วิวัฒนาการของวัสดุ

ในการทำแม่พิมพ์และวิธีเลือกใช้

รศ.ดร.ปริทรรศน์ พันธุบรรยงก์
ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. วัสดุแม่พิมพ์ในปัจจุบัน

ชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยการอัด (เพรส) ในปัจจุบันนี้มีแนวโน้มที่จะผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิดในปริมาณต่ำ คุณภาพสูง เวลาที่ใช้ในการผลิตจนส่งมอบงานสั้น ใช้วัสดุชิ้นงานชนิดใหม่ ๆ และมุ่งลดต้นทุนอย่างจริงจัง ภายใต้สถานการณ์ดังกล่าวนี้ ในส่วนของแม่พิมพ์ก็จะต้องมีการพัฒนาอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นทางด้านของการออกแบบ การสร้างและการเลือกใช้วัสดุในการทำแม่พิมพ์

จากความต้องการคุณสมบัติหลาย ๆ ด้านของแม่พิมพ์ทำให้วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ในปัจจุบันนี้มีการพัฒนามากมายหลายประเภท เหล็กกล้าประเภทต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานทั้งหลายเช่น JIS, ASTM, ASME ฯลฯ เริ่มสนองความต้องการได้ไม่เพียงพอ ผู้ผลิตเหล็กกล้าต่างก็พัฒนาผลิตภัณฑ์เหล็กของตนเองที่มีคุณสมบัติดีเด่นในด้านต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้ นอกจากนี้เพื่อที่จะให้แม่พิมพ์ทนทานต่อการเสียดสี และไม่เกิดการยึดติดกับชิ้นงาน ก็จำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของผิวหน้า (Surface Treatment) แบบต่าง ๆ ขึ้นด้วย

เหล็กกล้าที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาสนองความต้องการต่าง ๆ ดังได้กล่าวถึงข้างต้นนี้ สามารถแบ่งประเภทตามวัตถุประสงค์การใช้งานของแม่พิมพ์ได้ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 1):-

1. แม่พิมพ์ที่ต้องการใช้งานเป็นเวลานาน ๆ
   = POWDER HSS
2. แม่พิมพ์ที่ต้องการความแกร่งสูงเป็นพิเศษ (High Toughness) = SEMI – HSS และ HSS – MATRIX
3. เหล็กกล้าแม่พิมพ์ที่ขยายช่วงอุณหภูมิในการชุบแข็ง = FLAME-HARD STEEL
4. เหล็กกล้าที่ขึ้นรูปด้วย EDM = Hi-temp Tempered Steel
5. เหล็กกล้าที่ใช้งานโดยปรับปรุงคุณสมบัติผิวหน้า = Hi-temp Tempered Steel
6. เหล็กกล้าที่อบชุบโดยเตาสุญญากาศ = Hardenability Development Steel
7. เหล็กกล้าเครื่องมือที่ขึ้นรูปโดยการหล่อ = Casted Alloy Tool Steel, Alloy Cast Iron
8. เหล็กกล้าความแกร่งสูงและความแข็งสูง = High Hardness Alloy HSS

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) เหล็กกล้าความเร็วสูงชนิดผง POWDER HSS

เหล็กกล้าความเร็วสูงชนิดผงมีความแกร่งสูง และการเสียรูปจากการชุบมีน้อย รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง HSS ธรรมดาและ POWDER HSS จะเห็นได้ว่าความต้านแรงดึงของ POWDER HSS ทุกชนิดสูงกว่า HSS ธรรมดาทั้งสิ้น

ในปัจจุบันเหล็กกล้าชนิดนี้ใช้ทำแม่พิมพ์ทุบอัดเย็น (Cold Forging) เนื่องจากความแกร่งสูง ส่วนเหล็กกล้าชนิดนี้ที่มีวานาเดียมสูงจะใช้ทำแม่พิมพ์งานอัดขึ้นรูป เนื่องจากการเสียรูปจากการอบชุบมีน้อย จึงสามารถใช้เป็นแม่พิมพ์เจาะตัดที่ทำงานละเอียด (Fine Blanking) ได้อีกด้วย

(2) เหล็กกล้าเครื่องมือความแกร่งสูงความเร็วสูง

เป็นเหล็กกล้าที่ใช้ทำแม่พิมพ์งานอัดขึ้นรูป และแม่พิมพ์ทุบอัดเย็น นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการความแกร่งสูงขึ้นไปอีก ก็จะเป็นเหล็กกล้าชนิดที่เนื้อพื้นเป็น HSS

(3) เหล็กกล้าชุบแข็งเปลวไฟ

เหล็กกล้าชนิดนี้มีช่วงอุณหภูมิชุบแข็งที่กว้างมาก คือ ระหว่าง 150–250°C การชุบแข็งนี้จะทำเฉพาะที่พื้นผิวซึ่งลึกลงไปเพียง 2–3 มม.เท่านั้น ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเสียรูปทรงและขนาด

ในปัจจุบันนี้เหล็กประเภทนี้ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ SK35 ได้แก่ เหล็ก GO5, SX105V และที่คุณสมบัติเช่นเดียวกับ SKD12 คือ HMD1 และ HMD5

เหล็กกล้าเหล่านี้จะใช้ในการทำแม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่บริเวณคมตัด หรือส่วนที่ใช้ดัดโค้ง ส่วนบ่าของบริเวณตีซ้ำ วิธีการใช้งานนั้นจะชุบแข็งด้วยเปลวไฟเฉพาะพื้นผิว หรืออาจชุบทั้งก้อนในกรณีที่ใช้ผลิตชิ้นงานจำนวนมาก

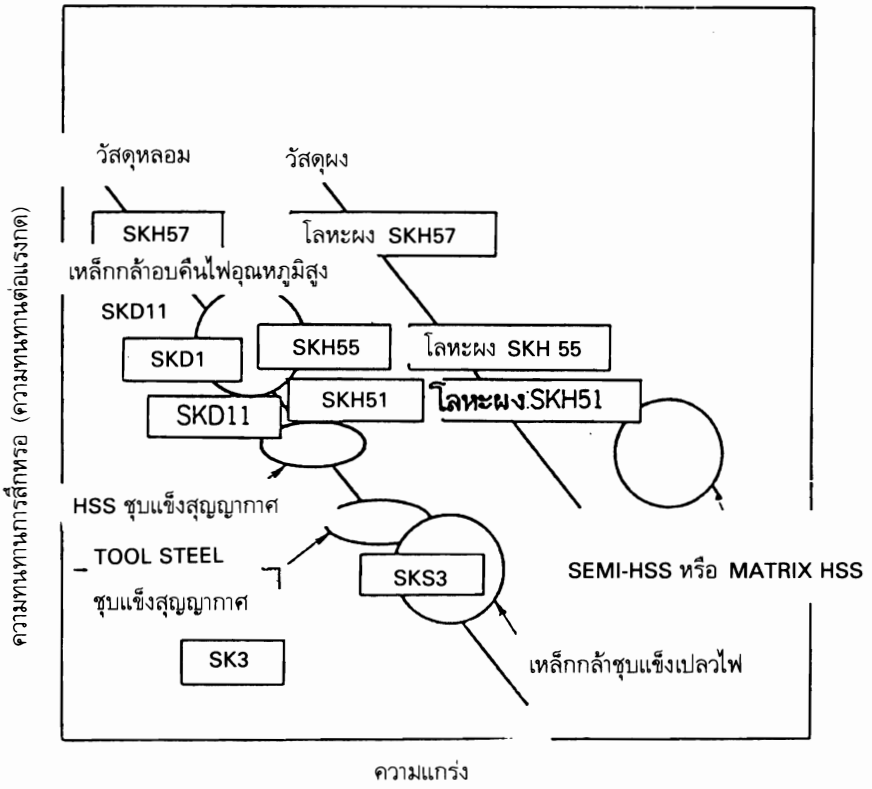
(4) เหล็กกล้าอบชุบสุญญากาศ

ในกรณีที่ต้องการพิมพ์ความเที่ยงตรงสูง มักจะใช้การชุบด้วยเตาสุญญากาศ ซึ่งในการอบชุบแบบนี้อัตราการเย็นตัวจะช้า ถ้าเป็นเหล็กกล้าความเร็วสูง (HSS) ทั่วไปแล้วจะทำให้เกิดคาร์ไบด์ขึ้นระหว่างการเย็นตัว ทำให้ความแข็งลดลง เพื่อแก้ไขปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงมีการเติมโลหะผสมอื่น ๆ เช่น Mn, Cr หรือ Co เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการอบชุบ และเพิ่มปริมาณของ Si เพื่อควบคุมคาร์ไบด์ไม่ให้เกิดมาก

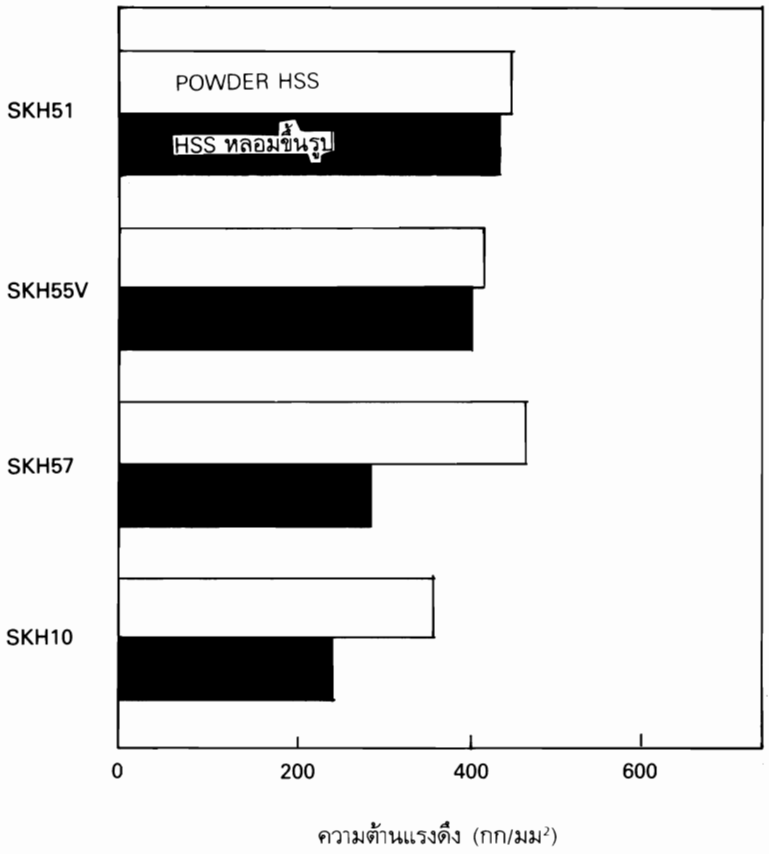
เหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SKS3 คือ AISI A4 ซึ่งใช้การชุบแข็งด้วยเตาสุญญากาศ

(5) เหล็กกล้าอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง (รูปที่ 3)

ในการชุบแข็ง SKD11 นั้น โดยทั่วไปจะอบคืนไฟที่อุณหภูมิต่ำ (150–200°C) เพื่อให้ได้ความแข็งตามต้องการ แต่การทำเช่นนี้จะทำให้เกิดออสเตไนท์เหลือค้าง 10–15% เมื่อนำมาตัดด้วยลวดไฟฟ้า (Wire Cut) จะได้รับความร้อนแล้วเกิดความเครียดขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ลวดไฟฟ้าขาดง่ายด้วย



รูปที่ 1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าเครื่องมือขึ้นรูปเย็น



รูปที่ 2 ความต้านแรงดึงของ HSS TOOL STEEL (ตามแนวยาว)

ดังนั้นถ้าอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง (500-530°C) แล้วจะทำให้ออสเตไนท์เหลือค้างน้อยลง การเสียขนาดและรูปทรงมีน้อย แต่ความแข็งจะตกลงไปด้วย ยิ่งไปกว่านี้การทำไนไตรดิง หรือ PVD หรือการอบปรับขนาดต่าง ๆ ก็จะต้องทำที่อุณหภูมิเกินกว่า 500°C ทำให้ความแข็งสูงเสียไปเช่นกัน เหล็กชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวนี้ได้แก่ DC53, SLD8, QCM8, KDR21 และ AUD15 ซึ่งป้องกันการลดความแข็งและรักษาขนาดรูปทรงได้แน่นอน

ดังนั้น จึงมีการพัฒนาเหล็กชนิดใหม่ที่อบคืนไฟที่อุณหภูมิสูงได้คือใช้อุณหภูมิประมาณ 500-530°C

(6) เหล็กกล้าเครื่องมือที่ขึ้นรูปโดยการหล่อ

ในการทำแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ ในส่วนคมตัดหรือส่วนบ่าที่ใช้ดัดโค้ง และส่วนบ่าของพิมพ์ลากขึ้นรูป (พิมพ์ดรอว์) นั้น ถ้าใช้เหล็กกล้าประเภท SKD11 นั้นมักจะทำเป็นตัวสอด (Insert) หรือไม่ก็ตัดขึ้นรูป แต่เพื่อลดต้นทุนและเวลาในการทำ ก็มีการพัฒนาเหล็กกล้าหล่อประเภท SKD11 หรือ SKD12 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่ขึ้นรูปโดยการหล่อขึ้น

เหล็กกล้าชนิดนี้อาจชุบแข็งด้วยเปลวไฟ ชุบทั้งก้อน หรือใช้เชื่อมพอกก็ได้

(7) เหล็กกล้าความแกร่งสูงและความแข็งสูง

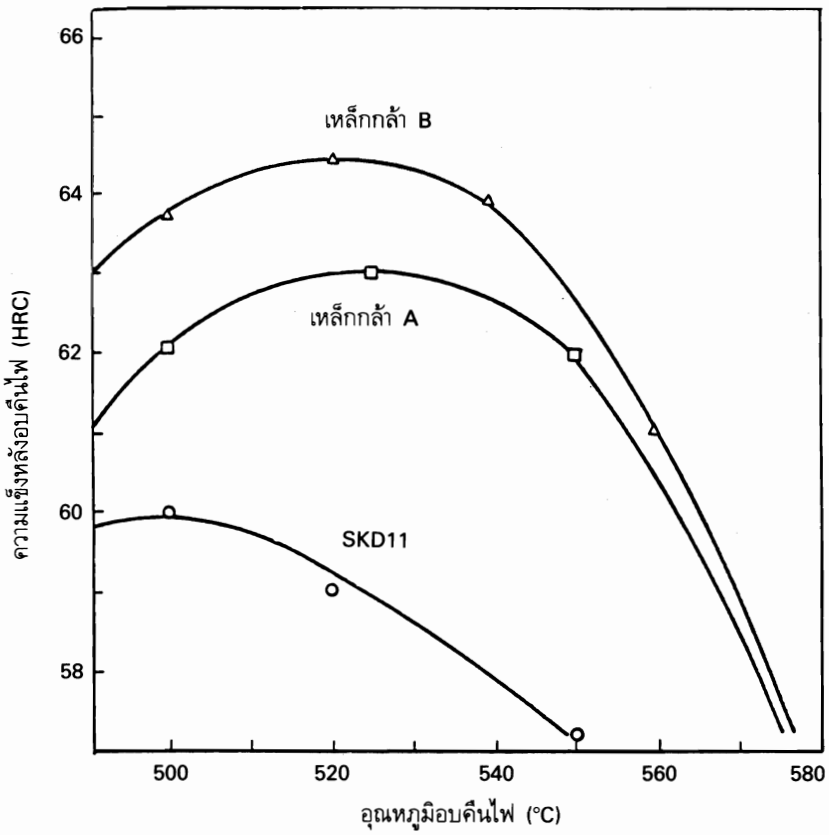
เหล็กกล้า HSS นั้น ความแกร่งสูงแต่ทนการสึกหรอได้ไม่ดี ส่วนวัสดุคาร์ไบด์นั้นทนการสึกหรอได้ดีแต่ความแกร่งต่ำ วัสดุ 2 ประเภทนี้มีความแตกต่างกันมาก จึงมีการพัฒนาเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างวัสดุทั้งสองนี้เป็นวัสดุแม่พิมพ์ขึ้น ซึ่งได้แก่เหล็กกล้า KF2

เหล็กกล้าผสมชนิดนี้มีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับวัสดุคาร์ไบด์ แต่คุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเหล็กกล้า

2. แนวคิดในการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์

ในการเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์นั้น มีจุดที่จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1. **วัสดุแม่พิมพ์ที่มีสมรรถนะสูง** (อายุใช้งาน, คุณภาพสูง)....ทนทานการสึกหรอ ไม่เกิดการไหม้ติด และไม่เกิดปัญหาความแกร่งต่ำ



รูปที่ 3 เปรียบเทียบความแข็งหลังอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง ของ SKD11 และเหล็กกล้าประเภท A, B

2. การอบชุบทำได้ง่าย .....การอบชุบด้วยสุญญากาศ, ลดการเสียรูป จากการอบชุบ, สามารถชุบแข็งเปลวไฟได้, ใช้เหล็กที่ชุบแข็งก่อนขึ้นรูปได้, ป้องกันการเสื่อมสภาพตามเวลา

3. การทำแม่พิมพ์ได้ง่าย .....การขึ้นรูป EDM (รวมการตัดด้วยลวดไฟฟ้า) แล้วไม่เกิดการแตกหรือเสียรูป, เจียร์และขัดแต่งได้ง่าย

4. สามารถปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวได้ .....ใช้อ่างเกลือ, ไนโตรดิง, TD, PVD, CVD, เคลือบ, เชื่อมพอกผิว, ชุบแข็งด้วยไฟฟ้า โดยไม่เสื่อมสภาพคุณสมบัติ

5. หาซื้อได้ง่าย .....ราคาถูกในขนาดที่ต้องการ, หาซื้อได้ง่าย

3. การเสียหายของพันช์, ได และแนวทางแก้ไข

ในระหว่างการขึ้นรูปพันช์, ไดนั้นอาจเกิดการเสียหาย สึกหรอ เกิดรอยขีดข่วน ทำให้ขึ้นรูปชิ้นงานได้ไม่ดี ซึ่งอาจแบ่งสาเหตุและมาตรการแก้ไขออกได้ดังนี้

1. การเสียหายจากการสึกหรอ การยึดติดกับชิ้นงาน .....ความทนทานต่อการสึกหรอสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มความแข็ง และปริมาณของสารคาร์ไบด์ ส่วนการไหม้ติดกับชิ้นส่วนให้แก้ไขโดยการเลือกใช้เหล็กที่มีคาร์ไบด์สูง และทนทานต่อความร้อนได้ดี (Heat Resistant สูง

2. แตกสะเก็ด (Chipping) หรือแตกหักจากการงอ .....เกิดจากความแกร่งไม่เพียงพอ ให้เปลี่ยนใช้วัสดุที่ความแกร่งสูง นอกจากนี้ต้องให้มีโครงสร้างจุลภาคสม่ำเสมอและมีคาร์ไบด์ที่ละเอียด

3. แตกหักจากการกดอัด, ความล้า, บิดเบี้ยว, โค้งงอ .....สาเหตุจากความแข็งภายในไม่เพียงพอ ให้เปลี่ยนใช้วัสดุที่อบชุบได้ดี และชุบแข็งได้สูง

4. โครงสร้างแม่พิมพ์หรือเครื่องอัดไม่แข็งแรงพอ หรือความเที่ยงตรงไม่ดีทำให้พันช์แตกหัก แตกร้าวหรือโค้งงอ ..... ในกรณีที่ความแข็งแรงหรือความเที่ยงตรงของเครื่องอัดไม่ดี ก็ต้องปรับปรุงที่เครื่องจักร หรือถ้าเป็นเพราะแม่พิมพ์ก็จะต้องเพิ่มความแข็งแรงและความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์นั้น

โดยทั่วไปมักจะเกิดจากสาเหตุของความแกร่งของพันธ์ไม่ดี จึงควรเลือกใช้วัสดุที่มีความแกร่งสูง แม้ความทนทานต่อการสึกหรอจะลดลงไปบ้าง

4. คุณสมบัติของวัสดุแม่พิมพ์ที่ต้องการ

ในการเลือกใช้วัสดุแม่พิมพ์นั้น จะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้ เสียก่อนกล่าวคือ

- ปริมาณการผลิตชิ้นงานทั้งหมดและวิธีการผลิต
- ขนาดของแม่พิมพ์
- คุณภาพที่ต้องการของชิ้นงาน
- ความแข็งแรงและความแข็งของเครื่องอัด
- ระยะเวลาในการทำแม่พิมพ์
- ความยากง่ายในการทำแม่พิมพ์
- การหาซื้อวัสดุยากหรือง่าย

ส่วนคุณสมบัติที่จำเป็นของวัสดุแม่พิมพ์นั้นมีดังต่อไปนี้

1. ***คุณสมบัติของผิวหน้า***
   - ทนทานการสึกหรอสูง
   - ทนทานการไหม้ติดได้ดี
   - สภาพการหล่อลื่นดี (ควรมีรูพรุนเล็ก ๆ ที่ผิว)
   - เมื่อชุบแข็งพื้นผิวแล้วไม่หลุดร่อนง่าย
2. ***คุณสมบัติภายใน***
   - ความต้านแรงกดและความต้านแรงดึงสูง
   - ความแกร่ง (ทนการแตกสะเก็ด, แตกร้าว, ดัดงอ) สูง
   - ความทนทานต่อความล้าสูง
   - ทำให้ได้ความแข็งที่ต้องการได้
   - ชุบแข็งได้ดี การบิดเบี้ยวเสียรูปทรงและเสียขนาดมีน้อย
   - ในการชุบแข็งพื้นผิวนั้น สามารถชุบแข็งภายในให้มีคุณสมบัติเหมาะสมได้
   - ขัดแต่ง, เจียร์แต่งได้ดี
3. ***ความยากง่ายในการหาซื้อ***
   - ราคาถูก
   - วัสดุประเภทที่ต้องการนั้นสามารถหาซื้อในขนาดที่ต้องการได้ง่าย

ในบรรดาคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ คุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญได้แก่ ความแข็งสูง ทนทานการสึกหรอได้ดี ทนแรงกระแทกได้ โดยมีความแกร่งสูง

5. วิธีเลือกใช้วัสดุแม่พิมพ์

วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์แบบต่าง ๆ นั้น มีวิธีการเลือกใช้ดังนี้

1. แม่พิมพ์ทดสอบ.....พิมพ์ไม้, โลหะผสมอลูมิเนียม, โลหะผสมสังกะสี, อิปอกซีเรซิน, คอนกรีต, **SS41, S45C, SK3** หรือใช้วัสดุเหล่านี้ผสมกัน
2. แม่พิมพ์ขนาดกลาง-เล็ก → แม่พิมพ์ทั่วไป ..... **FC25 → SKS3 → SKD11 → SKH51** → คาร์ไบด์
3. แม่พิมพ์ดรอว์ขนาดใหญ่.....**FC25 → FC30 → FC35 → FCD60 → GM241 → 2363, ICD1 → SKD11** อินเสิร์ท
4. ส่วนคมตัดแม่พิมพ์ใหญ่.....**FC25** เชื่อมพอกผิว → **FC30** เชื่อมพอกผิว **FC35** → เชื่อมพอกผิว → **FCD60** เชื่อมพอกผิว → **SC46** เชื่อมพอกผิว → **190M** ชุบแข็งเปลวไฟ → **HMD1, GO5, SX105V** ชุบแข็งเปลวไฟ → **ICD1** ชุบแข็งเปลวไฟ → **SKD11** อินเสิร์ท
5. แม่พิมพ์ดัดโค้งขนาดใหญ่ → **FC30 → FC30** เชื่อมพอกผิว→ **SK3** ชุบแข็ง → **SKS3** ชุบแข็ง → **HMD1** ชุบแข็งเปลวไฟ → **SKD11** ชุบแข็ง

ในบรรดาวัสดุต่าง ๆ เหล่านี้ ถ้ามีจุดใดจุดหนึ่งที่ไม่ได้คุณสมบัติตามต้องการจะเลือกใช้ดังต่อไปนี้

(1) เพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอ

ถ้าต้องการเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอ ก็ควรเลือกใช้เหล็กกล้าประเภทที่มีคาร์ไบด์เจือปนอยู่มาก แต่ชนิดและรูปร่างตลอดจนขนาดของคาร์ไบด์ก็มีผลต่อความแข็งของเหล็กกล้า รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์ไบด์ในเหล็กกล้าแต่ละชนิด และความแข็งของเหล็กชนิดนั้น ๆ

ในกรณีของ **POWDER HSS** นั้น จะสามารถเปลี่ยนแปลงส่วนผสมได้ตามต้องการจึงมีค่าความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าที่ผลิตโดยการหลอม ดังนั้นลำดับของความทนทานต่อการสึกหรอของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ทุบอัดเย็นจะมีดังนี้:-

SK3 → SKS3 → SKD11 → SKH51 → SKH57 → วัสดุผงที่มีวานาเดียมสูง (ประมาณ 7-10%)

วัสดุที่มีความทนทานต่อการสึกหรอสูงขึ้นไปอีก ได้แก่ เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง **(HSS Tool Steel)** ชนิดผสมสูงที่มีปริมาณคาร์ไบด์และวานาเดียมมาก จากนั้นก็จะเป็นโลหะผสม **WC** (ทังสเตนคาร์ไบด์) นอกจากนี้ก็ยังมีโลหะผสม **TiC** (ไทแทเนียมคาร์ไบด์) ที่เรียกว่าเฟอร์โรติคหรือ เฟอร์โรไทแนนิท เป็นต้น

โลหะผสมเหล่านี้ ถึงแม้จะแข็งแต่ก็เปราะ ดังนั้นในการใช้งานจำเป็นต้องใช้กับแม่พิมพ์และเครื่องอัดที่มีความแข็งแรงความเที่ยงตรงสูง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการชุบแข็งพื้นผิว เช่น TD, PVD, CD เพื่อชุบแข็งพื้นผิวเหล็กกล้า SKD11, SKH51, POWDER HSS ฯลฯ เพื่อให้ความทนทานต่อการสึกหรอสูงขึ้น

(2) เพิ่มความทนทานต่อการไหม้ติด

เพื่อให้สามารถทนทานต่อการไหม้ติดได้ดีนั้น วัสดุเหล็กกล้าจะต้องมีสารคาร์ไบด์เจือปนสูงและทนทานต่อความร้อนหรือคงความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงได้ดี เหล็กกล้าประเภทนี้ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์ไบด์สูง, เฟอร์โรติค หรือเฟอร์โรไทแนนิท หรือมิฉะนั้นก็ใช้กระบวนการ TD, PVD, CD เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวให้ดีขึ้น

ในกรณีที่เป็นวัสดุเหล็กกล้านั้น แม้ว่าต้องการให้เป็นเหล็กกล้าที่ชุบแข็งได้ความแข็งสูง ก็ต้องเป็นเหล็กที่ความแข็งลดลงน้อยเมื่ออบคืนไฟ ตัวอย่างเช่น HSS ที่มี Co (โคบอลล์) ผสมอยู่ หรือ POWDER HSS ที่มี Co อยู่เป็นต้น

การไหม้ติดนั้น เกิดจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในบริเวณที่ไหม้ติด ดังนั้นเหล็กประเภท SK หรือ SKS ซึ่งมีความแข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงจะใช้ประโยชน์ไม่ได้ แต่ HSS นั้นแม้อุณหภูมิจะสูงขึ้น ความแข็งก็ลดลงน้อยกว่าเหล็กกล้าชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 1 แสดงความทนทานต่อการลดความแข็งของเหล็กประเภท SKD และ SKH ที่ผ่านการอบคืนไฟ ขอให้สังเกตเหล็กกล้าประเภท DC53 ว่าความแข็งลดลงค่อนข้างน้อยทีเดียวเมื่อเทียบกับ SKD11 ธรรมดา

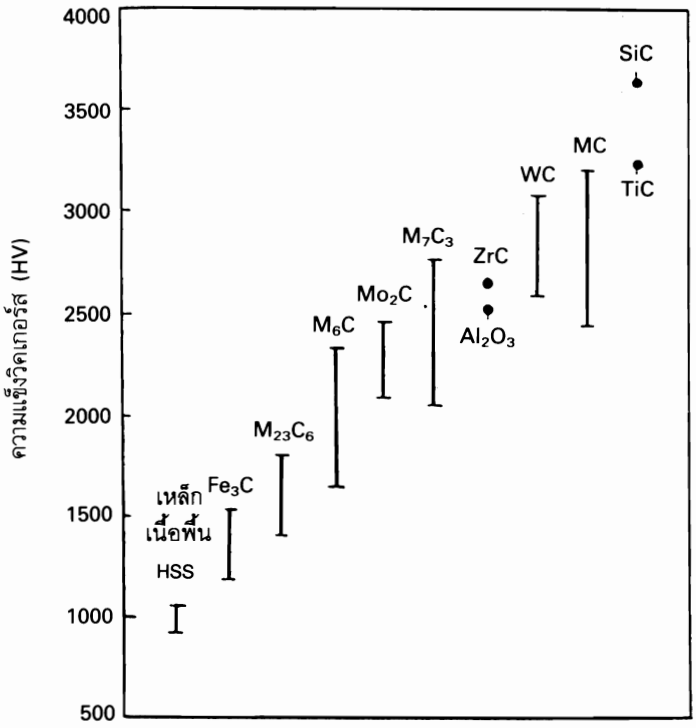
ตารางที่ 1 การลดความแข็งหลังการอบคืนไฟของวัสดุแม่พิมพ์แต่ละชนิด

ชนิดของเหล็ก		ความแข็งหลังอบชุบ (HRC)	ความแข็งหลังอบคืนไฟ 650°C × 1 ชั่วโมง 3 รอบ (HRC)
สัญญลักษณ์ไดโด	สัญญลักษณ์ JIS		
DC11	SKD11	60	42
DC53	–	62	48
MH51	SKH51	64	53
〃		61	52
MH55	SKH55	64	55
MH8	(SKH57)	64	58
DEX20	–	65	57
DEX40	–	65	58
DEX80	–	71	65

นอกจากนี้ในระหว่างการขึ้นรูปผิวแม่พิมพ์นั้น จะมีแรงกดดันมากทำให้ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นแตกและแห้งไปง่าย เพื่อให้สามารถมีน้ำมันหล่อเลี้ยงอยู่เสมอจึงควรเลือกวัสดุแม่พิมพ์ที่มีรูพรุนที่ผิวจึงจะดี

ในกรณีนี้นั้น วัสดุที่ใช้งานได้ดีกว่า SKD หรือ SKH ได้แก่พวก POWDER HSS, เหล็กหล่อ, โลหะผสมทองแดง, เฟอร์โรติก, เฟอร์โรไทแทนิค, เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงผสมสูง (โลหะผสม KF2) และถ้ามีการชุบแข็งพื้นผิว TD (VC), CVD (TiC), PVD (TiN) ด้วยแล้วจะทำให้เกิดรอยขีดข่วนที่ผิวชิ้นงานได้ยาก

สิ่งที่ต้องการอีกประการหนึ่งก็คือ ถ้าวัสดุชิ้นงานเป็นวัสดุประเภทเดียวกับวัสดุแม่พิมพ์แล้ว เวลาขึ้นรูปจะเกิดการไหม้ติดได้ง่าย เช่น การขึ้นรูปลึกของแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS304) ถ้าใช้แม่พิมพ์ประเภท SKD1, SKD11 ซึ่งมีโครเมียมสูงเช่นเดียวกับเหล็กกล้าไร้สนิมแล้ว จะเกิดการไหม้ติดกับพิมพ์ได้ง่าย ดังนั้นเวลาขึ้นรูปเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 จึงมักใช้อลูมิเนียมบรอนซ์เป็นแม่พิมพ์จึงจะเหมาะสมกว่า วัสดุประเภทนี้ที่มีขายในท้องตลาดได้แก่ โลหะผสม HZ, CE–2F, SO–330, WR900 และ ARMCO METAL เป็นต้น



รูปที่ 4 ความแข็งของคาร์ไบด์ในเหล็กกล้า (P.L. Ewing)

(3) มาตรการเพื่อป้องกันการแตกร้าวและการแตกหัก

การแตกร้าวหรือการงอของพันช์นั้น เกิดมาจากสาเหตุที่ความแกร่งของวัสดุแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ โครงสร้างจุลภาพไม่สม่ำเสมอ และผลึกคาร์ไบด์หยาบ ส่วนสาเหตุจากเครื่องอัดและแม่พิมพ์ได้แก่ ความแข็งแรงและความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ

รูปที่ 5 แสดงการแปรผันของระดับในแนวราบของ Die Set ชุดบนและชุดล่าง เมื่อติดตั้งกับเครื่องอัดที่มีความเร็วในการอัดแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่าถ้าทำการอัดเจาะ (Blanking) แผ่นเหล็กบางโดยใช้ clearance น้อยและความเร็วสูง ๆ แล้ว จะมีโอกาสเกิดการแตกเป็นสะเก็ด (chipping) ของพันช์ได้ง่าย ดังนั้นจึงควรปรับ clearance ให้เหมาะสม และเลือกใช้วัสดุในการทำพันช์ที่มีความแข็งสูง หรือมีค่า Shear Modulus ต่ำนั่นเอง

ในกรณีที่โครงสร้างแม่พิมพ์ เป็นลักษณะที่ต้องรับแรงกดดันมาก ก็จำเป็นที่จะต้องเลือกใช้วัสดุแม่พิมพ์ที่ความแกร่งสูง แม้ความแข็งจะลดลงไปบ้างก็ตาม

(4) มาตรการแก้ไขการยุบตัว, การเสียรูปร่าง

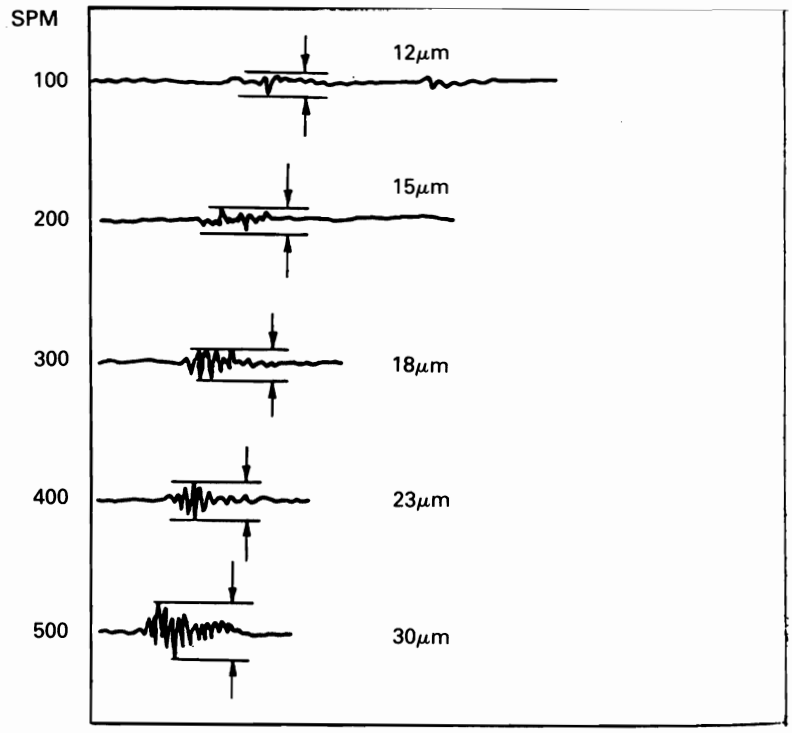
การไหม้ติดและการเสียรูปมักจะเกิดที่ผิวของแม่พิมพ์ ในการใช้งานแม่พิมพ์ทั่วไปมักจะต้องรับแรงกระทำสูง ดังนั้นเนื้อส่วนในของแม่พิมพ์ต้องทนทานต่อแรงกดได้อย่างดีด้วย

เมื่อทำการชุบแข็งแม่พิมพ์นั้น วัสดุแม่พิมพ์ที่มีความแข็งเฉพาะที่ผิวจะเรียกว่าวัสดุ "ชุบแข็งได้ไม่ลึก" ดังนั้นจึงอาจเกิดการยุบตัวเสียรูปร่างได้ง่าย ควรเลือกใช้วัสดุที่ชุบแข็งได้ลึกเช่น SKD หรือ SKH เป็นต้น

(5) การแปรรูป การเสียขนาดได้ง่าย

การขึ้นรูปแม่พิมพ์ มักจะทำในกรณีที่เนื้อพื้นเป็นเพิร์ลไลท์ ในขั้นตอนการอบชุบจะทำให้เป็นออสเตไนท์ก่อน แล้วจึงชุบแข็งให้เป็นมาร์เทนไซต์ซึ่งจะขยายตัวประมาณ 0.1-0.3% แต่ทว่าหลังการชุบแข็งแล้ว ก็ยังคงมีโครงสร้างออสเตไนท์เหลือค้างอยู่ในเหล็กกล้าบางชนิด

โครงสร้างออสเตไนท์นี้มีคุณสมบัติในการหดตัวได้ ถ้าสามารถทำให้เกิดการสมดุลระหว่างการหดตัวของออส-เตไนท์และการขยายตัวของมาร์เทนไซต์แล้ว จะทำให้ความ



รูปที่ 5 ระดับการเปลี่ยนแปลงในแนวราบของ DIE SET บนและล่าง

เค้นเหลือค้างมีน้อยที่สุด ดังนั้นในการอบชุบในทางปฏิบัตินั้น เมื่อทำเสร็จแล้วจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการปรับขนาดด้วย

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออสเตไนท์เหลือค้างหลังจากการอบคืนไฟกับอุณหภูมิอบคืนไฟของเหล็กกล้าประเภท SKS3, SKD11 และ SKH51 รูปที่ 7 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงเชิงขนาดเทียบกับอุณหภูมิอบคืนไฟของ SK3, SKS3 และ SKD11

ในกรณีของ SKD11 อุณหภูมิอบคืนไฟที่ได้ความแข็งสูงจะอยู่ที่ช่วง 150-200 °C การเปลี่ยนแปลงเชิงขนาดตามความยาวจะประมาณ 0.06-0.07% ถ้าอบคืนไฟที่ประมาณ 500°C แล้ว ออสเตไนท์เหลือค้างจะลดลงมาก การเปลี่ยนแปลงเชิงขนาดมีน้อย แต่ความแข็งก็ลดลง

SKS3, SKD1, SKD11 และ SKD12 นั้น เป็นเหล็กกล้าประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงขนาดน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง SKD11 และ SKD12 สามารถชุบแข็งในอากาศได้ ความเค้นเหลือค้างมีน้อย ออสเตไนท์ที่เหลือค้างอยู่นั้น เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานหรือได้รับแรงกระแทกซ้ำไปซ้ำมาแล้ว อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซด์ได้ ทำให้ระหว่างการใช้งานแม่พิมพ์อยู่เกิดการเปลี่ยนแบ่งขนาดขึ้นได้

ดังนั้น เพื่อป้องกันการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว เมื่อใช้งาน SKD11 จะต้องลดปริมาณออสเตไนท์เหลือค้างโดยการเพิ่มอุณหภูมิอบคืนไฟขึ้นไปเป็น 500-550°C ทำให้ออสเตไนท์เหลือค้างเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซด์ให้หมด กล่าวคือ ทำการอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูงนั่นเอง

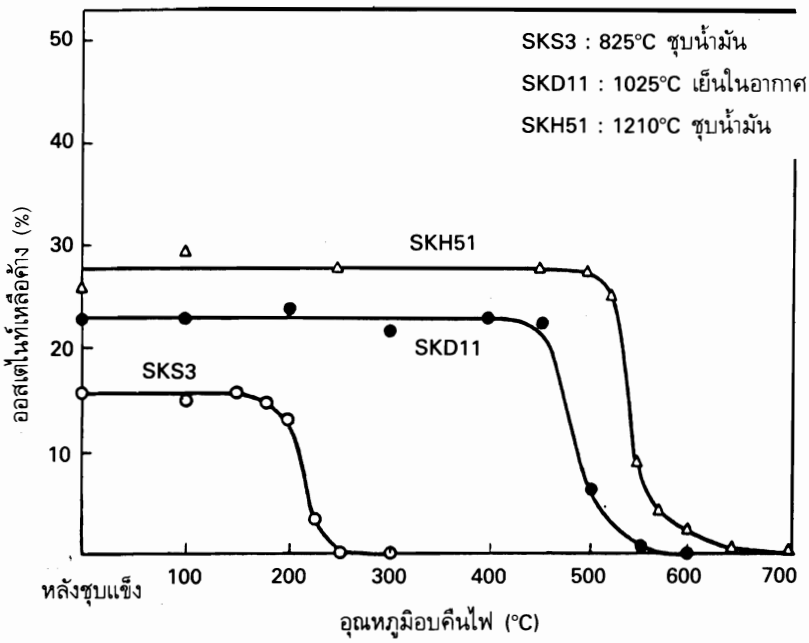
(6) ความแข็งลดลงจากการปรับปรุงพื้นผิวหรือปรับปรุงขนาด

ในการอบชุบ SKD11 นั้นโดยทั่วไปจะอบคืนไฟที่อุณหภูมิต่ำ (150-200°C) ทำให้ได้ความแข็งเกินกว่า 60 HRC แต่ทว่าในสภาพนี้จะมีออสเตไนท์เหลือค้างอยู่ 15-23% เมื่อเวลาผ่านไปและรับแรงกระแทกจากการใช้งาน จะทำให้มีการแปรรูปเสียขนาดไป ถ้านำมาขึ้นรูปโดยการตัดลวดก็จะเกิดการแตกหรือทำให้ลวดขาดได้

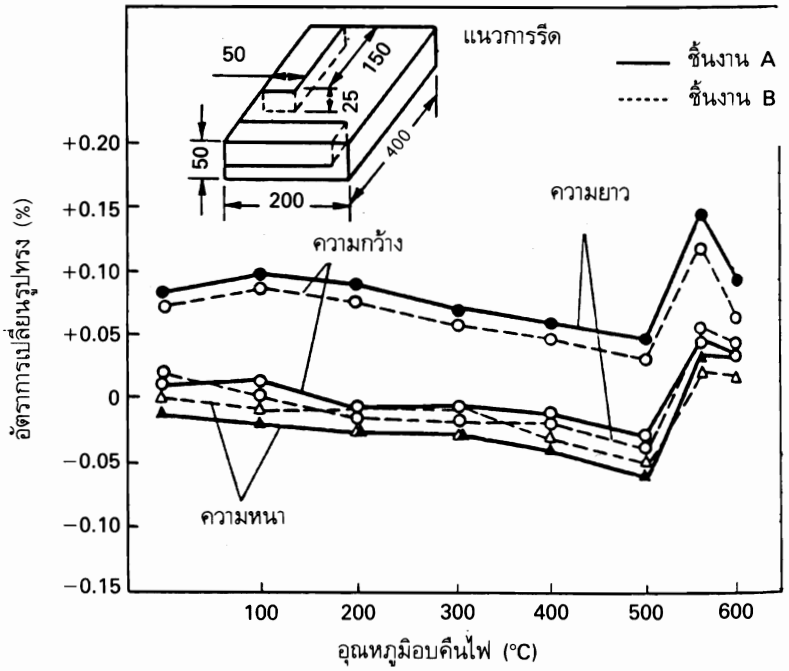
มาตรการแก้ไขเหตุขัดข้องต่าง ๆ นี้ คือใช้การอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 500-550°C ทำให้ออสเตไนท์เหลือค้างหมดไป แต่ความแข็งก็จะต่ำกว่า 60 HRC

การชุบแข็งพื้นผิวด้วย TD หรือ CVD นั้น เมื่อมาทำการอบปรับขนาด ที่ 500-520°C ก็จะทำให้ความแข็งลดลงเช่นกัน

การทำ PVD หรือไนไตรดิง ก็จะใช้อุณหภูมิประมาณ 500-550°C ทำให้ความแข็งลดลง ดังนั้นเมื่อมีการอบปรับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างออสเตไนท์เหลือค้างและอุณหภูมิอบคืนไฟ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบคืนไฟและอัตราการเปลี่ยนรูปทรงหลังการอบชุบของ SLD

ปรุงพื้นผิว ควรใช้เหล็กกล้าที่อบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง คือ 500–550°C ได้

เหล็กกล้าดังกล่าว ที่จำหน่ายในท้องตลาดมีดังนี้

- AICHI STEEL = AUDI5
- SANYO SPECIAL STEEL = QCM8
- DAIDO SPECIAL STEEL = DC53
- NIPPON KOSHUHA KOGYO = KDR21
- HITACHI KINZOKU = SCD8

ตารางที่ 2 แสดงชนิดของเหล็กกล้าที่ผู้ผลิตต่าง ๆ ผลิตออกจำหน่ายเพื่อเลือกใช้งาน ขอให้พิจารณาตารางเหล่านี้เป็นหลัก

ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าในการทำแม่พิมพ์โลหะ

1. เหล็กหล่อ เหล็กกล้าต่อ

• เหล็กหล่อเทา

ตามมาตรฐาน JIS แบ่งเหล็กหล่อประเภทนี้เป็น 6 ชนิดได้แก่ FC10, 15, 20, 25, 30, 35

(1) แม่พิมพ์อัดเจาะ (Blanking Die)

แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่เจาะแผ่นบางปริมาณน้อยจะใช้วัสดุนี้แล้วเชื่อมพอกคม ส่วนการผลิตจำนวนมากจะใช้ตัวสอด (Insert) แทนการเชื่อมพอก (FC25 → FC30)

(2) แม่พิมพ์ดัดโค้ง, แม่พิมพ์แฟลนจ์ (Bend, Flange die)

แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ดัดโค้งแผ่นบางปริมาณน้อย ๆ (FC30 → FC35) ถ้าเป็นแผ่นบางปริมาณมาก ๆ หรือแผ่นหนาจะใช้ตัวสอด (Insert) เข้าประกอบดังนี้ (FC25 → FC30 → FC35)

(3) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป แม่พิมพ์ตีซ้ำ (Draw, Restrike Die)

แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ขึ้นรูปแผ่นบางในปริมาณน้อยหรือปานกลาง (FC25 → FC30 → FC35) ในกรณีแผ่นบางแต่ปริมาณมาก ๆ หรือขึ้นรูปแผ่นหนา จะใช้เหล็กกล้าเป็นตัวสอด

• เหล็กหล่อกราไฟต์กลม

มาตรฐาน JIS แบ่งเป็น FCD40, 45, 50, 60 70 รวม 5 ชนิด

(1) แม่พิมพ์อัดเจาะ

ในกรณีที่ความแข็งแรงของเหล็กหล่อเทาไม่เพียงพอ (FCD50 → FCD60)

(2) แม่พิมพ์ดัดโค้ง, แม่พิมพ์แฟลนจ์

แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ใช้ผลิตปริมาณปานกลาง (FCD60 ชุบแข็งเปลวไฟ) หรือใช้เมื่อเหล็กหล่อเทาแข็งแรงไม่พอ (FCD50 → FCD60)

(3) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

ใช้ทำแม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ขึ้นรูปแผ่นบางปริมาณมาก ๆ (FCD50 → FCD60 ชุบแข็งเปลวไฟ)

• เหล็กกล้าหล่อประเภทเหล็กกล้าคาร์บอน

ตามมาตรฐาน JIS แบ่งเหล็กประเภทนี้เป็น SC 37, 42, 46, 49 รวม 4 ชนิด

(1) แม่พิพม์อัดเจาะ

แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่อัดเจาะแผ่นบางปริมาณมาก ๆ และบริเวณคมตัดที่มีรูปร่างซับซ้อน (SC46 เชื่อมพอกผิว)

(2) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป

แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ลากขึ้นรูป แผ่นบางปริมาณมาก ๆ (SC46 ชุบแข็งเปลวไฟ)

• เหล็กหล่อผสม, เหล็กกล้าเครื่องมือหล่อผสม

ในการขึ้นรูปแผ่นบางสำหรับชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ ซึ่งใช้แม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ในการอัดเจาะ, ลากขึ้นรูป, ตีซ้ำ, ตัดแต่ง, แฟลนจ์ และแคมนั้นจะใช้เหล็กกล้าเครื่องมือหล่อผสมแทน SKD11 และ SKD12 กันมาก

เมื่อก่อนนี้จะนิยมใช้เหล็กที่กำหนดตามมาตรฐานของ GM, FORD, VOLKSWAGEN กันมาก แต่ในปัจจุบันมีเหล็กที่ผลิตขึ้นโดย HITACHI KINZOKU ชนิด ICD หรือ HITACHI SOZEN ชนิด HZP ออกมาจำหน่ายในท้องตลาด

(1) ลักษณะเด่น

(1) สามารถลดต้นทุนการทำแม่พิมพ์ลงได้

เนื่องจากเป็นชิ้นงานหล่อจึงไม่มีเนื้อวัสดุเกินที่โครงสร้างแม่พิมพ์ สามารถลดน้ำหนักและต้นทุนวัสดุลงได้

โครงสร้างของงานหล่อ มีขนาดใกล้เคียงกับที่ต้องการ ลดเวลาการกัดหยาบลงได้มาก

(2) เวลาในการทำแม่พิมพ์น้อยลง

(3) ชุบแข็งเปลวไฟ และเชื่อมพอกได้

เหล็กชนิดนี้มีช่วงชุบแข็งเปลวไฟกว้างประมาณ 100–300°C และความแข็งสม่ำเสมอ

ชุบแข็งได้ดี ได้ความแข็งสูง

(4) วัสดุชนิดนี้อบอ่อนได้ความแข็งประมาณ 220–250 HB ทำให้กัดขึ้นรูปได้ง่าย

ตารางที่ 2 เหล็กกล้าทำแม่พิมพ์ชนิดอบชุบได้ประเภทต่าง ๆ

	มาตรฐาน JIS	ผู้ผลิต	ชื่อผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิชุบแข็ง (°C)	อุณหภูมิอบคืนไฟ (°C)	ความแข็ง (HRC)	หมายเหตุ
เหล็กกล้าเครื่องมือ	SK 3	HITACHI	YC 3	760–820 ชุบน้ำ	150–200 เย็นในอากาศ	55〜60	● ผลิตชิ้นงานจำนวนน้อย ● ชุบแข็งได้ไม่ลึก
	SK 3	DAIDO	YK 3	760–820 ชุบน้ำ	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 63	
	SK 3	KOSHUHA	K 3	760–820 ชุบน้ำ	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 63	
เหล็กกล้าเครื่องมือพิเศษ	SKS 3	HITACHI	SGT	800–850 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ 2 ครั้ง	58–62	แผ่นบางปริมาณปานกลาง
	SKS 93	HITACHI	YCS 3	790–850 ชุบน้ำมัน, ชุบน้ำ	150–200 เย็นในอากาศ	55〜60	YC 3 ปรับปรุง, ผลิตน้อย
		HITACHI	YSM	840–880 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ 2 ครั้ง	⩾ 58	พันช์รับแรงกระแทก (ความแกร่งสูง)
	SKS 3	DAIDO	GO 3	800–850 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 60	
		DAIDO	GOA	790–850 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 61	ชุบแข็งเปลวไฟได้
		DAIDO	GO 4	830–870 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 61	เปลี่ยนรูปทรงน้อย
		DAIDO	GO 5	875–1025 เย็นอากาศ		62–65	ชุบแข็งเปลวไฟได้
	SKS 3	AICHI	AKS 3	825–875 เย็นอากาศหรือก๊าซ	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 62	ชุบแข็งในอากาศ
		AICHI	SX 105 V	870–970 ชุบน้ำมัน	150–200 ทนสึกหรอ	⩾ 62	ชุบแข็งในอากาศ
				เปลวไฟ 825–1075 เย็นอากาศ	340–450 ความแกร่ง		เชื่อมพอกผิวได้
	SKS 3	KOSHUHA	KS 3	800–850 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 60	ผลิตปริมาณปานกลาง
	SKS 93	KOSHUHA	KS 93	790–850 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 63	ผลิตปริมาณปานกลาง
	SKS 3	SANYO	QKS 3	800–850 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	61–62	แม่พิมพ์ใช้งานทั่วไป
เหล็กกล้าขึ้นรูปเย็น	SKD 11	HITACHI	SLD	980–1030 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	60〜63	ทนสึกหรอสูง
				1000–1050 เย็นอากาศ	200–250 เย็นในอากาศ	57–60	ทนสึกหรอ, แกร่ง
					500 เย็นในอากาศ	> 57	ความแกร่งสูง
		HITACHI	CRD	930–980 ชุบน้ำมัน	150–200 เย็นในอากาศ	55–62	ทนสึกหรอดีกว่า SLD
				950–1000 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ		
	SKD 11 ปรับปรุง	HITACHI	SLD 8	1020–1040 เย็นอากาศ	500–530 เย็นในอากาศ	58–61	ปรับพื้นผิวได้ เปลี่ยนขนาดน้อย
	SKD 12	HITACHI	HMD 1	850–980 ชุบแข็งเปลวไฟ			
				875–950 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	⩾ 61	

	มาตรฐาน JIS	ผู้ผลิต	ชื่อผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิชุบแข็ง (°C)	อุณหภูมิอบคืนไฟ (°C)	ความแข็ง (HRC)	หมายเหตุ
เหล็กกล้าขึ้นรูปเย็น	SKD 11	DAIDO	DC 11	1000–1050 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	58–62	ทนสึกหรอสูง, เปลี่ยนขนาดน้อย
	SKD 11 ปรับปรุง	DAIDO	DC 53	1030–1040 เย็นอากาศ	520–530 เย็นในอากาศ	⩾ 62	ปรับพื้นผิวได้, เปลี่ยนขนาดน้อย
	SKD 11	AICHI	AUD 11	1000–1050 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	62	ทนการสึกหรอ
					200–250 เย็นในอากาศ	55	ทนการสึกหรอและแกร่ง
					350–500 เย็นในอากาศ	55	ความแกร่งสูง
					400–600 เย็นในอากาศ	55	กรณีใช้งานที่อุณหภูมิสูง
	SKD 11	UDEHOLM	XW-41	990–1050 เย็นอากาศ	180–555 เย็นในอากาศ		
	SKD 11	SANYO	QC 11	1000–1050 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	61–62	
					500–530 เย็นในอากาศ	58–60	
		SANYO	QCP 11				ปรับปรุงการขึ้นรูป, ความแกร่งของ QC 11
	SKD 11 ปรับปรุง	SANYO	QCM 8	1020–1050 เย็นอากาศ	550–550 เย็นในอากาศ	60–62	ปรับพื้นผิวได้
	SKD 11	KOSHUHA	KD 11	1000–1040 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	> 61	เน้นทนการสึกหรอ
					500–540 เย็นในอากาศ	> 58	เน้นความแกร่ง
		KOSHUHA	KD 11 V	1020–1050 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	> 61	เพิ่มความทนการสึกหรอ, ความ
					500–540 เย็นในอากาศ	> 58	แกร่ง, ทนความล้ามากกว่า KD 11
		KOSHUHA	KDR 21	1020–1040 เย็นอากาศ	570–540 เย็นในอากาศ	> 62	ปรับพื้นผิวได้
		KOSHUHA	KDW 1	1125–1150 ชุบน้ำมัน	580–610 เย็นในอากาศ		
				1075–1100 ชุบน้ำมัน	580–600 เย็นในอากาศ		
		KOSHUHA	KZR 1	1030–1070 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	60–65	● ปรับปรุงคุณสมบัติของ KD 11
				1010–1050 เย็นอากาศ	520–560 เย็นในอากาศ	60–64	● ทนสึกหรอดีกว่า KD 11
		KOSHUHA	KZR 2	1030–1020 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	61–65	● KZR 2 ทนการสึกหรอดีกว่า
				1010–1050 เย็นอากาศ	520–560 เย็นในอากาศ	60–65	KZR 1
		AICHI	AUD 15		520 เย็นในอากาศ	> 62	ปรับพื้นผิวได้
HSS	SKH 51	HITACHI	YXM 1	1160–1200 ชุบน้ำมัน	560–580 เย็นในอากาศ 2 ครั้ง	58–65	ทนสึกหรอ, แรงกระแทก

	มาตรฐาน JIS	ผู้ผลิต	ชื่อผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิชุบแข็ง (°C)	อุณหภูมิอบคืนไฟ (°C)	ความแข็ง (HRC)	หมายเหตุ
	SKH 57	HITACHI	XCV 5	1160–1220 ชุบน้ำมัน	560–580 เย็นในอากาศ 3 ครั้ง	64–67	ทนสึกหรอทนความร้อนได้สูง
		HITACHI	YXR 3	1120–1170 ชุบน้ำมัน	560–580 เย็นในอากาศ 2 ครั้ง	57–61	ทนแรงกระแทกสูง, ความแข็งต่ำ
		HITACHI	YXR 4	1120–1160 ชุบน้ำมัน	560–580 เย็นในอากาศ 2 ครั้ง	62–66	ทนแรงกระแทกสูง, ความแข็งสูง
	SKH 51	DAIDO	MH 51	1160–1220 ชุบน้ำมัน, เกลือ	540–570 เย็นในอากาศ	60–64	ขึ้นรูปง่าย, ความแกร่งสูงทั่วไป
	SKH 55	DAIDO	MH 55	1180–1230 ชุบน้ำมัน, เกลือ	530–570 เย็นในอากาศ	⩾ 63	คุณสมบัติที่อุณหภูมิสูงดีกว่า SKH 51
	SKH 57 ปรับปรุง	DAIDO	MH 8	1180–1250 ชุบน้ำมัน, เกลือ	540–580 เย็นในอากาศ	62–66	ทนสึกหรอดี, ขึ้นรูปง่าย
	SKH 51	SANYO	QH 51				ใช้งานทั่วไป
		SANYO	QHS				เนื้อพื้นความแกร่งสูง
	SKH 51	KOSHUHA	H 51	1200–1240 เย็นอากาศ	540–580 เย็นในอากาศ	⩾ 63	ทนสึกหรอดี อ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง
		HITACHI	HAP 10	1050–1170	580–580	58–65	ความแกร่งสูงทนการแตกสะเก็ด
				1170–1190	550–580	65–66	กรณีต้องการความแข็งสูง
		HITACHI	HAP 20	1160–1180	560–580	65–67	ใช้งานทั่วไป, ความแกร่งสูง
				1180–1200	560–580	67–68	ใช้งานทั่วไป, ความแกร่งสูง
		HITACHI	HAP 40	1100〜1190	560〜580	64–66	เหล็กกล้าใช้งานทั่วไปที่มีความแข็ง
				1190〜1210	560〜580	66–68	ความแกร่งและทนการสึกหรอ
		HITACHI	HAP 50	1180–1200	560〜580	66–67	ความแข็งสูงทนความร้อนทนการ
				1200〜1220	560〜580	67–69	สึกหรอได้ดี
		HITACHI	HAP 70	1180–1210	560–580	69–72	ทนการสึกหรอ
POWDER		HITACHI	HAP 72	1160–1200	560–580	68–70	เหมือน HAP70 ขึ้นรูปได้ง่ายกว่า
HSS		DAIDO	DEX 20	1100	650 เย็นในอากาศ 3 ครั้ง	62–66	เน้นความแกร่ง
				1150	650 เย็นในอากาศ 3 ครั้ง	63–65	เน้นความทนทานการสึกหรอ/รับแรงกด
		DAIDO	DEX 40	1100	650 เย็นในอากาศ 3 ครั้ง	62–66	เน้นความแกร่ง
				1180	650 เย็นในอากาศ 3 ครั้ง	66–67	เน้นความทนทานการสึกหรอ/รับแรงกด
		DAIDO	DEX 80		650 เย็นในอากาศ 3 ครั้ง	65	

	มาตรฐาน JIS	ผู้ผลิต	ชื่อผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิชุบแข็ง (°C)	อุณหภูมิอบคืนไฟ (°C)	ความแข็ง (HRC)	หมายเหตุ
		UDEHOLM	ASP 23	1050～1180 น้ำมัน อากาศ เกลือ	550–570	58–62	
			ASP 30	1100–1180 น้ำมัน อากาศ เกลือ	550–570	65–68	
			ASP 60	1100–1190 น้ำมัน อากาศ เกลือ	550–570	66–69	
		KOBE	KHA 30	1080–1200	560–580	65–67	ความแกร่ง, ทนการสึกหรอดีขึ้นรูปได้ดี
				1050–1180	560–580	62–65	
		KOBE	KHA 32	1160–1200	560–580	63–66	เน้นความแกร่ง, ขึ้นรูปได้ดี
				1100–1160	560–580	62–63	
		KOBE	KHA 60	1160–1200	560–590 3–4 ครั้ง	67–69	แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะผง
		KOBE	KHA 77	1190–1220	560–590 2–3 ครั้ง	63–65	ความแกร่ง, ทนการสึกหรอ
				1100–1190	560–590 2–3 ครั้ง	59–63	ความแกร่ง, ทนการสึกหรอ
		KOBE	KHA 3 VN	1130–1190	560–590 2–3 ครั้ง	59–62	ความแกร่งสูง
		KOBE	KHA 33 N	1160–1220	560–590 2–3 ครั้ง	64–66	ทนการไหม้ติด
				1100–1160	560–590 2–3 ครั้ง	60–44	ความแกร่งสูง
อื่น ๆ	คาร์ไบด์		V1-V6			82–93	สัญญลักษณ์ตามผู้ผลิต
	HSS ALLOY	FUJI	KF217Y			64	
	CARBIDE	DIES	KF234			68	
	STEEL	DIES	KF235	1100–1200	520–560	69	คุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับ
	(KF2)	DIES	KF261	1180–1300	520–560	71	คาร์ไบด์ คุณสมบัติทางกายภาพ
		DIES	KF263	1160–1280	520–560	73	ใกล้เคียงกับเหล็กกล้า
		DIES	KFSKH57			65	
		DIES	KFASP60			68	
		DIES	KFWC-10% Co			76	
	FERROTIC		CM 35	1100 ชุบน้ำมัน (เย็นอากาศ)	500+480	67	
			CM 45	1100 ชุบน้ำมัน (เย็นอากาศ)	500+480	66	

	มาตรฐาน JIS	ผู้ผลิต	ชื่อผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิชุบแข็ง (°C)	อุณหภูมิอบคืนไฟ (°C)	ความแข็ง (HRC)	หมายเหตุ
			CM 50	1100 ชุบน้ำมัน (เย็นอากาศ)	500+480	70	
			CM 55	1100 ชุบน้ำมัน (เย็นอากาศ)	500+480	71	
	เพอร์โรไทแทนิท	NIPPON	C-SPECIAL	980	150	69–71	
		TIC	WFN	1090	520	69–70	
		TIC	S	1080	150	66–68	
		TIC	NIKRO128	–8 h	480	61–63	
		TIC	NIKRO292	–8 h	480	66–68	
		TIC	U	–	–	46–48	
		TIC	CROMONI	–	–	45–50	
		TIC	UNI	–16 h	710	56–58	
	เหล็กกล้า	HITACHI	ICD 1	875–950 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	> 60	ชุบแข็งคมตัดด้วยเปลวไฟ
	เครื่องมือโลหะ	HITACHI	ICD 5	850–900 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	> 57	ชุบแข็งคมตัดด้วยเปลวไฟ
	ผสมขึ้นรูปด้วย	HITACHI	HZP 11	850–950 ชุบแข็งเปลวไฟ		55–62	DIN 2067
	การหล่อ	SOZEN	HZP 12	900–1000 ชุบแข็งเปลวไฟ		55–62	DIN 2363, SKD 12
		"	HZP 13	950–1050 ชุบแข็งเปลวไฟ		55–62	
		"	HZP 21	850–950 ชุบแข็งเปลวไฟ		45–55	DIN 2769, SKT-3
		"	HZP 22	850–950 ชุบแข็งเปลวไฟ		55–60	SKT-5
		"	HZP 23	850–950 ชุบแข็งเปลวไฟ		53–58	
		"	HZP 24	900–1000 ชุบแข็งเปลวไฟ		60–65	
		"	HZP 25	900–1000 ชุบแข็งเปลวไฟ		60–65	
		"	HZP 26	850–950 ชุบแข็งเปลวไฟ		45–50	
		"	HZP 27	850–900 ชุบแข็งเปลวไฟ		50–55	
		VW	W2363	930–980 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	60–62	เทียบเท่า SKD 12, ใช้ทำคมตัด
		GM	190 M	830–880 เย็นอากาศ	150–200 เย็นในอากาศ	56–60	ใช้ทำคมตัด
		GM	GM 241			> 50	ชุบแข็งเปลวไฟใช้ทำพิมพ์ขึ้นรูป
		VW	W2601	1025 เย็นอากาศ	200 เย็นในอากาศ	60–62	เทียบเท่ากับ SKD 11
		VW	W2769			60–62	ชุบแข็งเปลวไฟ

(2) *คุณสมบัติวัสดุแต่ละชนิด*

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดไว้

(1) เหล็กหล่อผสม (GM241)

● ใช้ทำพันช์, ไดของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปและพิมพ์ตีซ้ำ โดยอาจชุบแข็งเปลวไฟด้วย

(2) เหล็กกล้าเครื่องมือหล่อผสม (190M, ICD1, ICD5, W2363, W2601, W2769, HZP12, HZP13)

● เป็นวัสดุหล่อที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับเหล็กกล้าเครื่องมือประเภท SKD11, SKD12

● เป็นคมตัดของพิมพ์ตัดแต่งและพิมพ์ตัดโดยการชุบแข็งเปลวไฟหรือชุบแข็งทั้งก้อน

● ใช้ทำพันช์, ได, ตัวจับแผ่น (BH) ของแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป แม่พิมพ์ดัดโค้ง แม่พิมพ์แฟลนจ์ที่รับแรงสูง โดยอาจชุบแข็งเปลวไฟบางส่วน

รูปที่ 8, 9, 10 แสดงค่าเฉพาะของเหล็กกล้าประเภท ICD

รูปที่ 11 แสดงค่าเฉพาะของเหล็กกล้า HZP12

ชื่อของผู้ผลิตและชนิดของเหล็กที่ผลิตมีดังนี้

(1) ICD1, ICD5 = HITACHI KINZOKU

(2) HZP11−27 = HITACHI SOZEN

(3) GM 241, 190M = มาตรฐาน GM

(4) W2601, 2362, 2769 = มาตรฐาน VOLK-SWAGEN

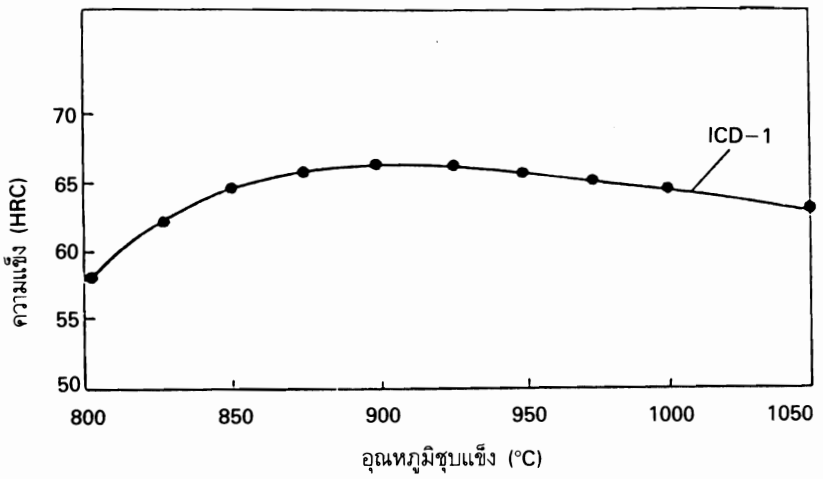
2. วัสดุเหล็กกล้าใช้ทำโครงสร้างเครื่องจักรกล

● ***เหล็กกล้าคาร์บอนทำโครงสร้างเครื่องจักรกล***

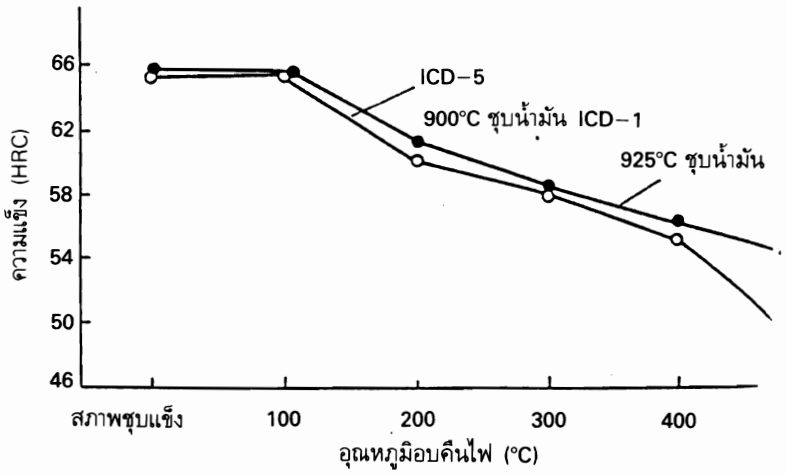
เหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่องจักรกลในมาตรฐาน JIS แบ่งเป็น 12 ชนิด ได้แก่ S30C, S33C,

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบมาตรฐานของโลหะผสมสังกะสีแต่ละชนิด

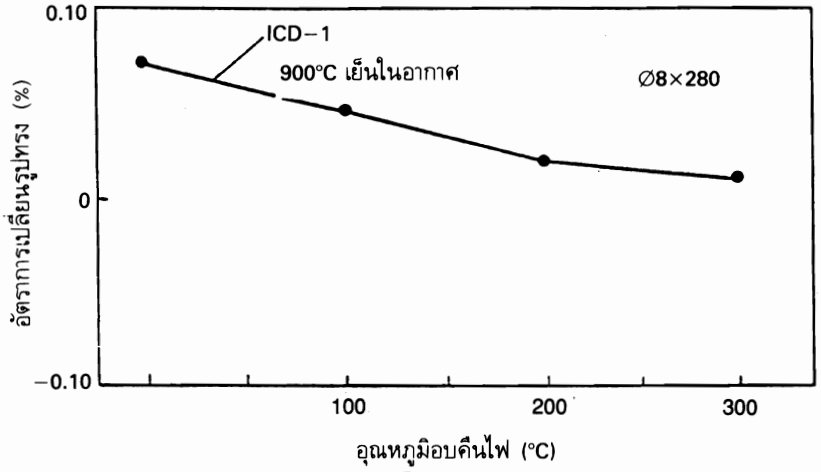
ส่วนประกอบทางเคมี (%)	โลหะผสมสังกะสีทำแม่พิมพ์ทดลอง	เบสิค	โมลเดกซ์
Al	3.9−4.3	3.0−4.0	3.0−4.0
Cu	2.8−3.5	3.0−4.0	10−12
Ti	−	<1	<1
สังกะสี+โลหะผสมอื่น ๆ อีกเล็กน้อย	ส่วนที่เหลือ	ส่วนที่เหลือ	ส่วนที่เหลือ



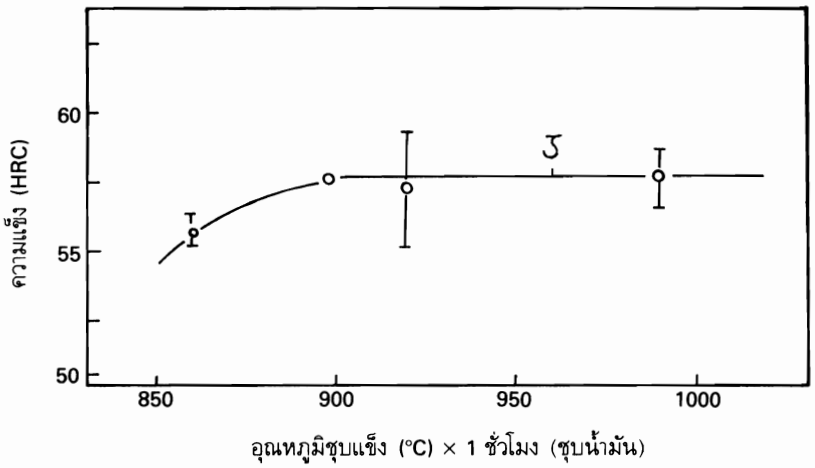
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิชุบแข็งและความแข็งของ ICD−1



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบคืนไฟและความแข็ง



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบคืนไฟและอัตราการเปลี่ยนรูปทรง



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิชุบแข็งและความแข็ง (HZP12)

S35C, S38C, S40C, S43C, S45C, S48C, S50C, S53C, S55C, และ S58C

(1) ใช้ทำแม่พิมพ์ทดสอบทำชิ้นงานเล็กบาง หรือแม่พิมพ์ผลิตจำนวนน้อย โดยทำเป็นพันช์, ไดๆ, ตัวจับแผ่น, สตอปเปอร์, นอคเอ๊าท์เพลทของแม่พิมพ์เจาะอัด แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป และแม่พิมพ์ดัดเหล็กประเภทนี้ใช้งานในสภาพชุบแข็งเปลวไฟหรือชุบแข็งทั้งก้อน (S45C → S50C → S55C

(2) ใช้ทำแผ่นนำ (Guide plate) หรือ Nest plate ของพิมพ์ขนาดใหญ่ (S45C → S50C → S55C)

- เหล็กกล้ารีดร้อนใช้ทำโครงสร้างทั่วไป เหล็กประเภทนี้แบ่งเป็น 4 ชนิดคือ SS34, 41, 50 และ 55

ใช้ทำชิ้นส่วนแม่พิมพ์โดยเป็นตัวจับส่วนบนและส่วนล่าง หรือใช้เป็นแผ่น (Plate), SPACER หรือสตอปเปอร์บล๊อค (SS41)

- เหล็กกล้าผสมใช้ทำโครงสร้างเครื่องจักรกล

(1) ใช้ทำ NEST PLATE หรือแผ่นนำของพิมพ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ (SCM 435, SCM 440)

(2) ใช้ทำโบลท์ยึดส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

3. เหล็กกล้าเครื่องมือ

ตามมาตรฐาน JIS แบ่งเป็น 7 ชนิดคือ SK1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

(1) *คุณสมบัติและการใช้งาน*

(1) ใช้ในสภาพอบชุบเป็นพิมพ์อัดเจาะ และพิมพ์ดัดงอสำหรับผลิตชิ้นงานแผ่นบางปริมาณน้อย

(2) ราคาถูกหาซื้อได้ง่าย

(2) *เหล็กกล้าประยุกต์ใช้งานได้หลายชนิด*

YC3 (HITACHI KINZOKU) YK3 (DAIDO SPECIAL STEEL), K3 (NIPPON KOSHUHA KOGYO) ใช้งานได้เหมือน SK3

(3) *วิธีการอบชุบ*

(1) ชุบแข็ง 760–820°C ชุบน้ำ
820–850°C ชุบน้ำมัน

(2) อบคืนไฟ 150–200°C เย็นในอากาศ

(4) *คุณภาพและความแข็งหลังการอบชุบ*

(1) การชุบแข็ง ไม่ดีมากนัก

(2) ความแข็ง 57–60 HRC

(5) *การเปลี่ยนแปลงขนาดหลังการอบชุบ*

(1) ขยายตัวทุกทิศทาง

(2) การเปลี่ยนแปลงขนาดสูง

(6) *การขัดการพื้นผิว*

ไม่นิยมทำกัน

(7) *ข้อควรระวังในการใช้งาน*

(1) การชุบแข็ง SK3 นั้น โดยทั่วไปกำหนดให้ใช้น้ำ แต่มักเกิดการแตกขึ้นจึงควรชุบน้ำมันมากกว่า

(2) แม่พิมพ์ที่ชุบแข็งทั้งก้อนนั้น ถ้ามีรูปทรงซับซ้อนจะเกิดการแตกและผิดขนาดได้

(3) การขึ้นรูปด้วย EDM (รวมทั้งการตัดด้วยลวด) ถ้าความหนาของเหล็กน้อยจะเกิดการแตกได้ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงจุดนี้ไว้ด้วย

- **เหล็กกล้าผสมใช้ทำเครื่องมือ (เหล็กกล้า SKS)**

ตามมาตรฐาน JIS แบ่งเหล็กกล้าประเภททำแม่พิมพ์ขึ้นรูปเย็นไว้เป็น 5 ชนิด ได้แก่ SKS3, 31, 93, 94 และ 95

(1) เหล็กกล้าใช้งานได้หลายชนิด

เหล็กกล้าประเภท SKS3 ได้แก่ SGT (HITACHI KINZOKU), GOA (DAIDO SPECIAL STEEL), AK3 (AICHI STEEL), KS3 (NIPPON KOSHUHA KOGYO), QSK3 (SANYO SPECIAL STEEL)

(2) เหล็กกล้าที่ปรับปรุงจาก SKS3 ได้แก่ YSM (HITACHI KINZOKU) GO4 (DAIDO SPECIAL STEEL)

(3) เหล็กกล้าประเภท SKS93 ได้แก่ YGS3 (HITACHI KINZOKU), KS93 (NIPPON KOSHUHA KOGYO)

(4) เหล็กกล้าชุบแข็งเปลวไฟ ได้แก่ GO5 (DAIDO SPECIAL STEEL), SX105V (AICHI STEEL)

(2) วิธีการชุบแข็ง

(1) SKS3

- อุณหภูมิชุบแข็ง 800–850°C ชุบน้ำมัน
- อุณหภูมิคืนไฟ 150–200°C เย็นในอากาศ

(2) SKS3 ชนิดปรับปรุงแล้ว

- อุณหภูมิชุบแข็ง 825–870°C เย็นในอากาศ
- อุณหภูมิอบคืนไฟ 150–200°C เย็นในอากาศ

(3) SKS93

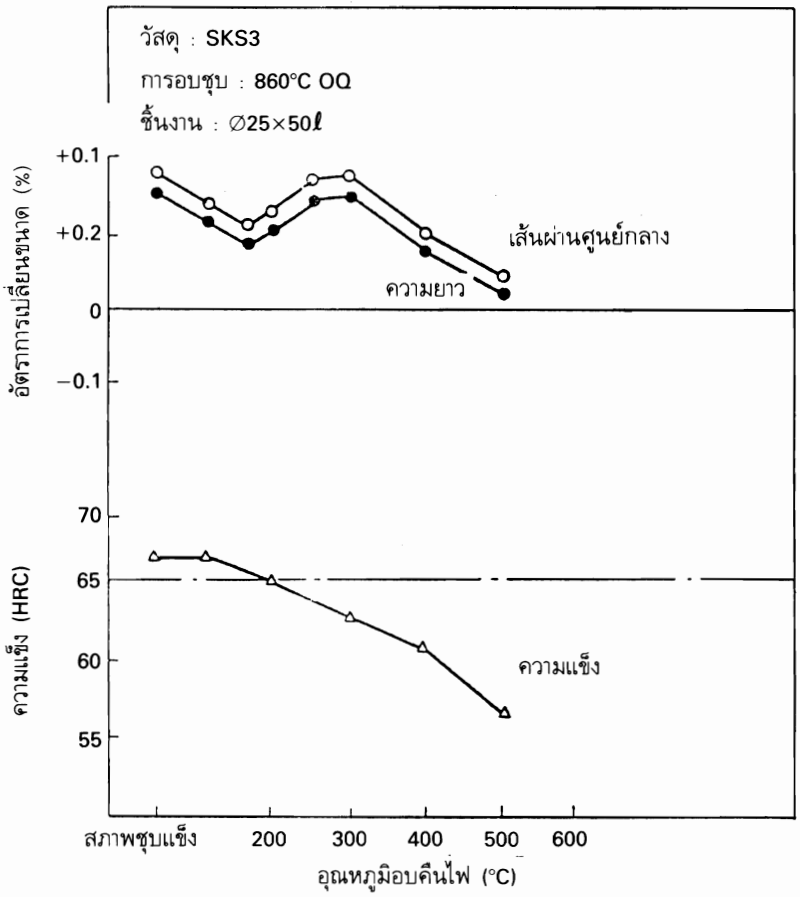
- อุณหภูมิชุบแข็ง 790–850°C ชุบน้ำมัน
- อุณหภูมิอบคืนไฟ 150–200°C เย็นในอากาศ

(4) เหล็กกล้าชุบแข็งเปลวไฟ

- อุณหภูมิชุบแข็ง 825–1025°C เย็นในอากาศ

(3) คุณภาพและความแข็งหลังการอบชุบ

(1) การชุบแข็ง ระดับดีปานกลาง



รูปที่ 12 คุณสมบัติการอบชุบของ SKS3

(2) ความแตกต่างของความแข็ง ปานกลาง

(3) ความแข็ง 58-60 **HRC**

(4) การเปลี่ยนแปลงขนาดจากการชุบแข็ง (รูปที่ 5)

(1) ยืดตัวออกทุกทิศทาง

(2) การเปลี่ยนแปลงเชิงขนาดมีมาก

(3) การอบปรับขนาด ที่ 500°C จะทำให้ความแข็งลดลงเป็น 56-57 **HRC**

(5) การปรับปรุงคุณสมบัติที่พื้นผิว

การใช้อ่างเกลือหรือการเคลือบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200°C จะไม่มีปัญหาแต่การปรับปรุงคุณสมบัติที่พื้นผิวนั้น ๆ จะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 500°C ทำให้ความแข็งลดลงไม่ได้ผลดีตามต้องการ

(6) คุณสมบัติของเหล็กกล้าแต่ละชนิดและการใช้งาน

(1) เหล็กกล้าประเภทนี้มักใช้ทำแม่พิมพ์งานอัดที่ผลิตในปริมาณปานกลางแต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดมีมาก จำเป็นต้องชุบน้ำมันให้ได้ความแข็งตามต้องการ ดังนั้นในการใช้งานต้องคำนึงถึงการเสียรูปทรงไว้ด้วย และการอบชุบก่อนการทำแม่พิมพ์จะไม่มีปัญหาอะไร แต่ถ้าทำแม่พิมพ์เสร็จแล้วค่อยอบชุบจะเกิดปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วมาก

(2) ความสามารถในการชุบแข็งของ **SKS** ไม่ด้อยกว่า **SK** แต่จะต่ำกว่า **SKD** หลังจากชุบแข็งแล้วถ้าตัดด้วยลวดไฟฟ้า โดยแผ่นเหล็กบางกว่า 20 มม. แล้วจะเกิดการแตกร้าวได้

(3) **SKS** จะกัดกลึงไสได้ดีกว่า **SKD** ดังนั้น จึงใช้เป็นเหล็กชุบแข็งแบบเย็นในอากาศได้ดี

(4) เหล็กกล้าชุบแข็งเปลวไฟ **GO5** และ **SX105V** จะมีคุณสมบัติดังนี้

- ช่วงอุณหภูมิชุบแข็งเปลวไฟกว้าง
- ชุบแข็งได้ดี จากรูปที่ 13 แสดงวิธีการให้ความร้อนแก่เหล็ก **SX105V** ถ้าเคลื่อนที่หัวเผาให้ได้ความร้อนประมาณ 950°C แล้วจะได้ความแข็งเกินกว่า 60 **HRC**
- การชุบแข็งเปลวไฟ จะได้ชั้นผิวแข็งลึกไม่กี่ มม. ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลกับการเปลี่ยนแปลงขนาด

• ในการทำแม่พิมพ์ทดสอบให้ชุบแข็งเปลวไฟ ส่วนการผลิตจำนวนมากควรอบชุบทั้งก้อน

• เหล็กกล้าผสมใช้ทำเครื่องมือ (เหล็กกล้า SKD)

ตามมาตรฐาน JIS กำหนดเหล็กกล้าแม่พิมพ์ขึ้นรูปเย็นไว้ 4 ชนิด ได้แก่ SKD1, SKD2, SKD11 และ SKD12 แต่ทว่าในปัจจุบันนี้ความต้องการของผู้ใช้มีมาก จนผู้ผลิตได้พัฒนาเหล็กประเภทนี้ออกมามากกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน JIS

SKD11 จะมีโลหะผสมเพิ่มมากกว่า SKH51 เป็นหลักประเภทที่ทำให้เกิดสมดุลระหว่างความทนทานการสึกหรอและมีความแกร่งดี แต่ทว่าการควบคุมอุณหภูมิในการชุบแข็งมีความสำคัญมาก ถ้าอุณหภูมิชุบแข็งสูงเกินไปหรืออยู่ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานไป จะมีออสเตไนท์เหลือค้างมาก และความแข็งจะลดลง เกิดการหดตัว และสภาพการเป็นแม่เหล็กเสียไป

ในการใช้งานโดยทั่วไป จะเลือกใช้อุณหภูมิอบคืนไฟระหว่าง 180–200°C โดยพิจารณาจากความทนทานต่อแรงกระแทก ความทนทานต่อแรงกด การเสียรูปทรงจากการแตก การบิดงอ และปริมาณความเค้นเหลือค้าง แล้วเลือกใช้อุณหภูมิให้เหมาะสม

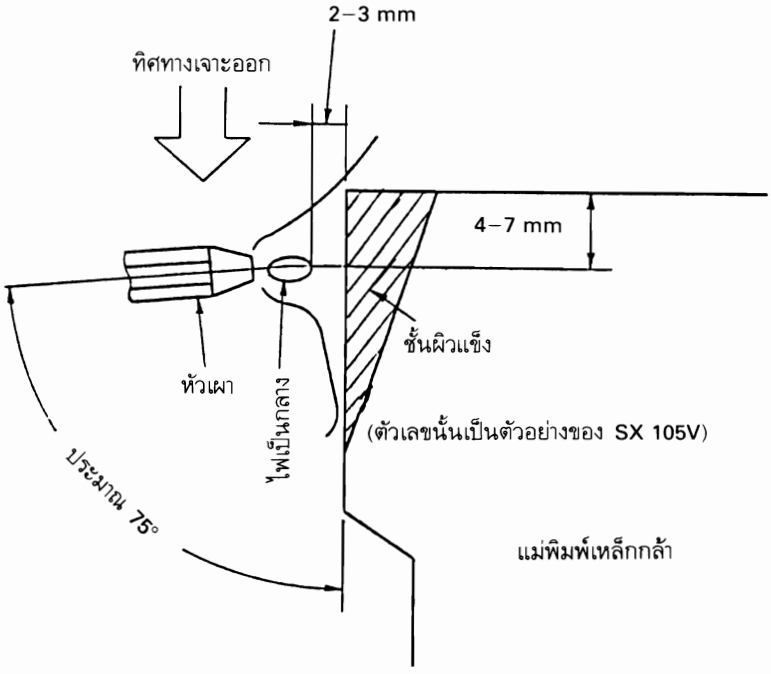
ออสเตไนท์ที่เหลือค้างอยู่จะทำให้การขึ้นรูปมีความเที่ยงตรงยาก การใช้ลวดไฟฟ้าตัดจะทำให้เกิดแตกจากความเครียดได้ เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ต้องอบคืนไฟที่ 550°C แต่ความแข็งลดลง

นอกจากนี้ SKD11 จะมีคาร์ไบด์ที่โตกว่าเหล็กกล้าชนิดอื่น ๆ ทำให้กัดให้ขึ้นรูปได้ยาก

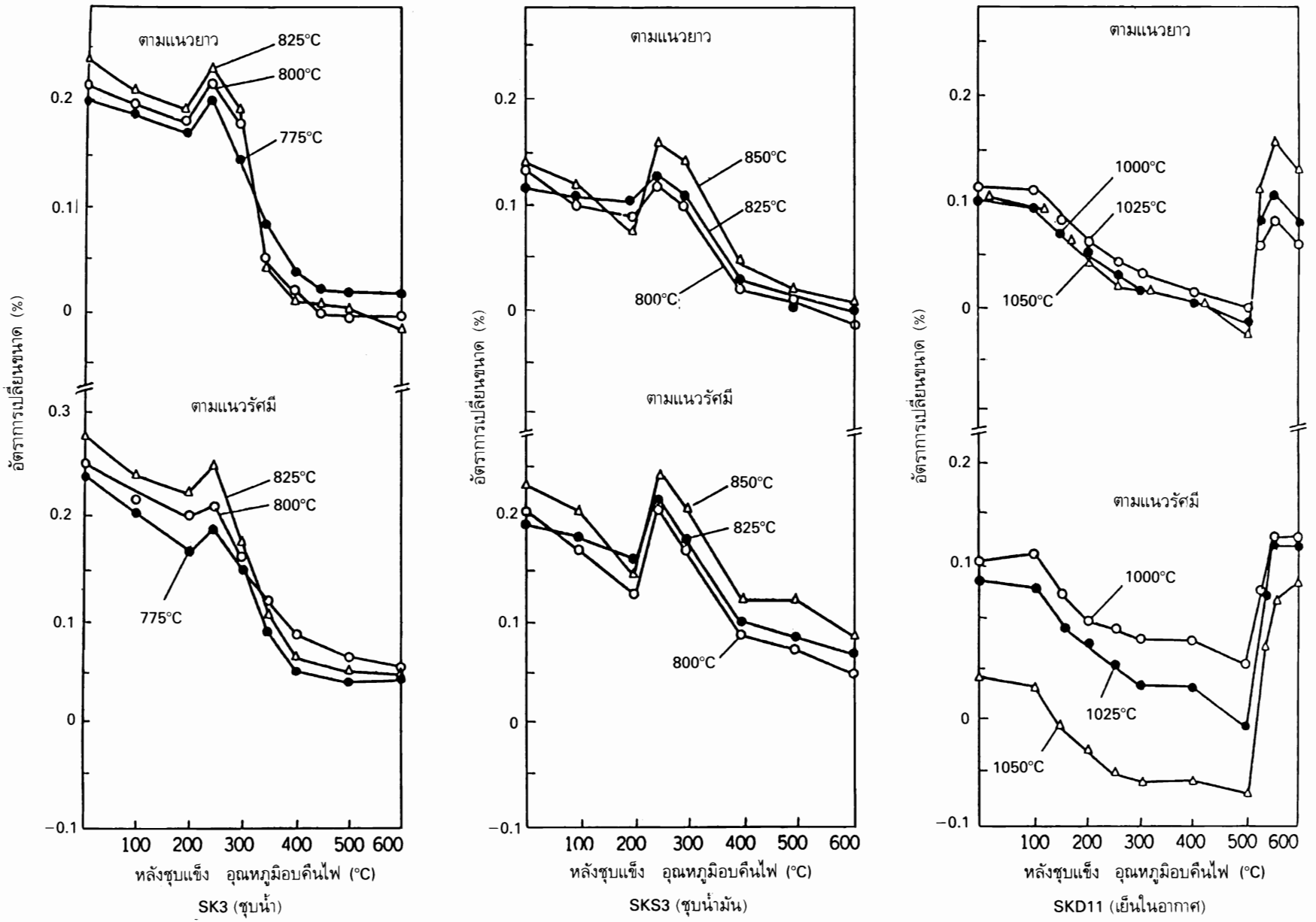
(1) เหล็กกล้าชนิดใช้งานได้หลายประเภท

(1) SKD11 (มาตรฐาน) = SLD, CRD (HITACHI KINZOKU), DC11 (DAIDO SPECIAL STEEL), AUD11 (AICHI STEEL), XW41 (UDEHOLM), KD11 (NIPPON KOSHUHA KOGYO), QC11 (SANYO SPECIAL STEEL)

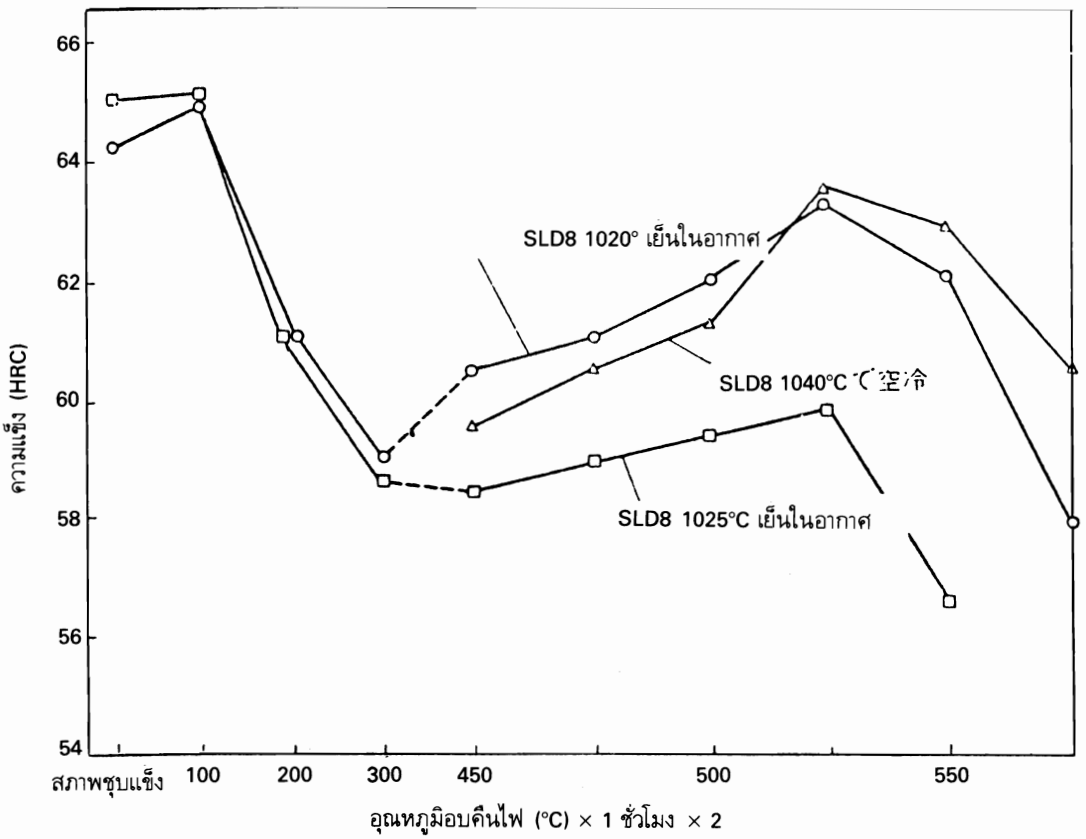
(2) SKD11 ปรับปรุงใหม่ (อบคืนไฟที่อุณหภูมิสูงได้ดี) = SLD8 (HITACHI KINZOKU), DC53 (DAIDO SPECIAL STEEL), QCM8 (SANYO SPECIAL STEEL), KDR21 (NIPPON KOSHUHA KOGYO), AUD15 (AICHI STEEL)



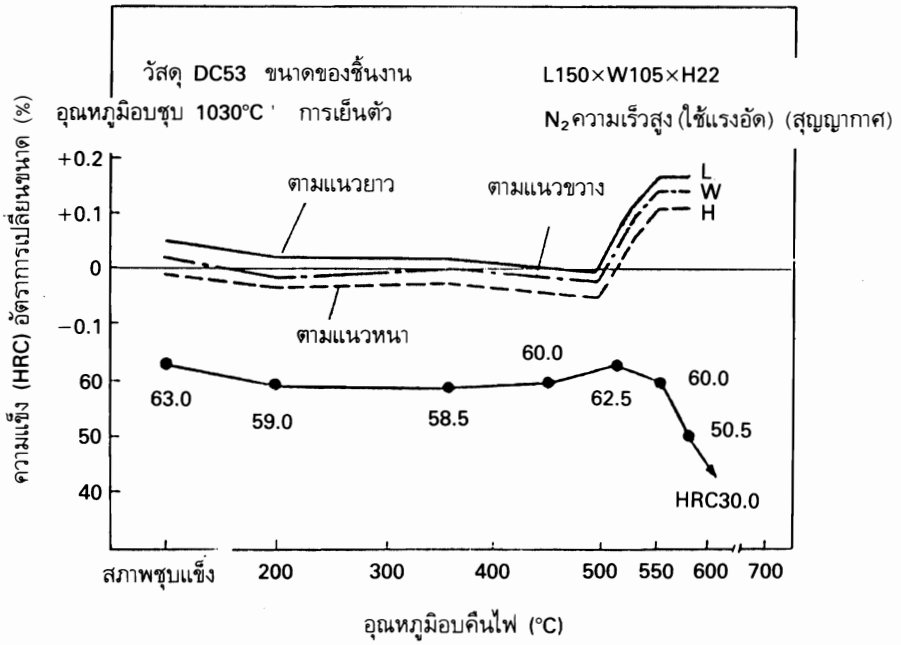
รูปที่ 13 วิธีชุบแข็งเปลวไฟ



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบคืนไฟและอัตราการเปลี่ยนขนาดของเหล็กกล้าเครื่องมือแต่ละชนิด



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอบคืนไฟและความแข็งของเหล็กกล้าแต่ละชนิด



รูปที่ 16 คุณสมบัติการชุบแข็งของ DC53

(3) SKD12 (ชุบแข็งเปลวไฟ) = HMD1, HMD5 (HITACHI KINZOKU)

(2) การชุบแข็ง

(1) SKD11

- อุณหภูมิชุบแข็ง 1000-1050°C เย็นในอากาศ
- อุณหภูมิอบคืนไฟ 150-200, 500-550°C เย็นในอากาศ

(2) SKD11 ปรับปรุงใหม่ (อบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง)

- อุณหภูมิชุบแข็ง 1020-1050°C เย็นในอากาศ
- อุณหภูมิอบคืนไฟ 500-550°C เย็นในอากาศ

(3) SKD12 (ชุบแข็งเปลวไฟ)

- อุณหภูมิชุบแข็ง 850-980°C เย็นในอากาศ

(3) คุณภาพและความแข็งหลังการอบชุบ

(1) ความสามารถในการชุบแข็ง ดี

(2) ความแข็งหลังการอบชุบ 58-64 HRC

(4) การเปลี่ยนแปลงขนาดหลังการชุบแข็ง

(1) SLD และ DC53 จะยืดตัวตามแนวยาว และหดตัวตามแนวกว้างและแนวรัศมี

(2) SLD จะเปลี่ยนขนาดปานกลาง แต่ DC53 จะเปลี่ยนน้อย

(3) ถ้าอบปรับขนาด SLD ที่ 500°C จะทำให้ความแข็งลดลงต่ำกว่า 60 HRC แต่ SLD8 และ DC53 จะลดความแข็งลงเล็กน้อย

(5) การปรับปรุงคุณสมบัติที่พื้นผิว

SKD11 และเหล็กกล้าอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูงสามารถจะทำไนไตรดิง อบในอ่างเกลือ, เคลือบ, TD หรือ CVD ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กกล้าอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูงจะทำได้ดีมาก

(6) คุณสมบัติของเหล็กกล้าแต่ละชนิดและการใช้งาน

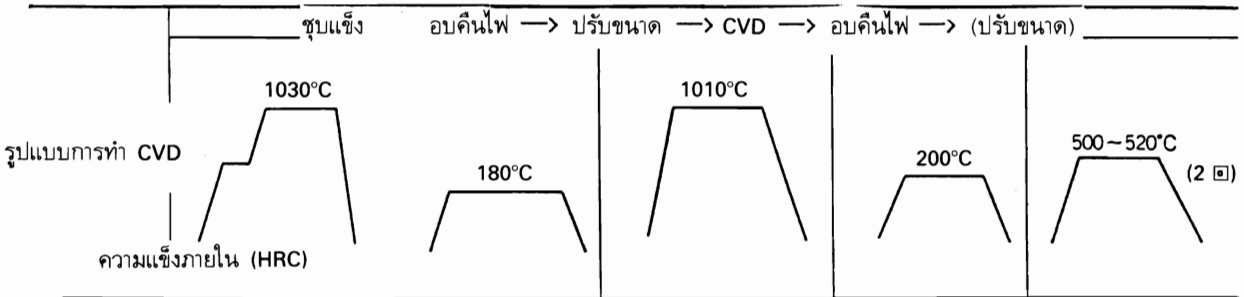
(1) SKD11 ใช้ทำแม่พิมพ์ในการผลิตจำนวนมาก และชิ้นงานแผ่นเหล็กหนา เมื่อก่อนจะใช้งานในสภาพหลังการอบชุบ แต่ในปัจจุบันนี้มีการพัฒนาเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอและรอยขีดข่วนในงานขึ้นรูปลึก จึงใช้การอบชุบที่พื้นผิว TD, CVD เข้ามาช่วย ตารางที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำ CVD ของ SKD11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความแข็งจะลดลงเมื่ออบปรับขนาด

หลังจากการอบชุบและอบคืนไฟที่ 180°C แล้วนำมาตัดด้วยลวดเพื่อขึ้นรูปละเอียดนั้น ออสเตไนท์ที่เหลือค้างจะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานนี้ จึงใช้การอบชุบใต้ศูนย์ (Subzero Treatment) เข้ามาขจัดออสเตไนท์ที่เหลือค้างออกไป

(2) เหล็กกล้าอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง

เหล็กกล้าชนิดนี้จะอบคืนไฟที่อุณหภูมิสูง (500-530°C) เพื่อลดปริมาณออสเตไนท์เหลือค้าง และให้ความแข็งประมาณ 60-63 HRC

ตารางที่ 4 รูปแบบการทำ CVD (ตัวอย่าง) และการเปลี่ยนแปลงความแข็งภายใน



DC53	60~62	–	60~61	61~62
SKD11	60~62	–	60~61	57~58

ดังนั้นจึงสามารถควบคุมการแตกและการเสียรูปหรือเสียขนาดในขณะที่ตัดด้วยลวดได้ดี ทำการปรับปรุงที่ผิวด้วยไนไตรดิง และ PVD ได้ การเปลี่ยนแปลงขนาดทั้งความยาว ความกว้างและความหนาเมื่ออบที่ 500°C จะมีเล็กน้อย

(3) เหล็กกล้าชุบแข็งเปลวไฟ

HMD1, HMD5 จะมีความแกร่งสูงกว่า SKD12 มีคุณสมบัติทนทานการแตกเป็นสะเก็ดได้ดี การทนทานต่อความสึกหรอนั้น HMD1 จะเท่ากับ SKD12 ส่วน HMD5 จะเหนือกว่า SK3

การกัดกลึงปอกผิว HMD1 จะดีกว่า SKD12 ส่วน HMD5 จะเท่ากับ SK3 และสามารถเชื่อมพอกผิวได้ดี

- **เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง**

เหล็กกล้า SKH นั้นใช้ทำพันช์, ไดของแม่พิมพ์ผลิตในปริมาณสูง

(1) *คุณสมบัติ*

(1) ความแข็งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงมีค่ามาก ทนการสึกหรอได้ดี

(2) ต้านทานการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงได้ดี

(3) ความแกร่งและความทนทานต่อความล้าสูง

(4) ชุบแข็งได้ง่าย ไม่แตกร้าวง่าย

(5) การเปลี่ยนแปลงขนาดมีมากกว่า SKD11

(2) *เหล็กกล้าประยุกต์ใช้งานหลายประเภท*

(1) SKH51 = XYM1 (HITACHI KINZOKU), MH51 (DAIDO SPECIAL STEEL), QH51 (SANYO SPECIAL STEEL), H51 (NIPPON KOSHUHA KOGYO)

(2) เหล็กกล้าอื่น ๆ = YXR3, YXR4, YXM4, XVC5 (HITACHI KINZOKU), MH55, MH8, MH25 (DAIDO SPECIAL STEEL), QHS (SANYO SPECIAL STEEL)

ตารางที่ 5, 6 และรูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติเหล็กกล้าชนิดต่าง ๆ

(3) การชุบแข็ง

- อุณหภูมิชุบแข็ง 1160-1230°C ชุบน้ำมัน
- อุณหภูมิอบคืนไฟ 560-580°C เย็นในอากาศ

(4) คุณสมบัติหลังการชุบแข็ง

(1) ความสามารถในการอบชุบดี

(2) ความแข็งหลังการอบคืนไฟ 58-65 HRC

(5) การเปลี่ยนแปลงขนาดหลังการอบชุบ

(1) ยืดตัวออกทุกทิศทาง

(2) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงขนาดสูง

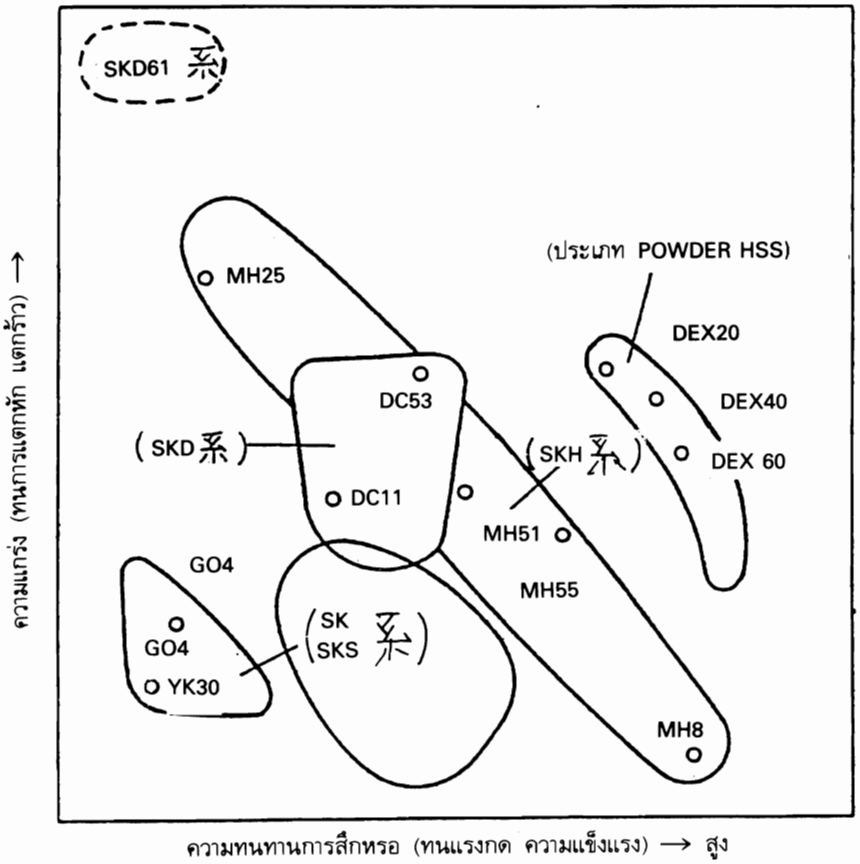
(6) การอบปรับปรุงพื้นผิว ใช้ได้ทุกวิธี

ตารางที่ 5 อุณหภูมิในการอบชุบและคุณสมบัติของเหล็กกล้าแม่พิมพ์งานละเอียด

ชนิด	YSS YASUKI STEEL	อุณหภูมิอบชุบที่แนะนำ (°C)		ความแข็งมาตรฐาน (HRC)	คุณสมบัติ (ตัวเลขยิ่งสูงยิ่งดี)			
		ชุบแข็ง	อบคืนไฟ		งานการสึกหรอ	ความแกร่ง	การอบชุบ	การเปลี่ยนแปลงขนาดหลังอบชุบ
SKS93 (SK3)	YCS3 (YC3)	790-850 น้ำมัน (760-820 น้ำ)	180-250	50-62	1	1	1	1
SKS3 เหล็กกล้าชุบในอากาศอุณหภูมิต่ำ	SGT ACD3.7	800-850 น้ำมัน 830-870 อากาศ	180-250 180-250	56-62 56-62	2 3	3 3	2 5	2 4
SKD11 เหล็กกล้าอบคืนไฟอุณหภูมิสูง	SLD SLD8	1000-1050 อากาศ 1000-1050 อากาศ	500-530 520-550	56-62 60-64	4 4	2 3	5 5	5 5
SKH51	YXM1	1160-1200 น้ำร้อน	560-580	58-65	5	3	4	3
SKH55	YXM4	1160-1200 น้ำร้อน	560-550	58-65	5	3	4	3
ความแกร่งสูง	YXR3	1120-1170 น้ำร้อน	560-550	57-61	4	6	4	3
ความแกร่งสูง	YXR4	1120-1160 น้ำร้อน	560-580	62-66	4	5	4	3
SKH57	XVC5	1160-1220 น้ำร้อน	560-580	64-67	6	2	4	3
POWDER HSS	HAP10	1050-1170 น้ำร้อน	560-580	58-65	5	4	4	4
POWDER HSS	HAP40	1100-1190 น้ำร้อน	560-580	60-66	6	3	4	4
POWDER HSS	HAP72	1160-1200 น้ำร้อน	560-580	60-70	7	2	4	4

ตารางที่ 6 คุณสมบัติของเหล็กกล้าแต่ละชนิดโดยย่อ **(DAIDO STEEL)**

ชนิดของเหล็ก		ส่วนประกอบทางเคมี (%)								ความแข็งใช้งาน (HRC)	คุณสมบัติ				
สัญญลักษณ์ DAIDO	เทียบกับ JIS	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co		ทนการสึกหรอ	ความแกร่ง	การชุบแข็ง	การขึ้นรูป	การเจียร์แต่ง
GO4	–	0.85	0.3	2.0	1.0	1.4				60	4	4	8	8	9
DC11	SKD11	1.50	0.3	0.4	12.0	1.0		0.4		58–62	6	3	9	3	3
DC53	SKD11 ปรับปรุง	อยู่ระหว่างจดลิขสิทธิ์								62	7	6	9	3	6
MH51	SKH51	0.85	0.3	0.3	4.2	5.0	6.0	1.9		60–64	8	4	7	6	4
MH55	SKH55	0.85	0.3	0.3	4.2	5.0	6.0	1.9	5.0	60–64	8	3	7	5	4
MH8	(SKH57)	1.20	0.3	0.3	4.3	5.5	7.5	3.0	12.5	62–66	9	2	7	2	2
MH25	(MATRIX HSS)	0.60	0.3	0.3	4.5	4.0	2.0	1.0		61–62	4	9	7	7	8
DEX25	(POWDER HSS)	1.3			4.0	5.0	6.5	3.0		62–66	9	6	7	5	6
DEX40	(POWDER HSS)	1.3			4.0	5.0	6.5	3.0	8.0	62–66	9	5	7	5	6
	(POWDER HSS)														



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานการสึกหรอและความแกร่งของวัสดุแม่พิมพ์

•เหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูงชนิดผง (POWDER HSS)

(1) *คุณสมบัติ*

(1) โครงสร้างจุลภาคละเอียด สม่ำเสมอไม่มีการแตกตัว ความแกร่งสูง

(2) คาร์ไบด์ละเอียดมาก กัดกลึงให้ขึ้นรูปได้ดี

(3) เนื่องจากขึ้นรูปด้วยโลหะผง จึงเติมโลหะผสมได้มากกว่าการหล่อ คาร์ไบด์มีมาก ทำให้ความแข็งสูง ทนการสึกหรอได้ดี

(2) *เหล็กกล้าเครื่องมือความร้อนสูงชนิดผงใช้งานหลายประเภท*

HAP10, 20, 40, 70, 72 (HITACHI KINZOKI), DEX 20, 40, 80 (DAIDO SPECIAL STEEL), ASP23, 30, 60 (UDEHOLM), KHA 30, 32, 60 77 (KOBE STEEL)

(3) *ข้อควรสังเกตในการใช้งาน*

ร3ส1(1) เหล็กกล้าชนิดนี้ทนการแตกร้าว ทนความร้อนสูง ทนแรงกดอัดได้ดี ดังนั้น จึงใช้ในงานเจาะอัดละเอียด (Clearance น้อย) หรือแม่พิมพ์ขึ้นรูปทรงซับซ้อนได้ดี

(2) ในปัจจุบันนี้ เพื่อลดเวลาในการทำแม่พิมพ์จะใช้โลหะผง HSS แล้วใช้กระบวนการ HIP (HOT ISO-STATIC PRESS) เพื่อลด PIN HOLE แล้วปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิว และใช้แทนวัสดุคาร์ไบด์กันมากขึ้น

ประเภทและคุณสมบัติของโลหะนอกกลุ่มเหล็กใช้ทำแม่พิมพ์โลหะ

1. โลหะผสมสังกะสี

โลหะผสมสังกะสีเป็นโลหะผสมหล่อขึ้นรูป ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบหลัก ในการทำแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป จะใช้เป็นแม่พิมพ์ทดลองขึ้นรูปชิ้นงานบาง หรือแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานปริมาณน้อย ๆ

(1) ส่วนประกอบทางเคมี

ตารางที่ 7 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของโลหะผสมสังกะสีที่มีผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาด วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ทดสอบจะมีอลูมิเนียม และทองแดงผสมอยู่ 3-4% ในกรณีเบลิคจะมีไทแทเนียมและเบรลเลียมผสมอยู่ด้วยเมื่อเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอ

โมลเดกซ์จะเป็นโลหะผสมชั้นสูงโดยมีทองแดงปนอยู่ 10-12% และเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่อุณหภูมิสูง จะเติมไทเทเนียมหรือโลหะผสมอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อยลงไปด้วย

(2) คุณสมบัติ (ตารางที่ 8)

(1) ช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว สำหรับวัสดุทำแม่พิมพ์ทดสอบจะอยู่ระหว่าง 380-390° C ส่วนโมลเดกซ์จะอยู่ระหว่าง 380-510° C ซึ่งจะต่ำกว่าโลหะผสมอลูมิเนียมหรือทองแดง ดังนั้นในการหล่อจะไหลตัวเข้ากับแบบหล่อได้ดี และหล่อเป็นรูปทรงซับซ้อนได้

(2) เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของโลหะทั้ง 3 ชนิด จะพบว่าคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับแม่พิมพ์โลหะ เช่น ความแข็ง ความต้านแรงดึง ความทนทานต่อความล้า และความต้านแรงกดนี้ โมลเดกซ์จะมีคุณสมบัติเหนือกว่าอีก 2 ชนิดมาก

(3) ความทนทานต่อการสึกหรอของโมลเดกซ์นี้ จากรูปที่ 18 จะเห็นได้ว่าไม่สูงกว่า S55C มากนักแต่วัสดุทำแม่พิมพ์ทดสอบจะเหนือกว่า S55C มากทีเดียว

(4) ความทนทานต่อการยุบตัวของโมลเดกซ์ (รูปที่ 19) จะเหนือกว่าวัสดุทำแม่พิมพ์ทดสอบประมาณ 3 เท่าที่แรงซึ่งมีค่าต่ำ

(5) ความง่ายในการขึ้นรูปเชิงกล (กลึงไสกัดเจาะ) จะสูงกว่า S55C ประมาณ 2-5 เท่า ทำให้ขึ้นรูปได้รวดเร็ว

(6) โมลเดกซ์จะแข็งกว่าวัสดุทำแม่พิมพ์ทดสอบ การขัดจะกินเวลามากกว่า แต่สามารถตกแต่งได้เร็วกว่า S55C ประมาณ 1.5-2 เท่า

(7) การพอกเชื่อมผิว จะใช้การเชื่อมแบบ TIG ซึ่งจะต้องอุ่นบริเวณที่จะเชื่อมพอกเสียก่อน

(8) การหล่อลื่นที่ผิว และความทนทานต่อการไหม้ติดดี จึงไม่เกิดรอยขีดข่วนเมื่อใช้เป็นพิมพ์ขึ้นรูปลึก

(9) การทำแม่พิมพ์เจาะตัดจะใช้เหล็กกล้าเครื่องมือเป็นตัวสอด (Insert) บริเวณคมตัด

(10) การทำแม่พิมพ์ลากขึ้นรูป แม่พิมพ์ดัดโค้งนั้นในกรณีที่แรงกระทำมีค่ามาก จะใช้อปอกซีเรซินเคลือบผิว หรือเหล็กแผ่นเชื่อมเป็นโครงสร้าง หรือใช้เป็นชิ้นส่วนในบางตำแหน่งของแม่พิมพ์ได้

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด

ชื่อวัสดุ	ความต้านแรงดึง กก/มม²	ความแข็งหลังอบอ่อน (HB)	อุณหภูมิชุบแข็งเปลวไฟ (°C)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)	ความแข็งหลังชุบแข็งเปลวไฟ (HRC)	เทียบกับมาตรฐาน
ICD−1	97.7	<248	825−1025 เย็นอากาศ	200	>60	
		<235	810−1100 (ชุบน้ำมัน)	>300	>57	
HZP−11	71.1	<220	850−950	100	55−62	DIN2067
HZP−12	74.7	<230	900−1000	100	55−62	SKD12, DIN2363
HZP−13		<235	950−1050	100	55−62	W2601, DIN2201
HZP−21	71.5	<230	850−950	100	45−55	SKT3, DIN27695
HZP−22	81.2	<235	850−950	100	55−60	SKT5, GM190
HZP−23		<220	850−950	100	53−58	DIN2247
HZP−24		<230	900−1000	100	60−65	
HZP−25		<230	900−1000	100	60−65	
HZP−26		<220	850−950	100	45−50	
HZP−27		<220	850−950	100	50−55	
GM2418		200−258			>50	
190M	70.3	<235	830−880	50	56−60	
W2601	55.3	<241			60−62	SKD11
W2363	87.0	<248	930−980	50	60−62	SKD12
W2769	75−85				60−62	

ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะผสมสังกะสีแต่ละชนิด

	โลหะผสมสังกะสีทำแม่พิมพ์ทดสอบ	เบสิค	โมลเดกซ์
ความถ่วงจำเพาะ (ก/ซม³)	6.8	6.8	6.9
ช่วงการแข็งตัว (°C)	380−390	380−390	380−510
อัตราการหดตัวเมื่อเย็น (%)	1.1	1.2	1.0
สปส. การขยายตัวเมื่อร้อน (10^{-6}/°C)	27	27	26
โมดูลัสอิลาสติกตามแนวนอน (กก/มม²×10³)	8	8	11
ความต้านแรงดึง (กก/มม²)	25−28	27−30	33−36
ความต้านแรงกด (กก/มม²)	55−60	60−70	80−70
ส่วนยืด (%)	1−3	1−2	0.5−1
พลังงานในการรับการกระแทก (กก.ม/ซม²)	1−3	1−3	0.5−1
ความแข็งของวิคเกอร์ส (HV)	110−130	120−130	160−170
ความต้านความล้าดัดโค้ง (กก/มม²×10⁸)	6	9	10

2. โลหะผสมอลูมิเนียม

โลหะผสมอลูมิเนียม เป็นวัสดุหล่อขึ้นรูปที่มีอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก หรือผลิตโดยการรีดขึ้นรูป ใช้ทำแม่พิมพ์ทดสอบหรือเป็น DIE SET HOLDER ในแม่พิมพ์โลหะ

(1) ส่วนประกอบทางเคมี

ตารางที่ 9, 10 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติต่าง ๆ ของอลูมิเนียมที่ผลิตโดยบริษัท FURUKAWA ALUMINIUM KOGYO อลูมิเนียมชนิดที่เทียบเท่ากับ JIS 7075 นั้น ได้แก่ ดูราลูมิน ซึ่งมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับเหล็กกล้า S55C มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง สามารถใช้เป็นวัสดุแม่พิมพ์ได้มากในอนาคต

บริษัท HAKUDO ได้สั่งอลูมิเนียมเข้ามาจากบริษัท BESHINE (ฝรั่งเศส) ประเภท 7H75 ซึ่งเป็นวัสดุ Al–Zn–Mg–Cu ผสม และเทียบเท่ากับ JIS7075 SUPER DURALUMIN มีส่วนผสมดังนี้

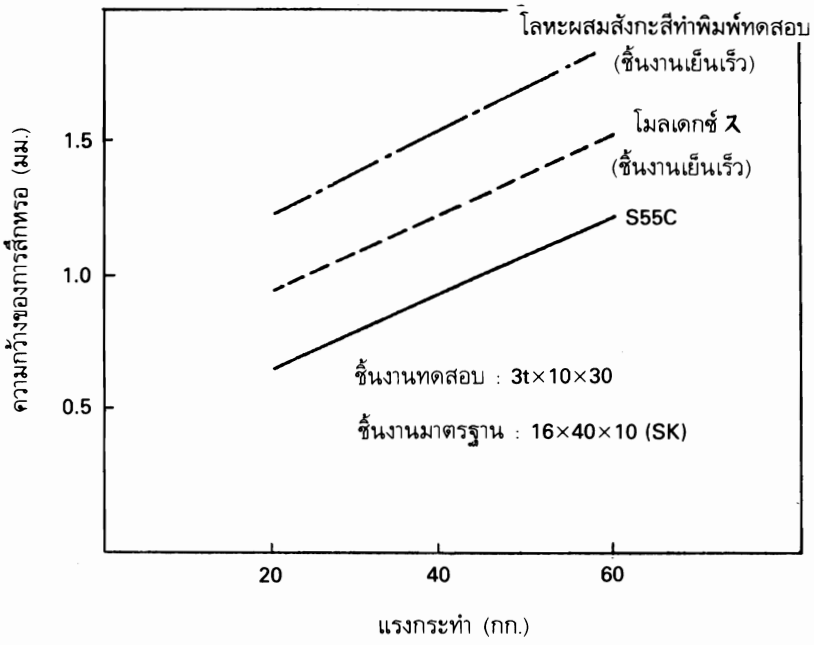
CU : 1.44%, Mg : 2.63%, Mn : 0.08%, Cr : 0.20%, Si : 0.09%, Fe : 0.17%, Ti : 0.04%, และ Zn : 5.94%

(2) คุณสมบัติ

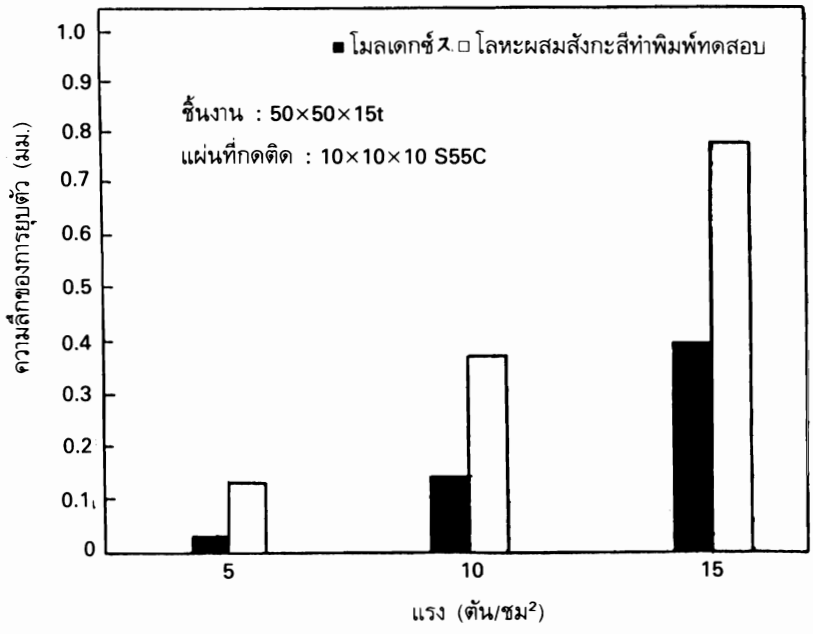
(1) ใช้ทำแม่พิมพ์โลหะ ที่มีน้ำหนักเบาได้.....ถ.พ.ของ A7075 มีค่าเท่ากับ 2.80 ซึ่งเท่ากับ 36% ของ S55CN ซึ่งมี ถ.พ. เท่ากับ 7.85 กล่าวคือ ถ้าใช้ A7075 เป็น DIE SET แทน S55C แล้ว น้ำหนักจะลดลงเหลือประมาณ 1 ใน 3 ดังนั้นการขนย้ายและการติดตั้งแม่พิมพ์จะสะดวกขึ้น แรงที่กระทำต่อ RAM ของเครื่องอัดจะน้อยลง ทำให้ความเที่ยงตรง ณ จะศูนย์ตายล่างสูงขึ้น ผลิตชิ้นงานด้วยความเร็วสูงขึ้นได้ ความสั่นสะเทือนและเสียงลดลง การสึกของบริเวณเบรคและคลัชของเครื่องอัดจะลดลง ประหยัดพลังงานได้มาก

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของอลูมิเนียมผสมใช้ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์

ประเภท	ชนิด	เทียบกับ JIS	คุณสมบัติทั่วไป				คุณสมบัติเฉพาะ	การใช้งาน
			ความแข็งแรง	ทนการกัดกร่อน	กรขึ้นรูป	การเชื่อม		
อลูมิเนียมผสมใช้ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์	อัลควิน 300	7075	A	C	B	C	SUPER DURALUMIN ALLOY คุณสมบัติเทียบเท่า S55C ใช้ทำเครื่องมือแม่พิมพ์	แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป, DIESET PLATE, เครื่องมือเคลื่อนที่
	อัลควิน 200	2014	B	D	B	B	โลหะผสม Al–Cu ทนความร้อนได้ดี ความแข็งแรงสูงใช้ทำแม่พิมพ์	แม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง
	อัลควิน 100	5052	C	A	D	A	โลหะผสม Al–Mg ทนการกัดกร่อนเชื่อมได้ได้ 2 ด้าน ความแข็งแรงต่ำเล็กน้อย	ขึ้นรูปสุญญากาศ BLOW MOLD, MOLD BASE PLATE
อลูมิเนียมทั่วไป	5083–0	เหมือนข้างซ้าย	B	A	D	A	ความแข็งแรงสูงไม่ต้องอบชุบ, ทนการกัดกร่อน, เชื่อมทำโครงสร้างได้	ทำเรือ, รถไฟ, โรงงานเคมี, ถัง LNG
	1100–0	เหมือนข้างซ้าย	B D	A A	D E	A A	อลูมิเนียมฟลักซ์ >99.0% ความแข็งแรงต่ำ ใช้งานทั่วไป	อุปกรณ์ครัว, FIN, CAP, แผ่นป้าย, วัสดุก่อสร้าง



รูปที่ 18 เปรียบเทียบความทนทานต่อการสึกหรอ



รูปที่ 19 เปรียบเทียบสภาพการยุบตัว

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของอลูมิเนียมผสมใช้ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์

ประเภท	ชนิด	ความหนา (มม.)	คุณสมบัติเชิงกล				คุณสมบัติทางกายภาพ					
			ความต้านแรงดึง (กก/มม²)	จุดคราก (กก/มม²)	ส่วนยืด (%)	ความแข็ง (HB)	อุณหภูมิหลอม (°C)	ถ.พ.	โมดูลัสอิลาสติกเชิงเส้น (กก/มม²)	สปส. นำความร้อน 25°C (cal.cm sec)	การยืดตัวตามเส้น 20–100°C (×10 ⁶/°C)	ความร้อนจำเพาะ 0–100°C (cal/°C)
อลูมิเนียมผสมใช้ทำเครื่องมือแม่พิมพ์	อัลควิน 300	40 80 200	55 52 45	50 45 36	12 10 7	160 155 150	476	2.80	7300	0.31	23.6	0.23
	อัลควิน 200	–	42	38	10	140	507	2.80	7400	0.37	0.23	0.21
	อัลควิน 100	–	20	8	30	60	593	2.68	7200	0.33	23.8	0.23
อลูมิเนียมทั่วไป	5083–0	100	30	13	30	75	579	2.66	7200	0.28	24.2	0.23
	1100–0	–	9	4	35	23	646	2.71	7000	0.53	23.6	0.24

(2) สัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง.....**A7075** มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงกว่า **S55CN** 2.2 เท่า ความร้อนจำเพาะมากกว่าประมาณ 1.5 เท่า ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างผลิต ชิ้นงานด้วยความเร็วสูงจะกระจายไปได้เร็ว ป้องกันการอ่อนตัวของพันช์, ไดจากอุณหภูมิสูงได้ดี

(3) ความแข็งแรงสูง.....วัสดุประเภท **A7075** นั้น จะมีความต้านแรงดึงประมาณ 80% **ของ S55CN** ความแข็งแรงที่จุดครากประมาณ 1.2 เท่า กล่าวได้ว่ามีคุณสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปจะเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดเพื่อให้ความแข็งแรงเพียงพอ

(4) การขึ้นรูปเชิงกลดี.....วัสดุอลูมิเนียมที่อ่อนนั้นจะมีเศษพันติดที่ปลายคมตัดขณะกัดกลึงทำให้ขึ้นรูปได้ยาก แต่เมื่ออบชุบแล้วมีความแข็งมากขึ้น จะทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายกว่าวัสดุเหล็กกล้าหลายเท่า

(5) สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนสูง สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของอลูมิเนียมมากกว่าเหล็กกล้า 2 เท่า ดังนั้น ในการออกแบบต้องคำนึงถึงความแตกต่างเชิงอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดการขยายตัวมากไว้ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้อลูมิเนียมร่วมกับเหล็กกล้า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แรงกดดันที่ผิวหน้าอาจมากขึ้น หรือในทางกลับกันอาจเกิดช่องว่างมากเกินไปได้

(6) โมดูลัสอิลาสติกต่ำ.....โมดูลัสอิลาสติกของอลูมิเนียมจะมีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของเหล็กกล้า ดังนั้น แม้ในช่วงอิลาสติกก็จะมีความเครียดสูงมาก ต้องระมัดระวังในการใช้งาน ในกรณีต้องการความแข็งแรงสูง หรือในส่วนที่รับแรงกระทำมากเป็นพิเศษ จะเพิ่มความหนาของอลูมิเนียมหรือใช้แผ่นประกบหลังช่วยรับแรงให้ได้มากขึ้น

ตารางที่ 11 อลูมิเนียมบรอนซ์ (JIS HS114 ปี 1979)

ชนิด	สัญญลักษณ์	ส่วนประกอบทางเคมี					
		Cu	Al	Fe	Ni	Mn	สารมลทิน
2	ALBC 2	>78	8.0–11.0	2.5–6.0	1.0–3.0	<3.5	<0.5
3	ALBC 3	>78	8.5–11.0	2.5–6.0	2.5–60	<3.5	<0.5

3. อลูมิเนียมบรอนซ์

อลูมิเนียมบรอนซ์เป็นวัสดุขึ้นรูปจากการหล่อโดยมีทองแดงเป็นองค์ประกอบหลัก พัฒนาขึ้นมาใช้เป็นวัสดุแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปลึกของเหล็กกล้าไร้สนิมหรือเหล็กกล้าละมุนโดยไม่เกิดการไหม้ติดหรือรอยขีดข่วน

(1) ส่วนประกอบทางเคมี (ตารางที่ 11)

อลูมิเนียมบรอนซ์ จะมีส่วนประกอบหลักจากธาตุ 5 ตัว ได้แก่ Cu–Al–Mn–Fe–Ni โครงสร้างพื้นฐานจะเกิดจาก Cu–Al–Mn 3 ธาตุโดยเติม Fe ลงไปให้โครงสร้างละเอียดขึ้น และเติม Ni ให้ทนการกัดกร่อนมากขึ้น

(2) คุณสมบัติ (ตารางที่ 12, 13, 14, 15, 16)

(1) ทนการสึกหรอ ใช้ป้องกันรอยขีดข่วนในการขึ้นรูปลึก

อลูมิเนียมบรอนซ์มีความแกร่งสูงพอ ๆ กับเหล็กกล้าที่ผิวจะมีฟิล์มออกไซด์บาง ๆ ปกคลุมอยู่ ฟิล์มนี้ยึดติดแน่นและให้การลื่นไหลได้ดี ความแข็งสูงมาก

ส่วนประกอบทางเคมีเป็นวัสดุต่างชนิดกันและเป็นวัสดุหล่อที่ผิวจะมีรูพรุนอยู่ นอกจากนี้ยังมี สปส. แรงเสียดทานน้อยลื่นไหลได้ดี สปส. การนำความร้อนสูงกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานได้ดี (ตารางที่ 17)

จากคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้เทียบกับเหล็กกล้าเครื่องมือที่ใช้ทำแม่พิมพ์แล้วจะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพการหล่อลื่นสูง ฟิล์มน้ำมันที่ผิวขาดจากกันยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่แรงขึ้นรูปสูง ๆ จะใช้ได้ดีกว่าวัสดุประเภทเหล็ก จะใช้คุณสมบัตินี้ทำแม่พิมพ์ซึ่งไม่ต้องการใช้เกิดรอยขีดข่วนจากการขึ้นรูปลึก หรือขึ้นรูปลึกเพื่อลดขั้นตอนการทำงาน (ตารางที่ 18) หรือใช้แรงกดลอนขนาดสูง ๆ ได้ดีมาก

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการขึ้นรูปลึกเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ถ้าไม่ต้องการให้เกิดรอยขีดข่วนจากการขึ้นรูปแล้ว การใช้อลูมิเนียมบรอนซ์ทำแม่พิมพ์จะดีที่สุด

(2) หล่อขึ้นรูปได้ดี.....วัสดุชนิดนี้หล่อขึ้นรูปได้ง่าย สามารถหล่อแม่พิมพ์ที่มีรูปทรงซับซ้อนได้

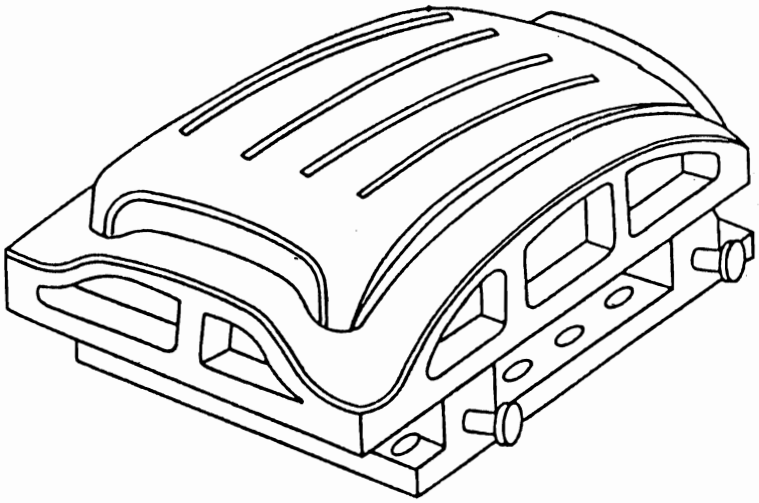
(3) เชื่อมประสานกับโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้.....การเปลี่ยนแปลงรูปแบบทำได้ง่าย การเชื่อมพวกผิวก็สามารถทำได้ดี

(4) ขึ้นรูปเชิงกลได้ง่าย.....การกลึงไสกัดเจาะได้ง่ายเท่ากับเหล็กกล้าไร้สนิมแต่การขัดแต่งด้วยหินเจียร์นั้นเศษโลหะมักเข้าไปอุดตันที่รูหินขัด ทำให้เจียร์แต่งได้ไม่ค่อยดี

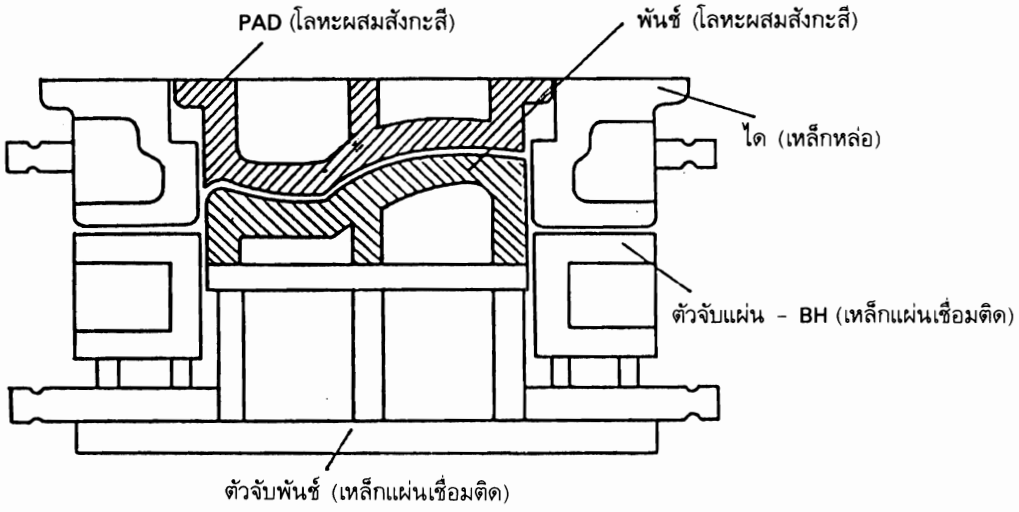
(5) ไม่จำเป็นต้องอบชุบ.....ไม่ต้องกังวลเรื่องการเสียรูปทรงหรือเสียขนาดเนื่องจากการอบชุบ ลดเวลาในการทำแม่พิมพ์ แต่ทว่าความทนทานต่อการสึกหรอจะด้อยกว่าแม่พิมพ์เหล็กกล้าที่ผ่านการอบปรับปรุงพื้นผิว ในการผลิตจำนวนมากจะต้องหาทางแก้ไขปัญหาเรื่องการสึกหรอ

(3) โครงสร้างแม่พิมพ์ในกรณีใช้วัสดุอลูมิเนียมบรอนซ์

ในกรณีแม่พิมพ์ขนาดกลางและขนาดเล็กใช้อลูมิเนียมบรอนซ์ทำพันช์, ไดหรือโฮลเดอร์ (ตัวจับ) ได้ดี แต่ในกรณีแม่พิมพ์ขนาดกลางค่อนข้างใหญ่นั้น ความแข็งแรงจะไม่เพียงพอและต้นทุนสูง จึงมักใช้อลูมิเนียมบรอนซ์เฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับวัสดุชิ้นงาน หรือใช้เฉพาะบริเวณหน้าโดยรอบของไดเท่านั้น ซึ่งในกรณีนี้สามารถซ่อมแซมเมื่อเกิดการสึกหรอได้ง่าย นอกจากนี้เนื่องจากอลูมิเนียมบรอนซ์เป็นวัสดุหล่อพิเศษ ดังนั้น ในการสร้างงานหล่อ จึงมักส่ง



รูปที่ 20 แม่พิมพ์ใช้วัสดุร่วมระหว่างโลหะผสมสังกะสี และอิปอกซีเรซิน (ไม่แสดงพิมพ์บนไว้)



รูปที่ 21 แม่พิมพ์ ใช้วัสดุร่วมระหว่างโลหะผสมสังกะสีและเหล็ก

ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะผสมทองแดงทนการสึกหรอ (โลหะผสม HZ CE−2F)

ถ.พ. ก.ซม^2	จุดหลอมเหลว (ช่วง) °C	สปส. การขยายตัวเชิงเส้น °C^{-1} (20−400°C)	ระดับการนำ ความร้อน Cal.°C^{-1}.Sec.cm^{-1}
7.3	979−1025	22.5×10^{-6}	0.16

ตารางที่ 13 คุณสมบัติของโลหะผสม HZ CE−2F

ความต้านแรงดึง (กก/มม^2)	ส่วนยืด %	ความแข็ง HB	ความทนทาน แรงกระแทก กก/มม^2	ความทนทาน แรงบิด กก/มม^2	ความทนทาน การแปรรูป กก/มม^2	ความต้าน แรงกด กก/มม^2
40−55	0−0.5	330−380	0−0.5	45−60	50−65	100−120

ตารางที่ 14 คุณสมบัติทางกายภาพของ WR700

ถ.พ. ก/ซม^3	Poisson Ratio	สปส. การขยายตัว เชิงเส้น K^{-1} (25−250°C)	สปส. การนำความร้อน W/mK	สัดส่วน J/S.K
7.3	0.30	17.6×10^{-6}	36	0.46

ตารางที่ 15 คุณสมบัติเชิงกลของ WR900

ความต้านแรงดึง กก/มม^2	จุดครากที่ 0.2% กก/มม^2	ส่วนยืด %	ความแข็ง HB (10/300)	จุดครากเมื่อกด กก/มม^2	ความต้านแรงกด กก/มม^2
66	52	0.8	285	98	121

ตารางที่ 16 คุณสมบัติต่าง ๆ ของ DIE ACE SO330

ความต้านแรงดึง กก/มม²	ส่วนยืด %	ความแข็ง HS	ถ.พ.	สปส. การขยายตัวจากความร้อน °C
795	1	<60	8.0	20×10^{-6}

ตารางที่ 17 สปส. แรงเสียดทาน

วัสดุแม่พิมพ์	SUS 304	SUS 430	สารหล่อลื่น
HZALLOYCE−2F ARMCO MEMC เหล็กกล้าธรรมดา	0.130−0.141 0.150 0.192	0.139−0.142 0.151 0.174	จอห์นสัน แวกซ์ # 122 ผสมน้ำมันเครื่อง # 120 5 เท่า กวนให้เข้ากัน

ตารางที่ 18 พิกัดสัดส่วนการอัดขึ้นรูป

วัสดุแม่พิมพ์	SUS 304	SPCD
HZ ALLOY CE−2F S55C	0.482 0.526	0.474 0.482

แบบกระสวนเป็นแบบโฟม หรือปูนปลาสเตอร์หรือแบบไม้ ให้โรงหล่อทำเป็นชิ้นงานหล่อมาให้

ผู้ผลิตวัสดุชนิดนี้ที่สำคัญ ๆ ได้แก่

- HZ ALLOY CE−2F (HITACHI SOZEN)
- DIEACE SO−330 (SANKYO OILLESS KOGYO)
- WR 900 (KOBE STEEL)
- ARMCO METAL (NAKAKOSHI ALLOL)

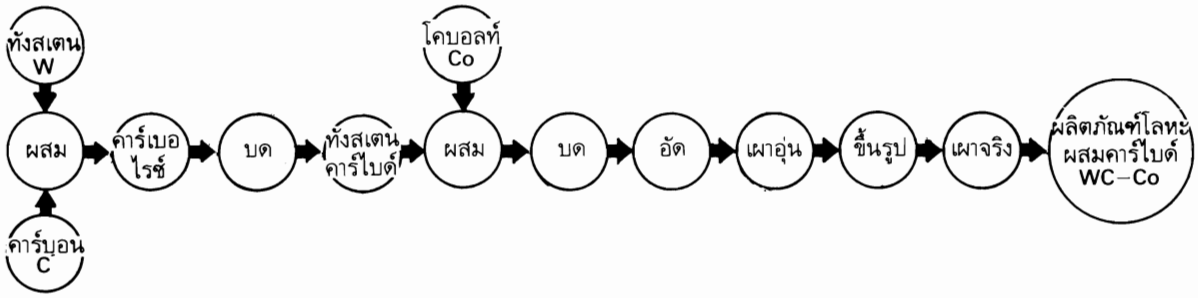
4. โลหะผสมคาร์ไบด์ใช้ทำแม่พิมพ์

โลหะผสมคาร์ไบด์ทานการสึกหรอที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ได้แก่ โลหะผสมที่มีทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) เป็นองค์ประกอบหลัก แล้วใช้โคบอลท์ (Co) เป็นตัวประสาน ดังกระบวนการผลิตในรูปที่ 22 ซึ่งใช้กระบวนการโลหะผงอัดแล้วเผา (SINTER) ให้ประสานติดกันเป็นชิ้นงาน

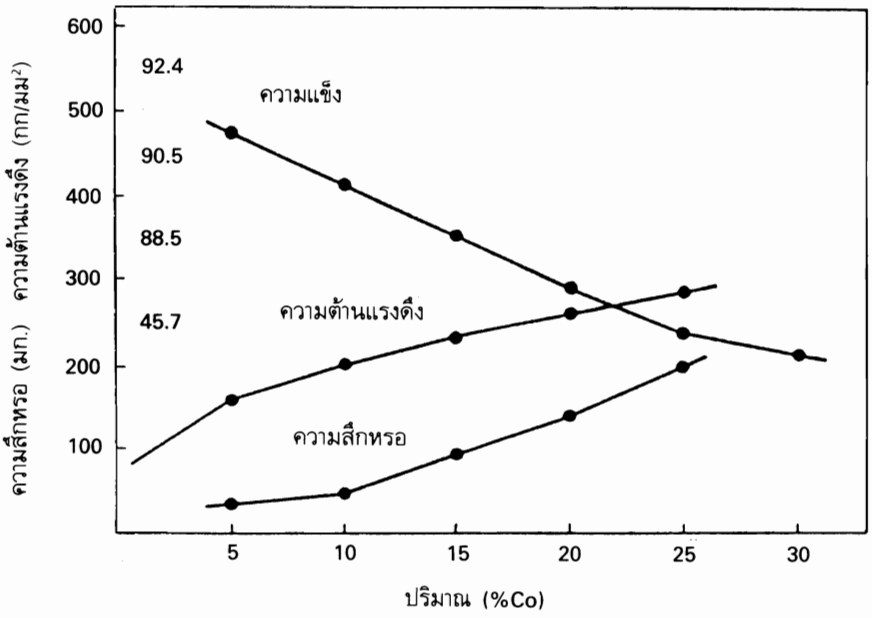
เมื่อก่อนนี้ จะใช้คาร์ไบด์ทำเฉพาะแม่พิมพ์ที่ผลิตทีละจำนวนมากเท่านั้นแต่ในปัจจุบันแนวโน้มการผลิตชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์จะเป็นการผลิตทีละจำนวนน้อย ๆ แต่ต้องการที่จะประกันคุณภาพของชิ้นงาน และความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ จึงมีการประยุกต์ใช้คาร์ไบด์ในแม่พิมพ์ที่ผลิตชิ้นงานจำนวนน้อย ๆ กันมากขึ้น

(1) คุณสมบัติ

รูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกลในด้านความแข็ง ความต้านแรงดึง และความทนทานต่อ



รูปที่ 22 วิธีผลิตคาร์ไบด์ WC–Co



รูปที่ 23 การเปลี่ยนแปลงของความแข็ง ความต้านแรงดึง และการสึกหรอ เมื่อปริมาณ Co เปลี่ยนแปลงไปใน WC–Co

การสึกหรอที่เปลี่ยนไปเมื่อปริมาณโคบอลล์เปลี่ยนไป วัสดุคาร์ไบด์ประเภท WC–Co นี้ถ้าปริมาณ Co มีปริมาณน้อยจะทนทานการสึกหรอได้ดี แต่เมื่อ Co มีมากขึ้นความแข็งจะลดลง ความต้านแรงดึงและความทนทานต่อแรงกระแทกสูงขึ้น

ในวัสดุ WC–Co ประเภทเดียวกัน ถ้าเมล็ดคาร์ไบด์มีขนาดเฉลี่ยเล็กแล้วจะทำให้ความแข็งสูง ทนทานการสึกหรอ แต่ไม่ทนแรงกระแทก เมื่อเมล็ดคาร์ไบด์โตขึ้น ความแข็งจะลดลงความแกร่งจะมากขึ้นและความทนทานต่อแรงกระแทกดีขึ้น

(2) ชนิดและมาตรฐานของโลหะผสมคาร์ไบด์ที่ใช้ทำแม่พิมพ์

การแบ่งประเภทของโลหะผสมชนิดนี้ มิได้กำหนดไว้ในมาตรฐาน JIS แต่กำหนดโดยมาตรฐานสมาคมคาร์ไบด์ใช้ทำเครื่องมือกล (CIS–Carbide Industrial Standard)

ตารางที่ 19 มาตรฐานสมาคมเครื่องมือคาร์ไบด์ (CIS ปี 1972)

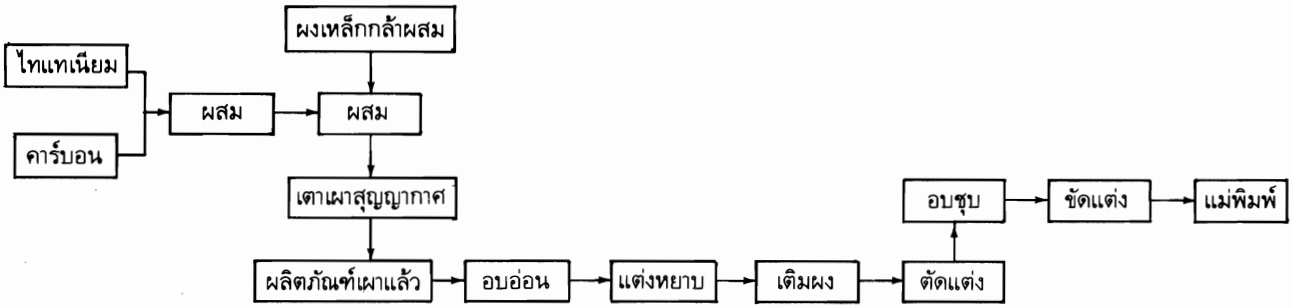
สัญลักษณ์การใช้งาน	ความแข็ง RA	ความต้านแรงดึง กก/มม²	ส่วนประกอบทางเคมี (%)		
			W	C	Co
V1	>89	>120	88–91	5–6	3–6
V2	>88	>130	85–90	5–6	5–9
V3	>87	>150	78–87	5–6	8–16
V4	>85	>190	73–87	4–6	11–20
V5	>83	>210	70–82	4–6	14–25
V6	>80	>240	65–78	4–6	17–30

ตารางที่ 20 มาตรฐานการเลือกใช้

ชื่อผลิตภัณฑ์			สัญญลักษณ์การใช้งาน					
การแบ่งประเภทใหญ่ ๆ	ชื่อผลิตภัณฑ์หรือการแบ่งประเภท		มาก ← ความแข็ง → น้อย น้อย ← ความต้านแรงดึง → มาก					
			V1	V2	V3	V4	V5	V6
แม่พิมพ์ลาดขึ้นรูป	ได	แรงกระทำต่ำ	0	0	0			
		แรงกระทำสูง		0	0	0		
		แรงกระทำต่ำ		0	0	0		
	พันช์	แรงกระทำสูง			0	0	0	
แม่พิมพ์อัดเจาะ	ได	แรงกระทำสูง			0	0	0	
		แรงกระทำสูง				0	0	0
	พันช์	แรงกระทำต่ำ			0	0	0	
		แรงกระทำสูง				0	0	0
เครื่องมือทนการสึกหรอทนแรงกระแทก	แรงกระแทกปานกลาง	ใช้ในการดัดงอ		0	0	0		
	แรงกระแทกสูง	ตีตรา, COINING DIE, พันช์			0	0	0	0

ตารางที่ 21 ตารางสัญญลักษณ์คาร์ไบด์ของผู้ผลิตแต่ละราย

ชื่อผู้ผลิต	V1	V2	V3	V4	V5	V6
DIE SET	D1	D2, MR15	D3, MR2	G5, KG60, MR3	KG70,MH4	MH5, MH7
DIALLOY	D1	D2	D3			
NATSUMOTO DAITA	ED1	ED2	ED3	ED4	ED5	ED6
ESCALOY	G1	G2	G3, G4	G3, G4	G6	G6, G7
FUJIDIES	D05, D10, D20	D40, C50, G55	D60, C60	G70, G65, C70	G85, G80	C90, C95
KANSAI CARBIDE	UG1, UG2	UG3, UG4	UG5	UG6	UG7	UG8S, UG8H
KOKUSAN ALLOY	KD1	KD2	KD3, KD4	KD5, KD6	KD7	KD8
KYORITSU TUNGSTEN	H1, G1	G2	G3, G4	G5, G6	G7	G8, G9
MAKOTOLOY	D1, G1	D2, GM1	D3, GM2, GM3	GM4, GM5	GM6,GM7	GM80
MITSUBISHI METAL	GT105	GT110, GT115	GT120	GT130, GT135	GT140	GT150, GT160
ARAE IND.	MF, D1	D2	D3	MG5	MG6,MG7	MG8, MG9
NIPPON TUNGSTEN	G1	G2	G3	G30T	G50T	G80T
NIPPON PRECISION METAL	GN01, GN05	GN10, GN15	GN20	GH30	GN40	GN50
SANWA DIAMOND	H2, H3, G1	G2	G3	G4	G5	G7, G8
SUMITOMO DENKI	D1	D2	D3	G5	G6,G7	G8
TOKUNI METAL	G1, G2	G3	G4	G5	G6	G7, G8
TAIYO METAL	A20	A30	A40, A50	A60		
TOBUSPECIAL ALLOY	D1	D2	D3	D4	D5	D6, D8
TOKAL ALLOY	H1, G1	G2	G3, G4	G5, G6	G7	G8
TOKIWALOY	G10	G20	G30	G40, G50	G60,G70	G80, G90
TOKO DENKI	H1, GX1	GX2	GX3	G4	G5	G6, G7
TOKYOARAE	MF1, G1	G2	G3, G4	G5	G6,G7	G8, 9, 10, GR10
TOKYO TUNGSTEN	D10	D20	D30	D50, D60	D70	D80
TOSHIBA TUNGALOY	D10	D20, D25	D30	D40	D50	D60
HITACHI TOOL	WH20	WH40	WH40	WH50	WH60	WB60, WB70
SUNALOY	DA05, DA10	DA20, 25, 30	DA40, 50, 55	DA60, 65, 70	DA75,VA40,50	
CHIYODA METAL				TD10, TD25	TD30	TD40, 50, 60
SILVERLOY					YS-35	YS-30



รูปที่ 24 กระบวนการโดยย่อจากการขึ้นรูปเฟอร์โรติคจนเป็นแม่พิมพ์

ตามตารางที่ 19 ผู้ผลิตจะอ้างอิงมาตรฐานนี้แล้วพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตลอดจนชื่อต่าง ๆ ขึ้นมาเองอีกด้วย

(3) มาตรฐานการเลือกใช้ตาม CIS

ตารางที่ 20 กำหนดมาตรฐานการเลือกใช้ตาม CIS ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) แม่พิมพ์เจาะอัด.....ในกรณีแม่พิมพ์ที่ใช้เจาะรูนั้นจะใช้พันช์เป็น V3 และไดเป็น V4 ในกรณีที่รับแรงกระแทกมาก (ชิ้นงานเป็นวัสดุแผ่นหนา) หรือป้องกันการแตกหักของพันช์, ได จะใช้วัสดุเป็น V5

(2) แม่พิมพ์ดัดโค้ง.....โดยทั่วไปจะใช้ V4 ถ้าแรงกระทำต่ำไม่ต้องห่วงเรื่องการไหม้ติดก็อาจใช้ V3 ได้ ในกรณีรับแรงกระแทกมากจะใช้ V4 ซึ่งความทนทานการไหม้ติดและอายุใช้งานลดลงไปบ้าง

(3) แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป.....โดยทั่วไปจะใช้พันช์เป็น V2 ไดเป็น V2 หรือ V3 แต่ถ้ารับแรงกระแทกและไม่เป็นห่วงเรื่องการไหม้ติดจะใช้ V4 แทน

(4) แม่พิมพ์เจาะเหรียญ.....โดยทั่วไปจะใช้ V5 แต่ถ้าแรงกระแทกน้อยและแรงกดต่อพื้นที่มีค่ามากจะใช้ V4 แต่ถ้าแรงกระแทกสูง แรงกดต่อพื้นที่มีน้อยจะต้องใช้วัสดุ V6

(5) แม่พิมพ์ GUIDE .....ใช้วัสดุ V1, V2

ตารางที่ 21 เป็นข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ผลิตต่าง ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน CIS

5. เฟอร์โรติค (Ferrotic)

เฟอร์โรติค คือ วัสดุผงที่มีไทแทเนียมคาร์ไบด์เป็นองค์ประกอบหลักแล้วเติมโลหะผสมที่เป็นผงชนิดอื่น ๆ ลงไป เผาอัดให้ติดกัน รูปที่ 24 แสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิต ส่วนตารางที่ 22 แสดงชนิดของเฟอร์โรติค ในการทำแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปมักจะใช้ CM 35 กันมากที่สุด

การใช้เฟอร์โรติคเป็นแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปนี้จะเกิดรอยขีดข่วนที่ชิ้นงานน้อยกว่าการใช้วัสดุคาร์ไบด์ แต่เนื่องจากไม่ได้ใช้กระบวนการ HIP ขึ้นรูปแม่พิมพ์ ถ้ามีรูพรุนเล็ก ๆ ที่ผิว (Pin Hole) แล้วอาจทำให้เกิดรอยขีดข่วนขึ้นได้ ในปัจจุบันผู้ผลิตบางรายได้เอาเฟอร์โรติคมาอัดติดที่ปลายพันช์เจาะซึ่งทำจาก SKD11 ออกจำหน่ายแล้ว

พันช์นี้จะใช้แกนซึ่งต้องการความแกร่งทำขึ้นจาก SKD11 ส่วนปลายคมซึ่งต้องการทนการเสียดสีจะใช้เฟอร์โรติค ซึ่งมีการรายงานผลว่ามีอายุยืดยาวกว่าพันช์ SKD11 ธรรมดาประมาณ 4–10 เท่า

6. เฟอร์โรไททานิท

(1) ชนิดของเฟอร์โรไททานิค

เฟอร์โรไททานิท ผลิตโดยบริษัท TEW (Thyssen Special Steel ประเทศเยอรมัน) โดยนำเอาเหล็กกล้าเครื่องมือมาผสมกับ TiC แล้วเผาอัดขึ้นรูปได้เป็นโลหะผสมประเภท TiC-Alloy Steel ซึ่งสามารถขึ้นรูปเชิงกลและ

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเฟอร์โรติคแต่ละชนิด

ชนิดและสี			CM 35 (เหลือง)		CM45 (ขี้เถ้า)		CM50 (แดง)		CM55 (ฟ้า)	
สัดส่วนปริมาณของ Tic		Vol%	35		45		50		55	
เนื้อพื้นเหล็กกล้า		มาตรฐาน JIS หรือ AISI	H16 (เหล็กกล้าขึ้นรูปร้อน)		SKD61 (เหล็กกล้าขึ้นรูปร้อน)		SKD11 (เหล็กกล้าขึ้นรูปเย็น)		H46 (เหล็กกล้าทนความร้อน)	
			0.6C, 8.0Cr		0.3C, 6.0Cr		0.8C, 10Cr		0.3C, 12Cr	
สภาวะการอบชุบ		ชุบแข็ง	1100°C ชุบน้ำมัน (เย็นในอากาศ) ก๊าซสุญญากาศ, กล่องเหล็กกล้าไร้สนิม		1100°C ชุบน้ำมัน (เย็นในอากาศ) ก๊าซสุญญากาศ, กล่องเหล็กกล้าไร้สนิม		1100°C เย็นในอากาศ ก๊าซสุญญากาศ, กล่องเหล็กกล้าไร้สนิม		1100°C เย็นในอากาศ ก๊าซสุญญากาศ, กล่องเหล็กกล้าไร้สนิม	
		อบคืนไฟ	500°C 1 ชม.+480°C 1 ชม.		500°C 1 ชม.+480°C 1 ชม.		500°C 1 ชม.+480°C 1 ชม.		500°C 1 ชม.+480°C 1 ชม.	
ความแข็ง	อบอ่อน	HR.C	35–40		37–42		46–51		48–52	
	ชุบแข็ง	HR.C	68.5–70.0		69.5–70.5		68.5–70.0		70.0–72.5	
	อบคืนไฟ	อุณหภูมิ °C	200	500	200	500	200	500	200	500
		HR.C	67.5	67.0	68.0	66.0	68.0	70.0	70.5	71.0
อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้งาน		°C	500		500		500		500	
ถ.พ.		ก/ซม^3	6.80		6.65		6.50		6.40	
ความต้านแรงดึง	อบอ่อน	กก/มม^2	130–150		30–150		120–140		100–120	
	อบคืนไฟ	กก/มม^2	190–230		180–220		140–180		110–150	
โมดูลัสอิลาสติก		กก/มม^2	29.000		30.500		31.000		31.500	
สปส. การขยายตัวจากความร้อน		10^{-6} มม./°C	20–500°C 9.48		20–500°C 9.43		20–500°C 8.32		20–500°C 8.24	

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อบชุบเพิ่มความแข็งได้ ที่ญี่ปุ่นนั้นบริษัท NIPPON TIC ได้ซื้อเทคโนโลยีมาจาก TEW แล้วผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เฟอร์โรไททานิทออกมาจำหน่าย ซึ่งบริษัทได้อธิบายถึงคุณสมบัติไว้ดังนี้

(1) รอยบกพร่องภายใน เช่น รูพรุนมีน้อย.....เฟอร์-โรไททานิททั้งหมดจะมี Cu ผสมอยู่ทำให้ลดการเกิดรอยบกพร่องภายในลงได้มาก

(2) ความแข็งแรงและความแกร่งสูง.....มีการควบคุมปริมาณของ C ในโลหะผสมเพื่อให้ความแข็งแรงสูง ค่า Shear Modulus จะมีค่าต่ำกว่าโลหะผสมทั่วไปมาก ซึ่งเมื่อรับแรงในแนวระนาบจะมีการงอโค้งได้เหมาะในการใช้ทำพันช์เจาะ

(3) เมล็ดคาร์ไบด์มีขนาดเล็ก.....วัสดุ TiC ที่ใช้งานกันมาแต่เดิมจะมีเมล็ดคาร์ไบด์ขนาด 6-8 ไมครอน ซึ่งเป็นเมล็ดที่หยาบสามารถใช้งานในการทำแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปได้ดี แต่แม่พิมพ์เจาะอัดจะใช้ไม่ได้ เพราะไม่สามารถทำให้คมตัดมีปลายแหลมได้ จำเป็นต้องให้มี Clearance สูงและเกิดเป็นครีบที่รอยตัดขึ้น อย่างไรก็ตามเมล็ดคาร์ไบด์ที่หยาบก็จะแตกหลุดออกมาทำให้การสึกหรอสูง

นอกจากนี้เมล็ดที่หยาบนี้ยังมีพฤติกรรมเหมือนเป็นรูพรุน คือเป็นจุดกำเนิดของรอยแตกได้ ส่วนเมล็ดคาร์ไบด์ TiC ของเฟอร์โรไททานิทนั้นจะมีขนาดเพียง 2-5 ไมครอน ผสมกับเมล็ดขนาด 0.5-2 ไมครอน เพื่อให้ได้ทั้งความทนทานการสึกหรอและความแข็งแรงร่วมกัน

ตารางที่ 23 สปส. การขยายตัวจากความร้อนของเฟอร์โรไททานิท WFN เทียบกับ SKD11 $C10^{-6}$×มม×°C

	20−100	20−200	20−300	20−400	20−500	20−600	20−700 °C
SKD−11	10.8	11.6	12.0	12.2	12.4	12.7	12.9
WFN	10.6	11.6	12.2	12.4	12.7	12.9	

ตารางที่ 24 ส่วนผสมเฟอร์โรไททานิทแต่ละชนิดและอุณหภูมิอบชุบ

ชนิด	ถ.พ. (ก/ซม³)	Tic(%)	เนื้อพื้น										อุณหภูมิชุบแข็ง (°C)	อุณหภูมิอบคืนไฟ (°C)	ความแข็ง (HRC)	อบอ่อน (°C)	ความแข็งหลังอบอ่อน (HRC)
			C (%)	Cr (%)	Mo (%)	Mn (%)	Cu (%)	Si (%)	Ni (%)	V (%)	Nb (%)	Fe (%)					
C-Special	6.6	33.0	0.65	3.0	3.0	–	1.5	–	–	–	–	rest	980	150	69/71	840 เย็นในเตา	45/49
WFN	6.5	33.0	0.65	14.0	3.0	1.0Al	0.8	–	0.4	0.5	–	rest	1090	520	69/70	1000 เย็นในเตา	50/52
S	6.6	32.0	0.50	20.5	2.0	–	1.0	–	0.25	0.5	–	rest	1080	150	66/68	1000 เย็นในเตา	48/50
NIKRO 128	6.5	31.5	–	14.0	5.0	9.9Co 1.0Al,1.0Ti	0.8	–	5.5	–	–	rest	−8h	480	61/63	850 เย็นในอากาศ	50/53
NIKRO 292	7.3	20.0	–	–	15.0	15.0Co	0.8	–	13.0	–	–	rest	−8h	480	66/68	850 น้ำมัน/อากาศ	50/52
U	6.5	34.0	–	18.0	2.0	–	1.0	–	12.0	–	0.85	rest	–	–	46/48	950 เย็นในอากาศ	–
CROMONI	7.4	22.0	–	20.0	15.5	–	0.8	–	rest	–	0.5	–	–	–	45/50	1200 เย็นในอากาศ	–
UNI	6.9	28.0	–	18.0	2.0	1.0Al	0.8	–	rest	–	0.5	–	16h	710	58	1100−1150	50/52

ตารางที่ 25 คุณสมบัติต่าง ๆ ของโลหะผสม KF2

ชนิด	ถ.พ. (ก/ซม³)	ความแข็ง (HRC)	ความต้านแรงดึง (กก/มม²)	ความทนทานต่อแรงกระแทก (กก.ม/ซม²)	โมดูลัสของยังก์×10⁴ กก/มม²	สปส.การขยายตัว ×10 ⁶/°C	สปส.การนำความร้อน Cal/cm, sec, °C
217Y	8.2	64	480	1.4	2.12	10.5	0.058
234	8.0	68	370	0.9	2.16	10.1	0.057
235	7.8	69	350	0.7	2.19	9.7	0.050
261	7.6	71	270	–	–	10.3	–
263	7.3	73	230	–	–	9.8	–
SKH57	8.2	65	210	–	–	11.8	–
ASP60	8.0	68	350	–	–	10.8[5]	0.057[5]
WC–10%Co	14.6	76	270	0.5	5.80	5.6	0.180

(4) ขึ้นรูปเชิงกลได้ง่าย.....การที่มี Cu ผสมอยู่และเม็ดคาร์ไบด์เล็กทำให้กัดกลึงไสขึ้นรูปได้ง่าย และเจียร์แต่งได้ดี

(5) สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน เท่ากับเหล็กกล้าเครื่องมือ.....จากตารางที่ 17 จะเห็นได้ว่ามี สปส. การขยายตัวเชิงความร้อนใกล้เคียงกับเหล็กกล้าเครื่องมือ จึงใช้งานเป็นตัวสอด (Insert) ได้ดี

(6) ทนทานการไหม้ติดได้ดี.....TiC จะเกิดการยึดติดกับโลหะชนิดอื่นได้ยาก ซึ่งเหมาะสมกับการใช้รูปขึ้นลึกของเหล็กกล้าไร้สนิม นอกจากนี้การสึกหรอของพันช์เจาะส่วนมากเกิดจาก Adhesive Wear (การสึกหรอจากการยึดติด) ซึ่งในแง่นี้จะเห็นได้ว่าเฟอร์โรไททานิทจะใช้งานได้ดีมาก

เฟอร์โรไททานิทจะควบคุมปริมาณ C ที่อยู่ภายในไว้ ดังนั้นในการอบชุบจะไม่ต้องกังวลเรื่องความร้อนที่สูงเกินไป แต่เกิดการลดคาร์บอนได้ง่าย (Decarburization) ดังนั้นในการอบต้องอัดใส่กล่องเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อควบคุมบรรยากาศให้ดี

อุณหภูมิในการชุบแข็งเฟอร์โรไททานิท C– พิเศษ จะอยู่ในระดับ 980°C หรืออาจใช้สูงถึง 1030°C ก็ได้ ถ้าชุบแข็งในเตาสุญญากาศด้วยชิ้นงานขนาด 0 40 แล้วจะได้ความแข็งประมาณ 70 HRC แต่เวลาในการชุบแข็งจะมากกว่าเหล็กกล้าเครื่องมือทั่วไปประมาณ 2 เท่า

(2) ชนิดและอุณหภูมิในการอบชุบของเฟอร์โรไททานิท

ตารางที่ 24 แสดงส่วนประกอบทางเคมีและอุณหภูมิในการอบชุบของเฟอร์โรไททานิทชนิดต่าง ๆ

7. เหล็กกล้าความเร็วสูงคาร์ไบด์ผสม (KF2 ALLOY)

(1) คุณสมบัติ

วัสดุแม่พิมพ์ที่ใช้ทำพันช์เจาะ (Pierce Punch) นั้น มักใช้ HSS หรือโลหะผสมคาร์ไบด์กันมาก แต่วัสดุเหล่านี้มักใช้งานได้ไม่นาน HSS นั้นมีความแกร่งสูง แต่ความทนทานการสึกหรอต่ำ ส่วนคาร์ไบด์นั้นทนการสึกหรอได้ดี แต่ความแกร่งต่ำ

วัสดุทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติเด่นไปคนละทาง ทำให้มีการแบ่งประเภทการใช้งานอย่างเด่นชัด ในปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุเพื่อเสริมช่องว่างระหว่างวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ โดยทางด้าน HSS จะใช้เป็นโลหะผง ส่วนทางด้านคาร์ไบด์จะใช้เป็นโลหะผงละเอียดมี Co สูง อย่างไรก็ตามก็ยังมีคุณสมบัติเหมือนเดิม และมีช่องว่างของคุณสมบัติอยู่

ส่วนโลหะผสม KF2 นั้น จะใช้ผง HSS ที่มี C และ V สูงแล้วผสมเข้ากับ TiC ทำให้ได้โลหะผสมที่รวมเอาคุณสมบัติความแกร่งสูงของ HSS และความทนทานการสึกหรอสูงของคาร์ไบด์เข้าด้วยกัน คุณสมบัติเชิงกลจะใกล้เคียงกับคาร์ไบด์ ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเหล็กกล้า

(2) คุณสมบัติของโลหะผสม KF2 แต่ละประเภท (ตารางที่ 19)

(1) ประเภท KF23.....มี C สูงสุด 9% และ V สูงสุด 38% เป็น HSS ที่ปรับให้มีคาร์ไบด์ผสม เป็นโลหะผสมแบบใหม่ซึ่งมีความทนทานการสึกหรอสูงมาก

(2) ประเภท KF26 .....มีวัสดุแข็งประเภท TiN ผสมอย่างสม่ำเสมอจำนวนมาก และถือเป็นเหล็กกล้าคาร์ไบด์ผสมชนิดใหม่