

Martensitic Stainless Steel 4125



□ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Cr	Mo
	0.95-1.20	16.0-18.0	0.40-0.80
AISI	440C		
JIS	SUS 440C		
DIN	1.4125 / X105CrMo17		
สภาพจำหน่าย	อบอ่อน ความแข็งสูงสุด 270 HB		
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งและอบคืนตัว ความแข็ง 58-60 HRC		

4125 จัดเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติคที่สามารถชุบแข็งให้ได้ค่าความแข็งสูงสุดในกลุ่ม จึงมีความต้านทานต่อการเสียดสีสูงสุด มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีโดยเฉพาะเมื่อผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัว ชุบแข็งได้ง่าย สามารถใช้สารชุบเป็นน้ำมันหรืออากาศได้ และสามารถทำการชุบแข็งแบบมาร์เทมเปอร์ริงได้ ซึ่งจะช่วยป้องกันชิ้นงานจากปัญหาการบิดงอหรือแตกร้าวภายหลังจากการชุบแข็ง มีความสามารถในการตัดกลึงและการเชื่อมต่ำมาก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแข็ง ความต้านทานต่อการสึกหรอสูง ร่วมกับมีความต้านทานต่อการกัดกร่อน

○ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- มีความต้านทานต่อการสึกหรอและการเสียดสีสูงมาก
- มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีมาก
- ให้ความแข็งสูงมากภายหลังการชุบแข็ง
- มีความสามารถในการชุบแข็งสูงมาก ชุบแข็งได้หลายวิธี
- สามารถทำการขัดเงาจนใสคล้ายกระจกได้
- มีความสามารถในการตัดกลึงต่ำ
- มีความสามารถในการเชื่อมประสานต่ำ
- มีสถานะทางแม่เหล็กในทุกสภาพ
- สามารถทำไนโตรดิ่งได้

○ การใช้งาน (Applications)

- แม่พิมพ์งานพลาสติกที่ต้องทนต่อความเค้นสูง ๆ และต้องทนต่อการสึกหรอและไม่เป็นสนิม
- แม่พิมพ์ปั๊ม ริดกระป๋อง
- ลูกปืนและตลับลูกปืน (แบบริง)
- ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของวาล์วและปั๊ม
- หัวฉีด และหัวพ่น (Nozzles) ในงานต่าง ๆ

□ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20°C ถึง Coefficient of thermal expansion between 20°C (10 ⁻⁶ /°C)	100°C	200°C
	10.5	11.0
	300°C	400°C
	11.0	12.0
ค่าการนำความร้อน ที่ 20°C Thermal Conductivity (W/m-K)	29.0	
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C Modulus of elasticity (10 ³ N/mm ²)	230	
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20°C Specific heat at 20°C (J/kg-K)	460	
ความต้านทานไฟฟ้า ที่ 20°C Electric resistance (Ω·mm ² /m)	0.65	
ความหนาแน่น / Density (g/cm ³)	7.7	
สภาพทางแม่เหล็ก / Magnetizability	ซึมซับ	

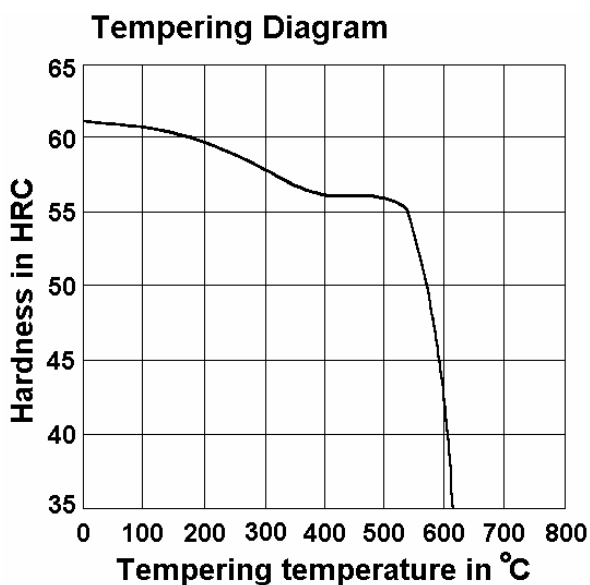
□ คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

Working Condition	Temper (°C)	0.2% Y.S. (MPa)	U.T.S. (MPa)	Elongation (%)
Annealed	-	482	758	13
Hardened	315	1896	1965	2

□ กระบวนการอบชุบความร้อน (Heat Treatments)

ตารางที่ 1 กระบวนการอบชุบทางความร้อน

การอบอ่อน	อุณหภูมิ (°C)		การเย็นตัว	ความแข็ง
	800-850			
การเผาอ่อนชิ้นงาน	ชั้นที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา/ความหนา	
	1	540	30 วินาที/มม.	
	2	760-790	นานเพียงพอ	
การชุบแข็ง	อุณหภูมิ (°C)		สารชุบ	ความแข็ง
	1000-1050			
การอบคืนตัว	อุณหภูมิ (°C)		การเย็นตัว	ความแข็ง
	100-300°C			



รูปที่ 1 แผนภาพการอบคืนตัวของ 4125

ก่อนทำการชุบแข็ง เพื่อหลีกเลี่ยงการบิดงอของชิ้นงานที่เกิดจากการมีความเค้นตกค้างภายใน ภายหลังจากการกลึงหยาบควรทำการอบคลายความเครียดที่อุณหภูมิ 600-650°C จากนั้นจึงทำการกลึงละเอียด และชุบแข็งต่อไป

การชุบแข็ง 4125 จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ และทำการเผาอ่อนชิ้นงานเป็นขั้น ๆ โดยควรทำการเผาอ่อนชิ้นงานขั้นที่ 1 ที่อุณหภูมิ 540°C และทำการเผาอ่อนชิ้นงานขั้นที่ 2 ที่อุณหภูมิ 760-790°C คงไว้เป็นเวลานานเพียงพอที่ทำให้ชิ้นงานมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด และควรป้องกันการสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวด้วยโดยการควบคุมบรรยากาศ หรืออบชุบในเตาสู่ญญากาศ

○ การอบอ่อน (Annealing)

การอบอ่อน 4125 สามารถอบอ่อนได้หลายวิธี สำหรับการอบอ่อนเต็มที (Full annealing) จะทำได้โดยการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 845-900°C ภายใต้อากาศที่สามารถป้องกันการสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวได้ เช่น ในเตาสู่ญญากาศหรือในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ระยะเวลาคงไว้จะอยู่ในช่วงประมาณ 1-4 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน หลังจากนั้น ปล่อยให้เย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วไม่เกิน 17-22°C/hr จนถึงอุณหภูมิ 595°C จากนั้นสามารถปล่อยให้เย็นตัวลงในอากาศได้ ความแข็งที่ได้ ภายหลังจากการอบอ่อนแบบเต็มทีจะไม่เกิน 270 HB

○ การปกป้องผิวสูญเสียคาร์บอน (Protection Against Decarburization)

เหล็กกล้าเครื่องมือ และเหล็กกล้าโลหะผสมสูงทุกเกรด จำเป็นต้องป้องกันการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวในระหว่างกระบวนการอบชุบทางความร้อน โดยเลือกใช้สภาวะในการอบชุบได้ดังนี้

- ชุบแข็งในเตาสู่ญญากาศ
- ชุบแข็งในอ่างเกลือ
- ชุบแข็งในเตาควบคุมบรรยากาศ
- ท่อหุ้มเหล็กกล้าเครื่องมือด้วย เศษเหล็กหล่อ ผงถ่านโค้ก หรือผงถ่านไม้

○ การอบคืนตัว (Tempering)

การอบคืนตัวเหล็กกล้าเครื่องมือที่ผ่านการชุบแข็งมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดระดับความเค้นสะสมในชิ้นงาน และเพื่อให้เหล็กมีความเหนียวแกร่งและมีความแข็งที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานได้ต่อไป ชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งแล้ว ต้องรีบนำไปทำการอบคืนตัวต่อไปทันที เพื่อลดความเสี่ยงของปัญหาจากการเกิดรอยแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้นจากการจุ่มชุบ การอบคืนตัวจะทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้า ๆ ไปที่อุณหภูมิการอบคืนตัวที่ได้กำหนดไว้ตามความแข็งที่ต้องการใช้งาน (ดังรูปที่ 1) การอบคืนตัวใช้ระยะเวลาในการเผาแช่ประมาณ 1 ชม.ต่อความหนา 20 มม. และควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อยที่สุด 2 ชม. จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ แล้วทำการตรวจสอบค่าความแข็งที่ได้

สำหรับ 4125 ควรอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิ 100-300°C โดยอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 165°C หรือสูงกว่านี้เล็กน้อย ถ้าต้องการความแข็งใช้งานอย่างน้อย 60 HRC และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 190°C ถ้าต้องการความแข็งอย่างน้อย 58 HRC การอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 357°C ความแข็งที่ได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 52-56 HRC และควรอบคืนตัว 2 ครั้ง เพื่อให้มีปริมาณออกซิเจนในเนื้อเหล็กเหลือน้อยที่สุด ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้องทุกครั้ง



□ การขึ้นรูปและการแปรรูป (Processing)

○ การออกแบบ (Design)

การออกแบบมีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของเหล็กกล้าเครื่องมือ ความเสียหายอาจเกิดขึ้นได้ภายในระยะเวลาอันสั้นถ้าการออกแบบมีความผิดพลาด โดยทั่วไปมีปัจจัยบางประการที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดรอยแตกฉีกหรือความเสียหายแก่ชิ้นงาน คือ

- การออกแบบที่มีผนังบางมากเกินไป
- การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดอย่างฉับพลัน
- การมีรอยบากที่มีมุมแหลมคม รวมทั้งการมีรั้วรอยที่เกิดจากการขัดกลึง การตอกรหัสและหมายเลขบนชิ้นงาน

ในการออกแบบควรทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่สมมาตรที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และถ้าหากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดความแตกต่างทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากระหว่างผิวหน้ากับภายในได้ในระหว่างกระบวนการอบชุบ จะต้องพิจารณาว่าจะสามารถแบ่งส่วนชิ้นงานออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้หรือไม่ ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นประโยชน์เมื่อเกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์บริเวณส่วนหนึ่งส่วนใด จะสามารถทำการลับเปลี่ยนทดแทนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูงก็จะช่วยลดปัญหาจากการมีรอยบากลงได้ การมีผิวที่แข็ง สะอาด เรียบและมันเงา ปราศจากรอยขีดข่วน รวมทั้งการกำหนดค่ามอดูลีให้มากที่สุด ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด ก็จะมีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

○ การทุบขึ้นรูป (Forging)

ตารางที่ 3 การทุบขึ้นรูป 4125

การทุบขึ้นรูป	อุณหภูมิ (°C)	เย็นตัว
	1175-1040	ช้า (อบอ่อน)

การทุบขึ้นรูป 4125 จะเริ่มทุบในช่วงอุณหภูมิ 1040-1175°C และห้ามทุบเมื่อมีอุณหภูมิต่ำกว่า 955°C ปล่อยให้เย็นตัวช้า ๆ จากอุณหภูมิทุบขึ้นสุดท้าย และทำการอบอ่อนต่อไป



○ การกลึงแปรรูป (Machining)

ภายหลังการกลึงหยาบชิ้นงาน ควรทำการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 600-650°C และทำการชุบแข็งและอบคืนตัว ก่อนทำการกลึงละเอียด (finish machining)

ตารางที่ 4 แนะนำค่าพารามิเตอร์สำหรับการกลึงแปรรูป

Turning				
Cutting materials	Operation	Cutting S. (m/min)	Feed R. (mm/rev)	Depth of cut (mm)
3207	Roughing	10-20	0.2-0.4	2-4
3207	Finishing	20-30	0.1-0.2	0.5-1
HM P25/30	Roughing	50-90	0.3-0.6	2-5
HM P10/P15	Finishing	70-120	0.1-0.3	0.5-1
P25 TiC/TiN	Roughing	115-175	0.4-1.0	3-8
P15 TiC/Al2O3/TiN	Finishing	235-350	0.1-0.4	0.75-3
Milling				
Cutting materials	Operation	Cutting S. (m/min)	Feed R. = 1) mm/min 2) mm/tooth	Depth of cut (mm)
3243	Roughing	15-25	1) 20-50	6-10
3243	Finishing	10-15	1) 20-40	0.5-2
3243/TiN	Roughing	25-40	1) 20-60	6-10
3243/TiN	Finishing	40-65	1) 50-120	0.2-2
HM Milling	Roughing	40-80	2) 0.1-0.3	2-6
HM Milling	Finishing	60-100	2) 0.15	1-2
HM Mill/TiN	Roughing	80-160	2) 0.2-0.4	2-6
HM Mill/TiN	Finishing	90-180	2) 0.15	1-2
Drilling				
Cutting materials	Cutting Speed (m/min)	Feed (mm/rev)	Drill-diameter (mm)	
3343 / 3243	6-10	0.04-0.16	8-16	
3343 / 3243 / TiN	15-20	0.12-0.20	8-16	
HM K10	30-50	0.06-0.20	20-47	

○ การเจียรไน (Grinding)

การเจียรไนผิวชิ้นงาน ควรปฏิบัติตามคำแนะนำดังนี้

- ใช้ล้อขัดให้ถูกต้อง ทั้งด้านชนิดขนาดและพันธะของเม็ดขัด
- ผิวชิ้นงานที่แข็งควรใช้ล้อขัดที่มีความอ่อนนุ่ม
- ใช้แรงกดให้เหมาะสม ผิวที่แข็งควรใช้แรงกดลดลง
- ใช้สารหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนให้มากที่สุดเพียงพอและควบคุมทิศทางการไหลให้ถูกต้อง

○ การขัดเงา (Polishing)

คุณภาพของผิวขัดเงาจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ

λ คุณภาพของเหล็กทำแม่พิมพ์

ผิวที่ได้จากการขัดเงาจะขึ้นอยู่กับการมีสารมลทินปนเปื้อนในเนื้อเหล็ก หรือการมีความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ควรมีความสะอาดและบริสุทธิ์สูง รวมทั้งมีโครงสร้างและความแข็งสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้น ซึ่งกระบวนการผลิตเหล็กแบบ ESR(Electro Slag Remelting) และ VAR (Vacuum Arc Remelting) จะช่วยให้เหล็กมีความบริสุทธิ์สูงและมีโครงสร้างที่สม่ำเสมอได้มากที่สุด

λ สภาพการอบชุบทางความร้อน

ผิวของชิ้นงานที่แข็งกว่าจะทำให้ขัดเงาได้ดีกว่า ผิวที่มีความแข็งมากกว่า 50 HRC จะสามารถขัดเงาจนใสคล้ายกระจกได้ และถ้าผิวของชิ้นงานมีความแข็งน้อยกว่านี้ จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดผิวเป็นคลื่น (orange peel)

λ วิธีการขัดเงา

นอกจากนี้ผิวที่ได้จากการขัดเงาจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและความชำนาญของผู้ขัดอย่างมาก การเพิ่มความละเอียดของเม็ดขัดที่ละเอียด จะทำให้ได้คุณภาพของผิวขัดเงาดีขึ้น

○ การเชื่อม (Welding)

การเชื่อม 4125 แนะนำให้ใช้ลวดเชื่อมที่หุ้มฟลักซ์เบสิกและมีส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกับ 4125 ให้มากที่สุด ถ้าเป็นไปได้

สำหรับชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการอบอ่อน : ทำการเผาอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิ 350-500°C ทำการเชื่อมที่อุณหภูมินี้ อบคลายความเครียดทันทีภายหลังจากการเชื่อมเสร็จที่อุณหภูมิ 650-750°C คงไว้เป็นเวลา 2 ชม.

สำหรับชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการชุบแข็งแล้ว : ทำการเผาอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิมอบคืนตัวแต่ต้องไม่ต่ำกว่า 250°C ทำการเชื่อมที่อุณหภูมินี้ ให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งที่อุณหภูมิ 300°C คงไว้เป็นเวลา 2-3 ชม. ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 80-100°C ทำการอบคืนตัวครั้งที่ 2 ที่ 300°C ปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

○ การอบคลายความเค้นระหว่างการใช้งาน (Intermediate Stress-Relieving)

สำหรับเครื่องมือที่ต้องได้รับความเค้นสูง ๆ มาก ในระหว่างการใช้งาน การอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการอบคืนตัวครั้งสุดท้าย 30°C ในแต่ละครั้ง ในขณะที่มีการหยุดพักงานของเครื่องมือ จะช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นลงได้ ซึ่งจะช่วยให้เหล็กมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

○ การทำไนโตรดิ่ง (Nitriding)

เนื่องจาก 4125 มีคุณสมบัติของการต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงสามารถทำไนโตรดิ่งได้

ก่อนทำไนโตรดิ่ง 4125 จะต้องผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการทำไนโตรดิ่งก่อน และชิ้นงานจะต้องถูกล้างทำความสะอาดและกำจัดคราบไขมันออกให้หมด จากนั้นทำการเผาอ่อนชิ้นงานที่อุณหภูมิ 350-400°C และจึงสามารถทำไนโตรดิ่งได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

- ไนโตรดิ่งในอ่างเกลือ อุณหภูมิ 520-570°C เวลา 2 ชม.
- แก๊สไนโตรดิ่ง อุณหภูมิ 450-480°C เวลา 15-30 ชม.
- ผงโลหะไนโตรดิ่ง อุณหภูมิ 500-570°C เวลา 3-5 ชม.
- พลาสมาไนโตรดิ่ง อุณหภูมิ 400°C ถึง 600°C

การทำไนโตรดิ่งในอ่างเกลือ หรือทังไฟไทรดิ่ง จะเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งเมื่อนำชิ้นงานออกจากอ่างเกลือแล้ว ชิ้นงานจะถูกจุ่มชุบลงในน้ำมันที่และแช่ไว้ จนมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 200-250°C จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ

สำหรับชิ้นงานที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการบิดงอหรือแตกร้าวในระหว่างการเย็นตัว การจุ่มชุบในตอนแรกควรปล่อยให้เย็นตัวลงในอากาศจนมีอุณหภูมิ 300°C จากนั้นจึงนำไปจุ่มลงในน้ำมัน ความแข็งของผิวเหล็กไนโตรดิ่งที่ได้จะอยู่ในช่วงประมาณ 1100 HV (~70 HRC) และไม่ควรทำการเจียระไนผิวชิ้นงานแต่สามารถทำการขัดเงาเพียงบาง ๆ ได้

○ การเคลือบผิวแข็งโครเมียม (Hard Chromium Plating)

4125 ที่เคลือบผิวแข็งโครเมียม ควรอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180-260°C ระยะเวลา 4-6 ชม. เพื่อหลีกเลี่ยงการเปราะจากอิทธิพลของไฮโดรเจน