



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2021 00721**

(22) Data de depozit: **26/11/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2022 BOPI nr. **5/2022**

(71) Solicitant:
• **COMPANIA NAȚIONALĂ ROMARM S.A.**,
BD. TIMIȘOARA, NR. 5B, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• **BRATU CRISTIAN MIHAI ION**,
BD. SCHITU MĂGUREANU, NR. 27-33,
BL. DIHAM, SC. C, ET. 2, AP. 110, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **CĂRCEĂNU IRINA**, STR. POLITEHNICII,
NR. 1, BL. 11, SC. B, AP. 19, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **BOTIȘ HORIA RĂZVAN**, STR. CLOȘCA,
NR. 3, BISTRITA, BN, RO;
• **SIMION IONUȚ**,
ALEEA PARĂȘUȚIȘTILOR, NR. 2, BL. 132A,
SC. A, ET. 2, AP. 9, PLOIEȘTI, PH, RO;

• **SAVASTRE ALEXANDRU**,
STR. TRAIAN VUIA, NR. 35, BL. N21, AP. 61,
GALAȚI, GL, RO;
• **FRĂȚILA CĂTALIN**, STR. CAȘIN, NR. 3,
BL. G2B, SC. B, ET. 1, AP. 24, CONSTANȚA,
CT, RO;
• **BOLOJAN ADRIAN**, ȘOS. STRĂULEȘTI,
NR. 60, BL. B1, SC. A, ET. 1, AP. 4,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **ROSCA VALERICĂ**,
STR. TOMA TÂMPEANU, NR. 205,
COMUNA GALBENU, BR, RO;
• **SURDU GEORGE**, STR. MONUMENTULUI,
NR. 8, COMUNA CUMPĂNA, CT, RO

Această publicație include și modificările descrierii,
revendicărilor și desenelor depuse conform art. 35 alin.
(2) din HG nr. 547/2008

(54) **TEHNOLOGIE DE FABRICAȚIE A BARELOR DIN OȚEL
DURIFICABIL PRIN PRECIPITARE MARAGING 300
PENTRU REALIZAREA PROIECTILULUI CALIBRU 30 MM**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de fabricație a barelor din oțel durificabil prin precipitare Maraging 300 necesare realizării proiectilelor perforant-trasoare calibrul 30 mm tip AP - T. Procedeu conform invenției are următoarele etape:

1) elaborarea într-un cuptor cu inducție în vid CIA a unui oțel Maraging 300 urmat de dublă retopire în atmosferă vidată pe instalația de retopire RAV și turnarea în lingou,

2) laminarea la cald sau forjarea lingoului până la obținerea unui electrod cu diametrul de $\phi = 50$ mm în stare recoaptă și cojită, temperatura de sfârșit de deformare fiind de 800°C cu răcire în apă,

3) se aplică un tratament termic de înmuiere cu punere în soluție la o temperatură de 830°C timp de minim 40 minute și răcire în apă,

4) realizarea unei deformări plastice severe îndouă etape cu reducerea secțiunii de la $\phi = 50$ mm la $\phi = 32$ mm, reducerea pe secțiune fiind de 60%, prin forjare radială la rece cu schimbarea sensului de deformare în scopul apariției și dezvoltării efectului Bausinger, astfel: o primă etapă de deformare la rece cu reducerea pe secțiune de 42% de la $\phi 50$ mm la $\phi 42$ mm și în final la $\phi 38$ mm, urmată de schimbarea sensului de deformare și de a doua etapă de deformare cu reducerea pe secțiune de 30% de la $\phi 38$ mm la $\phi 34$ mm și în final la $\phi 32$ mm,

5) tratament termic de punere în soluție la o temperatură de 820°C timp de 15 minute cu răcire în apă,

6) debitarea de precizie la greutatea proiectilului calibrul 30 mm cu toleranțe pozitive,

7) formarea finală la rece a proiectilului prin forjare rotativă cu scule profilate,

8) degresare,

9) tratament termic final cu dublă precipitare la o temperatură de 450°C timp de 4 ore cu răcire în aer și

10) controlul final dimensional al proiectilului, controlul durtății pe secțiune și analiza metalografică a structurii mărimii de grăunte.

Revendicări inițiale: 3

Revendicări amendate: 1

Figuri: 4

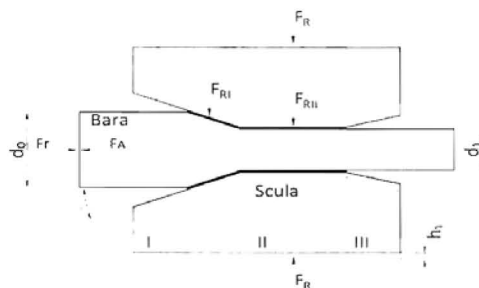
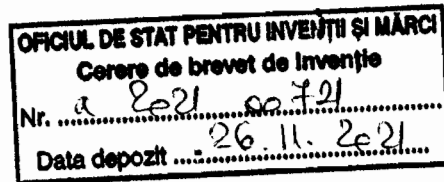


Fig. 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art. 32 din Legea nr. 64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art. 23 alin. (1) - (3).





DESCRIEREA INVENȚIEI

1. Domeniul invenției

Prezenta invenție se referă la o tehnologie inovativă de realizare a barelor din care se obțin proiectilele perforant-trasoare calibru 30 mm, tip AP-T (Armor Piercing Tracer) din oțel de înaltă rezistență, durificabil prin precipitare, de tip Maraging 300, cu granulație extrafină.

Scopul tehnologiei îl constituie optimizarea caracteristicilor mecanice de perforare, ale proiectilelor calibru 30 mm, ca urmare a utilizării unui oțel durificabil prin precipitare, care prezintă granulație feritică extrafină, cu structură complet martensitică în care sunt evidențiate precipitate intermetalice fine, uniform distribuite.

2. Situația actuală

Proiectilele perforant-trasoare, folosite ca muniție pentru tunurile actuale, au avut o dezvoltare considerabilă în ultimii ani, deoarece prezintă un risc scăzut de accidente pirotehnice, au un cost de producție scăzut și prezintă siguranță suplimentară în depozitare. Utilizarea aliajelor de mare densitate, care au rol de optimizare a caracteristicile mecanice ale proiectilelor perforant trasoare, în combinație cu o creștere a vitezei proiectilului, a făcut posibilă producerea de proiectile din ce în ce mai eficiente. O perioadă foarte mare de timp s-au utilizat și încă se mai utilizează oțeluri speciale îmbunătățite, care provin din oțeluri de scule, utilizate pentru lucrul la rece.

Produsele de ultimă generație dezvoltate până în acest moment cuprind următoarele categorii de aliaje:

- Aliaje pe bază de uraniu sărăcit, cu care este posibil să se obțină o densitate de aproape 19g/cm^3 și o ductilitate bună. Utilizarea unor astfel de aliaje este atractivă datorită necesității de eliminare a stocurilor de uraniu sărăcit, generate de industria nucleară, dar apar probleme legate de protecția mediului, prin faptul că prin folosirea acestui tip de muniție se contaminează suprafețe de sol/aer/apă, care devin improprii utilizării pentru o perioadă inacceptabilă de timp (timpul de înjumătățire al uraniului radioactiv este de aproximativ 10.000 de ani);
- Aliaje dure sinterizate WC-Co, cu baza de carbură de wolfram care conțin cca. 13%-15% cobalt. Acest aliaj are dezavantajul, față de cel prezentat anterior, de a avea o densitate de până la 14g/cm^3 , ceea ce este insuficient pentru anumite utilizări. Mai mult, nivelul său scăzut de ductilitate poate fi un handicap din punctul de vedere al străpungerii țintelor multistrat;
- Aliaje grele pe bază de wolfram, produse prin tehnici specifice metalurgiei pulberilor. Wolframul utilizat la prepararea unor astfel de aliaje conține impurități, ceea ce conduce la o ductilitate redusă, iar prelucrarea aliajului este delicată, acești factori constituind un impediment major pentru utilizarea acestuia. Alte aliaje de wolfram combinate cu nichel, cupru și/sau fier, permit realizarea aliajelor grele de tip W-Ni-Cu/W-Ni-Fe, care prezintă proprietăți relativ bine controlate funcție de destinația/utilizările acestor aliaje. De exemplu, aliajele W-Ni-Cu, care au o densitate cuprinsă între aproximativ $17,5\text{-}18,5\text{g/cm}^3$, au o ductilitate medie, care este o caracteristică atractivă din punctul de vedere al fragmentării proiectilului.

În cazul aliajelor W-Ni-Fe, a căror densitate poate fi ajustată și între $17,3\text{-}18,9\text{g/cm}^3$ prin variația conținutului de wolfram (93% până la 97%, procente greutate), ductilitatea acestor aliaje poate fi modificată ca o funcție a raportului Fe/Ni. Trebuie remarcat faptul că un astfel de proces suferă următoarele dezavantaje majore: pe de o parte, operațiunile de prelucrare a semifabricatului după sinterizare au ca rezultat o pierdere substanțială de material (care au valori ridicate de achiziție, acestea făcând parte din categoria materialelor strategice), care are un efect negativ asupra prețului de cost al proiectilelor, fără a menționa și costurile cu forța de muncă pe care le implică. Proiectilele sunt supuse unor forțe diferite care acționează asupra lor în timpul

tragerilor (ceea ce determină o distribuție neuniformă și o neomogenitate a materialului), care includ:

- (i) solicitări mecanice la șoc atunci când proiectilele sunt lansate cu o viteză mare din țeava tunului;
- (ii) solicitări elastice foarte mari în timpul fazei de accelerație în țeava tunului;
- (iii) diverse solicitări la impact cu ținta multistrat, care conduce la apariția fenomenelor de compresie, și implicit la creșterea temperaturii.

Mai mult, este de dorit ca în faza finală de perforare a unei ținte (după ce a străpuns ținta), proiectilele să se fragmenteze, să creeze schije cât mai multe, pentru a-și crește capacitatea de distrugere.

Pentru testarea și fabricația acestui tip de muniție, s-a utilizat în mod frecvent un oțel cu conținut ridicat de carbon (conform AISI 4340) care a permis obținerea unei durități semnificative și a împiedicat fragmentarea proiectilului la contactul cu ținta. Efectul distructiv a fost observat la încărcarea proiectilelor perforant-trasoare calibru 30 mm, tip AP-T la fel ca în cazul proiectilele convenționale - provocând daune majore datorită efectului de tip "spalling" (rupere, fragmentare blindaj).

În timpul celui de-al doilea război mondial pe câmpul tactic de luptă au apărut tancuri și alte vehicule blindate din ce în ce mai bine protejate și, prin urmare, a fost necesar să se construiască arme capabile să rupă armuri mai puternice. Pentru creșterea energiei cinetice a proiectilului perforant prin creșterea vitezei de tragere, cea mai simplă soluție aplicată a constat în creșterea cantității de pulbere explozivă. O astfel de soluție s-a dovedit a fi nepotrivită și costisitoare, întrucât o cantitate mai mare de combustibil incendiar ar conduce la construirea unui tub cartuș capabil să depoziteze o masă mai mare de pulbere, ceea ce implică construcția de tunuri mai voluminoase și cu o cadență mai mică de tragere. Ideea de a crește viteza proiectilului perforant prin reducerea calibrului proiectilului și micșorarea masei proiectilului, a permis fabricația unui nou tip de muniție de tip AP_CR (Armor Piercing Composite Rigid). Acest tip de proiectil a fost realizat dintr-un aliaj dur sinterizat pe bază de WC-Co și a fost sertizat într-un tub cartuș, cu densitate mică, de tipul aliajelor de aluminiu. Lovitura constituită pentru acest tip de muniție a crescut semnificativ viteza proiectilului, deoarece proiectilul a fost propulsat de aceeași cantitate de combustibil ca și muniția convențională și a reușit să spargă blindaje considerabil mai puternice. Dezavantajul major s-a datorat absenței componentelor explozive, care, combinate cu o



5. DESCRIEREA DETALIATĂ A INVENȚIEI

Oțelul utilizat în prezenta invenție, este un oțel tip Maraging 300, durificabil prin precipitare. Semifabricatul destinat fabricației corpului penetratorului utilizat la construcția proiectilului AP-T calibru 30 mm este constituit din bară laminată din oțel Maraging, conform ASTM A 579, având ϕ 50mm, în stare recoaptă și cojită. Elaborarea oțelului s-a realizat prin dublă vidare, pe un cuptor cu inducție în vid și retopire cu electrod consumabil în vid (CIA+RAV).

Compoziția chimică a oțelului Maraging 300, exprimată în procente, este prezentată în 2 (două) variante corespunzătoare șarjelor de material:

Varianta 1:

C: 0,025%;
Ni: 18,6%;
Co: 8,8%;
Mo: 5,1%;
Ti: 0,72%;
Al: 0,12%;
Si: 0,06%;
Mn: 0,08%;
P: 0,008%;
S: 0,0028%;
Zr: 0,02%;

Varianta 2:

C: 0,028%;
Ni: 17,9%;
Co: 8,6%;
Mo: 4,8%;
Ti: 0,96%;
Al: 0,14%;
Si: 0,08%;

Notă: După tratamentul termic final de dublă precipitare la 450°C/4h/aer duritatea înregistrează valori în intervalul (52-54)HRC.

Bara laminată /forjată și cojită a suportat tratament termic de „punere în soluție”. În stare pusă în soluție, duritatea a înregistrat valori cuprinse în intervalul (30-32) HRC.

Bara tratată termic a fost supusă deformării plastice severe la rece (SPD) cu un grad total de deformare de peste 60% (la ϕ 50mm \rightarrow ϕ 42mm \rightarrow ϕ 38mm \rightarrow ϕ 34mm \rightarrow ϕ 32mm) și cu schimbarea sensului de deformare de la ϕ 38mm.

Schimbarea sensului de deformare la rece a fost utilă și necesară din două puncte de vedere:

- posibilitatea tehnologică de realizare a gradului de deformare de 60%, exprimat prin formula $E\% = [S_{\text{initial}} - S_{\text{final}}] / S_{\text{initial}} \times 100$, unde S_{initial} - secțiunea inițială a barei, S_{final} - secțiunea finală, prin exploatarea efectului Bauschinger.

-finisarea puternică a granulației prin mărirea vitezei de germinare în dauna vitezei de creștere a noilor germeni de recristalizare.

Schimbarea sensului de deformare la \varnothing 38mm a condus la micșorarea puternică a densității în dislocații, creându-se astfel condițiile pentru deformare severă fără tratament termic de înmuiere până la un grad de 60% (\varnothing 32mm).

Dupa deformarea plastică severă cu sensuri diferite de deformare prin forjare radială la rece a urmat tratamentul termic de punere în soluție efectuat la 820° Celsius/15 min/racire: apa.

Pe barele din oțel Maraging 300 realizate în cele 2 variante compoziționale, tratate termic, deformat plastic, supuse ulterior tratamentului termic de punere în soluție, urmat de dublă precipitare, au fost determinate mărimea de grăunte, duritatea HRC și limita elastică.

De notat că după primul tratament de precipitare la 450°C /240min/răcire în aer, austenita reziduală și martensita, se transformă în martensita de revenire și martensită precipitată, iar după al doilea tratament de precipitare, martensita de revenire și martensita precipitată se transformă în martensită omogenă precipitată. Procesul este prezentat în schema de mai jos:

Tratament termic 830°C/4	Deformare plastic severă cu schimbarea sensului de deformare: 820°C/15 min/ răcire apă;	Tratament termic de dublă precipitare: 450°C/240 min/ aer;
-----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

Pentru cele 2 variante compoziționale care fac obiectul acestui studiu s-au obținut următoarele caracteristici:

VARIANTA 1			
Granulație (μm)	10,7 \pm 0,8	2,9 \pm 0,1	-
Duritate HRC	31 HRC	32HRC	52 HRC
Limita elastică $R_{p0,2}$ [MPa]	-	-	1960 MPa
VARIANTA 2			
Granulație (μm)	8,2 \pm 0,3	2,2 \pm 0,1	-
Duritate HRC	32 HRC	32 HRC	53 HRC
Limita elastică $R_{p0,2}$ [MPa]	-	-	1970 MPa

greutate mai mică, au însemnat mai puține daune cauzate în interiorul țintei. O masă mai mică a proiectilului înseamnă, de asemenea, o scădere mai rapidă a vitezei și, astfel, pierderea energiei cinetice, ceea ce a însemnat o rază de acțiune mai mică și o capacitate mai mică de penetrare pe distanțe mari. În plus, proiectilele AP_CR au o probabilitate mai mare de ricoșeu din blindaj, în special în cazul armurii înclinată (sub anumite unghiuri de incidență). [2]

Este de subliniat că ultimele realizări în domeniul fabricației de proiectile perforante au avut la bază următoarele cerințe:

- mărirea energiei de impact prin creșterea densității materialului, de la cca 8g/cm^3 la $14\text{--}18\text{g/cm}^3$;

- creșterea durității proiectilului, fabricat din pulberi metalice sinterizate, (HRA $92 > 68\text{HRC}$), rezistența la încovoiere, TRS 2800MPa -încercare conf. ASTM C393;

cu următorul inconvenient: ductilitate extrem de scăzută.

Prin urmare, continuă să existe o necesitate majoră pentru un proces nou de fabricație a proiectilelor perforant-trasoare, tip AP-T, care permit remedierea/eliminarea dezavantajelor menționate mai sus. Solicitățile complexe la impact, impun utilizarea unui material accesibil, ieftin, performant și definirea unei noi tehnologii, care să confere proiectilului perforant următoarele caracteristici mecanice de bază:

- limita elastică ridicată, peste 1900Mpa (N/mm^2);
- tenacitate ridicată (reziliență ridicată, $\text{KCV}[\text{J}] > 50\text{J}$);
- rezistență la rupere cu fisura pre-existentă, în stare plană de tensiuni și deformații, $K_{Ic}[\text{Mpa}\cdot\text{m}^{1/2}] > 50\text{Mpa}\cdot\text{m}^{1/2}$;
- tendința de ecrusare/întărire mică la viteze mari de deformare;
- coeficient de ecrusare $n < 0,03$.

3. REZUMATUL INVENȚIEI

În consecință, un prim obiectiv al prezentei invenții este de a furniza proiectile pentru muniții militare care au caracteristici metalurgice ridicate, care sunt produse printr-un proces mai simplu și care asigură eliminarea materialelor și deșeurilor scumpe din aliaje metalice, sub formă de pulberi (W, WC, Co, Ni, U).

Pe scurt, obiectivele prezentei invenții, pot fi atinse printr-un nou procedeu de fabricație a corpului proiectilului AP-T calibru 30mm , obținut din oțel Maraging 300 sub formă de bară laminată sau

forjată, din lingou elaborat prin dublă vidare, pe cuptor cu inducție în vid (CIA), sub formă de electrod rotund, urmat de retopire în arc și vid pe instalație de retopire (RAV).

Principalele etape tehnologice inovative de fabricație vor fi:

1. Elaborare lingou oțel maraging prin dublă retopire în vid

2. Laminare la cald sau forjare, rotund 50 mm:

- temperatura de sfârșit de deformare (laminare sau forjare) 800°Celsius.

- răcire: apă

3. T.T de înmuiere (punere în soluție la 830°C/40min/apă)

4. realizarea deformării plastice severe ($\emptyset 50\text{mm}-\emptyset 32\text{mm}$) cu reducere pe secțiune $E\% = [S_{\text{initial}} - S_{\text{final}}] / S_{\text{initial}} \times 100$, unde S=secțiunea barei în mm², la valoarea de E=60%, prin forjare radială la rece, cu exploatarea efectului Bausinger (care constă în schimbarea sensului de deformare).

I-a deformare la rece: $\emptyset 50\text{mm} \rightarrow \emptyset 42\text{mm} \rightarrow \emptyset 38\text{mm}$ (reducere 42%) cu schimbarea sensului de deformare, prin efect Bausinger.

II-a deformare la rece: $\emptyset 38\text{mm} \rightarrow \emptyset 34\text{mm} \rightarrow \emptyset 32\text{mm}$ (reducere 30%):

5. TT de punere în soluție la 820°Celsius/15 min/răcire: apă

6. Debitare de precizie la masa corpului de proiectil calibru 30mm cu toleranțe pozitive.

7. Formarea la rece finală a corpului prin forjare rotativă (swaging machine), cu scule profilate. Prelucrare la cote finale conform desen execuție.

8. Degresare;

9. Tratament termic final constând în dubla precipitare la 450°C, cu menținere 4ore și răcire în aer;

10. Control final:

-dimensional, conform desen;

-duritate pe secțiune;

-analiza metalografică (marimea de graunte);

4.DESCRIERA DESENELOR

Pentru înțelegerea proceselor tehnologice de fabricație prezentate în cadrul prezentei propuneri de brevet și a avantajelor aferente acestora sunt prezentate următoarele figuri ce ilustrează principalele fenomene ce se produc în timpul tragerilor/proceselor de fabricație.

6.REVENDICARI

- 1.Utilizarea otelului Maraging 300 căruia i s-a aplicat deformarea plastica severă la rece prin forjare radiala, $\xi = 60\%$;
- 2.Schimbarea sensului de deformare la o valoare $\xi = 42\%$ în scopul obținerii după tratamentul termic de punere în soluție a granulației extrafine (1-2) μm ;
- 3.Tratament de dublă precipitare (450°C /240min/răcire în aer) aplicat corpului proiectilului penetrator prelucrat mecanic (strunjire, moletare, rectificare) la cote finite.

BIBLIOGRAFIE

1. Yo-Han YOO, Jong-Bong KIM & Chang-Whan LEE - Effects of the Projectile Geometries on Normal and Oblique Penetration Using the Finite Cavity Pressure Method, Applied Science 2019,9,3939;
2. Mr.Andrew Roberts. Optimisation of small arms defeat via dynamic jacket removal, Cranfield University 2016;
3. Jean-Claude Nicolas, Raymond Saulnier. Procces for direct shaping and optimization of mechanical characteristic of penetrating projectiles of high-gense tungsten alloys. Patent Number: 5.069.869, Dec. 3, 1991;
4. Florian Böhmermann¹, Henning Hasselbruch, Marius Herrmann, Oltmann Riemer¹, Andreas Mehner,Hans-Werner Zoch², and Bernd Kuhfuss ,Dry Rotary Swaging – Approaches for Lubricant Free Process Design, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology Vol. 2, No. 4;
5. K. Watanabe, K. Natori, T. Tanaka & Y. Imaida - Study on the Bauschinger effect with increasing of tensile strength in dual phase steel sheets, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 112.
6. Andrea Bachmaier, Thierry Grosdidier & Yulia Ivanisenko - Severe Plastic Deformation and Thermomechanical Processing: Nanostructuring and Properties, Metals 2020,10,1306;

6.REVENDICARI

- 1.Utilizarea otelului Maraging 300 căruia i s-a aplicat deformarea plastica severă la rece prin forjare radiala, $\xi = 60\%$;
- 2.Schimbarea sensului de deformare la o valoare $\xi = 42\%$ în scopul obținerii după tratamentul termic de punere în soluție a granulației extrafine (1-2) μm ;
- 3.Tratament de dublă precipitare (450°C /240min/răcire în aer) aplicat corpului proiectilului penetrator prelucrat mecanic (strunjire, moletare, rectificare) la cote finite.

BIBLIOGRAFIE

1. Yo-Han YOO, Jong-Bong KIM & Chang-Whan LEE - Effects of the Projectile Geometries on Normal and Oblique Penetration Using the Finite Cavity Pressure Method, Applied Science 2019,9,3939;
2. Mr.Andrew Roberts. Optimisation of small arms defeat via dynamic jacket removal, Cranfield University 2016;
3. Jean-Claude Nicolas, Raymond Saulnier. Proces for direct shaping and optimization of mechanical characteristic of penetrating projectiles of high-gense tungsten alloys. Patent Number: 5.069.869, Dec. 3, 1991;
4. Florian Böhmermann¹, Henning Hasselbruch, Marius Herrmann, Oltmann Riemer¹, Andreas Mehner,Hans-Werner Zoch², and Bernd Kuhfuss „Dry Rotary Swaging – Approaches for Lubricant Free Process Design, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology Vol. 2, No. 4;
5. K. Watanabe, K. Natori, T. Tanaka & Y. Imaida - Study on the Bauschinger effect with increasing of tensile strength in dual phase steel sheets, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 112.
6. Andrea Bachmaier, Thierry Grosdidier & Yulia Ivanisenko - Severe Plastic Deformation and Thermomechanical Processing: Nanostructuring and Properties, Metals 2020,10,1306;

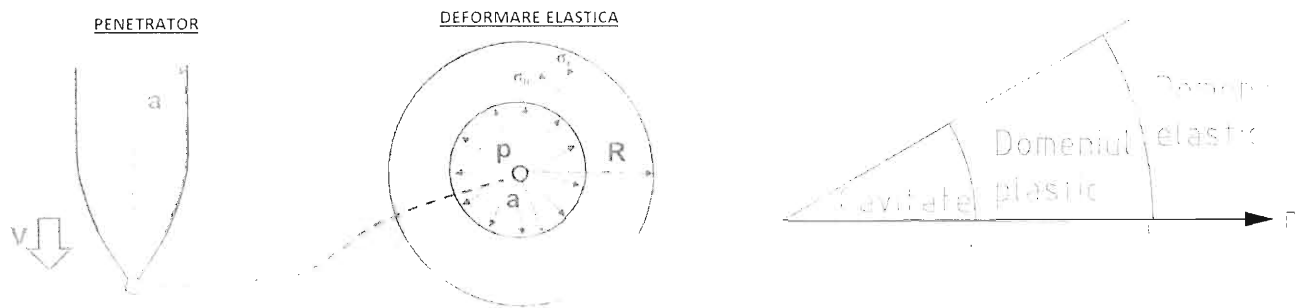


Fig.1 - Expansiunea sferică a cavității funcție de presiune

Cu cât limita elastică este mai mare și apropiată de limita de rupere cu atât expansiunea cavității (și implicit ruperea) se produce cu viteză mai mică.

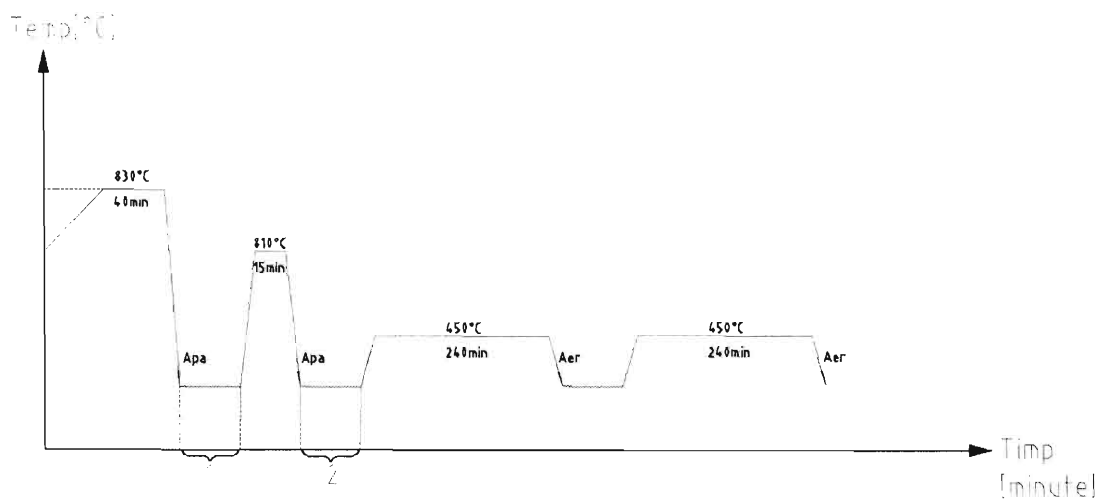
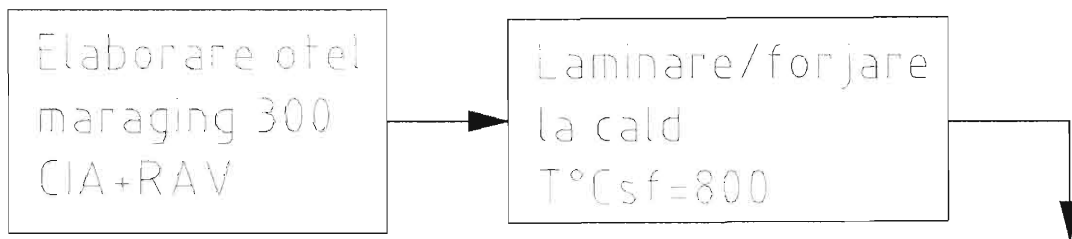


Fig.2 - Schema simplificată a principalelor etape tehnologice

De remarcat simplitatea operațiilor tehnologice - prelucrări prin așchiere și tratamente termice simple ce nu necesită atmosferă de protecție.

el. Siatus

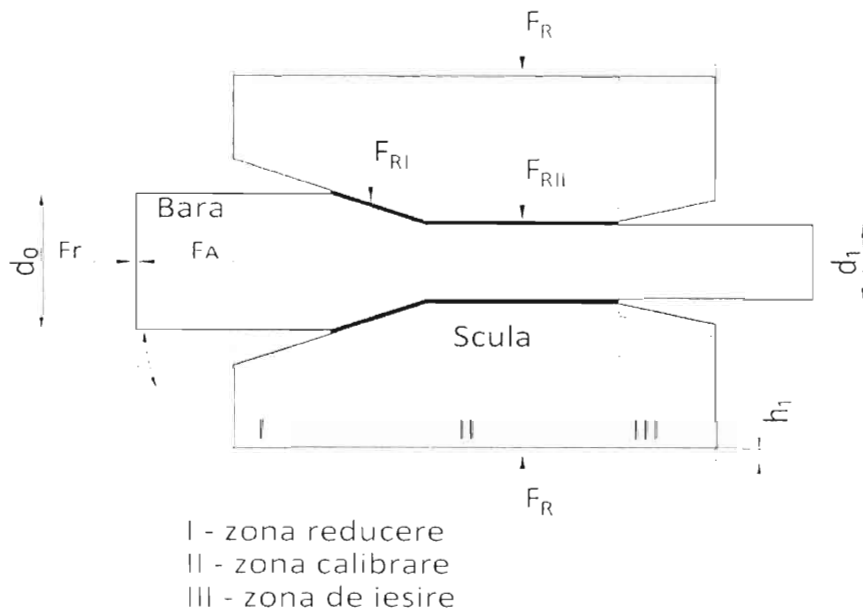


Fig.3 - Procedul de deformare plastică severă prin exploatarea efectului Bauschinger

Se observă că deformarea plastică se realizează prin forjare rotativă iar exploatarea efectului Bauschinger se produce în două etape: o prima etapă în care se realizează o deformare de la $\text{Ø } 50\text{mm} \rightarrow \text{Ø } 42\text{mm} \rightarrow \text{Ø } 38\text{mm}$ (reducere 42%) respectiv etapa a doua, cu schimbare de sens, în care se realizează o deformare de la $\text{Ø } 38\text{mm} \rightarrow \text{Ø } 34\text{mm} \rightarrow \text{Ø } 32\text{mm}$ (reducere 30%).

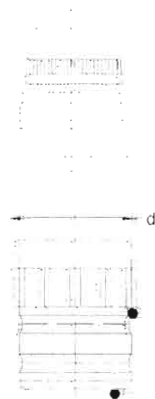


Fig.4 – Geometria finală a penetratorului

Handwritten signature

Procedeu de fabricație a barelor – din oțel durificabil prin precipitare Maraging 300 – pentru realizarea proiectilului calibru 30 mm

DESCRIEREA INVENȚIEI

1. Domeniul invenției

Prezenta invenție se referă la o tehnologie inovativă de realizare a barelor din care se obțin proiectilele perforant-trasoare calibru 30 mm, tip AP-T (Armor Piercing Tracer) din oțel de înaltă rezistență, durificabil prin precipitare, de tip Maraging 300, cu granulație extrafină.

Scopul tehnologiei îl constituie optimizarea caracteristicilor mecanice de perforare, ale proiectilelor calibru 30 mm, ca urmare a utilizării unui oțel durificabil prin precipitare, care prezintă granulație feritică extrafină, cu structură complet martensitică în care sunt evidențiate precipitate intermetalice fine, uniform distribuite.

2. Situația actuală

Proiectilele perforant-trasoare, folosite ca muniție pentru tunurile actuale, au avut o dezvoltare considerabilă în ultimii ani, deoarece prezintă un risc scăzut de accidente pirotehnice, au un cost de producție scăzut și prezintă siguranță suplimentară în depozitare. Utilizarea aliajelor de mare densitate, care au rol de optimizare a caracteristicile mecanice ale proiectilelor perforant trasoare, în combinație cu o creștere a vitezei proiectilului, a făcut posibilă producerea de proiectile din ce în ce mai eficiente. O perioadă foarte mare de timp s-au utilizat și încă se mai utilizează oțeluri speciale îmbunătățite, care provin din oțeluri de scule, utilizate pentru lucrul la rece.

Produsele de ultimă generație dezvoltate până în acest moment cuprind următoarele categorii de aliaje:

- Aliaje pe bază de uraniu sărăcit, cu care este posibil să se obțină o densitate de aproape 19g/cm^3 și o ductilitate bună. Utilizarea unor astfel de aliaje este atractivă datorită necesității de eliminare a stocurilor de uraniu sărăcit, generate de industria nucleară, dar apar probleme legate de protecția mediului, prin faptul că prin folosirea acestui tip de muniție se contaminează suprafețe de sol/aer/apă, care devin improprie utilizării pentru o perioadă inacceptabilă de timp (timpul de înjumătățire al uraniului radioactiv este de aproximativ 10.000 de ani);

- Aliaje dure sinterizate WC-Co, cu baza de carbură de wolfram care conțin cca. 13%-15% cobalt. Acest aliaj are dezavantajul, față de cel prezentat anterior, de a avea o densitate de până la 14 g/cm^3 , ceea ce este insuficient pentru anumite utilizări. Mai mult, nivelul său scăzut de ductilitate poate fi un handicap din punctul de vedere al străpungerii țintelor multistrat;
- Aliaje grele pe bază de wolfram, produse prin tehnici specifice metalurgiei pulberilor. Wolframul utilizat la prepararea unor astfel de aliaje conține impurități, ceea ce conduce la o ductilitate redusă, iar prelucrarea aliajului este delicată, acești factori constituind un impediment major pentru utilizarea acestuia. Alte aliaje de wolfram combinate cu nichel, cupru și/sau fier, permit realizarea aliajelor grele de tip W-Ni-Cu/W-Ni-Fe, care prezintă proprietăți relativ bine controlate funcție de destinația/utilizările acestor aliaje. De exemplu, aliajele W-Ni-Cu, care au o densitate cuprinsă între aproximativ $17,5-18,5 \text{ g/cm}^3$, au o ductilitate medie, care este o caracteristică atractivă din punctul de vedere al fragmentării proiectilului.

În cazul aliajelor W-Ni-Fe, a căror densitate poate fi ajustată și între $17,3-18,9 \text{ g/cm}^3$ prin variația conținutului de wolfram (93% până la 97%, procente greutate), ductilitatea acestor aliaje poate fi modificată ca o funcție a raportului Fe/Ni. Trebuie remarcat faptul că un astfel de proces suferă următoarele dezavantaje majore: pe de o parte, operațiunile de prelucrare a semifabricatului după sinterizare au ca rezultat o pierdere substanțială de material (care au valori ridicate de achiziție, acestea făcând parte din categoria materialelor strategice), care are un efect negativ asupra prețului de cost al proiectilelor, fără a menționa și costurile cu forța de muncă pe care le implică. Proiectilele sunt supuse unor forțe diferite care acționează asupra lor în timpul tragerilor (ceea ce determină o distribuție neuniformă și o neomogenitate a materialului), care includ:

- (i) solicitări mecanice la șoc atunci când proiectilele sunt lansate cu o viteză mare din țeava tunului;
- (ii) solicitări elastice foarte mari în timpul fazei de accelerație în țeava tunului;
- (iii) diverse solicitări la impact cu ținta multistrat, care conduce la apariția fenomenelor de compresie, și implicit la creșterea temperaturii.

Mai mult, este de dorit ca în faza finală de perforare a unei ținte (după ce a străpuns ținta), proiectilele să se fragmenteze, să creeze schije cât mai multe, pentru a-și crește capacitatea de distrugere. Pentru testarea și fabricația acestui tip de muniție, s-a utilizat în mod frecvent un oțel cu conținut

ridicat de carbon (conform AISI 4340) care a permis obținerea unei durități semnificative și a împiedicat fragmentarea proiectilului la contactul cu ținta. Efectul distructiv a fost observat la încărcarea proiectilelor perforant-trasoare calibru 30 mm, tip AP-T la fel ca în cazul proiectilele convenționale - provocând daune majore datorită efectului de tip "spalling" (rupere, fragmentare blindaj).

În timpul celui de-al doilea război mondial pe câmpul tactic de luptă au apărut tancuri și alte vehicule blindate din ce în ce mai bine protejate și, prin urmare, a fost necesar să se construiască arme capabile să rupă armuri mai puternice. Pentru creșterea energiei cinetice a proiectilului perforant prin creșterea vitezei de tragere, cea mai simplă soluție aplicată a constat în creșterea cantității de pulbere explozivă. O astfel de soluție s-a dovedit a fi nepotrivită și costisitoare, întrucât o cantitate mai mare de combustibil incendiar ar conduce la construirea unui tub cartuș capabil să depoziteze o masă mai mare de pulbere, ceea ce implică construcția de tunuri mai voluminoase și cu o cadență mai mică de tragere. Ideea de a crește viteza proiectilului perforant prin reducerea calibrului proiectilului și micșorarea masei proiectilului, a permis fabricația unui nou tip de muniție de tip AP_CR (Armor Piercing Composite Rigid). Acest tip de proiectil a fost realizat dintr-un aliaj dur sinterizat pe bază de WC-Co și a fost sertizat într-un tub cartuș, cu densitate mică, de tipul aliajelor de aluminiu. Lovitura constituită pentru acest tip de muniție a crescut semnificativ viteza proiectilului, deoarece proiectilul a fost propulsat de aceeași cantitate de combustibil ca și muniția convențională și a reușit să spargă blindaje considerabil mai puternice. Dezavantajul major s-a datorat absenței componentelor explozive, care, combinate cu o greutate mai mică, au însemnat mai puține daune cauzate în interiorul țintei. O masă mai mică a proiectilului înseamnă, de asemenea, o scădere mai rapidă a vitezei și, astfel, pierderea energiei cinetice, ceea ce a însemnat o rază de acțiune mai mică și o capacitate mai mică de penetrare pe distanțe mari. În plus, proiectilele AP_CR au o probabilitate mai mare de ricoșeu din blindaj, în special în cazul armurii înclinate (sub anumite unghiuri de incidență). [2]

Este de subliniat că ultimele realizări în domeniul fabricației de proiectile perforante au avut la bază următoarele cerințe:

- mărirea energiei de impact prin creșterea densității materialului, de la cca 8g/cm³ la 14-18 g/cm³;
 - creșterea durității proiectilului, fabricat din pulberi metalice sinterizate, (HRA 92>68HRC), rezistența la încovoiere, TRS 2800MPa -încercare conf. ASTM C393;
- cu următorul inconvenient: ductilitate extrem de scăzută.

Prin urmare, continuă să existe o necesitate majoră pentru un proces nou de fabricație a proiectilelor perforant-trasoare, tip AP-T, care permit remedierea/eliminarea dezavantajelor menționate mai sus. Solicitățile complexe la impact, impun utilizarea unui material accesibil, ieftin, performant și definirea unei noi tehnologii, care să confere proiectilului perforant următoarele caracteristici mecanice de bază:

- limita elastică ridicată, peste 1900 Mpa (N/mm^2);
- tenacitate ridicată (reziliență ridicată, $KCV[J] > 50 J$);
- rezistență la rupere cu fisura pre-existentă, în stare plană de tensiuni și deformații, $K_{Ic}[Mpa.m^{1/2}] > 50 Mpa.m^{1/2}$;
- tendința de ecruisare/întărire mică la viteze mari de deformare;
- coeficient de ecruisare $n < 0,03$.

3. Descrierea detaliată a invenției

Oțelul utilizat în prezenta invenție, este un oțel tip Maraging 300, durificabil prin precipitare. Semifabricatul destinat fabricației corpului penetratorului utilizat la construcția proiectilului AP-T calibru 30 mm este constituit din bară laminată din oțel Maraging, conform ASTM A 579, având ϕ 50mm, în stare recoaptă și cojită. Elaborarea oțelului s-a realizat prin dublă vidare, pe un cuptor cu inducție în vid și retopire cu electrod consumabil în vid (CIA+RAV).

Compoziția chimică a oțelului Maraging 300, exprimată în procente, este prezentată în 2 (două) variante corespunzătoare șarjelor de material:

Varianta 1:

C: 0,025%;
Ni: 18,6%;
Co: 8,8%;
Mo: 5,1%;
Ti: 0,72%;
Al: 0,12%;
Si: 0,06%;
Mn: 0,08%;
P: 0,008%;
S: 0,0028%;
Zr: 0,02%;

Varianta 2:

C: 0,028%;
Ni: 17,9%;
Co: 8,6%;
Mo: 4,8%;
Ti: 0,96%;
Al: 0,14%;
Si: 0,08%;

Notă: După tratamentul termic final de dublă precipitare la 450°C/4h/aer duritatea înregistrează valori în intervalul (52-54)HRC.

Bara laminată /forjată și cojită a suportat tratament termic de „punere în soluție”. În stare pusă în soluție, duritatea a înregistrat valori cuprinse în intervalul (30-32) HRC.

Bara tratată termic a fost supusă deformării plastice severe la rece (SPD) cu un grad total de deformare de peste 60% (la Ø 50mm → Ø 42mm → Ø 38mm → Ø 34mm → Ø 32mm) și cu schimbarea sensului de deformare de la Ø 38mm.

Schimbarea sensului de deformare la rece a fost utilă și necesară din două puncte de vedere:

- posibilitatea tehnologică de realizare a gradului de deformare de 60%, exprimat prin formula $E\% = \frac{S_{\text{initial}} - S_{\text{final}}}{S_{\text{initial}}} \times 100$, unde S_{initial} - secțiunea inițială a barei, S_{final} - secțiunea finală, prin exploatarea efectului Bauschinger.

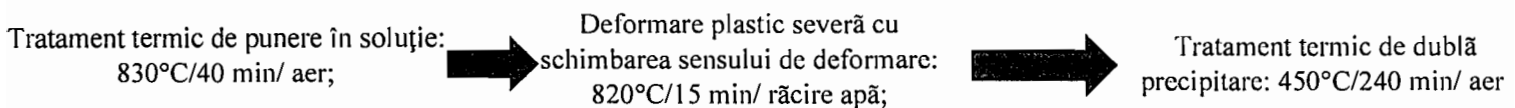
-finisarea puternică a granulației prin mărirea vitezei de germinare în dauna vitezei de creștere a noilor germeni de recristalizare.

Schimbarea sensului de deformare la Ø 38mm a condus la micșorarea puternică a densității în dislocații, creându-se astfel condițiile pentru deformare severă fără tratament termic de înmuiere până la un grad de 60% (Ø 32mm).

Dupa deformarea plastică severă cu sensuri diferite de deformare prin forjare radială la rece a urmat tratamentul termic de punere în soluție efectuat la 820° Celsius/15 min/racire: apa.

Pe barele din oțel Maraging 300 realizate în cele 2 variante compoziționale, tratate termic, deformate plastic, supuse ulterior tratamentului termic de punere în soluție, urmat de dublă precipitare, au fost determinate mărirea de grăunte, duritatea HRC și limita elastică.

De notat că după primul tratament de precipitare la 450°C /240min/răcire în aer, austenita reziduală și martensita, se transformă în martensita de revenire și martensită precipitată, iar după al doilea tratament de precipitare, martensita de revenire și martensita precipitată se transformă în martensită omogenă precipitată. Procesul este prezentat în schema de mai jos:



Pentru cele 2 variante compoziționale care fac obiectul acestui studiu s-au obținut următoarele caracteristici:

VARIANTA 1			
Granulație (μm)	10,7±0,8	2,9±0,1	-
Duritate HRC	31 HRC	32HRC	52 HRC
Limita elastică R_{p0,2} [MPa]	-	-	1960 MPa
VARIANTA 2			
Granulație (μm)	8,2±0,3	2,2±0,1	-
Duritate HRC	32 HRC	32 HRC	53 HRC
Limita elastică R_{p0,2} [MPa]	-	-	1970 MPa

BIBLIOGRAFIE

1. Yo-Han YOO, Jong-Bong KIM & Chang-Wan LEE - Effects of the Projectile Geometries on Normal and Oblique Penetration Using the Finite Cavity Pressure Method, Applied Science 2019,9,3939;
2. Mr.Andrew Roberts. Optimisation of small arms defeat via dynamic jacket removal, Cranfield University 2016;
3. Jean-Claude Nicolas, Raymond Saulnier. Procces for direct shaping and optimization of mechanical characteristic of penetrating projectiles of high-gense tungsten alloys. Patent Number: 5.069.869, Dec. 3, 1991;
4. Florian Böhmermann¹, Henning Hasselbruch, Marius Herrmann, Oltmann Riemer¹, Andreas Mehner,Hans-Werner Zoch², and Bernd Kuhfuss ,Dry Rotary Swaging – Approaches for Lubricant Free Process Design, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology Vol. 2, No. 4;
5. K. Watanabe, K. Natori, T. Tanaka & Y. Imaida - Study on the Bauschinger effect with increasing of tensile strength in dual phase steel sheets, WIT Transactions on The Built Environment, Vol 112.
6. Andrea Bachmaier, Thierry Grosdidier & Yulia Ivanisenko - Severe Plastic Deformation and Thermomechanical Processing: Nanostructuring and Properties, Metals 2020,10,1306;

REVENDICARI

Procedeu de fabricație al barelor din oțel durificabil prin precipitare, *caracterizat prin aceea că*, permite îmbinarea a două procedee tehnologice moderne:

-deformarea plastică severă SPD (Sever Plastic Deformation);

-dublă precipitare la 450°C/4h/aer, ceea ce permite obținerea unei structuri omogene de martensită cu granulație exrafină, 1÷2 μm, cu dispersie uniformă de precipitate intermetalice nanometrice de tip Ni₃Mo, Ni₃Ti, Ni₃Al, Fe₂Mo;

prin aplicarea următoarelor operații:

a) Elaborare lingou oțel Maraging prin dublă retopire în vid;

b) Laminare la cald sau forjare, electrod ø 50 mm, temperatura de sfârșit de deformare fiind T=800°C, răcire în apă;

c) Tratament termic de înmuiere – punere în soluție la 830°C/40 min/ apă;

d) Realizarea unei deformări plastice severe (reducerea secțiunii de la ø 50 mm-la ø 32 mm), cu o reducere pe secțiune $\xi = 60\%$, prin forjare radială la rece, cu schimbarea sensului de deformare în scopul apariției și dezvoltării efectului Bausinger, astfel:

-prima etapă de deformare la rece: ø 50 mm → ø 42 mm → ø 38 mm (reducere pe secțiune: 42%);

urmată de, *schimbarea sensului de deformare,*

-care se termină cu cea de-a doua etapă de deformare la rece: ø 38 mm → ø 34 mm → ø 32 mm (reducere pe secțiune: 30%);

e) Tratament termic de punere în soluție la 820°C/15 min/apă;

f) Debitare de precizie la greutatea proiectilului calibru 30mm cu toleranțe pozitive;

g) Formarea finală, la rece, a proiectilului prin forjare rotativă (swaging machine), cu scule profilate;

h) Degresare;

i) Tratament termic final, dublă precipitare la 450°C/4h/aer;

j) Control final (dimensional-conform desen; -duritate pe secțiune; -analiză metalografică-mărime de grăunte).

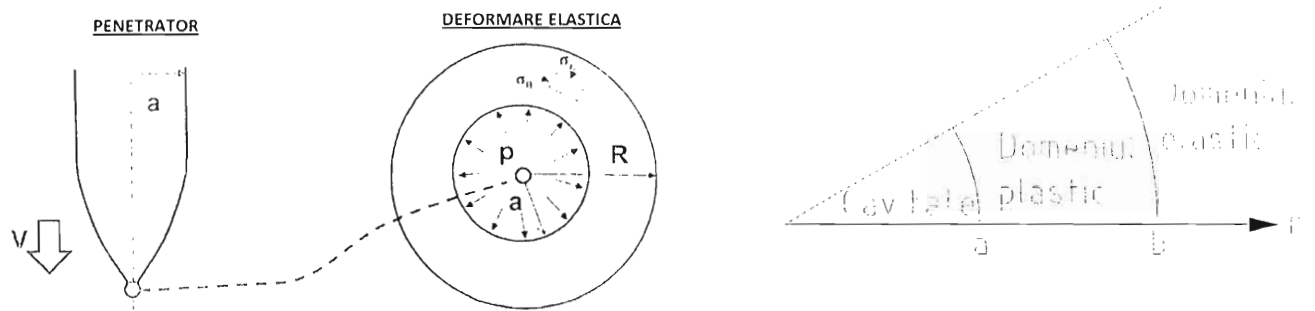


Fig.1 - Expansiunea sferică a cavității funcție de presiune

Cu cât limita elastică este mai mare și apropiată de limita de rupere cu atât expansiunea cavității (și implicit ruperea) se produce cu viteză mai mică.

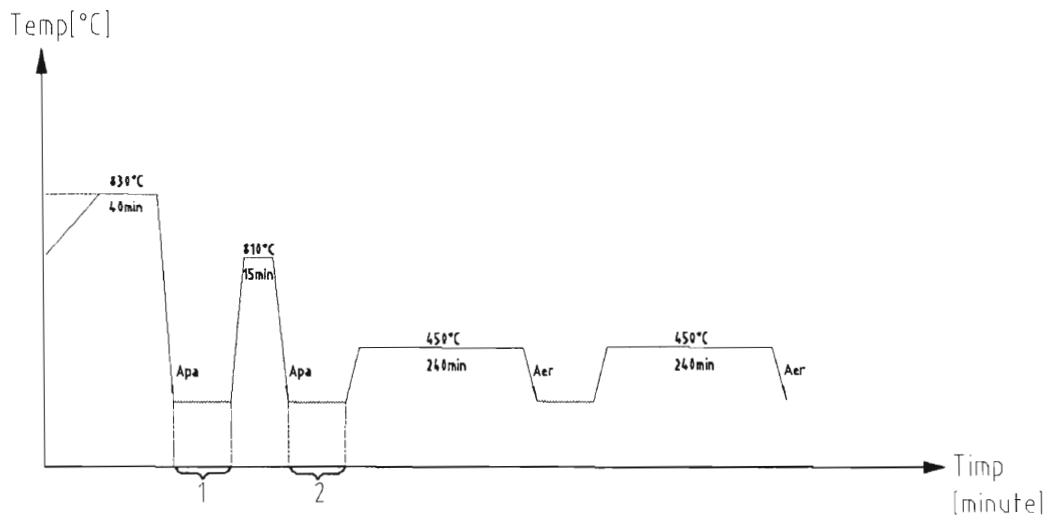
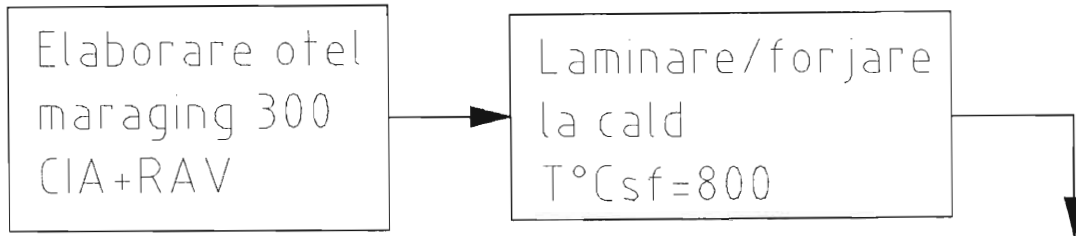


Fig.2 - Schema simplificata a principalelor etape tehnologice

De remarcat simplitatea operațiilor tehnologice - prelucrări prin așchiere și tratamente termice simple ce nu necesită atmosferă de protecție.

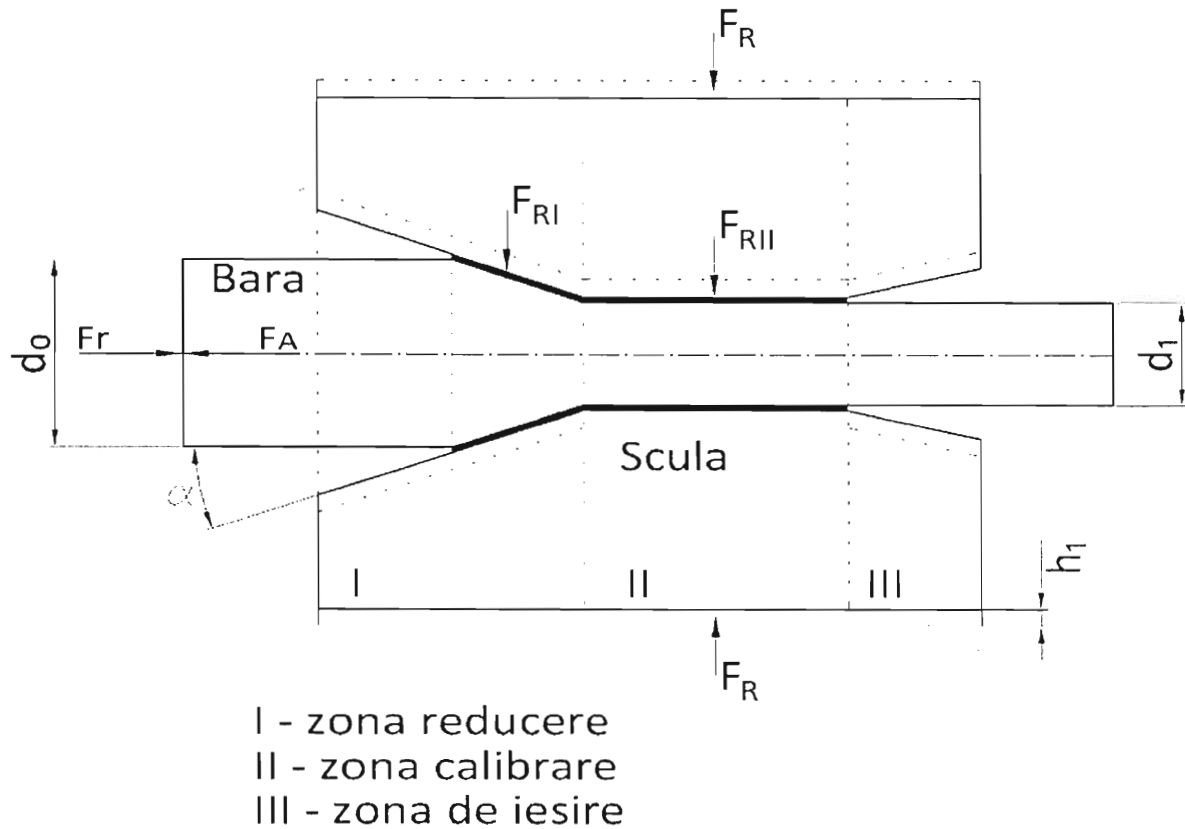


Fig.3 - Procedeeul de deformare plastică severă prin exploatarea efectului Bauschinger

Se observă că deformarea plastică se realizează prin forjare rotativă iar exploatarea efectului Bauschinger se produce în două etape: o prima etapă în care se realizează o deformare de la $\varnothing 50\text{mm} \rightarrow \varnothing 42\text{mm} \rightarrow \varnothing 38\text{mm}$ (reducere 42%) respectiv etapa a doua, cu schimbare de sens, în care se realizează o deformare de la $\varnothing 38\text{mm} \rightarrow \varnothing 34\text{mm} \rightarrow \varnothing 32\text{mm}$ (reducere 30%).

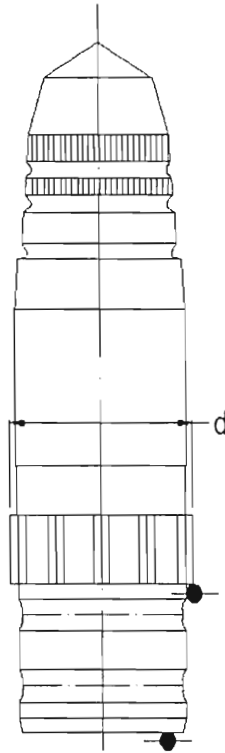


Fig.4 – *Geometria finală a penetratorului*