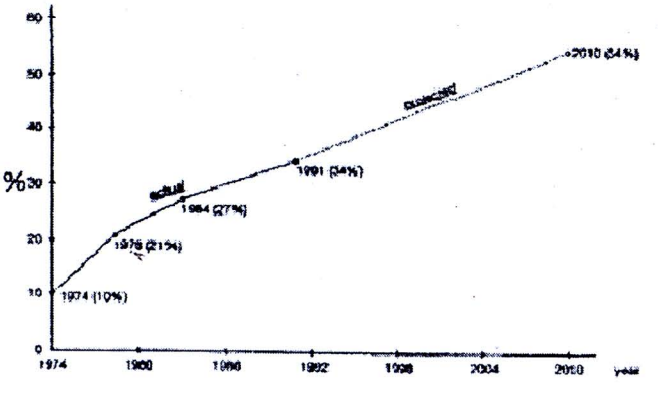
บทที่ 1
บทนำ

1. 1 ความสำคัญ และที่มาของการวิจัย

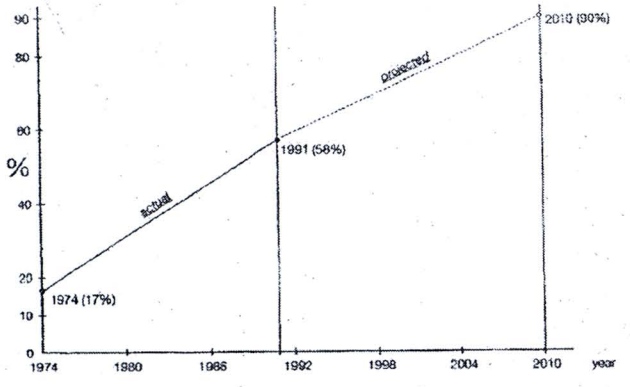
1.1.1 โลหะทังสเตน (Tungsten) เป็นโลหะที่มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้า อาทิ เทคโนโลยีการตัดปาดผิว (Metal removal technology) เครื่องจักรกล ยานยนต์ ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ และเป็นโลหะที่สำคัญด้านการการผลิต เครื่องมืออุปกรณ์ด้านการทหาร เป็นต้น [13] เนื่องจากเป็นโลหะที่มีสมบัติพิเศษในด้านความแข็งสูง (High hardness) ทนต่อความร้อนสูงถึง 3,400 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 19 g/cm^3 ที่สำคัญคือสามารถคงสมบัติเดิมได้ดีจากการนำกลับมาผลิตใหม่ด้วยกระบวนการรีไซเคิล (Recycling) ซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ Chemical processing, Zinc process, Melting process, Menstruum Process, Leach milling เป็นต้น

ในอุตสาหกรรมการผลิตโลหะทังสเตนกลับมาใช้ใหม่ของประเทศผู้นำทางอุตสาหกรรมนั้นพบว่ามีการผลิตจำนวนมากและมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ ต่อเนื่องกันมามากกว่า 40 ปี ตามผลงานวิจัยของ Kieffer,B.F.andLassnerjE.,[7] และ ปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ จากปี ค.ศ. 1974 ถึง 1991 เพิ่มขึ้น 34% ที่ขนาดประมาณ 348,000 เมตริกตัน [8] และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และคาดว่าในปี ค.ศ. 2010 การรีไซเคิลจะเพิ่มขึ้นมากกว่า ร้อยละ 54 โดยประเทศสหรัฐอเมริกามีการผลิตมากที่สุดถึงร้อยละ 90 โดยนำเข้าวัตถุดิบจากประเทศจีน รัฐเซีย และประเทศอื่น ๆ รวมถึงประเทศไทย โดยนำเข้าเป็นจำนวนมาก เพื่อผลิตเทคโนโลยีต่าง ๆ [7] จากการศึกษาพบว่าเป็นอุตสาหกรรมการรีไซเคิลวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง

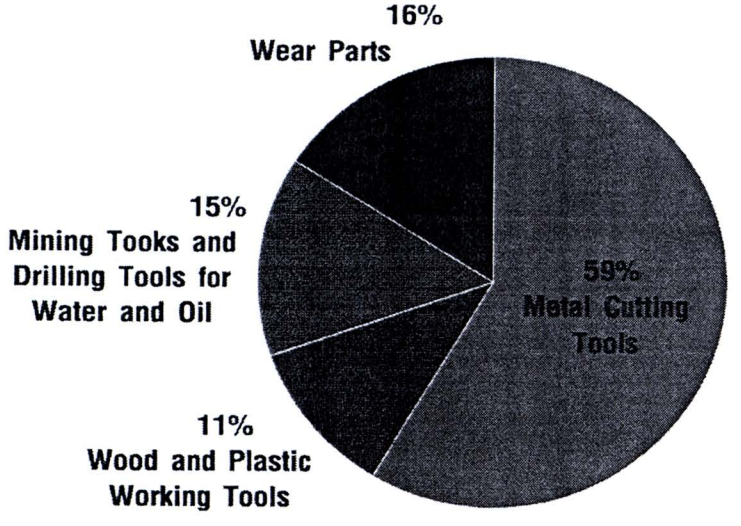


รูปที่ 1.1 แนวโน้มการรีไซเคิลซีเมนต์คาร์ไบด์ ของประเทศสหรัฐอเมริกา [7]

จากรูปที่ 1.1 และ 1.2 รายงานวิจัยแนวโน้มการนำโลหะชนิดเศษซีเมนต์คาร์ไบด์กลับมาใช้เพื่อการผลิตและเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมพื้นฐานสำหรับสนับสนุนอุตสาหกรรม

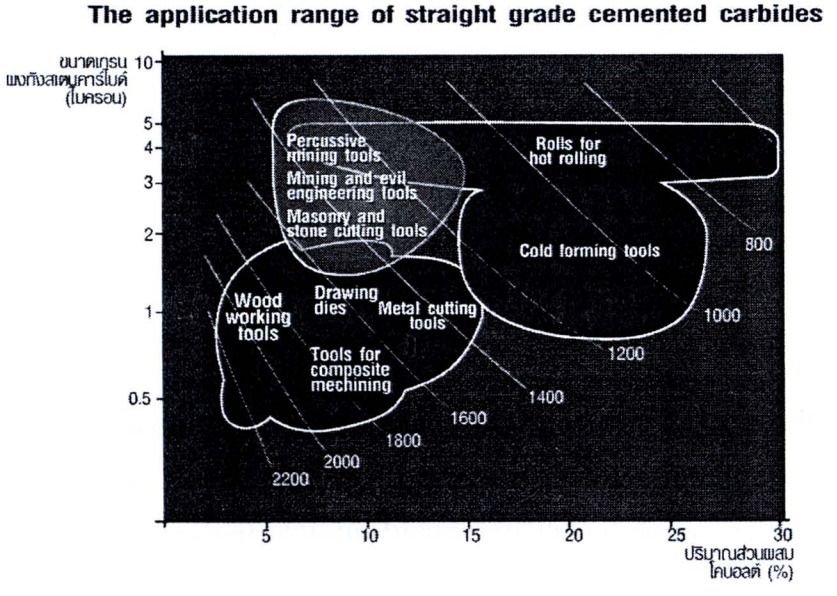


รูปที่ 1.2 แนวโน้มการผลิตทังสเตนจากเศษโลหะที่ไม่ใช้ประโยชน์ของประเทศสหรัฐอเมริกา [7]



รูปที่ 1.3 สัดส่วนการผลิตโลหะแข็งพิเศษจากทังสเตนคาร์ไบด์ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท [9]

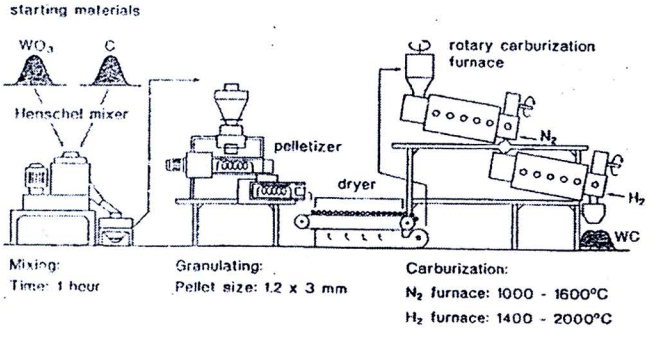
การนำเศษซีเมนต์คาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมเครื่องมือตัดมีสัดส่วนถึง ร้อยละ 59 ผลิตเป็นชิ้นส่วนทนการสึกหรอ ร้อยละ 16 ผลิตเป็นเครื่องมือในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ งานขุดเจาะน้ำ น้ำมันร้อยละ 15 และ ผลิตเป็นเครื่องมืองานไม้และพลาสติก ร้อยละ 11



รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ของขนาดผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์และส่วนผสมโคบอลต์มีผลต่อการผลิตชิ้นงานโลหะแข็ง เพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท [9]

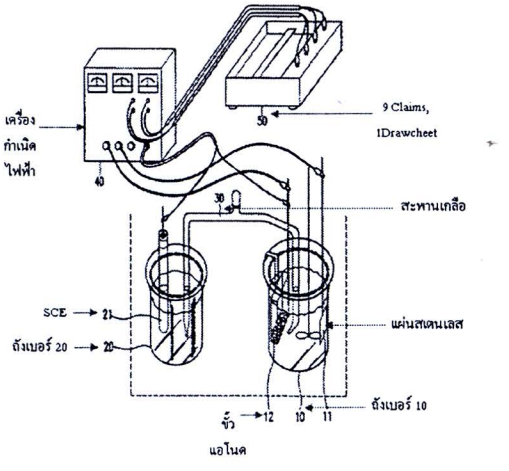
จากรูปที่ 1.4 แกนนอนคือปริมาณส่วนผสมของโคบอลต์ (Co) 0-30% แกนตั้งคือขนาดเกรนของผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ 0-10 ไมครอน (μm) ที่ส่วนผสมโคบอลต์ 3.0-16% และขนาดผงอยู่ในช่วง 0.3-1.9 μm สามารถผลิตเป็นชิ้นงานที่มีความแข็งอยู่ในช่วง 1,400-2,200 Hv นิยมผลิตเป็นเครื่องมือตัดงานไม้ (Wood working tools) ผลิตเครื่องมือในงานตัดปาดผิว (Tools for composite machining) ผลิตเครื่องมือประเภทแม่พิมพ์ (Drawing dies) ผลิตเครื่องมือตัดงานโลหะ (Metal cutting tools) เป็นต้น

ปริมาณส่วนผสมโคบอลต์ (Co) 6-14% ขนาดเกรนผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ 1.5-6 μm สามารถผลิตเป็นชิ้นงานที่มีความแข็งอยู่ในช่วง 1000-1600 Hv นิยมผลิตเป็น ชิ้นส่วนเครื่องจักร ผลิตเครื่องมือตัดเจาะหินและปูน ที่ปริมาณส่วนผสมของโคบอลต์ (Co) 16-26% ขนาดเกรนผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ 1.0-6.0 μm สามารถผลิตเป็นชิ้นงานที่มีความแข็งในช่วง 800-1300 Hv นิยมผลิตเป็นเครื่องมือที่ขึ้นรูปด้วยการกระบวนการขึ้นรูปเย็น



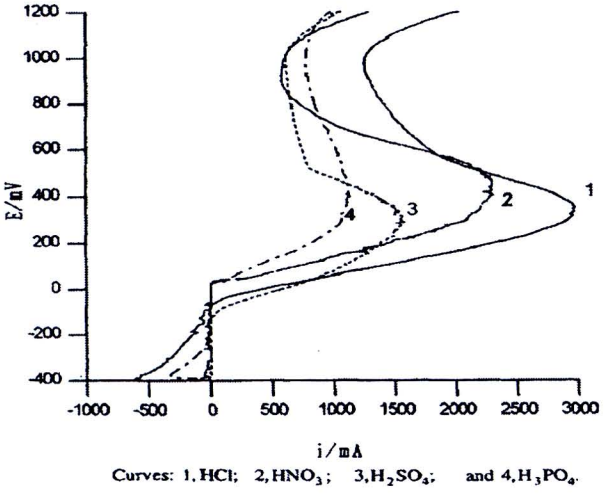
รูปที่ 1.5 การผลิตผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยการรวมเทคโนโลยีหลายด้านเป็นกระบวนการเดียว [9]

จากรูปที่ 1.5 เริ่มจากเตรียมวัตถุดิบโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WO_3) และ ผงคาร์บอน (C) เพื่อผสมกันด้วยวิธี Henschel Mixer ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำวัตถุดิบที่ผสมแล้วเข้ากระบวนการ Granulating pelletizer ที่ pellet size: 1.2 x 3 mm และทำให้แห้ง (dryer) ซึ่งมีระบบขนถ่ายวัตถุดิบด้วยคอนเวเยอร์ (conveyer) ต่อเนื่องกันไปเข้าสู่กระบวนการ Carburization ที่เรียกว่าเตาคาร์บูไรเซชันโรเตรี่ (rotary carburization furnace) ในบรรยากาศการของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และผลิตขั้นตอนสุดท้ายด้วยเตาระบบโรตารี่บรรยากาศไฮโดรเจน (H_2) ที่อุณหภูมิ 1,400-2,000 °C เพื่อให้ได้ผลผลิตเป็นผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ (Wc) และสามารถนำไปผลิตชิ้นงานประเภทต่างๆ ตามรูปที่ 1.4 เป็นต้น



รูปที่ 1.6 แสดงแบบจำลองการสลายชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ Patent No. 4,234,333 [10]

จากรูปที่ 1.6 เป็นอุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีไฟฟ้า เพื่อแยกสลายเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ประกอบด้วย หมายเลข 40 คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้า หมายเลข 10 และ 20 ถังบรรจุสาระลาย หมายเลข 12 ตะแกรงใส่ชิ้นงาน (ขั้วบวก) หมายเลข 30 สะพานเกลือ หมายเลข 50 เครื่องบันทึกแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า หมายเลข 21 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Saturated Calomel Reference Electrode) และ แผ่นสเตนเลส (ขั้วลบ) เป็นต้น



รูปที่ 1.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (i/mA) กับ แรงดันไฟฟ้า (E/mV) ของสารละลาย HCl, HNO_3, H_2SO_4 และ H_3PO_4 [11]

จากรูปที่ 1.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า มิลลิแอมแปร์ (mA) และแรงดันไฟฟ้า มิลลิโวลต์ (mV) ภายใต้การทดลองแยกสลายที่ใช้สารละลายประกอบด้วย สารละลายไฮโดรคลอริก สารละลายไนตริก สารละลายซัลฟิวริก สารละลายฟอสฟอรัส พบว่า

สารละลายไฮโดรคลอริกมีการนำกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 360 มิลลิโวลต์ มีการนำกระแสไฟฟ้าประมาณ 3,000 มิลลิแอมแปร์

สารละลายไนตริกมีการนำกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 420 มิลลิโวลต์ มีการนำกระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 2,250 มิลลิแอมแปร์

สารละลายซัลฟิวริกมีการนำกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 250 มิลลิโวลต์ มีการนำกระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 1,570 มิลลิแอมแปร์

สารละลายฟอสฟอริกมีการนำกระแสไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 400 มิลลิโวลต์ มีการนำกระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 1,100 มิลลิแอมแปร์

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการ (ตัน) ผลิตซีเมนต์คาร์ไบด์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ เฉพาะประเทศอเมริกา ปี 1993 [11]

วิธีการ (Method)	ขนาดโดยประมาณของการนำทังสเตนกลับมาใช้ใหม่ (Estimated W Recovery (T))
Chemical Processing (APT)	2,500
Zinc Process	
Crushing (Gall for hard facing rods)	500
Melting (Alloy Addition for satellites ETC.)	300
Leach Milling	<50
Menstrum Process	<50
Other Processes	<50
NOTE. Estimated USA Consumption For Cemented Carbide 5,000 – 5,400 T	

จากตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนของทังสเตนรีไซเคิลของแต่ละกระบวนการอ้างอิงถึง การผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์จากการรีไซเคิลเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์กลับมาใช้ใหม่ โดยวิธีการรีไซเคิลด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การรีไซเคิลจากเศษโลหะโดยเศษวิธีการทางเคมีไฟฟ้าและนำมาผลิตชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ มีปริมาณ 2,500 ตัน หากผลิตจากการรีไซเคิลด้วยวิธีการ Zinc process จำนวน 500 ตัน เมื่อผลิตจากการรีไซเคิลด้วยวิธีการหลอม (Melting) จำนวน 300 ตัน ส่วนที่เหลือเป็นวิธีการอื่นๆ เช่น Menstrum Process เป็นต้น

การนำเศษวัสดุกลับมาใช้ใหม่ด้วยการรีไซเคิลตามวิธีต่าง ๆ ข้างต้นนั้น แต่ละกระบวนการจะบริโภคพลังงานสูงและมีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ที่ผ่านมาทีมงานจัยจึงได้ทำวิจัยพื้นฐานโดยพัฒนาการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ได้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนางานวิจัยสู่การผลิตที่มีคุณภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการสร้างเทคโนโลยีการรีไซเคิลทังสเตนคาร์ไบด์ โดยพัฒนากระบวนการผลิตภายใต้แนวทางด้านต้นทุนการผลิตต่ำกว่ากระบวนการที่มีอยู่เดิมในอุตสาหกรรมต่างประเทศ โดยให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวิธีการอื่นและมีความเป็นไปได้อย่างมาก ซึ่งสามารถผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ ที่มีความบริสุทธิ์เทียบเท่ากับเทคโนโลยีการผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศผู้นำทางอุตสาหกรรม เนื่องจากว่าคณะนักวิจัยได้ทดลอง จำลองสถานะการณ์ การทดลองซ้ำ ๆ กระทั่งมีความมั่นใจได้ว่าสามารถพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการผลิตที่มีศักยภาพต่อไปได้

โดยมีข้อจำกัดแต่เพียงเศษโลหะที่จะนำมารีไซเคิลควรจะมีส่วนผสมทังสเตนคาร์ไบด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ซึ่งก็มีอยู่จำนวนมากเนื่องจากเป็นวัสดุสิ้นเปลืองในอุตสาหกรรมตัดปาดผิวกลายเป็นวัสดุเหลือใช้ ได้แก่ เศษเครื่องมือตัด (Cutting tools) เศษแผ่นมีดตัด (Insert tools) แบบแท่ง (Solid tools) เอ็นมิลล์ทังสเตนคาร์ไบด์ (End mills) สว่าน (Drills) เศษชิ้นส่วนแม่พิมพ์ (Punch & Die) สลัก (Pin) และเศษชิ้นส่วนงานโลหะทนการสึกหรอสูง (High Wear resistance part) เป็นต้น

ปัจจุบันผู้ผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์เริ่มรับซื้อเศษซีเมนต์คาร์ไบด์เพิ่มขึ้น ที่ราคาประมาณ 350-650 บาท/กิโลกรัม ซึ่งเป็นการซื้อและขายในราคาถูกเป็นการส่งออกเท่านั้น100% ไปยังประเทศกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องมือและชิ้นส่วนดังกล่าว อาทิ สวีเดน ไต้หวัน สหรัฐอเมริกา เยอรมัน อิสราเอล รัสเซีย ญี่ปุ่น และประเทศจีน เป็นต้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันไม่สามารถนำเศษโลหะเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ แต่เป็นผู้ส่งออกเศษโลหะดังกล่าว ขณะเดียวกันก็เป็นผู้นำเข้าทั้งชิ้นส่วน (Part) และผงทังสเตนคาร์ไบด์ในราคาสูงกว่า 5,500-35,000 บาท/กิโลกรัม (ที่มา: กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง ปี พ.ศ.2551) ราคาขายจะขึ้นกับชนิด ขนาด ความบริสุทธิ์ และสมบัติของวัสดุ เป็นต้น

1.1.2 เศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ในกลุ่มเครื่องมือตัด ชนิด แผ่นมีด (Insert tools) และแท่งเครื่องมือตัด (Solid tools) เป็นเศษโลหะที่มีส่วนผสมทังสเตนคาร์ไบด์สูงกว่าร้อยละ 80-96 โดยน้ำหนัก หลังจากผ่านการใช้งานบริเวณคมตัด (Cutting edge) เกิดการสึกหรอและสูญเสียคมตัดเพียงเล็กน้อยคิดเป็นประมาณร้อยละ 5-15 ของน้ำหนักเดิมและไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ ด้วยเหตุผลที่ว่าชิ้นงานที่ผลิตด้วยการปาดผิว (Removal) ต้องการความเที่ยงตรงสูง (High Precision) จึงกลายเป็นเศษโลหะที่ผู้ผลิตเครื่องมือและผลิตผงโลหะต้องการนำกลับไป Recycled ผ่านกระบวนการแยกโลหะประกอบเพื่อผลิตและนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ในรูปโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ผลิตชิ้นส่วนและใช้งานต่อไป

1.1.3 พบว่าเศษโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ผ่านการใช้งานกว่าร้อยละ 90 มีโลหะโคบอลต์เป็นโลหะประสาน (Cobalt binder) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled) ส่วนใหญ่ใช้กระบวนการ Chemical processing (APT) การหลอมด้วยความร้อนในโลหะสังกะสีที่เรียกว่า Zinc process และผ่านกระบวนการแยกโลหะให้บริสุทธิ์ มีความหนาแน่นในช่วง 14 -19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ผ่านการบด (Mechanical alloying) ให้ได้ขนาดเกรน (Grain size) 0.15-50.00 ไมครอน (μm) หากผลิตชิ้นงานให้ความแข็งสูงถึง 830-2500 HV มูลค่าการลงทุนจะสูงขึ้น ขึ้นกับขนาดเกรนและสมบัติของผงโลหะ เป็นต้น

1.1.4 ตามประกาศของคณะกรรมส่งเสริมการลงทุน (BOI) ที่ 7/2546 ลงวันที่ 16 ตุลาคม 2546 สนับสนุนและส่งเสริมการลงทุนด้านการผลิตชิ้นส่วนอัดขึ้นรูป (Sintered Product) จากผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ และส่งเสริมการผลิตอุปกรณ์หรือวัสดุสำหรับงาน กัด กลึง เจาะ เจียระไนและทำเกลียว ใช้กับเครื่องจักรกลที่มีความเที่ยงตรงสูง (High precision) รัฐบาลให้ความสำคัญด้านการพัฒนาวัสดุผง (Powder) การผลิตวัสดุผงและการผลิตชิ้นงานโลหะความแข็งสูง (Hard metal) ด้วยวัสดุผงให้เป็นชิ้นงาน ทดแทนการนำเข้าสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรกล รวมถึงเครื่องจักรกลการเกษตร ซึ่งใช้ชิ้นส่วนทนต่อการสึกหรอสูง (Wear resistance) ซึ่งเป็นโลหะทังสเตนเป็นส่วนใหญ่ (ที่มา : BOI)

1.1.5 การผลิตชิ้นงานทังเตนคาร์ไบด์ด้วยการขึ้นรูปจากวัสดุผงในประเทศไทยมีการผลิตมากขึ้นโดยนำเข้าผงโลหะทังสเตน (Tungsten powder) อาทิ ปี พ.ศ. 2545 จนถึง ปี พ.ศ.2549 อัตราการนำเข้าสูงขึ้นกว่า 4.28 เท่า และนำเข้าโคบอลต์ (Cobalt powder) เพิ่มขึ้นโดยนับจากปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ.2550 อัตราการนำเข้าสูงขึ้น 5.39 เท่า เพื่อผลิตซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ (Cement tungsten carbide) (ที่มา: กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง)

1.1.6 ประเทศไทยนำเข้าผงทังสเตน (WC Powder) และชิ้นส่วนซีเมนต์คาร์ไบด์100% ยอดนำเข้าทังสเตนสำเร็จรูป (Bars and Rode) มีมูลค่าประมาณ 1,940.81 ล้านบาทมีอัตราสูงขึ้นกว่า 65.86% ในปี พ.ศ.2550 และนำเข้าผงทังสเตน (Tungsten powder) มีมูลค่า 826.50 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2550 เพิ่มขึ้นกว่า 450% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2548 นำเข้าเครื่องมือตัดจำนวนกว่า 2.15 ล้านชิ้น/ปี (มูลค่านำเข้าชุดเครื่องมือตัดสูงถึง 6,598 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2550) เป็นทังสเตน 68% (ที่มา : กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง)

1.1.7 สำหรับการผลิตทังสเตน (Shelties, Wolfram) ของไทย พบว่าส่งออกแร่วูลแฟรมจำนวนมากถึง 520 ตันในปี พ.ศ. 2548 (ราคาจำหน่าย ประมาณ 173,846.15 บาท/ตัน) และ 443 ตันในปี พ.ศ. 2549 (ราคาจำหน่าย ประมาณ 227,313.76 บาท/ตัน) หรือประมาณ 173.8-227.3 บาท/กิโลกรัม (ที่มา: ศูนย์สารสนเทศ ส่วนประกอบโลหะกรรม สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม) ซึ่งเป็นการส่งออกวัตถุดิบในราคาถูก แต่ซื้อผงทังสเตนคาร์ไบด์ในราคาแพงขึ้นกว่า 20- 45 เท่า เป็นการขาดดุลทางการค้าสูงมาก

1.1.8 เครื่องมือตัด (Cutting tools) ทังสเตนคาร์ไบด์ ในปี 2551 มีมูลค่ารวมทั่วโลก 465,000 ล้านบาท แนวโน้มสูงขึ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และเครื่องมือตัดชนิดเหล็กกล้ารอบสูงมีมูลค่าทั่วโลกมากกว่า 124,000 ล้านบาท มีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่า ร้อยละ 10 (ที่มา: Sandvik Annual report 2008)

1.1.9 พบว่าประเทศสหรัฐอเมริกาสะสมทังสเตนมากกว่า 9,700 ตันในปี พ.ศ. 2543 และมีการนำเข้ามากขึ้นรวมทั้งแร่วุลแฟรมและเศษโลหะที่มีส่วนผสมทังสเตนคาร์ไบด์โดยกำหนดให้หน่วยงานด้านการป้องกันประเทศเพื่อพัฒนาการใช้วัสดุทังสเตนทั้งด้านการทหารและเศรษฐกิจ (Defense National Stockpile Center : DNSC) ร่วมกับกระทรวงพาณิชย์เพื่อออกกฎหมายและทำข้อตกลงทางการค้า โดยมีวัตุประสงค์เพื่อนำเข้าทังสเตนร่วมกับประเทศคู่ค้าสำคัญ อาทิ จีนและรัสเซีย ซึ่งเป็นผู้ผลิตแร่ทังสเตนรายใหญ่ของโลก สำหรับประเทศจีนมีสัดส่วนการถลุงแร่และผลิตโลหะทังสเตนเพื่อการส่งออกมากกว่าร้อยละ 83 ของผู้จำหน่ายทั่วโลก (ที่มา : American National Carbide พ.ศ. 2545 :ANC)

1.1.10 จากการวิจัยแยกสลายเศษโลหะซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า (Electrolysis) โดย สหรัตน์ วงษ์ศรีษะและคณะ ด้วยการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีเป็นการประยุกต์อุปกรณ์การทดลองแยกสลายโลหะ ผลปรากฏว่าสลายเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์และสกัดผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีขนาดเกรน 15.00-250 μm ซึ่งใช้รูปแบบการทดลองซ้ำ ๆ ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการทางเคมี ผงโลหะเป็นทังสเตนคาร์ไบด์มีความบริสุทธิ์ประมาณ ร้อยละ 90 และผู้วิจัยได้พัฒนาต่อเนื่องเป็นกระบวนการผลิตแบบ “Manual of Small-scale plant” การทำงานแบบแยกส่วนหลายขั้นตอนต้องใช้เวลานาน อาทิ การแยกกากจากสารละลาย การทำให้แห้ง การอบ การทำความสะอาด การบด การคัดกรอง การกำหนดขนาด เป็นต้น โดยได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยงานภายนอกหลาย ๆ แห่ง ในการทดลองต้องใช้เวลานาน เกิดการรอคอยนานบางครั้งนานกว่าหนึ่งเดือน ทำให้ระบบการทำงานไม่ต่อเนื่อง การควบคุมตัวแปรทำได้ยาก ส่งผลให้โลหะผงที่ได้จากการผลิตมีสมบัติด้านต่าง ๆ แปรผัน อาทิ ความบริสุทธิ์ลดลง การเกิดปฏิกิริยากับชั้นบรรยากาศ (Oxidation) ระหว่างกระบวนการ การทำงานในทุกขั้นตอนเป็นการพัฒนาวิธีการใหม่ โดยประยุกต์วัสดุ อุปกรณ์ที่มีในประเทศ ขั้นตอนการผลิตแต่ละส่วนจึงมีความผันแปรสูง เป็นต้น ด้วยข้อมูลและองค์ความรู้ต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงเห็นโอกาสในการพัฒนาและมีความเป็นไปได้ในการสร้างกระบวนการผลิตให้เป็นระบบมากขึ้น ในด้านวิธีการและอุปกรณ์การผลิตที่สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้ดี อาทิ แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้า ความชื้น การคัดกรอง การทำความสะอาด ควบคุมเวลาในแต่ละขั้นตอนและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีคุณภาพ

ดังนั้น การพัฒนากระบวนการผลิตโลหะผงจากเศษซีเมนต์ทังสเตนคาร์ไบด์ (Cement tungsten carbide scrap) ให้เป็นผงทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide powder) จึงเป็นการพัฒนาการทดลองขึ้นใหม่ เป็นองค์ความรู้ใหม่ ที่มีโอกาสในการส่งเสริมการผลิตภายในประเทศ

เมื่อพัฒนาได้แล้วจะเป็นการใช้วัตถุดิบที่มีในประเทศ ลดการนำเข้าและรวมถึงการสร้างมูลค่าเพิ่มได้หลายล้านบาทต่อปี

การวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะผงให้มีความสามารถในการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์ พัฒนาเป็นระบบการผลิตต้นแบบเพื่อผลิตโลหะผงมีสมบัติที่ดีและมีคุณภาพสูง สามารถนำไปใช้งานและผลิตในอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเทคโนโลยีการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์จากเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อพัฒนาคุณภาพผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ให้มีความบริสุทธิ์ (Purities of WC powder) โดยมีขนาดการกระจายของโลหะผง (Particle size distribution) ไม่เกิน 50 μm

1.2.3 พัฒนาโลหะผงให้เป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานเพื่อการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ ให้เป็นกระบวนการ Recycling ประกอบด้วยการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ ให้เป็นระบบการผลิตเพื่อผลิตโลหะผงตามมาตรฐาน ประกอบด้วย เครื่องสลายเศษโลหะ, เตาอบไฟฟ้าระบบควบคุมการเกิดออกไซด์, เครื่องบดโลหะผง, การร่อนคัดขนาด, แม่พิมพ์สำหรับอัดแผ่นมีดและเครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮดรอลิกส์

1.3.2 ออกแบบกระบวนการและสร้างอุปกรณ์การทำงานทางเคมีไฟฟ้า ประกอบด้วย

1.3.2.1 ระบบการไหลเวียนของสารละลาย การกรองสารละลาย การหมุนเวียนสารละลาย

1.3.2.2 การใช้สารละลายกรดชนิดความเข้มข้นต่ำ อาทิ ความเข้มข้น (Concentration) ไม่เกิน 7N HCI และสารละลายชนิดอื่นที่มีความสามารถในการแยกสลายโลหะ

1.3.2.3 การใช้งานในช่วงอุณหภูมิห้อง แต่ไม่มากกว่า 80 °c โดยใช้ระบบกำจัดไอกรดมีประสิทธิภาพและกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.3.2.4 ระบบการคัดแยกเศษโลหะและการแยกผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์

1.3.2.5 แยกสลายเศษชิ้นงานซีเมนต์คาร์ไบด์ ขนาดไม่เกิน 15 x 15 x 15 มิลลิเมตร

1.3.2.6 ขนาดบรรจุชิ้นงานเศษโลหะ น้ำหนักไม่เกิน 20 กิโลกรัม

1.3.2.7 ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและการบันทึกผลแบบอัตโนมัติค่า

ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.10 โวลต์

1.3.2.8 อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) สามารถเลือกใช้อุณหภูมิได้ตามต้องการ และควบคุมอุณหภูมิ ให้ได้ไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส

1.3.2.9 ถังบรรจุสารละลาย (Tank) มีความแข็งแรง รองรับถังบรรจุชิ้นงาน (Barrel) และชิ้นงาน (Specimens) ได้ไม่ต่ำกว่า 10 กิโลกรัม มีระบบที่สามารถส่งกำลังขับเคลื่อนให้ถังบรรจุชิ้นงานหมุนรอบแกนได้อย่างต่อเนื่อง และเลือกใช้ความเร็วรอบตามต้องการ ในช่วง 0 -25 รอบ/นาที

1.3.2.10 การทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าในสารละลายเลือกใช้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ได้ตามความเหมาะสม

1.3.3 ระบบการทำงานทางด้านอุณหชลศาสตร์เชิงเคมี (Hydrothermal Treatment) องค์ประกอบสำคัญ ประกอบด้วย

1.3.3.1 การทำความสะอาดชิ้นงาน (Cleaning) โลหะผงและป้องกันการเกิดปฏิกิริยา

1.3.3.2 การอบแห้ง (Drying)

1.3.3.3 การบดโลหะผง (Grinding)

1.3.3.4 การคัดแยกขนาดโลหะผง เพื่อการกำหนดขนาดก่อนการบดให้ได้ขนาดที่เหมาะสม (Particle sized)

1.3.4 กำหนดมาตรฐานการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) บริสุทธิ์ การตรวจสอบวัสดุด้วย SEM, XRD, Particle size distribution

1.3.5 การบดแบบ Pulverized ด้วย Tungsten carbide Ball mills โดยใช้เครื่องบดโลหะผง (Mechanical alloying)

1.3.6 การอบแห้ง

1.3.7 กำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 การเตรียมงานและการวิจัย

1) ออกแบบเครื่องจักรกลภายใต้หลักการทางเคมีไฟฟ้าและไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์ การแยกสลายซีเมนต์คาร์ไบด์ การออกแบบส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ระบบเคมีไฟฟ้า ระบบส่งกำลัง ระบบการจ่ายแรงดันไฟฟ้า การแยกเศษโลหะผง การอบโลหะผง การคัดกรอง

ระบบการแยกวัสดุ การสกัดให้เกิดความบริสุทธิ์ การบดย่อยเพื่อลดขนาดและการกำหนดคุณลักษณะของผงทังสเตนคาร์ไบด์

2) การออกแบบรอบการหมุนของภาชะนะบรรจุชิ้นงานเพื่อหาความสามารถการแยกสลาย การกำหนดขนาด การรับภาระ (Load) อัตราการแยกสลายของโลหะประสานการวิเคราะห์ระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า การควบคุมปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม ระบบการบันทึกข้อมูล (Recorder) ได้แก่ แรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ รอบการหมุน และเวลาในการทำงาน เป็นต้น

3) การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมต่อระบบการทำงาน

4) การประกอบและสร้างเครื่องจักรกล สร้างระบบการผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำงาน

5) ศึกษาคุณลักษณะของเศษโลหะก่อนการผลิต การคัดแยกวัสดุและจัดกลุ่ม ให้เหมาะสมและง่ายต่อการ Recycling ได้แก่ รูปร่าง ขนาดและชนิดสารเคลือบ เป็นต้น

6) เตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การลอกผิวโลหะเคลือบผิวแข็ง (Coated) รวมถึงการบดย่อยเพื่อลดขนาดของชิ้นงานก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต ในแต่ละขั้นตอนจนกระทั่งการทำเป็นมาตรฐาน

7) ออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์การผลิต ทดลองผลิต รวบรวมผลการทดลอง

8) พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะผง (Metal Powder) ให้เป็นเทคโนโลยีใหม่ มีระบบการทำงานและเป็นมาตรฐานเพื่อการผลิต

9) ศึกษาการออกแบบและทดสอบด้านสมบัติของผงโลหะ

10) การประเมินคุณภาพวัสดุผงที่ผ่านกระบวนการผลิต

11) ปรับปรุงระบบการผลิต และทำเป็นต้นแบบ

12) กำหนดมาตรฐานโลหะผงเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์

13) พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยเทคโนโลยีการผลิต และ ผลิตภัณฑ์ผงทังสเตนคาร์ไบด์

14) การรายงานผลและเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.5 สถานที่ทดลองและเก็บข้อมูล

1.5.1 สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน และสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร การ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ออกแบบและผลิต (CAD) เพื่อผลิตเครื่องต้นแบบแยกสลายเศษทังสเตนคาร์ไบด์ได้แก่ การเชื่อม กลึง กัด เจาะ เจียระไน การทดลองและวิเคราะห์ผล

1.5.2 สถาบันวิจัยและพัฒนา โดยสำนักบริการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร การเตรียมและผลิตอุปกรณ์การทดลอง เตรียมชิ้นงาน ตรวจสอบและทดสอบพื้นฐานโลหะ

1.5.3 บริษัท ไทยพัฒนะแมชโทรนิคส์ จำกัด ประกอบอุปกรณ์อิเล็กโตรไลต์ การใช้วัสดุทนการกัดกร่อน การติดตั้งอุปกรณ์สกัดและแยกสารละลายทางเคมีแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.5.4 บริษัท แอพพลายด์ เพาเวอร์ จำกัด ประกอบเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกส์ การประกอบแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานแผ่นมีด

1.5.5 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติเพื่อการทดสอบวัสดุผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ที่พัฒนาขึ้นใหม่

1.5.6 สถาบันวิจัยโลหะวิทยาและวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬา 12 ถนนพญาไท กรุงเทพฯ 10330 ตรวจสอบสมบัติทางเคมีของผงโลหะ

1.6 ระยะเวลาการทำวิจัย

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาโครงการ ประมาณ 1 ปี (ตุลาคม 2553 – กันยายน 2554)

ขั้นตอนการวิจัย	ระยะเวลา 1 ปี											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ออกแบบ(Design)	-----	—										
2. จัดเตรียมวัสดุและสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์		-----	—									
3.พัฒนากระบวนการเคมีไฟฟ้า			-----	—								
4.พัฒนากระบวนการไฮโดรเทอร์มอลทรีตเมนต์				-----	—	—						
5. ติดตั้งและทดลอง							-----	—				
6.ผลิตโลหะผงWC และปรับปรุง									-----	—		
7. กำหนดมาตรฐานโลหะผง										-----	—	
8. สรุปผลและรายงาน											-----	—

----- แผนงาน

— ปฏิบัติ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 25 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247542

1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

1.7.1 เครื่องตัดโลหะไททาเนียมคาร์ไบด์

1.7.2 เครื่องตัดแก๊ส

1.7.3 เครื่องเชื่อมโลหะ

1.7.4 เครื่องเชื่อมพลาสติก

1.7.5 เครื่องบด SPEX-8000 Mill ขนาด 360 mm. x 480 mm. x 457 mm.

1.7.6 เครื่องกลึง (Lathe machine) เครื่องกัด (Milling Machine) เครื่องเจาะ (Drilling) และเครื่องเจียระไน (Grinding Machine)

1.7.7 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling Machine) เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine)

1.7.8 เครื่องเข้าสายไฮดรอลิกส์

1.7.9 เตาชุบแข็งสูญญากาศควบคุมการชุบแข็งและการอบคืนตัวแบบอัตโนมัติ

1.7.10 วัสดุชิ้นงานสำหรับผลิตเครื่องมือตัด ได้แก่ ทังสเตนคาร์ไบด์ หรือ ซีเมนต์คาร์ไบด์

1.7.11 เครื่องชั่งน้ำหนัก 1/10,000 กรัม

1.7.12 XRD Measuring microscope, X-ray florescence spectrometry (XRF)

1.7.13 เครื่องบด (Mechanical alloying) อุปกรณ์การคัดกรองขนาดโลหะผง

1.7.14 เครื่องตรวจสอบการขนาดการกระจาย

1.7.15 เครื่องเจียระไน (Griding)

1.8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์

1.8.2 พัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการสลายเศษซีเมนต์คาร์ไบด์ที่ขนาดความจุประมาณ 10 kg

1.8.3 ผลิตและพัฒนาสมบัติผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ขนาดโลหะผงไม่เกิน 50 μm.

1.8.4 พัฒนากระบวนการเตรียมโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยการบด (Ball Milling) ที่ขนาดความจุไม่เกิน 120 กรัม ที่ความเร็วรอบสูงสุด 600 รอบ/นาที

1.8.5 เตาอบไฟฟ้าระบบสูญญากาศ (Vacuum) ควบคุมการกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) ขนาดภายใน 300 x 300 x 300 mm. อุณหภูมิอบสูงสุด 250 °C

1.8.6 พัฒนาแม่พิมพ์ สำหรับขึ้นรูปแผ่นมีดตัด ขนาด 15.76 x 15.76 x 6 mm. จากโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์

1.8.7 พัฒนาเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ขนาด 1,800 x 1,200 x 600 mm. กำลังอัดสูงสุด 300 ตัน

1.8.8 พัฒนาผงโลหะทังสเตนคาร์ไบด์ให้บริสุทธิ์และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 10 μm.

1.8.9 กระบวนการผลิตโลหะผงทังสเตนคาร์ไบด์ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นใหม่สามารถผลิตทังสเตนคาร์ไบด์บริสุทธิ์ เพื่อเป็นพื้นฐานการผลิตในประเทศและนำไปสู่การลดสัดส่วนการนำเข้า

1.8.10 เป็นการรีไซเคิลเศษวัสดุเหลือใช้ (เศษซีเมนต์คาร์ไบด์) ให้มีมูลค่าเพิ่ม และเป็นผลงานวิจัยใหม่