

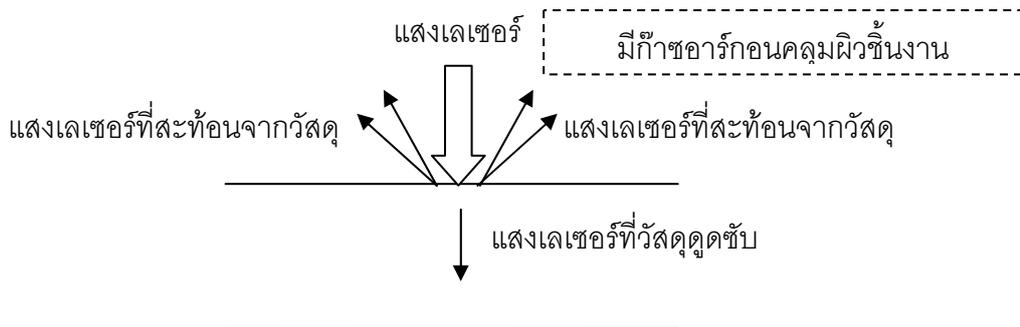
บทที่ 7

การวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายเทความร้อน

การที่จะสามารถเข้าใจอย่างแท้จริงถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะของรอยเชื่อมเลเซอร์จำเป็นต้องเข้าใจถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อม แต่เนื่องจากบริเวณที่ทำการเชื่อมมีขนาดเล็กมากคือ มีความกว้างอยู่ที่ประมาณ 0.6 มิลลิเมตร และมีความลึกอยู่ที่ประมาณ 0.1 มิลลิเมตร ทำให้ยากที่จะอธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมด้วยการทดลอง ดังนั้น จึงมีการสร้างแบบจำลองทางความร้อนขึ้นเพื่อศึกษา ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมโดยในที่นี้ใช้ระเบียบวิธีผลต่างสี่บเนื่องเป็นตัวอธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นใน 1 มิติ ตามแนวความลึกของรอยเชื่อม

7.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางกายภาพของการวิเคราะห์แบบจำลองของกระบวนการถ่ายเทความร้อนของการเชื่อมด้วยเลเซอร์ใน 1 มิติ โดยมีแหล่งกำเนิดความร้อนมาจากแสงเลเซอร์แสดงดังภาพที่ 7.1 แต่เนื่องจากการเชื่อมแบบพัลส์นั้นจะมีการซ้อนทับกันของรอยเชื่อม ดังนั้นในการพิจารณาจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกในส่วนของพัลส์ที่ 1 และครั้งที่สองในส่วนของพัลส์ที่ 2 ซึ่งในส่วนของพัลส์ที่ 2 นี้จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 7.1 แบบจำลองทางกายภาพของการเชื่อมด้วยเลเซอร์

สมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองของกระบวนการถ่ายความร้อนมีดังนี้

- (1) โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของการเชื่อมเลเซอร์จะพิจารณาเป็น 2 มิติ ระหว่างความกว้างและความลึกของรอยเชื่อม แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการพิจารณาความลึกของรอยเชื่อมเป็นหลักจึงกำหนดให้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ ที่ขึ้นกับเวลา (สาเหตุที่ในงานวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ ได้เนื่องจากปกติแล้วถ้าด้านกว้างของชิ้นงานกว้างกว่ารอยเชื่อมมาก ๆ การกระจายตัวของความร้อนตามแนวความกว้างจะไม่มีผลกระทบมากต่อการเชื่อมลึกนั่นก็คือ การกระจายตัวของความร้อนในแนวความกว้างของงานเชื่อมไม่มีผลต่อการกระจายตัวของความร้อนในแนวความลึกของชิ้นงาน ดังนั้น จึงสามารถวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ 1 มิติ ได้)
- (2) กำหนดให้ฟลักซ์ความร้อนที่ได้จากแสงเลเซอร์มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่แสงเลเซอร์ถูกยิงออกมา
- (3) กำหนดให้ขอบเขตด้านบนเป็นขอบเขตเปิด และขอบเขตด้านที่เหลือเป็นขอบเขตปิด
- (4) กำหนดให้คุณสมบัติของวัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS430 และกำหนดให้คุณสมบัติทางความร้อนมีค่าคงที่
- (5) สมมติว่าไม่มีการถ่ายเทมวลสารและไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของวัสดุ สาเหตุที่ไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสถานะของวัสดุเนื่องจากเพื่อลดความซับซ้อนของปัญหาและจากงานวิจัยอื่น ๆ พบว่า การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสถานะนั้นให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเมื่อไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสถานะ

7.1.1 สมการการถ่ายเทความร้อน

เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติ ซึ่งขึ้นกับเวลา ดังนั้นสมการที่ใช้ในการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนจึงเป็นดังสมการที่ (7.1)

$$\frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7.1)$$

7.1.2 เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตเปิดจากภาพที่ 7.1 หมายถึง ด้านที่แสงเลเซอร์ตกกระทบ เงื่อนไขนี้แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงที่ 1 คือ ช่วงเวลาที่แสงเลเซอร์ยิงลงมา ($0 < t_p \leq t$) มีสมการการแลกเปลี่ยนความร้อนดังสมการที่ (7.2) และช่วงที่ 2 คือ ช่วงเวลาหลังจากแสงเลเซอร์ยิงลงมา ($t_p < t_p \leq 50$ มิลลิวินาที) มีสมการการแลกเปลี่ยนความร้อนดังสมการที่ (7.3)

เมื่อ $0 < t_p \leq t$ จะได้สมการขอบเขต คือ

$$\dot{q}_0 A + kA \frac{dT}{dx} + \epsilon A \sigma (T^4 - T_{surr}^4) + hA (T - T_\infty) = \rho c V \frac{dT}{dt} \quad (7.2)$$

เมื่อ $t_p < t_p \leq 50$ มิลลิวินาที จะได้สมการขอบเขต คือ

$$kA \frac{dT}{dx} + \epsilon A \sigma (T^4 - T_{surr}^4) + hA (T - T_\infty) = \rho c V \frac{dT}{dt} \quad (7.3)$$

การพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตที่ขอบเขตปิดจากภาพที่ 7.1 หมายถึง ด้านล่างและด้านข้างซึ่งไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นสามารถเขียนด้วยสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (7.4)$$

การพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตเริ่มต้นกำหนดให้วัสดุทั้งชิ้นมีอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่า 25 องศาเซลเซียส

7.2 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

จากสมการการถ่ายเทความร้อนและเงื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ สามารถนำระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องมาประยุกต์ใช้ได้ โดยสมการการถ่ายเทความร้อนภายในสมการเงื่อนไขขอบเขตเปิดช่วงเวลาที่แสงเลเซอร์ยิงลงมา สมการเงื่อนไขขอบเขตเปิดช่วงเวลาหลังจากแสงเลเซอร์ยิงลงมา และสมการขอบเขตที่ขอบเขตปิด แสดงดังสมการที่ (7.5) – (7.8) ตามลำดับ

$$T_m^{p+1} = F_0 (T_{m+1}^p + T_{m-1}^p) + (1 - 2F_0) T_m^p \quad (7.5)$$

$$T_0^{p+1} = 2F_0 \left(T_1^p + B_i T_\infty + \frac{\Delta x \dot{q}_0}{k} \right) + (1 - 2F_0 - 2B_i F_0) T_0^p + \frac{2\varepsilon\sigma\Delta t (T_0^{p4} - T_\infty^4)}{\rho c \Delta x} \quad (7.6)$$

$$T_0^{p+1} = 2F_0 (T_1^p + B_i T_\infty) + (1 - 2F_0 - 2B_i F_0) T_0^p + \frac{2\varepsilon\sigma\Delta t (T_0^{p4} - T_\infty^4)}{\rho c \Delta x} \quad (7.7)$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = 0 \quad (7.8)$$

ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

(1) ฟลักซ์ความร้อน (\dot{q}_0)

หาได้จากการนำค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในการทดลองเรื่องกำลังไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 5 ค่า คือ 0.57 0.65 0.72 0.81 และ 1.00 กิโลวัตต์ หารด้วยพื้นที่ที่แสงเลเซอร์ยิงลงไปซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.57 กิโลวัตต์ มีค่า 2 กิโลวัตต์/ตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.65 กิโลวัตต์ มีค่า 2.3 กิโลวัตต์/ตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.72 กิโลวัตต์ มีค่า 2.55 กิโลวัตต์/ตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.81 กิโลวัตต์ มีค่า 2.87 กิโลวัตต์/ตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 1.00 กิโลวัตต์ มีค่า 3.54 กิโลวัตต์/ตารางมิลลิเมตร

แต่เนื่องจากวัสดุจะมีการดูดซับและสะท้อนแสงเลเซอร์ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าการสัมประสิทธิ์การดูดซับเพื่อนำไปหาค่าฟลักซ์ความร้อนที่แท้จริงที่วัสดุได้รับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ η หาได้จาก

$$\eta = 0.365 \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{1/2} - 0.0667 \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right) + 0.006 \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^{3/2} \quad (7.9)$$

โดยที่ α มีค่า $60 \mu\Omega cm$

λ มีค่า $1.064 \mu m$

เมื่อแทนค่าทั้งสองลงในสมการ (7.9) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับมีค่า 0.239 ดังนั้นค่าฟลักซ์ความร้อนที่วัสดุดูดซับไว้คือ

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.57 กิโลวัตต์ มีค่า 0.48 กิโลวัตต์ต่อตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.65 กิโลวัตต์ มีค่า 0.55 กิโลวัตต์ต่อตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.72 กิโลวัตต์ มีค่า 0.61 กิโลวัตต์ต่อตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 0.81 กิโลวัตต์ มีค่า 0.69 กิโลวัตต์ต่อตารางมิลลิเมตร

ฟลักซ์ความร้อน ที่ 1.00 กิโลวัตต์ มีค่า 0.85 กิโลวัตต์ต่อตารางมิลลิเมตร

(2) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) มีค่า 26.5 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

(3) ค่าสภาพการเปล่งรังสี (ϵ) มีค่า 0.15

(4) ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann มีค่า 5.67×10^{-8} วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวินยกกำลังสี่

(5) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน โดยที่ให้เป็นก๊าซอาร์กอนอุดมคติที่ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 100 กิโลปาสคาล

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (7.10)$$

โดยที่ V มีค่า 0.61 m/s

D มีค่า 0.025 m

ν มีค่า $14.2 \times 10^{-6} m^2/s$

เมื่อแทนค่าทั้งสามลงในสมการที่ (7.10) จะได้ค่า Reynolds number มีค่า 1055 ซึ่งสามารถหาค่า Nusselt number ได้จากสมการที่ (7.11)

$$Nu = 0.683(Re^{0.466})(Pr^{1/3}) \quad (7.11)$$

โดยที่ Pr มีค่า 0.667

เมื่อแทนค่า Reynolds number และ Prandtl's number ลงในสมการที่ (7.11) จะได้ค่า Nusselt number มีค่า 15.29 ซึ่งนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากสมการที่ (7.12)

$$h = \frac{k}{D} Nu \quad (7.12)$$

โดยที่ k มีค่า 17.9×10^{-3} W/m.K

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงไปในสมการที่ (7.12) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่า $10.96 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

(6) ค่า Fourier number (F_0) หาได้จาก สมการที่ (7.13)

$$F_0 = \frac{k \Delta t}{\rho C \Delta x} \quad (7.13)$$

โดยที่ k มีค่า 26.5 W/m.K

ρ มีค่า 7.8 g/cm^3

C มีค่า 460 J/kg.K

Δt มีค่า 0.005 msec

Δx มีค่า 0.01 mm

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (7.13) จะได้ค่า Fourier number มีค่า 0.3693

(7) ค่า Biot number (B_i) หาได้จากสมการที่ (7.14)

$$B_i = \frac{h \Delta x}{k} \quad (7.14)$$

โดยที่ h มีค่า $10.96 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
 Δx มีค่า 0.01 mm
 k มีค่า $26.5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
 เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (7.14) จะได้ค่า Biot number มีค่า 4.1×10^{-6}

7.3 ผลที่ได้และการวิเคราะห์ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

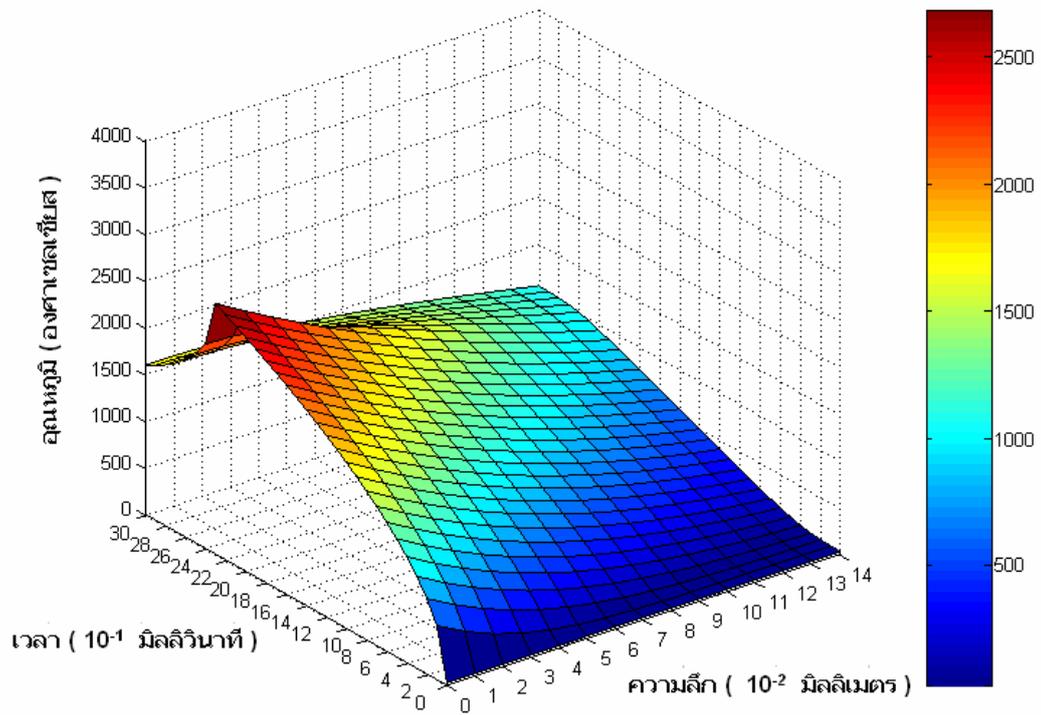
เนื่องจากการเชื่อมด้วยเลเซอร์แบบพัลส์จำเป็นต้องมีการซ้อนทับกันเกิดขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นใน 2 พัลส์ที่ติดกัน โดยในที่นี้จะสนใจพิจารณาในพัลส์ที่ 2 เป็นหลัก โดยค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 เรืองกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 0.57 0.65 0.72 0.81 และ 1.00 กิโลวัตต์ ใช้เวลาในการยิงแสงเลเซอร์ 2.3 2.0 1.8 1.6 และ 1.3 มิลลิวินาที ตามลำดับ โดยทุกกรณีใช้เวลาในหนึ่งพัลส์มีค่า 50 มิลลิวินาที ซึ่งจากการคำนวณจากแบบจำลองทำให้ได้ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อม เวลา และความลึก

ในภาพที่ 7.2 เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนใน 3 แกนซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และความลึก เมื่อพิจารณาที่ 0 ถึง 3 มิลลิวินาที เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่แสงเลเซอร์ปล่อยออกมาซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน

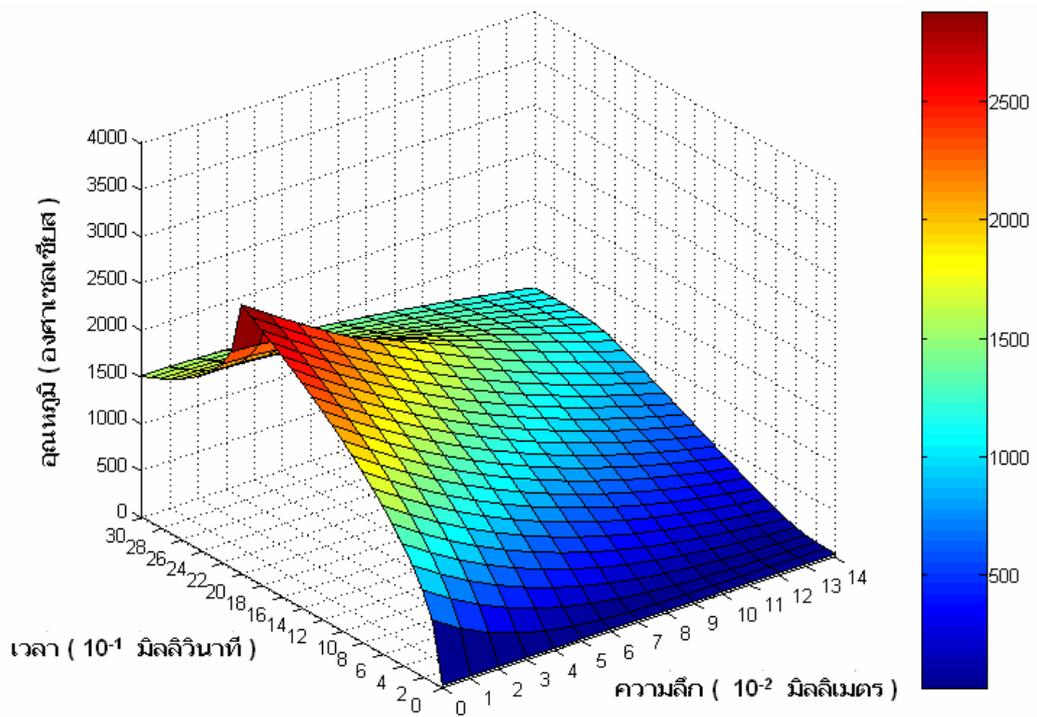
ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ที่ 0 ถึง 50 มิลลิวินาที และ 0 ถึง 3 มิลลิวินาที แสดงดังภาพที่ 7.3 และ 7.4 ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความลึกที่เวลามีค่าเท่ากับเวลาสิ้นสุดของการปล่อยแสงเลเซอร์ของแต่ละกรณี ที่ 0 ถึง 10 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 7.5

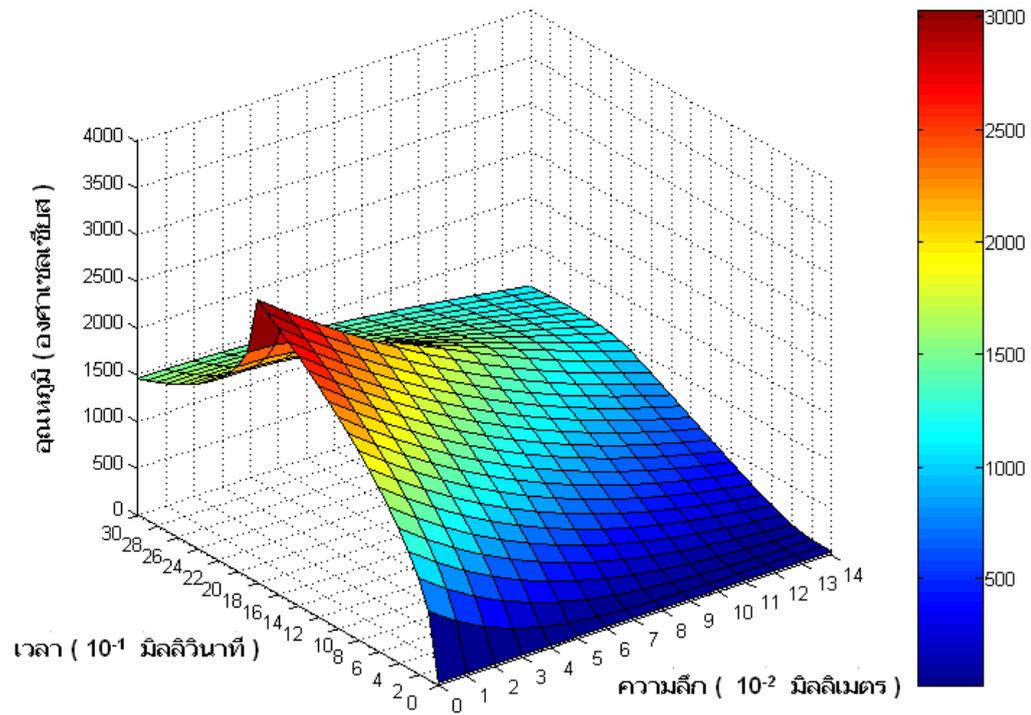
กราฟการหาค่าความลึกของรอยเชื่อมแสดงดังภาพที่ 7.6 (พิจารณาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส) พบว่า ชิ้นงานจะมีรอยเชื่อมลึกที่สุดที่เวลามากกว่าเวลาที่ใช้ในการปล่อยแสงเลเซอร์เล็กน้อย คือ ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 0.57 0.65 0.72 0.81 และ 1.00 กิโลวัตต์ ความลึกสูงสุดเกิดที่เวลา 2.7 2.4 2.2 2.0 และ 1.9 มิลลิวินาที



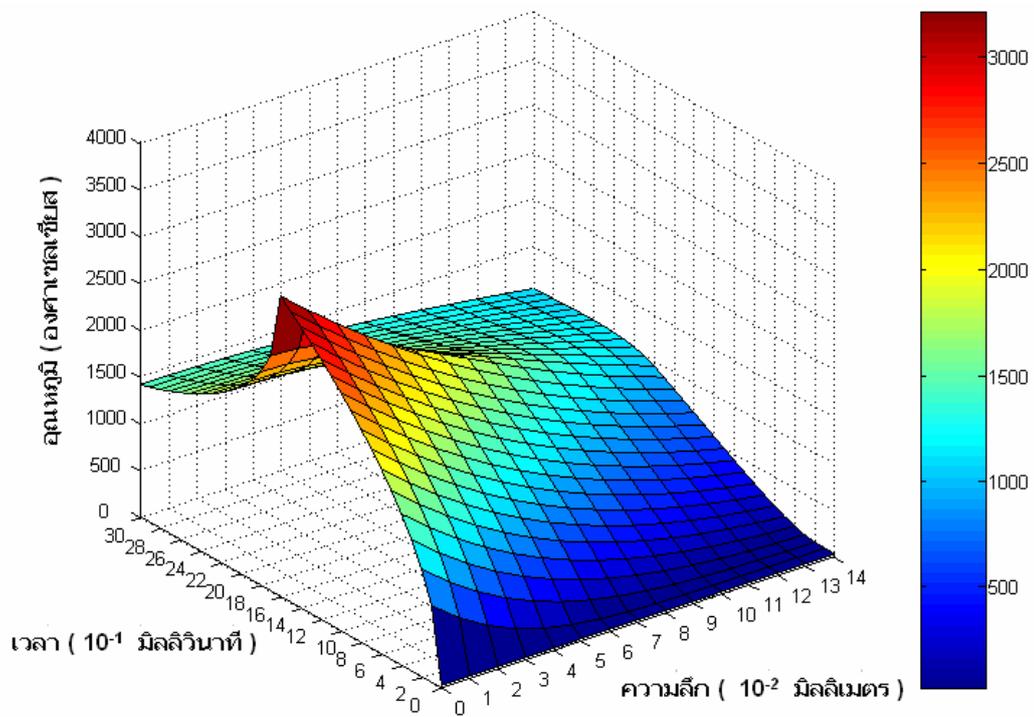
กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.57 กิโลวัตต์



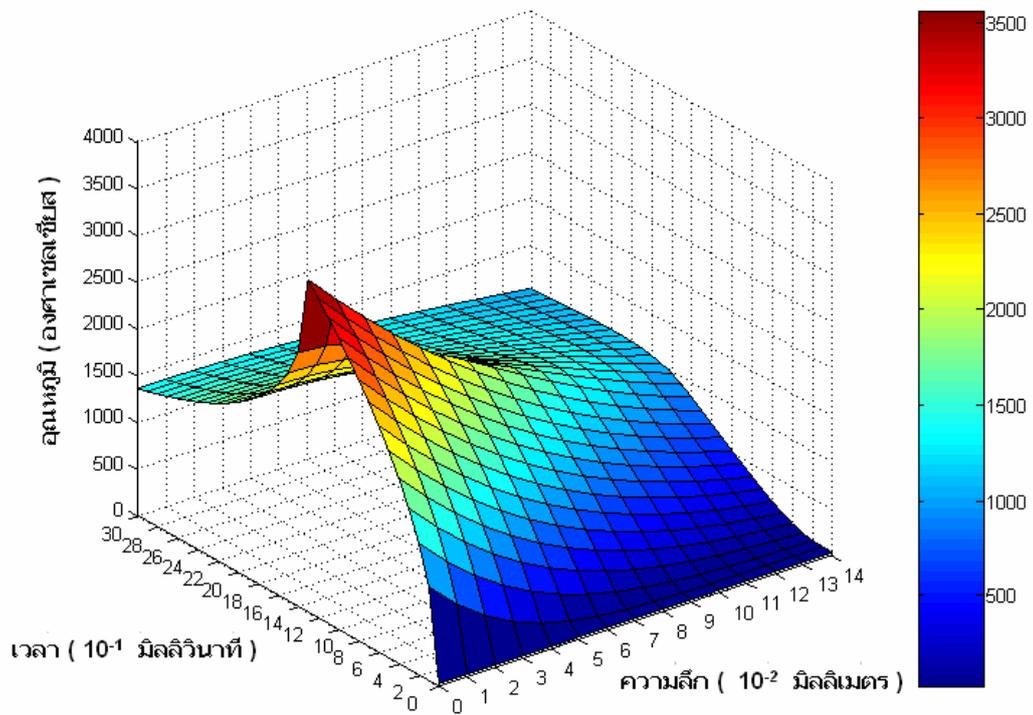
กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.65 กิโลวัตต์



กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.72 กิโลวัตต์

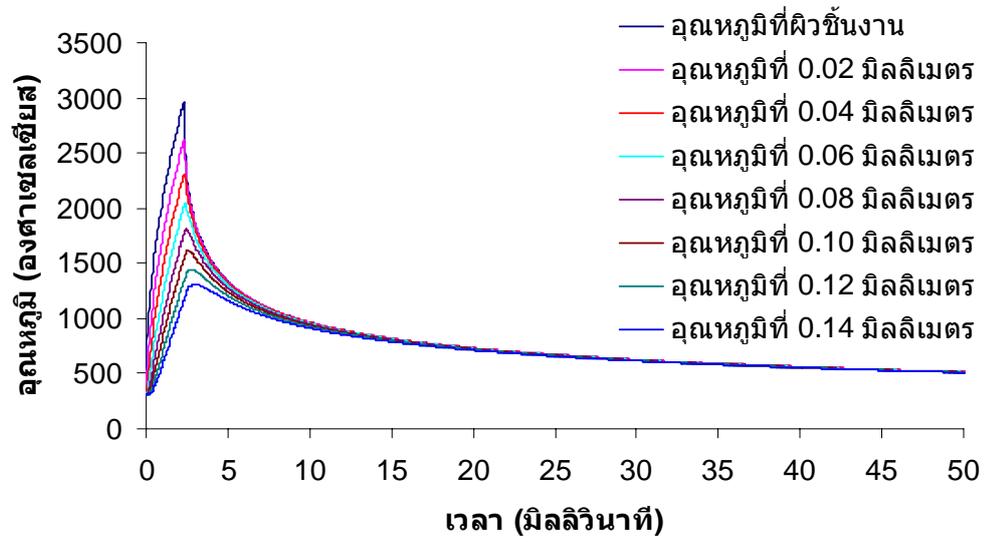


กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.81 กิโลวัตต์

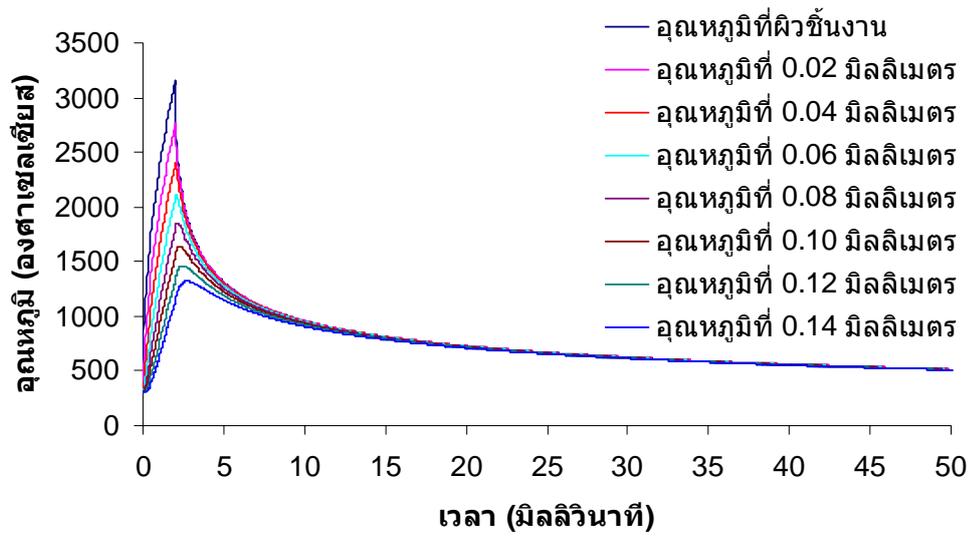


กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 1.00 กิโลวัตต์

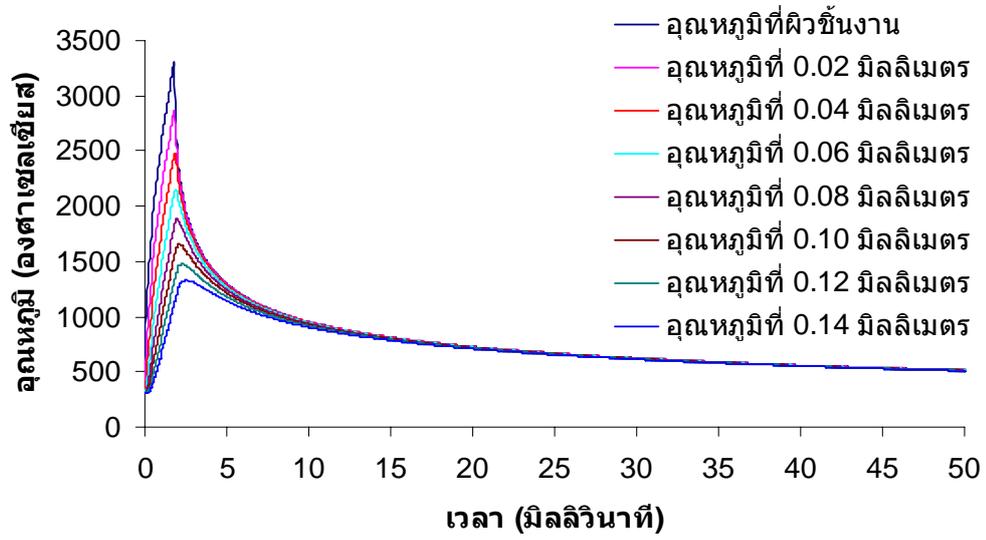
ภาพที่ 7.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนใน 3 แกน เมื่อพิจารณาที่ 0 ถึง 3 มิลลิวินาที



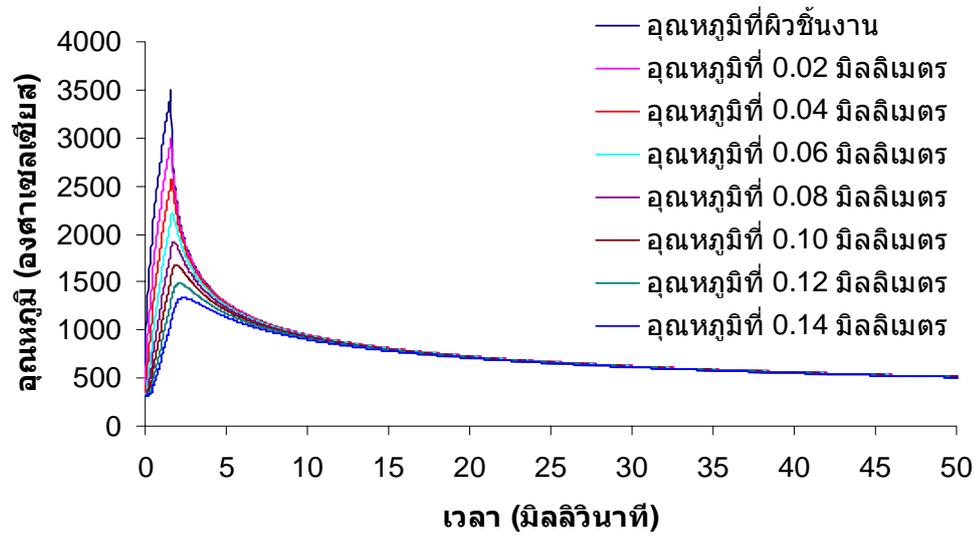
กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.57 กิโลวัตต์



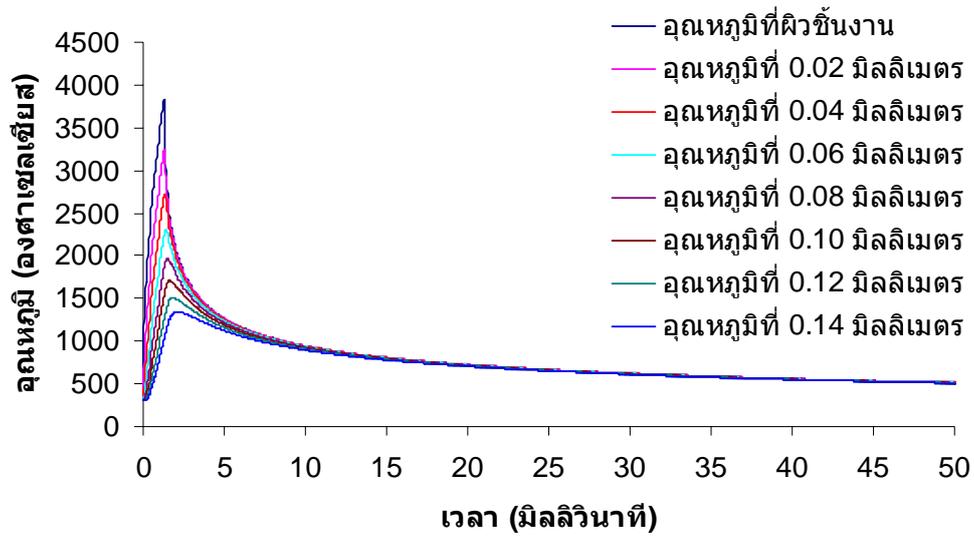
กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.65 กิโลวัตต์



กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.72 กิโลวัตต์

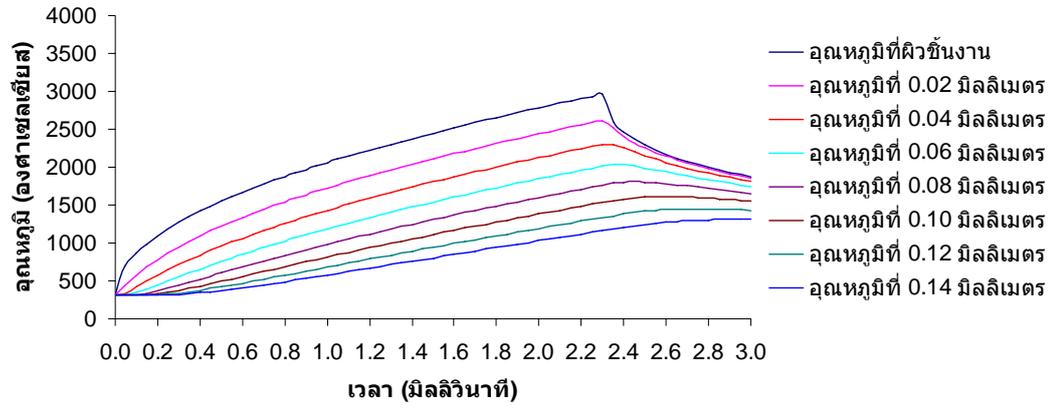


กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.81 กิโลวัตต์

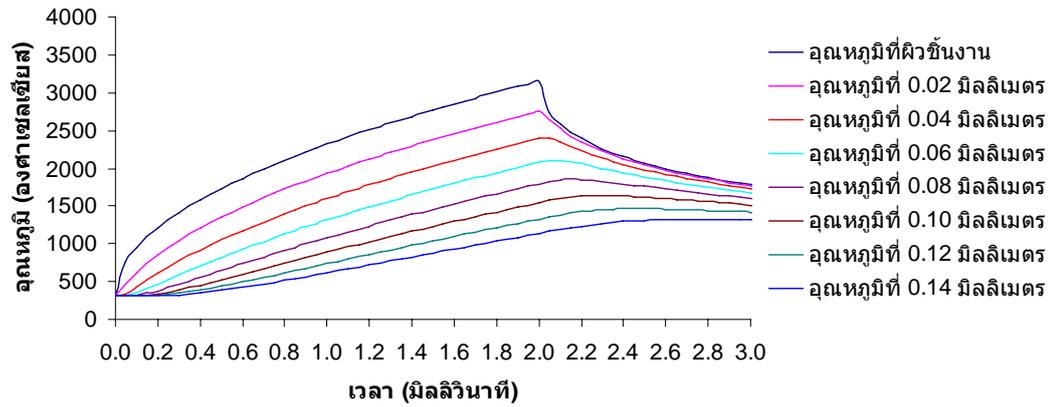


กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 1.00 กิโลวัตต์

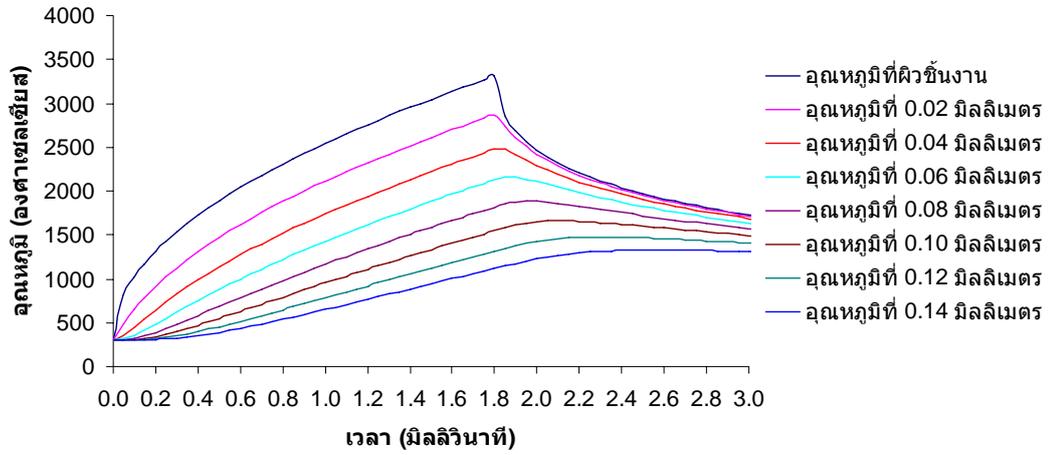
ภาพที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของรอยเชื่อมและเวลาที่ 0 ถึง 50 ไมโครวินาที



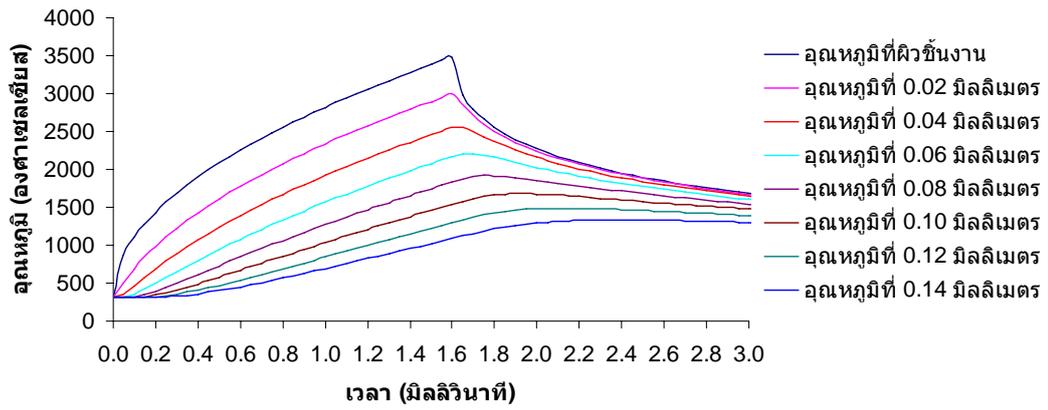
กำลังไฟสูงสุดมีค่า 0.57 กิโลวัตต์



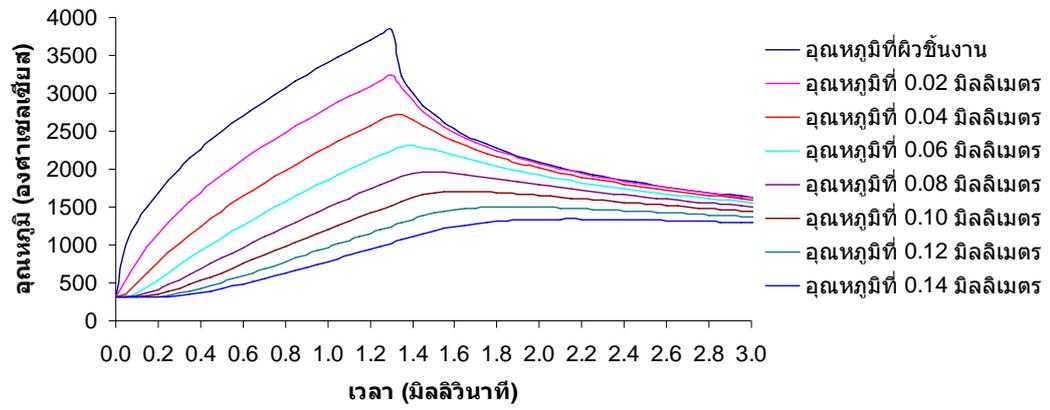
กำลังไฟสูงสุดมีค่า 0.65 กิโลวัตต์



กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.72 กิโลวัตต์

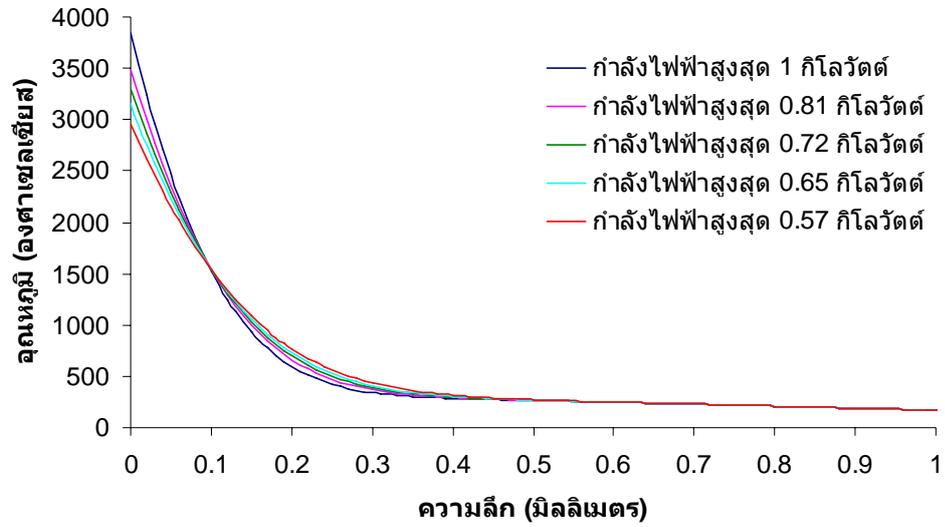


กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 0.81 กิโลวัตต์

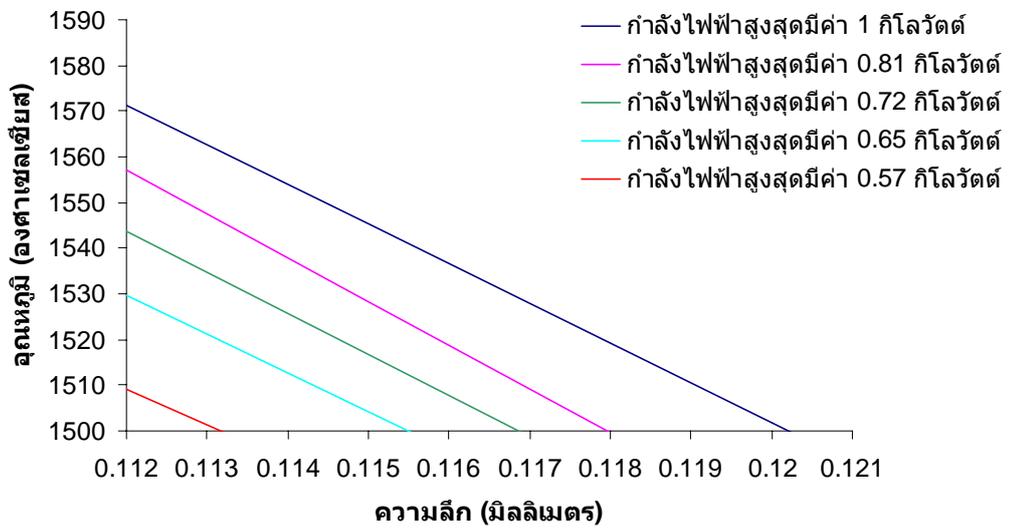


กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 1.00 กิโลวัตต์

ภาพที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของรอยเชื่อมและเวลา ที่ 0 ถึง 3 มิลลิวินาที



ภาพที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความลึกที่เวลาที่มีค่าเท่ากับเวลาสิ้นสุดของการปล่อยแสงเลเซอร์ของแต่ละกรณี ที่ 0 ถึง 10 มิลลิเมตร



ภาพที่ 7.6 ความลึกสูงสุดของรอยเชื่อมที่ก่าลึงไฟฟ้าสูงสุดต่าง ๆ กัน

ผลจากแบบจำลองพบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนบริเวณรอยเชื่อม ซึ่งการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และความลึก โดยสามารถแบ่งความสัมพันธ์ได้ดังนี้

- (1) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 7.3 และ 7.4 จะพบว่า ในทุกกรณีกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีแนวโน้มเช่นเดียวกันคือ ที่ผิวชิ้นงานบริเวณรอยเชื่อมอุณหภูมิจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาที่ปล่อยแสงเลเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงสุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในช่วงประมาณก่อนเวลาที่ 5 วินาที หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำช้าลง ส่วนที่ลึกลงไปจากผิวชิ้นงาน อุณหภูมิจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงเวลาที่มีความมากกว่าเวลาที่ปล่อยแสงเลเซอร์เล็กน้อยถึงจะมีอุณหภูมิสูงสุดซึ่งเกิดจากการนำความร้อนของวัสดุจากผิวของวัสดุลงไปสู่เนื้อของวัสดุ หลังจากนั้นที่ความลึกประมาณไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร อุณหภูมิจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับที่ผิว แต่ที่ความลึกเกินกว่า 0.1 มิลลิเมตรขึ้นไปพบว่าอุณหภูมิลดตัวลงอย่างช้า ๆ
- (2) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความลึก เมื่อพิจารณาภาพที่ 7.5 พบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะส่งผลต่ออุณหภูมิและความลึกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเริ่มจากที่ผิวของวัสดุกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มีค่ามากกว่าอุณหภูมิจะมีค่ามากกว่าจนถึงความลึกที่ค่า ๆ หนึ่งประมาณ 0.1 มิลลิเมตร จะมีการเปลี่ยนแปลงคือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มีค่ามากกว่าอุณหภูมิจะมีค่าน้อยกว่าสาเหตุเนื่องมาจากอิทธิพลของแสงเลเซอร์มีผลมากกว่าการนำความร้อนภายในเนื้อวัสดุถึงแค่ค่าความลึกประมาณ 0.1 มิลลิเมตร หลังจากนั้นอิทธิพลที่มีผลมากกว่า คือ การนำความร้อนซึ่งในกรณีที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่านั้นเวลาที่ใช้ในการปล่อยแสงเลเซอร์น้อยกว่า ดังนั้น การนำความร้อนต่อไปยังความลึกจึงทำได้น้อยกว่า
- (3) ในการหาค่าความลึกของรอยเชื่อม เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 7.6 พบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดแปรผันตรงต่อความลึกของรอยเชื่อมโดยมีความลึกประมาณ 0.11 – 0.12 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง เรื่อง กำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งพบว่าเวลาที่สามารถทำให้รอยเชื่อมมีความลึกมากที่สุดนั้นต้องใช้เวลามากกว่าเวลาที่ปล่อยแสงเลเซอร์เล็กน้อยเนื่องจากวัสดุจำเป็นต้องใช้เวลาในการนำความร้อน