

Cold Work Steel

2510



□ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Mn	Cr	V	W
	0.95	1.1	0.6	0.1	0.6
AISI	O1				
JIS	SKS-3				
DIN	1.2510 / 100MnCrW4				
สภาพจำหน่าย	อบอ่อน ความแข็งสูงสุด 230 HB				
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งและอบคืนตัว 58-64 HRC				

2510 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานเย็นที่สามารถชุบแข็งด้วยน้ำมัน จากการที่ผสมกันระหว่างของธาตุคาร์บอนและแมงกานีสอย่างละประมาณ 1.0% โดยน้ำหนักทำให้มีความสามารถในการชุบแข็งลึก (Hardenability) ได้ดีเยี่ยม นอกจากนี้ 2510 ยังให้ความแข็งที่สูงมากภายหลังการชุบแข็ง (64 HRC) มีความเหนียวแกร่งดีมาก สามารถนำไปใช้งานทั่วไปที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 200°C ได้อย่างกว้างขวาง จากการให้ผิวที่แข็งและมีความเหนียวแกร่งที่ภายในดีภายหลังการอบคืนตัว

○ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- รักษาความแข็งของคมตัดได้ดีพอสมควร
- ชุบแข็งได้ลึก ให้ความแข็งสูงหลังการชุบแข็ง
- มีความเหนียวแกร่งดี
- ต้านทานการสูญเสียคาร์บอนที่ผิวได้ดีระหว่างการอบชุบ
- ตัดกลึง ได้ง่าย
- สามารถชุบฮาร์ดโครมหลังการชุบแข็งได้

□ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ		
ค่าการนำความร้อน	20°C	350°C	700°C
Thermal Conductivity (J/cm·s·°C)	0.335	0.320	0.309
สัมประสิทธิ์การยืดตัว	20°C	200°C	400°C
Modulus of elasticity (10 ⁵ N/mm ²)	2.0	1.9	1.8
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C	210		
Modulus of elasticity (GPa)			
ความหนาแน่น	7.85		
Density (g/cm ³)			
สภาพทางแม่เหล็ก	ซึมซับ		
Magnetizability			

○ การใช้งาน (Applications)

2510 นิยมใช้ทำ แม่พิมพ์แบล็กกิ้ง แม่พิมพ์ สเตมปีง แม่พิมพ์เพรส แม่พิมพ์ตัดอโลหะแผ่น แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ ที่มีปริมาณการผลิตไม่สูงมากนัก สำหรับงานแบล็กกิ้งโลหะแผ่นหนาไม่เกิน 4 มม. นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำแม่พิมพ์รีดเกลียว ส่วนประกอบในแม่พิมพ์ที่ต้องการความแข็งสูง ดอกสว่านเจาะไม้ หรือพลาสติก บรอกซ์ (broaches) เครื่องมือวัดละเอียด แม่พิมพ์พลาสติก ไบมีดตัดเฉือนพลาสติกและไม้ ตัวอย่างของการนำไปใช้งานดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการใช้งานของ 2510

การใช้งาน	ความแข็ง (HRC)
แม่พิมพ์แบล็กกิ้งและส่วนประกอบ	
Blanking dies and stamping dies (โลหะแผ่นหนาไม่เกิน 4 มม.)	58-62
Blanking dies สำหรับ ไม้, ยาง, หนัง, ผ้า และกระดาษ	58-64
Pressure part, pressure pad, intermediate plate	56-60
Stripper, stripper plate	58-60
Spring bolt, punch guide, guide pin, guide column	58-60
Ejector plate	56-60
Hold down fixture	58-62
ไบตัดเฉือน	
วัสดุตัดหนาไม่เกิน 4 มม.	56-60
ไบตัดงานพลาสติก	56-60
เครื่องมือสำหรับงานขึ้นรูปเย็น	
Punches and dies for cold extrusion	58-62
Deep drawing tools	60-64
Stamping tools	58-62
Bending tools	58-62
Rim rolling tools	56-62
แม่พิมพ์พลาสติกและส่วนประกอบ	
แม่พิมพ์ขนาดเล็กถึงขนาดกลาง	54-60
Pressure pad, lead pin	58-62
Sprue bushing	58-60
เครื่องมือวัดละเอียด	56-62

หมายเหตุ ค่าความแข็งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสภาพการนำไปใช้

□ กระบวนการอบชุบความร้อน (Heat Treatments)

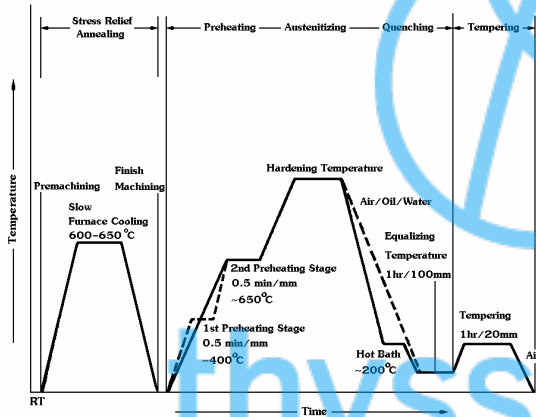
ตารางที่ 2 กระบวนการอบชุบทางความร้อน

การอบอ่อน	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	ความแข็ง
	740-770	ในเตา	≤ 230 HB
การอบคลาย ความเค้น	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	
	650-675	อากาศ	
การเผาอุ่น ชิ้นงาน	ขั้นที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา/ความหนา
	1	400	30 วินาที/มม.
	2	650	30 วินาที/มม.
การชุบแข็ง	อุณหภูมิ (°C)	สารชุบ	ความแข็ง
	780-820	น้ำมัน/อ่างร้อน 180-220°C	64 HRC

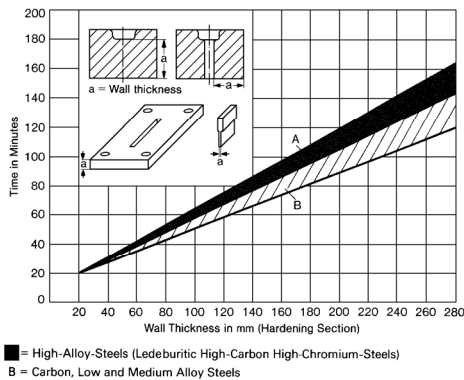
การอบคืนตัว

T (°C)	100	200	300	400
HRC	64	62	57	53

μ ขั้นตอนการชุบแข็ง (Hardening Processes)



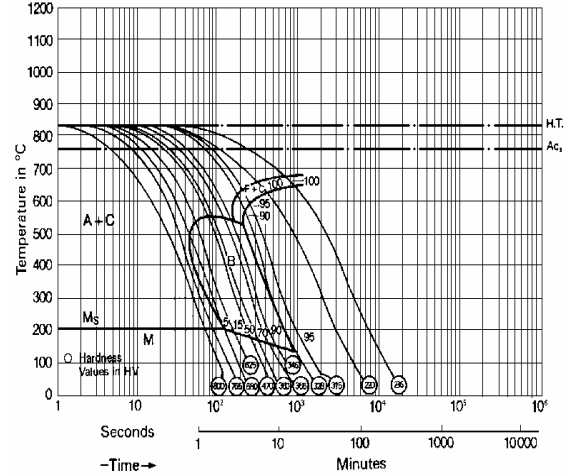
รูปที่ 1 แผนภาพการชุบแข็ง 2510



■ = High-Alloy-Steels (Ledeburitic High-Carbon High-Chromium-Steels)
B = Carbon, Low and Medium Alloy Steels

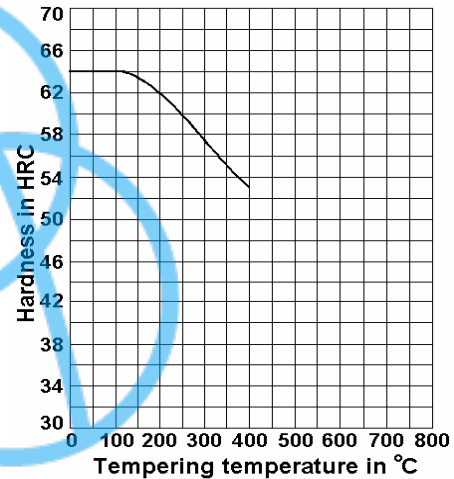
รูปที่ 2 เวลาการเผาแซ่กับความหนาของ 2510

Time-Temperature-Transformation-Diagram



รูปที่ 3 CCT diagram ของ 2510

Tempering Diagram



รูปที่ 4 แผนภูมิการอบคืนตัว 2510

○ การชุบที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศา (Subzero Cooling)

โดยปกติภายหลังจากการอบชุบทางความร้อนเหล็กเครื่องมือมักมีปริมาณของออสเทนไนต์หลงเหลือจำนวนหนึ่งเสมอ ซึ่งสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ได้ภายในภายหลัง และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางขนาดที่เล็กน้อย แต่ในบางลักษณะงานก็อาจไม่สามารถยอมรับได้ เช่นในอุปกรณ์เครื่องมือวัดละเอียดต่าง ๆ ซึ่งวิธีการที่ดีที่สุดในการกำจัดปริมาณของออสเทนไนต์หลงเหลือให้หมดไป คือ การแช่แข็งเหล็กเครื่องมือที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -80°C ภายหลังจากการจุ่มชุบ และหลังจากนั้นทำการ อบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 120-150°C ต่อไป วิธีการนี้จะมีผลเหมาะสมมากสำหรับเครื่องมือวัดละเอียด และวิธีการนี้ควรทำซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง

□ การขึ้นรูปและการแปรรูป (Processing)

○ การออกแบบ (Design)

การออกแบบมีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของเหล็กเครื่องมือ ชิ้นงานส่วนใหญ่มักเกิดความเสียหายได้ภายในระยะเวลาอันสั้นถ้าการออกแบบมีความผิดพลาด โดยทั่วไปมีปัจจัยบางประการที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดรอยแตกร้าวหรือความเสียหายแก่ชิ้นงาน ได้แก่

- การออกแบบที่มีผนังบางมากเกินไป
- การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดอย่างฉับพลัน
- การมีรอยบากที่มีมุมแหลมคม และการมีริ้วรอยที่เกิดจากการขัด การกลึง และการตอกรหัสรวมทั้งหมายเลขต่าง ๆ บนผิวชิ้นงาน

ในการออกแบบ ควรทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่สมมาตรที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงสูง มีผิวที่แข็ง สะอาดเรียบและมันเงา ปราศจากรอยขีดข่วน รวมทั้งการกำหนดค่ามุมรัศมีในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดให้มากที่สุด จะมีส่วนช่วยให้ชิ้นงานมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น



○ การขึ้นรูปร้อน (Hot Forming)

ตารางที่ 3 แนะนำการขึ้นรูปร้อน 2510

การขึ้นรูปร้อน	อุณหภูมิ (°C)	เย็นตัว
	1050–850	ช้า (ในเตา)
การทุบขึ้นรูป	อุณหภูมิ (°C)	เย็นตัว
	1065–980	ช้า (ในเตา)

การทุบขึ้นรูป 2510 ควรเริ่มทุบในช่วงอุณหภูมิ 1065-980°C และไม่ควรทุบเมื่อชิ้นงานอุณหภูมิต่ำกว่า 845°C เมื่อการทุบเสร็จสิ้น ควรปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้า ๆ ในเตา

○ การกลึงแปรรูป (Machining)

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

ตารางที่ 4 แนะนำค่าพารามิเตอร์สำหรับการกลึงแปรรูป

Machining	High speed tools		Carbide tools	
	Cutting S. m/min	Feed mm/rev	Cutting S. m/min	Feed mm/rev
Turning	15-30	0.10-0.30	70-150	0.3-0.1
Boring	10-18	0.04-0.16		
Thread-cutting	4-6			
Reaming	4-6	0.05-0.40		
Milling (Shank type cutter)		mm/min		mm/min
Depth of cut 8 mm	12-20	20-50	35-70	50-100
depth of cut 1 mm	18-30	35-70	60-100	100-170
Milling (Blade cutters)		mm/min		mm/min
Depth of cut 6 mm			70-120	60-100
Depth of cut 1 mm			100-150	180-270

Carbide tool	turning	P10-P30	HSS tool	boring	3343
	milling	P25-P40		milling	3243
				turning	3207

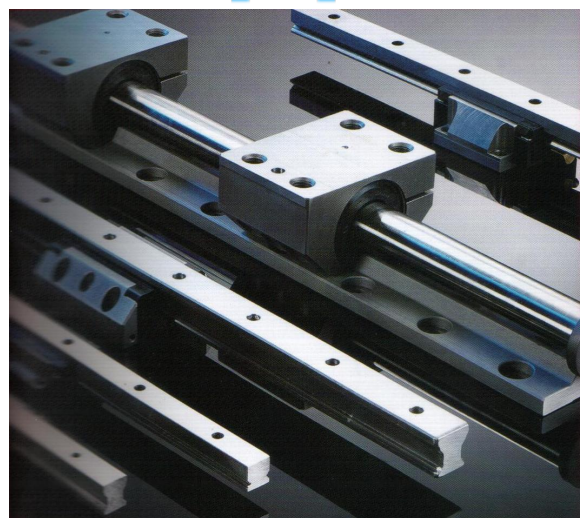
○ การกัดสปาร์ค (Electrical Discharge Machining)

หลังจากการทำ EDM ควรทำการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการอบคืนตัวครั้งสุดท้าย 30°C เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดจากผิวที่ได้จากการทำ EDM

○ การเจียรระไน (Grinding)

การเจียรระไนผิวชิ้นงาน ควรปฏิบัติตามคำแนะนำดังนี้

- ใช้ล้อขัดให้ถูกต้อง ทั้งด้านชนิด ขนาดและพันธะของเม็ดขัด
- ผิวชิ้นงานที่แข็งควรใช้ล้อขัดที่มีความอ่อนนุ่ม
- ใช้แรงกดให้เหมาะสม ผิวที่แข็งควรใช้แรงกดต่ำลง
- ใช้สารหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนให้มากเพียงพอและควบคุมทิศทางการไหลให้ถูกต้อง



○ การขัดเงา (Polishing)

คุณภาพของผิวขัดเงาจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ คือ

๙. คุณภาพของเหล็กทำแม่พิมพ์

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

๙. สภาวะการอบชุบทางความร้อน

ผิวของชิ้นงานที่แข็งกว่าจะทำให้ขัดเงาได้ดีกว่า ผิวที่มีความแข็งมากกว่า 50 HRC จะสามารถขัดเงาจนใสคล้ายกระจกได้ และถ้าผิวของชิ้นงานมีความแข็งน้อยกว่านี้ จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดผิวเป็นคลื่น (orange peel)

๙. วิธีการขัดเงา

นอกจากนี้ผิวที่ได้จากการขัดเงาจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของผู้ขัดอย่างมาก การเพิ่มความละเอียดของเม็ดขัดที่ละเอียด จะทำให้ได้คุณภาพของผิวขัดเงาดีขึ้น ข้อแนะนำสำหรับวิธีการขัดผิวแม่พิมพ์พลาสติกสามารถดูได้จากตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แนะนำขั้นตอนการขัดเงาแม่พิมพ์พลาสติก

ขั้นตอน	เหล็กที่มีความแข็งประมาณ 32 HRC	เหล็กที่มีความแข็งประมาณ 54 HRC
1. การตัดกลึงเบื้องต้น	Milling, Turning, EDM	Milling, Turning, EDM
2. การเจียรหยาบ	180 กริต	180 กริต บนกระดาษทราย หรือผ้าลินิน
3. การเจียรละเอียด	320 กริตบนแท่น จนถึง 500 กริต บนผ้าลินิน	220 กริต บนแท่น จนถึง 320 กริต บนผ้าลินิน
4. การขัดเงา	ผงขัดเพชร 15 μm ผงขัดเพชร 6 μm บนผ้าสักหลาดหรือวัสดุที่มีเส้นใย	ผงขัดเพชร 45 μm บนไม้/ทองแดงแข็ง ผงขัดเพชร 15 μm บนวัสดุเส้นใยแข็งปานกลาง ผงขัดเพชร 6 μm ผงขัดเพชร 3 μm และ 1 μm บนผ้า/สักหลาดที่นุ่ม

○ การเชื่อม (Welding)

การเชื่อม 2510 และเหล็กเครื่องมือทั่วไป มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดแตกร้าวได้อย่างมาก ดังนั้นควรทำการเชื่อมในกรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เท่านั้น

การเชื่อม 2510 แนะนำให้ใช้ลวดเชื่อมที่หุ้มด้วยฟลักซ์เบสิก และสำหรับชิ้นงานได้ผ่านกระบวนการชุบแข็งมาแล้ว ควรใช้ลวดเชื่อมที่มีส่วนผสมของโครเมียมและนิกเกิลเป็นปริมาณมาก เช่น AWS : E 312-16 เป็นต้น นอกจากนี้ควรทำการเผาอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิอบคืนตัวแต่ต้องไม่ต่ำกว่า 200°C ทำการเชื่อมที่อุณหภูมินี้ อบจนถึงอุณหภูมิการอบคืนตัวทันทีทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นตัวในอากาศจนถึง 80°C และอบจนถึงอุณหภูมิการอบคืนตัวอีกครั้ง คงไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

○ การเคลือบผิวแข็งโครเมียม (Hard Chromium Plating)

2510 ที่เคลือบผิวแข็งโครเมียม (ชุบฮาร์ดโครม) ควรอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180°C ระยะเวลา 4 ชม.

○ การอบคลายความเค้นระหว่างการใช้งาน (Intermediate Stress-Relieving)

สำหรับชิ้นงานที่ต้องได้รับความเค้นสูงมาก ๆ ในระหว่างการทำงานนั้น ในช่วงระหว่างที่มีการหยุดพักงาน การอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการอบคืนตัวครั้งสุดท้ายประมาณ 30°C ในแต่ละครั้ง จะสามารถช่วยลดความเค้นสะสมที่เกิดขึ้นในเครื่องมือหรือแม่พิมพ์ ซึ่งจะช่วยให้แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

□ การปรับปรุงคุณภาพผิว (Surface Treatments)

กระบวนการ	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติของเหล็กที่ต้องมี	ความหนาของชั้นผิว	ความแข็ง (HV)
คาร์บูไรซิ่ง	860-900	ปริมาณ C ต่ำ, ไม่ร่องไวต่อการเกิดความร้อนชั้นสูง	จนถึง 2 มม.	สูงสุด 900
ไนไตรดิง	470-570	ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิอบคืนตัว, ชุบแข็งและอบคืนตัวแล้ว, กำจัดพาสฟิฟิล์มแล้ว	จนถึง 0.5 มม.	สูงสุด 1100
โบไรดิง	800-1050	ไม่ควรมี Si ผสม, ไม่ร่องไวต่อการเกิดความร้อนชั้นสูง	จนถึง 0.4 มม.	สูงสุด 2000
ออกซิไดซิ่ง	300-550	ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิอบคืนตัว, ผิวสะอาดปราศจากไขมัน	จนถึง 0.01 มม.	ไม่มีผลต่อความแข็ง
สปาร์ค ดีโพลซิ่ง	>> 1000	ไม่จำเป็น	จนถึง 0.1 มม.	ประมาณ 950
เคลือบ TiC ด้วย CVD	> 900	ไม่ร่องไวต่อการเกิดความร้อนชั้นสูง, ผิวโลหะต้องสุกสว่าง	6-9 ไมครอน	สูงสุด 4800
เคลือบ TiC ด้วย PVD	ประมาณ 500	ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิอบคืนตัว, ต้องมีความแข็งสูงพอ	2-5 ไมครอน	2000-2500
เคลือบ ฮาร์ดโครม	50-70	มีปริมาณ C ต่ำสุด, กำจัดพาสฟิฟิล์มออก, ทนต่อการอบชุบในบรรยากาศปกติได้	จนถึง 1 มม.	1000-1200