บรรณานุกรม

1. Ordnance Corps., Department of the Army, Lake City Ordnance Plant, Tooling and Recommended Manufacturing Process for Cartridge Case, 20 mm., M-103, Brass. Lake City, 1963.

2. Seely, F.B. and J.O. Smith in Advanced Mechanics of Materials, 2nd ed., pp. 295-341, Willey & Sons, New York, 1952.

3. Timoshenko, S. in Strength of Materials part 2, Advanced, 3rd ed., pp. 205-213, 386-392 and 393-516, Van Nostrand Reinhold, London, 1976.

4. Horger and Nelson in Design of Press - and - Shrink - Fitted Assemblies, Design Data and Methods., pub. by ASME.

5. F.W. Wilson, P.D. Harvey and C.B. Gump in Die Design Handbook, 2nd ed., McGraw - Hill, New York, 1965.

6. Avitzur, B. in Metal Forming : Processes and Analysis, 2nd ed., McGraw - Hill, New York, 1968.

ภาคผนวก

	หน้า
ก. ตัวอย่างการคำนวณ	84-95
1. Residual Stress ในครกฯฝนิดชั้นเดียว	84-85
1.1 ครกฯทำด้วยเหล็ก AISI D3	84
1.2 ครกฯทำด้วยเหล็ก AISI D2	85
2. Residual Stress ในครกฯฝนิดสองชั้น	86-88
2.1 ผลอันเนื่องมาจากการสวมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก	86
2.2 ผลอันเนื่องมาจากการสวมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ	87
2.3 ผลลัพธ์ของ Residual Stress	88
3. Residual Stress กระจายโดยตลอดครกฯพร้อมตัวรองรับฯ	89-95
3.1 ผลอันเนื่องมาจากการสวมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก	89
3.2 ผลอันเนื่องมาจากการสวมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ	91
3.3 ผลอันเนื่องมาจากการสวมกันระหว่างตัวรองรับชั้นในกับตัวรองรับชั้นนอก	93
3.4 ผลลัพธ์ของ Residual Stress	94
ข. ภาพถ่ายการวิจัย	96-109

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณ

1. Residual Stressในครกฯชนิดชั้นเดียว

1.1 ครกฯทำด้วยเหล็ก AISI D3 (ASSAB XW-5) จากตารางที่ 2 ตัวอย่างครกฯ หมายเลย 1

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_1} อันเนื่องมาจากการส่วมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ โดยพิจารณาว่า เป็นความดันภายนอกที่มากระทำต่อครกฯ จนทำให้ครกฯหดตัวเล็กลง ซึ่งเราสามารถวัดค่าระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯได้ (δ_1) ดังนั้น

$$\text{จากสมการ (15.4)}, \quad p_o = \frac{\delta_{D_i} E}{2 D_i} \left(\frac{D_o^2 - D_i^2}{D_o^2}\right)$$

ข้อมูลสำหรับครกฯ : $p_o = p_{s_1}$, $D_i \tilde{=} 29$ mm., $D_o \tilde{=} 55$ mm., $E \tilde{=} 28{,}053$ ksi.,

$$\delta_{D_i} = \delta_1 = 0.115 \text{ mm.}$$

$$\text{โดยการแทนค่า จะได้ } p_{s_1} = \frac{0.115 \times 28{,}053}{2 \times 29} \left(\frac{55^2 - 29^2}{55^2}\right)$$

$$= 40.158 \text{ ksi.}$$

ขั้นที่ 2 จะหา Residual Stress ที่บริเวณผิวภายในของครกฯ ($\sigma_{1_{29}}$) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 29 มม.

$$\text{โดยใช้สมการ (7.2)}, \quad \sigma_t\Big|_{D=D_i} = -2 p_o \left(\frac{D_o^2}{D_o^2 - D_i^2}\right)$$

$$\text{ได้} \qquad \sigma_{1_{29}} = -2 \times 40.158 \left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right)$$

$$= -111.245 \text{ ksi.}$$

1.2 <u>ครกฯทำด้วยเหล็ก AISI D2</u> (ASSAB XW-41) จากตารางที่ 3 ตัวอย่างครกฯ หมายเลย 1

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_1} อันเนื่องมาจากการส่วมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ โดยพิจารณาว่าเป็นความดันภายนอกที่มากระทำต่อครกฯ จนทำให้ครกฯหดตัวเล็กลง ซึ่งเราสามารถวัดค่าระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯได้ (δ_1) ดังนั้น

$$\text{จากสมการ (15.4)}, \quad p_o = \frac{\delta_{D_i} E}{2 D_i} \left(\frac{D_o^2 - D_i^2}{D_o^2}\right)$$

ข้อมูลสำหรับครกฯ : $p_o = p_{s_1}$, $D_i \cong 29$ mm., $D_o \cong 55$ mm., $E \cong 27{,}933$ ksi., $\delta_{D_i} = \delta_1 = 0.116$ mm.

โดยการแทนค่า จะได้ $$p_{s_1} = \frac{0.116 \times 27{,}933}{2 \times 29} \left(\frac{55^2 - 29^2}{55^2}\right)$$

$$= 40.334 \text{ ksi.}$$

ขั้นที่ 2 จะหา Residual Stress ที่บริเวณผิวภายในของครกฯ ($\sigma_{l_{29}}$)

โดยใช้สมการ (7.2), $$\sigma_t\Big|_{D=D_i} = -2 p_o \left(\frac{D_o^2}{D_o^2 - D_i^2}\right)$$

ได้ $$\sigma_{l_{29}} = -2 \times 40.334 \left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right)$$

$$= -111.732 \text{ ksi.}$$

2. Residual Stress ในครกฯชนิดสองชั้น (ตารางที่ 11)

ตัวอย่างครกฯหมายเลข 1 ซึ่งมีข้อมูลดังนี้ ; I_2 = 0.360 mm., δ_2 = 0.253 mm., AV. $\delta_1 \tilde{=}$ 0.0697 mm.

ข้อมูลสำหรับครกชั้นใน : วัสดุเหล็ก AISI D3 (ASSAB XW-5), E $\tilde{=}$ 28,053 ksi.

ข้อมูลสำหรับครกชั้นนอก : วัสดุเหล็ก AISI S1 (ASSAB M-4), E $\tilde{=}$ 28,053 ksi.

2.1 ผลอันเนื่องมาจากการส่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก พิจารณาดังนี้

ข้อมูลสำหรับครกชั้นใน : $D_i \tilde{=}$ 28.80 mm., $D_o \tilde{=}$ 35.00 mm.

ข้อมูลสำหรับครกชั้นนอก : $D_i \tilde{=}$ 35.00 mm., $D_o \tilde{=}$ 55.20 mm.

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_2} โดยพิจารณาว่าเป็นความดันภายนอกที่มากระทำต่อครกชั้นใน จนทำให้ครกชั้นในหดตัวเล็กลง ซึ่งเราสามารถวัดค่าระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกชั้นในได้ (δ_2) ดังนั้น

ใช้สมการ (15.4), $$p_o = \frac{\delta_{D_i} E}{2 D_i} \left(\frac{D_o^2 - D_i^2}{D_o^2}\right)$$

ข้อมูลสำหรับครกชั้นใน $p_o = p_{s_2}$, $\delta_{D_i} = \delta_2 = 0.253$ mm.

เมื่อแทนค่า จะได้ $$p_{s_2} = \frac{0.253 \times 28{,}053}{2 \times 28.8} \left(\frac{35^2 - 28.8^2}{35^2}\right)$$

$$= 39.788 \text{ ksi}$$

ขั้นที่ 2 จะหา Residual Stress ที่ผิวภายในของครกชั้นใน และผิวภายในของครกชั้นนอก

อนึ่งเนื่องจากภายหลังจากการส่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอกแล้ว เราต้องทำการเจียระนัยชิ้นงานที่ส่วมกันนี้จนได้เป็นครกฯสำเร็จ ดังนั้นขนาดของชิ้นงานจึงกลายเป็นดังนี้

ครกชั้นใน : $D_i \tilde{=} 29.00$ mm., $D_o \tilde{=} 35.00$ mm.

ครกชั้นนอก : $D_i \tilde{=} 35.00$ mm., $D_o \tilde{=} 55.00$ mm.

ความเค้นสำหรับครกชั้นใน หาได้โดยที่ $p_{s_2} = p_o = 39.788$ ksi

ใช้สมการ (7.2), $\sigma_t\Big|_{D=D_i} = -2\, p_o \dfrac{D_o^2}{D_o^2-D_i^2}$

จะได้ $$\sigma_{2_{29}} = -2\,(39.788)\left(\frac{35^2}{35^2-29^2}\right)$$

$$= -253.857 \text{ ksi.}$$

ความเค้นสำหรับครกชั้นนอก หาได้โดยที่ $p_{s_2} = P_i = 39.788$ ksi

ใช้สมการ (5.2), $\sigma_t\Big|_{D=D_i} = p_i \dfrac{D_o^2+D_i^2}{D_o^2-D_i^2}$

จะได้ $$\sigma_{2_{35}} = (39.788)\left(\frac{55^2+35^2}{55^2-35^2}\right)$$

$$= 93.944 \text{ ksi.}$$

2.2 <u>ผลอันเนื่องมาจากการส่วมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ</u> มีข้อมูลดังนี้

สำหรับครกฯ : $D_i \tilde{=} 29$ mm., $D_o \tilde{=} 55$ mm., $E \tilde{=} 28{,}053$ ksi.

สำหรับตัวรองรับฯ : $D_i \tilde{=} 55$ mm., $D_o \tilde{=} 130$ mm.

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_1} ด้วยเหตุที่ครกฯอันหนึ่งจะเปลี่ยนการส่วมกับตัวรองรับฯ หลายอัน ดังนั้นครกฯอันนั้นจะให้ค่า δ_1 หลายค่า ตามจำนวนของการส่วมกับตัวรองรับฯแต่ละครั้ง กรณีนี้จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยของ δ_1 ความดัน p_{s_1} หาได้จากการพิจารณาว่าเป็นความดันภายนอกที่มากระทำต่อครกฯ จนทำให้ครกฯหดตัวเล็กลง โดยที่เราทราบค่าระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯ (AV. δ_1) ดังนั้น

ใช้สมการ (15.4), $p_o = \frac{\delta_{D_i} E}{2 D_i} \left(\frac{D_o^2 - D_i^2}{D_o^2}\right)$

ข้อมูลสำหรับครกฯ : $p_o = p_{s_1}$, $\delta_{D_i} = \delta_1 = \text{AV. } \delta_1$

โดยการแทนค่า จะได้ $p_{s_1} = \frac{0.0697 \times 28.053}{2 \times 29} \left(\frac{55^2 - 29^2}{55^2}\right) = 24.340 \text{ ksi.}$

ขั้นที่ 2 จะหา Residual Stress ในครกฯ ซึ่งพิจารณาเฉพาะที่ผิวภายในของยิ้นงานเท่านั้น สำหรับครกฯ : $p_{s_1} = p_o = 24.340$ ksi ต่อไปจะหาความเค้นที่ผิวภายในของครกยิ้นในและผิวภายในของครกยิ้นนอก ตามลำดับ ดังนี้

ครกยิ้นใน ใช้สมการ (7.2), $\sigma_t\big|_{D=D_i} = - 2 p_o \frac{D_o^2}{D_o^2 - D_i^2}$

ได้ $\sigma_{1_{29}} = - 2 (24.34)\left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right) = - 67.424 \text{ ksi.}$

ครกยิ้นนอก ใช้สมการ (6.3), $\sigma_t\big|_D = - p_o \left(\frac{D_o^2}{D_o^2 - D_i^2}\right)\left(1 + \frac{D_i^2}{D^2}\right)$

ได้ $\sigma_{1_{35}} = - (24.34)\left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right)\left(1 + \frac{29^2}{35^2}\right)$

$= - 56.858 \text{ ksi.}$

2.3 <u>ผลลัพธ์ของ Residual Stresses</u>, σ_R ซึ่งพิจารณาเฉพาะที่ผิวภายในของยิ้นงาน

สำหรับครกยิ้นใน : $\sigma_{R_{29}} = \sigma_{1_{29}} + \sigma_{2_{29}} = - 67.424 + (-253.857)$

$= - 321.281 \text{ ksi.}$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $\sigma_{R_{29}}$ เป็น Residual Compressive Stress

สำหรับครกยิ้นนอก : $\sigma_{R_{35}} = \sigma_{1_{35}} + \sigma_{2_{35}} = - 56.858 + 93.944$

$= + 37.086 \text{ ksi.}$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า $\sigma_{R_{35}}$ เป็น Residual Tensile Stress

3. Residual Stress กระจายโดยตลอดครกฯพร้อมตัวรองรับฯ (ตารางที่ 12 และรูปที่ 29)

ตัวอย่าง หมายเลย 7 ของตารางที่ 12 ; $I_2 = 0.230$ mm., $\delta_2 \tilde{=} 0.734\ I_2 \tilde{=} 0.1688$ mm., $\delta_1 = 0.0585$ mm., $I_3 = 0.100$ mm.

กรณีนี้เป็นกรณีที่อยู่ในภาวะที่เหมาะสมที่สุด กล่าวคือเราออกแบบสร้างครกฯชนิดสองชั้นให้มีค่า I_2 ที่เหมาะสม และเริ่มต้นใช้ค่า δ_1 ที่น้อยที่สุด

3.1 ผลอันเนื่องมาจากการส่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก พิจารณาดังนี้

สำหรับครกชั้นใน : $D_i \tilde{=} 28.80$ mm., $D_o \tilde{=} 35.00$ mm. ; AISI D3 (ASSAB XW-5)
$E \tilde{=} 28{,}053$ ksi.

สำหรับครกชั้นนอก : $D_i \tilde{=} 35.00$ mm., $D_o \tilde{=} 55.00$ mm. ; AISI S1 (ASSAB M-4),
$E \tilde{=} 28{,}053$ ksi.

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_2} โดยพิจารณาว่าเป็นความดันภายนอกที่มากระทำต่อครกชั้นใน จนทำให้ครกชั้นในหดตัวเล็กลง ซึ่งเราสามารถวัดค่าระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกชั้นในได้ (δ_2) ดังนั้น

ใช้สมการ (15.4), $p_o = \dfrac{\delta_{D_i} E}{2 D_i} \left(\dfrac{D_o^2 - D_i^2}{D_o^2}\right)$

ข้อมูลสำหรับครกชั้นใน : $p_o = p_{s_2}$, $\delta_{D_i} = \delta_2 = 0.1688$ mm.

โดยการแทนค่า จะได้ $p_{s_2} = \dfrac{0.1688 \times 28{,}053}{2 \times 28.8} \left(\dfrac{35^2 - 28.8^2}{35^2}\right)$

$= 26.55$ ksi.

ขั้นที่ 2 จะหา Residual Stress ซึ่งกระจายโดยตลอดครกฯ

อนึ่ง เนื่องจากภายหลังจากการส่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอกแล้ว เราต้องทำการเจียระนัยผิวของชิ้นงานที่ส่วมกันนี้ จนกระทั่งได้เป็นครกฯสำเร็จ ดังนั้นขนาดของชิ้นงานจึงกลายเป็นดังนี้

ครกชั้นใน : $D_i \tilde{=} 29.00$ mm., $D_o \tilde{=} 35.00$ mm.

ครกชั้นนอก : $D_i \tilde{=} 35.00$ mm., $D_o \tilde{=} 55.00$ mm.

ความเค้นสำหรับครกชั้นใน หาได้โดยที่ $p_{s_2} = p_o = 26.55$ ksi.

จากสมการ (7.2), $\sigma_t\big|_{D=D_i} = -2\, p_o \dfrac{D_o^2}{D_o^2-D_i^2}$

ได้ $\sigma_{2_{29}} = -2\,(26.55)\left(\dfrac{35^2}{35^2-29^2}\right)$

$= -169.392$ ksi.

และสมการ (6.3), $\sigma_t\big|_D = -p_o \left(\dfrac{D_o^2}{D_o^2-D_i^2}\right)\left(1+\dfrac{D_i^2}{D^2}\right)$

$\sigma_t\big|_{D=35} = \sigma_{2_{35_i}} = -(26.55)\left(\dfrac{35^2}{35^2-29^2}\right)\left(1+\dfrac{29^2}{35^2}\right)$

$= -142.842$ ksi.

ความเค้นสำหรับครกชั้นนอก หาได้โดยที่ $p_{s_2} = p_i = 26.55$ ksi.

ใช้สมการ (4.3), $\sigma_t\big|_D = p_i \left(\dfrac{D_i^2}{D_o^2-D_i^2}\right)\left(1+\dfrac{D_o^2}{D^2}\right)$

$\sigma_t\big|_{D=35} = \sigma_{2_{35}} = 26.55\left(\dfrac{35^2}{55^2-35^2}\right)\left(1+\dfrac{55^2}{35^2}\right)$

$= +62.686$ ksi.

$\sigma_t\big|_{D=42} = \sigma_{2_{42}} = 26.55\left(\dfrac{35^2}{55^2-35^2}\right)\left(1+\dfrac{55^2}{42^2}\right)$

$= +49.053$ ksi.

$\sigma_t\big|_{D=55} = \sigma_{2_{55}} = 26.55\left(\dfrac{35^2}{55^2-35^2}\right)\left(1+\dfrac{55^2}{55^2}\right)$

$= +36.137$ ksi.

3.2 ผลอันเนื่องมาจากการส่วมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ มีข้อมูลดังนี้

สำหรับครกฯ : $D_i \cong 29$ mm., $D_o \cong 55$ mm., $E \cong 28{,}053$ ksi.

สำหรับตัวรองรับฯ : $D_i \cong 55$ mm., $D_o \cong 130$ mm.

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_1} โดยพิจารณาว่า เป็นความดันภายนอกที่มากระทำต่อครกฯ จนทำให้ครกฯหดตัวเล็กลง ซึ่งเราสามารถวัดค่าระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯ (δ_1) ได้ ดังนั้น

ใช้สมการ (15.4), $$p_o = \frac{\delta_{D_i} E}{2 D_i} \left(\frac{D_o^2 - D_i^2}{D_o^2}\right)$$

ข้อมูลสำหรับครกฯ ; $p_o = p_{s_1}$, $\delta_{D_i} = \delta_1 = 0.0585$ mm.

โดยการแทนค่า จะได้ $$p_{s_1} = \frac{0.0585 \times 28{,}053}{2 \times 29} \left(\frac{55^2 - 29^2}{55^2}\right)$$

$$= 20.428 \text{ ksi.}$$

ขั้นที่สอง จะหา Residual Stress ซึ่งกระจายโดยตลอดครกฯพร้อมตัวรองรับฯ ความเค้นสำหรับครกฯ หาได้โดยที่ $p_{s_1} = p_o = 20{,}428$ ksi.

โดยใช้สมการ (6.3), $$\sigma_t\Big|_D = - p_o \frac{D_o^2}{D_o^2 - D_i^2} \left(1 + \frac{D_i^2}{D^2}\right)$$

$$\sigma_t\Big|_{D=29} = \sigma_{1_{29}} = - 20.428 \left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right)\left(1 + \frac{29^2}{29^2}\right)$$

$$= - 56.590 \text{ ksi.}$$

$$\sigma_t\Big|_{D=35} = \sigma_{1_{35}} = - 20.428 \left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right)\left(1 + \frac{29^2}{35^2}\right)$$

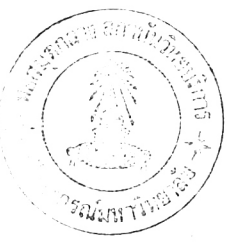
$$= - 47.722 \text{ ksi.}$$

$$\sigma_t\Big|_{D=42} = \sigma_{1_{42}} = - 20.428 \left(\frac{55^2}{55^2 - 29^2}\right)\left(1 + \frac{29^2}{42^2}\right)$$

$$= - 41.785 \quad \text{ksi},$$

$$\sigma_t\Big|_{D=55} = \sigma_{l_{55_i}} = - 20.428 \left(\frac{55^2}{55^2-29^2}\right)\left(1 + \frac{29^2}{55^2}\right)$$

$$= - 36.161 \quad \text{ksi}.$$



ความเค้นสำหรับตัวรองรับฯ หาได้โดยที่ $p_{s_1} = p_i = 20.428$ ksi.

โดยใช้สมการ (4.3), $\sigma_t\Big|_D = p_i \left(\frac{D_i^2}{D_o^2-D_i^2}\right)\left(1 + \frac{D_o^2}{D^2}\right)$

$$\sigma_t\Big|_{D=55} = \sigma_{l_{55}} = 20.428 \left(\frac{55^2}{130^2-55^2}\right)\left(1 + \frac{130^2}{55^2}\right)$$

$$= + 29.336 \quad \text{ksi}.$$

$$\sigma_t\Big|_{D=75} = \sigma_{l_{75}} = 20.428 \left(\frac{55^2}{130^2-55^2}\right)\left(1 + \frac{130^2}{75^2}\right)$$

$$= + 17.835 \quad \text{ksi}.$$

$$\sigma_t\Big|_{D=95} = \sigma_{l_{95}} = 20.428 \left(\frac{55^2}{130^2-55^2}\right)\left(1 + \frac{130^2}{95^2}\right)$$

$$= + 12.794 \quad \text{ksi}.$$

$$\sigma_t\Big|_{D=110} = \sigma_{l_{110}} = 20.428 \left(\frac{55^2}{130^2-55^2}\right)\left(1 + \frac{130^2}{110^2}\right)$$

$$= + 10.674 \quad \text{ksi}.$$

$$\sigma_t\Big|_{D=130} = \sigma_{l_{130}} = 20.428 \left(\frac{55^2}{130^2-55^2}\right)\left(1 + \frac{130^2}{130^2}\right)$$

$$= + 8.908 \quad \text{ksi}.$$

3.3 ผลอันเนื่องมาจากการล่วมกันระหว่างตัวรองรับชั้นในกับตัวรองรับชั้นนอก

มีข้อมูลดังนี้

สำหรับตัวรองรับชั้นใน : $D_i \tilde{=} 55$ mm., $D_o \tilde{=} 95$ mm. ; AISI 1060 ,

$E \tilde{=} 30{,}000$ ksi.

สำหรับตัวรองรับชั้นนอก : $D_i \tilde{=} 95$ mm., $D_o \tilde{=} 130$ mm. ; AISI 1060 ,

$E \tilde{=} 30{,}000$ ksi.

ขั้นแรก จะหาความดัน p_{s_3} โดยที่ทราบค่า I_3 ได้จากการวัด ดังนั้น

ใช้สมการ (21.2) , $p_s = (\frac{EI}{2\ D_2}) \frac{(D_3^2-D_2^2)(D_2^2-D_1^2)}{D_2^2\ (D_3^2-D_1^2)}$

โดยที่ $I = I_3 = 0.1$ mm., $D_1 \tilde{=} 55$ mm., $D_2 \tilde{=} 95$ mm., $D_3 \tilde{=} 130$ mm. และ

$p_s = p_{s_3}$

โดยการแทนค่า จะได้ $p_{s_3} = (\frac{30{,}000 \times 0.1}{2 \times 95}) \frac{(130^2-95^2)(95^2-55^2)}{95^2(130^2-55^2)}$

$= 5.958$ ksi.

ขั้นที่สอง จะหา Residual Stress ซึ่งกระจายโดยตลอดตัวรองรับฯ ความเค้นสำหรับตัวรองรับชั้นใน หาได้โดยที่ $p_{s_3} = p_o = 5.958$ ksi.

โดยใช้สมการ (6.3), $\sigma_t\big|_D = - p_o (\frac{D_o^2}{D_o^2-D_i^2})(1 + \frac{D_i^2}{D^2})$

$\sigma_t\big|_{D=55} = \sigma_{3_{55}} = - 5.958 (\frac{95^2}{95^2-55^2})(1 + \frac{55^2}{55^2})$

$= - 17.923$ ksi.

$\sigma_t\big|_{D=75} = \sigma_{3_{75}} = -5.958 (\frac{95^2}{95^2-55^2})(1 + \frac{55^2}{75^2})$

$= - 13.781$ ksi.

$$\sigma_t\Big|_{D=95} = \sigma_{3_{95_i}} = -5.958\left(\frac{95^2}{95^2-55^2}\right)\left(1+\frac{55^2}{95^2}\right)$$

$$= -11.965 \text{ ksi.}$$

ความเค้นสำหรับตัวรองรับชั้นนอก หาได้โดยที่ $p_{s_3} = p_i = 5.958$ ksi.

ใช้สมการ (4.3), $\sigma_t\Big|_D = p_i\left(\frac{D_i^2}{D_o^2-D_i^2}\right)\left(1+\frac{D_o^2}{D^2}\right)$

$$\sigma_t\Big|_{D=95} = \sigma_{3_{95}} = 5.958\left(\frac{95^2}{130^2-95^2}\right)\left(1+\frac{130^2}{95^2}\right)$$

$$= +19.614 \text{ ksi.}$$

$$\sigma_t\Big|_{D=110} = \sigma_{3_{110}} = 5.958\left(\frac{95^2}{130^2-95^2}\right)\left(1+\frac{130^2}{110^2}\right)$$

$$= +16.364 \text{ ksi.}$$

$$\sigma_t\Big|_{D=130} = \sigma_{3_{130}} = 5.958\left(\frac{95^2}{130^2-95^2}\right)\left(1+\frac{130^2}{130^2}\right)$$

$$= +13.656 \text{ ksi.}$$

3.4 <u>ผลลัพธ์ของ Residual Stress</u>, σ_R

สำหรับครกชั้นใน : $\sigma_{R_{29}} = \sigma_{1_{29}} + \sigma_{2_{29}} = -56.590 + (1169.392)$

$$= -225.982 \text{ ksi.}$$

$$\sigma_{R_{35_i}} = \sigma_{1_{35}} + \sigma_{2_{35_i}} = -47.722 + (-142.842)$$

$$= -190.562 \text{ ksi.}$$

สำหรับครกชั้นนอก : $\sigma_{R_{35}} = \sigma_{1_{35}} + \sigma_{2_{35}} = -47.722 + 62.686$

$$= +14.966 \text{ ksi.}$$

$$\sigma_{R_{42}} = \sigma_{1_{42}} + \sigma_{2_{42}} = -41.785 + 49.053$$

$$= + 7.268 \quad \text{ksi.}$$

$$\sigma_{R_{55_i}} = \sigma_{1_{55_i}} + \sigma_{2_{55}} = - 36.161 + 36.137$$

$$= - 0.024 \quad \text{ksi.}$$

สำหรับตัวรองรับชั้นใน : $\sigma_{R_{55}} = \sigma_{1_{55}} + \sigma_{3_{55}} = 29.336 + (-17.923)$

$$= + 11.413 \quad \text{ksi.}$$

$$\sigma_{R_{75}} = \sigma_{1_{75}} + \sigma_{3_{75}} = 17.835 + (-13.781)$$

$$= + 4.054 \quad \text{ksi.}$$

$$\sigma_{R_{95_i}} = \sigma_{1_{95}} + \sigma_{3_{95_i}} = 12.794 + (-11.965)$$

$$= + 0.829 \quad \text{ksi.}$$

สำหรับตัวรองรับชั้นนอก: $\sigma_{R_{95}} = \sigma_{1_{95}} + \sigma_{3_{95}} = 12.794 + 19.614$

$$= + 32.408 \quad \text{ksi.}$$

$$\sigma_{R_{110}} = \sigma_{1_{110}} + \sigma_{3_{110}} = 10.647 + 16.364$$

$$= + 27.038 \quad \text{ksi.}$$

$$\sigma_{R_{130}} = \sigma_{1_{130}} + \sigma_{3_{130}} = 8.908 + 13.656$$

$$= + 22.564 \quad \text{ksi.}$$

ภาคผนวก ย.

ภาพถ่ายการวิจัย

หน้า

รูปที่ ย.

1. ครกอัดย่องย่นวนท้ายปลอกกระสุน ย่นิดยั้นเดียว 98

2. ครกอัดย่องย่นวนท้ายปลอกกระสุน ย่นิดส่องยั้น 98

3. ครกอัดย่องย่นวนท้ายย่นิดส่องยั้น ยณะส่ร้าง ประกอบด้วย
ครกยั้นใน และ ครกยั้นนอก 99

4. แส่ดงลักษณะการแตกร้าวของครกอัดย่องย่นวนท้ายย่นิดยั้นเดียว 99

5. แส่ดงลักษณะการแตกร้าวยองครกอัดย่องย่นวนท้ายย่นิดส่องยั้น แตกที่ยั้นใน 100

6. แส่ดงลักษณะการแตกร้าวของครกอัดย่องย่นวนท้ายย่นิดส่องยั้น แตกที่ยั้นนอก 100

7. ตัวรองรับครกอัดย่องย่นวนท้ายปลอกกระสุน 101

8. ตัวรองรับฯ ยณะส่ร้าง ประกอบด้วย ตัวรองรับยั้นใน และ
ตัวรองรับยั้นนอก 101
101

9. ครกอัดย่องย่นวนท้ายเมื่อส่วมพร้อมอยู่ในตัวรองรับฯ 102

10. การจัดลำดับยองส่ากส่งปลอกกระสุน ครกฯพร้อมตัวรองรับฯ และ
ส่ากอัดย่องย่นวนท้าย 102

11. การจัดลำดับยองส่ากส่งปลอกกระสุน ปลอกกระสุนก่อนการอัดย่องย่นวนท้าย
ครกฯพร้อมตัวรองรับฯ และส่ากอัดย่องย่นวนท้าย 103

12. การจัดลำดับยองส่ากส่งปลอกกระสุน ครกฯพร้อมตัวรองรับฯ
ปลอกกระสุนหลังการอัดย่องย่นวนท้าย และส่ากอัดย่องย่นวนท้าย 103

13. ปลอกกระสุนก่อนการอัดย่องย่นวนท้าย 104

14. ปลอกกระสุนหลังการอัดย่องย่นวนท้าย 104

15. ปลอกกระสุนปืนขนาด 20 มม. เอ็ม-103 สำเร็จ (Completed
Cartridge Case 20 mm., M-103) 105

รูปที่ ย. หน้า

16. กระสุนปืนขนาด 20 มม. ชนวนไฟฟ้า พร้อมนัด (Completed Round of Cartridge 20 mm., Electric Primer) 105

17. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านหน้า 106

18. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านหลัง 106

19. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านบนทางขวา (ทางฝั่งล่ากล่ง ปลอกกระสุน) 107

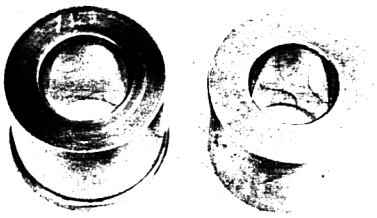
20. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านบนทางขวา (ทางฝั่งล่ากล่ง ปลอกกระสุน) ภาพใกล้ 107

21. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านบนทางซ้าย (ทางฝั่งล่ากอัด ปลอกกระสุน) 108

22. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านบนทางซ้าย (ทางฝั่งล่ากอัด ปลอกกระสุน) ภาพใกล้ 108

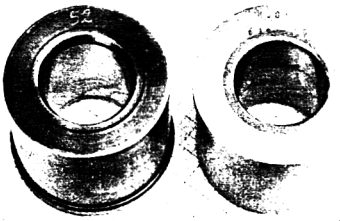
23. เครื่องจักรอัดย่องชนวนท้าย ภาพถ่ายด้านบน 109

รูปที่ ข. 1



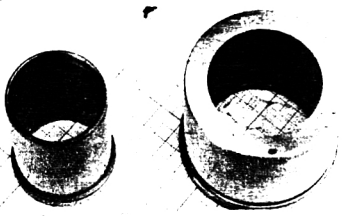
ดรอกฉีดช่องขนานท้าย ชนิดชั้นเดียว
(HEADING DIE WITH ONE LAYER)

รูปที่ ข. 2



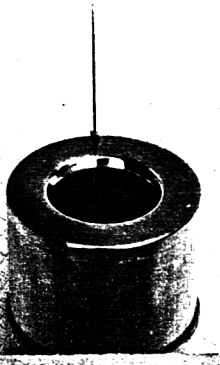
ดรอกฉีดช่องขนานท้าย ชนิดสองชั้น
(HEADING DIE WITH TWO LAYERS)

รูปที่ ข. 3



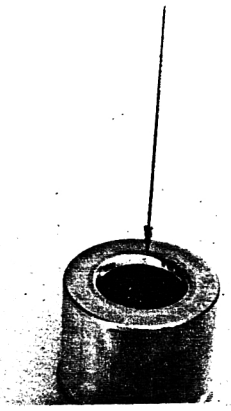
ครกอัดช่องชนวนท้ายชนิดสองชั้น
ขณะสร้าง
HEADING DIE WITH TWO LAYERS
BEFORE SHRINKING

รูปที่ ข. 4



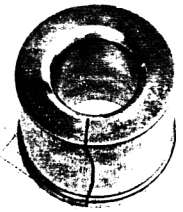
ลักษณะการแตกร้าวของครกอัดช่องชนวนท้าย
ชนิดชั้นเดียว
(CRACK OF HEADING DIE WITH ONE LAYER)

รูปที่ ข. 5



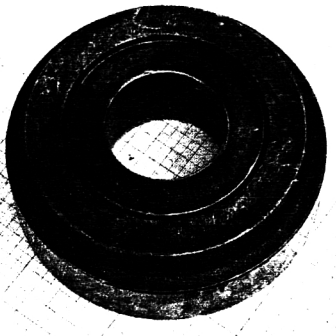
ลักษณะการแตกร้าวของครกอัดช่องขนานท้าย
ชนิดสองชั้น แตกที่ชั้นใน
CRACK AT INNER DIE OF HEADING DIE
WITH TWO LAYERS

รูปที่ ข. 6



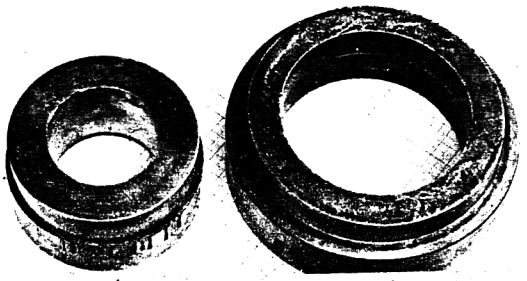
ลักษณะการแตกร้าวของครกอัดช่องขนานท้าย
ชนิดสองชั้น แตกที่ชั้นนอก
CRACK AT OUTER DIE OF HEADING DIE
WITH TWO LAYERS

รูปที่ ข. 7



ตัวรองรับครกฯ
(HEADING RING)

รูปที่ ข. 8



ตัวรองรับชั้นในของครก
(INNER RING)

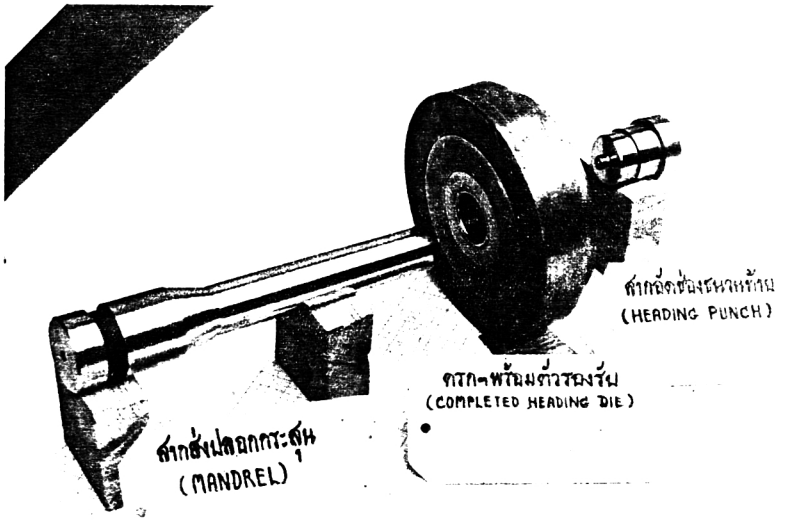
ตัวรองรับชั้นนอกของครกฯ
(OUTER RING)

ตัวรองรับครกฯ ขณะสวิง
(HEADING RING BEFORE SHRINKING)

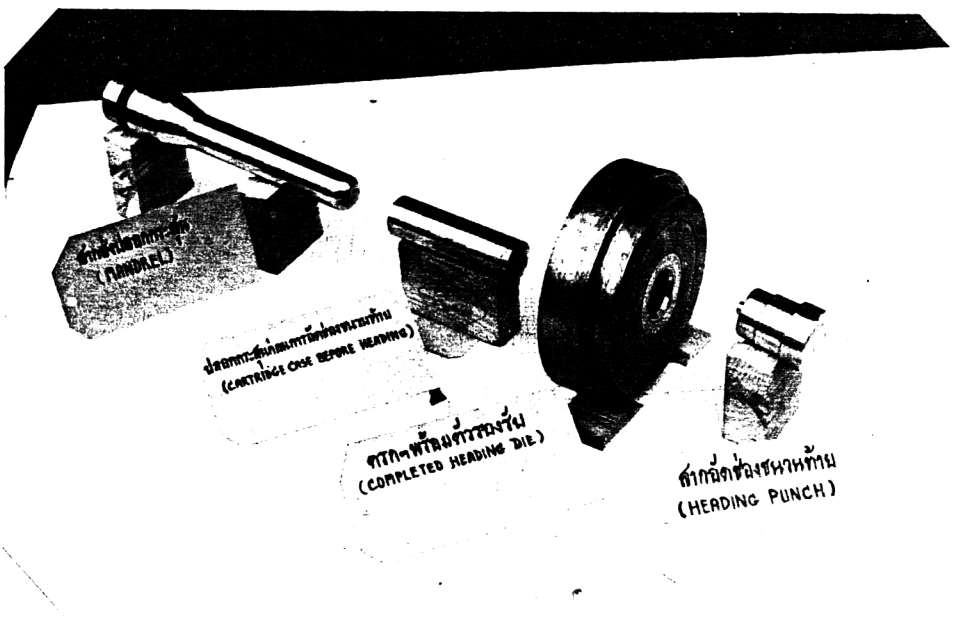
รูปที่ ข. 9

ดายอัดขึ้นรูปวงแหวนท้ายเมื่อหดรัดอยู่ในตัวรองรับ
(HEADING DIE WHEN SHRINKING ON THE HEADING RING)

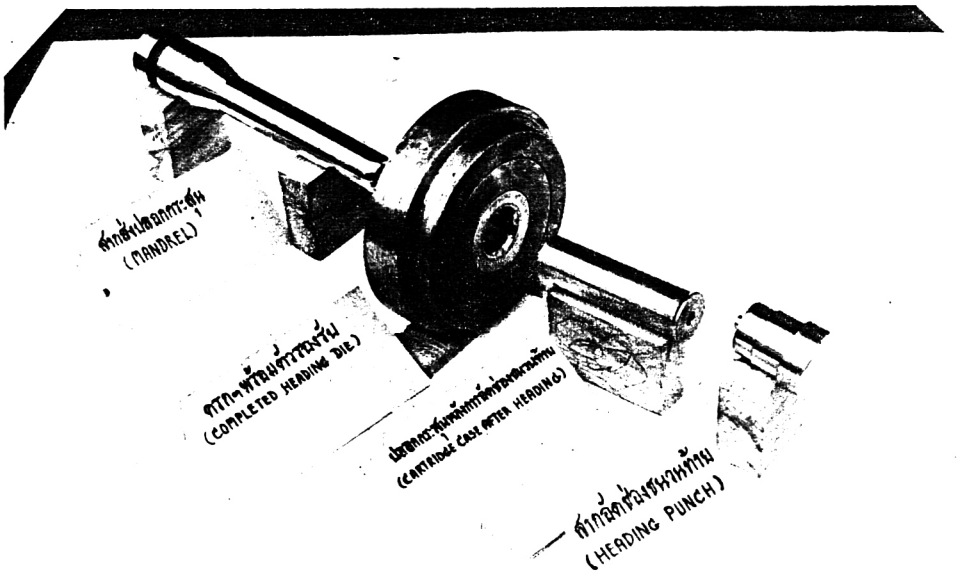
รูปที่ ข. 10



รูปที่ ข. 11

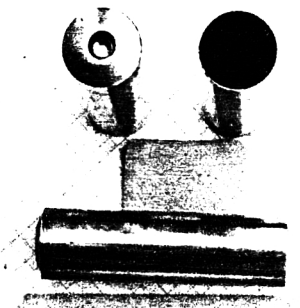


รูปที่ ข. 12



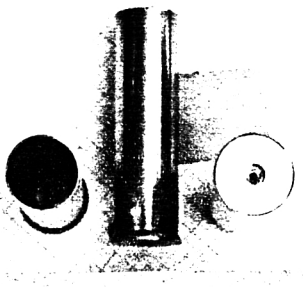
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข. 13



ปลอกกระสุนก่อนการอัดช่องขนวนท้าย
(CARTRIDGE CASE BEFORE HEADING)

รูปที่ ข. 14

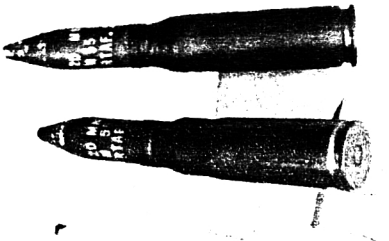


ปลอกกระสุนหลังการอัดช่องขนวนท้าย
(CARTRIDGE CASE AFTER HEADING)

รูปที่ ข. 15

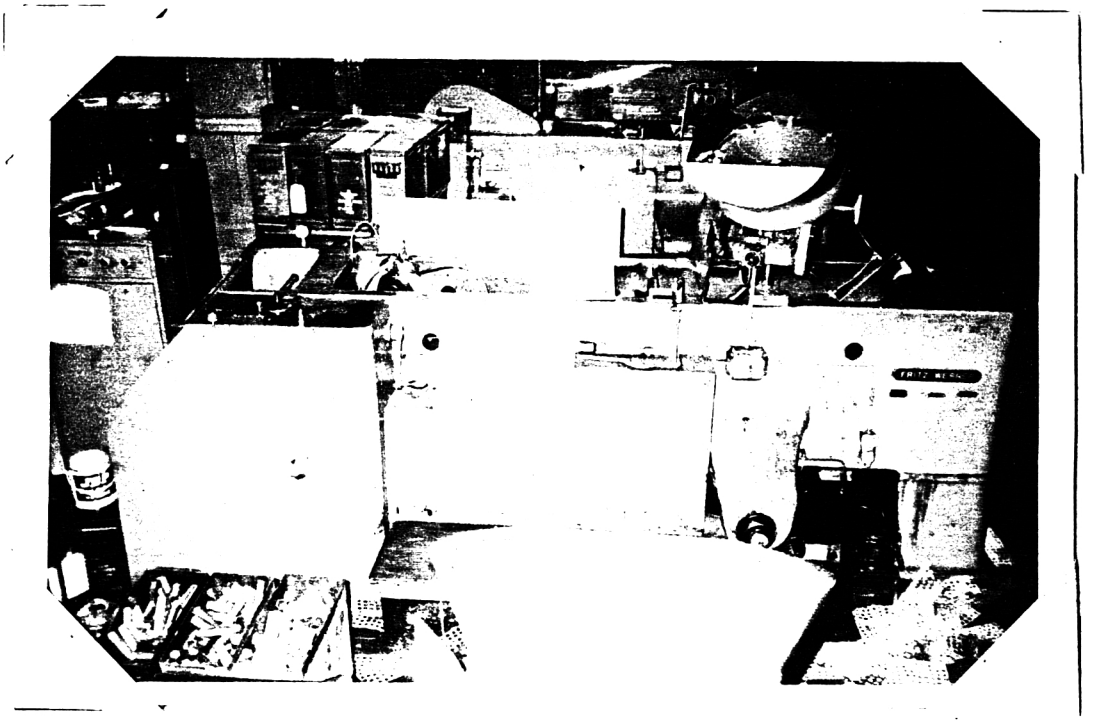
ปลอกกระสุนปืนขนาด 20 มม. M-103 ที่เร็จ
(COMPLETED CARTRIDGE CASE 20MM., M-103)

รูปที่ ข. 16

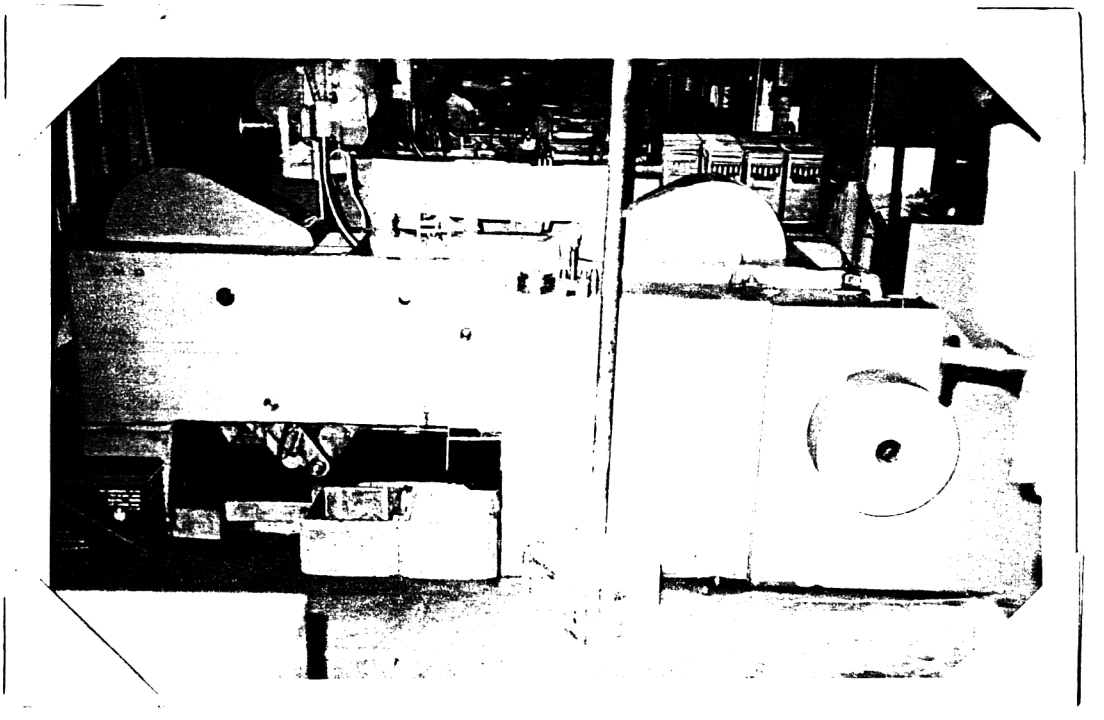


กระสุนปืนขนาด 20 มม. ชนวนไฟฟ้า พร้อมนัด
(COMPLETED ROUND OF CARTRIDGE 20MM., ELECTRIC PRIMER)

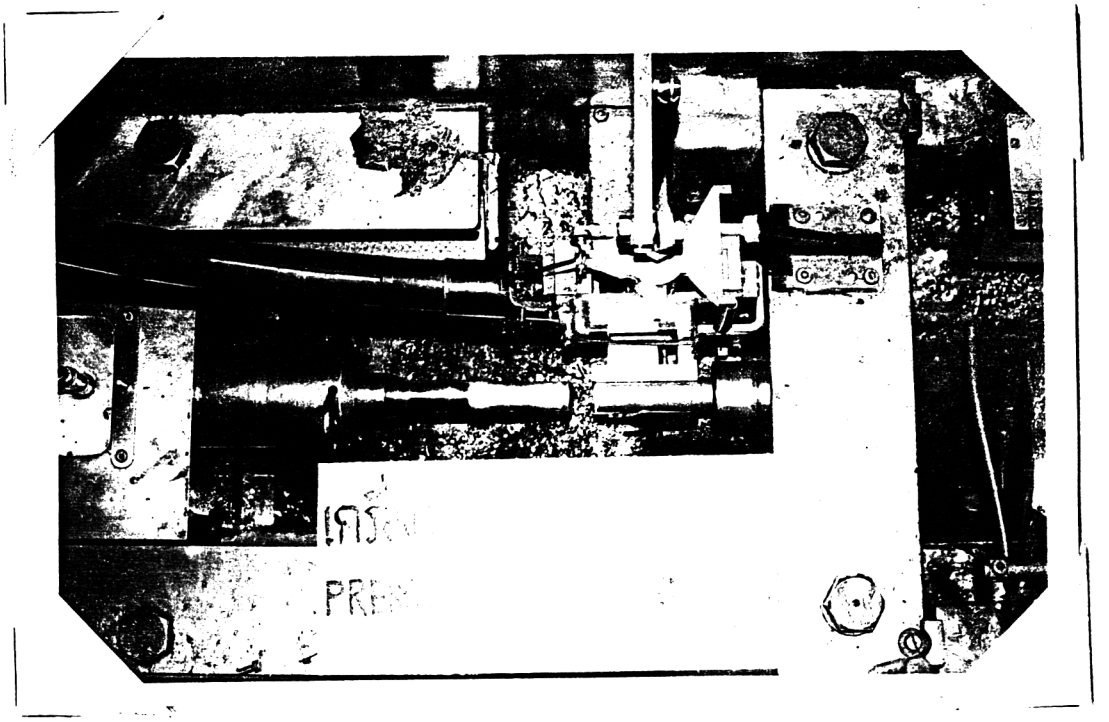
รูปที่ ข. 17



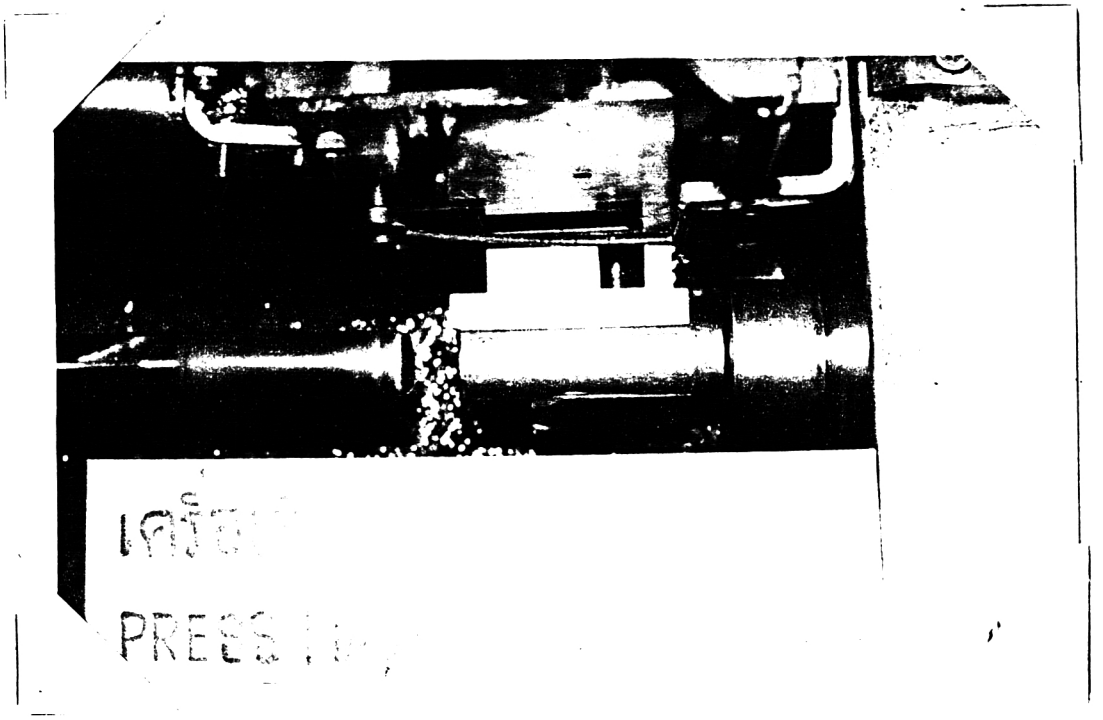
รูปที่ ข. 18



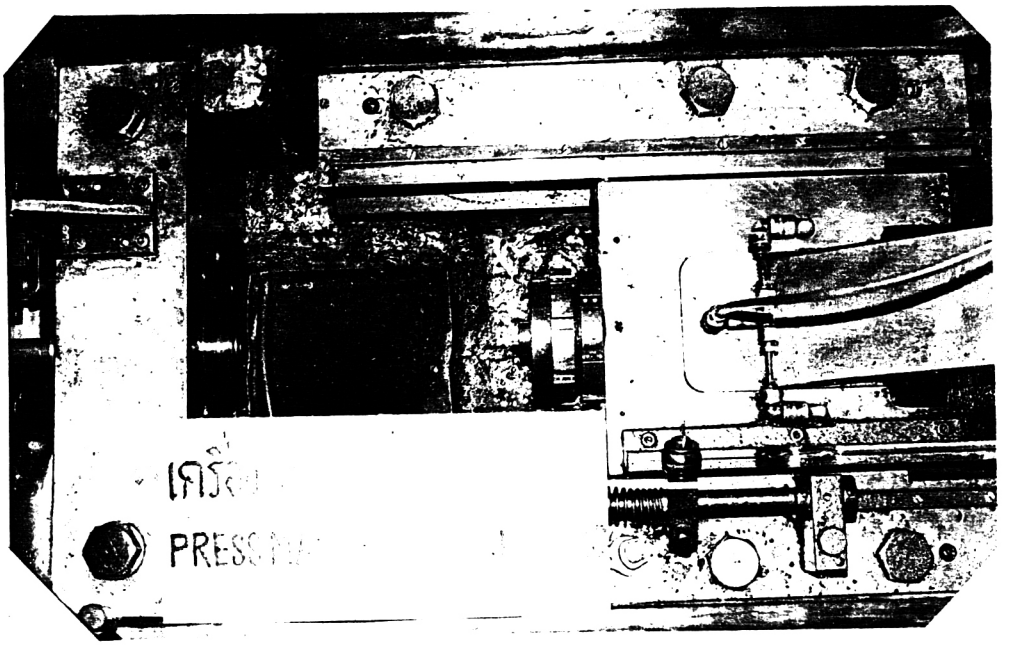
รูปที่ ข. 19



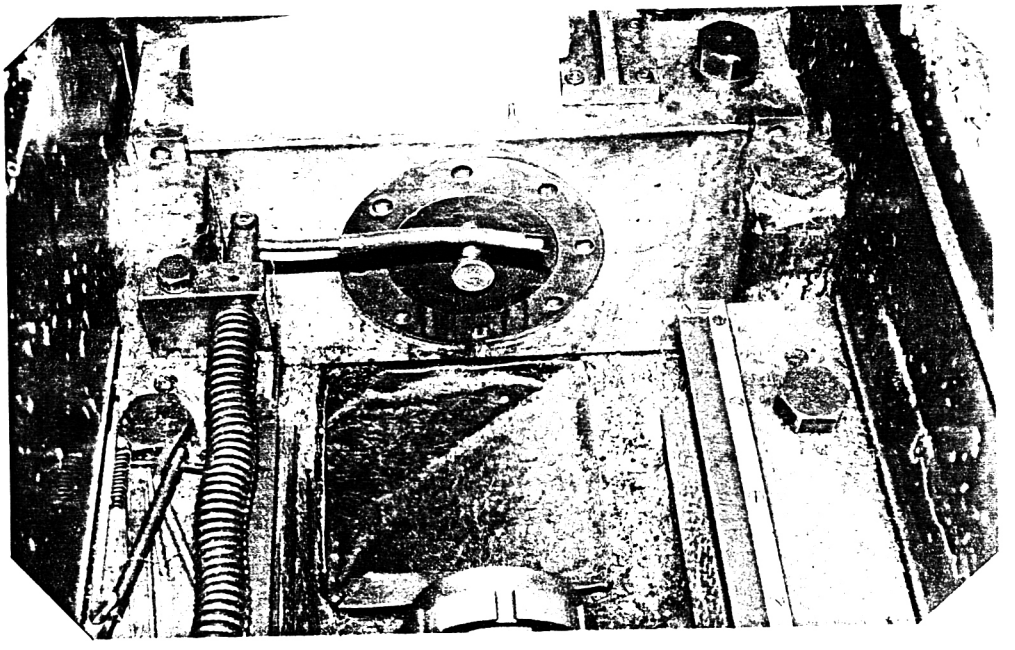
รูปที่ ข. 20



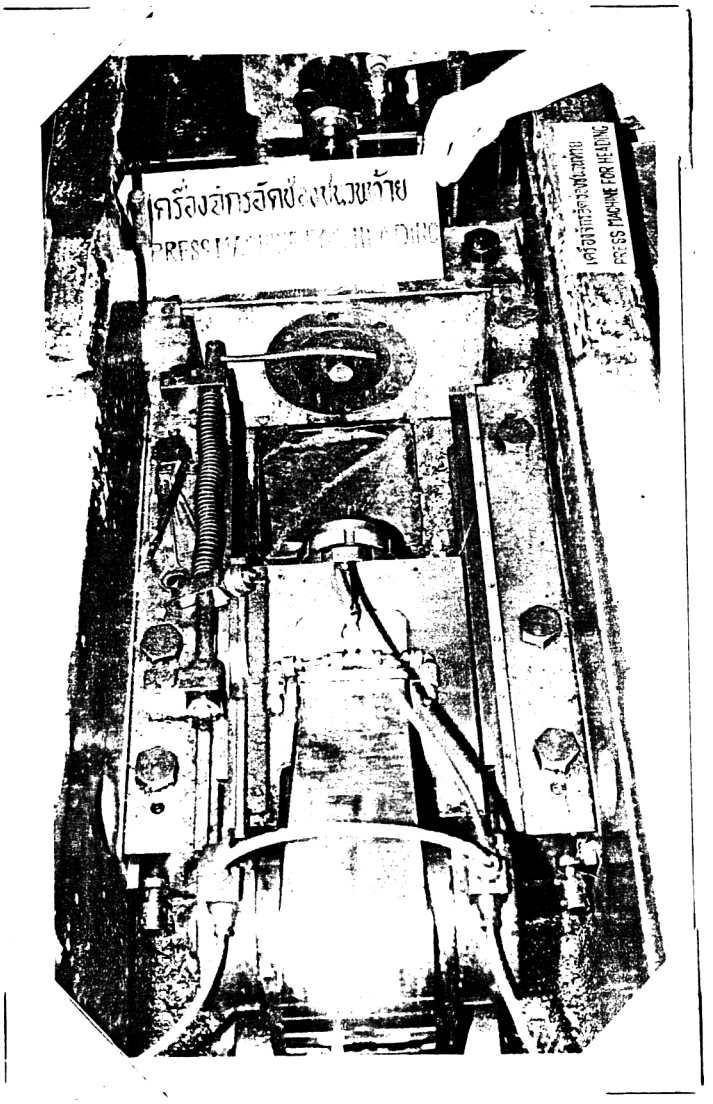
รูปที่ ข. 21



รูปที่ ข. 22



รูปที่ ข. 23



ประวัติผู้วิจัย

ร.อ. อุดมศักดิ์ สันติกุล สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต เมื่อปี พ.ศ. 2519 จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นนิสิตทุนกองทัพอากาศ ประจำปี พ.ศ. 2515-2518 เริ่มเข้ารับราชการทหารประจำการเมื่อปี พ.ศ. 2520 ในตำแหน่ง ช่างกลโรงงาน ฝ่ายส่ราง-ซ่อมฯ กองโรงงานกระสุนวัตถุระเบิด กรมส่รรพาวุธทหารอากาศ ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2521 เป็นหัวหน้าหมวดเบ็ดเตล็ด ฝ่ายซ่อมบำรุง กองโรงงานส่รรพาวุธ 2 กรมส่รรพาวุธทหารอากาศ เมื่อปี พ.ศ. 2524 จนถึงปัจจุบันนี้ ดำรงตำแหน่งหัวหน้าหมวดผลิตปลอกกระสุน แผนก 1 กองโรงงานส่รรพาวุธ 2 กรมส่รรพาวุธทหารอากาศ