การพัฒนาคุณลักษณะผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

Characteristics development of recycled tungsten carbide powder suitable applications

ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์*, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ, ปริญญ์ บุญกนิษฐ
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
jumnongphan@gmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาคุณลักษณะของโลหะผงที่ได้จากการรีไซเคิลเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ ด้วยวิธีการบดแบบแพลนเนต โดยใช้ Ball milling ผลปรากฏว่าโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC powder) มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเป็น 96.27% นอกนั้นเป็นโลหะไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) ไนโอเบียม (Nb) และโมลิบดินัม (Mo) ที่ตกค้างจากการรีไซเคิล ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าลักษณะผงโลหะมีทั้งความกลมและพื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น ผงโลหะ (Particles) เกิดการกระจายตัวสม่ำเสมอโดยมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.07-0.44 μm ซึ่งสอดคล้องกับผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีการผลิตในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามคุณลักษณะโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้มีความเหมาะสมสำหรับนำไปผลิตเป็นชิ้นงานเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากโลหะผงชนิดอื่นที่ตกค้างนั้นเป็นโลหะประสาน (Binder) และมีสมบัติเหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ต่อไป

คำสำคัญ: การรีไซเคิล; บอลมิลลิ่ง; แพลนเนต; ผงทังสเตนคาร์ไบด์

Abstract

To develop the characteristics of particles received from recycle of tungsten carbide residue cement by planet grinning using Ball milling, the result shows that WC powder's purity increases to 96.27%. Apart from that are titanium, tantalum, niobium, and molybdenum which are residues from recycling. Result from SEM analysis found that the particles are round shaped and smoother. Particles spread constantly with sizes between 0.07-0.44 μm which are correspondent with tungsten carbide particles presently produced. However, the characteristics of tungsten carbide particles received from this research are suitable for producing industrial parts, as others remaining metal particles are eligible binder and also qualified for molding of tungsten carbide cement.

Keyword: Recycle; Ball milling; Planetary; Tungsten carbide powder

* ปฐมพงษ์ จำนงค์พันธ์

RMUTP & TTMA Sustainable Industrial Management Engineering

1. บทนำ (Introduction)

การพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะความแข็งสูง (Hard metals) ในปัจจุบันจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการรีไซเคิลวัสดุต้นน้ำชนิดทังสเตนคาร์ไบด์เพื่อให้ผงโลหะมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน โดยเฉพาะคุณลักษณะผงโลหะในด้าน ขนาด รูปร่าง การกระจายและความบริสุทธิ์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติของชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์โดยเฉพาะ ความแข็ง (Hardness) ความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนโลหะความแข็งสูงมีการรีไซเคิลซีเมนต์คาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่มากขึ้น (Sandvik Annual Report 2011) ประยุกต์ใช้สำหรับงานผลิตชิ้นส่วนโลหะความแข็งสูง (Hard metals) คิดเป็นร้อยละ 72 มีปริมาณการบริโภคทั่วโลกประมาณ 59,000 ตันต่อปี ประกอบด้วย ยุโรปบริโภคทังสเตนคาร์ไบด์ 17,000 ตันต่อปี จีนบริโภคทังสเตนคาร์ไบด์ 16,000 ตันต่อปี สหรัฐอเมริกาบริโภคทังสเตนคาร์ไบด์ประมาณ 10,000 ตันต่อปี รัฐเซียและอินเดียบริโภคทังสเตนคาร์ไบด์ 4,000 ตันต่อปี และเกาหลีใต้บริโภคทังสเตนคาร์ไบด์ 3,000 ตันต่อปี [1]

ซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ (Cemented tungsten carbide) มีความหนาแน่น 15.63 g/cm^3 จุดหลอมเหลว 2,870 °C [2,3] ความแข็งระหว่าง 1,700-2,400 Hv [4] โดยมีทังสเตนคาร์ไบด์เป็นวัสดุพื้นฐาน และโลหะประสานใช้โคบอลต์ (Co) นิยมผลิตเป็นเครื่องมือตัดประเภท inserts tool คิดเป็นประมาณร้อยละ 50-60 นอกจากนี้ยังมีการผสม ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) หรือไนโอเบียม (Nb) [5-6] เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานต่อการสึกหรอ แบ่งเป็นหลายชนิด (straight grades) ประกอบด้วย Nano grades มีขนาดเกรนไม่เกิน 0.2 µm, Ultrafine and Submicron grades ขนาดเกรนระหว่าง 0.2-0.9 µm, Fine grades ขนาดเกรนระหว่าง 1.0-2.0 µm, Medium Coarse grades ขนาดเกรนระหว่าง 2.1-5.0 และ Extra Coarse grades ขนาดเกรนมากกว่า 5.0 µm [7] เป็นต้น

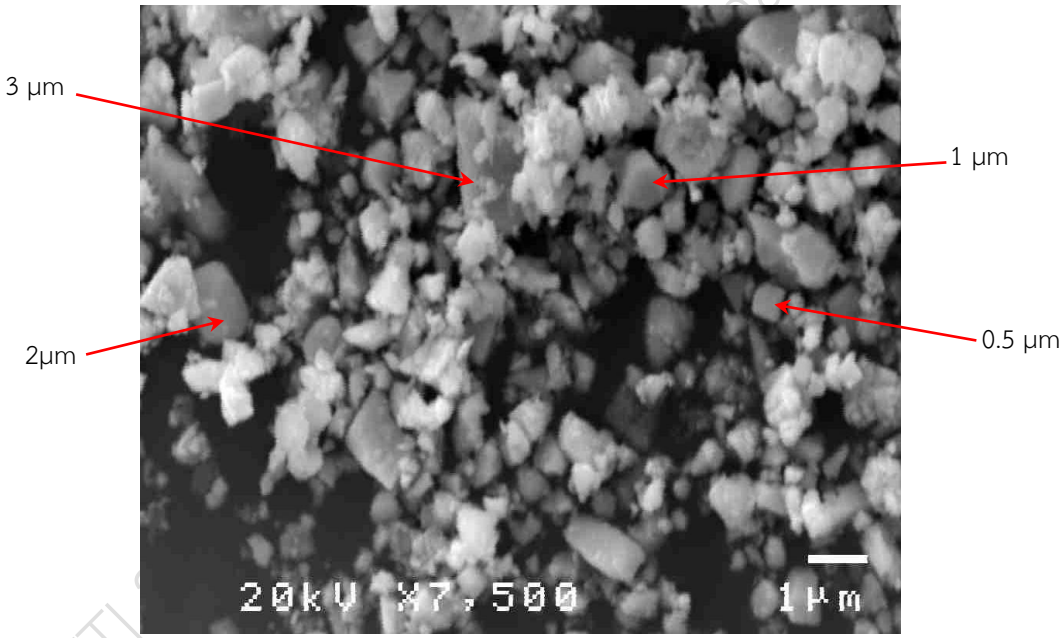
การพัฒนาสมบัติของโลหะผงเชิงกลด้วยการบดแบบแพลนเนต (Planetary) นิยมใช้ในการบดวัสดุ เป็นการบดเพื่อให้ผงโลหะมีขนาดเล็กและมีความละเอียด โดยอาศัยความเร็วของการหมุนหม้อบด เพื่อนำลูกบอลขึ้นสู่ด้านบนสุดของหม้อบดและตกลงมาสู่พื้นล่างของหม้อบด ความเร็วหม้อบดประมาณ 360 รอบ/นาที ข้อดีของวิธีนี้คือการบรรจุโลหะผงภายในหม้อบดทำได้ง่าย ความจุของหม้อบดที่ใช้ทั่วไป 45 ถึง 500 มิลลิลิตร [C. Suryanarayana, Mechanical; 2001 [8]] การบดโลหะผง WC-Co โดยใช้โลหะผงขนาด 1.53 µm และ 2.11 µm อัตราส่วน 15:1 (Weight ratio of ball to powder) ใช้เวลา 10-45 ชั่วโมง ใช้ความเร็วรอบ 200 รอบ/นาที ปรากฏว่าใช้เวลาบดที่ 25 ชั่วโมง สามารถผลิตผงทังสเตนคาร์ไบด์สำหรับชิ้นงาน Grain size 8.45 nm [Liu Sha[a]*, Huang Ze-Lan[b], Liu Gang b, Yang Gui-Bin [b]; 2006 [9]] การบดโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์โคบอลต์ (WC-Co) ขนาดนาโนเมตรแบบแพลนเนตด้วย ball milling ด้วยเครื่องบด Fritsch Pulverrisetter 5 ความเร็วรอบระหว่าง 100-250 รอบ/นาที อัตราส่วน 10:1 ขนาดลูกบด 6-18 มม. ใช้เวลา 10 ชั่วโมง ได้โลหะผงขนาดระหว่าง 0.01-0.4 µm รูปร่างกลมพื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น การเกาะยึดของผงโลหะเป็นก้อนๆ ซึ่งการเกาะกลุ่มลักษณะนี้เกิดจากโลหะผงขนาดเล็กมีผลต่อการหาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค [10] การบดโลหะผง WC-Co ขนาดนาโนเมตรโดยใช้ ball milling ขนาด 10-12 มม. อัตราส่วน 5:1 และ 20:1 ความเร็วรอบ 350-750 รอบ/นาที ใช้เวลา 40 ชั่วโมง สามารถพัฒนาโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ขนาดอนุภาค 0.01-0.15 µm [M.H. Enayati , G.R. Aryanpour, Ebnonnasir, 2009 [11]] รูปร่างเหมือนแผ่นบาง (thin plate-like shapes) ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากอุณหภูมิในการบดสูงและจากความไม่สมดุลของลูกบดและโลหะผง [Mukhopadhyay[A], Basu[B]; 2007 [12]] การพัฒนาโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิลโดยวิธี Hydrothermal treatment เมื่อผ่านการบดด้วย ball milling ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ทังสเตนคาร์ไบด์มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 3 µm รูปร่างหลายเหลี่ยมผสมกับแผ่นบางเกาะกันแน่นและเป็นโลหะผงที่มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่และสามารถเกิดออกไซด์ได้ง่าย เมื่อนำไปผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์จะทำให้ความหนาแน่นลดลงเนื่องจากลักษณะสันฐานเป็นสีเหลี่ยม [T. KOJIMA*, T. SHIMIZU, R. SASAI, H. ITOH. 2005 [13]] การพัฒนาคุณลักษณะทังสเตนคาร์ไบด์จากผงรีไซเคิลและผงสำเร็จรูปยังมีข้อจำกัดด้านลักษณะรูปร่างของอนุภาค และการเกิดออกไซด์ของโลหะผง รวมถึงข้อจำกัดในการผสมโลหะประสานโคบอลต์

งานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิลด้วยวิธีการบดแบบแพลนเนต โดยใช้ Ball milling เพื่อผลิตโลหะผงที่มีรูปร่างกลม อนุภาคเล็กลงและมีคุณลักษณะเหมาะสม เทียบเท่ากับผงโลหะในอุตสาหกรรม

RMUTP & TTMA 2nd Sustainable Industrial Management and Engineering

2. วิธีการทดลอง (Experimental procedure)

งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยการเตรียมโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิล จำนวน 120 กรัม รูปร่างหลายมุมผสมกับกลมเกาะกลุ่มกันหลวมๆ ขนาดอนุภาคระหว่าง 0.5-3.0 μm ตามภาพที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นทังสเตนร้อยละ 89.17 มีธาตุอื่นผสมประกอบด้วย ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) ไนโอเบียม (Nb) และโมลิบดินัม (Mo) ขนาดและการกระจายของโลหะผงระหว่าง 0.12-200 μm คัดขนาดโลหะผงเพื่อการบดด้วยตะแกรงขนาดไม่เกิน 50 μm ทำความสะอาดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ ใช้หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 97.40 x 85 มม. ลูกบดขนาด 6 มม. อัตราส่วน 10:1 (Weight ratio of ball to powder) ทำการบดด้วยเครื่อง Planetary Mono Mill “Pulverrisette 6” กำหนดความเร็วรอบ 300 รอบ/นาที ใช้เวลาบด 36 ชั่วโมง จากนั้นคัดกรองโลหะผงที่ผ่านการบดและทำความสะอาดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ นำโลหะผงรีไซเคิลเข้าเตาอบระบบสุญญากาศที่อุณหภูมิระหว่าง 100-200°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์โลหะผง ศึกษาลักษณะรูปร่าง รูปทรง ด้วยกล้องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscopy; SEM) วิเคราะห์โลหะผงด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction; XRD) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับชนิดของธาตุ เอกลักษณ์ของโลหะผง และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาชนิดและปริมาณของธาตุ รวมทั้งการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของโลหะผงด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ทั้งขนาดและการกระจายตัวของโลหะผง



ภาพที่ 1 SEM โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการรีไซเคิล

จากภาพที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิลด้วยวิธี hydrothermal กับ Electrolysis ทำงานร่วมกัน ปรากฏว่าโลหะผงมีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.5-3.0 μm ขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0 μm โลหะผงส่วนใหญ่รูปร่างแบบเรขาคณิตทรงหลายเหลี่ยมบางส่วนมีความกลมเล็กน้อย ซึ่งลักษณะรูปร่างของอนุภาคโลหะผงที่เป็นทรงกลมจะส่งผลต่อการผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ด้านความแข็งและการต้านทานการสึกหรอ จึงต้องพัฒนาคุณลักษณะให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

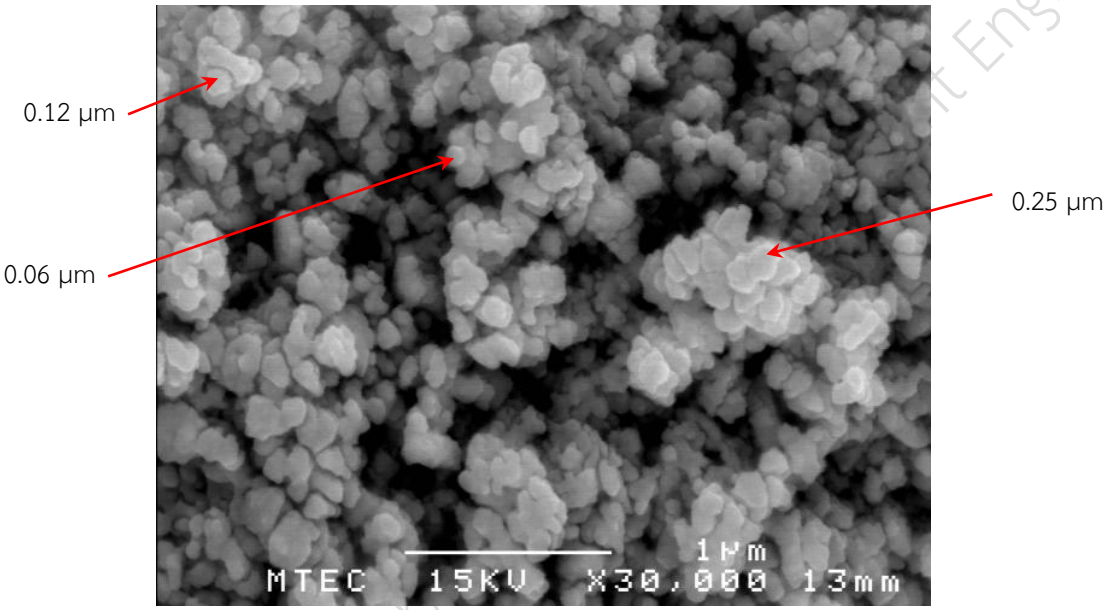
RMUTP & FTI ... agement and Engineering

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการบดโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์แบบแพลนเนตโดยใช้ Ball milling สำหรับบดโลหะผงให้ละเอียดเป็นการพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงที่ผ่านการรีไซเคิลให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งผลการพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ของงานวิจัยนี้ ปรากฏผล ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy : SEM

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ ขนาด (เทียบกับสเกล 1 μm) และรูปร่างของอนุภาคผง หรือตำแหน่งที่สนใจบนโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ สามารถแสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 SEM โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลที่ผ่านกระบวนการบดด้วย Ball milling เป็นเวลา 36 ชั่วโมง

จากภาพที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการบดแบบ Ball milling เป็นเวลา 36 ชั่วโมง ปรากฏว่าขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.06-0.25 μm อนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.12 μm อนุภาคโลหะผงส่วนใหญ่มีขนาดใกล้เคียงกันและรูปร่างกลมพื้นผิวของผงโลหะ (Particles) มีความเรียบมากขึ้นแต่พบว่ายังมีรูปร่างแตกต่างกันและขนาดผงโลหะมีความไม่แน่นอน (irregular shape) ผงโลหะจะมีการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มๆ

3.2 การวิเคราะห์ผงทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยเทคนิค XRF และ XRD

การวิเคราะห์โลหะผงด้วยเทคนิค X-ray Diffraction; XRD และ เทคนิค X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF ผลจากการวิเคราะห์จะเป็นโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิล

W	Ti	Ta	Nb	Mo	Zr	Fe	S
89.17%	4.90	3.56	1.31	0.93	0.06	0.04	0.06

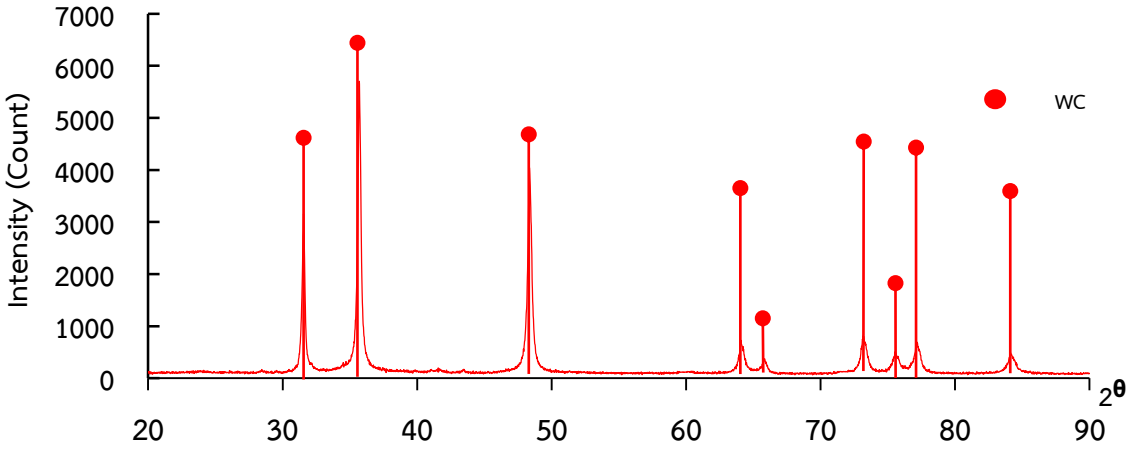
RMUTP & FTI 2nd Sustainable Industrial Engineering

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุ ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence: XRF ปรากฏว่า โลหะผงมีองค์ประกอบของธาตุมากกว่าหนึ่งชนิด ส่วนใหญ่เป็นทังสเตน 89.17% นอกนั้นเป็นธาตุ ไทเทเนียม (Ti) แทนทาลัม (Ta) และไนโอเบียม (Nb) รวมประมาณ 10.83%

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการบดแบบแพลนเนต (Planetary)

W	Ta	Ti	Nb	Mo	Zr	Fe	S
96.27%	1.68	1.21	0.42	0.35	0.03	0.02	0.01

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของโลหะผงที่ผ่านรีไซเคิลและผ่านการบดด้วย Ball milling ปรากฏว่าองค์ประกอบทางเคมีของโลหะผงเป็นทังสเตน 96.27% นอกจากนั้นประกอบด้วย แทนทาลัม (Ta) 1.68% ไทเทเนียม (Ti) 1.21% และไนโอเบียม (Nb) 0.42%



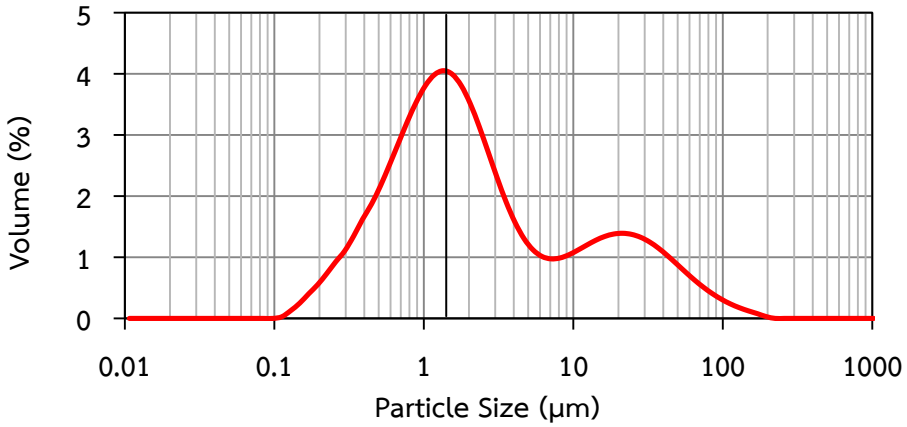
ภาพที่ 3 การวิเคาะห์ X-Ray Diffraction โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์รีไซเคิลผ่านการบดด้วยเวลา 36 ชั่วโมง

จากภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction: XRD ปรากฏว่า ชนิดของธาตุเป็นโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะเป็นไปตามองศาอิสระมาตรฐาน ประกอบด้วย องศาอิสระที่ 31.49, 35.64, 48.30, 64.03, 65.77, 73.12, 75.50, 77.11 และ 84.09

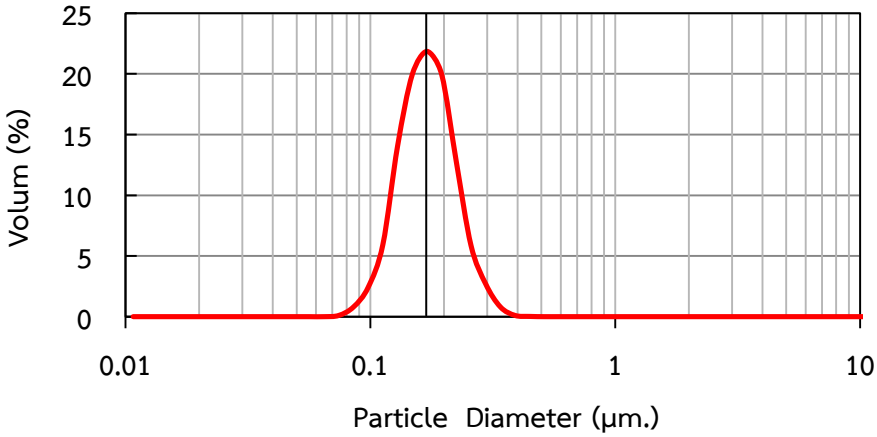
3.3 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์

ผลการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ผ่านเครื่องวิเคราะห์อนุภาค ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์มีขนาดและการกระจายตัวอยู่ระหว่าง 0.12- 200 μm ตามภาพที่ 4 ซึ่งขนาดและการกระจายของโลหะผงมีทั้งอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมกัน ขนาดเล็กที่สุดประมาณ 0.12 μm ขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ 200 μm แต่โดยส่วนใหญ่ผงโลหะจะมีขนาดอยู่ที่ประมาณ 1.50 μm

RMUTP & FTI 2nd Sustainat ... ent Engineering



ภาพที่ 4 ขนาดและการกระจายของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ก่อนการบดด้วย Ball milling



ภาพที่ 5 ขนาดและการกระจายตัวของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านกระบวนการบดด้วย Ball milling ใช้เวลา 36 ชั่วโมง

จากภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ผ่านการบดด้วย Ball milling ปรากฏว่าการกระจายตัวของผงโลหะแคบลงเป็นสัดส่วนที่ดีขึ้นอย่างสม่ำเสมอขนาดและการกระจายอยู่ระหว่าง 0.07-0.44 µm ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.17-0.20 µm จากภาพที่ 2 และภาพที่ 5 พบว่าผงโลหะมีความกลมมากขึ้นพื้นผิวเรียบมากขึ้นขนาดผงโลหะมีการกระจายตัวน้อยลงเป็นผลดีต่อการนำไปใช้งาน

4. อภิปรายผล (Discussion)

การพัฒนาคุณลักษณะโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยการบดแบบแพลนเนตโดยใช้ Ball milling ปรากฏว่าลักษณะรูปร่างและพื้นผิวจากการวิเคราะห์ด้วย SEM ผงทังสเตนคาร์ไบด์เป็นทรงกลมมากขึ้นและพบว่าอนุภาคมีขนาดเล็กลงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.12 µm เมื่อเทียบกับกระบวนการรีไซเคิล WC-Co cermets [13] และมีรูปร่างกลม พื้นผิวมีความเรียบมากขึ้น ลักษณะผงโลหะมีการกระจายตัวที่แคบลง มีรูปร่างกลมมากขึ้น โดยรอบเม็ดผงโลหะมีลักษณะพื้นผิวเรียบมากขึ้นเนื่องจากหลักการเคลื่อนไหวในหม้อบดซึ่งเป็นการบดด้วยลูกบอล (Ball milling) จึงมีความสมดุลระหว่างลูกบดและผงโลหะ ผลงานวิจัยนี้มีขนาดอนุภาคเล็กลงเนื่องจากเวลาในการบดเพิ่มขึ้น 12 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณลักษณะโลหะผงให้มีความเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรม

จากการวิเคราะห์สัดส่วนผสมของโลหะผง ปรากฏว่าเป็นธาตุทังสเตน 96.27% นอกนั้นเป็นธาตุแทนทาลัม (Ta) ไทเทเนียม (Ti) และไนโอเบียม (Nb) รวมธาตุผสมประมาณ 3.63% ซึ่งเป็นธาตุผสมในโลหะผงตั้งต้นของชิ้นส่วนซีเมนต์คาร์ไบด์ขณะรีไซเคิล ซึ่งโลหะเหล่านี้มีสมบัติที่ดีด้านเพิ่มสมบัติทางกลแก่ชิ้นงาน [5-6] และจากการวิเคราะห์ XRD พบว่าผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ในอุตสาหกรรมเทียบเท่ากับมาตรฐานผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีการจำหน่ายในปัจจุบัน

ส่วนการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายของอนุภาค ปรากฏว่าขนาดการกระจายอยู่ระหว่าง 0.07-0.44 µm ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.17 µm มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ซึ่งขนาดของโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่ได้รับมีความเหมาะสมต่อการนำไปผลิตชิ้นงานโลหะความแข็งสูงพิเศษหรือประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมได้เทียบเท่ากับผงโลหะในอุตสาหกรรมในด้านขนาดและรูปทรงเรขาคณิต อย่างไรก็ตามโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ยังมีโลหะอื่นผสมบางส่วนซึ่งหากทำให้เป็นทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์ จะส่งผลต่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5. สรุปผล (Conclusion)

การวิจัยนี้สามารถพัฒนาคุณลักษณะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนซีเมนต์คาร์ไบด์ เป็นโลหะผงที่มีรูปร่างกลมพื้นผิวมีความเรียบมากขึ้นขนาดอนุภาคเล็กลงการกระจายตัวแคบลงและการกระจายของอนุภาคสม่ำเสมอ ขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.12 µm ชนิดของธาตุเป็นทังสเตนคาร์ไบด์มีความบริสุทธิ์ 96.27% ขนาดการกระจายระหว่าง 0.07-0.44 µm เป็นโลหะผงที่มีคุณลักษณะเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใชในอุตสาหกรรมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการใช้สถานที่เพื่อการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] Wolf-W.Albrecht, Hard Metal (WC-Co), retired Director of H.C. Starck, Germany, and Nov. 2008.
[2] Ulrich Schlottmann, 2005. SIDS Initial Assessment Report, Washington, DC, October 18-20.
[3] CRC Materials Science and Engineering Handbook (2001).
[4] Pohanish, Richard P. 2012. Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens. Sixth Edition.Kidlington, UK: Elsevier, Inc. p. 2670. ISBN 978-1-4377-7869-4.
[5] Sebahattin Gurmen1; Bernd Friedrich2, 2000. Recovery of Cobalt Powder and Tungsten Carbide from Cemented Carbide Scrap - Part I: Kinetics of Cobalt Acid Leaching, 1Istanbul Technical University, Metallurgical & Materials Eng. Dept., Istanbul, Türkei, 2IME Process Metallurgy and Metal Recycling, RWTH Aachen University, Germany.
[6] Andren, O. H., 2001. Microstructure development during sintering and heat-treatment of cemented carbides and cermets, Materials Chemistry and Physics 67, 209-213.
[7] Sandvik hard Materials, Ref.no.H-9116 ENG, Edited 2005.
[8] C. Suryanarayana, Mechanical alloying and milling, 2001. Progress in Materials Science 46, 1-184.
[9] Liu Sha a,*, Huang Ze-Lan b, Liu Gang b, Yang Gui-Bin b, 2006. Preparing nano-crystalline rare earth doped WC/Co powder by high energy ball milling. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 24, 461–464.
[10] F.L. Zhang a, M. Zhu b, C.Y. Wang a, 2008. Parameters optimization in the planetary ball milling of nanostructured tungsten carbide/cobalt powder, International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 26, 329–33.

RMUTP & FEI 2nd Sustainable Industrial Management Engineering

[11] M.H. Enayati , G.R. Aryanpour, Ebnonnasir, 2009. Production of nanostructured WC–Co powder by ball milling, Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials 27, 159–163.

[12] Mukhopadhyay A, Basu B. 2007 Consolidation-microstructure-property relationships in bulk nanoceramics and ceramic nanocomposites: a review. Int Mater Rev;52:257–88.

[13] T. KOJIMA*, T. SHIMIZU, R. SASAI, H. ITOH. 2005. Recycling process of WC-Co cermets by hydrothermal treatment, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 40, 5167 – 5172.

RMUTP & FTI 2d Sustainable Industrial Management Engineering