดเขม่าน้อย แต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการเชื่อมมากนัก ดังแสดงดังตารางที่ 4.1

เนื่องจากโลหะทองคำและเงินมีค่า Reflectance สูงทำให้ต้องใช้พลังงานเลเซอร์สูงในการเชื่อม งานวิจัยได้รวบรวมและนำเสนอการเพิ่มการดูดกลืนพลังงานของโลหะทั้งสอง โดยการทาสีดำ การสร้างความสกปรก และเขม่าก่อนการเชื่อม อีกทั้งช่องว่างระหว่างชิ้นงานที่กว้างต้องการพลังงานเลเซอร์ที่สูง

ลักษณะพัลส์ของเลเซอร์เป็นการปรับระดับพลังงานของเลเซอร์ต่อเวลา ที่มีผลต่อการเชื่อม กล่าวคือ ขบวนการคัปปีง ขบวนการหลอมละลาย ผ่านขบวนการเย็นตัว ลักษณะของพัลส์ที่เปลี่ยนให้การคัปปีงและการเย็นตัวที่นับพลัน ดังนั้นจึงให้การหลอมละลายและการเงินตัวที่นับพลัน ทำให้พลังงานที่ชิ้นงานได้รับมีค่ามาก และอาจเกิดการทะลุของชิ้นงานที่มีความบางได้ แสดงดังรูปที่ 4.14 ส่วนขบวนการคัปปีงที่ค่อยๆขึ้นจากเวลาที่ปลดปล่อยเลเซอร์ไปจนถึง 25% เวลาหลอมละลายของพัลส์ ทำให้พลังงานที่ชิ้นงานได้รับมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ทำให้ชิ้นงานเกิดรูที่เล็กกว่า ส่วนลักษณะพัลส์อื่นๆให้พลังงานกับชิ้นงานที่น้อยกว่าจึงทำให้ไม่เกิดการละลายที่ชิ้นงานแต่อย่างใด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าเลเซอร์เหมาะกับการเชื่อมในงานเครื่องประดับ แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคก็มีความสำคัญสำหรับคุณภาพของงานอาทิ การยิงแบบไล่ หรือยิงโป๊ะ สามารถสรุปข้อเสนอแนะเป็นประเด็นหลักดังนี้

1. ควรตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาระบบเลเซอร์อย่างสม่ำเสมอ พลังงานของเลเซอร์ลดลงเนื่องจากสาเหตุหลายประการ อาทิ อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนที่มากเกินไปทำให้ กระจกและอุปกรณ์ทางแสงที่แสงเลเซอร์ส่งผ่านสกปรก วัสดุในการกำเนิดแสงเลเซอร์เสื่อมสภาพ อุปกรณ์ปรับขนาดลำแสงและเวลามีค่าคาดเคลื่อนจากเดิม เป็นต้น
2. ควรหาส่วนผสมของลวดที่ใช้ในการเชื่อมที่ให้สีที่ไม่แตกต่างจากชิ้นงานเดิม จากการทดลองการเชื่อมวัสดุเงิน ลวดเงินให้สีเหลืองที่รอยเชื่อมอย่างชัดเจนถึงแม้ว่าชิ้นงานจะได้ผ่านการชุบแล้ว
3. การออกแบบเครื่องประดับ ควรเข้าใจถึงประสิทธิภาพและความสามารถของเครื่องจักร รวมทั้งผู้ที่ใช้งานเป็นสำคัญ เนื่องจากบริเวณจุดเชื่อมที่ใกล้กับพลอยหรือเพชรเกินไป ก็อาจทำให้การผลิตมีผลเสียหายมาก และใช้เวลานาน
4. ควรให้ความสำคัญของการปรับค่าตัวแปรเลเซอร์และลักษณะของพัลส์ต่อลักษณะของชิ้นงาน เพราะค่าตัวแปรเลเซอร์ที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้ชิ้นงานทะลุ รอยเชื่อมไม่เรียบ หรืออัญมณีเสียหายได้
5. ควรมีวัสดุหรืออุปกรณ์ที่ป้องกันการกระเด็นของเนื้อโลหะจากการหลอมละลาย ซึ่งอาจทำความเสียหายให้กับเพชรหรืออัญมณีที่อยู่ใกล้เคียงกับจุดเชื่อม

บรรณานุกรม

- Beck, M., Berger, P. and Hugel, H. (1995). The Effect of Plasma Formation on Beam Focusing in Deep Penetration Welding with CO₂ laser. J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 28. no. 12. pp. 2430-2442.
- Bernnett, J.M. and Ashley, E.J. (1965). Infrared Reflectance and Emittance of Silver and Gold Evaporated in Ultrahigh Vacuum. Applied Optics, vol. 4, no. 2, pp. 221-224.
- Brown, D. (2003). Laser Welding Basics Primary Adjustable Welding Parameters. Bench Magazine. Fall issue. vol. 3. issue 2. pp. 78-83.
- Davis, J. R. (2003). Handbook of material for medical device. ASM International: USA.
- Dawes, C. (1992). Laser Welding. Woodhead Publishing Ltd: England.
- Dowden, J., Kapadia, P. and Postacioglu, N. (1989). An Analysis of the Laser-Plasma Interaction in Laser Keyhole Welding. J. Phys. D: Appl. Phys. vol. 22. no. 6. pp. 741-749.
- Duley, W. W. (1998). Laser welding. John Wiley & sons, Inc: Canada.
- Faerber, M., Danzer, W., Hartl, J. May 2003. Laser Welding Beyond Limits. Industrial Laser Solutions Magazine. (Online): <http://www.industrial-lasers.com/articles/print/volume-18/issue-5/features/laser-welding-beyond-limits.html>.
- Israel Science and Technology. 2013. List of Periodic Table Elements Sorted by Atomic Number. (Online): <http://www.science.co.il/ptelements.asp>.
- Kugler, T. May 2003. Advanced Modulation for Welding. Industrial Laser Solutions Magazine. (Online): <http://www.industrial-lasers.com/articles/print/volume-18/issue-5/features/advanced-modulation-for-welding.html>.
- Larson, N. E. and Meredith, W. F. (1990). Shielding gas selection manual, Union Carbide Industry Gases Technology Corp.: Texas.

- Mazumder, J. (1997). ASM Handbook v.6 Welding, Brazing, and Soldering (4 th ed.). ASM International.
- Messler, R. W. , Jr. (1999). Principles of Welding. John Wiley & sons, Inc: Canada.
- Ponpitak, R. and Tachatraiphop, S. (2009) Effect of Laser Pulse Shapes in Laser Welded Silver. Proceedings of the 4th National Conference of Optics and Applications.
- Semark, V. V., Steel, R. J., Fuerschbach, P. W. and Damkroger, B. K. (2000). Role of Beam Absorption in Plasma During Laser Welding. J. Phys. D: Appl. Phys. vol. 33, no. 10. pp. 1179-1185.
- Sibillano, T., Ancona, A., Berardi, V. and Lugara, P. M. (2005). Correlation Analysis in Laser Welding Plasma. Optics Comm. vol. 251, issues. 1-3. pp 139-148.
- Smith, D., Burnett, A. and Gordon, T. (1972). Laser Welding of Gold Alloy. J. Dent. Res., vol. 51, no. 1, pp. 161-167.
- Steen, W. M. (2003) Laser Material Processing. Springer-Verlag: London.
- Togaya T. and Shinosaki T. (1999). Introduction of laser welding in dentistry (1). Quintessence Dent Technol. vol. 24, no 6, pp. 740-749.
- Wang, R. and Welsch, G. E. (1995). Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding, and infrared brazing. J. Prosthet. Dent. vol.74. issue 5. pp 521-530.
- Watanabe,I., Topham, D. (2006). Laser Welding of Cast Titanium and Dental Alloys Using Argon Shielding. J. of Prosthodontics. vol. 15. no. 2. pp. 102-107.
- Wright, J. (2002). Jewellery-Related Properties of Platinum. Platinum Metals Rev. vol. 46. no. 2. pp.66-72.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ(ภาษาไทย) นางสาวสุกัญญา นามสกุลเตชะไทรภพ

(ภาษาอังกฤษ) Miss Sukanya Tachatriphop

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

สาขาวิชาเทคโนโลยีเลเซอร์และโฟตอนิกส์

สำนักวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โทร 044-22-4643

โทรสาร 044-22-4185

E-mail: tsukanya@ccs.sut.ac.th

ประวัติการศึกษา

1992 B.S. (Physics) King Mungkut Institute of Technology Thonburi, Thailand

1995 M.S. (Physics) King Mungkut Institute of Technology Thonburi, Thailand

1997 M.S. (Electrical Engineering) University of Maryland, College Park, USA

2002 Ph.D. (Electrical Engineering) University of Maryland, College Park, USA

Major: ElectroPhysics: Laser Technology and Photonics

Minor: MicroElectronics: Semiconductor Device