

การวิเคราะห์และปรับปรุงครกอัดช่องขนานท้ายของปลอกกระสุน 20 มม. เอ็ม-103



เรืออากาศเอก จุตมศักดิ์ สันติกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

009884

119320029

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF HEADING DIE FOR CARTRIDGE CASE,

20 MM., M-103

Flt.Lt. Udomsak Santikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และปรับปรุงครกขัดของชนวนทำของปลอกกระสุน
20 มม. เอ็ม-103


โดย เรืออากาศเอก อุดมศักดิ์ สันติกุล
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา คำสตราจารย์ ดร.วรินทร์ อึ้งภากรณ์




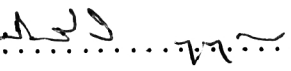
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

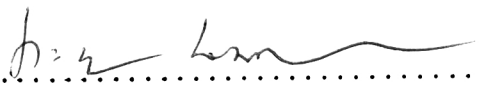

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวี เลิศปัญญาวิทย์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ อึ้งภากรณ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ เสริมศิริสุวรรณ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหา วิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และปรับปรุงครกอัดช่องขนวนท้ายของปลอกกระสุน 20 มม. เอ็ม-103
ชื่อนิสิต	เรืออากาศเอก อุดมศักดิ์ สันติกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2527



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ ออกแบบ ปรับปรุง และสร้างครกอัดช่องขนวนท้ายของปลอกกระสุนขนาด 20 มม. เอ็ม-103 ซึ่งใช้กับปืนใหญ่อากาศและปืนต่อสู้อากาศยาน ครกที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงผนังหนา ถูกกระทำด้วยความดันภายในสูงมาก อันเนื่องมาจากการอัดปลอกกระสุน ดังนั้นครกฯจึงมักจะชำรุดแตกร้าวที่ผิวใช้งานด้านใน ส่วนที่อยู่ตอนบนของครกฯเสมอ ในการออกแบบ ปรับปรุง และสร้างครกฯนี้ ได้ถือหลักให้ใช้วัสดุที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศไทย และสามารถทำการตัดกลึงได้สะดวก โดยแบ่งการศึกษาและทดลองใช้งานออกเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 เป็นครกฯที่มีชั้นเดียว ซึ่งยังแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกได้ศึกษาถึงผลของความแข็งของครกฯที่มีต่ออายุการใช้งาน เนื่องจากการที่ไม่สามารถแปรค่าความแข็งได้กว้างพอ จึงทำให้ไม่สามารถสรุปผลในส่วนนี้ได้ ส่วนที่ 2 ได้ศึกษาถึงผลของการ Shrink Fit ที่มีต่ออายุการใช้งาน โดยการแปรค่า Diametral Interference (I_1) ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครกฯกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวรองรับ (Heading Ring) ผลปรากฏว่าค่า I_1 ยิ่งมาก อายุการใช้งานของครกฯจะมากขึ้นด้วย แต่เนื่องจากว่ามีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของ I_1 ทางด้านปฏิบัติ จึงไม่สามารถทำให้ครกฯมีอายุการใช้งานได้เพียงพอ อนึ่งในการศึกษาและทดลองใช้งานสำหรับกรณีที่ 1 นี้ เลือกใช้วัสดุที่สร้างเป็นครกฯคือเหล็กทำเครื่องมือ AISI D3 และ AISI D2 ผลการทดลองใช้งานปรากฏว่าครกฯทั้งหมดมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 300 ปลอกเท่านั้น

กรณีที่ 2 เป็นครกฯที่ได้รับการออกแบบสร้างให้มีสองชั้นลวมทับกัน โดยที่ครกชั้นในสร้างด้วยเหล็กทำเครื่องมือ AISI D3 ส่วนครกชั้นนอกสร้างด้วยเหล็กทำเครื่องมือ AISI S1

โดยเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครกชั้นในประมาณ 35 มม. แล้วแบ่งค่า I_2 ระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก ออกเป็น 5 กลุ่ม ผลการทดลองใช้งานปรากฏว่า ครกฯทั้งหมดมีอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยประมาณ 6,038 ปลอก และพบว่าค่า I_2 ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ $0.230^{+0.035}_{-0.015}$ มม. ซึ่งลมนัยกับค่า I_1 ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ $0.11^{+0.02}_{-0.00}$ มม.

อนึ่งคาดว่าครกฯชนิดล่องชั้นซึ่งได้รับการปรับปรุงอย่างเหมาะสมแล้วนี้ จะมีอายุการใช้งานเกิน 9,000 ปลอก

Thesis Title Analysis and Improvement of Heading Die for
Cartridge Case, 20 mm., M-103
Name Flt.Lt. Udomsak Santikul
Thesis Advisor Professor Variddhi Ungbhakorn, Ph.D.
Department Mechanical Engineering
Academic Year 1984



ABSTRACT

This research concerns with the analysis, design, improvement and construction of heading dies for the cartridge case 20 mm., M-103 of the aircraft and anti-aircraft automatic guns. The heading die is a thick-wall cylinder subjected to high internal pressure due to heading the cartridge case. Therefore a crack is always developed at the top of the internal working surface of the heading die. The availability of the material in Thailand and its machine ability are considered as the main factors in the design, improvement and construction of the heading die. The investigation and experiment are classified into two cases.

In case one the heading dies were made with one layer of thick cylinder. The study was further divided into two parts. The first part dealt with the effect of surface hardness of the heading die on its working life. Due to the limitation on the variation of the surface hardness by heat treatment the conclusion can not be made. The second part studied the effect of shrink fit on its useful life by varying the diametral interference (I_1) between the outside diameter of the heading

die and the inside diameter of the heading ring. It is found out that the larger the interference the longer is the working life of the heading die. However, the practical limitation on the diametral interferences results in unsatisfactory working life. The materials selected for construction of the heading dies in the study for the first case were the tool steel AISI D3 and AISI D2. The results of all heading dies yield an average working life of 300 cycles only.

In the second case the heading dies were made with two layers of different diametral interferences. The materials selected for construction of the inner die and the outer die were the tool steel AISI D3 and AISI S1 respectively. The outside diameter of the inner die was judiciously fixed at about 35 mm. The experimental values of the diametral interference (I_2) between the inner die and the outer die were arranged in five groups. The results of all heading dies yield an average working life of 6,038 cycles. It is also discovered that the optimum value of I_2 is about $0.230 + 0.035 - 0.015$ mm. and that of I_1 about $0.11 + 0.02 - 0.00$ mm.

Finally, the working life of the optimum heading die is expected to be over 9,000 cycles.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ใช้เวลาดำเนินการหลายปีจนสำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ
 คำสตราจารย์ ดร.วรินทร์ อึ้งภากรณ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรม-
 คำสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาด้วย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนเป็น
 อย่างดียิ่ง และให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย อันก่อให้เกิดประโยชน์ต่อ
 ทางราชการกรมสรรพาวุธทหารอากาศโดยตรง อนึ่ง เล่ากรรมสรรพาวุธทหารอากาศได้มี
 หนังสือขอขอบคุณ คำสตราจารย์ ดร.วรินทร์ อึ้งภากรณ์ ตามหนังสือ สพ.ทอ.ที่ กท 0624/13817
 ลว.26 มิ.ย. 27 ด้วยแล้ว และผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชาที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้
 ตลอดจนกำลังพลในสังกัดหมวดผลิตพลออกกระสุนฯ ที่ได้ร่วมแรงร่วมใจกันปฏิบัติงานในสายการ
 ผลิตพลออกกระสุนเป็นอย่างดี จนทำให้ยอดผลิตพลออกกระสุนเพิ่มสูงขึ้นมากเป็นประวัติการณ์
 ทำนี้ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องที่มีส่วนสนับสนุนงานวิจัยนี้ทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ล
กิตติกรรมประกาศ	ข
รายการตารางประกอบ	ญ
รายการรูปประกอบ	ฉ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ท
 บทที่	
1. บทนำ	1-13
1.1 ประวัติความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 แนวทางในการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย	3
1.4 กรรมวิธีโดยย่อในการผลิตปลอกกระสุนขนาด 20 มม. เอ็ม-103	3
2. ทฤษฎีเบื้องต้น	14-30
2.1 ลักษณะสภาพการใช้งานของครกอัดช่องขนานท้าย ปลอกกระสุน	14
2.2 สาเหตุในการชำรุดของครกฯ	14
2.3 ความเค้นในทรงกระบอกกลวงผนังหนา	18
2.4 การหดตัวและการขยายตัวในแนวรัศมี	22
2.5 ความเค้นออกแบบ	22
2.6 การวิเคราะห์ผลของความเค้นจากการ Shrink Fit หรือ Press Fit	25

	หน้า
3. การสร้างครกและการปฏิบัติงาน	31-41
3.1 วัสดุ	31
3.2 งานอบชุบเหล็ก	32
3.3 งานวัดขนาด	34
3.4 งานล่วมกันระหว่างครกชั้นในและครกชั้นนอก	36
3.5 งานขัดผิวมัน	37
3.6 งานล่วมครกเข้ากับตัวรองรับฯ	38
3.7 การถอดครกออกจากตัวรองรับฯ	39
3.8 เครื่องจักรอัดข้อขนวนท้ายปลอกกระสุน	40
3.9 เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการอัดข้อขนวนท้ายปลอกกระสุน .	40
4. ผลการทดลองและข้อวิจารณ์	42-75
4.1 ผลการทดลองครกชนิดชั้นเดียว	42
4.2 ผลการทดลองครกชนิดสองชั้น	51
4.3 การพิจารณาค่าเฉลี่ยของ δ_1 และค่าเฉลี่ยของ I_1	69
4.4 การพิจารณาเพื่อออกแบบครกชนิดสองชั้นที่เหมาะสม	70
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอนะ	76-81
5.1 สรุปการวิจัย	76
5.2 ข้อเสนอนะ	79
บรรณานุกรม	82
ภาคผนวก	83-109
ก. ตัวอย่างการคำนวณ	84-95
ข. ภาพถ่ายการวิจัย	96-109
ประวัติ	110

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1. คุณสมบัติของเหล็กทำเครื่องมือ	33
2. ผลการทดลองครกฯชนิดชั้นเดียว ทำด้วยเหล็ก AISI D3	44
3. ผลการทดลองครกฯชนิดชั้นเดียว ทำด้วยเหล็ก AISI D2	46
4. ผลการทดลองครกฯชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 1 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.350$ มม.	54
5. ผลการทดลองครกฯชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 2 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.310$ มม.	55,56
6. ผลการทดลองครกฯชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 3 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.235$ มม.	57
7. ผลการทดลองครกฯชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 4 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.185$ มม.	58
8. ผลการทดลองครกฯชนิดสองชั้น กลุ่มที่ 5 ค่าเฉลี่ยของ $I_2 = 0.125$ มม.	59
9. ความสัมพันธ์ระหว่าง δ_1 และ I_1	61
10. ความสัมพันธ์ระหว่าง δ_2 และ I_2	63
11. ความเค้นในครกฯชนิดสองชั้น อันเนื่องมาจากการ Press Fit	65
12. การคำนวณหาค่า I_2 และ δ_1 ที่เหมาะสม	73

รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1. ครกอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน 20 มม. แมตเล่น และตัวรองรับ	5
2. ครกอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน 20 มม. เอ็ม.-103 ชนิดขึ้นเดี่ยว	6
3. ตัวรองรับครกอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน	7
4. ครกอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน 20 มม. เอ็ม.-103 ชนิดสองชั้น	8
5. ครกฯชนิดสองชั้น แสดงแผนแบบงานสร้างก่อนการล่วมกัน	9
6. ครกอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน เมื่อล่วมอยู่ในตัวรองรับฯ	10
7. กรรมวิธีในการผลิตปลอกกระสุน 20 มม. เอ็ม.-103	11
8. กรรมวิธีในการผลิตปลอกกระสุน 20 มม. เอ็ม.-103 (ต่อ)	12
9. ปลอกกระสุนในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการอัดช่องขนวนท้าย	13
10. ปฏิบัติการในการอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน ขณะเมื่อไม่มีปลอกกระสุน	15
11. ปฏิบัติการในการอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน ขณะเมื่อมีปลอกกระสุน	16
12. การพิจารณาความเค้นในทรงกระบอกกลวงผนังหนา	17
13. การพิจารณาการหดตัวและการขยายตัวในแนวรัศมี	23
14. การกระจายของความเค้นในแนวเส้นรอบวง โดยตลอดครกฯพร้อม ตัวรองรับฯ อันเนื่องมาจากความดันภายใน จากการอัดช่องขนวน ท้ายปลอกกระสุน	30
15. การอบชุบเหล็กทำเครื่องมือ	35
16. เครื่องมือในการอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน	41
17. ผลการทดลองครกฯชนิดขึ้นเดี่ยว วัสดุ AISI D3	45
18. ผลการทดลองครกฯชนิดขึ้นเดี่ยว วัสดุ AISI D2	47
19. เปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่าง AISI D3 กับ AISI D2 ณ ความแข็ง 59.7 ± 0.2 HRC	48

รูปที่

20. เปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่าง AISI D3 กับ AISI D2 ณ ความแข็ง 59.2 ± 0.2 HRC	49
21. เปรียบเทียบอายุการใช้งานระหว่าง AISI D3 กับ AISI D2 ณ ความแข็ง 58.7 ± 0.2 HRC	50
22. แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับ Diametral Interference (I_2) ของครกฯชนิดสองชั้น	60
23. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯ (δ_1) กับ Diametral Interference ระหว่างครกฯและตัวรองรับฯ (I_1)	62
24. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯ ชั้นใน (δ_2) กับ Diametral Interference ระหว่างครกฯชั้นใน และครกฯชั้นนอก (I_2)	64
25. แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับ ผลลัพธ์ของ Residual Stress (σ_R)	66
26. แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับ ผลลัพธ์ของ Residual Stress (σ_{R29}) เฉพาะครกฯที่ชำรุดเพราะเหตุครกฯชั้นในแตกร้าว และสึกหรอ	67
27. แสดงอายุการใช้งาน เทียบกับ ผลลัพธ์ของ Residual Stress (σ_{R35}) เฉพาะครกฯที่ชำรุดเพราะเหตุครกฯชั้นนอกแตกร้าว และสึกหรอ	68
28. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯ (δ_1) กับ Diametral Interference ระหว่างครกฯชั้นใน และครกฯ ชั้นนอก (I_2)	74
29. การกระจายของ Residual Stress โดยตลอดครกฯพร้อมตัวรองรับฯ กรณีอยู่ในภาวะที่เหมาะสม	75



สัญลักษณ์และคำย่อ

ครกฯ	ครกอัดช่องขนวนท้ายปลอกกระสุน (Heading Die)
ครกฯพร้อมตัวรองรับฯ	ครกฯเมื่อสวมพร้อมอยู่ในตัวรองรับฯ เรียบร้อย
ตัวรองรับฯ	ตัวรองรับของครกฯ (Heading Ring) ซึ่งประกอบด้วย ตัวรองรับชั้นใน เมื่อสวมพร้อมอยู่ในตัวรองรับชั้นนอก เรียบร้อย
มม., mm.	มิลลิเมตร
เอ็ม-103, M-103	แบบของปลอกกระสุนปืนขนาด 20 มม. ชนิดหนึ่งของสหรัฐอเมริกา ซึ่งใช้กับกระสุนปืนขนาด 20 มม. ขนวนไฟฟ้า สำหรับปืนใหญ่อากาศและปืนต่อสู้อากาศยาน
AV., av.	ค่าเฉลี่ย
$^{\circ}\text{C}$	องศาเซลเซียส
cm/s	เซนติเมตรต่อวินาที
D , ϕ	เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)
D_i , D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ตามลำดับ
D_1	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกฯ \cong 29 มม.
D_2	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของครกชั้นนอก \cong 35 มม.
D_3	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวรองรับฯ \cong 55 มม.
D_4	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของตัวรองรับชั้นนอก \cong 95 มม.
D_5	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของตัวรองรับฯ \cong 130 มม.
E	โมดูลัสความยืดหยุ่น
hr.	ชั่วโมง

HRA.	Rockwell Hardness Number scale A
HRC., HRC	Rockwell Hardness Number scale C
HV.	Vicker Hardness Number
I	Diametral Interference
I_1	I ระหว่างครกกับตัวรองรับ
I_2	I ระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก (สำหรับครกขุ่น สองชั้น)
I_3	I ระหว่างตัวรองรับชั้นในกับตัวรองรับชั้นนอก
I.D., O.D.	ครกชั้นใน (Inner Die) และครกชั้นนอก (Outer Die) ตามลำดับ
ksi.	กิโลปอนด์ต่อตารางนิ้ว (1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
kg/mm^2	กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร , $1 \text{ ksi} \approx 0.70307 \text{ kg/mm}^2$
MAX.	ค่าสูงสุด
MIN.	ค่าต่ำสุด
min.	นาที
p	ความดัน
p_i , p_o	ความดันภายใน และความดันภายนอก ตามลำดับ
p_s	Shrink - Fit Pressure
p_{s_1}	Shrink - Fit Pressure ระหว่างครกกับตัวรองรับ
p_{s_2}	Shrink - Fit Pressure ระหว่างครกชั้นในกับครก ชั้นนอก
p_{s_3}	Shrink - Fit Pressure ระหว่างตัวรองรับชั้นใน กับตัวรองรับชั้นนอก

r	รัศมี
v	อัตราส่วนปัวซอง
ϵ	ความเครียด (Strain)
δ	ระยะยัดหรือหดตัวในแนวรัศมี (Radial Deflection)
δ_r	δ ที่รัศมี r
δ_D	ระยะยัดหรือหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diametral Deflection) = $2\delta_r$
δ_{D_i}	ระยะยัดหรือหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน
δ_1	δ_{D_i} ของครกฯ เป็นการหดตัวของ D_1 หรือ D_i (ของครกฯ) อันเนื่องมาจากการลู่ร่วมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ
δ_2	δ_{D_i} ของครกชั้นใน สำหรับครกฯชนิดสองชั้น เป็นการหดตัวของ D_1 หรือ D_i (ของครกชั้นใน สำหรับครกฯชนิดสองชั้น) อันเนื่องมาจากการลู่ร่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก
σ	ความเค้น (Stress)
σ_r	ความเค้นในแนวรัศมี (Radial Stress)
σ_t	ความเค้นในแนวเส้นรอบวง (Tangential or Circumferential or Hoop Stress)
σ_1	σ_t ตกค้าง (Residual Stress) อันเนื่องมาจากการลู่ร่วมกันระหว่างครกฯกับตัวรองรับฯ
σ_2	σ_t ตกค้าง อันเนื่องมาจากการลู่ร่วมกันระหว่างครกชั้นในกับครกชั้นนอก
σ_3	σ_t ตกค้าง อันเนื่องมาจากการลู่ร่วมกันระหว่างตัวรองรับชั้นในกับตัวรองรับชั้นนอก

σ_{129}	σ_1 ที่ D_1 หรือที่ \emptyset 29 มม. หรือที่ผิวภายในของครกฯ
σ_{135}	σ_1 ที่ D_2 หรือที่ \emptyset 35 มม.
σ_{155}	σ_1 ของตัวรองรับฯ ที่ D_3 หรือที่ \emptyset 55 มม. หรือที่ผิวภายในของตัวรองรับฯ
σ_{155_i}	σ_1 ของครกฯที่ D_3 หรือที่ \emptyset 55 มม. หรือที่ผิวภายนอกของครกฯ
σ_{142} , σ_{175} , σ_{195} , σ_{1115} & σ_{1130}	คือ σ_1 ที่ \emptyset 42 มม. , \emptyset 75 มม. , \emptyset 95 มม. , \emptyset 115 มม. และ \emptyset 130 มม. ตามลำดับ
σ_{229}	σ_2 ที่ D_1 หรือที่ \emptyset 29 มม. หรือที่ผิวภายในของครกชั้นใน
σ_{235}	σ_2 ที่ D_2 หรือที่ \emptyset 35 มม. หรือที่ผิวภายในของครกชั้นนอก
σ_{235_i}	σ_2 ที่ D_2 หรือที่ \emptyset 35 มม. หรือที่ผิวภายนอกของครกชั้นใน
σ_{242} , σ_{255}	σ_2 ที่ \emptyset 42 มม. และ \emptyset 55 มม. ตามลำดับ
σ_{355} , σ_{375} , σ_{3115} & σ_{3130}	คือ σ_3 ที่ \emptyset 55 มม. , \emptyset 75 มม. , \emptyset 115 มม. , \emptyset 130 มม. ตามลำดับ
σ_{395}	σ_3 ของตัวรองรับชั้นนอก ที่ D_4 หรือที่ \emptyset 95 มม. หรือที่ผิวภายในของตัวรองรับชั้นนอก
σ_{395_i}	σ_3 ของตัวรองรับชั้นใน ที่ D_4 หรือที่ \emptyset 95 มม. หรือที่ผิวภายนอกของตัวรองรับชั้นใน
σ_R	ผลลัพธ์ของ σ_t ตกค้าง (Resultant Residual Tangential Stress) เมื่อยังไม่คิดความเค้นจาก P_i (อันเนื่องมาจากการอัดช่องขนานท้ายปลอกกระสุน)

$$\sigma_{R_{29}} \quad \sigma_R \text{ ณ } D_1 \text{ หรือ } \emptyset 29 \text{ มม.} = \sigma_{1_{29}} + \sigma_{2_{29}}$$

$$\sigma_{R_{35}} \quad \sigma_R \text{ ของครกชั้นนอก ณ } D_2 \text{ หรือ } \emptyset 35 \text{ มม.} \\ = \sigma_{1_{35}} + \sigma_{2_{35}}$$

$$\sigma_{R_{35_i}} \quad \sigma_R \text{ ของครกชั้นใน ณ } D_2 \text{ หรือ } \emptyset 35 \text{ มม.} \\ = \sigma_{1_{35}} + \sigma_{2_{35_i}}$$

$$\sigma_{R_{55}} \quad \sigma_R \text{ ของตัวรองรับ ณ } D_3 \text{ หรือ } \emptyset 55 \text{ มม.} \\ = \sigma_{1_{55}} + \sigma_{3_{55}}$$

$$\sigma_{R_{55_i}} \quad \sigma_R \text{ ของครก ณ } D_3 \text{ หรือ } \emptyset 55 \text{ มม.} = \sigma_{1_{55_i}} + \sigma_{2_{55}}$$

$$\sigma_{R_{95}} \quad \sigma_R \text{ ของตัวรองรับชั้นนอก ณ } D_4 \text{ หรือ } \emptyset 95 \text{ มม.} \\ = \sigma_{1_{95}} + \sigma_{3_{95}}$$

$$\sigma_{R_{95_i}} \quad \sigma_R \text{ ของตัวรองรับชั้นใน ณ } D_4 \text{ หรือ } \emptyset 95 \text{ มม.} \\ = \sigma_{1_{95}} + \sigma_{3_{95_i}}$$

$$\sigma_{R_{130}} \quad \sigma_R \text{ ของตัวรองรับ ณ } D_5 \text{ หรือ } \emptyset 130 \text{ มม.} \\ = \sigma_{1_{130}} + \sigma_{3_{130}}$$