

LASER WELD REPAIR OF MOLDS

เลเซอร์เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์

โดย *Joseph J. Kwiatkowski* และ *Anthony J. Kwiatkowski*

แปลโดย เสกสรร สาธุธรรม

กระบวนการเชื่อมชิ้นส่วนอาวุธนิวเคลียร์ ถูกนำมาใช้เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

นับตั้งแต่ยุค 1970, อุตสาหกรรมด้านอาวุธนิวเคลียร์ ได้ใช้กระบวนการเชื่อมด้วยพัลส์เลเซอร์ ชนิด นีโอไดเมียม แยกเทรียม อลูมิเนียม การ์เนท (The Pulsed neo-dymium-yttrium-aluminum-garnet:= Nd:YAG) สำหรับการเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่ละเอียดอ่อน ซับซ้อนและเสียหายจากความร้อนได้ง่าย ซึ่งไม่สามารถเชื่อมด้วยวิธีอื่นได้ด้วยกระบวนการปกติที่ไม่ต้องใช้ต้นทุนสูง ด้วยคุณลักษณะเฉพาะที่มีความเข้มกำลังความร้อนสูงของกระบวนการเชื่อมนี้ ทำให้เกิดการหลอมละลายของเนื้อวัสดุที่ความร้อนต่ำ จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้านการเชื่อมต่อชิ้นส่วนเปราะบางในอุตสาหกรรมสร้างอาวุธนิวเคลียร์ ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการซ่อมแม่พิมพ์

งานซ่อมแม่พิมพ์นั้นเริ่มต้นมาจากคำถามที่ว่า “คุณคิดว่าคุณสามารถซ่อมแม่พิมพ์โลหะโดยใช้เลเซอร์ และวัสดุเติมเนื้อชนิดต่าง ๆ ได้หรือไม่” คำตอบที่ได้คือ “ไม่มีปัญหา ด้วยการที่เรามีลวดเชื่อมเติมเนื้อชนิดต่างๆ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก และปีแห่งการสร้างและผลิตลวดด้วยวัสดุหลักและวัสดุเสริมคุณสมบัติชนิดต่าง ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการเชื่อมวัสดุชนิดต่าง ๆ ในการผลิตอาวุธ”

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ซึ่งมีความต้องการอยู่แล้ว ได้รับเอากระบวนการนี้ และในช่วงย้อนหลังไป 5 ปีที่ผ่านมาแม่พิมพ์มากกว่า 3,500 แม่พิมพ์ ของผู้ผลิตแม่พิมพ์ทั่วอเมริกา ประสบความสำเร็จในการซ่อมอย่างดี

กระบวนการเชื่อมเลเซอร์แบบพัลส์เลเซอร์ ชนิด นีโอไดเมียม แยกเทรียม อลูมิเนียม การ์เนท Pulsed Nd:YAG Welding Process

การซ่อมแม่พิมพ์ด้วยการเชื่อมเลเซอร์นั้นต้องทำควบคู่กัน กับการเพิ่มเนื้อขึ้นของวัสดุเพิ่มเนื้อระหว่างผิวงานที่สึกหลอและหรือเสียหายที่ต้องการซ่อม กับลำแสงเลเซอร์ (Laser beam) ซึ่งหลอมลวดเติมเนื้อเข้ากับเนื้อผิวแม่พิมพ์เพื่อเพิ่มเนื้อผิวแม่พิมพ์ขึ้นจากผิวเดิม โดยการเชื่อมสามารถทำได้ทั้งแบบ **Manually** และแบบอัตโนมัติ **Automatically**

Manually, ผู้เชื่อมถือลวดเชื่อมโดยให้ลวดเชื่อมอยู่ติดกับผิวแม่พิมพ์บริเวณที่ต้องการเชื่อมแล้วจึงใช้เลเซอร์เชื่อมเพิ่มเนื้อ กระบวนการนี้ทำได้ไม่เร็วหากแต่ได้ผลดี โดยงานที่มีความละเอียดซับซ้อนสูง ผู้เชื่อมก็จะต้องมีระดับของทักษะความชำนาญสูงด้วย

Automatically, การเชื่อมอัตโนมัติ นั้น ระบบป้อนลวดเชื่อมอัตโนมัติจะทำงานร่วมกันและสัมพันธ์กับระบบเชื่อม Pulsed Nd:YAG Laser ซึ่งเพิ่มความเร็วการเชื่อมได้อย่างมากและยังมีความสม่ำเสมอของรอยเชื่อมที่เหมาะสมกับการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นอย่างยิ่ง ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นในราวกลางยุค 1980s ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเชื่อมเพิ่มเนื้อวัสดุโดยใช้ กระบวนการเชื่อมด้วยพัลส์เลเซอร์ Nd:YAG ให้สามารถเชื่อมวัสดุเชื่อมยากทั้งหลายเช่น โลหะผสม (Alloys Steel) เป็นต้น ซึ่งใช้ในการสร้างส่วนประกอบอากาศยานเคลือบบางชั้น ลวดเชื่อมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.010 นิ้ว ไปจนถึง 0.020 นิ้ว ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบป้อนลวดอัตโนมัติเพื่องานซ่อมแม่พิมพ์ ระดับของทักษะความชำนาญของช่างเชื่อมในขณะนี้จึงลดลงอย่างชัดเจน เนื่องมาจากระบบป้อนลวดอัตโนมัติและความเร็วการเชื่อมของระบบอัตโนมัตินั่นเอง

รูปที่ 1 เป็นรูปถ่ายขยาย 26 เท่าของรอยเชื่อมเพิ่มเนื้อด้วยเลเซอร์บนวัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์เกรด 420 SS ด้านซ้ายของรูปแสดงการเชื่อมเพิ่มเนื้อที่ขอบและมุมของชิ้นงาน ขณะที่รอยเชื่อมรอยกลางในรูป แสดงการเชื่อมเพิ่มเนื้อที่บนผิวหน้าชิ้นงานด้วยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.010 นิ้ว ส่วนรอยเชื่อมที่อยู่ด้านขวาในรูปแสดงการเชื่อมเพิ่มเนื้อที่บนผิวหน้าชิ้นงานด้วยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 นิ้ว

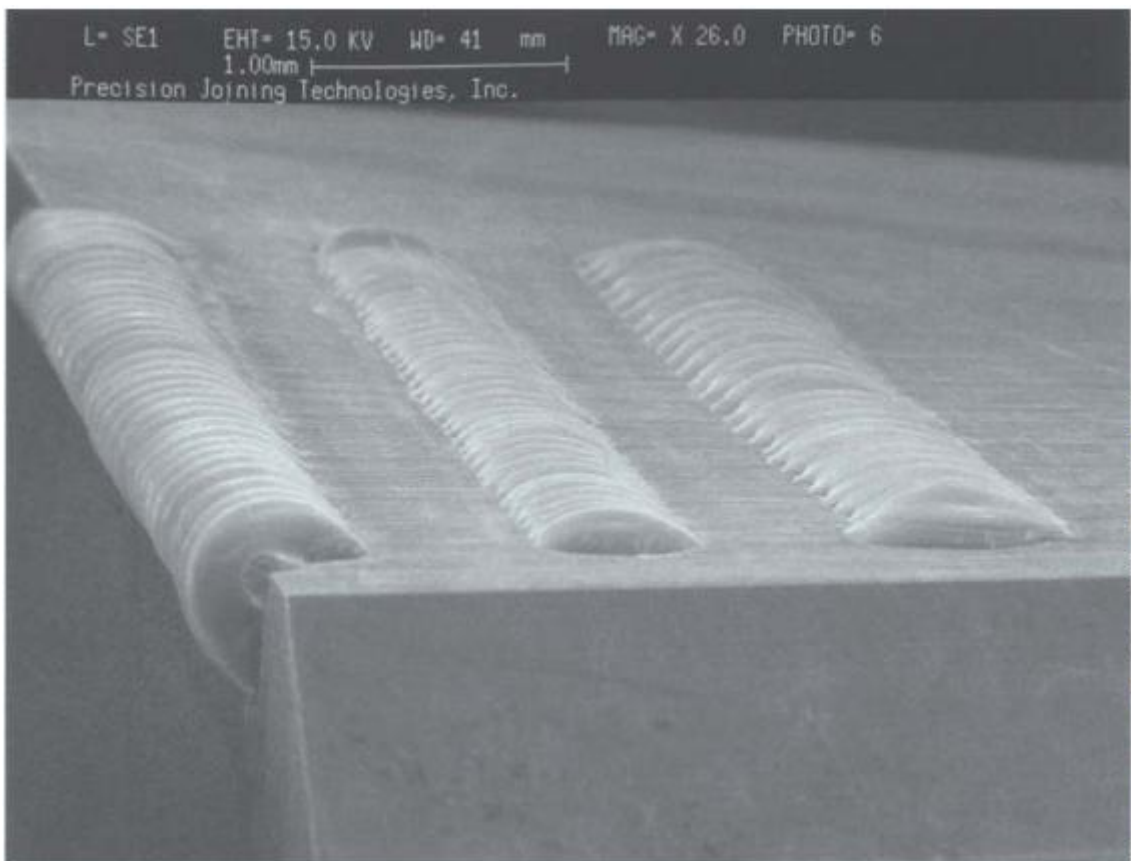


Figure 1 Photograph of typical laser weld build-up of 420 SS mold.

รูปที่ 1 รูปรอยเชื่อมเพิ่มเนื้อด้วยเลเซอร์ บนแม่พิมพ์ เนื้อวัสดุเกรด 420 SS (ภาพจาก Precision joining Technologies, Inc. US)

รูปที่ 2 รูปที่ 3 และ 4 แสดงภาพตัดขวางทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมทั้งสามในรูปที่ 1 โดยรูปที่ 2 แสดงรอยเชื่อมเพิ่มเติมที่ขอบและมุมของชิ้นงาน โดยบริเวณขอบชิ้นงานนี้จะเชื่อมเพิ่มมากเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับว่าได้เนื้อใหม่ที่เพิ่มขึ้นที่มุมเพียงพอต่อการเป็นขอบชิ้นงานสำเร็จหรือไม่ สิ่งนี้เป็นคุณประโยชน์อย่างเด่นชัดของการเชื่อมเพิ่มเติมด้วยเลเซอร์ที่วิธีการเชื่อมแบบอื่นอาจทำเช่นนี้ไม่ได้หรือทำได้ก็ยากมากและต้องใช้ประสบการณ์ของผู้เชื่อมสูงมาก ซึ่งแม้กระนั้นผลลัพธ์ยังไม่มีวิธีใดดีเท่าการเชื่อมด้วยเลเซอร์ ส่วนในรูปที่ 3 แสดงการเชื่อมเพิ่มเติมโดยใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.010 นิ้ว จากการวัดละเอียดบนรอยเชื่อมพบว่ารอยเชื่อมมีความกว้าง 0.030 นิ้ว และสูงขึ้นจากผิวหน้าชิ้นงาน 0.0024 นิ้ว ขณะที่ในรูปที่ 4 แสดงการเชื่อมเพิ่มเติมด้วยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 นิ้ว ด้วยการเพิ่มพลังงานเลเซอร์ เพื่อเชื่อมลวดที่โตขึ้น ดังนั้นรอยเชื่อมจึงกว้างขึ้นเป็น 0.036 นิ้ว และเนื่องจากเนื้อลวดที่มากขึ้นทำให้รอยเชื่อมที่ 3 มีความสูง 0.0056 นิ้วจากผิวหน้าแม่พิมพ์



Figure 2 Metallographic cross-section of corner weld shown in Figure 1.



Figure 3 Metallographic cross-section of 0.010-in. filler wire weld shown in Figure 1.



Figure 4 Metallographic cross-section of 0.015-in. filler wire weld shown in Figure 1.

รูปที่ 2 ภาพตัดขวางโลหะวิทยาของการเชื่อมเลเซอร์บนมุมชิ้นงานในรูปที่ 1

รูปที่ 3 ภาพตัดขวางโลหะวิทยาของการเชื่อมเลเซอร์ชิ้นงานในรูปที่ 1 ด้วยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.010 นิ้ว

รูปที่ 4 ภาพตัดขวางโลหะวิทยาของการเชื่อมเลเซอร์ชิ้นงานในรูปที่ 1 ด้วยลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 นิ้ว



Figure 5 Laser weld repair of an engraving.



Figure 6 Laser weld repair of the inside diameter of an 1/8-in. hole.

รูปที่ 5 ภาพการเชื่อมเลเซอร์ซ่อมงานแกะสลัก (Engraving) ตัวอักษรบนแม่พิมพ์

รูปที่ 6 ภาพการเชื่อมเลเซอร์ซ่อมภายในรูเจาะขนาด 1/8 นิ้ว

ตำแหน่งการเชื่อมซ่อมบนแม่พิมพ์

แสงเลเซอร์สามารถแทรกสอดเข้าไปยังพื้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในการซ่อมแม่พิมพ์ ได้ทราบเท่าที่ผู้เชื่อมสามารถมองเห็นพื้นที่นั้นผ่านเลนส์และกล้อง ตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้วก่อนหน้านี้ว่าคุณประโยชน์สูงสุดของการเชื่อมด้วยเลเซอร์คือการเชื่อมซ่อมบริเวณขอบและมุมของชิ้นงาน รวมไปถึงมุมด้านในและนอกของงาน และยังมีด้านอื่นอีกได้แก่ เชื่อมเพิ่มเนื้องานแก้ไขหรือแก้ความผิดพลาดหรือเปลี่ยนตัวเลขตัวอักษรเช่น แกะสลักตัวเลขตัวอักษร หรือตรา สัญลักษณ์บนแม่พิมพ์ ที่ต้องการแก้ไข สำหรับรูปที่ 5 แสดงภาพการเพิ่มเนื้อขึ้นเป็นตัวอักษรคำว่า LASER โดยใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.010 นิ้ว

ความหลากหลายของงานเชื่อมเพิ่มเนื้อที่บริเวณขอบและมุมยังมีตัวอย่างในรูปที่ 6 เป็นการเชื่อมที่ขอบปากรูโดยรอบ ขนาดลวดมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในรู 1/8 นิ้วโดยเชื่อมซ่อมที่ผนังรูลึกจากผิวบนประมาณ 0.030 นิ้ว

เทคนิคพิเศษทางกล้องและเลนส์ (Special optics techniques) ถูกนำมาใช้ในการเชื่อมตำแหน่งที่มองเห็นได้ยาก การเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ในบางตำแหน่งที่แคบและเข้าถึงได้ยากนั้นไม่สามารถเชื่อมซ่อมด้วยวิธีการอื่นนอกจากการใช้เลเซอร์เท่านั้น

ขนาดลวดเชื่อมเพิ่มเนื้อ (Filler wire size)

ขั้นตอนหรือวิธีพิจารณาเลือกขนาดลวดเชื่อมขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

- ความหนาของแม่พิมพ์หรือชิ้นงานตรงตำแหน่งที่จะเชื่อมซ่อม
- ปริมาตรของวัสดุที่ต้องการในการเชื่อมเพิ่มเนื้อตรงพื้นที่ซ่อม

ขนาดลวดเชื่อมมีให้เลือกใช้ได้ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.003 นิ้วจนถึง 0.020 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อมที่เล็กกว่าก็ต้องถูกใช้ในการเชื่อมที่ใช้พลังงานน้อย ๆ และย่อมเกิดความร้อนป้อนเข้าน้อยที่สุดด้วย สิ่งเหล่านี้มีความจำเป็นเมื่อชิ้นงานเป็นงานที่ต้องการการบดงอหลังการเชื่อมต่ำสุด ส่วนลวดเชื่อมขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับงานเชื่อมเพิ่มเนื้อที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้นและมีความหนามากขึ้น

ชนิดของลวดเชื่อมเพิ่มเนื้อ (Filler wire type)

การเลือกชนิดของลวดเชื่อมขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

- ชนิดของวัสดุแม่พิมพ์ที่ต้องการเชื่อมซ่อม
- ความแข็งของผิวงานสำเร็จหลังจากที่เชื่อมซ่อมแล้ว

สภาพหรือเงื่อนไขของพื้นที่ที่ต้องการเชื่อมซ่อมเช่นพื้นที่เชื่อมผ่านการชุบหรือเคลือบผิวมาก่อนหน้าหรือไม่ หรือมีรอยร้าวเกิดขึ้นก่อนหรือระหว่างการเชื่อมซ่อมหรือไม่ หรือพื้นที่ที่จะเชื่อมผ่านการเชื่อมมาก่อนหรือไม่และเชื่อมด้วยวิธีใดมา

ทำการวิเคราะห์ว่าแม่พิมพ์ดังกล่าวเกิดการชำรุดด้วยเหตุใด

ความแข็งของรอยเชื่อมเมื่อเชื่อมเสร็จ (Hardness of the resultant weld metal)

ความแข็งของรอยเชื่อมเมื่อเชื่อมเสร็จขึ้นอยู่กับหลายสิ่งดังตัวอย่างต่อไปนี้

- เนื้อวัสดุของแม่พิมพ์ที่ต้องการเชื่อมซ่อม
- ชนิดของลวดที่นำมาใช้เชื่อม

การเลือกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการเชื่อมซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายของลวดเชื่อมและแทรกเข้าผสมกับเนื้อวัสดุเดิมของแม่พิมพ์ที่เชื่อม

ข้อมูลความแข็งได้มีการสร้างขึ้น โดยการใช้วัสดุเกรดต่าง ๆ ของแม่พิมพ์และวัสดุชนิดต่าง ๆ ของลวดเชื่อมเพิ่มเนื้อ โดยเนื้อวัสดุแม่พิมพ์ที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ S-7, H-13, P-20 และ 420SS

เนื้อวัสดุแม่พิมพ์ที่สามารถเชื่อมซ่อมได้ดี (Mold Materials Successfully Repaired)

เนื้อวัสดุเหล่านี้สามารถเชื่อมซ่อมได้เป็นอย่างดี S-7, H-13, P-20, NAK-55, A2, A6, M2, 410 SS, 420 SS, 440 SS, Elmax, Aermet, CPM9V, Aluminum alloy, copper beryllium and amcoloy 940.

วัสดุทำแม่พิมพ์นั้นเป็นวัสดุที่ยากต่อการเชื่อมด้วยวิธีการอื่น ความรู้พื้นฐานทางด้านวิศวกรรมโลหะและโลหะวิทยา งานเชื่อมเป็นสิ่งจำเป็นในการทำความเข้าใจว่าเนื้อวัสดุชิ้นงานต่าง ๆ มีพฤติกรรมเช่นใดต่อวัสดุลวดเชื่อมและความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเชื่อม ยังมีความรู้ความเข้าใจเรื่องเช่นนี้มากเท่าใด โอกาสที่พื้นที่การเชื่อมจะเสียหายก็จะยิ่งน้อยลง

ในทางปฏิบัติ การแตกร้าวบนแม่พิมพ์ต้องไม่ควรถูกมองข้าม การแตกร้าวในวัสดุแข็งนั้นสามารถแพร่ออกได้เร็วมาก และนำมาซึ่งความเสียหายของชิ้นงาน การเลือกใช้ลวดชนิดหรือใช้เทคนิคการเชื่อมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายมากบนเนื้อแม่พิมพ์ การวิเคราะห์ด้วยวิธีภาพถ่ายทางโลหะวิทยา (Metallographical analysis) ถูกนำมาใช้วิเคราะห์วัสดุชนิดต่าง ๆ ที่มาผสมกันตามสัดส่วนที่สนใจอย่างละเอียดถี่ถ้วน ร่วมกับการตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อสร้างลวดเชื่อมที่มีคุณสมบัติเหมาะสม พบว่าโดยทั่วไป ส่วนผสมยังมีคาร์บอน (Carbon: C) มากก็ยิ่งทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่าย

ส่วนวัสดุประเภท Aluminum และ Copper alloy นั้นในงานวิจัยนี้ยังไม่ขอกกล่าวถึงเนื่องจาก คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุเหล่านี้มีค่าการสะท้อนคลื่นที่มีความยาว 1.06 micron ซึ่งเป็นย่านที่ใกล้เคียงกับแสงเลเซอร์ที่เกิดจาก Nd:YAG พอดี้ จึงต้องใช้เทคนิควิธีอื่นในการเชื่อมวัสดุเหล่านี้

ข้อดีของการเชื่อมด้วยวิธีเลเซอร์ (Process Advantages)

เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมด้วยวิธีการอื่นแล้ว การเชื่อมด้วยวิธีเลเซอร์นี้มีข้อดีดังต่อไปนี้

- ไม่เกิด Undercut หรือ การหดตัวของรอยเชื่อมหรือเนื้อวัสดุชิ้นงานรอบ ๆ พื้นที่เชื่อม เมื่อเชื่อมโดยเทคนิควิธีที่เหมาะสม
- เกิดความร้อนสะสมน้อยที่สุดบนแม่พิมพ์ จึงทำให้ไม่ทำให้เกิดการบิดบนชิ้นงานที่มีความละเอียดสูงหรือเกิดน้อยที่มากที่สุด ๆ รอยเชื่อมเท่านั้นซึ่งปกติมักจะถูกขัดออกเพื่อให้ได้ผิวงานสำเร็จ

○ มีเนื้อโลหะเพิ่มขึ้นไม่มาก ซึ่งทำให้ไม่สิ้นเปลืองในการแมชชีน (กลึง กัด ไซ เจียรนัย) หรือขัดเพื่อให้ได้ผิวงานสำเร็จ

○ ผลลัพธ์ที่ได้รอยเชื่อมที่มีความแข็งแรงและเหนียวที่มีทนทานต่อทั้งแรงกดแรงเหวี่ยงและแรงดึงซึ่งเนื่องมาจากโครงสร้างที่มีความละเอียดสูงของรอยเชื่อมที่ลวดเชื่อมและเนื้อโลหะชิ้นงานหลอมเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม เป็นผลให้รอยเชื่อมมีการก่อตัวและแข็งตัวอย่างเร็ว

○ สามารถควบคุมตำแหน่งเชื่อมได้แม่นยำมาก จึงทำให้สามารถเชื่อมเชื่อมรอยเชื่อมขนาดเศษหนึ่งส่วนพันนิ้ว (Inch) ได้ในการใช้งานจริง บางครั้งอาจมีบางตำแหน่งบนแม่พิมพ์เป็นพื้นที่ที่ต้องการการปกป้อง ไม่ต้องการให้รอบเชื่อมลามไปถึง

○ ไม่ทำให้สีของแม่พิมพ์ตรงรอยเชื่อมและบริเวณโดยรอบเปลี่ยนแปลงไปจากฐานเดิม หรือมีการเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อย

อุปกรณ์ความปลอดภัยการทำงานกับเลเซอร์ (Laser Equipment Safety)

เครื่องมือ อุปกรณ์ทางเลเซอร์สามารถเป็นอันตรายแก่ร่างกายมนุษย์ได้มาก แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้กำเนิดแสงเลเซอร์และห้องบรรจุหลอดและอุปกรณ์สร้างเลเซอร์นั้นเป็นอันตรายถึงชีวิต เฉพาะบุคคลที่มีความรู้และผ่านการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดีแล้วเท่านั้น จึงสามารถตรวจสอบชิ้นส่วนเหล่านี้ได้ แสงเลเซอร์สามารถทำให้ตาบอดถาวรได้ ถ้าแสงเลเซอร์โดยธรรมชาติจะถูกรวบรวมเข้าโฟกัสของกระจกนัยน์ตาหรือเรตินา (retina) ได้โดยอัตโนมัติ ดังนั้น การโดนแสงเลเซอร์โดยตรงหรือแสงที่สะท้อนหักเหมาเข้าตาสามารถทำให้ดวงตาบางส่วนหรือทั้งหมดบอดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสอนเรื่องความปลอดภัยในการทำงานกับเลเซอร์ให้แก่บุคลากรทุกคนที่มีส่วนต้องปฏิบัติงานกับเลเซอร์