บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการวิจัย

5.1.1 สมรรถนะของครกฯชนิดชั้นเดียว

ครกฯชนิดชั้นเดียว มีสมรรถนะต่ำ ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่มี Ultimate Strength สูงมาก ๆ ก็ตาม ก็จะไม่สามารถให้อายุการใช้งานที่ยาวนานได้ และไม่คุ้มค่า โดยใช้ครกฯทำด้วยเหล็ก AISI D3 และ AISI D2 ในการทดลองจำนวน 45 อัน (เฉพาะซึ่งได้บันทึกค่าไว้ในการวิจัยนี้จากตารางที่ 2 และ 3 ซึ่งบันทึกเฉพาะครกฯที่ให้อายุการใช้งานรวมเกิน 100 ปลอกเท่านั้น) และครกฯที่มีอายุการใช้งานต่ำกว่า 100 ปลอก อีกจำนวนประมาณ 55 อัน รวมจำนวนครกฯทั้งสิ้นประมาณ 100 อัน ได้อายุการใช้งานโดยเฉลี่ย เพียงอันละประมาณ 300 ปลอก เท่านั้น

5.1.2 สมรรถนะของครกฯชนิดสองชั้น

ครกฯชนิดสองชั้น มีสมรรถนะสูง มีความเหมาะสมและคุ้มค่าสำหรับการใช้งาน จากการทดลองใช้งานครกฯชนิดนี้ ซึ่งชั้นในทำด้วยเหล็ก AISI D3 และชั้นนอกเป็นเหล็ก AISI S1 จำนวนรวม 20 อัน ได้อายุการใช้งานโดยเฉลี่ย (ทางเลขคณิต) อันละ 6,038 ปลอก

จะเห็นได้ว่า ครกฯชนิดสองชั้นมีสมรรถนะดีกว่าครกฯชนิดชั้นเดียว ประมาณ 20 เท่า

อนึ่ง หากคิดเฉพาะครกฯที่ชำรุดเพราะเหตุลึกหรอเท่านั้น ซึ่งมีจำนวนรวมเพียง 8 อัน จะได้อายุการใช้งานโดยเฉลี่ย (ทางเลขคณิต) อันละ 9,090 ปลอก

ในอนาคตต่อไป เราสามารถที่จะสร้างครกฯชนิดสองชั้นซึ่งมีภาวะเหมาะสมได้ กล่าวคือครกฯจะชำรุดโดยไม่มีการแตกร้าวเลย ทั้งที่ครกชั้นในและครกชั้นนอก แต่จะชำรุดเพราะเหตุลึกหรอเท่านั้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสถิติอายุการใช้งานของครกฯ เฉพาะที่ชำรุดเพราะเหตุลึก-หรอเท่านั้น ดังกล่าวข้างต้น จึงคาดว่าครกฯที่ได้รับการปรับปรุงใหม่อย่างเหมาะสมแล้วนี้ จะมีอายุการใช้งานเกิน 9,000 ปลอก

5.1.3 ประโยชน์จากความสัมพันธ์ระหว่าง δ_1 กับ I_1

จากตารางที่ 9 และรูปที่ 23 ได้อัตราส่วน $\frac{\delta_1}{I_1} \cong 0.545$ ข้อมูลนี้จะให้ประโยชน์มาก เพราะจะทำให้เราสามารถพิจารณาได้ว่า ครกฯซึ่งขัดผิวมันแววรับดีแล้วและมีค่า D_i หนึ่ง สมควรจะนำไปส่วมกับตัวรองรับฯใดจึงจะเหมาะสม

กล่าวคือเราสามารถทราบค่า I_1 ได้ (I_1 = ผลต่างระหว่าง D_o ของครกฯ กับ D_i ของตัวรองรับฯ ซึ่งต่างก็ทราบค่าได้จากการวัด) ทำให้สามารถหาค่าโดยประมาณของ δ_1 ได้ ($\delta_1 \cong 0.545\ I_1$) ดังนั้นเมื่อนำครกฯไปส่วมกับตัวรองรับฯแล้ว D_i ของครกฯจะหดตัวเล็กลงไปในปริมาณ δ_1 นั่นคือ D_i ใหม่ ของครกฯ ภายหลังจากการส่วมกับตัวรองรับฯแล้วคือ D_i ใหม่ = D_i เดิม − δ_1 เป้าหมายในการเลือกชุดส่วมก็คือ ต้องทำให้ได้ D_i ใหม่อยู่ในพิกัด = $\phi\ 29.000^{+\ 0.025}_{-\ 0.010}$ มม. ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว เราประสงค์ที่จะได้ค่าความเผื่อในทางเล็กไว้ก่อน

5.1.4 ค่า I_2 ที่เหมาะสม

จากรูปที่ 28 จะพบว่าค่า I_2 ช่วงที่เหมาะสมและดีที่สุด คือ $0.230^{+\ 0.035}_{-\ 0.015}$ มม. ดังนั้นในการสร้างครกฯชนิดส่องชั้นเช่นนี้ เราจะต้องพยายามเลือกครกชั้นในและครกชั้นนอก คู่ที่จะให้ค่า I_2 อยู่ในความเผื่อดังกล่าวให้ได้

อนึ่งจากรูปที่ 5 ซึ่งเป็นแผนแบบ (Drawing) สำหรับงานสร้างครกฯ เราจะได้รับขนาดของครกจากเครื่องจักร (เครื่องกลึง และ/หรือ เครื่องจักรเจียระนัย) คือ D_o ของครกชั้นใน = $\phi\ 35.10 \pm 0.05$ มม. และ D_i ของครกชั้นนอก = $\phi\ 34.85 \pm 0.05$ มม. นั่นคือเครื่องจักรให้ค่า I_2 = $(35.10 \pm 0.05) - (34.85 \pm 0.05) = 0.25 \pm 0.10$ มม. ดังนั้นเราจึงต้องเลือกจับคู่ของครกชั้นในและครกชั้นนอก คู่ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่า I_2 ตามความเผื่อที่ต้องการ คือ $I_2 = 0.230^{+\ 0.035}_{-\ 0.015}$ มม.

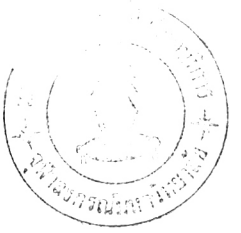
5.1.5 ค่า δ_1 และ I_1 เริ่มต้นที่เหมาะสม

จากรูปที่ 28 จะพบว่าค่า δ_1 ที่เริ่มต้นและปลอดภัย ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด คือ 0.0585 มม. ถ้าพิจารณาขนาดของ D_i ของครกฯพร้อมตัวรองรับฯ เมื่อจะใช้งานอัดปลอกกระสุน คือ $\phi\ 29.000^{+\ 0.025}_{-\ 0.010}$ มม. (นั่นคือ $D_{i_{MIN.}}$ = 28.990 มม. ซึ่งเป็นค่าที่พึงประสงค์) แล้ว ค่า D_i ของครกฯ (ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุด) ขณะก่อนส่วมลงไปในตัวรองรับฯ

คือ Ø 28.990 + 0.0585 = Ø 29.0485 มม. แต่เพื่อให้สะดวกต่อการวัดในทางปฏิบัติ และเพื่อให้มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น จึงควรให้ D_i ของครกฯ (ซึ่งขัดผิวมันแวววับดีแล้ว และมีขนาดเล็กที่สุด) ขณะก่อนการส่วมลงไปในตัวรองรับฯ คือ Ø 29.05 มม. และให้มีค่าความเผื่อ = + 0.01 มม.

อนึ่งจากรูปที่ 28 นี้ กราฟเส้นแนวนอนที่ตัดช่วง $I_2 = 0.230 \begin{smallmatrix} + 0.035 \\ - 0.015 \end{smallmatrix}$ มม. คือเส้น $\delta_1 = 0.07$ มม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหาก I_2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.215 และ 0.265 มม. แล้ว เรายังสามารถเริ่มต้นใช้ค่า δ_1 ที่น้อยกว่า 0.07 มม. ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่า δ_1 ที่ใช้นี้ ควรจะต้องให้มีค่าอยู่เหนือเส้นวิกฤตด้วย

สรุป เพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติ ควรใช้ค่าเริ่มต้นคือ $\delta_1 = 0.06 \begin{smallmatrix} + 0.01 \\ - 0.00 \end{smallmatrix}$ มม. หรือ $I_1 \cong 0.545\ \delta_1 = 0.11 \begin{smallmatrix} + 0.02 \\ - 0.00 \end{smallmatrix}$ มม.



5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเพิ่มความหนาของครกชั้นใน

ครกฯชนิดสองชั้นที่กล่าวมาแล้ว ควรปรับเพิ่มความหนาของครกชั้นในให้หนาเพิ่มขึ้น เพื่อสามารถทนทานต่อการสวมอัดลงไปในครกชั้นนอกได้ โดยไม่แตกร้าวเสียก่อนขณะสวม ค่าที่เห็นควรเสนอแนะในการวิจัยต่อไปคือ $D_2 \cong$ 38 มม. (D_2 เดิม $\cong$ 35 มม.) นั่นคือให้ครกชั้นในหนาเพิ่มขึ้นอีก 1.5 มม. (เดิมครกชั้นในหนา 3 มม. เพิ่มให้หนาอีก 1.5 มม. คือเพิ่มความหนาอีก 50%) ดังนั้นการออกแบบครกฯในงานทดลองใหม่ จึงควรเป็นดังนี้ D_o ของครกชั้นใน = Ø 38.10 $\pm$ 0.05 มม. และ D_i ของครกชั้นนอก = Ø 37.90 $\pm$ 0.05 มม. (คือ D_2) นั่นคือ I_2 จากการสร้างใหม่เท่ากับ 0.20 $\pm$ 0.10 มม. I_2 ใหม่ มีค่าน้อยกว่า I_2 เดิม ซึ่งจะมีผลทำให้การสวมครกชั้นในลงไปในครกชั้นนอกเป็นภาระไม่หนักนัก ทั้งนี้เนื่องจากความจริงที่ว่าทรงกระบอกยิ่งหนาจะยิ่งหดตัวได้ยาก (คือครกชั้นในหนามากขึ้น) ต่อไปจะได้วิเคราะห์ความเหมาะสมในเบื้องต้นดังต่อไปนี้

พิจารณาจากรูปที่ 14 ซึ่งแสดงการกระจายของ $\frac{\sigma_t}{p_i}$ ที่ระยะต่าง ๆ โดยตลอดครกฯพร้อมตัวรองรับฯ จะเห็นได้ว่าที่ระยะยิ่งห่างจากผิวภายในของครกฯพร้อมตัวรองรับฯ ค่าอัตราส่วนดังกล่าวจะยิ่งมีค่าน้อยลง อนึ่งเนื่องจาก p_i มีค่าคงที่ อันเนื่องมาจากการอัดปลอกกระสุน ดังนั้นค่า σ_t หรือภาระจากการอัดปลอกกระสุน ที่กระทำต่อครกฯพร้อมตัวรองรับฯ จึงมีค่าลดลงเมื่อระยะยิ่งห่างจากผิวภายในของครกฯ ฉะนั้นถ้าพิจารณา D_2 อันใหม่ ให้มีค่า 35 < D_2อันใหม่ < 55 มม. แล้ว จะเห็นว่าภาระฯที่กระทำต่อครกชั้นนอกย่อมมีค่าน้อยลงกว่าเดิมด้วย

พิจารณาจากรูปที่ 25 ได้ค่า $\sigma_{R_{29}}$ วิกฤต $\geq$ - 225 ksi. (-158.2 kg/mm^2.) และ $\sigma_{R_{35}}$ วิกฤต $\geq$ + 15 ksi. (+ 10.6 kg/mm^2.) จะเห็นได้ว่าค่า $\sigma_{R_{29}}$ วิกฤต นี้ยังสามารถใช้ได้อยู่ตามปกติ เนื่องจาก D_i ($\cong$ 29 มม.) ยังคงเดิม สำหรับค่า $\sigma_{R_{35}}$ วิกฤต ซึ่งมีผลโดยตรงต่อครกชั้นนอกที่ D_2 แสดงว่าหาก D_2อันใหม่ ใหญ่ขึ้น (35 < D_2อันใหม่ < 55 มม.) เช่น Ø 38 มม. ดังนั้น $\sigma_{R_{38}}$ วิกฤต จึงควรจะมีค่ามากกว่า $\sigma_{R_{35}}$ วิกฤต เพราะเนื่องจากว่า ภาระจากการอัดปลอกกระสุน ที่กระทำต่อ Ø 38 มม. มีค่าน้อยกว่าที่ Ø 35 มม. หรือก็คือ ที่ Ø 38 มม. ครกชั้นนอกจะมีความสามารถในการรับภาระได้ดีขึ้นนั่นเอง อย่างไรก็ตาม สรุปว่าเราสามารถกำหนดค่า $\sigma_{R_{38}}$ วิกฤต $\cong$ $\sigma_{R_{35}}$ วิกฤต ได้ ซึ่งควรจะเป็นค่าที่ยิ่ง

ปลอดภัยมากยิ่น

สำหรับค่า δ_1 เริ่มต้น และค่า I_2 ที่เหมาะสม จะสามารถหาได้โดยวิธี Trial & Error ดังเช่นที่ได้ทำการวิจัยมาแล้ว

5.2.2 การทำให้ผิวภายในของครกฯมีความแข็งสูงสุด

ในการอบอุบแข็งเหล็กทำเครื่องมือ AISI D3 ควรปรับปรุงวิธีการอบอุบแข็งเหล็ก ให้สามารถได้ความแข็งสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้ผิวใช้งานของครกฯ มีความแข็งเพียงพอต่อการถูกขูดเป็นรอยขีดข่วนได้ดี ในการนี้เห็นควรให้ป้องกันการเกิด Decarburization ด้วยวิธีบรรจุเหล็กในกล่องน้ำเกลือ แล้วจึงนำไปทำการอบอุบแข็งต่อไป (Heating in neutral salt bath) ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ มีหลายโรงงานภายในกรุงเทพฯ สามารถกระทำได้ อนึ่งผู้วิจัยได้เคยทดลองปรับปรุงวิธีการอบอุบเหล็กมาแล้วหลายวิธี เช่น Nitriding และ Hard – Chromium Plating เป็นต้น ปรากฏว่าไม่ประสบผลสำเร็จ และไม่เหมาะสมกับสภาพงานอัดขึ้นรูปปลอกกระสุนด้วย

5.2.3 การประยุกต์งานวิจัย

ในปัจจุบันนี้ ครกสำหรับงานอัดรีดปลอกกระสุน (Drawing Die) ครกสำหรับงานอัดขึ้นรูปปลอกกระสุน (Tapering & Pluging Die) และครกสำหรับงานรัดแหวนรีดลูกกระสุน (Rotating Band Die) ทางราชการได้จัดซื้อมาจากต่างประเทศ ในราคาแพงมาก และจัดหาได้ด้วยความยากลำบาก ซึ่งครกเหล่านี้ก็เป็นครกชนิดสองชั้น ครกชั้นในใช้วัสดุประเภท Cemented Carbide ซึ่งมีค่าความแข็งสูงมาก ($\geq$ 85 HRA.) และมีค่า Ultimate Compressive Strength สูงมาก ($\geq$ 625 ksi. หรือ 440 kg/mm^2) ส่วนครกชั้นนอกใช้วัสดุประเภท Tool steel ธรรมดา เช่น AISI S1 , L3 , C6 เป็นต้น

ครกดังกล่าวนี้มีความไม่เหมาะสมหลายประการคือ ประการแรก เมื่อเกิดรอยขูดขีดที่ผิวใช้งานภายใน การขัดผิวมันลบรอยแทบจะกระทำไม่ได้ สิ้นเปลืองเวลาในการขัดผิวนานมาก (เฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง) และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ทั้งนี้เพราะผิวของ Cemented Carbide แข็งมาก ซึ่งแต่ละครั้งต้องใช้ครีมยาขัดมันโดยเฉลี่ย $\frac{1}{3}$ หลอด (ราคาหลอดละประมาณ 3,000.- บาท) ประการที่สอง ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีโรงงานในประเทศไทย ที่สามารถสร้างครกประเภท Cemented Carbide ได้ และการจัดซื้อต้องใช้เวลาเป็นปี ทำ

ให้ไม่ทันต่อการใช้งาน ดังนั้นในการจัดซื้อจึงต้องวางแผนและเตรียมการล่วงหน้าเป็นปี ประการที่สาม ครกที่สั่งซื้อจากต่างประเทศนี้มีราคาประมาณเกิน 15,000.- บาทต่ออัน ซึ่งแพงกว่าครกที่ใช้ในการวิจัยนี้ถึงกว่า 4 เท่าด้วย อีกทั้งอายุการใช้งานก็ใกล้เคียงกับครกที่จะสร้างขึ้นเอง

ดังนั้นจึงควรใช้หลักการทำนองเดียวกันกับการวิจัยนี้ มาเพื่อประยุกต์ใช้กับงานใหม่ต่อไป