

การศึกษาความล้าเนื่องจากสภาพผิวของโลหะ

The Investigated Fatigue due to Surfaces Condition of Metallic Specimens

สุรัตน์ ดีรอด และ วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

กรุงเทพฯ 10160. โทรศัพท์ 02-8074500-27 ต่อ 301, โทรสาร 02-8074528-30, Email: veerapong@sau.ac.th

Surat Deerod and Veerapong Kanchanawongkul

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University

Bangkok, 10160. Tel: 02-8074500-27, Fax: 02-8074528-30, E-mail address: veerapong@sau.ac.th

บทคัดย่อ

จากกลไกความล้าเนื่องจากความเค้นผสม โดยกำหนดการทดสอบแบบ Wohler Test ที่สภาพผิวของโลหะต่างกัน 4 แบบ คือ สภาพผิวการขัดมัน การชุบสังกะสี และการอบชุบสำหรับตัวอย่างทดสอบโลหะกลุ่มเหล็ก (SS400, S45C และ SCM440) และ สภาพผิวการตัดกลึงสำหรับตัวอย่างทดสอบโลหะกลุ่ม อะลูมิเนียม (ทองเหลือง อลูมิเนียม และทองแดง) ผลจากการศึกษาพบว่า ค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุ มีความสอดคล้องกับผลของค่าวัฏจักร (n) ความเสียหาย โลหะกลุ่มเหล็กสภาพผิวการขัดมันและการชุบสังกะสี ที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 0.5 ส่วนมากค่าวัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายต่ำกว่าที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 1.0 และ 2.0 ยกเว้นสภาพผิวการอบชุบ และเมื่อเทียบกับสภาพผิวการขัดมันเป็นเกณฑ์ สภาพผิวการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายเพิ่มขึ้น ขณะที่สภาพผิวการชุบสังกะสีมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง และค่าตัวประกอบของผิว (k_a) สภาพผิวการขัดมันกับการชุบสังกะสีเทียบค่าใกล้เคียงกันและสภาพผิวการอบชุบค่าเพิ่มขึ้น สำหรับโลหะกลุ่มอะลูมิเนียม ส่วนมากค่าวัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายต่ำที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 1.0 และ 2.0 มากกว่าที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 0.5 และเมื่อเทียบระหว่างโลหะกลุ่มอะลูมิเนียมกับทองแดง และสำหรับค่าตัวประกอบของผิว (k_a) นี้ ความเรียบผิวจะมีอิทธิพลกับความทนทานต่อความเสียหายโดยเป็นค่าเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับสภาพผิวและอาจไม่แปรผันตามการการตัดที่เปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ: กลไกความล้า โลหะกลุ่มเหล็กและอะลูมิเนียม ตัวอย่างทดสอบ วัฏจักรความเสียหาย ตัวประกอบของผิว

Abstract

The fatigue mechanism due to combined stresses, testing type of the Wohler Test was determined as there were four different types of surfaces condition: polished surface, covered zinc surface, flame hardening surface for the metallic specimens of ferrous group were of SS400, S45C and SCM440, respectively. The metallic specimens of non-ferrous group for brass, aluminum and copper were machined. The study of results were found that the yield strength were related to failure cycle (n) for every the metallic specimens. Ferrous group for polished and covered zinc surface, the most failure cycles as fillet radii Ra 0.5 was decreased of fillet radii Ra 1.0 and 2.0 with without flame hardening surface. The results were compared to limitary polished surface, which was indicated that for flame hardening surface was conducted of increasing failure cycles (n) as failure cycle (n) was decreased of covered zinc surface. The surface factors (k_a) were closely polished with covered zinc surface and increased flame hardening surface. Non-ferrous group, the most failure cycle (n) as fillet radii Ra 1.0 and 2.0 was decreased of fillet radii Ra 0.5. Compared non-ferrous group were found that both failure cycles (n) and surface factors (k_a) of more brass than aluminum and copper. The surface factors

(k_a), the smooth surface affected to failure endurance, which is specific values upon on surfaces condition and not varied according to variable bending loads.

Keywords: fatigue mechanism, ferrous and non-ferrous group, specimen, failure cycle, surface factor

1. บทนำ

ความเสียหายจากความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีด้วยกันหลายชนิด และทฤษฎีหนึ่งที่น่าสนใจในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โดยทั่วไปพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในสภาวะสถิตและค่าความปลอดภัยเป็นไปตามลักษณะของภาระที่กระทำอย่างไรก็ตามในความเป็นจริงสภาวะความเสียหายเนื่องจากความล้ายังเป็นสาเหตุอีกอันหนึ่งของความเสียหายที่ปรากฏเด่นชัด ซึ่งพบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นนี้จะไม่คงที่ภายใต้ภาระกระทำแบบซ้ำหลาย ๆ วัฏจักร และมีค่าต่ำกว่าความต้านทานที่จุดครากของวัสดุจากกลไกความล้าดังกล่าวจึงมีบทบาทต่อการออกแบบเนื่องจากขณะชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีการส่งกำลังจากการหมุนของเพลามักเกิดความเค้นไม่คงที่โดยเฉพาะบนผิวเพล่าที่ถูกกระทำด้วยภาระการค้ำทำให้เกิดความเค้นดึงและความเค้นอัดเปลี่ยนแปลง ขณะเดียวกันเพล่าอาจอยู่ภายใต้ภาระตามแนวแกนด้วยการส่งกำลังผ่านชิ้นส่วนทางกล เช่น ล้อสายพาน และล้อเฟือง เป็นต้น โดยความเสียหายของรอยแตกเพล่าบริเวณภายนอกมีลักษณะเรียบและภายในมีลักษณะหยาบคล้ายกับรอยแตกของวัสดุเปราะ จากภาระที่กล่าวเป็นไปได้อาจจะเกิดความเค้นดัดและความเค้นตามแนวแกนพร้อม ๆ กัน ดังนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับการออกแบบ นั่นคือ ชนิดของวัสดุ สภาพผิวของวัสดุ ภาระที่กระทำ และวัฏจักรการหมุนของวัสดุ สำหรับวัสดุที่อยู่ภายใต้กลไกความล้านี้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วย ตัวประกอบของผิวตัวประกอบของขนาด ตัวประกอบของแรง และตัวประกอบของความเค้นหนาแน่น [3]

โดยทั่วไป การพิจารณาความล้าจะอ้างอิงพฤติกรรมของวัสดุภายใต้การกระทำของความเค้นหรือความเครียดแบบซ้ำ ๆ กัน [9] และระบบที่ใช้เพื่อการออกแบบความล้าก็คือ ภาระที่เป็นวัฏจักรตามช่วงคลื่น (amplitude cyclic loading) โดยภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระตามช่วงคลื่นจะพิจารณาจากความเค้นที่เกิดขึ้น สำหรับการทดสอบความล้าที่สามารถกระทำได้มีอยู่ 5 แบบ คือ (1) Cantilever rotating bending (2) Rotating pure bending (3) Bending cantilever eccentric crank (4) Axial loading และ (5) Combined torsion and bending ตามลำดับ และตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานกำหนดมีด้วยกัน 10 ลักษณะ ทั้งหน้าตัดกลมและแบน [8]

เนื่องจากตัวประกอบของผิวเป็นส่วนหนึ่งการพิจารณากลไกความล้าและประกอบกับข้อมูลที่ปรากฏจากการวิจัยอื่น ๆ อาจยังไม่ครอบคลุมตามสภาพผิวของวัสดุ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความล้าตามสภาพผิวจากโลหะ 2 กลุ่ม คือ เหล็ก และมิใช่เหล็กที่มี

สภาพผิวต่างกัน โดยการทดสอบกำหนดเป็นแบบแรก [8] หรือที่เรียกว่า Wohler Test และมุ่งประเด็นถึงผลของภาระการค้ำที่มีต่อค่าตัวประกอบของผิวและวัฏจักรความเสียหายเนื่องจากความล้าของโลหะ

2. สมการทางทฤษฎี

กรณีการรวมความเค้นหลายชนิด และใช้ทฤษฎีความเสียหายเป็นรากฐานการคำนวณสามารถวิเคราะห์ผลได้จากสมการ

$$\sigma_{eq} = \sigma_n / N = \sigma_y \quad (1)$$

$$\text{และ } \tau_{eq} = \tau_n / N = \tau_y \quad (2)$$

โดยที่ ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกเคตส์ดริล τ_y เท่ากับ $(0.577)\sigma_y$ และ τ_n เท่ากับ $(0.577)\sigma_n$ ดังนั้นความต้านทานแรงทนทานจัดรูปสมการเป็น

$$\tau_n = (0.577) k_a k_b k_c \sigma_n'' \quad (3)$$

$$\text{และ } \sigma_n = k_a k_b k_c \sigma_n'' \quad (4)$$

ในการทดสอบแบบแรก (Cantilever rotating bending) ขอบเขตวัฏจักร n เท่ากับ 10^7 ถึง 10^8 ครั้ง สำหรับวัสดุที่เป็นเหล็กกล้า ทองแดงผสม และอลูมิเนียมผสม อัตราส่วนความล้า $\sigma_n' / \sigma_u = 0.35, 0.5$ และ 0.6 ตามลำดับ เพื่อให้ครอบคลุมวัสดุทั้งหมดอัตราส่วนดังกล่าวอาจอยู่ในช่วงประมาณ $0.25 - 0.65$ [6] และสำหรับเหล็กกล้า เมื่อวัฏจักร n เท่ากับ 10^3 ครั้ง แต่น้อยกว่า 1 ล้านครั้ง σ_n' เท่ากับ $0.9\sigma_u$ และถ้าวัฏจักร n เท่ากับ 1 ล้านครั้ง σ_n' เท่ากับ $0.5\sigma_u$ จากสมการ (1) และ (2) ความเค้นสมมูลจัดรูปสมการใหม่เป็น

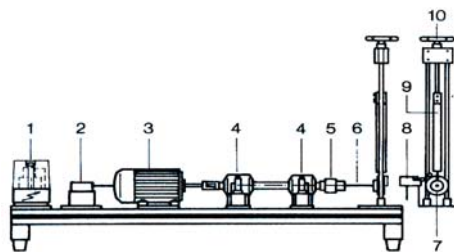
$$\sigma_{eq} = k_a k_b k_c \sigma_n'' / N = \sigma_y \quad (5)$$

$$\tau_{eq} = (0.577) k_a k_b k_c \sigma_n'' / N = \tau_y \quad (6)$$

โดยที่ σ_{eq} = ความเค้นสมมูล
 σ_n = ความต้านทานแรงดึงทนทาน
 σ_y = ความเค้นแรงดึงคราก

τ_{eq}	= ความเค้นสมมูล
τ_n	= ความต้านทานแรงเฉือนทนทาน
τ_y	= ความเค้นเฉือนคราก
σ_u	= ความเค้นแรงดึงสูงสุด
k_a	= ตัวประกอบของผิว
k_b	= ตัวประกอบของขนาด, 0.85
k_c	= ตัวประกอบของภาระ, 1.0
n	= วัฏจักร
N	= ค่าความปลอดภัย

3. อุปกรณ์ และวิธีการ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบความล้าและการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบความล้าและการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย 10 ส่วน คือ (1) สวิตช์ควบคุมทางไฟฟ้า (2) อุปกรณ์ไฟฟ้าพันรอบ (3) มอเตอร์ไฟฟ้า (4) รองเพล (5) หัวจับตัวอย่างทดสอบ (6) ตัวอย่างทดสอบ (7) เบ้าสวมรับตัวอย่างทดสอบ (8) ไมโครสวิตช์ (9) สปริงปรับการรับภาระ และ (10) มือหมุนปรับเพลเกลิยของสปริงรับภาระ ตามลำดับ

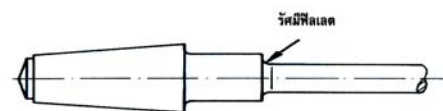
การทดสอบเลือกตัวอย่างโลหะ 6 ชนิด จากกลุ่มเหล็ก ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอน SS400 (%C = 0.00 - 0.30) เหล็กกล้าคาร์บอน S45C และเหล็กกล้าผสม SCM440 (%C = 0.31 - 0.70) และกลุ่มมิใช่เหล็ก ได้แก่ ทองเหลือง อลูมิเนียม และทองแดง ตามลำดับ [5] การเก็บข้อมูลเบื้องต้นได้จัดเตรียมขนาดตัวอย่างทดสอบแรงดึงตามเกณฑ์ระบุ มอก. 244 เล่ม 4 ถึง 7 - 2525 และรับรองผลทดสอบตามการระบุของการประปานครหลวง กองมาตรฐานวิศวกรรม หมายเลขทดสอบ 1316 ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าภาระและความเค้นแรงดึงของวัสดุตัวอย่างโลหะ

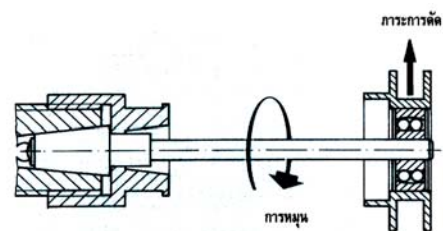
วัสดุ	ภาระแรงดึง (kg _f)		ความเค้นแรงดึง (N/mm ²)	
	คราก	สูงสุด	σ_y	σ_u

SS400	6709	7807	519.93	608.22
S45C	9091	11631	702.32	902.52
SCM440	17653	20640	1363.59	1589.22
Brass	4676	5697	362.97	441.45
Aluminum	2707	3302	206.01	255.06
Copper	2314	3571	176.58	274.68

สำหรับการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบความล้าเป็นไปตามการระบุ TM 211 (Fatigue Testing Machine) แสดงดังรูปที่ 2 การทดสอบนี้กำหนดสภาพผิวของเหล็กกล้าผ่านการขัดมัน การชุบสังกะสี และการอบชุบเฉพาะผิวด้วยเปลวไฟ [4] และสภาพผิวของทองเหลือง อลูมิเนียม และทองแดงผ่านการตัดกลิ้ง



รูปที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางทางขวา 8 mm ความยาวรวม 160 mm และรัศมีฟิลเลต R_a เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 2.0 mm



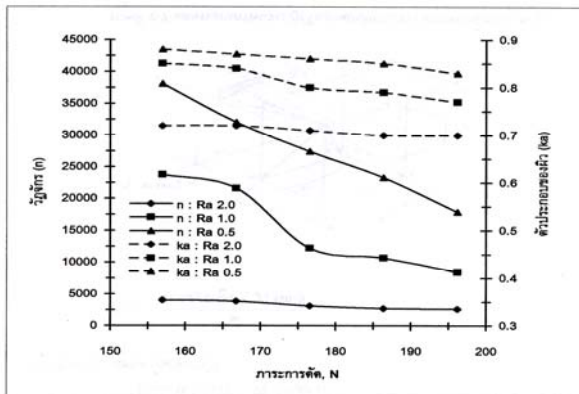
รูปที่ 3 การปรับภาระการตัดและการหมุนของตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 พิจารณาที่เหล็กกล้าผ่านการอบชุบจากการปรับค่าภาระการตัดต่ำสุดไปยังสูงสุด 16, 17, 18, 19 และ 20 kg_f แต่ละครั้งการทดสอบต่อ 5 ตัวอย่าง และอัตราการหมุนทดสอบจากเพลามอเตอร์ 3,000 rpm การทดสอบจะทำการปรับภาระการตัดและบันทึกค่าวัฏจักร (n) ความเสียหายของตัวอย่างโลหะทั้ง 6 ชนิด และวิเคราะห์ผลการคำนวณค่าตัวประกอบของผิว (k_s) ตามสมการ (5) และ (6) โดยการแสดงผลนี้จะทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างภาระการตัดกับค่าตัวประกอบของผิว (k_s) และวัฏจักร (n) ที่สภาพผิวต่างกัน

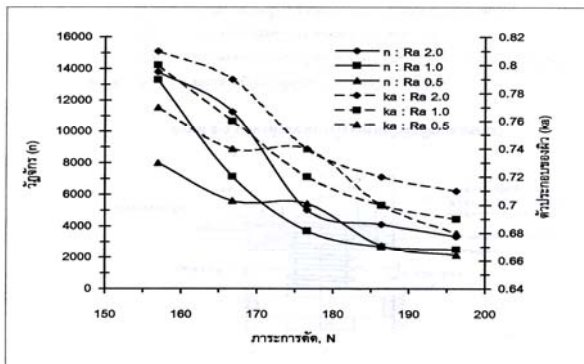
4. ผลและการอภิปราย

4.1 ตัวประกอบของผิวและวัฏจักรความเสียหายจากผลภาระ

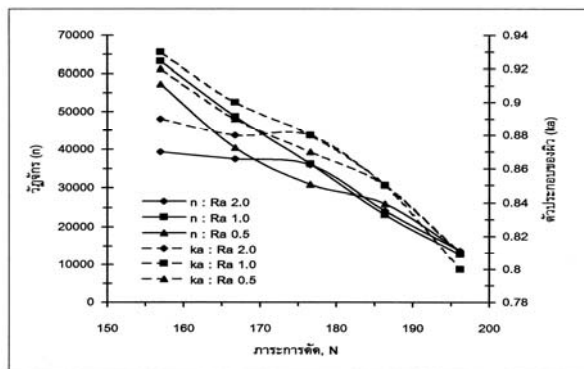
การตัด



(a) สภาพผิวขัดมัน



(b) สภาพผิวหยาบสังกะสี



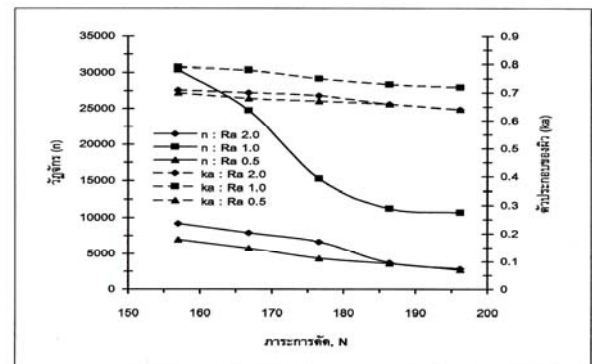
(c) สภาพผิวการรอบรูป

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระการตัดกับตัวประกอบของผิว (k_a) และอัตราการความเสียหาย (n) สำหรับวัสดุเหล็ก SS400

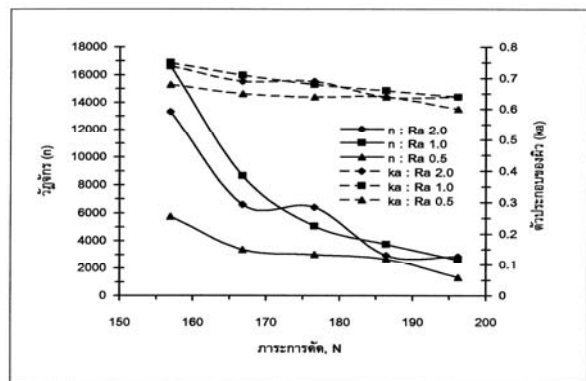
รูปที่ 4 (a) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_a = 0.88 - 0.83$ และ Ra 1.0: $k_a = 0.85 - 0.77$ ขณะที่ Ra 2.0: $k_a = 0.72 - 0.70$ มีค่าต่ำที่สุดและลงที่ ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $n = 38,117 - 17,893$ รอบ และ Ra 1.0: $n = 23,731 - 8,456$ รอบ ขณะที่ Ra 2.0: $n = 4,029 - 2,642$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อยมาก

รูปที่ 4 (b) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_a = 0.77 - 0.68$, Ra 1.0: $k_a = 0.80 - 0.69$ และ Ra 2.0: $k_a = 0.81 - 0.71$ ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 13,308 - 2,501$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 13,816 - 3,353$ รอบ ขณะที่ Ra 0.5: $n = 7,992 - 2,136$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย

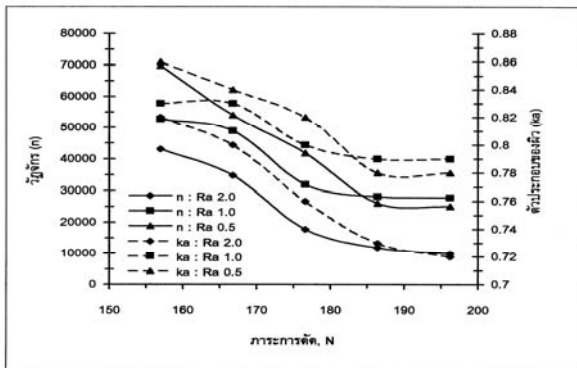
รูปที่ 4 (c) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_a = 0.92 - 0.81$, Ra 1.0: $k_a = 0.93 - 0.80$ และ Ra 2.0: $k_a = 0.89 - 0.81$ ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $n = 57,312 - 13,725$ รอบ และ Ra 1.0: $n = 63,231 - 12,706$ รอบ ขณะที่ Ra 2.0: $n = 39,375 - 13,763$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย



(a) สภาพผิวขัดมัน



(b) สภาพผิวขรุขระสังกะสี



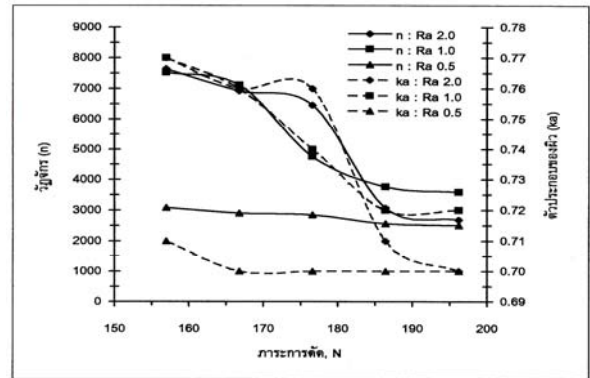
(c) สภาพผิวการรอบรูป

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการกัดกร่อนกับตัวประกอบของผิว (k_u) และวัฏจักรความเสียหาย (n) สำหรับวัสดุเหล็ก S45C

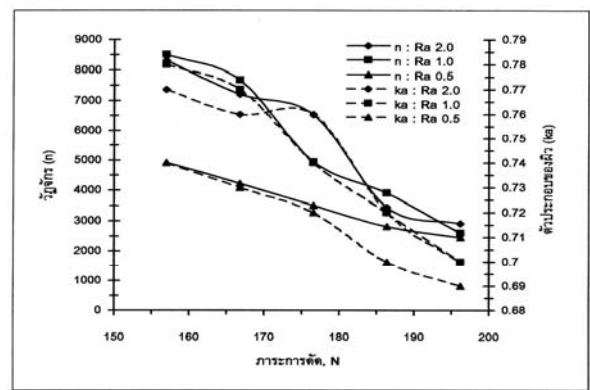
รูปที่ 5 (a) ค่าตัวประกอบของผิว (k_u) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_u = 0.70 - 0.64$ และ Ra 2.0: $k_u = 0.71 - 0.64$ ขณะที่ Ra 1.0: $k_u = 0.79 - 0.72$ มีค่ามากที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 30,416 - 10,700$ รอบ และ Ra 0.5: $n = 6,981 - 2,742$ รอบ กับ Ra 2.0: $n = 9,187 - 2,874$ รอบ ลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน

รูปที่ 5 (b) ค่าตัวประกอบของผิว (k_u) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $k_u = 0.75 - 0.64$ และ Ra 2.0: $k_u = 0.74 - 0.64$ ขณะที่ Ra 0.5: $k_u = 0.68 - 0.60$ มีค่าต่ำที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมากและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 16,636 - 2,622$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 13,313 - 2,866$ รอบ ขณะที่ Ra 0.5: $n = 5,758 - 1,324$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย

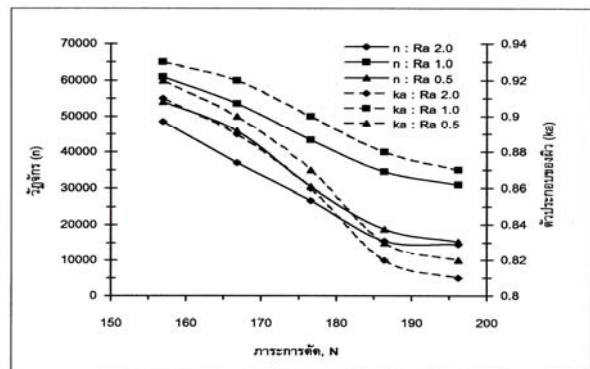
รูปที่ 5 (c) ค่าตัวประกอบของผิว (k_u) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_u = 0.86 - 0.78$, Ra 1.0: $k_u = 0.83 - 0.79$ ขณะที่ Ra 2.0: $k_u = 0.82 - 0.72$ มีค่าต่ำที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $n = 69,820 - 25,081$ รอบ และ Ra 1.0: $n = 52,735 - 27,819$ รอบ ขณะที่ Ra 2.0: $n = 43,116 - 9,900$ รอบ มีค่าต่ำที่สุด



(a) สภาพผิวขัดมัน



(b) สภาพผิวขรุขระสังกะสี



(c) สภาพผิวการรอบรูป

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการกัดกร่อนกับตัวประกอบของผิว (k_u) และวัฏจักรความเสียหาย (n) สำหรับวัสดุเหล็ก SCM440

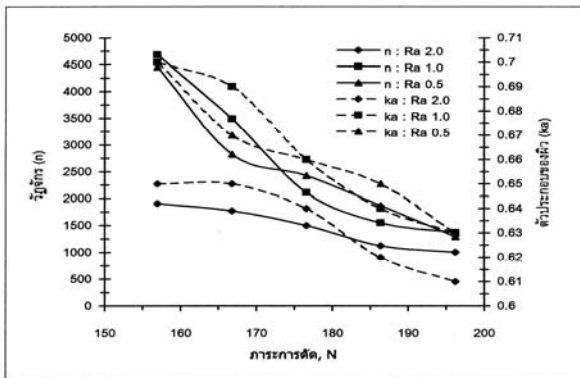
รูปที่ 6 (a) ค่าตัวประกอบของผิว (k_u) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $k_u = 0.77 - 0.72$ และ Ra 2.0: $k_u = 0.77 - 0.70$ ขณะที่ Ra 0.5: $k_u = 0.71 - 0.70$ มีค่าต่ำที่สุดและคงที่ ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก โดยที่

รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 7,528 - 3,584$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 7,642 - 2,691$ รอบ ขณะที่ Ra 0.5: $n = 3,086 - 2,514$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย

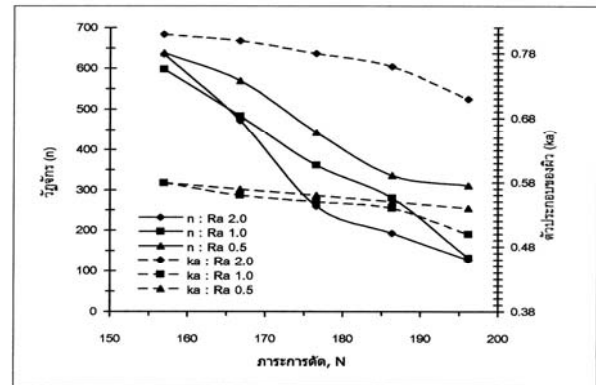
รูปที่ 6 (b) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $k_a = 0.78 - 0.70$ และ Ra 2.0: $k_a = 0.77 - 0.70$ ขณะที่ Ra 0.5: $k_a = 0.74 - 0.69$ มีค่าต่ำที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 8,515 - 2,604$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 8,323 - 2,913$ รอบ ขณะที่ Ra 0.5: $n = 4,915 - 2,457$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย

รูปที่ 6 (c) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_a = 0.92 - 0.82$, Ra 1.0: $k_a = 0.93 - 0.87$ และ Ra 2.0: $k_a = 0.91 - 0.81$ ตามลำดับ ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $n = 54,106 - 15,307$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 48,462 - 14,608$ รอบ ขณะที่ Ra 1.0: $n = 61,024 - 30,925$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย

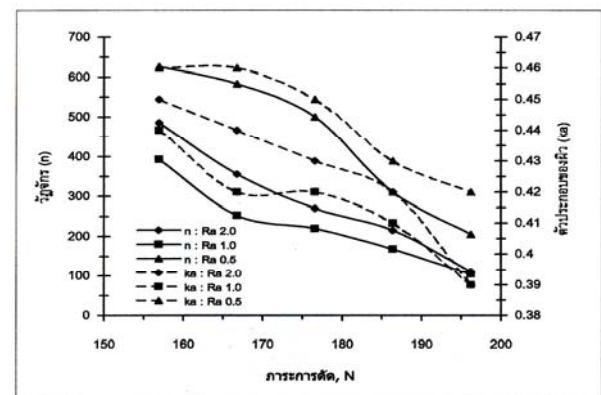
จากรูปที่ 4 ถึง 6 แสดงผลการทดสอบความล้า และการคำนวณตัวประกอบของผิว (k_a) ตามสมการ (5) และ (6) พบว่าเมื่อปรับภาระการตัดเพิ่มขึ้นจากน้อยไปมาก ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) และวัฏจักรความเสียหาย (n) ทุกสภาพผิวของวัสดุเหล็ก SS400, S45C และ SCM440 ตามลำดับ ผลที่ได้ส่วนมากมีแนวโน้มลดลงตามกันและคงที่บางส่วน



(a) วัสดุทองเหลือง



(b) วัสดุอลูมิเนียม



(c) วัสดุทองแดง

รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระการตัดกับตัวประกอบของผิว (k_a) และวัฏจักรความเสียหาย (n) สภาพผิวตัดกลิ้ง

รูปที่ 7 (a) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_a = 0.70 - 0.63$ และ Ra 1.0: $k_a = 0.70 - 0.63$ ขณะที่ Ra 2.0: $k_a = 0.65 - 0.61$ มีค่าต่ำที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $n = 4,456 - 1,294$ รอบ และ Ra 1.0: $n = 4,682 - 1,370$ รอบ ขณะที่ Ra 2.0: $n = 1,908 - 1,006$ รอบ มีค่าต่ำที่สุด

รูปที่ 7 (b) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลงน้อยมากและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5: $k_a = 0.58 - 0.54$ และ Ra 1.0: $k_a = 0.58 - 0.50$ ขณะที่ Ra 2.0: $k_a = 0.81 - 0.71$ มีค่ามากที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกัน โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 598 - 132$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 635 - 127$ รอบ ขณะที่ Ra 0.5: $n = 638 - 311$ รอบ ลดลงค่อนข้างน้อย

รูปที่ 7 (c) ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ทางขวา มีแนวโน้มลดลง และเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $k_a = 0.44 - 0.39$ และ Ra 2.0: $k_a = 0.45 - 0.39$ ขณะที่ Ra 0.5: $k_a = 0.46 - 0.42$ มีค่ามากที่สุด ส่วนค่าวัฏจักร (n) ทางซ้าย มีแนวโน้มลดลงและเทียบค่าใกล้เคียงกันมาก โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0: $n = 393 - 105$ รอบ และ Ra 2.0: $n = 486 - 112$ รอบ ขณะที่ Ra 0.5: $n = 626 - 205$ รอบ มีค่ามากที่สุด

จากรูปที่ 7 (a, b และ c) แสดงผลการทดสอบความล้า และการคำนวณค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ตามสมการ (5) และ (6) พบว่า เมื่อปรับภาระการค้ำเพิ่มจากน้อยไปมาก ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) และวัฏจักรความเสียหาย (n) ผลที่ได้ส่วนมากมีแนวโน้มลดลงตามกัน

4.2 อิทธิพลของรัศมีฟิลเลตและสภาพผิวจากผลความล้า

จากผลการทดสอบโลหะกลุ่มเหล็กดังรูปที่ 4 ถึง 6 (a, b และ c) พบว่า การเพิ่มภาระการค้ำมีผลต่อค่าตัวประกอบของผิว (k_a) และวัฏจักร (n) โดยคุณลักษณะของเส้นกราฟที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5, 1.0 และ 2.0 mm ตามลำดับ ทั้ง 3 สภาพผิว มีแนวโน้มลดลงและสอดคล้องทางเดียวกัน

จากรูปที่ 4 ที่รัศมีฟิลเลต Ra 2.0 ของการขัดมันและการอบชุบกับที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5 ของการชุบสังกะสีมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง และเมื่อเทียบกับผลของการขัดมันเป็นเกณฑ์พิจารณาพบว่า ผลของการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ขณะที่ผลของการชุบสังกะสีมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง สำหรับค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ผลของการขัดมันกับการชุบสังกะสีเทียบค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ผลของการอบชุบค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

จากรูปที่ 5 ที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5 ของการขัดมันและการชุบสังกะสีกับที่รัศมีฟิลเลต Ra 2.0 ของการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง และเมื่อเทียบกับผลของการขัดมันเป็นเกณฑ์พิจารณาพบว่า ผลของการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ขณะที่ผลของการชุบสังกะสีมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง สำหรับค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ผลของการขัดมันกับการชุบสังกะสีเทียบค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ผลของการอบชุบค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

จากรูปที่ 6 ผลที่ได้จะเป็นลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 5 ที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5 ของการขัดมันและการชุบสังกะสีกับที่รัศมีฟิลเลต Ra 2.0 ของการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง และเมื่อเทียบกับผลของการขัดมันเป็นเกณฑ์พิจารณาพบว่า ผลของการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

ขณะที่ผลของการชุบสังกะสีมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง สำหรับค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ผลของการขัดมันกับการชุบสังกะสีเทียบค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ผลของการอบชุบค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด

จากรูปที่ 7 ผลการทดสอบโลหะกลุ่มมิใช่เหล็กดังรูปที่ 7 (a, b และ c) ค่ารัศมีฟิลเลต Ra จะมีผลต่อวัฏจักร (n) ความเสียหาย โดยที่รัศมีฟิลเลต Ra 1.0 ของอลูมิเนียมและทองแดงกับรัศมีฟิลเลต Ra 2.0 ของทองเหลืองมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง และเมื่อเทียบระหว่างโลหะทั้ง 3 พบว่า ทองเหลือง วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายจะสูงกว่าอลูมิเนียมและทองแดงที่รอบความเสียหายเทียบค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่เดียวกันค่าตัวประกอบของผิว (k_a) จะสูงกว่าอลูมิเนียมและทองแดงด้วยเช่นกัน

จากผลการทดสอบโลหะกลุ่มเหล็ก พบว่า การอบชุบโลหะทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่าตัวประกอบของผิว (k_a) และวัฏจักร (n) ความเสียหายเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด โดยเฉพาะที่ภาระการค้ำต่ำที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อภาระการค้ำเพิ่มขึ้น และวัฏจักร (n) ความเสียหายที่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด คือ SCM440, S45C และ SS400 ตามลำดับ ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ของ S45C ต่ำกว่า SS400 และวัฏจักร (n) ความเสียหายของ S45C มากกว่า SS400 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) สำหรับ SS400, S45C และ SCM440 มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่และเทียบค่าใกล้เคียงระหว่างสภาพผิวการเจียรไนกับการตัดกลึง [3, 7] และที่สภาพผิวการชุบสังกะสีสำหรับ SCM440 ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของวัฏจักรความเสียหาย ขณะที่ SS400 และ S45C ที่สภาพผิวดังกล่าววัฏจักรความเสียหายลดลงเมื่อเทียบกับสภาพผิวการขัดมันแสดงให้เห็นว่าความทนทานหรืออายุการใช้งานลดลงจากเดิม และจากผลการทดสอบโลหะกลุ่มมิใช่เหล็ก พบว่า ที่รัศมีฟิลเลต Ra 0.5, 1.0 และ 2.0 mm ตามลำดับ ค่าตัวประกอบของผิว (k_a) และวัฏจักร (n) สำหรับทองเหลืองสูงกว่าอลูมิเนียมและทองแดง ขณะที่อลูมิเนียมเทียบค่าใกล้เคียงกันและแนวโน้มมากกว่าทองแดงเล็กน้อย ยกเว้นค่าตัวประกอบของผิว (k_a) ของอลูมิเนียมที่มีค่าสูงกว่าปกติทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ หรือจากกระบวนการเตรียมวัสดุทางกล

จากการวิเคราะห์ดังกล่าว ถ้าพิจารณาโดยรวมแล้วค่าความเค้นครากของวัสดุจากตารางที่ 1 มีความสอดคล้องกับผลของวัฏจักรด้วยเช่นกัน โดยเรียงลำดับความแข็งแรงสูงสุดไปยังต่ำสุด (SCM440, S45C, SS400, Brass, Aluminum, Copper) ซึ่งโลหะสามารถคงรูปอยู่ได้โดยไม่เกิดความเสียหายขณะรับภาระ โดยทั่วไปนอกจากธาตุผสมดังเช่นคาร์บอน ในโลหะกลุ่มเหล็กแล้วธาตุอื่น ๆ อาจไม่มีผลต่อความล้ามาก

นัก ส่วนกรรมวิธีที่เกี่ยวข้อง เช่น การตัดกลึง การขัดมัน การชุบสังกะสี และการอบชุบ ย่อมมีผลต่อความทนทานต่อความเสียหายของโลหะ ด้วยโดยเฉพาะความเรียบผิวจะมีอิทธิพลโดยตรง จากผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องพบว่า โลหะที่มีผิวหยาบ หรือขรุขระอาจมีผลทำให้ความทนทานต่อความเสียหายลดลง [2] ในทำนองเดียวกันจากผลของการชุบสังกะสีเป็นโลหะเคลือบผิวตัวอย่างทดสอบมีผลทำให้ความทนทานต่อความเสียหายลดลงอย่างมาก ในทางตรงกันข้ามการอบชุบ (เฉพาะผิว) มีอิทธิพลอย่างมากทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและเป็นการเพิ่มความทนทานต่อความเสียหายด้วย สำหรับผลการทดสอบอื่น ๆ จากการสังเกตพบว่า ภาระการตัดที่ค่าน้อยทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายเกิดขึ้นช้ากว่าภาระการตัดที่ค่ามาก ภาระการตัดที่กระทำกับรัศมีฟิลเลตที่ค่าน้อยทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายต่ำกว่ารัศมีฟิลเลตที่ค่ามาก และค่าตัวประกอบของผิว (k_s) เป็นค่าเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับสภาพผิวและอาจไม่แปรผันตามภาระการตัดที่เปลี่ยนแปลง

5. บทสรุป

จากกลไกความล้าเนื่องจากความเค้นผสม โดยกำหนดการทดสอบแบบ Wohler Test ที่สภาพผิวของโลหะต่างกัน 4 แบบ คือ สภาพผิวการขัดมัน การชุบสังกะสี และการอบชุบสำหรับตัวอย่างทดสอบโลหะกลุ่มเหล็ก (SS400, S45C และ SCM440) และสภาพผิวการตัดกลึงสำหรับตัวอย่างทดสอบโลหะกลุ่มมิใช่เหล็ก (ทองเหลือง อลูมิเนียม และทองแดง) ผลจากการศึกษาพบว่า โลหะกลุ่มเหล็กสภาพผิวการขัดมันและการชุบสังกะสี ที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 0.5 ส่วนมากกว่าวัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายต่ำกว่าที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 1.0 และ 2.0 ยกเว้นสภาพผิวการอบชุบ และเมื่อเทียบกับสภาพผิวการขัดมันเป็นเกณฑ์ สภาพผิวการอบชุบมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายเพิ่มขึ้น ขณะที่สภาพผิวการชุบสังกะสีมีผลทำให้วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายลดลง และค่าตัวประกอบของผิว (k_s) สภาพผิวการขัดมันกับการชุบสังกะสีเทียบค่าใกล้เคียงกันและสภาพผิวการอบชุบค่าเพิ่มขึ้นสำหรับโลหะกลุ่มมิใช่เหล็ก ส่วนมากกว่าวัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายต่ำกว่าที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 1.0 และ 2.0 มากกว่าที่ค่ารัศมีฟิลเลต Ra 0.5 และเมื่อเทียบระหว่างโลหะกลุ่มมิใช่เหล็กพบว่า วัฏจักร (n) ที่รอบความเสียหายและค่าตัวประกอบของผิว (k_s) ของทองเหลืองสูงกว่าอลูมิเนียมและทองแดง ยกเว้นค่าตัวประกอบของผิว (k_s) ของอลูมิเนียมที่มีค่าสูงกว่าปกติทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความแปรปรวนที่เกิดขึ้น

ระหว่างการทดสอบหรือจากกระบวนการเตรียมวัสดุทางกล และสำหรับค่าตัวประกอบของผิว (k_s) นี้เป็นค่าเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับสภาพผิวและอาจไม่แปรผันตามภาระการตัดที่เปลี่ยนแปลง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณวิสันต์ มิตรภานนท์ กองมาตรฐานวิศวกรรม การประปานครหลวง (ประชาชน) ที่สนับสนุนต่อสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ สำหรับการเก็บข้อมูลการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างโลหะ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] การประปานครหลวง. 2548. **Tension Test of Metallic Materials (No. 1316)**, กองมาตรฐานวิศวกรรม, ประชาชน, กรุงเทพฯ
- [2] มณฑล ฉายอรุณ. 2536. **การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ**, ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ (ศสอ), กรุงเทพฯ
- [3] วรวิทย์ อิงการณ และชาญ ฤกษ์งาน. 2534. **การออกแบบเครื่องจักรกล 1**, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ
- [4] บัณฑิต ใจชื่น และคณะ. 2533. **การอบชุบเหล็กกล้าด้วยความร้อน**, สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ, หจก. ภาพพิมพ์, กรุงเทพฯ
- [5] ATACO, ORIENTAL COPPER and BISW. 2005. **Certificate of Inspection and Mill Test Certificate (No. 281, 282 and 1636)**.
- [6] P.G. Forrest. **Fatigue of Metals**, Pergamon Press, London, 1962.
- [7] R.C. Juvinall and K.M. Marshek. **Fundamentals of Machine Component Design**. 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 1991.
- [8] R.I. Stephens, Ali. F, Robert R.S. and Henry O.F. **Metal Fatigue in Engineering**. 2nd ed., John Wiley and Sons, USA, 2001.
- [9] Standard Terminology Relating to Fatigue and Fracture. **Testing ASTM Designation E1823**. Vol. 03.01, ASTM Conshohocken, PA, 2000, p.1034.