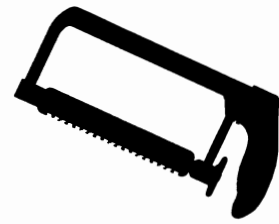


# เทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือตัด



สิริพรรณ นิลโพธิ์  
นักวิจัย  
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ

## คำนำ

การเลือกใช้วัสดุและกระบวนการผลิตพวกเครื่องมือตัด จะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการนำเครื่องมือตัดนั้นไปใช้ในการตกแต่งชิ้นรูป ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องมือตัดนั้นจะมีทั้งวัสดุผง โลหะออกไซด์ โลหะคาร์ไบด์ โลหะไนไตรด์ อาทิ อลูมิเนียมออกไซด์ ไทเทเนียมออกไซด์ ทังสเตนคาร์ไบด์ โครเมียมคาร์ไบด์ ซิลิกอนไนไตรด์ ฯลฯ หรือผงโลหะ อาทิ แมงกานีส โคบอลท์ เหล็ก เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตเครื่องมือตัดจากวัสดุเหล่านี้ก็มีทั้งใช้การหล่อ (Cast) การอัดผงขึ้นรูป (Powder process) การทุบขึ้นรูปในขณะเย็น (Wrought) การฉีดขึ้นรูป (Injection-moulding) ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวถึงวัสดุและกระบวนการผลิตเครื่องมือตัดบางชนิด คือซีเมนต์คาร์ไบด์และเซรามิกส์เท่านั้น เนื่องจากงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะทำการวิจัยเครื่องมือตัดประเภทนี้ จึงไม่ขอกล่าวถึงพวกเหล็กกล้าเครื่องมือ โคบอลท์ผสมหล่อ และวัสดุที่มีความแข็งพิเศษ

### 1. การผลิตเครื่องมือตัดพวกซีเมนต์คาร์ไบด์

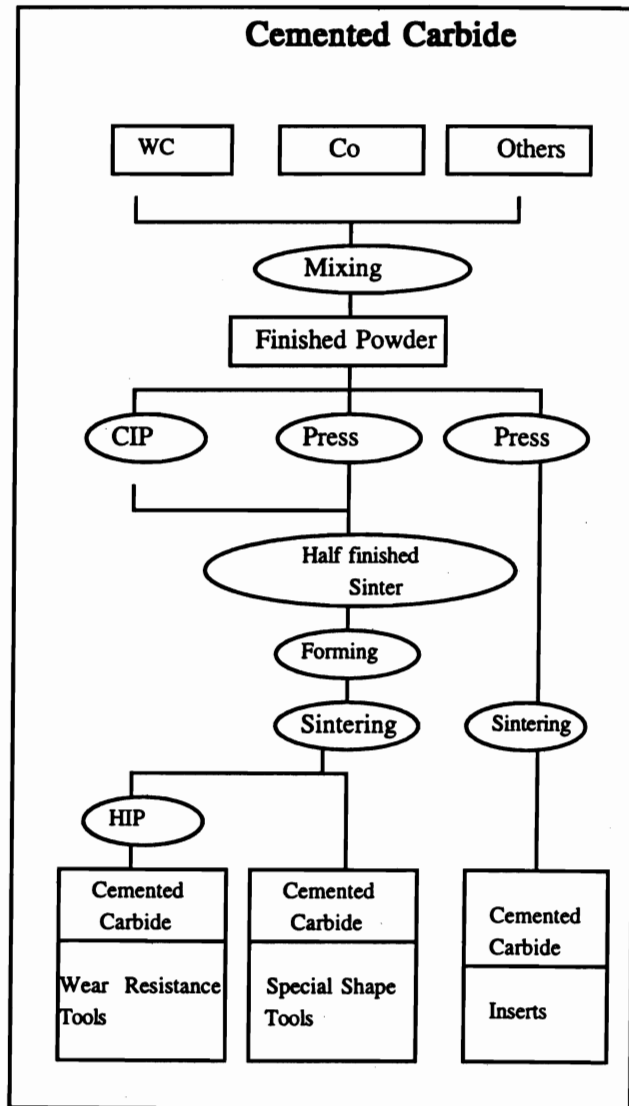
กระบวนการผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์จากโลหะผงที่ใช้ในทางการค้าได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 และ 2

ซึ่งกระบวนการผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์จะมีลักษณะคล้ายกับพวก Hardmetal อื่น ๆ อาทิ ไทเทเนียมคาร์ไบด์ คาร์โบไนไตรด์ บอไรต์ เป็นต้น โดยลำดับของการผลิตอาจแบ่งออกเป็น

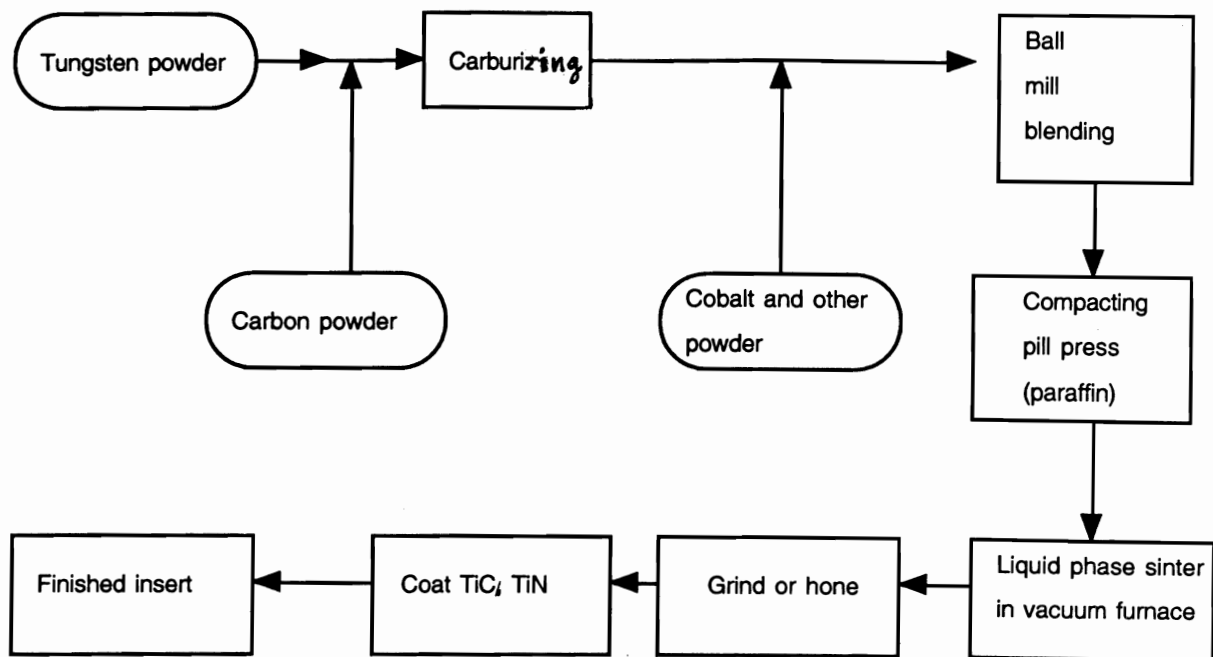
- การผลิตผงโลหะทังสเตน
- การเตรียมผงทังสเตนคาร์ไบด์ หรือเตรียมเป็นอัลลอยด์คาร์ไบด์ชนิดอื่น
- การผสมผงโคบอลท์เพื่อผลิต Grade powder
- การเพิ่มสารหล่อลื่นสำหรับอัด
- การอัดขึ้นรูปและการเผา
- การใช้ Hot Isostatic Pressing

การผลิตโลหะทังสเตน สำหรับพวกคาร์ไบด์ทั้งหลายยกเว้นทังสเตน จะมีการเตรียมผงโดยกระบวนการ Carburizing ของโลหะออกไซด์ ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์และขนาดของเกรนจะขึ้นอยู่กับผงทังสเตนเหล่านั้นและเป็นการยากที่จะแก้ไขความผิดพลาด ซึ่งเกิดในขั้นตอนแรกนี้ด้วยกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อมา

การเตรียมผงทังสเตน ได้จากการนำสินแร่ Wolframite หรือ Scheelite มาสกัดโดยการนำไปบด คัดขนาด เผาด้วยต่าง หรือล้างด้วย NaOH ร้อนเพื่อให้ได้สารละลายโซเดียมทังสเตน (Sodium tungstate) ทำให้เป็นกลางด้วยกรดไฮโดรคลอริก



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเครื่องมือตัดจากวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ (1)

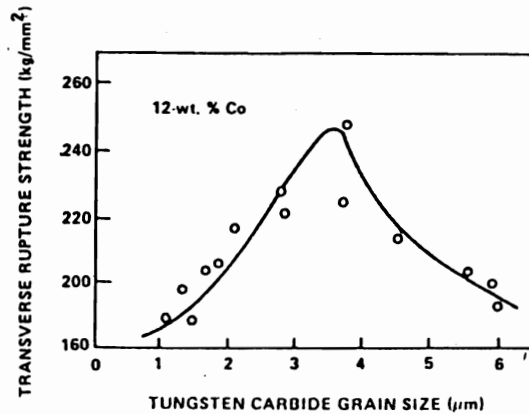


รูปที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผงสำหรับการผลิตมีดเล็บบีซีเมนต์คาร์ไบด์ (2)

เพิ่มแคลเซียมคลอไรด์เพื่อตกตะกอนเป็นแคลเซียมทังสเตท (Calcium tungstate) เพิ่มกรดไฮโดรคลอริกอีกจนกระทั่งได้ ทังสติกแอซิด (Tungstic acid) จากนั้นทังสติกแอซิดจะเปลี่ยนไปเป็นออกไซด์สีเหลือง ( $WO_3$ ) ซึ่งขนาดอนุภาคจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและบรรยากาศ หรือสามารถนำทังสติกแอซิดไปละลายในอัมโมเนียได้เป็นอัมโมเนียมทังสเตท (Ammonium tungstate) หลังจากทำให้เป็นกลางด้วยไฮโดรคลอริกจะได้อัมโมเนียมพาราทังสเตท (Ammonium paratungstate) นำไประเหิดโดยการต้มจะได้ ผลึกของ  $5(NH_4)_2 O \cdot 12WO_3 \cdot 5H_2O$  หรือ  $5(NH_4)_2 O \cdot 12WO_3 \cdot 11H_2O$  ขึ้นกับอุณหภูมิ ทังสเตนออกไซด์และผงทังสเตนที่ได้จากผลึกทั้ง 2 นี้จะมีขนาดแตกต่างกันแต่อยู่ในช่วง 0.8–1.2 mm ขึ้นกับผลึก เริ่มต้น ( $5H_2O$  หรือ  $11H_2O$ ) สำหรับความสม่ำเสมอของขนาดอนุภาคในการผลิต

ครั้งหนึ่งๆ เป็นเรื่องสำคัญมากเนื่องจากการผันแปรของขนาดอนุภาค มีผลต่อการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) ผลที่ตามมาคืออนุภาคจะหยาบและทำให้เกิด soft spot ในช่วงระหว่างการเผา Sintering ได้ ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ผู้ผลิตต้องเน้นเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพการผลิตให้ได้ อนุภาคขนาดละเอียดโดยการใช้ Grain growth inhibitor ตัวอย่างของขนาดอนุภาคทังสเตนคาร์ไบด์ต่อคุณสมบัติบางประการ อาทิ ความคงทนต่อการแตกหักได้แสดงในรูปที่ 3

สำหรับการเปลี่ยนจากอัมโมเนียมทังสเตนที่มีความบริสุทธิ์หรือ ทังสติกแอซิดไปเป็น  $WO_3$  ได้จากใช้วิธีการเผา (Calcite) ในเตา Rotary ในขณะที่การเปลี่ยนไปเป็นผงโลหะจะใช้เผาในเตา Reduction ในบรรยากาศ Hydrogen



**รูปที่ 3** ผลของขนาดอนุภาคทังสเตนคาร์ไบด์กับค่าความคงทนต่อการแตกหัก (Transverse Rupture Strength)

การเตรียมผงทังสเตนคาร์ไบด์ การผลิตผงทังสเตนเป็นทังสเตนคาร์ไบด์ ได้จากการผสมผงถ่าน (Carbon black) ในผงทังสเตนแล้วนำไปเผาไฟที่อุณหภูมิระหว่าง 1400 °C - 2650 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้เกิดกระบวนการ Carburisation อย่างเต็มที่ภายในช่วงเวลาที่เหมาะสม และทำให้เกิดการระเหยของสารปนเปื้อนที่ตกค้าง เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างผงถ่านและผงทังสเตน จึงต้องมีการบดผสมอย่างระมัดระวังโดยใช้ Ball-mill หรือ Attritor mill

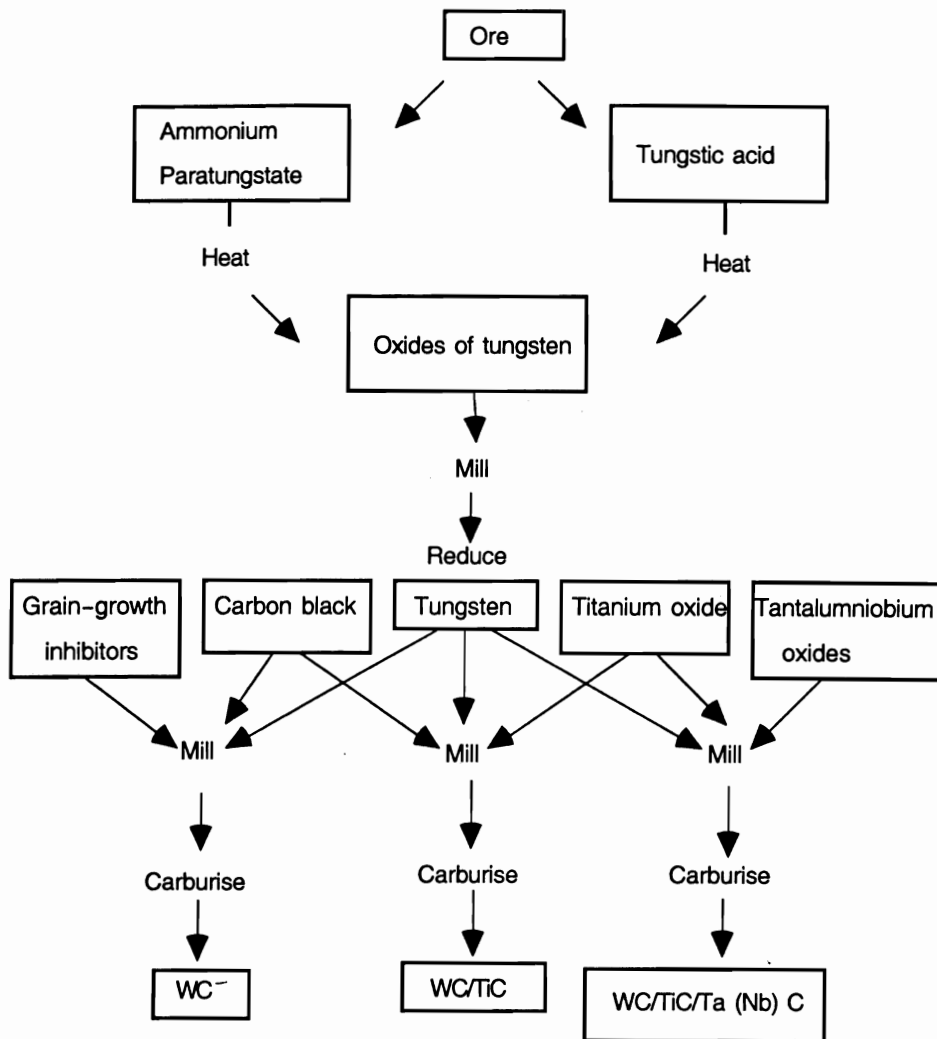
สำหรับสัดส่วนระหว่างผงถ่านและผงทังสเตนจะมีจุดวิกฤตที่สำคัญมากต่อการผลิตทังสเตนคาร์ไบด์ ต้องมีการรักษาค่า Stoichiometric Carbon Content ให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียง 6.12% เพื่อหลีกเลี่ยงคาร์บอนอิสระหรือการเกิดของ WC<sub>2</sub> ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดวัฏภาคที่เปราะขึ้นในชิ้นงาน

หลังจากการบดผสม จะนำผงไปสู่กระบวนการ Carburised ในเตา Resistance-heated semi-continuous tube ภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนหรืออาจใช้เตาแบบ Induction-heated batch-

type furnace สำหรับไฮโดรเจนอาจทำให้อิมิตัวด้วยสารไฮโดรคาร์บอนก่อนที่จะปล่อยเข้าไปในเตาเพื่อเร่งกระบวนการ Carburising ให้เร็วขึ้นและป้องกันการสูญเสียของคาร์บอน

สำหรับการยับยั้งการเติบโตของอนุภาค ได้จากการใช้คาร์ไบด์ชนิดอื่นเพิ่มลงไป โดยปกติใช้แทนทาลัม วานาเดียม หรือโครเมียม ซึ่งคาร์ไบด์ของธาตุเหล่านี้ได้จากการผสมผงโลหะหรืออาจเป็นออกไซด์ของโลหะเหล่านี้ประมาณ 0.5-2 เปอร์เซ็นต์กับผงถ่านแล้วนำไปเผาให้เกิดกระบวนการ Carburising จะได้แทนทาลัมคาร์ไบด์ วานาเดียมคาร์ไบด์ หรือโครเมียมคาร์ไบด์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งการเติบโตของเกรนทังสเตนคาร์ไบด์

ในขั้นตอนการผลิตโลหะทังสเตน และทังสเตนคาร์ไบด์รวมถึงคาร์ไบด์อื่นๆ แสดงได้ดังแผนภูมิในรูปที่ 4



**รูปที่ 4** กระบวนการเตรียมผงโลหะคาร์ไบด์ชนิดต่าง ๆ (4)

การผสมผงโคบอลต์เพื่อผลิต Grade powder โดยปกติมากกว่า 95% ของพวกซีเมนต์คาร์ไบด์และคาร์ไบด์อื่น ๆ ใช้โคบอลต์เป็นตัวเชื่อมประสานซึ่งทั้งสแตนหรือคาร์ไบด์ชนิดอื่น ๆ จะละลายในโคบอลต์เหลวในระหว่างการเผาซินเตอร์ริงและมีบางส่วนที่เกิดตกตะกอนอีกครั้งเมื่อเย็นลงทำให้เกิดสภาพเป็น Cobalt - based pseudoeutectic

Grade powder อาจประกอบด้วยผงคาร์ไบด์ชนิดเดียวหรือหลายชนิด (หรือ Carboni-

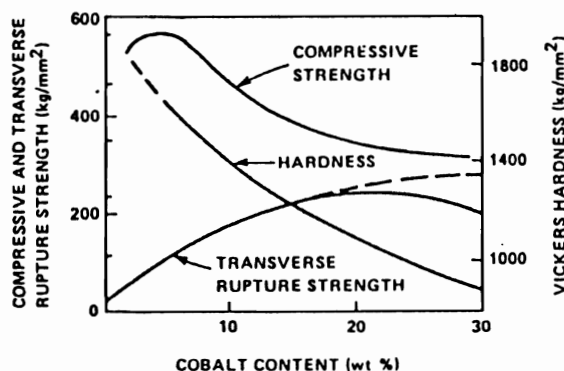
trides) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่ต้องการ ซึ่งได้จากการผสมโลหะที่ใช้เป็นตัวประสานที่มีอนุภาคละเอียดบดด้วย Ball mill หรือ Attritor mill ให้นานพอสมควร ซึ่งในปัจจุบันพวกผงโคบอลต์ที่ใช้ในทางการค้าได้มีการปรับปรุงให้สามารถใช้ได้ในการผลิต Sintered Carbide ที่มีคุณภาพสูง สำหรับผลของโคบอลต์ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของสารอัลลอยด์ระหว่าง WC - Co ได้แสดงในรูปที่ 5

- **การบด (Milling)**

ในการบดผสมโคบอลต์กับผงคาร์ไบด์มีวัตถุประสงค์หลักคือ ให้เกิดความแน่ใจว่าทุกอนุภาคของคาร์ไบด์จะถูกเคลือบด้วยอนุภาคของโคบอลต์ที่เล็กกว่าซึ่งหลังจากการบด อนุภาคของโคบอลต์ต้องละเอียดมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ สำหรับโลหะโคบอลต์ เตรียมได้จากกระบวนการ Reduction ของโคบอลต์ออกไซด์ที่เป็นอนุพันธ์มาจากโคบอลต์คาร์บอเนตหรือจากเกลืออินทรีย์ อาทิ โคบอลต์ออกซาลเลต ซึ่งวิธีแรกจะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีหลัง แต่โคบอลต์ที่ได้จากวิธีหลังจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่า และมีขนาดละเอียดกว่า

สำหรับผลของเวลาในการบดที่มีต่อขนาดเกรนพบว่าเวลาที่ใช้ในการบดจะมีผลน้อยมากต่อขนาดของเกรนถ้ามีการใช้พวก Grain growth inhibitor ที่ไม่เหมาะสมการเพิ่มเวลาในการบดจะเป็นการเพิ่มขนาดของการเติบโตของเกรน ซึ่งถ้าขนาดเกรนโตเกิน 4 mm จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลโดยเฉพาะค่าความคงทนต่อการแตกหักลดลง (รูปที่ 3)

แต่อย่างไรก็ตามผลของการบดจะส่งเสริมการ Sintering และลดความพรุนของผลิตภัณฑ์ในระดับที่น่าพอใจ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าขนาด Aggregate ซึ่งเกาะกันหยาบ ๆ จะดูคงที่ แต่การบดต่อไปจะทำให้แต่ละขนาดอนุภาคเล็กลงและโคบอลต์จะมีการผสมกับอนุภาคคาร์ไบด์อย่างทั่วถึงภายใน Aggregate ทำให้แน่ใจได้ว่าไม่มีการแยกกลุ่มของ Unwetted carbide ซึ่งทำให้เกิดปัญหาช่องว่างและความอ่อนแอ (Weakness) ของชิ้นงาน และเนื่องจากในการบดจะมีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการใช้สารอินทรีย์ เช่น พวอะซีโตน หรือ แอลกอฮอล์ เป็น Protective liquid เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการออกซิเดชันและทำหน้าที่เป็นตัวทำลายสำหรับสารหล่อลื่นในการอัด สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการบดทั้ง Ball mill และ Attritor mill จะนิยมใช้กันมากในการบดแต่ในปัจจุบันนิยมใช้ Attritor mill เพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถที่จะเพิ่มปริมาณการบดได้มาก แต่คุณภาพของผงที่บดได้ยังไม่เทียบเท่ากับผงที่ได้จากเครื่องบดแบบ Ball mill และยังมีปัญหาการอัดตัวกันตามมุมทำให้การบดไม่ค่อยสมบูรณ์



**รูปที่ 5** ผลของปริมาณโคบอลต์ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของอัลลอยด์ WC - Co (3)

## - สารหล่อลื่น

ถึงแม้ว่าพวกซีเมนต์คาร์ไบด์จะมีความพรุนต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอื่น ๆ แต่สารผสมของคาร์ไบด์จะมีคุณสมบัติในการอัดตัวที่ไม่ดี ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Interlocking, bridging, Intermittent voids, Variable density, Irregular shrinkage และ Severe distortion ในระหว่างการเผาซิน Sintering จึงได้มีการใช้สารหล่อลื่น ยกเว้นในกรณีที่ใช้ Hot pressing จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่น จากรูปที่ 4 กระบวนการก่อนการเผาแบบ Sintering จะประกอบด้วย การเพิ่มสารหล่อลื่นที่เป็นของแข็งและของเหลวในสารละลายพาหะ (Carrier) ที่ระเหยได้ (Milling liquid) การกำจัดสารละลายพาหะ การอัด การกำจัดสารหล่อลื่น และการเผาเตรียม (Pre-sintering) สำหรับสารหล่อลื่นพวก Paraffin จะนิยมใช้มากที่สุด โดยจะใช้กับสารละลายพวก Carbon tetrachloride Xylol หรือสารละลายที่ระเหยได้อื่น ๆ นอกจากนี้พวกซีผึ้งและการระบุนใน Petroleum ether ก็ใช้เป็นสารหล่อลื่นได้เช่นกัน โดยเฉพาะสารชนิดหลังจะมีผลต่อการแทรกซึม (Penetrate) ในอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 mm สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในเชิงการค้าในปัจจุบันจะใช้สารหล่อลื่นประมาณ 0.5-2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้ผสมลงไปในช่วงสุดท้ายของการบดหรืออาจผสมลงไปในตอนเริ่มบดก็ได้ถ้าไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ใช้ในการบด ซึ่งจะเป็นการสะดวกต่อการทำงานมากกว่า

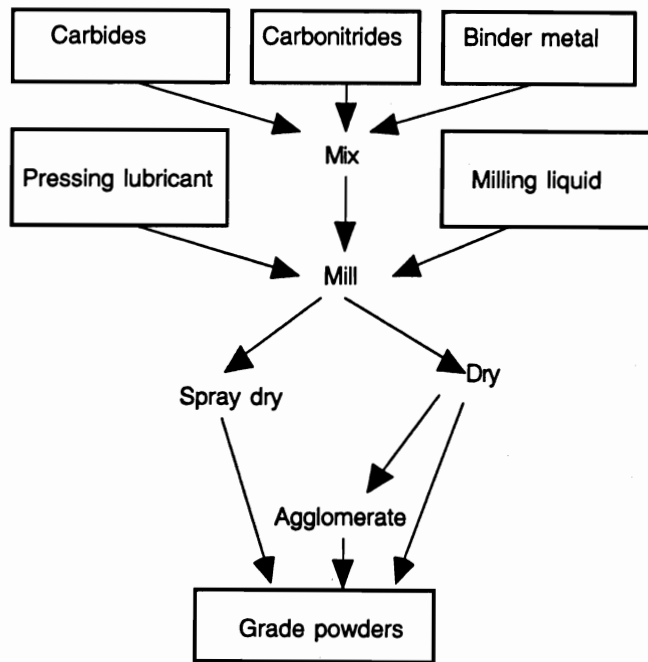
หลังจากนั้นกำจัดสารละลายโดยใช้การกลั่นภายใต้ความดัน พวกคาร์ไบด์จะถูกเคลือบผิวด้วยตัวเชื่อมประสานโลหะและมีสารหล่อลื่นเคลือบบาง ๆ เป็นชั้นที่ 2 ทำให้ช่วยลดอัตราการเกิดกระบวนการ

ออกซิเดชัน ดังนั้นถึงแม้ว่าผงที่ได้จะต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน เนื่องจากการสำรองหรือการขนส่งก็จะมีปัญหาในการนำไปขึ้นรูป แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่เกิดการออกซิเดชันนั้น อาจจะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการกำจัดสารหล่อลื่น ก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการ Reprocess และการเผาในเตา Reduction เพื่อให้ได้ผงที่อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานต่อไป

ในกรณีที่มีการใช้เครื่องอัดโนมิตหรือกึ่งอัดโนมิตในการอัดเป็นเม็ดแบน (Tabletting Press) หรือเพื่อปรับปรุงให้มีคุณสมบัติการไหลตัวที่ดี ผงคาร์ไบด์หลังจากการผสมสารหล่อลื่นแล้วอาจทำให้เป็นก้อนกลมเล็ก ๆ (Pelletised) โดยใช้การบดหรือทำให้มีการสั่นสะเทือนหลังจากการเผาสารหล่อลื่นแล้ว จนกระทั่งเกิดการเกาะกันเป็นก้อนทรงกลมหรืออาจใช้เครื่อง Spray dry ซึ่งจะมีประสิทธิภาพและประหยัดกว่า สำหรับแผนภูมิของการเตรียม Grade powder ดังแสดงในรูปที่ 6

### การอัดขึ้นรูปและการเผา

- **การอัด** ในการอัดขึ้นรูปเครื่องมือตัดพวกซีเมนต์คาร์ไบด์มีด้วยกันหลายวิธี ตั้งแต่วิธีการที่ง่ายที่สุด คือการอัดผงในแม่พิมพ์แบบง่าย ๆ (Sample Die Compacting) ถึงการอัดขึ้นรูปด้วยไฮดรอสแตติกแบบเย็น และแบบร้อน ซึ่งการใช้เครื่องอัดประเภทไหนขึ้นอยู่กับรูปแบบของผลิตภัณฑ์เครื่องมือตัดและคุณสมบัติ ในกรณีที่เป็นพวกเม็ดเล็กใช้วิธีการอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่อง Pill pressing แล้วก็นำไปเผาแบบซินเตอร์ริง ในขณะที่พวกเครื่องมือตัดที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape tools) มักนิยมใช้เครื่องอัด Hydrostatic pressing



รูปที่ 6 แผนภูมิการผลิต Grade powder (4)

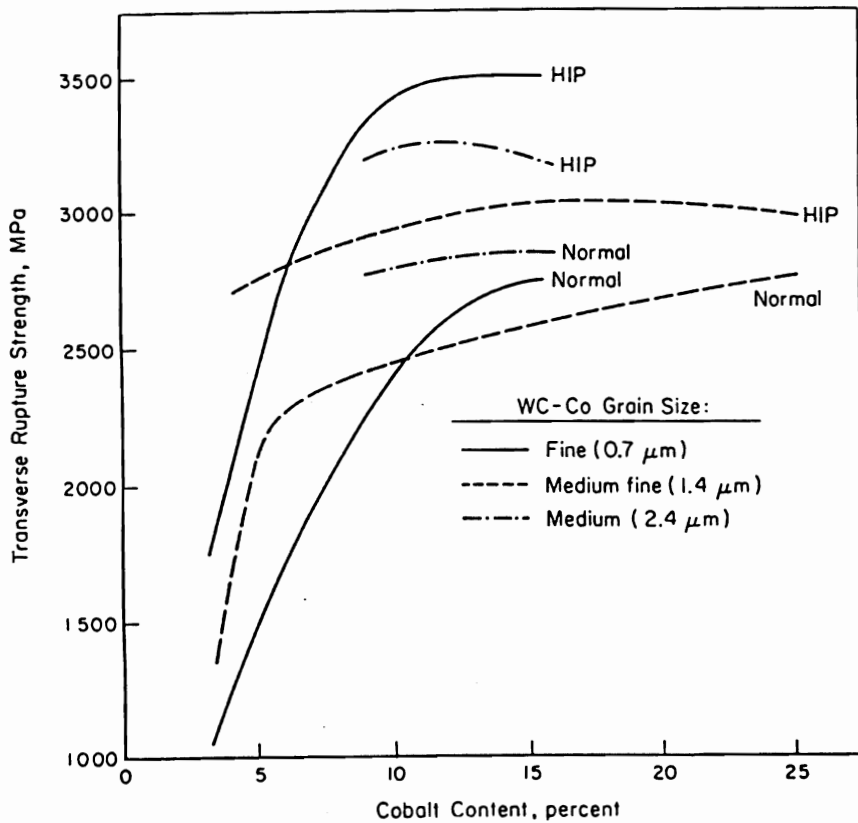
หรือใช้เครื่องอัดขึ้นรูปพร้อมความร้อน (Hot Isostatic Press) ในกรณีที่ต้องการเครื่องมือตัดที่ทนต่อการสึกหรอสูง ซึ่งในการอัดจะใช้อาร์กอนหรือฮีเลียมเป็นตัวกลางส่งผ่านแรงดัน โดยใช้แรงดัน 1,000 - 15,000 bar และอาจเพิ่มอุณหภูมิถึง 2700 °C โดยส่วนใหญ่ชิ้นงานที่จะนำมาใช้จะเป็นชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปและเผา Sintering มาก่อนแล้วมาอัดและเผาอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ความหนาแน่นมีค่า 100%

สำหรับผลของ HIP ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลโดยเฉพาะความคงทนต่อการแตกหัก แสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าในทุกขนาดอนุภาคและทุกปริมาณโคบอลท์ชิ้นงานที่ผ่านการ HIP จะมีความคงทนต่อการแตกหัก (Transverse rupture strength) ที่ดีกว่าวิธีการขึ้นรูปแบบธรรมดา

ในกรณีที่ต้องการทำเครื่องมือตัดที่ซับซ้อนหรือวัสดุที่นำมาใช้ไม่สามารถเผาขึ้นเตอร์ริงได้ดีเท่าที่ควร เราก็สามารถใช้วิธีการอัดขึ้นรูปโดยใช้ Hot Press ซึ่งเป็นการอัดแบบ Hydraulic พร้อมกับการให้ความร้อน

- การเผาไล่สารหล่อลื่นและ Pre-sintering (Half finished) หลังจากการอัดขึ้นรูปแล้วก็ต้องนำไปเผาไล่สารหล่อลื่นโดยใช้อุณหภูมิในช่วง 700 - 750 °C ซึ่งเตาเผาที่ใช้มีทั้งที่เป็น Batch-type และ Semi-continuous pusher-type muffle furnace และ Batch-type resistance heated vacuum types นอกจากนี้ก็มีการเผา Presintering ด้วยอุณหภูมิ และเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้เกิด Solid state welding ระหว่างอนุภาคในชิ้นงานแต่ยังไม่เกิด Liquid phase sintering รวมถึงการหดตัว ในการผลิตพวกมิดเลียมซึ่งไม่ต้องการตกแต่งรูปได้มีการใช้เตาสูญญากาศที่สามารถใช้ในการไล่ไขมัน (Dewax) และเผา Sintering ที่อุณหภูมิสูงได้ในเตาเดียวกัน ทำให้ประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องมือตัดชนิดพิเศษต้องมีการตกแต่งรูป (Shaping) หลังจากการ Pre-sintering แล้ว มีการตกแต่งรูปร่างโดยใช้เครื่องมือที่เป็นเพชร ซิลิกอนคาร์ไบด์ หรือวัสดุที่มีความแข็งเป็นพิเศษ





**รูปที่ 7** ผลของปริมาณโคบอลท์กับการขึ้นรูปด้วยวิธี HIP และวิธีธรรมดา (Normal) ต่อความคงทนต่อการแตกหักของ WC-Co Alloys (5)

- การเผา Sintering ในพวก Hardmetal และซีเมนต์คาร์ไบด์ การหดตัวในระหว่างที่มีการเผา Sintering จะมีประมาณ 18-26 เปอร์เซ็นต์ ในแต่ละทิศทาง (40-60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาณ) รูปทรงโดยทั่วไปจะถูกจำกัด ตัวประสานจะเปลี่ยนจากโลหะบริสุทธิ์เป็น Pseudo-binary eutetic การแพร่จึงเกิดขึ้นในวัฏภาคที่เป็นของแข็ง และในแต่ละองค์ประกอบก็มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการ Sintering พวกซีเมนต์คาร์ไบด์โดยวิธีการดั้งเดิมจะใช้เผาใน Resistance-heated hydrogen atmosphere ในเตาแบบ Semi-continuous ซึ่งอุณหภูมิในการเผาจะผันแปรตั้งแต่ 1350 °C ในส่วนผสมที่มีโคบอลท์ประมาณ 30% จนถึงประมาณ 1650 °C (ในส่วนผสมที่มีโคบอลท์ประมาณ 3% ) (ตารางที่ 1) ซึ่งการเผา

ในบรรยากาศไฮโดรเจนจะหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดคาร์บอนสำหรับการเผาทั้งสแตนคาร์ไบด์และพวกที่มีไทเทเนียมคาร์ไบด์ปริมาณต่ำในเตา Vacuum จะมีปัญหาการทำปฏิกิริยาระหว่าง O<sub>2</sub> ที่ยังคงมีอยู่ในเตากับคาร์บอนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ได้ชิ้นงานที่ขาดคาร์บอนจึงได้เพิ่มปริมาณคาร์บอนจนมากเกินไป ดังนั้นแนวโน้มของชิ้นงานต่างๆที่ใช้กับเตาเผาแบบ Vacuum มักจะมีปัญหาการขาดคาร์บอน หรือมีคาร์บอนมากเกินไป ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่น้อยเกินไปเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิด W<sub>2</sub>C จากปฏิกิริยาระหว่าง W<sub>2</sub>C และโคบอลท์ จะทำให้เกิดวัฏภาคที่เปราะบาง (Eta phase) ขึ้น

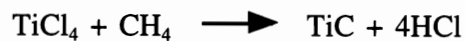
**ตารางที่ 1** อุณหภูมิในการเผา Sintering ของพวก Hardmetal และซีเมนต์คาร์ไบด์ ในบรรยากาศ ไฮโดรเจน ในการเผาทั้งต่อเนื่อง โดยใช้ pusher-type furnace (4)

Composition-Weight per cent					Sintering temperature
WC	TiC	Ta(Nb)C	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	Co	°C
94	-	-	-	6	1540
91	-	-	-	9	1480
89	-	-	-	11	1460
87	-	-	-	13	1450
80	-	-	-	20	1400
75	-	-	-	25	1380
70	-	-	-	30	1350
96.5	-	-	0.5	3	1640
95	-	-	0.5	4.5	1620
93.5	-	-	0.5	6	1560
90.5	-	-	0.5	9	1500
85.5	7	3.5	-	4	1640
81.5	7	3.5	-	8	1560
80	14	-	-	6	1620
84	10	-	-	6	1600
87	7	-	-	6	1590
87	5	-	-	8	1550
66	25	-	-	9	1620

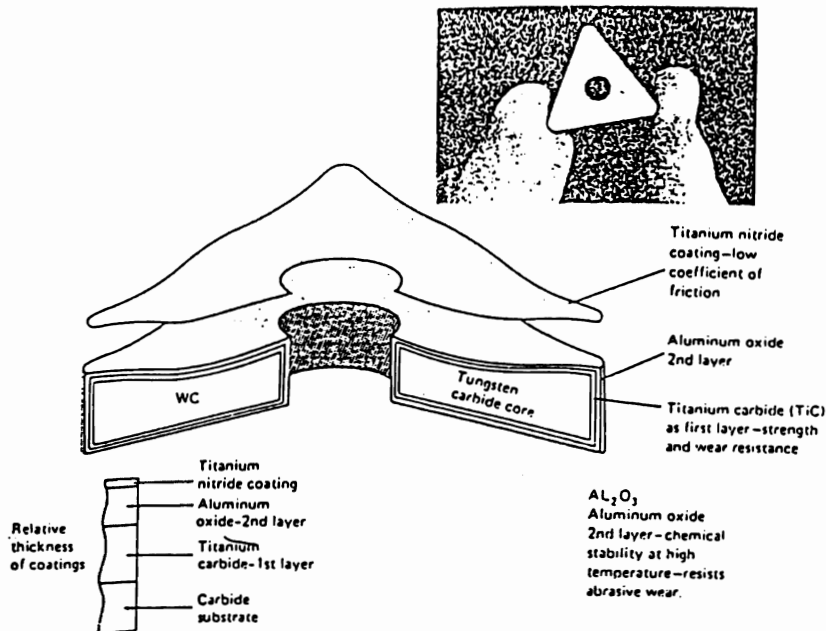
## การเคลือบผิว

ในบางครั้งได้มีการนำเครื่องมือตัดพวก ซีเมนต์คาร์ไบด์ มาเคลือบผิวด้วยกรรมวิธีของ CVD (Chemical Vapor Deposition) และ PVD (Physical Vapor Deposition) เพื่อช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ การแตกหลุด และการเสียรูป (Plastic deformation) การเกิดของรอยแตกและการแพร่ขยาย (Crack generation and propagation) โดยปัจจุบันสารเคลือบผิวที่นิยมใช้กันมีมากมาย อาทิ ฮาฟเนียมไนไตรด์ (HfN) ฮาฟเนียมคาร์ไบด์ (HfC) อลูมินา (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ในหลายกรณีมีการเคลือบแบบหลายชั้น (Multilayered) อาทิ {TiC/Ti (C,N) / TiN หรือ TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>} (รูปที่ 8) โดยปกติจะนิยมใช้ TiC เคลือบไว้ที่ผิวของเครื่องมือตัดเป็นชั้นแรก

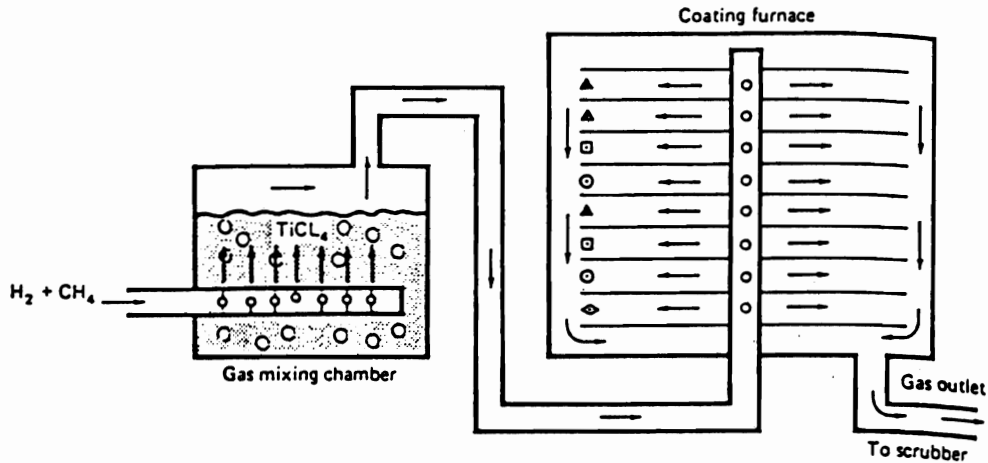
กรรมวิธีการเคลือบด้วย CVD (รูปที่ 9) จะนิยมใช้กันมากในเชิงการค้าโดยการนำเครื่องมือตัดที่ทำซีเมนต์คาร์ไบด์วางไว้ใน Coating Furnace ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 °C แล้วผ่านก๊าซผสมของไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) มีเทน (CH<sub>4</sub>) และไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ (TiCl<sub>4</sub>) แล้วเครื่องมือตัดที่เป็นทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) จะเป็นตัวเร่งทำให้ไทเทเนียมคาร์ไบด์มาเกาะที่ผิวดังสมการ



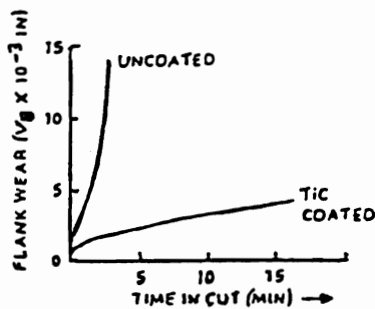
สำหรับคุณสมบัติด้านการทนต่อการสึกหรอในเครื่องมือตัดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่เคลือบและไม่เคลือบ TiC ดังแสดงในรูป 10



รูปที่ 8 การเคลือบแบบหลายชั้น โดยใช้ TiN และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> เคลือบบนผิวของ TiC (2)



รูปที่ 9 กรรมวิธีการเคลือบผิวของซีเมนต์คาร์ไบด์ (2)



**MACHINING CONDITIONS**  
 WORKPIECE: 4340 STEEL (R<sub>C</sub> 34.5 - 36)  
 SPEED: 400 SFPM  
 FEED: 0.010 IPR  
 DOC: 0.050 IN.  
 TOOL: SNG432 - 5° RAKE; 15° LEAD

รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่า Flank Wear ในเครื่องมือตัดที่เคลือบและไม่เคลือบคาร์ไบด์ (3)

## 2. การผลิตเครื่องมือตัดประเภทเซรามิกส์

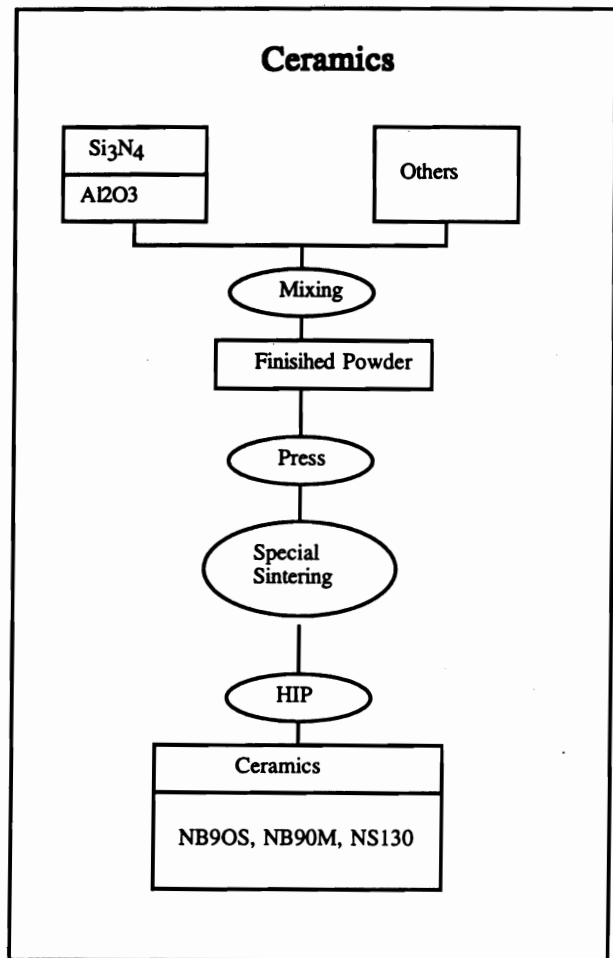
กระบวนการผลิตเครื่องมือตัดเซรามิกส์จะมีขั้นตอนเหมือนกับการผลิตเซรามิกส์ประเภทอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย การนำวัตถุดิบมาผสมในสารละลาย หลังจากทำให้แห้งแล้วจะเพิ่มตัวยึดประสานที่เหมาะสม นำไปอัดขึ้นรูปให้ได้รูปร่างตามต้องการ จากนั้นนำไปเผาซินเตอร์ริง สำหรับวัสดุพวกออกไซด์บริสุทธิ์ ปกติจะเผาในอากาศ แต่พวกไนไตรด์

หรือคาร์ไบด์จะเผาในบรรยากาศอื่น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาทางเคมีที่ไม่ต้องการ โดยปกติพวกวัสดุเซรามิกส์ที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือตัดจะมีวิวัฒนาการที่เป็นของเหลว (Liquid phase) เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยระหว่างการเผา Sintering ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิในการเผาสูงเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ไม่มีรูพรุนและหลีกเลี่ยงการเจริญเติบโตของเกรน และลดความต้านทานแรงเชิงกล (Mechanical strength) ในบางส่วนผสมของวัสดุเซรามิกส์ จะมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ

สูง ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกวิธีการเผา Sintering ในการขึ้นรูปให้เหมาะสม วัสดุที่ใช้เป็นเครื่องมือตัดเซรามิกส์พวกที่มีอลูมินาเป็นส่วนผสมหลัก (Alumina-based) และพวกซิลิกอนไนไตรด์มักใช้วิธีการขึ้นรูปด้วย Hot pressing โดยนำผงหรือชิ้นงานที่ได้ลองเผา Sintering แล้วมาอัดด้วยเครื่อง Hot pressing โดยใช้แรงอัด 25 MPa และอุณหภูมิในช่วง 1500 - 1800 °C ซึ่งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้จะต่ำกว่าวิธีการดั้งเดิม และจะได้ขนาดเกรนที่เล็กกว่า

นอกจากนี้ก็มีการใช้วิธีการอัดขึ้นรูปด้วย HIP ในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เพื่อให้มีแรงดันที่สม่ำเสมอ ในระหว่างการเผา Sintering ซึ่งในกรณีนี้ชิ้นงานต้องมีการห่อหุ้ม (Encapsulation) ด้วยวัสดุที่เหมาะสม เพื่อให้มีการส่งผ่านแรงดันไปยังแต่ละอนุภาค ซึ่งวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มอาจเป็นโลหะหรือแก้ว สำหรับ HIP สามารถใช้อัดได้ถึง 200 MPa ขึ้นไป และเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง 2000 °C ซึ่งการใช้กระบวนการ HIP กับชิ้นงานที่ผ่านการเผา Sintering แล้ว จะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและคุณสมบัติทางกลให้กับชิ้นงานถึง 10-30 %

ในปัจจุบันการมีการพัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า Sinter-HIP มาใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูป ซึ่งเครื่องมือที่ได้นำเอาข้อดีของการเผา Sintering และเครื่อง HIP มารวมกัน โดยในการทำงานจะอาศัยกลไกของการเผา Sintering เป็นหลัก แต่กระบวนการ Consolidation ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ความดันสูง การเพิ่มความดันลงไปจะกระทำต่อเมื่อชิ้นงานที่ผ่านการเผา Sintering เริ่มมีรูปิด (Closed pore) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการห่อหุ้ม โดยปกติความดันที่ใช้จะมีค่า 20 MPa สำหรับวัสดุ อาทิ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> สามารถใช้ได้กับก๊าซ ไนโตรเจนได้ด้วย นอกเหนือจากก๊าซอาร์กอน ซึ่งไนโตรเจนที่ถูกเก็บไว้ที่ชิ้นงานจะทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นสำหรับกระบวนการขึ้นรูปของเครื่องมือตัดพวกเซรามิกส์ที่ใช้ทางการค้าอาจแสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กระบวนการผลิตเครื่องมือตัดจากเซรามิกส์ (1)

#### เอกสารอ้างอิง

1. Catalog บ. Sumitomo electric
2. E.P. Degarrno J.M. Black และ R.A. kohser. Material and process in Manufacturing 7<sup>th</sup>ed. Macmillan Publishing. Company New York. 1988.
3. V.K. Sarin. Cemented carbide cuttingtool. ใน Advances in Powder Technology. Gilbert y. chin editor. หน้า 253-288. Metal park, Ohio. 1982.
4. Books, KSA. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard Material 5<sup>th</sup>. Publish by International Carbide Data. UK. 1992.

\* เป็นผู้ผลิตเพื่อใช้ในโรงงานซึ่งทำการผลิตพวกชิ้นส่วนนาฬิกา มีกำลังการผลิตเครื่องมือตัดประมาณ 10,000 ชิ้นต่อเดือน