บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

5.1 ผลของทองแดงในกระบวนการแทรกซึม

5.1.1 ผลต่อสมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นว่า เมื่อทำการแทรกซึมด้วยทองแดง ชิ้นงานที่ได้จะมีความหนาแน่นมากกว่าชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมปกติที่ไม่ผ่านการแทรกซึม และเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นงานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากการที่รูพรุนที่มีอยู่ภายในชิ้นงานถูกแทนที่ด้วยทองแดงในระหว่างการแทรกซึม โดยทองแดงหลอมเหลวจะไหลเข้าไปแทนที่รูพรุนที่มีอยู่เดิมด้วยแรงคาปิลลารี โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูพรุนที่มีขนาดใหญ่จะถูกแทนที่ได้ง่ายและรวดเร็วกว่ารูพรุนที่มีขนาดเล็ก[9] ทำให้ชิ้นงานมีจำนวนและขนาดของรูพรุนลดลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานดีขึ้น ดังจะเห็นได้ชัดเจนจากโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในรูปที่ 4.12

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานจากกราฟในรูปที่ 4.11 (b) จะเห็นว่า เมื่อชิ้นงานถูกแทรกซึมด้วยทองแดงจะมีการหดตัวที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการที่ทองแดงหลอมเหลวไหลเข้าไปแทรกปกคลุมอยู่ระหว่างอนุภาคในระหว่างการเผาประสาน ทำให้กระบวนการเผาประสานไม่สามารถเกิดได้โดยสะดวก การหดตัวโดยรวมของชิ้นงานจึงลดลง และเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น ปริมาณทองแดงหลอมเหลวที่เกิดขึ้นและไหลแทรกซึมอยู่ระหว่างอนุภาคก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น ทำให้การหดตัวของชิ้นงานยิ่งลดลงดังกราฟที่ 4.11 (b) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานในรูปที่ 4.12

5.1.2 ผลต่อสมบัติทางกล

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาสมบัติทางกลของชิ้นงานได้แก่ ความแข็งแรง ณ จุดคราก ความต้านทานแรงดึงและความแข็ง จะเห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมปกติที่ไม่ผ่านการแทรกซึมด้วยทองแดง โดยเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น สมบัติทางกลเหล่านี้ก็จะดีขึ้นด้วย ทั้งนี้เป็นผลจากการลดลงของปริมาณและขนาดของรูพรุนที่ทำให้

ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น รวมถึงการเกิด Solid solution strengthening ขึ้นในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม[2, 3]

แต่เมื่อพิจารณาความเหนียว (Ductility) จากเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานพบว่ามีค่าลดลง ทั้งนี้น่าจะเกิดจากอนุภาคของผงเหล็กกล้าไร้สนิมและผงทองแดงที่มีขนาดใหญ่ (> 70 μm) เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา ซึ่งใช้ผงโลหะที่มีขนาดเพียง 1-50 μm เท่านั้น[1, 3] ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความเหนียวน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งชิ้นงานที่ผ่านการแทรกซึมจากตัวแทรกซึมทั้ง 3 แบบพบว่า ชิ้นงานที่ใช้ผงทองแดงผสม H-WACHS 25% อัดขึ้นรูปเป็นตัวแทรกซึม มีความแข็งมากกว่าชิ้นงานที่ใช้แผ่นทองแดงมาก เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณการใช้ทองแดงเท่ากัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเกิดจากการกำจัดตัวประสานที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากการที่มีตัวประสานผสมอยู่กับผงทองแดงในปริมาณมาก ทำให้มีอะตอมของคาร์บอนหลงเหลืออยู่ที่ผิวด้านบนของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม (ด้านที่สัมผัสกับตัวแทรกซึม) เมื่อชิ้นงานถูกเผาประสาน อะตอมของคาร์บอนที่ตกค้างอยู่จะละลายเข้าไปในชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานบริเวณดังกล่าว (ด้านบน) มีปริมาณคาร์บอนสูงขึ้นกว่าปกติ จึงมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ใช้ตัวแทรกซึมแบบที่ไม่ต้องกำจัดตัวประสาน

5.2 ผลของทองแดงต่อการเผาประสานแบบเฟสของเหลว

5.2.1 ผลต่อสมบัติทางกายภาพ

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่า เมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นงานกลับลดลง โดยจากโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น รูพรุนในชิ้นงานมีจำนวนมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นมาก สาเหตุที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเกิดจากปรากฏการณ์ Swelling ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2.2 และ 2.3 จะพบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิด Swelling ในการทดลองนี้มีหลายประการ ได้แก่ ความสามารถในการละลายของเหล็กในทองแดงซึ่งมีค่าเพียง 0.07 atom %, ขนาดอนุภาคของผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L และผงทองแดงที่มีขนาดใหญ่ (เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านๆมาที่ใช้ผงโลหะขนาดอนุภาคเล็กกว่า 44 μm) และความหนาแน่นก่อนการเผาประสานที่ค่อนข้างสูง ซึ่งผลจากปัจจัยเหล่านี้ได้ส่งผลให้รูพรุนในชิ้นงานแทนที่จะเล็กลงและลดลง กลับใหญ่ขึ้นและมีจำนวนมากขึ้นดังรูปที่ 2.10 ส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นลดลงเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดของชิ้นงานพบว่า ชิ้นงานยังคงมีการหดตัวเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นแม้ว่าความหนาแน่นของชิ้นงานจะไม่ได้เพิ่มขึ้นก็ตามดังแสดงในรูปที่ 4.14 (b) และเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการแทรกซึมด้วยปริมาณทองแดงที่เท่ากันพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านเผาประสานแบบเฟสของเหลวมีการหดตัวที่น้อยกว่า ซึ่งอาจเป็นผลจากการขยายขนาดของรูพรุนที่มีอยู่ในชิ้นงานนั่นเอง

5.2.2 ผลต่อสมบัติทางกล

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาสมบัติทางกลอันได้แก่ ความแข็งแรง ณ จุดคราก ความต้านทานแรงดึงและความแข็งจะเห็นว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมปกติที่ไม่ได้ผ่านการเผาประสานแบบเฟสของเหลว โดยเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นสมบัติทางกลเหล่านี้ก็จะดีขึ้นด้วยแม้ว่าชิ้นงานจะมีความหนาแน่นลดลงก็ตาม ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากการเกิด Solid solution strengthening ขึ้นในเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งมีผลต่อชิ้นงานมากกว่าการลดลงของความหนาแน่น จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าความแข็งแรง ณ จุดคราก ความต้านทานแรงดึงและความแข็งจะเริ่มคงที่ที่ปริมาณทองแดงเท่ากับ 4%

เมื่อพิจารณาความเหนียว (Ductility) จากเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานพบว่ามีค่าลดลงเหมือนชิ้นงานที่ผ่านการแทรกซึมเช่นกัน ทั้งนี้น่าจะเกิดจากการสาเหตุเดียวกันคือขนาดอนุภาคของผงเหล็กกล้าไร้สนิมและผงทองแดงที่มีขนาดใหญ่ (> 70 μm) เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา ซึ่งใช้ผงโลหะที่มีขนาดเพียง 1-50 μm เท่านั้น[1, 3] ทำให้ชิ้นงานที่ได้มีความเหนียวน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเช่นเดียวกับชิ้นงานที่ผ่านการแทรกซึม

5.3 ผลของทองแดงต่อการเกิดการกัดกร่อน

5.3.1 ผลของทองแดงในการแทรกซึม

จากการทดสอบชิ้นงานในกรดไนตริก 40% ที่อุณหภูมิห้องพบว่า เมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นชิ้นงานจะมีอัตราการกัดกร่อนที่ลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น โดยความหนาแน่นของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนดีขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากชั้นฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (Passive film) สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์และสม่ำเสมอมากขึ้น[3] ดังจะเห็นผลได้ชัดเจนจากอัตราการกัดกร่อนที่ลดลงเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.4

5.3.2 ผลของทองแดงในการเผาประสานแบบเฟสของเหลว

จากการทดสอบชิ้นงานในกรดไนตริก 40% ที่อุณหภูมิห้องพบว่า เมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นชิ้นงานจะมีอัตราการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของชิ้นงานที่ลดลง โดยความหนาแน่นของชิ้นงานที่ลดลงนี้ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนลดลงตามไปด้วย เนื่องจากชั้นฟิล์มของโครเมียมออกไซด์ (Passive film) ไม่สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์และสม่ำเสมอ[3] อันเป็นผลจากรูพรุนที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 4.15 นอกจากนี้รูพรุนที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวยังเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่แบบในซอก (Crevice corrosion) อีกด้วย ดังจะเห็นผลได้ชัดเจนจากอัตราการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.6