บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

การเติม อะลูมินา-อิทเทรีย และ อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์สามารถช่วยในการซินเทอร์ซิลิกอนคาร์ไบด์ให้มีความหนาแน่นสูงถึงร้อยละ 97 โดยทฤษฎี และมีการหดตัวสูงถึงร้อยละ 20

จากการทดลองจะเห็นว่าการซินเทอร์เริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1760 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เริ่มเกิด liquid phase ดังรูปที่ 2.10 เนื่องจากซิลิกาซึ่งอยู่ที่ผิวของซิลิกอนคาร์ไบด์ สามารถช่วยลดอุณหภูมิการเกิด liquid phase ได้ดังรูปที่ 2.11 นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย กับ อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ จะเห็นว่าชิ้นงานที่เติมแคลเซียมออกไซด์มีความหนาแน่นสูงกว่าชิ้นงานที่ไม่มีการเติมแคลเซียมออกไซด์ในช่วงแรกของการซินเทอร์ โดยแคลเซียมออกไซด์จะช่วยลดอุณหภูมิการเกิด liquid phase เนื่องจากสมบัติที่เป็น flux ของแคลเซียมออกไซด์

ในช่วงแรกเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้สารตัวเติมที่ใส่ลงไปเริ่มเกิด liquid phase และปริมาณจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกรนของซิลิกอนคาร์ไบด์จะถูกล้อมด้วย liquid phase ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สารตัวเติมที่เติมลงไปนอกจากจะทำให้เกิด liquid phase แล้ว ยังทำปฏิกิริยากับซิลิกอนคาร์ไบด์ดังสมการ 4.1 ถึง 4.4 ทำให้เกิดแก๊สขึ้น ปริมาณแก๊สจะเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และที่ปริมาณที่มากพอที่จะทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในชิ้นงาน ดังนั้นความหนาแน่นจึงลดลง

ความทนแรงดัดโค้งของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติมสารตัวเติมทั้งสองกลุ่มจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก เนื่องจากเกิด liquid phase ซึ่งช่วยในการซินเทอร์ เพิ่มมากขึ้นในช่วงแรก แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงเกิน 1900 องศาเซลเซียส พบว่าความทนแรงดัดโค้งมีค่าลดลง เนื่องจากรูพรุนที่เกิดขึ้นและความหนาแน่นที่ลดลงของชิ้นงาน นอกจากนี้ชิ้นงานที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย ค่าความทนแรงดัดโค้งต่ำกว่าชิ้นงานที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิ 1900 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดรอยแตกเล็กๆขึ้นทั่วผิวชิ้นงาน ซึ่งคาดว่าเกิดจาก liquid phase ที่เกิดขึ้นมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่างจากซิลิกอนคาร์ไบด์ ขณะที่ชิ้นงานที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ ไม่พบรอยแตกนี้เกิดขึ้น

ความแข็งของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติมสารตัวเติมทั้งสองกลุ่มจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากเกิด liquid phase ซึ่งช่วยในการซินเทอร์ เพิ่มมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงเกิน 1900 องศาเซลเซียส ความแข็งจะมีค่าลดลง เนื่องจากเกิด liquid phase ในปริมาณที่มากเกินไป ซึ่งก็คือมี glassy phase ในปริมาณมาก ทำให้ความแข็งลดลง เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย และ อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ ชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ จะมีความแข็งน้อยกว่า อะลูมินา-อิทเทรีย เนื่องจากการเติมแคลเซียมออกไซด์ จะช่วยลดอุณหภูมิการเกิด liquid phase ดังนั้นจึงเกิด glassy phase ในปริมาณที่มากกว่า ทำให้มีความแข็งน้อยกว่า

Fracture toughness ของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติมสารตัวเติมทั้งสองกลุ่มจะเพิ่มขึ้นเมื่อซินเทอร์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากเกิด glassy phase ที่บริเวณขอบเกรนเพิ่มมากขึ้น เมื่อเกิดการแตกรอยแตกจะเบี่ยงเบนไปตามขอบเกรน ทำให้การวิ่งของรอยแตกถูกยับยั้งหรือทำให้ช้าลงส่งผลให้ fracture toughness มีค่าสูงขึ้น

สรุปผลการทดลอง

1. การเติม อะลูมินา-อิทเทรีย และ อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ ทำให้เกิด liquid phase ซึ่งช่วยในการซินเทอร์ซิลิกอนคาร์ไบด์ให้มีความหนาแน่นสูงถึงร้อยละ 97 โดยทฤษฎี โดยใช้อุณหภูมิในการซินเทอร์ต่ำกว่าการเติม อะลูมิเนียม-โบรอน-คาร์บอน และแมกนีเซียมออกไซด์ เมื่อทำการซินเทอร์แบบไม่ใช้ความดัน โดยชิ้นงานที่มีการเติมแคลเซียมออกไซด์จะเริ่มเกิดการซินเทอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า

2. การเติม อะลูมินา-อิทเทรีย และ อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ เมื่อซินเทอร์ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสูญเสียปริมาณน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมจะทำปฏิกิริยากับซิลิกอนคาร์ไบด์เกิดเป็นแก๊ส

3. การซินเทอร์ในช่วงอุณหภูมิ 1850 ถึง 1900 องศาเซลเซียส จะให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดโดยซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย จะมีค่าความทนแรงดัดโค้ง 395 เมกะปาสคาล ค่าความแข็ง 1988 HV ขณะที่ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย-แคลเซียมออกไซด์ จะมีค่าความทนแรงดัดโค้ง 409 เมกะปาสคาล ค่าความแข็ง 1799 HV และมีค่า Fracture toughness มากกว่า 3 $MPa \cdot m^{1/2}$

4. ค่า Fracture toughness ของซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เติมสารตัวเติมทั้งสองกลุ่ม มีค่ามากกว่า 3 $MPa \cdot m^{1/2}$ และจะมีค่าสูงสุดเมื่อซินเทอร์ที่ 1950 องศาเซลเซียส โดยมีค่าประมาณ 5.5 $MPa \cdot m^{1/2}$

5. ชิ้นงานที่เติม อะลูมินา-อิทเทรีย ซินเทอร์ที่ 1900 องศาเซลเซียส มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับชิ้นงานซิลิกอนคาร์ไบด์จากท้องตลาด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย