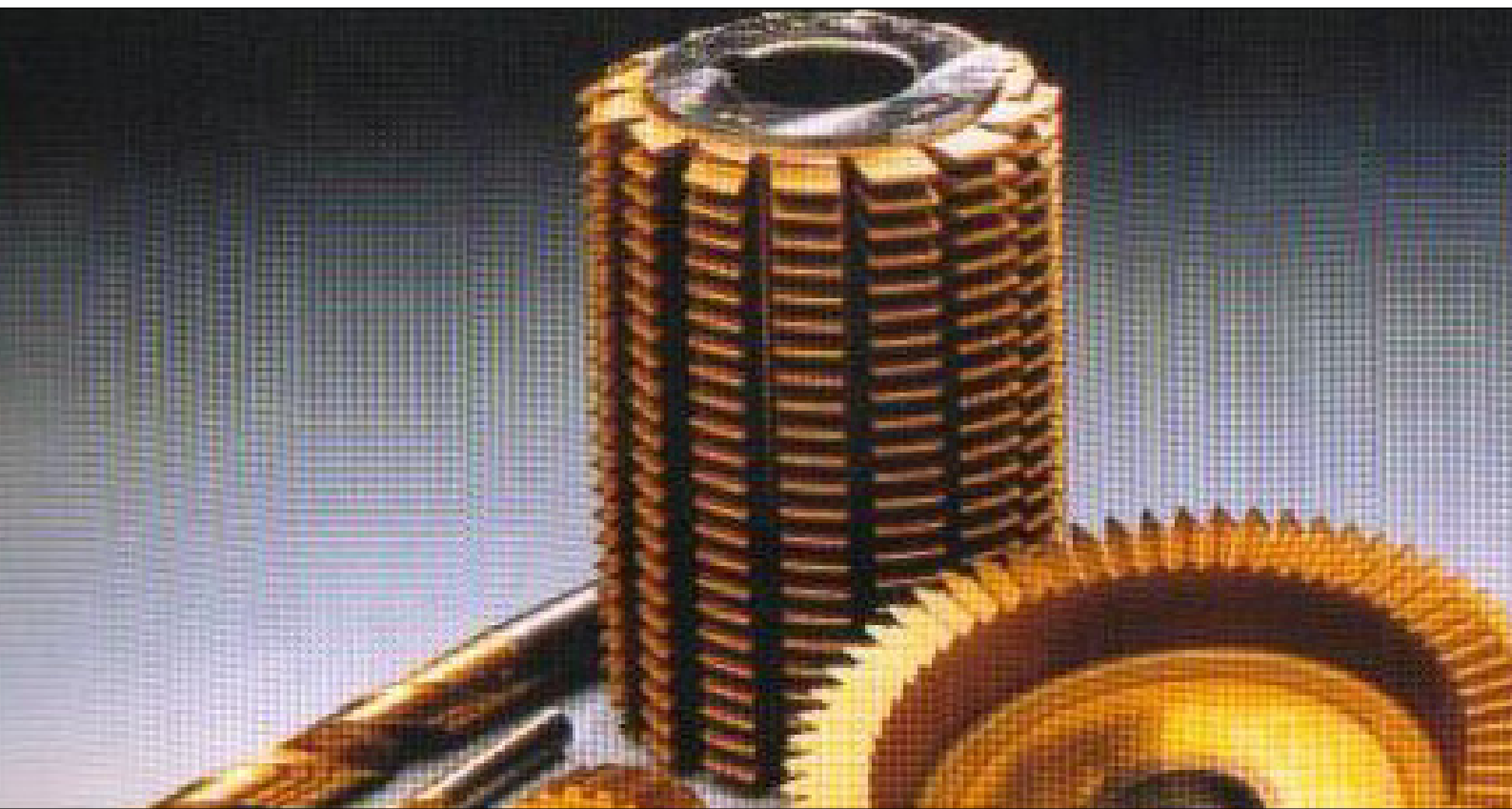


# High Speed Steel

## 3243



## □ คุณลักษณะทั่วไป (General Characteristics)

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Cr	Mo	V	W	Co
	0.9 2	4.1	5.0	1.9	6.4	4.8
AISI	M 35					
JIS	SKH-55					
DIN	1.3243 / HS 6-5-2-5					
สภาพจำหน่าย	อบอ่อน ความแข็งสูงสุด 300 HB					
สภาพหลังชุบ	ชุบแข็งและอบคืนตัว 64-67 HRC					

3243 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มงานความเร็วสูง ที่มีความต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงและคงความแข็งและความแข็งแรงที่อุณหภูมิร้อนแดงได้ดีกว่าเกรด 3343 จากการมีโคบอลต์เป็นส่วนผสม จึงสามารถรักษาคมตัดและทนทานต่อสภาวะการใช้งานได้ดีมากกว่า เหมาะกับงานตัดกลึงวัสดุที่มีความแข็งและความแข็งแรงสูง และมีความเหมาะสมอย่างมากต่อการใช้งานที่มีสภาวะทางความร้อนสูงหรือต้องทนต่อการเสียดสีเป็นเวลานาน เช่นงานตัดกลึงอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น

## ○ คุณลักษณะเด่น (Significant Characteristics)

- ชุบแข็งง่าย ให้ความแข็งสูงมาก
- ต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดีมาก
- รักษาความแข็งที่อุณหภูมิร้อนแดงได้ดีมาก
- รักษาคมตัดได้ดีมาก และยาวนาน
- ต้านทานต่อการสึกหรอดีมาก
- มีความเหนียวแกร่งต่ำ
- สามารถเพิ่มความแข็งผิวด้วยการทำไนไตรดิงได้
- สามารถเคลือบผิวแข็งด้วยเทคนิคพีวีดีและซีวีดีได้

## □ คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ		
ค่าการนำความร้อน/Thermal Conductivity (W/m·K)	20°C	600°C	700°C
	19.0	13.0	12.7
โมดูลัสของการยืดหยุ่น ที่ 20°C Modulus of elasticity ( $10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	217		
ความหนาแน่น / Density (g/cm <sup>3</sup> )	8.10		
สภาพทางแม่เหล็ก / Magnetizability	ซึมซับ		

## ○ การใช้งาน (Applications)

3243 เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงที่สามารถใช้ทำมีดกัดไส (milling cutters) ทุกชนิดสำหรับงานหนัก ดอกสว่านที่ได้รับ ความเค้นสูง รวมทั้งตัดปลายเกลียว ใบเลื่อยวงเดือน (profile cutting blades) มีดกลึงวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง เครื่องมือตัดชนิดมีฟัน สำหรับคว้าน (broaches) และเครื่องมือตัดกลึงวัสดุความแข็งแรงสูงเกือบทุกชนิด

### ตารางที่ 1 ตัวอย่างการใช้งานตัดกลึงของ 3243

เครื่องมือ	งานตัดกลึง (Machining of)					
	เหล็กกล้า/เหล็กหล่อ			โลหะนอกกลุ่มเหล็ก		
	ระดับความเค้น			ระดับความเค้น		
	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	กลาง	สูง
Twist drills	3343	3343	<b>3243</b>	3343	3343	-
Taps	3343	3343	<b>3243</b>	3343	3343	3344
Thread-cutting dies	3343	3343	<b>3243</b>	3343	3343	-
Milling cutters	3343	<b>3243</b>	3207	3343	<b>3243</b>	3207
Reamers	3343	3344	3202	3343	3344	3202
Saws / Saw segments	3343	3343	<b>3243</b>	3343	3343	<b>3243</b>
Tool bits	<b>3243</b>	<b>3243</b>	3207	3207	3207	3207
Planing tools	3207	3207	3207	3207	3207	3207
Broaching tool	3343	3343	<b>3243</b>	3343	3343	-
เครื่องมือ	ไม้			พลาสติก		
	ระดับความเค้น			ระดับความเค้น		
	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	กลาง	สูง
	Twist drills	3343	<b>3243</b>	<b>3243</b>	3343	<b>3243</b>
Taps	-	-	-	3343	3343	3344
Thread-cutting dies	-	-	-	3343	3343	-
Milling cutters	3343	3344	3207	3343	<b>3243</b>	3207
Reamers	-	-	-	3343	3344	3202
Saws / Saw segments	3343	3343	-	3343	3343	-
Tool bits	3343	3344	3207	3207	3207	3207
Planing tools	3343	<b>3243</b>	3207	-	-	-
Broaching tool	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ สำหรับเกรด 3343 อาจใช้เกรด 3243 แทนได้ ซึ่งให้ผลทางประสิทธิภาพที่ดีกว่าเกรด 3343

## □ กระบวนการอบชุบความร้อน (Heat Treatments)

โดยทั่วไป เหล็กกล้าเครื่องมือกลุ่มความเร็วสูงทุกเกรด จะมีแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคกับอุณหภูมิและเวลา (Time-Temperature transformation diagram) คล้ายกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แผนภูมิแสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างร่วมกันได้

สำหรับ 3243 สามารถใช้แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal Transformation diagram) ของ 3343 แทนได้

ตารางที่ 2 กระบวนการอบชุบทางความร้อน

การอบอ่อน	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	ความแข็ง
	820-860	ในเตา	≤ 300 HB
การอบคลายความเค้น	อุณหภูมิ (°C)	การเย็นตัว	
	600-650	ในเตา	
การเผาอ่อนชิ้นงาน	ขั้นที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา/ความหนา
	1	650	30 วินาที/มม.
	2	850	30 วินาที/มม.
3	1050	60 วินาที/มม.	
การชุบแข็ง	อุณหภูมิ (°C)	สารชุบ	ความแข็ง
	1190-1230	น้ำมัน, อากาศ / อ่างเกลือ 550°C	64-67 HRC

## μ ขั้นตอนการชุบแข็ง (Hardening Processes)

### ○ การปกป้องผิว (Protection Against Decarburization)

3243 และเหล็กกล้าเครื่องมือทุกเกรด จำเป็นต้องป้องกันการสูญเสียปริมาณคาร์บอนที่ผิวในระหว่างกระบวนการอบชุบทางความร้อน โดยสามารถเลือกใช้สภาวะในการอบชุบได้ดังนี้

- ชุบแข็งในเตาสถูญญากาศ
- ชุบแข็งในอ่างเกลือ
- ชุบแข็งในเตาควบคุมบรรยากาศ
- ห่อหุ้มเหล็กกล้าเครื่องมือด้วย เศษเหล็กหล่อ ผงถ่านโค้ก หรือ ผงถ่านไม้

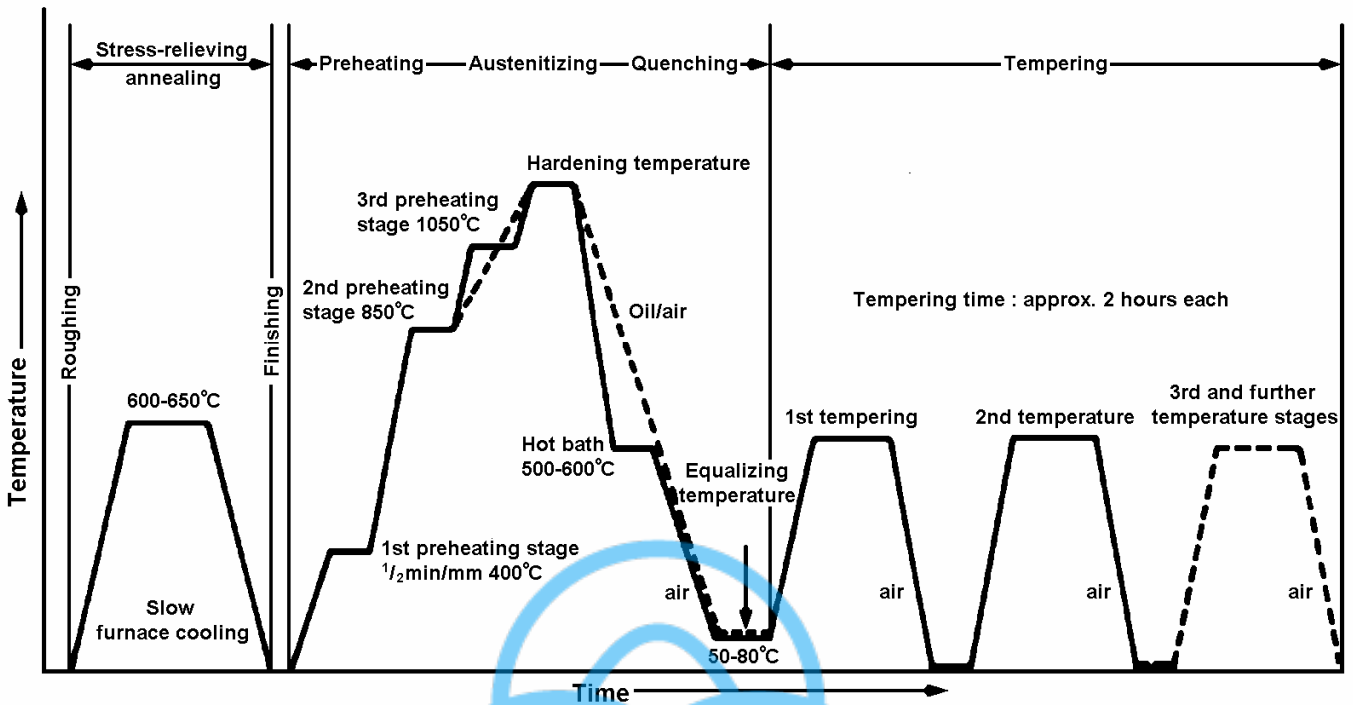
### ○ การเผาอ่อนชิ้นงาน (Preheating)

3243 และเหล็กกล้าเครื่องมืองานความเร็วสูงเกรดอื่นมักมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำมาก ดังนั้นในการอบชุบทางความร้อนจึงจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเค้นจากความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการบิดงอและการแตกร้าว และควรทำการเผาอ่อนชิ้นงานโดยให้ความร้อนเป็นขั้น ๆ ดังในรูปที่ 1 ในการเผาอ่อนชิ้นงานขั้นที่ 1 จะกระทำในเตาพาความร้อน (convention furnace) โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ ไปถึงอุณหภูมิประมาณ 400°C ระยะเวลาคงไว้ 30 วินาทีต่อความหนา 1 มม. จากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิเป็น 850°C ระยะเวลาคงไว้ 1 นาทีต่อความหนา 1 มม. สำหรับการชุบแข็งด้วยเตาเกลือ (Salt Bath) จะทำการเผาอ่อนชิ้นงาน 3 ขั้น คือที่อุณหภูมิ 400°C, 850°C และ 1050°C ตามลำดับ สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่หรือมีรูปร่างซับซ้อนควรเพิ่มการเผาอ่อนชิ้นงานระหว่างขั้นที่ 1 กับขั้นที่ 2 โดยทำการเผาอ่อนที่ 550-650°C เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเค้นทางความร้อนในระหว่างที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิ

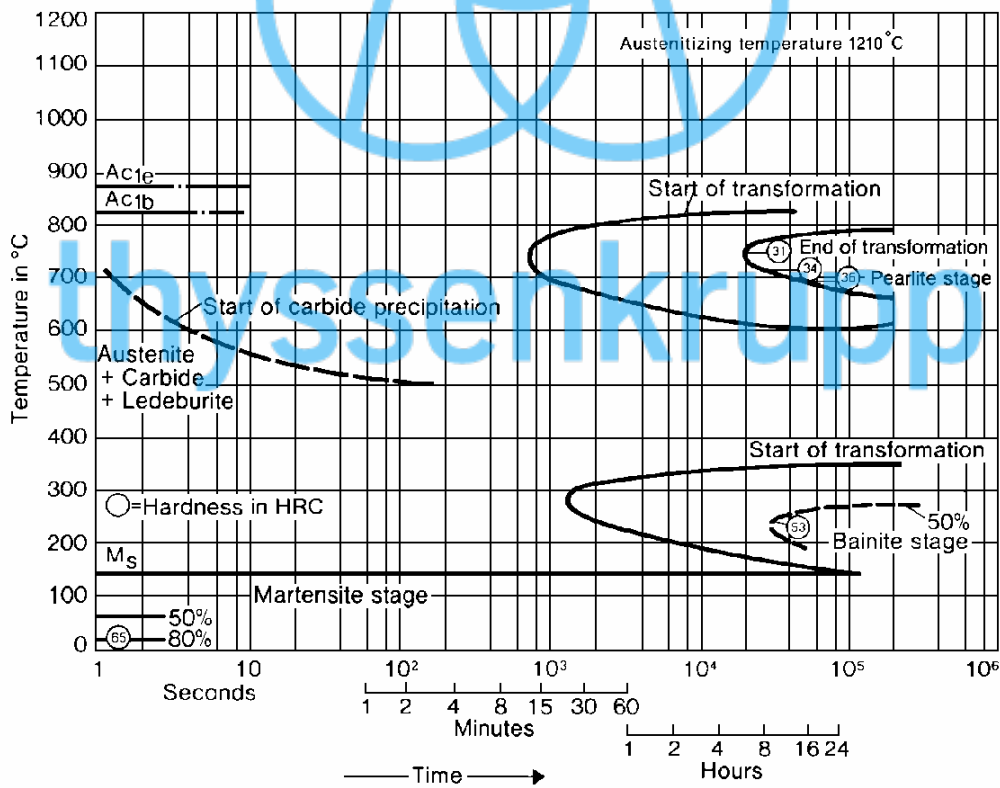
### ○ การอบอสเตนไนต์ (Austenitizing)

การอบอสเตนไนต์สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงมีวัตถุประสงค์เพื่อละลายคาร์ไบด์ในโครงสร้างเหล็กให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปริมาณของการละลายหรือการสลายตัวของคาร์ไบด์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการชุบแข็ง และระยะเวลาในการคงไว้ ซึ่งโดยปกติแล้วอุณหภูมิการเผาอ่อนชิ้นงานขั้นสุดท้ายมักมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิชุบแข็ง และสำหรับเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงที่อุณหภูมิการเผาอ่อนชิ้นงานขั้นสุดท้ายจะทำให้เริ่มเกิดการละลายของคาร์ไบด์บางส่วน ดังนั้นจึงช่วยให้เวลาในการคงไว้ในช่วงอุณหภูมิอบอสเตนไนต์ลดลง

ระยะเวลาของการคงไว้ (holding time) ของเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมี รูปร่างของชิ้นงาน และลักษณะความต้องการใช้งาน ปริมาณการสลายตัวของคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้ คุณสมบัติด้านการคงความแข็งที่อุณหภูมิร้อนแดง (red hardness) ความต้านทานต่อการเปราะและอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง (retention of tempering) ให้สูงขึ้นแต่ก็จะทำให้เหล็กมีความเหนียวแกร่ง (toughness) ต่ำลง



รูปที่ 1 แผนภาพการชุบแข็ง 3243



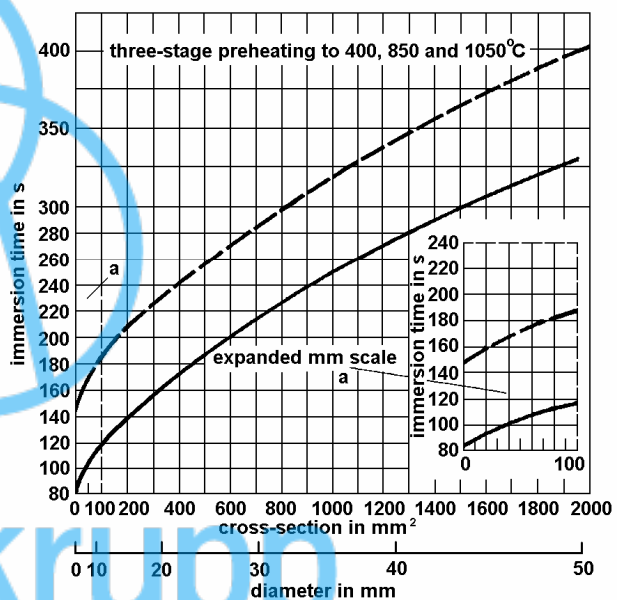
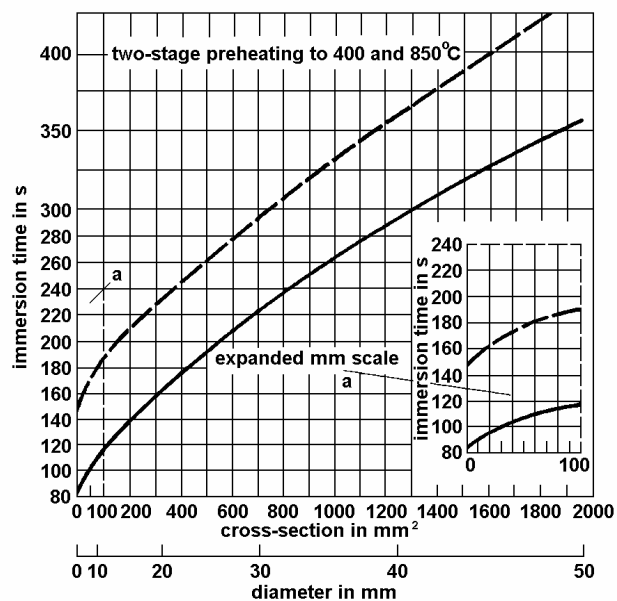
รูปที่ 2 CCT diagram ของเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วยุคสูง

ช่วงเวลาในการเผาแช่ (immersion times) มักหมายถึง ช่วงเวลาทั้งหมดตั้งแต่การเริ่มเพิ่มอุณหภูมิเผาอุ่นชิ้นงานจนกระทั่ง นำชิ้นงานออกจากเตาเพื่อจุ่มชุบ ดังนั้นช่วงเวลาของการเผาแช่จะ ประกอบด้วยช่วงเวลา 2 ช่วงต่อเนื่องกัน คือช่วงเวลาที่เริ่มต้นจากการเผาอุ่นชิ้นงานในขั้นสุดท้ายจนถึงอุณหภูมิชุบแข็ง และช่วงระยะเวลาคงไว้ที่อุณหภูมิชุบแข็ง (holding time) จนชิ้นงานออกจากเตาเพื่อจุ่มชุบ

ช่วงเวลาของการเพิ่มอุณหภูมิจนเข้าสู่อุณหภูมิชุบแข็งขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ดังนั้นช่วงเวลาในการเผาแช่จึงขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน โดยปกติช่วงเวลาในการคงไว้ที่อุณหภูมิชุบแข็ง มักจะประมาณ 80 วินาที ดังกราฟเส้นทึบในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมเมื่อทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิเข้าใกล้ขีดจำกัดบนสุดของอุณหภูมิชุบแข็ง กราฟเส้นประในรูปที่ 3 จะมีช่วงเวลาของการคงไว้ที่ประมาณ 150 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการคลายตัวของคาร์ไบด์ได้มากที่สุด ถ้าหากใช้เวลามากเกินกว่านี้ จะเป็นผลให้เหล็กมีเกรนหยาบและไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน ดังนั้นช่วงเวลาของการคงไว้ที่เหมาะสมที่สุดควรจะเป็นดังกราฟเส้นทึบในรูปที่ 3 (80 วินาที) โดยเฉพาะสำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน เช่น เครื่องมือสำหรับงานกลึงตัดเฉือน และรวมทั้งชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่

### ○ การจุ่มชุบ (Quenching)

3243 สามารถชุบได้ทั้งในอากาศแห้ง ในน้ำมันและอ่างเกลือ (hot bath) สำหรับการชุบในอ่างเกลือจะเป็นวิธีที่นิยมมากเนื่องจากสามารถลดความเสี่ยงต่อการบิดงอหรือแตกกร้าวได้ดี การชุบในอ่างเกลือจะกระทำโดยการจุ่มชิ้นงานในเตาเกลือที่อุณหภูมิประมาณ 550°C และคงไว้จนกว่าอุณหภูมิที่ผิวและภายในของชิ้นงานจะเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลงในอากาศ สำหรับการจุ่มชุบในน้ำมันหรือในอากาศแห้งจะต้องทำการอบสม่ำเสมอก่อนทำการอบคืนตัว



### Diagram

Immersion time graph for the hardening of tools with round or nearly round cross-sections with 80 sec austenitizing time (solid line) and 150 sec (broken line) (Acc. to DIN 17 350, Oct. 1980)

**รูปที่ 3** ช่วงเวลาการเผาแช่ที่เหมาะสมของเหล็กกล้าเครื่องมือ ความเร็วสูง เส้นทึบแสดงเวลาคงไว้ที่อุณหภูมิชุบแข็ง 80 วินาที เส้นประแสดงเวลาคงไว้ที่อุณหภูมิชุบแข็ง 150 วินาที เมื่อทำการเผาอุ่นชิ้นงาน 2 ชั้น (รูปบน) และ 3 ชั้น (รูปล่าง)

### ○ การอบสม่ำเสมอ (Equalization)

การอบสม่ำเสมอ เป็นการลดความเสี่ยงจากการเกิดรอยแตกกร้าวเมื่อทำการจุ่มชุบชิ้นงานจนเย็นตัวถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งจะทำให้โดยขณะจุ่มชิ้นงานลงในสารชุบ เมื่ออุณหภูมิของชิ้นงานลดลงมาจนมีอุณหภูมิเหลือประมาณ 80°C (ไม่ควรต่ำกว่านี้) ให้รีบนำชิ้นงาน

เข้าเตาอบที่มีอุณหภูมิ 100-150°C แล้วคงไว้จนกว่าชิ้นงานจะมีอุณหภูมิเท่ากันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด หลังจากนั้นให้ทำการอบคืนตัวต่อไปโดยทันที

### ○ การอบคืนตัว (Tempering)

การอบคืนตัวมีวัตถุประสงค์ เพื่อช่วยลดระดับความเค้นสะสมในชิ้นงานที่เกิดขึ้นจากการชุบแข็ง และช่วยปรับความแข็งและความเหนียวแกร่งให้เหมาะสมสำหรับการทำงานไปใช้งานต่อไป เหล็กกล้าเครื่องมือที่ผ่านการชุบแข็งแล้วควรนำไปทำการอบคืนตัวทันที

การอบคืนตัวเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงมักมีความแตกต่างจากการอบคืนตัวเหล็กกล้าเครื่องมือทั่วไปเนื่องจากการมีโครงสร้างที่ค่อนข้างแตกต่างกัน โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงภายหลังที่ผ่านการชุบแข็งจะประกอบด้วยเฟสของมาร์เทนไซต์ เฟสของออสเทนไนต์หลงเหลือ และคาร์ไบด์ ขณะที่ทำการอบคืนตัวในระหว่างที่เพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิประมาณ 350°C ค่าความแข็งจะลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเฟสของมาร์เทนไซต์เริ่มมีความอ่อนนุ่มลง (“เทมเปอร์มาร์เทนไซต์”) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นกว่านั้นความแข็งจะกลับเพิ่มขึ้นมา เนื่องจากการเกิดคาร์ไบด์ขึ้นใหม่ในโครงสร้าง ซึ่งมักให้ค่าความแข็งได้สูงที่สุดขณะที่ยังคงมีความเหนียวแกร่งดีมาก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “การชุบแข็งทุติยภูมิ” (secondary hardening effect) อุณหภูมิการเกิดมักอยู่ในช่วงประมาณ 510-550°C ขึ้นอยู่กับเกรดและสภาวะการอบชุบ เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปความแข็งจะลดลงอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการเย็นตัวลงเฟสของออสเทนไนต์หลงเหลือจะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ ดังนั้นสำหรับการอบคืนตัวเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงจึงควรทำการอบคืนตัวมากกว่า 2 ครั้ง เพื่อให้มีปริมาณออสเทนไนต์หลงเหลืออยู่น้อยที่สุด และเพื่อให้เฟสของมาร์เทนไซต์ที่มีความแข็งแต่เปราะ เปลี่ยนเป็นเทมเปอร์มาร์เทนไซต์ที่มีความเหนียวแกร่งมากขึ้นกว่าเดิม

สำหรับการอบคืนตัว 3243 ควรกระทำอย่างน้อย 3 ครั้ง ในช่วงอุณหภูมิ 540-570°C ค่าความแข็งที่ได้มักอยู่ในช่วง 64-67 HRC ขึ้นกับขนาดชิ้นงานและอุณหภูมิอบออสเทนไนต์

## □ การขึ้นรูปและการแปรรูป (Processing)

### ○ การออกแบบ (Design)

การออกแบบมีความสำคัญมากต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือ แม้ว่ากระบวนการตัดกลึงและการอบชุบทางความร้อนจะกระทำอย่างถูกต้องและดีที่สุดก็ตาม เครื่องมือก็อาจเกิดความเสียหายได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ถ้าการออกแบบมีความผิดพลาด โดยทั่วไปมีปัจจัยบางประการที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดรอยแตกร้าวหรือความเสียหายได้แก่

- การออกแบบที่มีผนังบางมากเกินไป
- การเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดอย่างฉับพลัน
- การมีรอยบากที่มีมุมแหลมคม รวมทั้งรั้วรอยที่เกิดจากการขัดกลึง การตอกรหัส และหมายเลข

ซึ่งถ้าแม่พิมพ์มีความแข็งแรงสูงมากก็จะลดความเสี่ยงจากการมีรอยบากลงได้บ้าง การทำให้แม่พิมพ์มีความแข็งแรงสูง มีผิวที่เรียบมันเงาปราศจากรอยขีดข่วนต่าง ๆ รวมทั้งการกำหนดค่ามุมรัศมีให้มีค่ามากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จะมีส่วนช่วยให้แม่พิมพ์มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

นอกจากนี้ในการออกแบบชิ้นงานยังต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการอบชุบทางความร้อนอีกด้วย การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาค และความแตกต่างทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้ากับภายในชิ้นงาน ในระหว่างที่ทำการการอบชุบทางความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นผลให้ชิ้นงานมีความเค้นเกิดขึ้น และปริมาณความเค้นนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน ในการออกแบบควรทำให้ชิ้นงานมีรูปร่างที่สมมาตรที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และถ้าหากไม่สามารถหลีกเลี่ยงความแตกต่างทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณมากได้ จะต้องพิจารณาว่าจะสามารถแบ่งแม่พิมพ์ออกเป็นส่วยย่อยได้หรือไม่ ซึ่งวิธีการนี้จะมีประโยชน์อย่างมาก เพราะเมื่อเกิดความเสียหายกับชิ้นงานส่วนหนึ่งส่วนใด จะสามารถทำการสับเปลี่ยนทดแทนได้อย่างรวดเร็ว สำหรับส่วนที่เป็นผนังบางในชิ้นงาน เมื่อทำการอบชุบจะเป็นส่วนที่เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วมากกว่าบริเวณอื่น เฟสของออสเทนไนต์จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้อย่างรวดเร็ว และเกิดความเค้นขึ้นอย่างรุนแรง ในกรณีเช่นนี้ควรทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็นหลายส่วน

### ○ การกลึงแปรรูป (Machining)

ภายหลังการกลึงหยาบ ควรทำการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 600-650°C ก่อนทำการชุบแข็งและอบคืนตัว จากนั้นจึงทำการกลึงละเอียด (finish machining) ต่อไป

ตารางที่ 3 แนะนำค่าพารามิเตอร์สำหรับการกลึงแปรรูป

Machining	HSS tools		Carbide tools	
	Cutting S. m/min	Feed R. mm/rev	Cutting S. m/min	Feed R. mm/rev
Turning	10-20	0.2-0.4	115-175	0.4-1.0
	25-30	0.1-0.2	235-350	0.1-0.4
Milling	m/min	mm/min	m/min	mm
	15-25	20-50	80-160	0.2-0.4
Drilling	Cutting S. m/min	Feed rate mm/rev	Drill dia. mm	
	3343, 3243	6-10	0.04-0.16	
	3343, 3243+TiN	15-20	0.12-0.20	
	HM K 10	30-50	0.06-0.20	

HSS Tool	Machining	Rough-mach.	Finish-mach.
	Turning		3207
Milling		3243	3243
Carbide Tool	Machining	Rough-mach.	Finish-mach.
	Turning	P25 TiC/TiN	P15 TiC/Al/TiN
	Milling	HM Milling/TiN	HM Milling/TiN

### ○ การกัดขึ้นรูป (Milling)

สำหรับการกัดขึ้นรูปที่ใช้ซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นเม็ดกัด ควรทำในสภาพแห้ง (ไม่ต้องใช้สารหล่อเย็น) ถ้าหากมีเม็ดกัดมีการสึกหรออย่างรวดเร็ว ควรตรวจสอบสาเหตุของการสึกหรอ และทำการปรับตั้งค่าความเร็วรอบและอัตราการป้อนขึ้นงานขอแนะนำสำหรับการกัดขึ้นรูปมีดังนี้

- ใช้ stable machine และ clamping condition
- การใช้เม็ดกัดที่ปลายเป็นคาร์ไบด์ไม่ควรใช้สารหล่อเย็น
- ในการกลึงหยาบควรทำมุม 0°C และตั้งเม็ดเป็นมุมลบ
- ตั้งค่าความเร็วรอบในการตัดที่ค่าสูงสุดในช่วงที่กำหนด
- ถ้าใช้เม็ดกัดเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง ควรใช้ สารช่วยระบายความร้อนโดยผสมในอัตราส่วนสูงสุดของคู่มือที่บริษัทจำหน่ายกำหนดให้

### ○ การกัดสปาร์ค (Electrical Discharge Machining)

ภายหลังจากการกัดผิวด้วย EDM ควรทำการอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการอบคืนตัวครั้งสุดท้าย 30°C เพื่อช่วยลดปัญหาจากการแตกร้าว ของชิ้นงานที่อาจเกิดขึ้นในภายหลังเมื่อนำไปใช้งาน

### ○ การเจียรระไน (Grinding)

การเจียรระไนผิวเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง แนะนำให้ใช้หินเจียรที่ทำจาก ซิลิกอนคาร์ไบด์ หรือ คอรันดัม ที่มีพันธะแบบ ceramic bonding ที่มีความแข็งแรงอยู่ในช่วง H-K และมีขนาดเกรนประมาณ 34-36 รอบเบลอใด ๆ ที่เกิดจากการเจียรคมตัดสามารถแก้ไขได้โดยการทำ dressing

และในการเจียรระไนควรปฏิบัติตามคำแนะนำดังนี้

- ใช้ล้อขัดให้ถูกต้อง ทั้งด้านชนิด ขนาด และพันธะของเม็ดขัด ผิวชิ้นงานที่แข็งควรใช้ล้อขัดที่มีความอ่อนนุ่ม
- ใช้แรงกดให้เหมาะสม ผิวที่แข็งควรใช้แรงกดต่ำ
- ใช้สารหล่อเย็นช่วยระบายความร้อนให้มากเพียงพอและควบคุมทิศทางการไหลให้ถูกต้อง

### ○ การใส่ระหว่างชุบแข็ง (Planishing Hardened Tools)

ภายหลังการจุ่มชุบขณะที่ได้นชิ้นงานออกจากอ่างเกลือหรือขณะที่จุ่มชุบในอากาศ ในระหว่างช่วงของการเย็นตัวโดยที่อุณหภูมิของชิ้นงานยังคงสูงกว่า 200°C อยู่จะสามารถนำชิ้นงานไปทำการใส่หรือปาดผิวเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ได้โดยไม่เกิดความเสียหายต่อการแตกร้าวเนื่องจากความเค้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างภายในของชิ้นงานยังคงเป็นเฟสของออสเทนไนต์ที่ไม่มีความเค้นตกค้างอยู่ภายในอยู่จึงสามารถทำการปาดหรือใส่ได้ ซึ่งโดยทั่วไปเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงมักเริ่มเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์เมื่อมีอุณหภูมิลดต่ำกว่า 150°C ดังเส้น Ms ในรูปที่ 3

### ○ การบัดกรี (Brazing)

ลวดบัดกรีที่ใช้ในการบัดกรีเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงควรมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงอุณหภูมิการอบคืนตัว พวกลวดบัดกรีที่ทำด้วยเงิน มักมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าเล็กน้อย(570-630°C) แต่สามารถหลอมตัวในระยะเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นความแข็งของบัดกรีเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงอาจลดลงเพียงเล็กน้อยหากเชื่อมในระยะเวลาอันสั้น

### ○ การเชื่อมต่อนูน (Butt Welding)

ดอกสว่าน (twist drill) ตีแปดเกลียว (taps) ริมเมอร์ (reamers) และอื่น ๆ มักทำการเชื่อมแบบ Butt Welding ผิวหน้าที่จะเชื่อมกันจะต้องขนานกันและมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน และยังคงต้องทำผิวให้สะอาดและสุกสว่าง ภายหลังจากการเชื่อมชิ้นส่วนจะต้องถูกนำเข้าสู่เตาอบที่มีอุณหภูมิประมาณอย่างน้อย 300°C ทันที เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกร้าวเนื่องจากความเค้น ก่อนที่จะอบอ่อนที่อุณหภูมิประมาณ 840°C ตามด้วยการเย็นตัวอย่างช้าในเตา

### ○ ชุบแข็งซ้ำ (Rehardening of Treated Tools)

ถ้าหากค่าความแข็งของเหล็กที่ได้ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัวมาแล้วไม่เหมาะสมต่อสภาวะการใช้งาน จะสามารถแก้ไขได้โดยการชุบแข็งใหม่อีกครั้ง ซึ่งในการชุบแข็งใหม่นี้ ขั้นแรกจำเป็นต้องทำการอบอ่อนชิ้นงานก่อน

ซึ่งเหล็กที่ได้ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัวแล้ว มักมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าวเนื่องจากความเค้นสูงมาก ดังนั้นในการอบอ่อน จึงควรเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ และต้องปกป้องผิวเหล็กจากการเกิดผิวสูญเสียคาร์บอน ซึ่งอาจใช้วิธีหุ้มผิวเหล็กถ่านโค้ก หรืออบในเตาสัญญากาศก็ได้

### ○ การชุบพรีฮาร์ด (Pre-Hardening)

ในกรณีที่ต้องการคุณภาพผิวสำเร็จที่ตีมากขึ้นภายหลังจากการกลึงหยาบ ควรทำการอบชุบทางความร้อนที่เรียกว่า “การชุบพรีฮาร์ด” (Pre-Hardening) ก่อนที่จะทำการอบคลายความเค้น การชุบพรีฮาร์ดจะช่วยเพิ่มความแข็งและหลีกเลี่ยงการเปื้อนติดที่ผิว (smearing) ของผิวเหล็กชิ้นงาน ในระหว่างการกลึงหยาบ ซึ่งมีวิธีการปฏิบัติดังนี้

การชุบพรีฮาร์ด	: อบที่อุณหภูมิ 850-900°C ตามด้วยการเย็นตัวในอากาศหนึ่ง
การอบคลายความเค้น	: อบที่อุณหภูมิ 630-650°C ประมาณ 1 ชั่วโมง
ความแข็ง	: 35-40 HRC (330-380 HB)

### ○ การอบคลายความเค้นระหว่างการใช้งาน (Intermediate Stress-Relieving)

สำหรับเครื่องมือที่ต้องได้รับความเค้นสูง ๆ มาก การอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการอบคืนตัวครั้งสุดท้าย 30°C ในแต่ละครั้ง ในระหว่างการใช้งานของเหล็กเครื่องมือ จะช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นลงได้ ซึ่งจะช่วยให้เหล็กมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

### ○ การทำไนโตรดิ่ง (Nitriding)

ก่อนทำไนโตรดิ่ง 3243 จำเป็นต้องผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการทำไนโตรดิ่งก่อนและจะต้องถูกล้างทำความสะอาดชิ้นงานและกำจัดคราบไขมันออกให้หมด จากนั้นสามารถทำไนโตรดิ่งได้ด้วยวิธีต่าง 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

ความแข็งของผิวไนโตรดิ่งที่ได้จะประมาณ 1100 HV (70 HRC) และมีความลึกผิวแข็งประมาณ 0.5 มม.

### ○ การอบคืนตัวด้วยไอน้ำ (Stream Tempering)

เป็นวิธีการสร้างผิวออกไซด์แข็งที่มีสีน้ำเงินคล้ำให้กับผิวเหล็กเครื่องมือ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการจับติดของเศษกลึง และเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอและความต้านทานต่อการกัดกร่อนให้สูงขึ้น สามารถทำได้โดยการอบชิ้นงานในบรรยากาศที่มีไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด (superheated steam) ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 450-650°C และต้องต่ำกว่าอุณหภูมิอบคืนตัวครั้งสุดท้าย ความหนาของชั้นออกไซด์ที่ได้มักอยู่ในช่วงประมาณ 1 - 8 ไมครอน วิธีการนี้ควรกระทำภายหลังจากทำการชุบแข็งและเจียระไนผิวแล้ว ซึ่งวิธีการนี้จะมีประโยชน์มากสำหรับการทำดอกสว่านขนาดเล็ก ตีแปดเกลียว ริมเมอร์ บรอส เคาน์เตอร์ซิงค์และใบเลื่อย นอกจากนี้การทำวิธีการนี้ร่วมกับการทำไนโตรดิ่งจะเหมาะกับเครื่องมือที่ต้องได้รับความเค้นสูงมาก ๆ



### ○ การเคลือบผิวแข็งโครเมียม (Hard Chromium plating)

การเคลือบผิวแข็งโครเมียม (“การชุบฮาร์ดโครม”) มักมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนและการสึกหรอให้สูงขึ้นรวมทั้งให้ผิวมีความลื่นขึ้น กระบวนการนี้จะไม่ทำให้การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน แต่การเปลี่ยนแปลงขนาดจะขึ้นอยู่กับความหนาของผิวเคลือบ ซึ่งปกติมักอยู่ในช่วง 5-200  $\mu\text{m}$  แต่ในบางกรณีอาจหนาถึง 0.5-1 มม. ในการเคลือบผิวแข็งโครเมียมจำเป็นต้องเตรียมผิวชิ้นงานโดยการกลึงละเอียดหรือขัดเงา และภายหลังจากการเคลือบผิวแข็งโครเมียมเสร็จสิ้นลง ควรรีบทำการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180-260°C เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชม. เพื่อกำจัดแก๊สไฮโดรเจนที่แทรกซึมเข้าไปในผิวเคลือบและชิ้นงานระหว่างที่ทำการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ซึ่งมักเป็นผลให้ชิ้นงานแตกเปราะง่ายในภายหลัง (hydrogen embrittlement)

### ○ การเคลือบผิวด้วยพีวีดีและซีวีดี (PVD/CVD processes)

การเคลือบผิวชิ้นงานด้วยไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) โดยอาศัยวิธีพีวีดี (Physical Vapour Deposition) จะกระทำที่อุณหภูมิในช่วงประมาณ 200-700°C และควรต่ำกว่าอุณหภูมิมอบคืนตัวครั้งสุดท้ายของชิ้นงานเพื่อหลีกเลี่ยงการลดค่าความแข็งของชิ้นงานลง สำหรับการเคลือบผิวด้วยวิธีซีวีดี (Chemical Vapour Deposition) จะกระทำที่อุณหภูมิประมาณ 1000°C ซึ่งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งและโครงสร้างในบริเวณผิวหน้าชิ้นงาน

### □ การปรับปรุงคุณภาพผิว (Surface Treatments)

กระบวนการ	อุณหภูมิ (°C)	คุณสมบัติของเหล็กที่จำเป็นต่อสิ่ง	ความหนาของชั้นผิว	ความแข็ง (HV)
คาร์บูไรซิงค์	860-900	ปริมาณ C ต่ำ, ไม่ไวต่อเกิดการเกิดความร้อนสูงเกินพิกัด	จนถึง 2 มม.	สูงสุด 900
ไนไตรดิง	470-570	ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิมอบคืนตัว, ชุบแข็งและอบคืนตัว, กำจัดพาสซีฟฟิล์ม	จนถึง 0.5 มม.	สูงสุด 1100
โบโรดิง	800-1050	ไม่ควรมี Si ผสม, ไม่ไวต่อเกิดการเกิดความร้อนสูง	จนถึง 0.4 มม.	สูงสุด 2000
ออกไซด์ซีตติ้ง	300-550	ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิมอบคืนตัว, ผิวสะอาดปราศจากไขมัน	จนถึง 0.01 มม.	ไม่มีผลต่อความแข็ง
สปาร์คดีโพลลิซิงค์	>> 1000	ไม่จำเป็น	จนถึง 0.1 มม.	ประมาณ 950
เคลือบ TIC ด้วย CVD	> 900	ไม่ไวต่อเกิดการเกิดความร้อนสูงเกินพิกัด, ผิวโลหะต้องสุกใสสว่าง	6-9 ไมครอน	สูงสุด 4800
เคลือบ TIC ด้วย PVD	ประมาณ 500	ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิมอบคืนตัว ต้องมีความแข็งสูงมากพอ	2-5 ไมครอน	2000-2500
เคลือบฮาร์ดโครม	50-70	มีปริมาณ C ต่ำสุด, กำจัดพาสซีฟฟิล์มแล้วทนต่อการอบชุบในบรรยากาศปกติได้	จนถึง 1 มม.	1000-1200



High-Speed Steels, Coated with TiN by PVD-method