# หล็กกล้าไร้สนิม ชนิดและการใช้ประโยชน์


7 กันยายน 2566

การสัมมนาครั้งที่ 2 สาขาเหมืองแร่ สภาวิศวกร

ศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ (IIW Intl.welding Engineer)

ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย ปทุมวัน กทม 10330

โทร 02-2186938


ศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ สภาวิศวกร

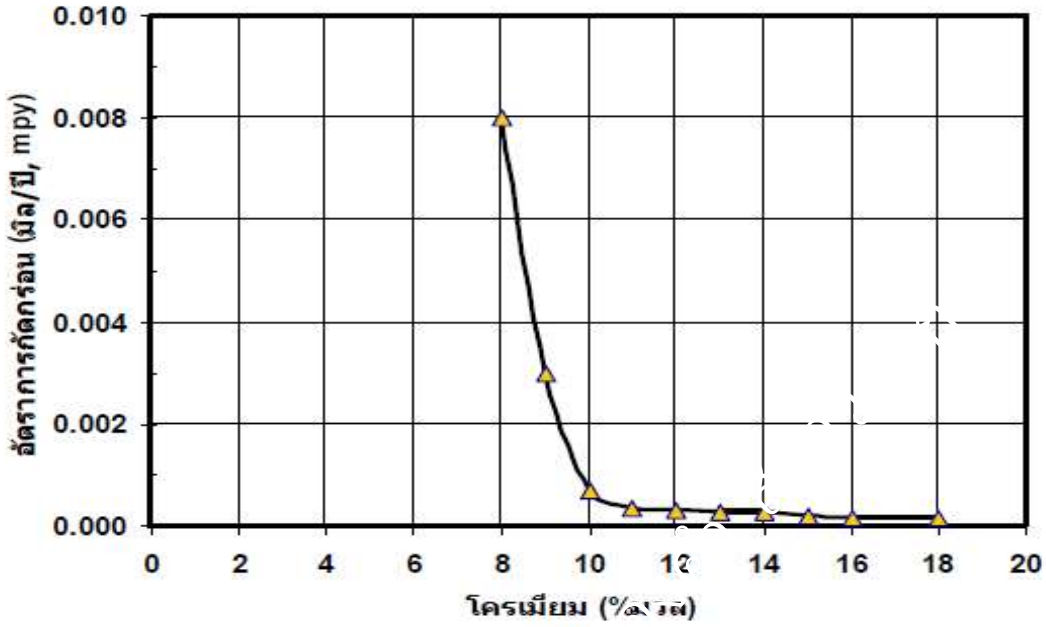
# เหล็กกล้าไร้สนิม หรือ เหล็กสเตนเลส ?

เนื้อหาอ้างอิง จากหนังสือและ
เอกสารอ้างอิงท้ายบท

ในที่นี้ใช้คำตามหนังสือ เหล็กกล้า
โดย
ศ. มนัส สถิรจินดา
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ สมอ. และ
ศัพท์ราชบัณฑิตใช้
เหล็กกล้าไร้สนิม
แต่ก็มีการเรียกทั่วไป เหล็กสเตนเลส

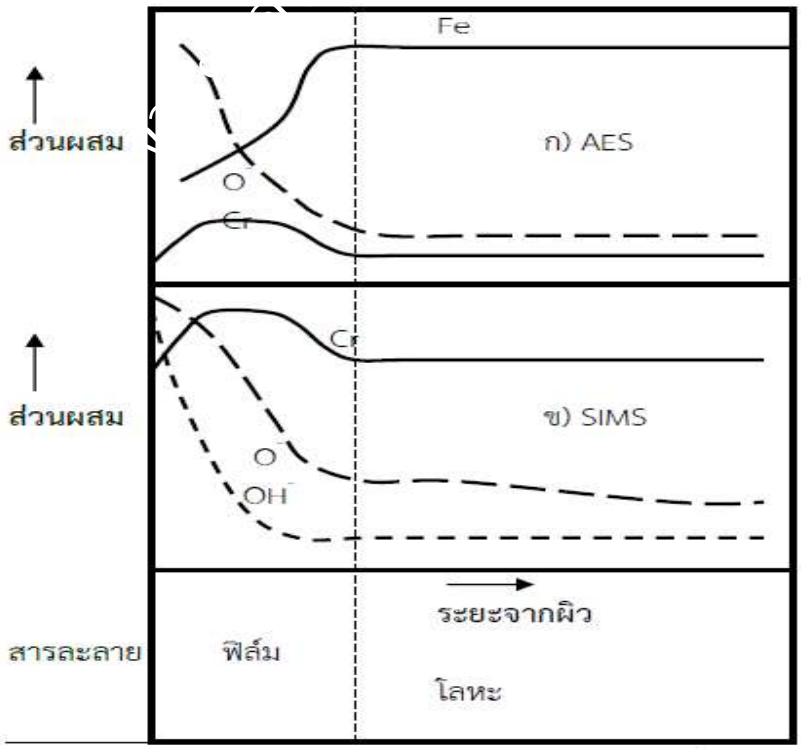
# เหล็กกล้าไร้สนิมกับการกัดกร่อน

**อัตราการกัดกร่อนของเหล็กผสมโครเมียมในน้ำสปรย์น้อยมาก (คงที่) Cr > 10.5 wt%**




รูปที่ 1.1 ผลของธาตุโครเมียมผสมในเหล็กต่ออัตราการกัดกร่อนในน้ำสเปรย์หรือพ่นที่อุณหภูมิห้อง (1 มิล= 1/1000 นิ้ว) [2]

# การกระจายของธาตุบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม



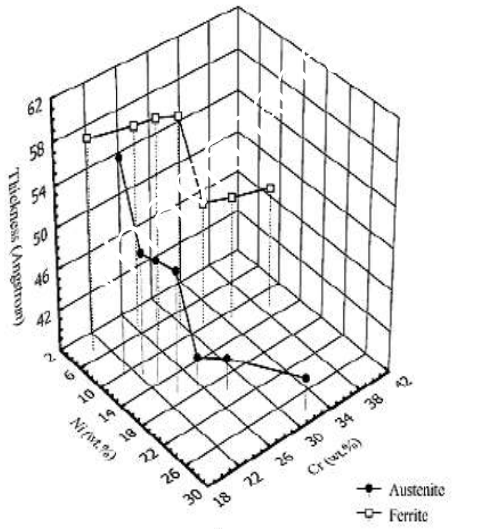

รูปที่ 2.17 แบบร่างองค์ประกอบเคมีของฟิล์มในแนวลึกจากผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียมผสม 17% (มวล) วิเคราะห์โดยเทคนิค ก) AES และ ข) SIMS [23]

# แบบจำลององค์ประกอบของฟิล์มบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม

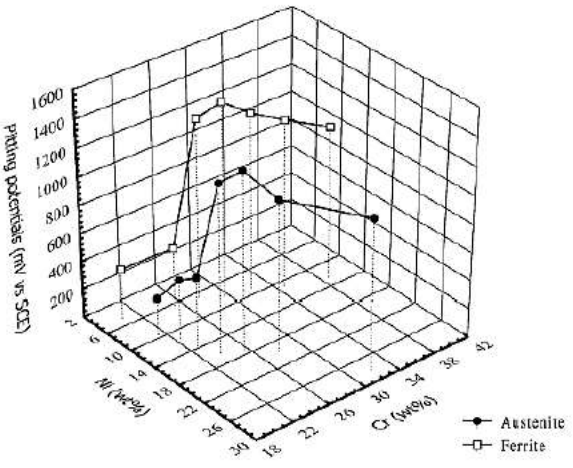
ไม่ใช่ Cr2O3 อย่างเดียว

รูปที่ 2.21 แบบจำลองฟิล์มในสภาพบรรยากาศบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมเฟร์ไรต์และออสเทไนต์ (Fe-(21-39)Cr-(5-28)Ni) วิเคราะห์โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ (XPS) [25]

# แบบจำลององค์ประกอบของฟิล์มบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม




รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาชั้นฟิล์มโครเมียมออกไซด์กับส่วนผสมเคมี [25]

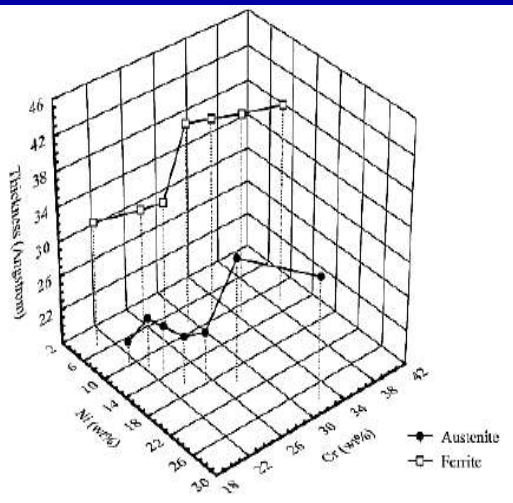



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็มในสารละลายน้ำทะเลเทียมที่อุณหภูมิห้องกับส่วนผสมโครเมียมและนิกเกิล [25]

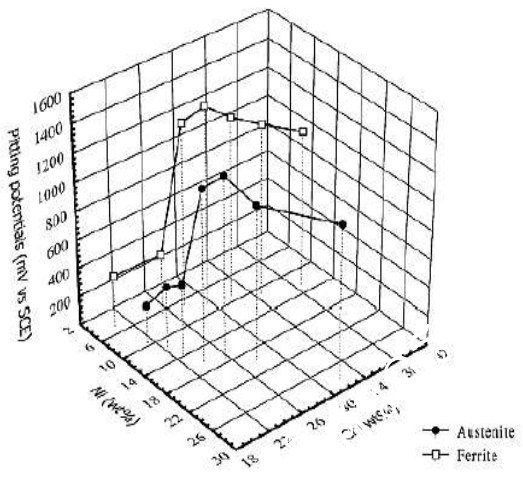
ผลการทดลองสอดคล้องกับผลของ ศ.ดร. H.H Uhlig MIT (1954)

และศ.ดร. A. Athren U of Queensland

# แบบจำลององค์ประกอบของฟิล์มบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม




รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นฟิล์มที่มีองค์ประกอบโครเมียมและเหล็กออกไซด์+ เหล็ก + (นิกเกิล) หรือชั้น A ตามแบบจำลองในรูปที่ 2.21 กับส่วนผสมโครเมียมและนิกเกิล [25]




รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็มในสารละลายน้ำทะเลเทียม ที่อุณหภูมิห้องกับส่วนผสมโครเมียมและนิกเกิล [25]

899-907. [25] G. Lothongkum, S. Chaikittisilp and A. W. Lothongkum, Applied Surface Science, 218(1-4), 2003, pp. 202-209. **Journal Q1T1**

ศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ โลหะการ

## ส่วนผสมเคมีเหล็กกล้าไร้สนิมบ่งบอกอะไร

ส่วนประกอบของธาตุสามารถใช้บ่งชี้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบ**รูเข็ม**ของเหล็กกล้าไร้สนิมโดยประมาณได้

**Pitting Resistance Equivalent Number (PREN)**

**= %Cr + 3.3%Mo + (16, 33)%N**

สปส.ของ N ขึ้นกับเกรด นิยมใช้คัดเลือกความต้านทานการกัดกร่อนทั่วไปในเบื้องต้น

แต่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ 100%

เพราะลักษณะการกัดกร่อนมี 8-9 แบบ

# การเรียกชื่อเกรดและแบ่งกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม

1. เรียกและแบ่งตามส่วนผสมเคมี

18-8 Cr-Ni Stainless Steels, Cr-Mn Stainless Steels,

Cr-Ni-Mo Stainless Steels

2. เรียกและแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

Heat Resisting Stainless Steels, Creep Resistance Steels,

Corrosion Resistance Steels

3. เรียกละแบ่งตามผลิตภัณฑ์ก่อนใช้งาน

Cast Stainless Steel, Stainless steel plate,

hot and forging stainless steel

ไม่นิยมใช้เพราะไม่สามารถครอบคลุม ความหลากหลายของเกรดและกลุ่ม

ดร.ศิลาชัย กอบบุญ พ่อทองคำ สภาวิศวกร

# กลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม

3. แบ่งตามโครงสร้างจุลภาคเป็น 5 กลุ่ม นิยมใช้กันมาก***

1.เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนไซต์ C < 1%, Cr 12-18% AISI 410

2.เหล็กกล้าไร้สนิมเฟร์ไรต์ C < 0.1%, Cr 11-17% AISI 409

3.เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์ C <0.12%, Cr 16-18%, Ni 8-10% AISI 304

4.เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์-เฟร์ไรต์หรือดูเพล็กซ์ UNS2205 UNS 2705

C< 0.03%, Cr 22-25%, Ni 5-7%, Mo 3-5%, N 0.1-0.3%

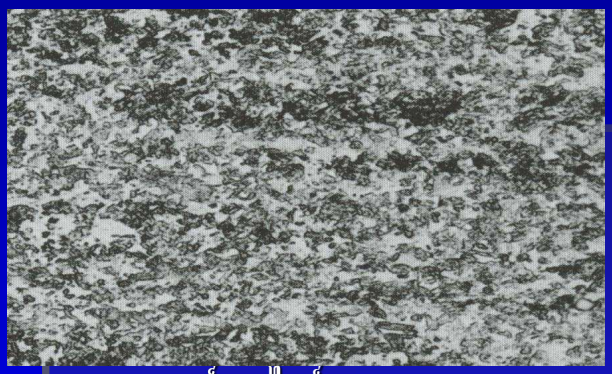
5.Precipitation Hardening (PH alloy) มีตะกอนในโครงสร้างจุลภาคพื้น

เพิ่มความแข็งแรง (Strength)

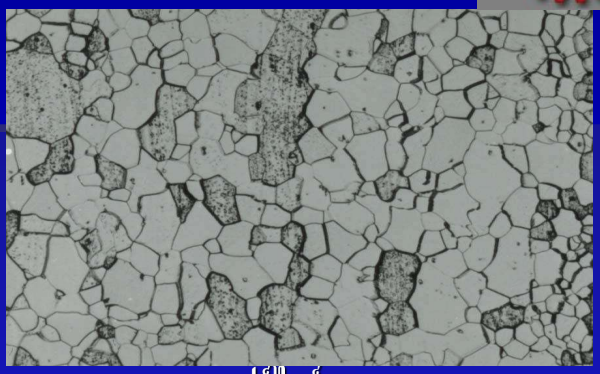
มาร์เทนไซต์ (Cr Ni 17-4, 15-5) ออสเทไนต์ Cr Ni 17-10P, A286

ออสเทไนต์บางส่วน Cr Ni 17-7, 15-7Mo

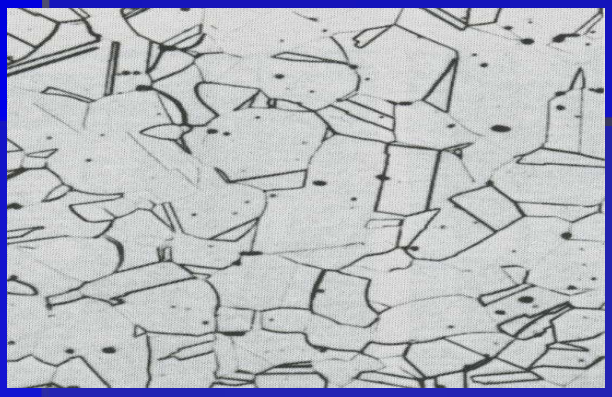
# ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาค



มาร์เทนไซต์



เฟร์ไรต์



ออสเทไนต์ (มีทวิน)

ดูเพล็กซ์

หล่อพงษ์ สุขาวัฒนา

# 1ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาค

ศักดิ์สรา เรียบร้อย ปรับปรุง

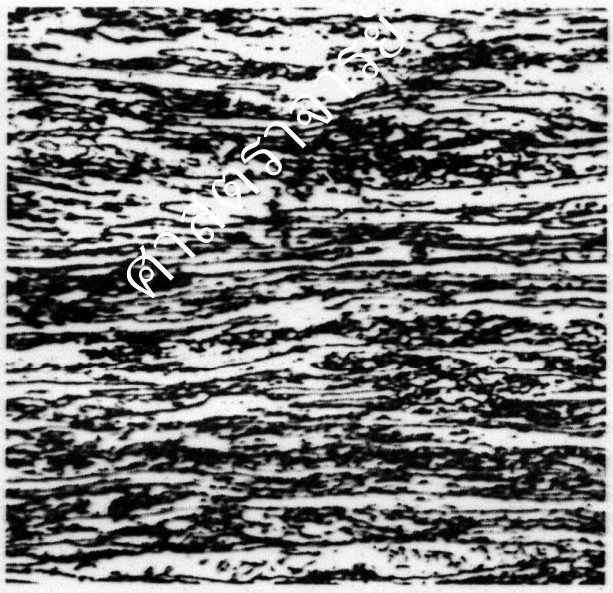


**Fig. 79** 17-7PH stainless steel, cold rolled at the mill, then held 1 h at 480 °C (900 °F) and air cooled. Structure is essentially martensite; austenite was transformed by cold rolling. Electrolytic: $HNO_3$-acetic acid, then 10% aqueous oxalic acid. 1000×

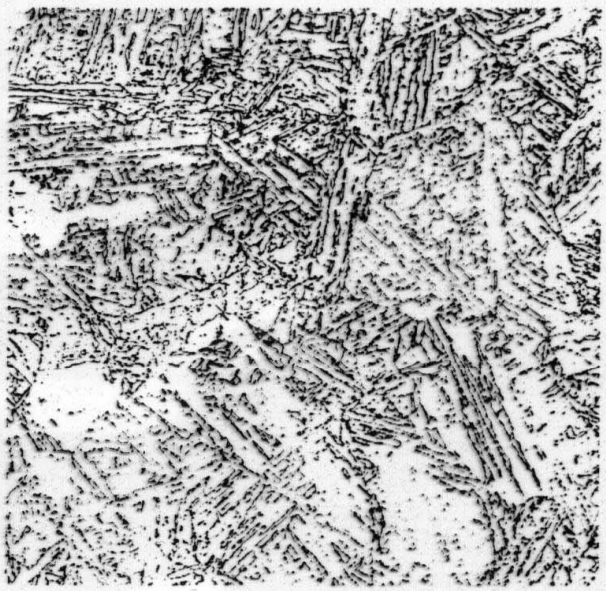


**Fig. 80** 15-5PH martensitic precipitation-hardenable stainless steel (41 HRC), solution annealed and aged. Structure is tempered martensite. Vilella's reagent. 200×

จากASM Specialty Handbook

## เหล็กกล้าไร้สนิม เกรดตามมาตรฐานชาติ และนานาชาติ

| | |
|---|---|
| **AFNOR** | **Association franaise de normalisation** |
| **AISI** | **American Iron and Steel Institute** |
| **DIN** | **Deutsches Institut fuer Normung** |
| **EN** | **European norm** |
| **BSI** | **British Standard Institute** |
| **JIS** | **Japanese Industrial Standard** |
| **TIS** | **Thai Industrial Standards Institute สมอ** |
| **ISO** | **International Organisation for Standardization** |

หล่อทองคำ สภาวิศวกร

## ตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม เกรดตามมาตรฐาน สมอ

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเหล็กกล้าไร้สนิมกำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย (สมอ)[8]

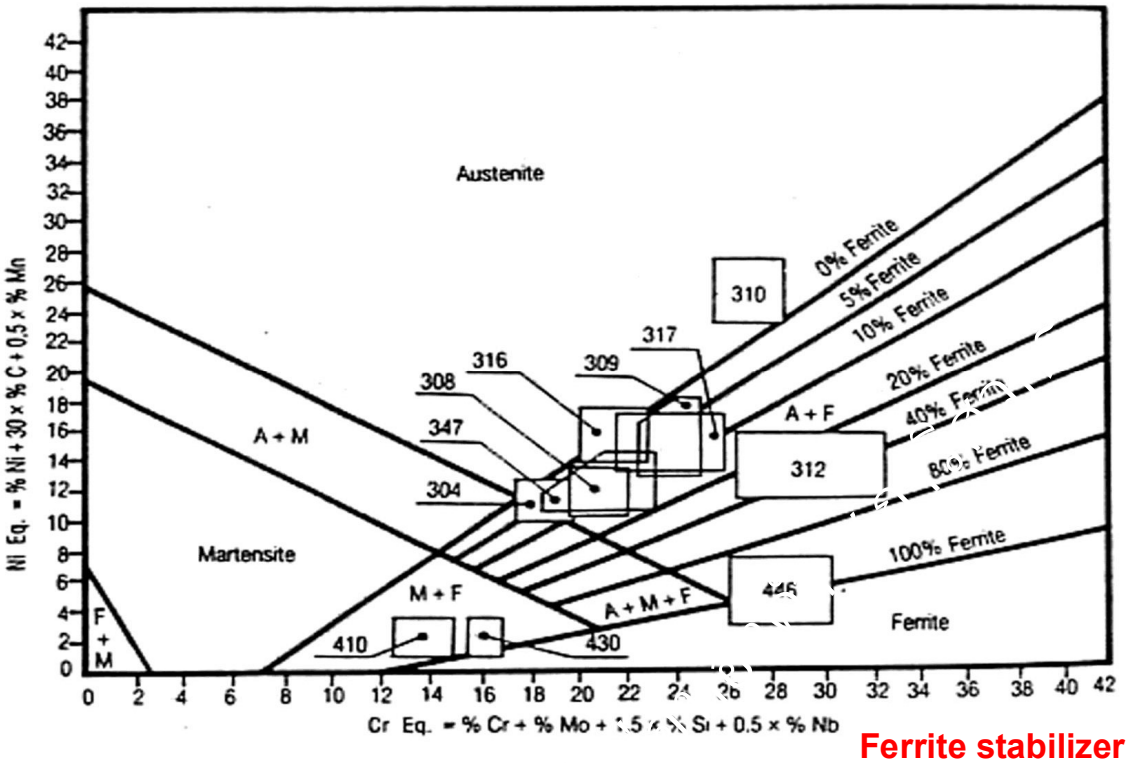
| ลำดับ | หมายเลขมาตรฐาน | ชื่อมาตรฐาน |
|---|---|---|
| 1 | มอก. 410-2525 | เครื่องใช้เหล็กกล้าไร้สนิม : ช้อนส้อมและมีด |
| 2 | มอก. 451-2526 | เครื่องใช้เหล็กกล้าไร้สนิม : จานถ้วยชามและถาด |
| 3 | มอก. 730-2530 | ลวดเชื่อมมีสารพอกหุ้มใช้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยอาร์ก |
| 4 | มอก. 80[illegible]2531 | เครื่องใช้เหล็กกล้าไร้สนิม : หม้อกระทะทะชามอ่างตะหลิวทัพพีและกระบวย |
| 5 | มอก. 854-2536 | อ่างเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับล้างชาม |
| 6 | มอก. 989-2533 | ถังเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับเก็บน้ำ |
| 7 | มอก. 1006-2558 | ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์ สำหรับงานทนอุณหภูมิสูง และการกัดกร่อนทั่วไป |
| 8 | มอก. 1439-2558 | ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์ สำหรับหม้อน้ำ เครื่องกำเนิดไอน้ำยิ่งยวด เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และเครื่องควบแน่น |
| 9 | มอก. 2676-2558 | ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์ สำหรับใช้งานทั่วไป |
| 10 | มอก. 1200-2536 | หมุดเกลียวเหล็กกล้าไร้สนิมยึดกระดูกหัวหลุมหกเหลี่ยมฐานหัวจมรูปทรงกลมเกลียวอสมมาตร |
| 11* | มอก. 1378-2539 | เหล็กกล้าไร้สนิมรีดเย็นแผ่นม้วนแผ่นแถบและแผ่น |
| 12 | มอก. 1439-2540 | ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน |
| 13 | มอก. 2196-2547 | งานท่อ-ข้อต่อเหล็กกล้าไร้สนิมแบบเกลียวตามมาตรฐาน ISO 7-1 |

หมายเหตุ *สมอ กำลังปรับปรุงมาตรฐานใหม่

ลำดับที่ 7-9 สมอ จะเพิ่มเติมมาตรฐานท่อเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์เพื่อการใช้งานต่าง ๆ อีกประมาณ 3 มาตรฐาน

# การประมาณโครงสร้างจุลภาค ที่นิยมใช้ผิดพลาด

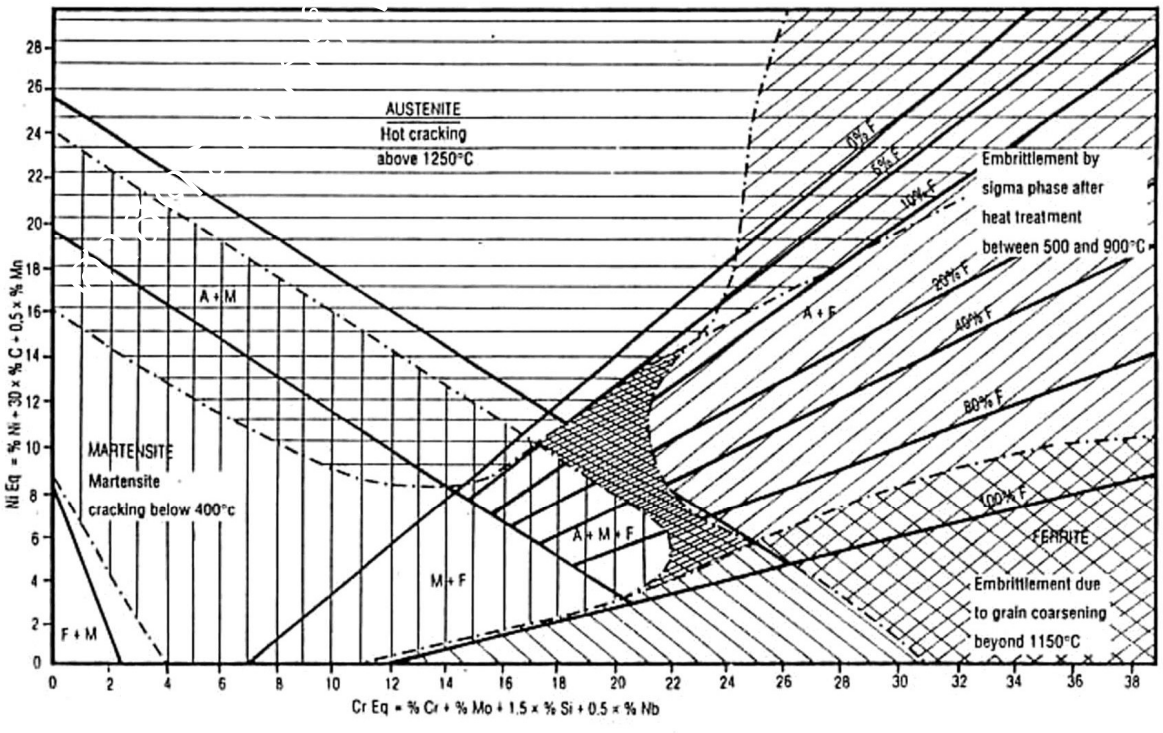
Austenite stabilizer




Ferrite stabilizer

# การประมาณโครงสร้างจุลภาคเนื้อเชื่อมและข้อบกพร่อง

Auustenite stabilizer




Schaeffler diagram.

Ferrite stabilizer

## เหล็กกล้าไร้สนิม ความต้านทานการกัดกร่อน

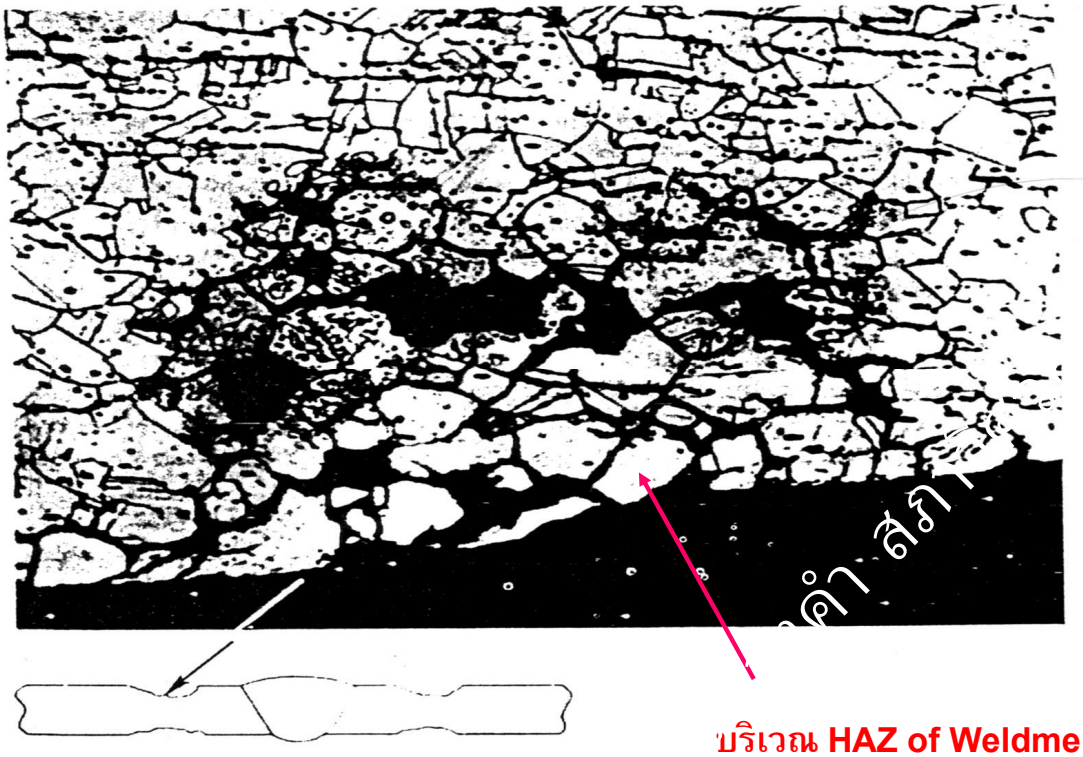
- มีแนวโน้มจะถูกกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) ในบางสภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะตรงฟิล์มบาง
- ทนต่อสารเคมีที่ให้ออกซิเจน (Oxidizing Solution)
- มักจะไม่ทนทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็มและซอกมุม (Crevice Corrosion)
- เมื่อมีไอออนคลอไรด์ ($Cl^-$) จะทำลายฟิล์มบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมได้ง่าย จึงไม่แนะนำใช้ในน้ำทะเล น้ำกร่อย หากจะใช้ต้องมีมาตรการป้องกันการกัดกร่อน

ศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ ลิขสิทธิ์

## เหล็กกล้าไร้สนิม: ความต้านทานการกัดกร่อน

- บางเกรดเกิดการกัดกร่อนที่มีความเค้นได้ง่าย (Stress Corrosion Cracking) โดยเฉพาะไอออนของธาตุหมู่ 7 และสารละลายที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) และ/หรือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ ($H_2S$)
- เมื่อทำ "Sensitization" (อุณหภูมิ 500-950 °C) จะถูกกัดกร่อนที่ขอบเกรนของโครงสร้างจุลภาคบริเวณที่เป็น Chromium Depleted Zone
- เกิดการกัดกร่อนแบบเซลไฟฟ้าเคมี (Galvanic Corrosion) เมื่อมีโครงสร้างสองเฟส เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

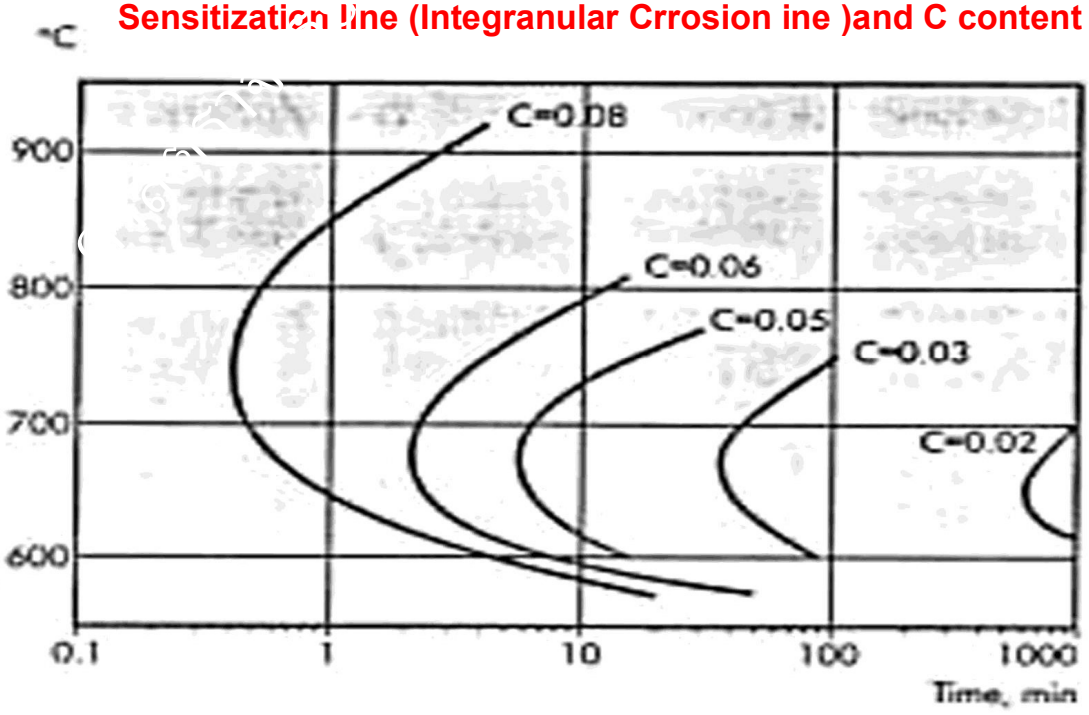
# 1. เหล็กกล้าไร้สนิม: การกัดกร่อนที่ขอบเกรน



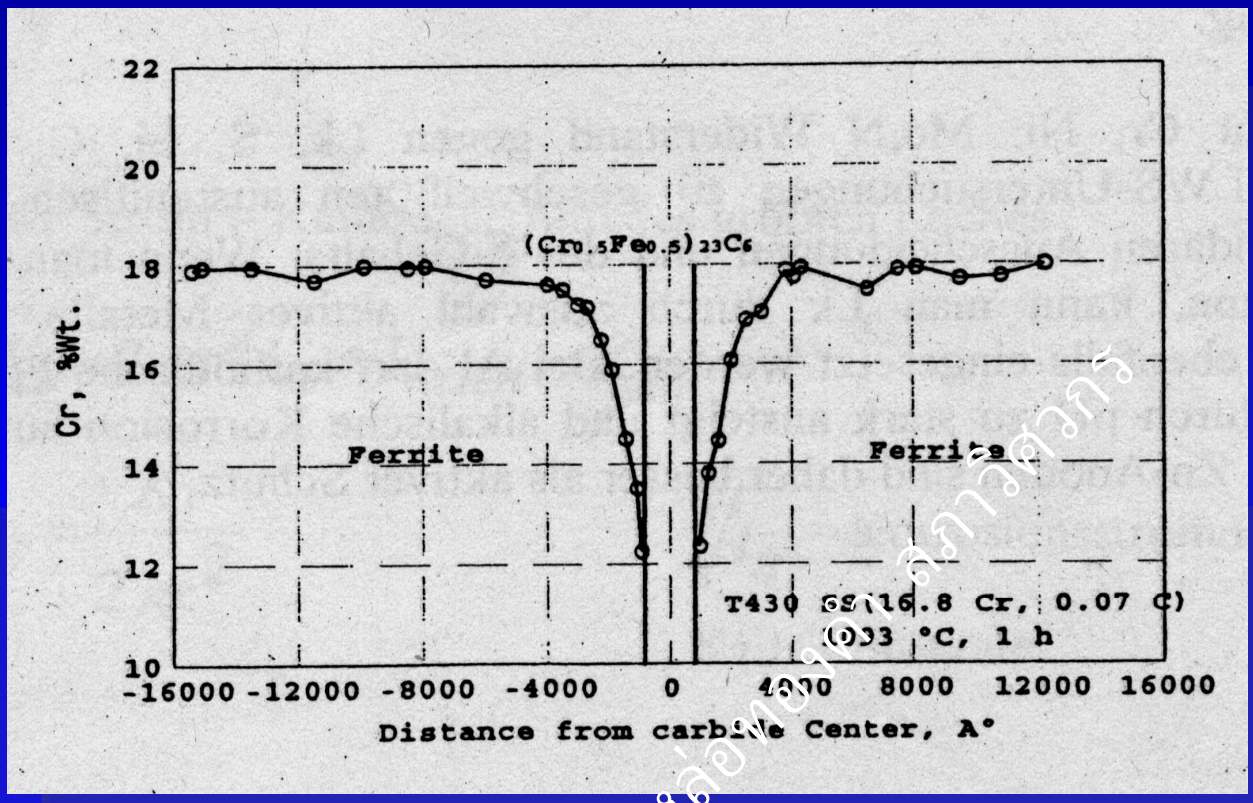
บริเวณ HAZ of Weldment

# 1. เหล็กกล้าไร้สนิม: การกัดกร่อนที่ขอบเกรน

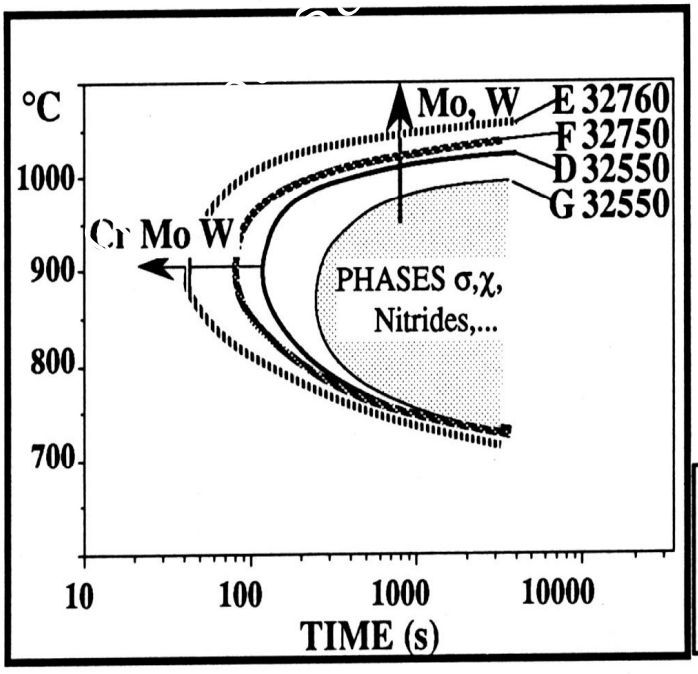
Sensitization line (Integranular Crrosion ine )and C content



## Chromium depleted zone at grain boundary (ขอบเกรน)




## การกัดกร่อนเพราะเกิดเฟสที่ 2 Secondary Phases

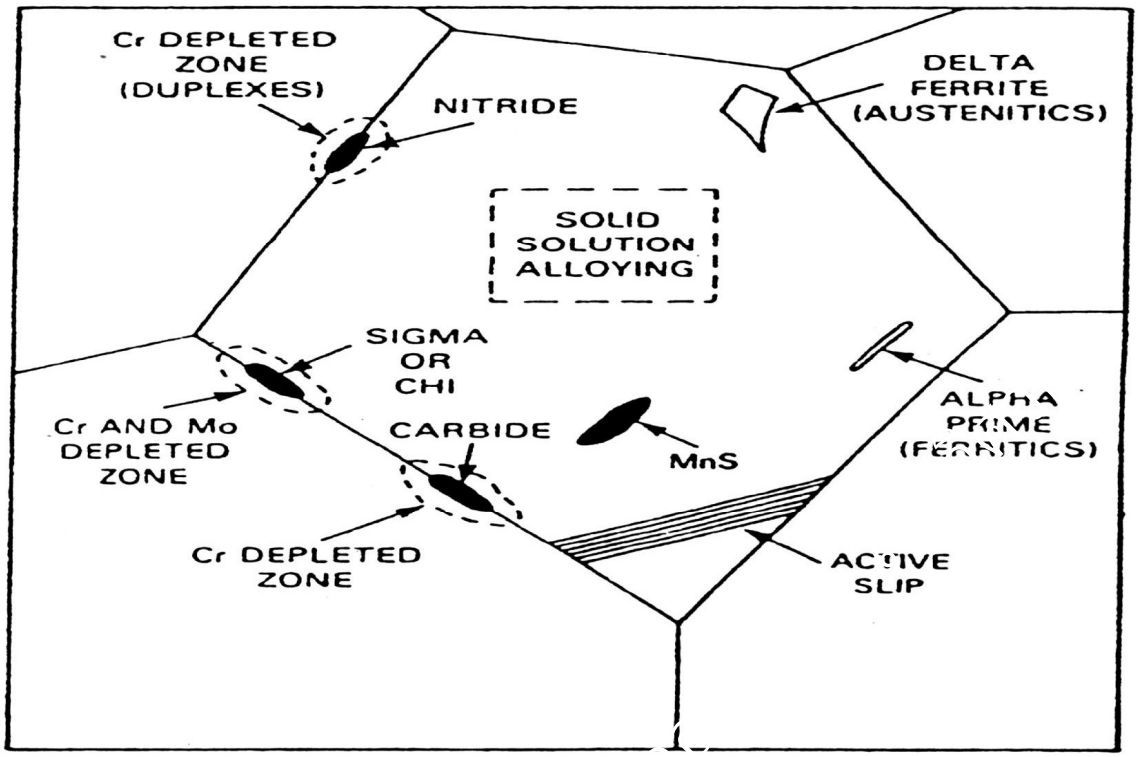



ไม่ควรใช้งานในช่วง
**300-1000 °C**
เฟส ที่ 2 มักมี โครเมียม สูง
ทำให้เกิด **Cr depleted zone**

**Fig 16 : TTT Diagrams**

| | Cr | Mo | N | |
|---|---|---|---|---|
| D | 25 | 3.7 | .25 | 1.5 Cu |
| E | 25 | 3.7 | .22 | .6Cu.7W |
| F | 25 | 3.8 | .28 | - |
| G | 25 | 3 | .18 | 1.5 Cu |

# ตัวอย่างเฟสที่ 2 ที่พบในเหล็กกล้าไร้สนิม




# ตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม มาร์เทนไซต์

ตารางที่ 4.1 ส่วนผสมเคมี (% มวล) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนไซต์เกรดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน AISI [8]

| UNS | AISI | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | N | อื่น ๆ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S40300 | 403 | 0.15 | 1.00 | 0.50 | 0.040 | 0.030 | 11.50-13.00 | - | - | - | - |
| S41000 | 410 | 0.15 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 11.50-13.00 | - | - | - | - |
| S41400 | 414 | 0.15 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 11.50-13.50 | 1.25-2.50 | - | - | - |
| S41600 | 416 | 0.15 | 1.25 | 1.00 | 0.060 | ≥ 0.150 | 12.00-14.00 | - | 0.60 | - | - |
| S41610 | 416Plus** | 0.15 | 1.25-2.50 | 1.00 | 0.060 | ≥ 0.150 | 12.00-14.00 | - | 0.60 | | |
| S41623 | 416Se | 0.15 | 1.25 | 1.00 | 0.060 | 0.060 | 12.00-14.00 | - | - | - | Se ≥ 0.150 |
| S42000 | 420 | ≥ 0.150 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 12.00-14.00 | - | - | - | - |
| S42010 | Trim Rite** | 0.15-0.30 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 13.50-15.00 | 0.25-1.00 | 0.40-1.00 | - | - |
| S42020 | 420F | ≥ 0.150 | 1.25 | 1.00 | 0.060 | ≥ 0.150 | 12.00-14.00 | - | 0.60 | - | - |
| S42023 | 420FSe* | 0.30-0.40 | 1.25 | 1.00 | 0.060 | 0.060 | 12.00-14.00 | - | 0.60 | - | Se ≥ 0.150 0.60 Zr or Cu |
| S43100 | 431 | 0.20 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 15.00-17.00 | 1.25-2.50 | - | - | - |
| S44002 | 440A | 0.60-0.75 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 16.00-18.00 | - | 0.75 | - | - |
| S44003 | 440B | 0.75-0.95 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 16.00-18.00 | - | 0.75 | - | - |
| S44004 | 440C | 0.95-1.20 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 16.00-18.00 | - | 0.75 | - | - |
| S44020 | 440F* | 0.95-1.20 | 1.25 | 1.00 | 0.040 | 0.10-0.35 | 16.00-18.00 | 0.75 | 0.40-0.60 | 0.08 | - |
| S44023 | 440FSe* | 0.95-1.20 | 1.25 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 16.00-18.00 | 0.75 | 0.60 | 0.08 | Se ≥ 0.150 |

*ออกแบบเกรดคล้ายกับAISI **ชื่อทางการค้า ส่วนผสมเคมีสามารถเปรียบเทียบได้กับมาตรฐานนานาชาติ ISO-TS-15510, EN 10088-1

# ตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม เฟร์ไรต์

ตารางที่ 5.1 ส่วนผสมเคมี (% มวล) ของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟร์ไรต์เกรดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน AISI [1, 2]

| UNS | AISI | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | N | อื่น ๆ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S40500 | 405 | 0.08 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 11.50-14.40 | - | - | - | 0.10-0.30Al |
| S40900 | 409 | 0.08 | 1.00 | 1.00 | 0.045 | 0.045 | 10.50-11.75 | 0.50 | - | - | 6xC-0.75Ti |
| S43000 | 430 | 0.12 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 16.00-18.00 | - | - | - | - |
| S43020 | 430F | 0.12 | 1.25 | 1.00 | 0.060 | ≥ 0.150 | 16.00-18.00 | - | 0.60 | - | - |
| S43023 | 430FSe | 0.12 | 1.25 | 1.00 | 0.060 | 0.060 | 16.00-18.00 | - | - | - | Se ≥ 0.150 |
| S43400 | 434 | 0.12 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 16.00-18.00 | 0.75-1.25 | - | - | - |
| S44200 | 442 | 0.20 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 18.00-23.00 | - | - | - | - |
| S44300 | 443 | 0.20 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 18.00-23.00 | 0.50 | - | - | 0.90-1.25Cu |
| S44400 | 444 | 0.025 | 1.00 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 17.50-19.50 | 1.00 | 1.00-2.50 | 0.025 | [0.20+4(C+N)] -0.80Ti+Nb |
| S44600 | 446 | 0.20 | 1.50 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 23.00-27.00 | - | - | 0.25 | - |
| S44800 | 448* | ≤ 0.01 | ≤ 0.30 | ≤0.20 | ≤0.040 | ≤0.030 | 28.0-30.0 | 2.0-2.50 | 3.5-4.2 | - | (C+N) ≤ 0.025 |
| S18200 | 18-2FM** | 0.08 | 1.25-2.50 | 1.00 | 0.040 | ≥ 0.150 | 17.50-19.50 | - | 1.50-2.50 | - | - |

*ส่วนผสมอ้างอิงจาก [2] **ชื่อทางการค้า

# ตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์

ตารางที่ 6.1 ส่วนผสมเคมี (% มวล) ของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทไนต์เกรดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน UNS, AISI [1]

| UNS | AISI | C | Mn | Si | P | S | Cr* | Ni | Mo | N* | อื่น ๆ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S20100 | 201 | 0.15 | 5.5-7.5 | 1.00 | 0.060 | 0.030 | 16.0-18.0 | 3.5-5.5 | - | 0.25 | - |
| S20200 | 202 | 0.15 | 7.5-10.0 | 1.00 | 0.060 | 0.030 | 17.0-19.0 | 4.0-6.0 | - | 0.25 | - |
| S20500 | 205 | 0.12-0.25 | 14.0-15.5 | 1.00 | 0.060 | 0.030 | 16.5-18.0 | 1.0-1.75 | - | 0.32-0.40 | - |
| S30100 | 301 | 0.15 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 16.0-18.0 | 8.0-10.0 | - | - | - |
| S30200 | 302 | 0.15 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 17.0-19.0 | 8.0-10.0 | - | - | - |
| S30215 | 302B | 0.15 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 17.0-19.0 | 8.0-10.0 | - | - | - |
| S30300 | 303 | 0.15 | 2.0 | 1.00 | 0.20 | ≥ 0.15 | 17.0-19.0 | 8.0-10.0 | 0.6 | - | - |
| S30323 | 303Se | 0.15 | 2.0 | 1.00 | 0.20 | 0.060 | 17.0-19.0 | 8.0-10.0 | - | - | Se ≥0.15 |
| S30400 | 304 | 0.08 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 18.0-20.0 | 8.0-10.5 | - | 0.025 | - |
| S30409 | 304H | 0.04-0.10 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 18.0-20.0 | 8.0-10.5 | - | 0.25 | - |
| S30403 | 304L | 0.03 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 18.0-20.0 | 8.0-12.0 | - | - | - |
| S30453 | 304LN | 0.03 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 18.0-20.0 | 8.0-12.0 | - | 0.1-0.16 | - |
| S30430 | 304Cu | 0.08 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 17.0-19.0 | 8.0-10.0 | - | - | 3.0-4.0Cu |
| S30451 | 304N | 0.08 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 18.0-20.0 | 8.0-10.5 | - | 0.1-0.16 | - |
| S30500 | 305 | 0.12 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 170-19.0 | 10.5-13.0 | - | - | - |
| S30800 | 308 | 0.08 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 19.0-21.0 | 10.0-12.0 | - | - | - |
| S30900 | 309 | 0.20 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 22.0-24.0 | 12.0-15.0 | - | - | - |
| S30908 | 309S | 0.08 | 2.0 | 1.00 | 0.045 | 0.030 | 22.0-24.0 | 12.0-15.0 | - | - | - |
| S31000 | 310 | 0.25 | 2.0 | 1.50 | 0.045 | 0.030 | 24.0-26.0 | 19.0-22.0 | - | - | - |
| S31008 | 310S | 0.08 | 2.0 | 1.50 | 0.045 | 0.030 | 24.0-26.0 | 19.0-22.0 | - | - | - |

# ตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

ตารางที่ 7.1 ส่วนผสมเคมี (% มวล) ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรดต่าง ๆ ตามมาตรฐาน UNS และ AISI [2, 3, 4, 5]

| UNS | AISI | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | N | อื่น ๆ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S31200* | 312 | 0.03 | 2.00 | 1.00 | 0.045 | 0.03 | 24.0-26.0 | 5.5-6.5 | 1.2-2.0 | 0.14-0.20 | - |
| S31260* | | 0.03 | 1.00 | 0.75 | 0.030 | 0.03 | 24.0-26.0 | 5.5-7.5 | 2.5-3.5 | 0.10-0.30 | 0.10-0.50W, 0.20-0.80Cu |
| S31500* | 315 | 0.03 | 1.2-2.0 | 1.4-2.0 | 0.030 | 0.03 | 18.0-19.0 | 4.25-5.25 | 2.5-3.0 | 0.05-0.10 | - |
| S31803 | 2205 | 0.030 | 2.00 | 1.00 | 0.030 | 0.020 | 21.0-23.0 | 4.50-6.50 | 2.50-3.50 | 0.08-0.20 | - |
| S32304* | | 0.03 | 2.5 | 1.00 | 0.04 | 0.04 | 21.5-24.5 | 3.0-5.5 | 0.05-0.60 | 0.05-0.20 | 0.05-0.60Cu |
| S32550* | | 0.04 | 1.50 | 1.00 | 0.040 | 0.030 | 24.0-27.0 | 4.50-6.50 | 2.00-4.00 | 0.10-0.25 | 1.50-2.50Cu |
| S32750* | | 0.03 | 1.20 | 1.00 | 0.035 | 0.02 | 24.0-26.0 | 6.0-8.0 | 3.0-5.0 | 0.24-0.32 | 0.5Cu |
| S32760* | | 0.03 | 1.00 | 1.00 | 0.03 | 0.01 | 24.0-25.0 | 6.0-8.0 | 3.0-4.0 | 0.30 | 0.5-1.0W, 0.5-1.0Cu |
| S32900 | 329 | 0.06-0.20 | 1.00 | 0.75 | 0.040 | 0.030 | 23.0-28.0 | 2.50-5.00 | 1.00-2.00 | - | - |
| S32950 | | 0.03 | 2.00 | 0.60 | 0.035 | 0.010 | 26.0-29.0 | 3.50-5.20 | 1.00-2.50 | 0.15-0.35 | - |

*เกรดผ่านการรีด (Wrought grade)

**Lean Duplex Stainless Steel** กำลังได้รับการถามหาใช้งาน

# หลักการพิจารณาเลือกใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิม

ตามสมบัติทางกายภาพ เช่น น้ำหนัก ผิวมันวาว

ตามสมบัติกล เช่น ความเค้นคราก ความแข็งแรง

ตามความต้านทานการกัดกร่อน อัตราการกัดกร่อน จากคู่มือ

ตารางที่ 9.8 สัดส่วนการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นและเส้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ [1]

| ลำดับที่ | การใช้งาน | ร้อยละ |
|---|---|---|
| 1 | อุปกรณ์ในอุตสาหกรรมเคมีและพลังงาน | 34 |
| 2 | ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าบ้านเรือนและเครื่องครัว | 28 |
| 3 | อุปกรณ์เครื่องมือในอุตสาหกรรมอาหารและการเก็บรักษาอาหาร | 18 |
| 4 | อุตสาหกรรมยานยนต์และการขนส่ง | 9 |
| 5 | ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก | 6 |
| 6 | อุตสาหกรรมการก่อสร้างอาคารและสถาปัตยกรรม | 5 |

# ใช้งาน ตามอัตราการกัดกร่อน

ตารางที่ 9.10 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าและไทเทเนียม ในสารละลายกรดซัลฟิวริก [3, 8-10]

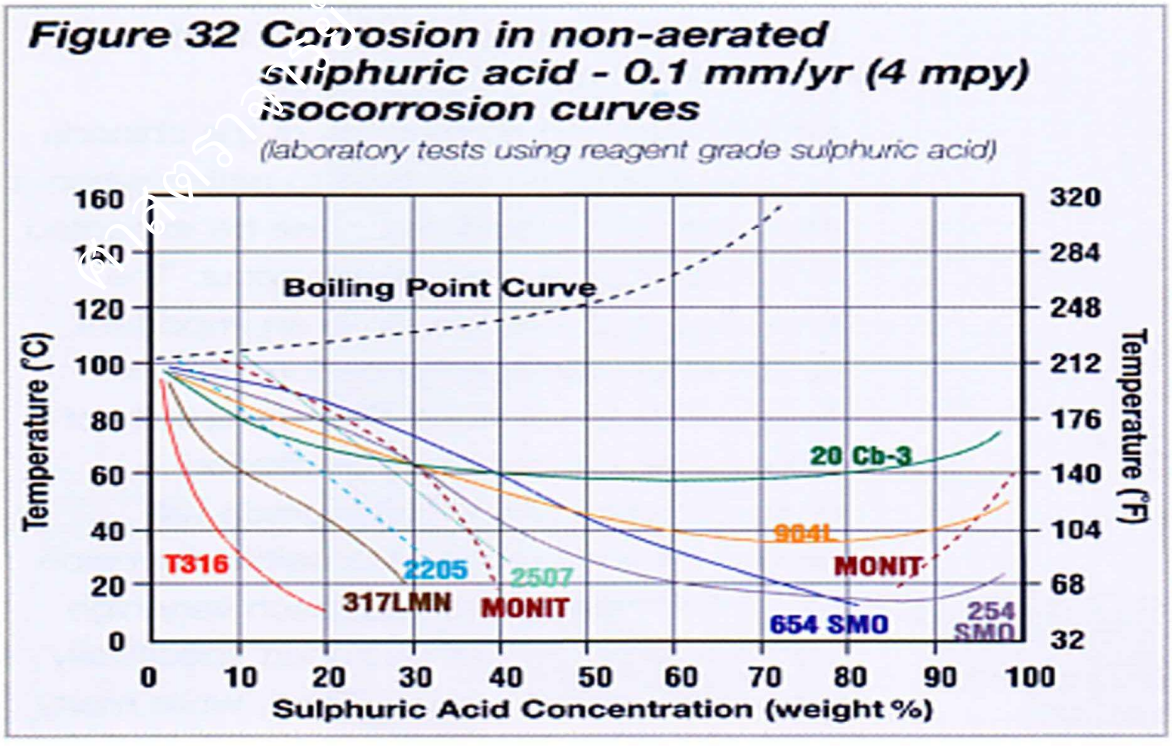
| ความเข้มข้น %<br>อุณหภูมิ °C | 0.1<br>100 | 0.5<br>20 | 0.5<br>50 | 0.5<br>100 | 1<br>20 | 1<br>50 | 1<br>70 | 1<br>85 | 1<br>100 | 2<br>20 | 2<br>50 | 2<br>60 | 3<br>20 | 3<br>35 | 3<br>50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เหล็กกล้าคาร์บอน | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 13%Cr | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 17%Cr | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 18-2 (UNS44400) | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| 3R12<br>(UNS30400) | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 3R60<br>(UNS31600) | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18-13-3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17-14-4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2RK65 (904L)<br>(UNSN08904) | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sanicro28<br>(UNSN 08028) | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 254SMO<br>(UNS31254) | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 654 SMO<br>(UNS32654) | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAF2304<br>(UNS32304) | 1 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAF2205<br>(UNS31803) | - | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SAF2507<br>(UNS32750) | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Titanium | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

ตารางที่ 9.9 ความรุนแรงของความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะและการยอมรับให้ใช้งานได้ [12]

| ระดับ | อัตราการกัดกร่อน | ความรุนแรงการกัดกร่อน |
|---|---|---|
| 0 | <0.1 ม.ม./ปี (<5 mpy) | มีความต้านทานสูง |
| 1 | 0.1-1.0 ม.ม./ปี (5-50 mpy) | ตรวจสอบระยะเวลาการใช้งานเพื่อซ่อมบำรุง |
| 2 | > 1.0 ม.ม./ปี (>50 mpy) | รุนแรงมากไม่แนะนำให้ใช้ |

# ใช้งาน ตามอัตราการกัดกร่อน

Source: Producer Data Sheets

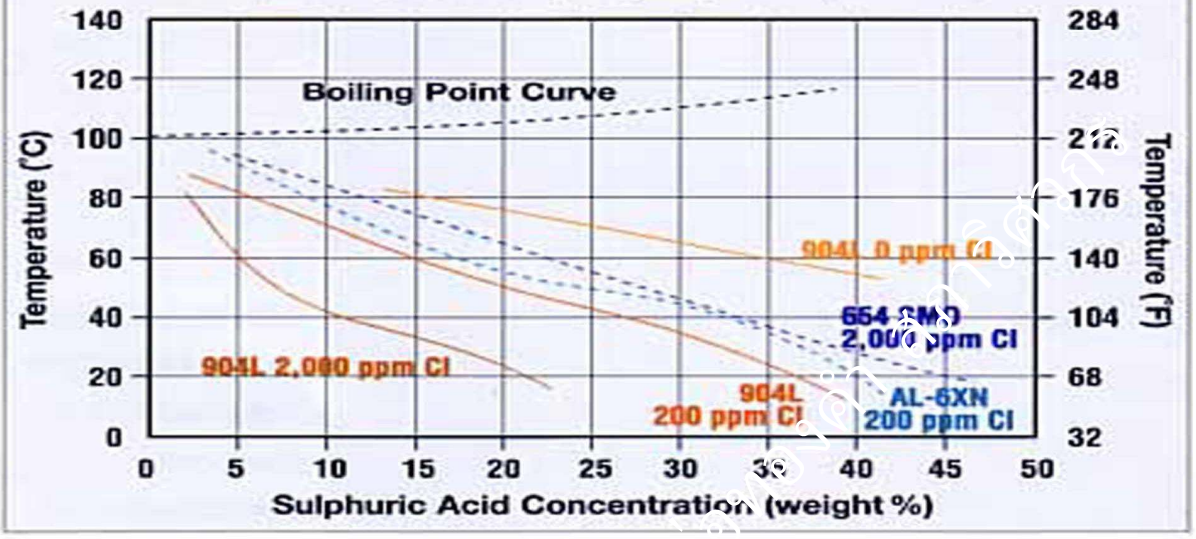


# ใช้งาน ตามอัตราการกัดกร่อน

Source: Producer Data Sheets

**Figure 33 Corrosion in non-aerated sulphuric acid-chloride solutions - 0.1 mm/yr (4 mpy) isocorrosion curves**

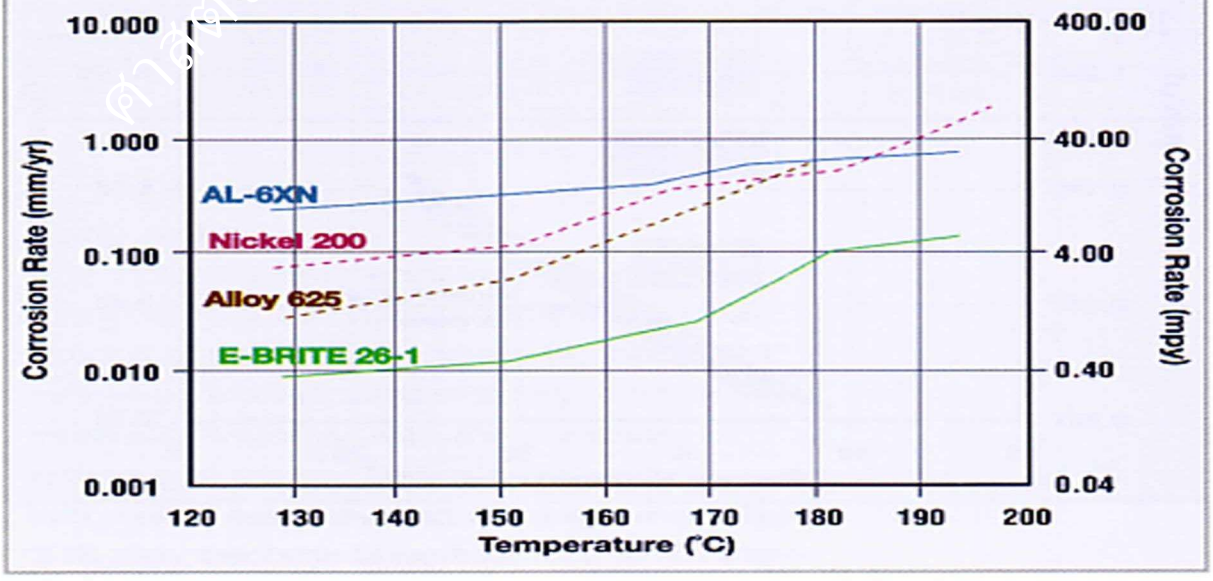
*(laboratory tests using reagent grade sulphuric acid)*



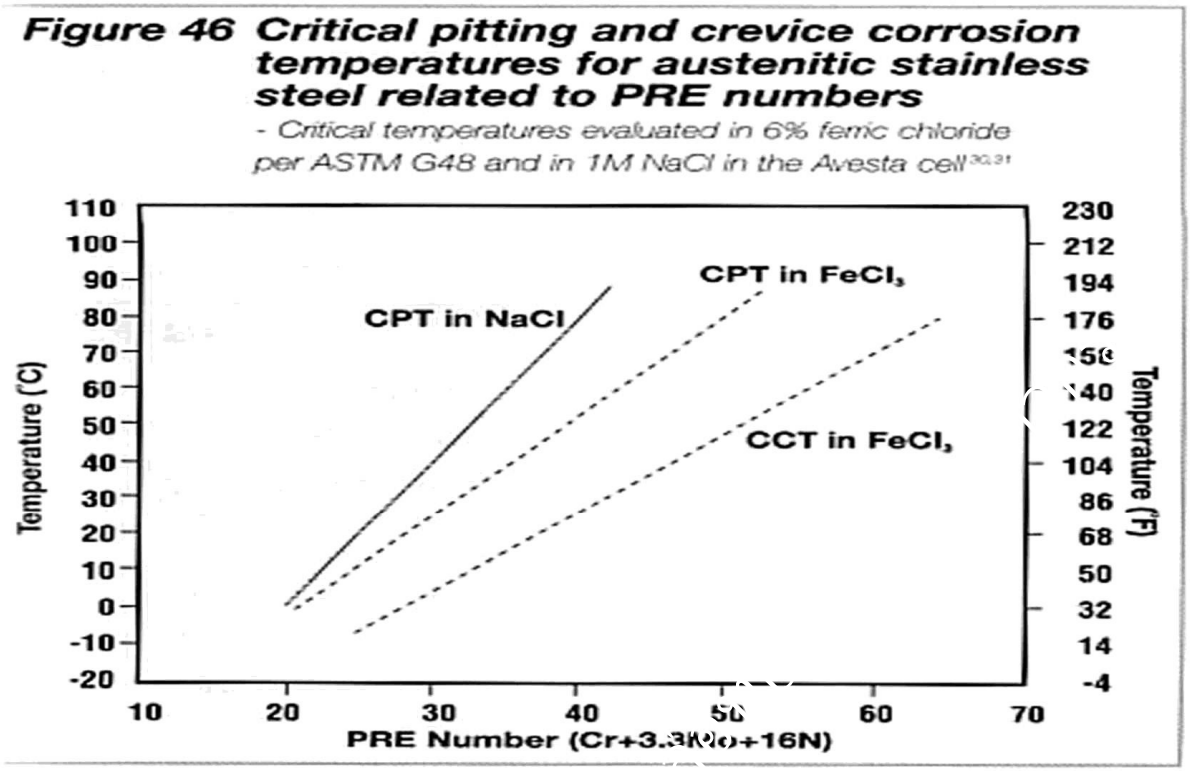

# ใช้งาน ตามอัตราการกัดกร่อน

Source: Producer Data Sheets

**Figure 44 Corrosion of high performance stainless steels and other alloys in a simulated caustic evaporator liquid of (wt. %): $43NaOH + 7NaCl + 0.15NaClO_3 + 0.45Na_2SO_4$**



# ใช้งาน ตามอัตราการกัดกร่อน




# เอกสารอ้างอิง


- กอบบุญ หล่อทองคำ ตำราเหล็กกล้าไร้สนิม
- สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ISBN 789740340294 2564.
- Handbook of Stainless Steel, ASM Specialty Handbook, ASM International USA.
- D. Peckner and I.M. Bernstein, editors, Handbook of Stainless steels , McGraw-Hill, New York, 1977.
- Stainless Steels, Ugine group, France.
- Corrosion Handbook of Stainless Steel, Otokumpu, Finland.
- Corrosion Handbook of Stainless Steel, Avesta Scheffield, Sweden.
- Corrosion Handbook of Stainless Steel, Sanvik, Sweden.


ศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ