

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดสเกลในการอบอ่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

A Study of Factors Affected the Scale Formation of Stainless Steel AISI 304 Annealing

ชาญวิทย์ พรหมบุตร^{1*} และ คนสัน จิระภัทรศิลป์²

Chanwit Prombutr^{1*} and Komsan Jirapattarasilp²

¹ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมดเขตทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140

² อาจารย์ประจำหลักสูตรครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140

^{1*} Graduate student in Master of Science Industrial Education (Production Engineering) of Production Technology Education
Department, Industrial Education and Technology Faculty, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
PrachaUthit Rd., Bang Mod, ThungKhru, Bangkok, Thailand 10140

² Lecturer in Master of Science Industrial Education (Production Engineering) of Production Technology Education Department,
Industrial Education and Technology Faculty, King Mongkut's University of Technology Thonburi,
PrachaUthit Rd., Bang Mod, ThungKhru, Bangkok, Thailand 10140

*Corresponding author, E mail: prombutr.chanwit@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดสเกลในการอบอ่อนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ซึ่งปัจจัยที่กำหนดคือ ร้อยละการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิในการอบอ่อน และการควบคุมบรรยากาศในการอบ วัดปริมาณร้อยละสัดส่วนสเกลออกไซด์ต่อน้ำหนักชิ้นงานมาเปรียบเทียบเพื่อหาปัจจัยที่ดีที่สุด เมื่อนำชิ้นงานการเปลี่ยนรูป ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 เข้าอบบรรยากาศเตาปกติ ควบคุมบรรยากาศเตาโดยใช้ไนโตรเจน ควบคุมบรรยากาศเตาโดยใช้อาร์กอน ที่อุณหภูมิ 1,020°C 1,065°C และ 1,110°C ปรากฏว่าการเปลี่ยนรูปร้อยละ 30 ควบคุมการเกิดสเกลได้ดีที่สุด อุณหภูมิ 1,020°C ควบคุมการเกิดสเกลออกไซด์ได้ดีที่สุด และควบคุมบรรยากาศในการอบโดยใช้อาร์กอน สามารถควบคุมการเกิดสเกลออกไซด์ได้ดีที่สุด วิเคราะห์ทางสถิติปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดสเกล คือ ร้อยละการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิ การควบคุมบรรยากาศที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ส่วนปัจจัยร่วมพบว่า ร้อยละการเปลี่ยนรูปกับการควบคุมบรรยากาศ มีผลต่อการเกิดสเกลออกไซด์ร่วมกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

คำสำคัญ : เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304, ร้อยละการเปลี่ยนรูป, อุณหภูมิในการอบ, การควบคุมบรรยากาศในการอบ, สเกล

Abstract

This research studies factors that affected the oxide scale formation of stainless steel AISI 304 annealing. The experiment was done with AISI 304 stainless steel according to 3 factors, the percentage of cold work, temperature of annealing, and controlled atmosphere in annealing. The test of the scale was done in order to analyze along with measure percentage of weights scale increased. The result of this experiment shown that when the temperature increased, the scale was increased in all atmospheres; 1,020°C is the best controlled temperature for the scale formation. For controlled atmosphere, normal atmosphere, it was found that the scale had formed more than in controlled atmosphere. The scale was formed least when controlled with argon atmosphere. Therefore, the percentage of cold work had affected the scale formation but increased the percentage of cold work did not increase the amount of scale formed. In the experiment, we also found reduced amount of scale even at the smallest percentage of cold work, 30 percent, temperature of 1,020°C, in argon atmosphere. The analysis of variance shown main effect of factors, percentage of cold work, temperature, and controlled atmosphere had significantly affected the scale formation at the level of .05. Interaction effect showed percentage of cold work and controlled atmosphere significantly affected the scale formation at the level of .05

Keywords: *stainless AISI 304, percentage of cold work, temperature annealing, control atmosphere, scale*

1. บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 นี้คือเกรดที่นิยมมากที่สุดและมีการใช้ประมาณร้อยละ 50 จากปริมาณการใช้ทั่วโลกใช้ในงานตกแต่งเพื่อความสวยงามง่ายต่อการขึ้นรูปและป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดีในกระบวนการผลิต หลังจากผ่านการรีดร้อนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมจะถูกม้วนเก็บ เพื่อการผลิตขั้นต่อไป เรียกแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมม้วนรีดร้อนนี้ว่า คอยล์ดำ เพราะมีสเกลสีดำ (ออกไซด์ปฐมภูมิ) ติดอยู่ผิว (ปัทมา แนวกันขา, 2553) เมื่อผ่านการรีดร้อนแล้วจะนำมรีดลดขนาดอีกครั้งด้วยการรีดเย็น ก่อนการรีดเย็นต้องมีการอบอ่อน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ให้ดีขึ้น เช่น ความเหนียว และความแข็งแรง (สุจิตรา บุญบงค์, 2554) การอบอ่อน ยังช่วยให้เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถรีดลดขนาดได้ง่าย การอบอ่อนจะอบที่อุณหภูมิประมาณ 1,010-1,120°C (Chandler, 1995) จากนั้นจะ

ทำการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้โครงสร้างออสเทนไนต์ เมื่ออบอ่อนเสร็จจะเกิดออกไซด์เพิ่มขึ้นอีก (ออกไซด์ทุติยภูมิ) จึงต้องกำจัดออกไซด์ด้วยแรงกล โดยการใช้ลูกรีดคดงขึ้นเหล็ก ทำให้สเกลออกไซด์บริเวณผิวเกิดการแตกและหลุดออก จากนั้นจึงยิงด้วยเม็ดเหล็ก แล้วตามด้วยการกำจัดออกไซด์ด้วยการกัดกรด (ปัทมา แนวกันขา, 2553) การกำจัดผิวสเกลออกไซด์ด้วยวิธีทางกล และด้วยการกัดกรด ก่อนการเข้าสู่กระบวนการรีดเย็น เหล็กกล้าไร้สนิมที่เราต้องการนั้นจะได้รับความเค้นและความเครียดภายในที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อความแข็งแรง ความแข็งแรงและความเหนียวที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน (คมสัน จิระภัทรศิลป์, 2556) ดังนั้นจึงต้องมีกรรมวิธีอบชุบโลหะ เพื่อคุณสมบัติในการใช้งานที่ดีขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบอ่อน เป็นขั้นตอนการอบชุบขั้นต้นแรกที่จะทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติทางกล

และโครงสร้างที่ถูกต้องเหมาะสมตามแต่ละเกรดของการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นๆ แต่ภายหลังจากกระบวนการอบอ่อนแล้วนั้นพบว่ามีสารมลทินเคลือบอยู่ที่ผิวเหล็ก ซึ่งในกระบวนการอบชุบ เรียกว่า สเกลออกไซด์ (พรพสา วงศ์ปัญญา, 2551) หรือสเกลดำ เมื่อนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาสู่กรรมวิธีผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรม สเกลที่เคลือบผิวเหล็กอยู่นั้นซึ่งมีลักษณะแข็งและเปราะจะส่งผลต่อความเที่ยงตรงในการผลิต รวมถึงกระบวนการและค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดสเกลออกไซด์ออก ถ้าไม่ทำการกำจัดให้สเกลที่ผิวเหล็กกล้าไร้สนิมออกก่อน ย่อมทำให้เกิดการเสียหายต่อชิ้นส่วนและความสวยงามของผิวชิ้นงานนั้นๆ กระบวนการอบอ่อนนั้น จึงต้องควบคุมบรรยากาศในเตาอบไม่ให้มีก๊าซออกซิเจน เพราะนอกจากก๊าซออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่บริเวณผิว ทำให้ปริมาณคาร์บอนลดลง (สุจิตรา นุชบงค์, 2554) ซึ่งการหาปัจจัยและตัวแปรที่จะทำให้เกิดสเกลในการอบอ่อนนั้นอาจไม่ใช่เพียงการควบคุมบรรยากาศภายในเตาอบเท่านั้น อาจมีปัจจัยเรื่องอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบ และการเปลี่ยนรูปทรงของชิ้นงานเข้ามามีในการพิจารณาด้วย ปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลสนับสนุนในการเลือกใช้ปัจจัยในการควบคุมหรือวิธีการที่เหมาะสมในการลดสเกลในการอบอ่อนเหล็กกล้าไร้สนิมที่ชัดเจน และแพร่หลายกันมากนักจึงทำการศึกษาวิจัย เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาและผู้ประกอบการหรือผู้ปฏิบัติงานใช้เป็นแบบอย่าง เป็นแนวทางปฏิบัติต่อไป

2.วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดสเกลในการอบอ่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

3.วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 ตัวแปรต้น คือปัจจัยด้านร้อยละการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิในการอบ และการควบคุมบรรยากาศในการอบ

3.1.1.1 การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30

3.1.1.2 อุณหภูมิในการอบ 1,020°C, 1,065°C และ 1,110°C

3.1.1.3 การควบคุมบรรยากาศในการอบ คือ บรรยากาศเตาปกติ ควบคุมบรรยากาศโดยใช้ไนโตรเจน ควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอน

3.1.2 ตัวแปรตาม

3.1.2.1 ร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน

3.2 ชิ้นงานทดสอบ

3.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

3.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.3.2 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

3.3.3 เตาอบอ่อนแรงดันไฟฟ้า

3.3.4 เครื่องรีดลดรูป

3.3.5 วัดอุณหภูมิความร้อนที่อุณหภูมิสูง

3.3.6 เครื่องขัดผิวแบบหยาบและแบบละเอียด

3.3.7 เครื่องเลื่อยตัดอัตโนมัติ

3.3.8 เครื่อง Optical Emission Spectrometer

3.3.9 เครื่องรีดลดขนาด

3.4 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

3.4.1 ศึกษางานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.4.2 ทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

3.4.3 ศึกษาการใช้เครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้

3.5 เตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ผิว 1D (ผ่านการรีดร้อน อบอ่อนและกัดกรด) ขนาดความหนา 6 มม. นำไปปรีดเย็น ให้มีขนาดลดลงร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 จากนั้นนำชิ้นงานมาเลื่อยตัดให้ได้ขนาดตามที่กำหนด กว้าง 25 มม. ยาว 25 มม. จากนั้นล้างทำความสะอาดรบน้ำมันและสิ่งสกปรก

3.6 ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานวิจัย

วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer

3.7 ทำการวัดค่าน้ำหนักชิ้นงานทดลองก่อนการอบ

นำชิ้นงานทดลองที่จะนำไปอบแห้งด้วยเครื่องแห้งดิจิทัล ความละเอียด 0.0001 g. ในสภาวะปิดป้องกันลมหรืออากาศขณะทำการชั่ง ชั่งซ้ำ 3 ครั้ง หากค่าเฉลี่ย

3.8 ทำการอบอ่อนชิ้นงานทดลอง

สุ่มชิ้นงาน ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 อย่างละ 1 ชิ้น เข้าเตาอบไฟฟ้า ขนาด กว้าง 20 ซม. ยาว 23 ซม. สูง 30 ซม. สามารถอบชิ้นงานได้ไม่เกิน $1,500^{\circ}\text{C}$ ด้วยวิธีการอบอ่อนแบบสมบูรณ์ ทดลอง 3 ซ้ำ

3.8.1 อบอ่อนชิ้นงานทดลอง ด้วยบรรยากาศเตาปกติ ที่อุณหภูมิ $1,020^{\circ}\text{C}$, $1,065^{\circ}\text{C}$ และ $1,110^{\circ}\text{C}$

3.8.2 อบอ่อนชิ้นงานทดลอง ควบคุมบรรยากาศโดยใช้ไนโตรเจน ทำการ Vacuum อากาศภายในเตาออก ป้อนก๊าซไนโตรเจน ในอัตรา 14 ลิตร ต่อ นาที ตลอดระยะเวลาอบที่อุณหภูมิ $1,020^{\circ}\text{C}$, $1,065^{\circ}\text{C}$ และ $1,110^{\circ}\text{C}$

3.8.3 อบอ่อนชิ้นงานทดลอง ควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอน ทำการ Vacuum อากาศ

ภายในเตาออก ป้อนก๊าซอาร์กอน ในอัตรา 14 ลิตร ต่อ นาที ตลอดระยะเวลาอบที่อุณหภูมิ $1,020^{\circ}\text{C}$, $1,065^{\circ}\text{C}$, และ $1,110^{\circ}\text{C}$

3.9 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานหลังอบอ่อน

นำชิ้นงานทดลองหลังอบแห้งด้วยเครื่องแห้งดิจิทัล ความละเอียด 0.0001 g. ในสภาวะปิดป้องกันลมหรืออากาศขณะทำการชั่ง ชั่งซ้ำ 3 ครั้ง หากค่าเฉลี่ย

3.10 วัดค่าร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน

หาเปอร์เซ็นต์สเกลที่เพิ่มขึ้น (สุจิตรา บุญบงก์, 2554)

3.11 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติความแปรปรวน

วิเคราะห์ข้อมูล ร้อยละสเกลออกไซด์ต่อน้ำหนักชิ้นงาน 108 ข้อมูลใช้เทคนิค Factorial design ด้วยโปรแกรม MINITAB

4. ผลการวิจัย

4.1 วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

วิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดลอง เปรียบเทียบกับมาตรฐาน AISI แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่ใช้ในการทดลอง

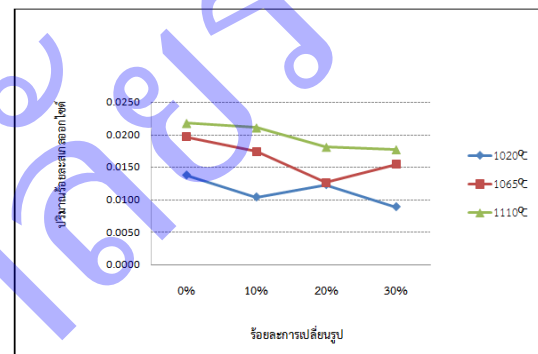
เปอร์เซ็นต์ของธาตุผสมในเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304							
	Cr	Ni	C	Si	P	S	Mn
มาตรฐาน	18.00-	8.00-	0.08	1.00	0.045	0.030	2.00
AISI 304	20.00	10.50	Max.	Max.	Max.	Max.	Max
จากการวิเคราะห์	17.8190	7.9606	0.0709	0.3718	0.0501	0.0010	1.3155
ชิ้นงาน							

จากการตรวจสอบตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี ด้วยเครื่อง Emission spectroscopy ของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 พบว่าธาตุผสมของชิ้นงานมี Cr, Ni ต่ำกว่ามาตรฐานและมี P สูงกว่ามาตรฐาน AISI (Chandler, 1995) เล็กน้อย

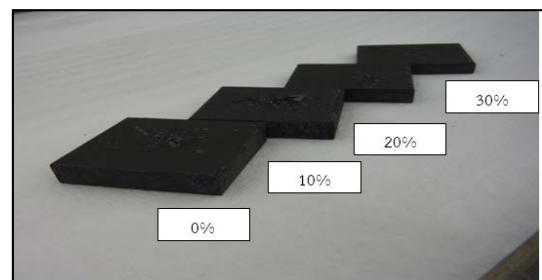
4.2 การเกิดสเกล โดยการวัดปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน (สุจิตรา บุญบงค์, 2554)

$$\text{เปอร์เซ็นต์สเกลที่เพิ่มขึ้น} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ} - \text{น้ำหนักก่อนอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

4.2.1 ชิ้นงานทดลองรีดลดขนาดที่ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 อบบรรยากาศเตापกติที่อุณหภูมิ 1,020°C, 1,065°C และ 1,110°C รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน อบภายใต้บรรยากาศเตापกติ และรูปที่ 2 แสดงลักษณะสเกลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปที่ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 อบภายใต้บรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 1,110°C พบว่า ปริมาณการเกิดสเกลน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.0089 ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 1,020°C และปริมาณการเกิดสเกลมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.0217 ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 อุณหภูมิ 1,110°C แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน อบภายใต้บรรยากาศเตापกติ

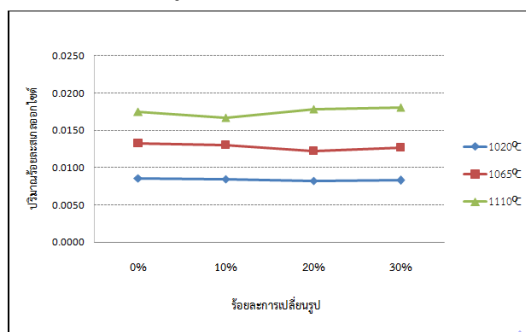


รูปที่ 2 สเกลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 อบภายใต้บรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 1,110°C

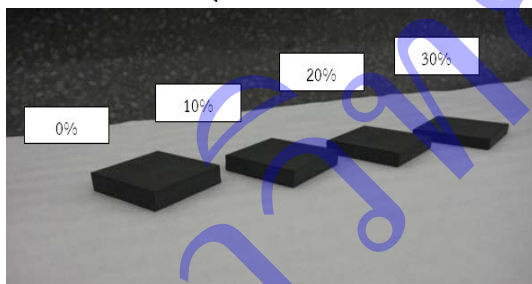
4.2.2 ชิ้นงานทดลองรีดลดขนาดที่ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 อบบรรยากาศโดยใช้ไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 1,020°C, 1,065°C และ 1,110°C รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน อบภายใต้

บรรยากาศเตาปกติ และรูปที่ 4 แสดงลักษณะสเกลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปที่ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ภายใต้มรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 1,110°C

พบว่าปริมาณการเกิดสเกลน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.0082 ที่การเปลี่ยนรูปที่ร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 1,020°C และปริมาณการเกิดสเกลมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.0181 ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 1,110°C ดังแสดงรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน ในการอบที่ควบคุมบรรยากาศโดยใช้ไนโตรเจน

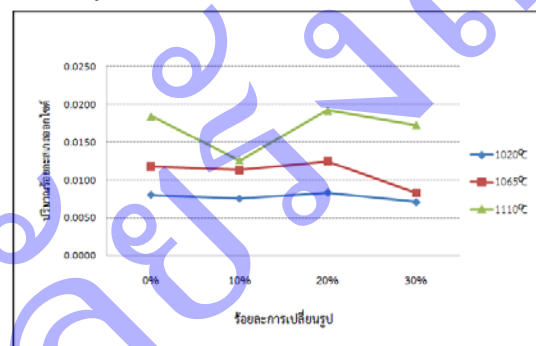


รูปที่ 4 สเกลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ควบคุมบรรยากาศโดยใช้ไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 1,110°C

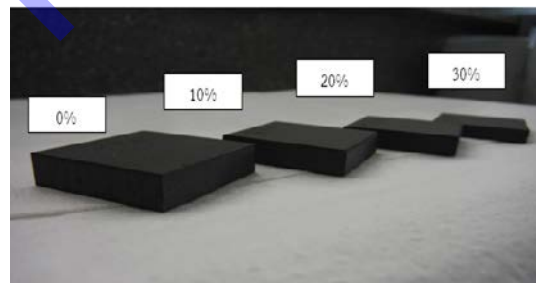
4.2.3 ชิ้นงาน ทดลองรีดลดขนาดที่ ร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอนที่อุณหภูมิ 1,020°C, 1,065°C และ 1,110°C รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน ภายใต้มรรยากาศเตาปกติ และรูปที่ 6 แสดงลักษณะสเกลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปที่ร้อยละ 0 ร้อยละ 10

ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ภายใต้มรรยากาศปกติ ที่อุณหภูมิ 1,110°C

พบว่าปริมาณการเกิดสเกลน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 0.0070 ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 1,020°C และปริมาณการเกิดสเกลมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.0192 ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 1,110°C ดังแสดงรูปที่ 5



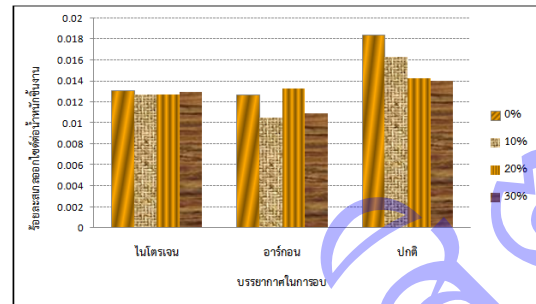
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน ในการอบที่ควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอน



รูปที่ 6 สเกลที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอน ที่อุณหภูมิ 1,110°C

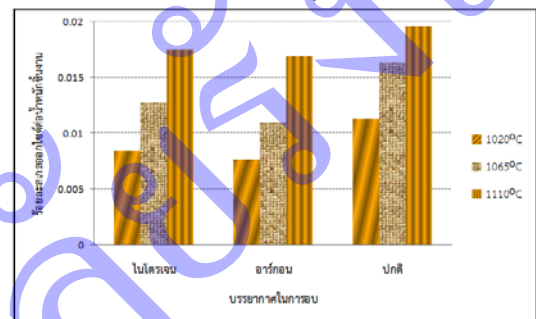
4.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ สเกลผลการเปรียบเทียบปริมาณออกไซด์ที่เกิดขึ้นกับปัจจัยต่างๆ แบ่งออกเป็น 3 ปัจจัยของสมมติฐาน คือ ปัจจัยด้านร้อยละของการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิในการอบอ่อน และการควบคุมบรรยากาศในการอบ โดยการวัดปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน มีผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7-9

4.3.1 ปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน กับร้อยละการเปลี่ยนรูป พบว่าเกิดปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ ชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนรูปร้อยละ 10 ที่ควบคุมบรรยากาศในการอบโดยใช้อาร์กอน และปริมาณร้อยละต่อน้ำหนักชิ้นงานมากที่สุด คือ ชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ที่อบโดยใช้บรรยากาศเตาปกติ ดังแสดงรูปที่ 7



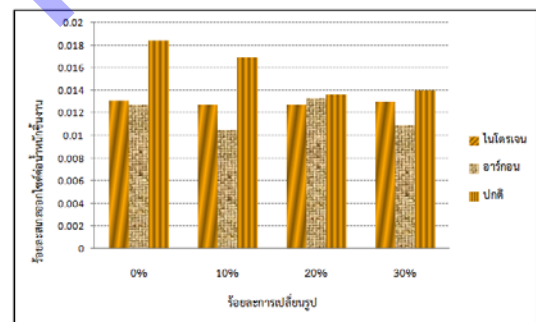
รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานในการอบ-ร้อยละการเปลี่ยนรูป

4.3.2 ปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน กับอุณหภูมิในการอบอ่อน พบว่าเกิดปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ ชิ้นงานที่มีอุณหภูมิในการอบอ่อน 1,020 °C ควบคุมบรรยากาศในการอบโดยใช้อาร์กอน และปริมาณร้อยละต่อน้ำหนักชิ้นงานมากที่สุด คือ ชิ้นงานที่มีอุณหภูมิในการอบอ่อน 1,110 °C อบโดยใช้บรรยากาศเตาปกติ ดังแสดงรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานในการอบ-อุณหภูมิในการอบอ่อน

4.3.3 ปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน กับบรรยากาศในการอบอ่อน พบว่าเกิดปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ บรรยากาศในการอบอ่อนที่ควบคุมบรรยากาศเตาโดยใช้อาร์กอน ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 10 และปริมาณร้อยละต่อน้ำหนักชิ้นงานมากที่สุด คือ บรรยากาศในการอบอ่อนที่อบโดยใช้บรรยากาศเตาปกติ ที่การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 ดังแสดงรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานในการอบ-บรรยากาศในการอบอ่อน

4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ การเกิดสเกลโดยการวัดร้อยละของสเกลต่อน้ำหนัก ดังแสดงตารางที่ 2 จากข้อมูลร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน จำนวน 108 ข้อมูล เป็นการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงจากผลการวิเคราะห์ ANOVA การเกิดสเกลออกไซด์โดยการวัดร้อยละของสเกลต่อ

น้ำหนักรีดขึ้นงานพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดสเกลในการอบอ่อนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 คือ อุณหภูมิ การควบคุมบรรยากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 และร้อยละการเปลี่ยนรูป อย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติที่ .05 มีปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อการเกิดสเกลในการอบอ่อนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 คือ ร้อยละการเปลี่ยนรูปกับการควบคุมบรรยากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA การเกิดสเกลโดยการวัดร้อยละของสเกลออกไซด์ต่อน้ำหนักชิ้นงาน

Source	DF	SEQ SS	ADJ SS	ADJ MS	F	P
ร้อยละการเปลี่ยนรูป	3	0.0000653	0.0000653	0.0000218	3.43	0.021*
อุณหภูมิ	2	0.0014156	0.0014156	0.0007078	111.55	0.000**
การควบคุมบรรยากาศ	2	0.0002894	0.0002894	0.0001447	22.80	0.000**
ร้อยละการเปลี่ยนรูป*	6	0.0000301	0.0000301	0.0000050	0.79	0.581
อุณหภูมิ						
ร้อยละการเปลี่ยนรูป*การควบคุมบรรยากาศ	6	0.0000983	0.0000983	0.0000164	2.58	0.025*
อุณหภูมิ*	4	0.0000210	0.0000210	0.0000052	0.83	0.513
การควบคุมบรรยากาศ						
ร้อยละการเปลี่ยนรูป*	12	0.0000806	0.0000806	0.0000067	1.06	0.408
อุณหภูมิ*						
การควบคุมบรรยากาศ						
ค่าผิดพลาด	72	0.0004569	0.0004569	0.0000063		
ผลรวม	107	0.0024571				

S = 0.00251898 R-Sq = 81.41% R-Sq (adj) = 72.37%

* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

** อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01

4.4.1 พิจารณาปัจจัยหลัก ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อสเกลโดยการวัดร้อยละของสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน ได้แก่ ร้อยละการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิ การควบคุมบรรยากาศ ดังแสดงรูปที่ 10

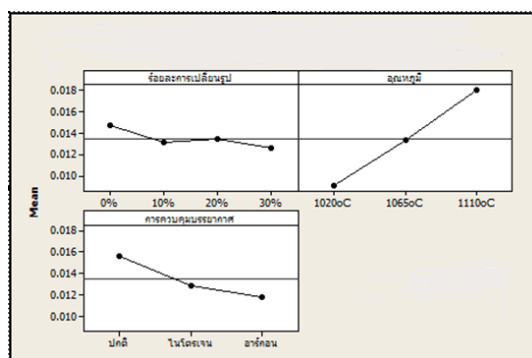
4.4.1.1 ปัจจัยด้านร้อยละการเปลี่ยนรูปพบว่า ร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ ร้อยละการเปลี่ยนรูป 30 และร้อยละสเกลต่อน้ำหนัก

ชิ้นงานมากที่สุด คือ ร้อยละการเปลี่ยนรูป 0 สรุปได้ว่าร้อยละการเปลี่ยนรูปมีผลต่อการเกิดสเกล

4.4.1.2 ปัจจัยด้านอุณหภูมิ พบว่า ร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ อุณหภูมิ 1,020°C และร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานมากที่สุด คือ อุณหภูมิ 1,110°C สรุปได้ว่าอุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดสเกลมากขึ้น

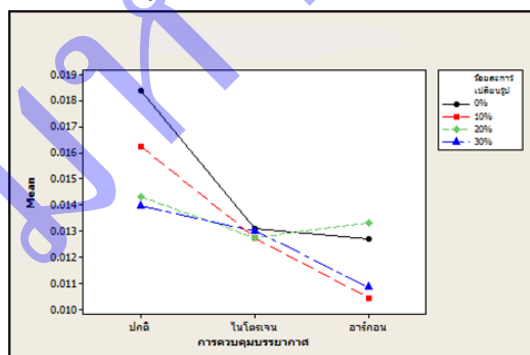
4.4.1.3 ปัจจัยด้านการควบคุมบรรยากาศ

พบว่า ร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ การควบคุมบรรยากาศโดยอาร์กอน และร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานมากที่สุด คือ บรรยากาศเตาปกติ สรุปได้ว่าเมื่อมีการควบคุมบรรยากาศในการอบ สามารถลดการเกิดสเกลลงได้



รูปที่ 10 กราฟแสดงปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการเกิดสเกล โดยการวัดร้อยละของสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน

4.4.2 พิจารณาปัจจัยร่วม ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการเกิดสเกล โดยการวัดร้อยละของสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน คือร้อยละการเปลี่ยนรูปกับการควบคุมบรรยากาศ ดังแสดงรูปที่ 11 พบว่า ร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานน้อยที่สุด คือ การเปลี่ยนรูปร้อยละ 10 ควบคุมบรรยากาศโดยใช้ อาร์กอน และร้อยละสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงานมากที่สุด คือ การเปลี่ยนรูปร้อยละ 0 บรรยากาศเตาปกติ



รูปที่ 11 กราฟแสดงปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการเกิดสเกล โดยการวัดร้อยละของสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน

5. การอภิปรายผล

จากผลการวิจัย การผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อนำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ งาน เครื่องมือกล อุปกรณ์ครัวเรือน หรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ต้องผ่านกรรมวิธีการแปรรูปต่างๆ ซึ่งเมื่อชิ้นส่วนทางวิศวกรรมมีความต้องการให้สามารถแปรรูปให้มีความเที่ยงตรงและมีความละเอียดสูงมากนั้น ปริมาณสเกลที่เคลือบผิวที่น้อยลงหลังผ่านการอบอ่อนย่อมช่วยลดเวลาในการกำจัดสเกลลงด้วย และคงขนาดชิ้นงานที่ให้มีขนาดใกล้เคียงกันระหว่างก่อนอบ-หลังอบภายหลังที่กำจัดสเกลออกแล้ว พิจารณาปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อกรรมวิธีการอบอ่อน โดยมีวิธีพิจารณาดังนี้

5.1 ผลการวัดปริมาณสเกล โดยการวัดร้อยละของสเกลต่อน้ำหนักชิ้นงาน

พบว่า การเปลี่ยนรูปร้อยละ 30 อุณหภูมิ 1,020°C ที่ควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอน สามารถควบคุมการเกิดสเกลได้ดีที่สุด ทางด้านร้อยละการเปลี่ยนรูปมีผลต่อการเกิดสเกล แต่อัตราการเกิดสเกลเกิดขึ้นในปริมาณที่ไม่แน่นอน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการรีดเย็นส่งผลต่อการเกิดสเกล แต่เปอร์เซ็นต์การรีดเย็นลดขนาดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้เกิดสเกลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ A. Visnapuu, (1994) ด้านอุณหภูมิพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดสเกลของเหล็กกล้าไร้สนิม สอดคล้องกับงานวิจัยของ H.J. Davidson, (1957) เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชัน สอดคล้องกับ N. Birks, (2006) ด้านการควบคุมบรรยากาศ พบว่าการควบคุมบรรยากาศโดยใช้อาร์กอนสามารถควบคุมการเกิดสเกลได้ดีที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นก๊าซเฉื่อยที่มีคุณสมบัติแก๊สปกคลุมป้องกันการทำปฏิกิริยากับอากาศของเคมีธาตุ หรือชิ้นงาน ป้องกันสิ่งสกปรก

ความชื้นในอากาศ และทำให้ผิวชิ้นงานในสภาวะ
เป็นไปตามที่ Chandler, (1995) แนะนำไว้

5.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวัดปริมาณ
ร้อยละสัดส่วนสเกลต่อหน้าผกชิ้นงาน มีผลการ
วิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นผลกระทบหลัก ที่ส่งผลต่อการ
เกิดสเกลในการอบอ่อนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304
คือ อุณหภูมิ การควบคุมบรรยากาศ อย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติที่ .01 และร้อยละการเปลี่ยนรูป อย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ .05 จากการทดลองพบว่า ร้อยละ
การเปลี่ยนรูป 30 สามารถควบคุมการเกิดสเกลได้ดี
ที่สุด ที่อุณหภูมิ 1,020°C สามารถควบคุมการเกิดสเกล
ได้ดีที่สุด และการควบคุมบรรยากาศในการอบโดยใช้
อาร์กอน สามารถควบคุมการเกิดสเกลได้ดีที่สุด ด้าน
ร้อยละการเปลี่ยนรูปมีผลต่อการเกิดสเกล สอดคล้อง
กับการศึกษาของ A. Visnapuu, (1994) ที่ทดลองรีดเย็น
ลดขนาดชิ้นงานทดลอง Type 304 SS Coupon จากนั้น
นำไปอบและวัดความหนาของสเกลออกไซด์ พบว่า
เปอร์เซ็นต์การรีดเย็นลดขนาดชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นไม่
ส่งผลให้เกิดสเกลเพิ่มขึ้นตาม แต่มีการเกิดปริมาณของ
ชิ้นสเกลที่ไม่แน่นอน ด้านอุณหภูมิในการอบอ่อนที่
เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดสเกลเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่ง
สอดคล้องกับงานวิจัยของ H.J. Davidson, (1957) ที่
ศึกษาว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดสเกลของเหล็กกล้าไร้
สนิม และสอดคล้องกับ N. Birks, (2006) ที่ศึกษาว่า
เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันได้
ดีขึ้น และด้านการควบคุมบรรยากาศในการอบมีผลต่อ
ปริมาณการเกิดสเกล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ
ปัทมา แนวกันษา, (2553) ที่ทดลองอบเหล็กกล้าไร้
สนิม AISI 304 โดยการควบคุมบรรยากาศแล้ว
ทดลองปล่อยออกซิเจน พบการเกิดสเกลที่มากขึ้นตาม
ปริมาณ ออกซิเจน ที่เพิ่มขึ้น ตาม การทดลอง
นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบร่วม

มีปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อการเกิดสเกลในการอบอ่อน
เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 คือ ร้อยละการเปลี่ยนรูป
กับการควบคุมบรรยากาศ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

6. บทสรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดสเกลในการ
อบอ่อนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ซึ่งจำลองมาจาก
กระบวนการรีดลดขนาดเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อ
ต้องการให้คุณสมบัติเหมือนเดิมดังก่อนการรีดเย็น จึง
นำมาอบอ่อนเพื่อคืนคุณสมบัติ แต่ก็ต้องแลกกับการ
เกิดสเกลที่อุณหภูมิสูง ภายหลังการทดลองพบว่า ร้อย
ละการเปลี่ยนรูป อุณหภูมิการควบคุมบรรยากาศใน
การอบ มีผลต่อการเกิดสเกล โดยร้อยละการเปลี่ยนรูป
30 อุณหภูมิที่ 1,020°C และการควบคุมบรรยากาศเตา
ในการอบโดยใช้อาร์กอน สามารถควบคุมการเกิด
สเกลได้ดีที่สุด มีปริมาณการเกิดสเกลน้อยที่สุด คือ
ร้อยละ 0.0070 ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถ
นำไปใช้ค้นคว้าต่อหรือนำไปประยุกต์ใช้ในการ
ปฏิบัติงานจริง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจาก
ได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์คมสัน
จิระภัทรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัย
ขอขอบพระคุณที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านการวิชาการ
และคำแนะนำในการทำการทดลอง ตลอดจนตรวจ
แก้ไขงานวิจัยมาโดยตลอด คณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะพลังงาน
สิ่งแวดล้อมและวัสดุ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้
ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องมือและสถานที่
ทำวิจัยที่สุด ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อชอบ คุณแม่
วาสนา พรหมบุตร คุณพ่อลำเนา คุณแม่กิมหวล เสริม

ผล ปัญจพร เสริมผล ชิดชนก พรหมบุตร ผู้เป็นที่รัก
ผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง รวมถึง
ญาติพี่น้องพรหมบุตร เสริมผล ที่ให้การสนับสนุน
เสมอมา ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ
โอกาสนี้

8.เอกสารอ้างอิง

คมสัน จิระภัทรศิลป์.(2548). “ความไม่สมบูรณ์ใน
ผลึก การเปลี่ยนรูป งานเย็น งานร้อน และ
การเปลี่ยนสภาพ”, Engineering Metallurgy,
หน้า 41-91, สืบค้น 17 สิงหาคม 2556

ปัทมา แนวกันขา.(2553).ผลของอุณหภูมิเวลาและ
ออกซิเจนของการอบอ่อนต่อการเกิดสเกล
ออกไซด์ทุติยภูมิและลักษณะการกัดด้วย
กรดของเหล็กกล้าไร้ สนิม AISI 304,
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรพาส วังศ์ปัญญา.(2551).“การอบชุบความร้อนใน
เหล็ก”, เอกสารประกอบการเรียนวิชา
431203 Physical Metallurgy II สาขาวิชา
วิศวกรรมโลหการ ภาควิชาที่ 2/2551,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, หน้า 1-2

สุจิตรา บุญบงศ์.(2554). การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิด
สเกลในการอบอ่อนเหล็กกล้า AISI 4140,
วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
หน้าบทนำ

A. Visnapuu, J.S. Volosin, and R.B. Schluter.(1994).
“ Annealing Study of Stainless Steel to
Conserve Critical Metal” , UNITED

STATES DEPARTMENT OF THE
INTERIOR

Chandler Harry. (1995) . Heat Treater’ s Guide
Practices and Procedures for Irons and
Steels, 2nd Edition, ASM
INTERNATIONAL, The Materials
Information Society

H.J. Davidson and J.B. Lindquist.(1957). Stainless
steel, p.483-446

N. Birks, G. H. Meier, and F. S. Pettit. (2006) .
Introduction to the high temperature
oxidation of metal, 2nd. ed. Cambridge,
united Kingdom, p.115-121