

UDK: 662.311.1:620.193.1:620.197.5(047)=861
COSATI: 19-06, 20-12, 13-08

Ispitivanje uticaja hromiranja na otpornost prema erozionom delovanju barutnih gasova

Dr Bisenija M. Petrović, dipl.inž.¹⁾
Dr Miodrag V. Stojanović, dipl.inž.¹⁾

Površinska zaštita unutrašnjih površina cevi prevlakama hroma vrši se radi produženja balističkog života cevi i njihovog lakšeg održavanja. Prikazano je ispitivanje otpornosti prema erozionom delovanju barutnih gasova mlaznica zaštićenih prevlakama hroma. Zaštita je izvršena pri različitim uslovima pripreme površine, taloženja prevlake i naknadne obrade. Na osnovu rezultata ispitivanja uočeno je povećanje otpornosti prema erozionom delovanju barutnih gasova mlaznica zaštićenih hromnom prevlakom u odnosu na nezaštićene mlaznice. Pomoću analize rezultata ispitivanja i na osnovu primenjenih uslova taloženja, odabrana je zaštita prevlakama hroma sa najboljom otpornošću prema erozionom delovanju barutnih gasova.

Ključne reči: Ispitivanje površinske zaštite, elektrolitička prevlaka hroma, otpornost na eroziono delovanje, barutni gasovi.

Uvod

PRI sagorevanju barutnih gasova unutrašnja površina cevi oruđa i oružja je izložena kombinovanom mehaničkom, termičkom i hemijskom delovanju. Ovi procesi dovode do oštećenja unutrašnjih površina i smanjenja balističkog života cevi. Dolazi do pada mehaničkih karakteristika materijala cevi (pojava naprezanja i erozije, povećanje krutosti površinskog sloja). Ove promene su izraženije ako su zahtevi za povećanjem dometa, preciznosti i brzine gađanja oštiji [1].

Odgovarajućim konstrukcijskim i tehnološkim rešenjima cevi, obezbeđuje se sporije habanje, odnosno erozija, što održavanje čini lakšim i efikasnijim. Jedan od povoljnih načina da se poveća otpornost unutrašnjih površina cevi na mehanička, termička i hemijska dejstva je zaštita prevlakama elektrolitičkog hroma. U programima za istraživanje zaštite unutrašnjih površina cevi elektrolitičkim prevlakama hroma, posebno je naglašeno ispitivanje uticaja pripreme površine, parametara procesa hromiranja (gustina struje, temperatura elektrolita), debljine prevlake i naknadne obrade hroma. Elektrolitički istaložen hrom je koroziono postojan u prisustvu raznih korozivnih agenasa, termostabilan i tvrd, što se reguliše tehnološkim procesom hromiranja. Talženjem hroma preko osnovnog metala znatno se povećava otpornost prema habanju i koroziji. To upućuje na činjenicu da se talženjem hroma na osnovni metal cevi može produžiti balistički život oružja i oruđa, u znatnoj meri olakšati održavanje i povećati borbena gotovost [2,3].

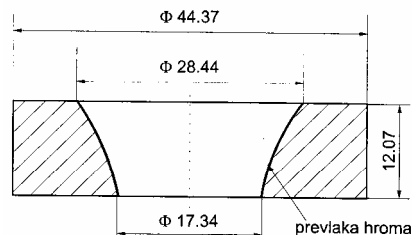
Određivanje kvaliteta zaštite cevi prevlakama hroma vrši se laboratorijskim ispitivanjem osnovnih svojstava prevlaka i funkcionalnim ispitivanjem (delovanje barutnih gasova). Umesto velikog broja dugotrajnih i skupih ispitivanja na oružjima i oruđima, za ocenu erozionog delovanja barutnih gasova koristi se takođe laboratorijska metoda, odnosno poseban uređaj koji predstavlja modifikaciju PAT 37mm

M39 [4].

Cilj ovog rada je bio određivanje otpornosti prevlaka hroma većih debljina (oko 200 μm) taloženih iz hromatno-sulfatnog elektrolita pod različitim uslovima pripreme osnovnog metala i u različitim režimima taloženja na eroziono delovanje barutnih gasova.

Postupak hromiranja mlaznica

Uzorci za ispitivanje erozionog delovanja barutnih gasova su u obliku mlaznica (sl.1).



Slika 1. Uzorak-mlaznica za ispitivanje otpornosti na eroziono delovanje gasova visokog pritiska i temperature

Uzorci su urađeni od čelika, čiji je hemijski sastav dat u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav osnovnog materijala (čelika) mlaznica, mas. %

C	Cr	Ni	Mo	V	P	S
0,38	1,3	3,2	0,6	0,12	0,0015	0,010

Priprema uzoraka pre nanošenja prevlaka obavljena je mehanički (sačmarenjem ili finim brušenjem), odnosno elektrohemijskim poliranjem. Pri tome se težilo da se postigne klasa obrade 7 prema JUS M.A1.020, koja se

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

najčešće zahteva pri obradi unutrašnjih površina cevi.

Uzorci su posle mehaničke obrade odmašćeni u organskom odmašćivaču, potom bečkim krečom i naposletku detaljno isprani protočnom vodom. Potom su stavljani u alate za hromiranje. Dalji tok obrade i zaštite tekao je po tehnološkom postupku za elektrolitičko hromiranje, sledećim redosledom:

- nagrizanje u hlorovodoničnoj kiselini (1:1),
- ispiranje u hladnoj vodi,
- anodno nagrizanje u hromatno-sulfatnom elektrolitu na temperaturi 55°C i pri gustini anodne struje od 20 A dm²,
- elektrolitičko hromiranje u hromatno-sulfatnom elektrolitu (250 gdm⁻³ CrO₃, 2,5 gdm⁻³ H₂SO₄).

Prevlake sjajnog hroma taložene su u sledećim uslovima:

- temperatura elektrolita od 58 do 60°C,
- gustina katodne struje 35 A dm⁻².

Prevlake mlečnog hroma taložene su u sledećim uslovima:

- temperatura elektrolita od 71 do 72°C,
- gustina katodne struje 25 A dm⁻².

Vreme trajanja procesa taloženja prevlake, zavisno od debljine prevlake i gustine struje odnosno temperature elektrolita, iznosilo je od 10 do 20 časova.

Po završenom procesu taloženja uzorci su detaljno ispirani, pre i posle vađenja iz alata, u tekućoj vodi. Potom su sušeni komprimovanim vazduhom.

Termičko otpuštanje hromiranih uzoraka vršeno je najkasnije 4 sata posle hromiranja na temperaturi 220°C u trajanju od 2 sata.

Svi hromirani uzorci su vizuelno posmatrani, vršena je selekcija prema dozvoljenim i nedozvoljenim greškama. Oni sa dozvoljenim greškama išli su na doradu poliranjem, a sa nedozvoljenim nedostacima na ponovno hromiranje. Neuspele prevlake su skidane hemijskim rastvaranjem u kiselini. Pre operacije ponovnog hromiranja, uzorci su odgrevani u peći na temperaturi 220°C u trajanju od 2 sata.

Na svim uzorcima određena je debljina prevlake feromagnetnom metodom.

Postupak ispitivanja otpornosti prema erozionom delovanju barutnih gasova

Otpornost prema erozionom delovanju barutnih gasova određivana je na modifikovanom PAT 37 mm M39. Detaljan opis konstrukcije i šema uređaja dati su u [4]. Ovaj uređaj se sastoji od zadnjaka i komore topa 37 mm M39 kod koga je cev odsečena ispred prelaznog konusa. Mlaznica je vitalni deo uređaja, a u ovom ispitivanju je ispitivan uzorak na kome se na unutrašnju površinu taloži hrom. Na uređaju je urađena adaptacija tako, da se mlaznica i rasprskavajuća membrana mogu smestiti i učvrstiti. Davač pritiska je smešten na sredini komore, da bi se dobila piezokriva. Pri sagorevanju određene količine baruta i dostizanja određene vrednosti pritiska barutnih gasova u komori membrana puca, tako da struja usijanih barutnih gasova eroziona deluje na mlaznicu. Pri svakom opaljenju koristi se toliko baruta, da pri prskanju membrane sagori 80 % barutnog punjenja.

Osnovni metal i tehnologija površinske zaštite mlaznice su isti kao kod cevi oruđa, radi adekvatnosti uslova pri eroziji površine mlaznice i cevi oruđa. Rasprskavajuća membrana izrađuje se od čeličnog lima debljine 1,54 mm.

Pri ispitivanju na ovom uređaju prvo se određuju uslovi

ispitivanja (masa baruta i broj membrana), da bi se postigao zadati pritisak barutnih gasova. Na osnovu preliminarnih ispitivanja na oruđima i prethodnih ispitivanja na ovom uređaju [5], zaključeno je da maksimalni pritisak (p_{max}) barutnih gasova treba da iznosi približno 3000 bara. Određivanje uslova ispitivanja na hromiranoj mlaznici, u toku ovog eksperimenta, uz korišćenje nitroceluloznog baruta (NC 44) počelo je pri masi baruta od 160 grama i s dve membrane. Pri prvom opaljenju, uz navedene uslove, postignut je p_{max} od 2190 bara. Pri svakom sledećem opaljenju, masa baruta je postepeno povećavana a time i maksimalni pritisak barutnih gasova, tako da je pri masi baruta od 220 g NC 44 i uz korišćenje dve membrane postignut p_{max} od 3030 bara.

Da bi se ispitao uticaj barutnih gasova na stanje površine mlaznika, pre opaljenja meri se masa uzorka i vrši se vizuelni pregled površine prevlake. Takođe, posle svakog opaljenja mlaznica se vadi iz uređaja, čisti se, meri se masa i kontroliše stanje prevlake hroma.

Posle toga mlaznica se vraća u uređaj, stavljaju se nove membrane i vrši sagorevanje sledeće količine baruta

Tokom svakog opaljenja snima se promena radnog pritiska i određuje maksimalni pritisak barutnih gasova.

Nisu sve mlaznice ispitivane pri istom broju opaljenja. Na mlaznicama na kojima dolazi do velikog oštećenja prevlake a time i do gubitka mase, ispitivanje se prekida i pri manjem broju opaljenja.

Osnovna prednost ovakvog načina ispitivanja erozionog delovanja barutnih gasova u odnosu na druge laboratorijske metode ogleda se u činjenici da se njome obezbeđuju uslovi koji daleko više odgovaraju uslovima u cevi oruđa i oružja.

Kao mera erozionih delovanja barutnih gasova uzimani su gubitak mase mlaznice i promena izgleda njene površine u odnosu na polazno stanje.

Rezultati ispitivanja otpornosti prema erozionom delovanju barutnih gasova

Na svim mlaznicama pre ispitivanja na eroziona delovanje barutnih gasova vršen je pregled spoljašnjeg izgleda prevlake hroma. Prevlake su sjajne ili mlečne zavisno od uslova taloženja. Na izvesnom broju uzoraka na površini hroma uočeni su "osipi" u obliku tačkastih udubljenja ili ispučenja. Za ispitivanje otpornosti prema erozionom delovanju uzimane su mlaznice sa debljinom prevlake hroma $\approx 200 \mu\text{m}$.

Eksperimentalno određivanje erozionog delovanja barutnih gasova na prevlakama hroma sastojalo se, s jedne strane, u određivanju gubitka mase mlaznice sa prevlakom, nastalim usled dejstva produkata sagorevanja barutnih gasova, i s druge strane, u praćenju strukture i morfologije prevlake pre, u toku i posle ispitivanja. Karakteristični uzorci su analizirani i snimani na svetlosnom (optičkom) i elektronskom skenirajućem mikroskopu.

Detaljan prikaz rezultata ispitivanja prevlaka hroma (na 45 mlaznica) na otpornost prema erozionom delovanju barutnih gasova dat je u [6]. U tabeli 2 dati su rezultati za 19 uzoraka karakterističnih u odnosu na način pripreme površine za taloženje, vrste primenjene prevlake i stanja prevlake hroma posle ispitivanja, kao i rezultati za eroziju osnovnog metala. Radi potpunijeg prikaza određivanja

stanja površine prevlake hroma na mlaznici, dat je makrosnimak gde se uočava položaj prevlake na luku i na donjem rubu mlaznice (sl.2).



Slika 2. Makrosnimak mlaznice zaštićene prevlakom sjajnog hroma (uzorak 1, t-2), povećanje 1,3x

Tabela 2. Rezultati ispitivanja prevlaka elektrolitičkog hroma na eroziono delovanje barutnih gasova

Red. br.	Tip prevlake, način pripreme	Ukupan broj opaljenja	Srednji pritisak [bar]	Kumulativni gubitak mase [mg]	Opis stanja površine prevlaka
1	Sjajni hrom, fino brušenje	36	3130	10	Prevlaka po površini homogeno oksidovana, zelene boje, nakon 20. opaljenja oštećena na donjem rubu mlaznice.
2	Sjajni hrom, fino brušenje	12	3206	28	Prevlaka homogeno oksidovana, zelene boje, nakon 8. opaljenja počelo oštećenje na donjem rubu mlaznice.
3	Sjajni hrom, fino brušenje	7	3174	85	Na obodu mlaznice uočene tačkice na prevlaci koje su nakon 1. opaljenja podignute u vidu mehura. Nakon 2. opaljenja hrom je delimično »iščupan« na tom mestu, da bi se u sledećim opaljenjima oštećenje uvećalo do »kratera«.
4	Sjajni hrom, sačmarenje	16	2700	29	Prevlaka homogeno oksidovana, duginih boja, nakon 10. opaljenja uočeno je na donjem rubu krzanje prevlake.
5	Sjajni hrom, sačmarenje	9	2703	137	Na mestu uočene tačke na prevlaci, posle drugog opaljenja došlo je do oštećenja prevlake, što se kasnije proširilo do kratera.
6	Sjajni hrom, sačmarenje	12	3052	204	Nakon 3. opaljenja uočeno je skidanje prevlake na donjem rubu mlaznice, tokom daljeg ispitivanja ovo oštećenje je znatno pojačano.
7	Sjajni hrom, elektrolitičko poliranje	2	3113	106	Pre ispitivanja na eroziju na prevlaci su uočene tačkice gde je posle 2. opaljenja došlo do znatnog oštećenja prevlake.
8	Sjajni hrom, elektrolitičko poliranje	5	3293	72	Prevlaka oštećena uz donji rub mlaznice kod svakog sledećeg

					opaljenja oštećenje se produbljivalo.
9	Sjajni hrom, elektrolitičko poliranje	7	3250	36	Uz donji rub mlaznice prevlaka se ljuštila, a po luku je homogeno oksidovana.
10	Mlečni hrom, fino brušenje	12	2831	179	Pre ispitivanja na luku mlaznice uočene tačkice na prevlaci, posle prvog opaljenja došlo do oštećenja prevlake na mestima uočenih tačkica, a tokom sledećih do ispadanja komadića prevlake
11	Mlečni hrom, fino brušenje	36	3008	14	Prevlaka homogeno oksidovana, gubitak mase nastao usled ravnomernog trošenja.
12	Mlečni hrom, fino brušenje	12	2765	11	Prevlaka je homogeno oksidovana po luku mlaznice, posle 10. opaljenja uočeno je oštećenje prevlake na donjem rubu.
13	Mlečni hrom, sačmarenje	8	3530	56	Posle trećeg opaljenja uočeno je znatno oštećenje prevlake na mestu tačkica, koje se kasnije znatno proširilo.
14	Mlečni hrom, sačmarenje	11	3325	28	Oštećenje prevlake na donjem rubu mlaznice nastupilo je nakon trećeg opaljenja, a zatim se prevlaka trošila ravnomerno.
15	Mlečni hrom, sačmarenje	12	3195	139	Posle 1. opaljenja prevlaka je homogeno oksidovana, posle 7. opaljenja zapaženo je znatno oštećenje uz rub, a u sledećim opaljenjima prevlaka se kidala u komadima.
16	Mlečni hrom, elektrolitičko poliranje	35	2691	81	Do 21. opaljenja prevlaka je homogeno oksidovana, a nakon toga je došlo do ravnomernog trošenja prevlake na donjem rubu.
17	Mlečni hrom, elektrolitičko poliranje	17	2614	10	Do 12. opaljenja nije došlo do promene u masi prevlake, nakon 13. opaljenja uočeno je neznatno oštećenje prevlake na donjem rubu mlaznice što je uslovalo neznatan gubitak mase.
18	Mlečni hrom, elektrolitičko poliranje	8	3195	0	Prevlaka je homogeno oksidovana, na pojedinim mestima vidljivi su tragovi barutnih gasova
19	Osnovni metal	8	2739	1390	Na površini metala uočena su udubljenja u obliku uzdužnih brazdi.

Analiza rezultata i diskusija

Prevlake hroma većih debljina pružaju otpor erozionom delovanju barutnih gasova, kako sa gledišta toplotnog dejstva, tako i sa gledišta delovanja mehaničkih sila.

Proces termičke erozije u odnosu na stepen reaktivnosti metala sa barutnim gasovima može biti inertan i reaktivan.

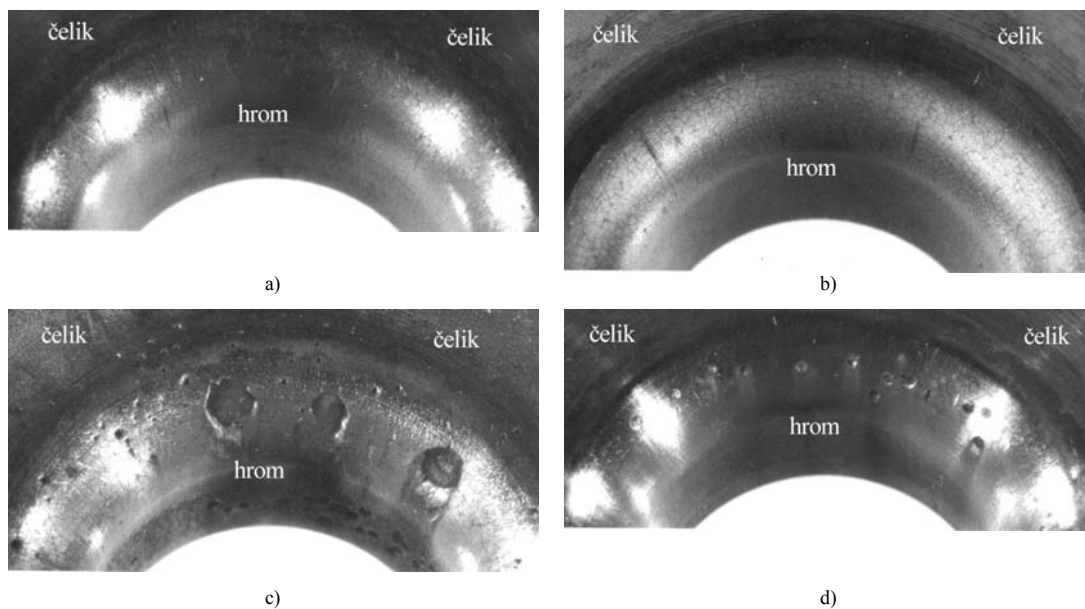
U okviru tzv. inertne erozije proces erozije se razmatra kao čist proces topljenja. Kada se na granici dodira gas-metal dostigne temperatura topljenja metala, on počinje da se topi. Tako otopljen sloj se odnosi smičućim silama koje se formiraju pri strujanju gasa duž površine. Pri razmatranju ovakve vrste procesa treba imati u vidu da na njega metal utiče, kako svojom temperaturom topljenja, tako i drugim termičkim parametrima, npr.: toplotna provodljivost i specifična toplota.

Na sl.3a prikazano je početno stanje, makrosnimak izgleda prevlake hroma na luku mlaznice pre ispitivanja na eroziono delovanje barutnih gasova. Pri reaktivnoj eroziji hrom hemijski reaguje sa toplim gasovima, nastaju jedinjenja zelene boje, ali sjaj prevlake se zadržava, a izgled je kao na sl.3b. Hemijska reakcija se može javiti pre topljenja metala u vidu površinskih reakcija ili posle topljenja i isparavanja otopljenog sloja u obliku gasnih reakcija. Ova pojava praćena ravnomernim trošenjem i oksidacijom je najizraženija kod prevlaka fine strukture. Od prevlaka na uzorcima, za koje su rezultati ispitivanja prikazani u tabeli 2, takav izgled imaju prevlake date pod brojem 1,2,4,8,9,11, 14,16 i 17.

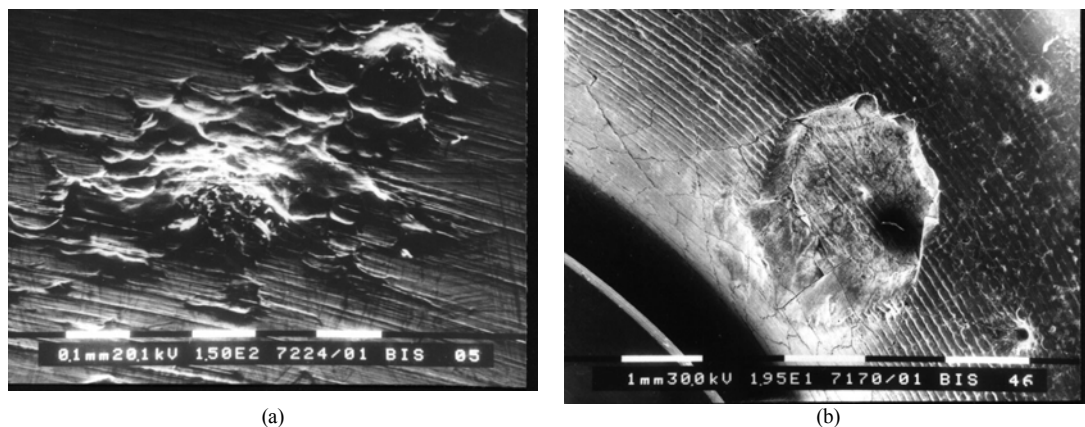
Pored inertne i reakcione erozije, postoji i treći mogući proces koji može prouzrokovati eroziju metala u prisustvu

gasova visokog pritiska i temperature. Ovaj proces se naziva termomehanička erozija. U tom slučaju, erozija površine metala pripisuje se smanjenju otpornosti metala zbog porasta njegove temperature usled zagrevanja toplim gasovima. Frikcione aerodinamičke sile deluju na površinu metala i uspevaju da uklone oslabljene delove metalne površine[7]. Na prevlakama hroma oslabljena mesta su predstavljale tačkaste izrasline ili udubljenja, uočene pre ispitivanja na eroziono delovanje barutnih gasova. Stanje površine takvih prevlaka hroma na luku nakon ispitivanja prikazano je na sl.3c i 3d.

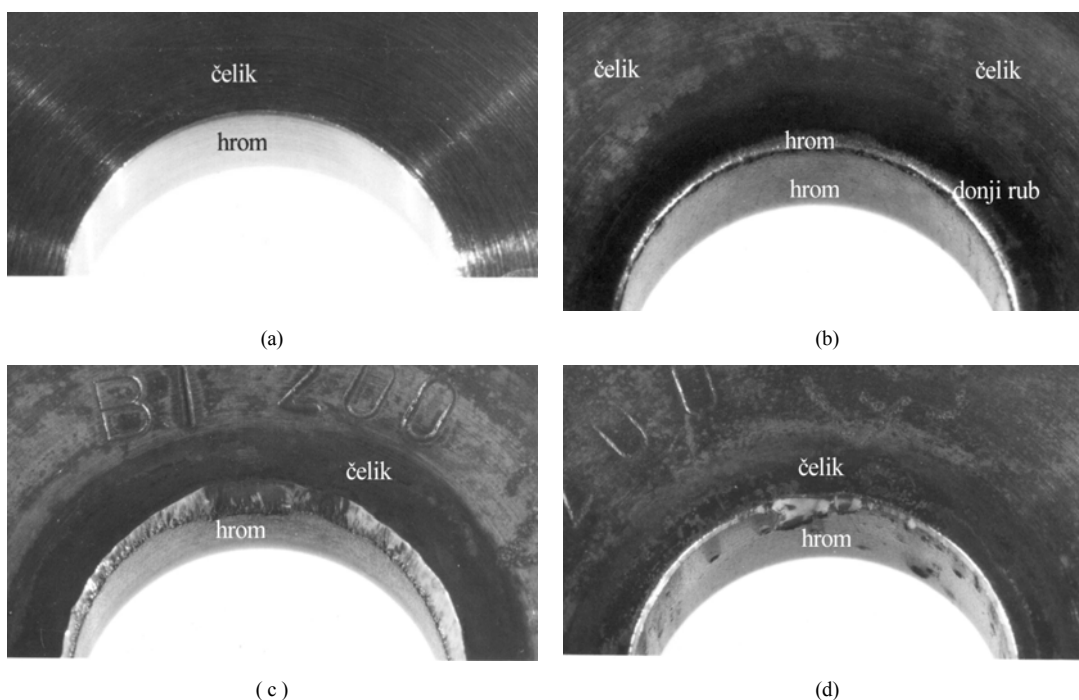
S obzirom da su ispitivane prevlake debljine $\approx 200 \mu\text{m}$, za čije je taloženje potrebno više od 10 sati, to se stvaraju uslovi da se u prevlaku ugrade nepoželjne čestice iz elektrolita, koje se ispoljavaju kao "osipi", odnosno kao tačkasta udubljenja i ispupčenja. Pošto je za taloženje mlečnog hroma vreme taloženja 1,5 do 2 puta duže od taloženja sjajnog hroma, istaknute anomalije su mnogo prisutnije na prevlakama mlečnog hroma. Anomalije u obliku tački gotovo su nevidljive golim okom. Jasno se uočavaju tek pomoću elektronskog skenirajućeg mikroskopa pri uvećanju do 200 puta (sl.4a i b), a detaljniji prikaz dat je u [8,9].



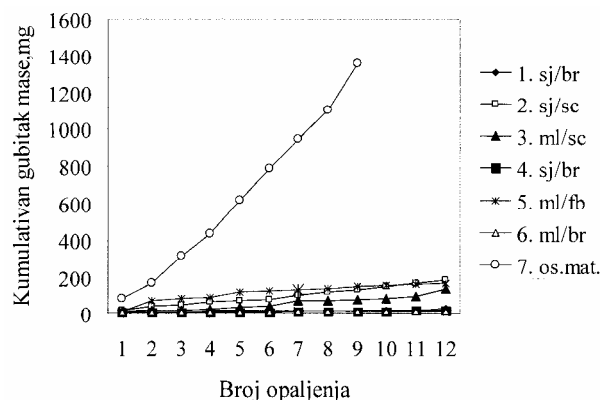
Slika 3. Makrosnimci prevlake hroma na luku mlaznice: a) izgled sjajnog hroma pre ispitivanja (uzorak 1, t-2), 2,5 x, b) izgled sjajnog hroma nakon 36 opaljenja (uzorak 1, t-2), 2,5 x, c) izgled sjajnog hroma nakon 7 opaljenja (uzorak 3, t-2), 2,5 x, d) izgled oštećenja mlečnog hroma nakon 12 opaljenja (uzorak 10, t-2), 2,5 x



Slika 4. Morfologija sjajnog hroma snimljena na SEM-u: a) izgled prevlake sa tačkastom izraslinom pre ispitivanja, (uzorak 3, t-2), 150 x, b) izgled prevlake posle ispitivanja na mestu tačkaste izrasline, (uzorak 3, t-2), 19,5 x



Slika 5. Makrosnimci prevlake hroma na donjem rubu mlaznice: a) izgled sjajnog hroma pre ispitivanja (uzorak 1, t-2), 3 x, b) izgled sjajnog hroma nakon 12 opaljenja (uzorak 2, t-2), 3 x, c) izgled oštećenja sjajnog hroma nakon 12 opaljenja (uzorak 6, t-2), 3 x, d) izgled oštećenja mlečnog hroma nakon 12 opaljenja (uzorak 15, t-2) 3 x



Slika 6. Kumulativni gubitak mase na mlaznicama pri ispitivanju otpornosti prema erozionom delovanju barutnih gasova (skraćenice u legendi su: sj-sjajni hrom, ml- mlečni hrom, br-brušena površina, sc-sačmarena površina, os.mat-osnovni materijal ili kao celina, sj/br – sjajni hrom na brušenoj površini)

Ispitivanja otpornosti prema erozionom delovanju barutnih gasova pokazala su da su ova mesta izrazito kritična, i da su početna žarišta degradacije prevlake (uzorci 3,5,7, 10,13, tabela 2). Uočeno je da se, najčešće, već kod prvih opaljenja, prevlaka upravo na ovim mestima najviše oštećuje. Pri svakom sledećem opaljenju oštećenje se širi i produbljuje, dok na kraju ne dođe do pucanja prevlake. Potom se prevlaka na tom mestu odvaja i ispada u malim komadićima, a često dolazi do otkrivanja osnovnog metala (sl.3c,d i sl.4b).

Ovome pomaže i krtoš prevlake hroma, posebno sjajnog hroma. Prevlake sjajnog hroma su krte, imaju slabu duktilnost i veliko unutrašnje naprezanje. Pri zagrevanju prevlake sjajnog hroma imaju kontrakciju $\approx 0,1\%$, zbog čega se smatraju visoko kontraktibilnim. Kontrakcija se pri

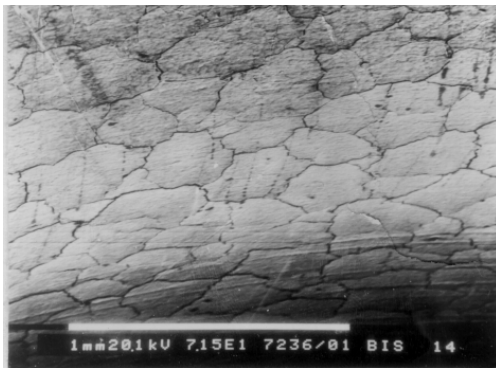
zagrevanju povećava usled unutrašnjeg pritiska razvlačenja prevlake i osnovnog metala, što dovodi do progresivnog prskanja prevlake i ispadanja u komadima.

Usled pucanja membrana dolazi do mehaničkog udara na poprečni presek mlaznice, što utiče na pojavu smicajnih napona i oštećenja prevlake na donjem rubu mlaznice.

Kako je prikazano u tabeli 2, na prevlakama sjajnog i mlečnog hroma taloženim na brušenoj površini, uočeno je znatno manje oštećenje na donjem rubu (uzorci 1,2,12, t-2), nego kod prevlaka taloženih na sačmarenoj površini (uzorci 4,6,14,15, t-2) odnosno elektrohemijiski poliranoj površini (uzorci 8,9,16). Na sl.5a prikazan je makrosnimak prevlake sjajnog hroma na donjem rubu mlaznice pre ispitivanja na eroziono delovanje barutnih gasova. Na sl.5b prikazan je izgled donjeg ruba mlaznice koja je tokom erozionog delovanja ravnomerno trošena, kakav je slučaj sa uzorkom 2 t-2. Na prevlaci sjajnog hroma, taloženom na sačmarenoj površini, posle tri opaljenja uočeno je na donjem rubu prevlake neznatno oštećenje koje se tokom daljeg ispitivanja znatno pojačalo, kako je to prikazano na sl.5c. Na sl.5d (uzorak 15, t-2) prikazano je veće oštećenje prevlake na rubu mlaznice koje se od ruba proširilo prema unutrašnjoj površini mlaznice.

Erozija nezaštićene mlaznice (osnovnog metala) bila je mnogo izraženija u odnosu na eroziju mlaznica zaštićenih hromnim prevlakama. Zbog toga je ispitivanje na nezaštićenoj mlaznici prekinuto posle osmog opaljenja, jer su stanje površine i gubitak mase ukazivali na značajno oštećenje. Grafički prikaz kumulativnog gubitka mase zavisno od broja opaljenja za nezaštićenu i zaštićene mlaznice sa različitim prevlakama i različitim tipovima oštećenja, prikazan je na sl.6, gde kriva 7 predstavlja tok erozije osnovnog metala sa progresivnim rastom gubitka mase sa svakim sledećim opaljenjem (do 1400 mg posle osmog opaljenja). Na prevlakama hroma homogene strukture gde nije dolazilo do znatnijeg oštećenja prevlake

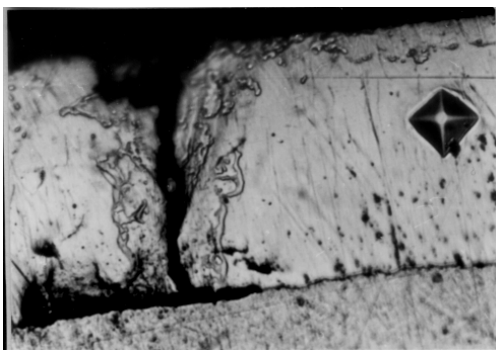
već samo do promene boje, gubitak mase posle 12 opaljenja je neznatan (do 30 mg) i krive imaju veoma mali nagib (kriva 4 i 6). Ove krive predstavljaju tok erozije za sjajne i mlečne prevlake na brušenoj površini (uzorci 2,12, t-2). Na ovim uzorcima prevlake na luku su homogeno oksidovane, a gubitak mase je nastao usled neznatnog oštećenja na donjem rubu mlaznice. Zaštićeni uzorci, sa značajnijim gubicima mase izazvanim procesima erozije delovanjem barutnih gasova, na luku mlaznice imaju "kratere" usled ispadanja komadića prevlake, a krive kumulativnog gubitka mase imaju veći nagib i za 12 opaljenja gubitak mase je ≈ 200 mg (kriva 1,5 uzorak 3, 10 t-2). Sličan tok imaju krive kumulativnog gubitka mase na mlaznicama sa većim oštećenjem prevlaka hroma na donjem rubu (krive 2,3, uzorak 6,15, t-2).



a)



b)



Slika 7. Izgled prevlake sjajnog hroma nakon delovanja različitih procesa erozije: a) oksidacija i prskanje prevlake, 71 x, b) termomehanički procesi, 89 x, c) sekundarno delovanje barutnih gasova, 200 x

Kao što je navedeno, erozija prevlaka hroma nastaje usled termomehaničkog delovanja. Usled dejstva barutnih gasova, temperatura u mlaznici je od 1400 °C do 1800 °C.

Pri tome se pored reakcione erozije izražene preko promene boje hroma javlja proširenje mreže prskotina (sl.7a). Usled delovanja frikciono aerodinamičke sile po površini hroma, dolazi do otkidanja oslabljenih delova (sl.7b). Mada je odnošenje slojeva hroma ovim procesom erozije prisutno, pokazalo se, ipak, da je ono malog intenziteta u odnosu na ostale efekte (kidanje prevlake u komadima).

Kroz prskotine nastale na prevlaci hroma moguće je i sekundarno delovanje barutnih gasova (slika 7c). U toku sekundarnog delovanja gasovi prolaze kroz prskotine, prodiru ispod prevlake i pod dejstvom visokog pritiska i temperature izazivaju njeno odvajanje od osnovnog metala i ispadanje u obliku komadića. Ova pojava je utoliko izraženija, ukoliko je prevlaka nehomogenija. Isti efekat je zapažen i pri preliminarnom ispitivanju na cevima oružja i oruđa [10].

Zaključak

Od ispitivanih sistema zaštite mlaznica prevlakama hroma, pokazalo se da najbolju otpornost na eroziono delovanje barutnih gasova imaju prevlake sjajnog hroma, homogene fine strukture taložene na brušenoj površini i odgrevane na 220 °C. Dobru otpornost na eroziono delovanje pokazale su, takođe, homogene prevlake mlečnog hroma taložene na brušenoj površini.

Pojavu sitnih tačaka "osipa", bilo u obliku ispupčenja ili udubljenja na površini prevlaka hroma (sjajnih i mlečnih) treba definisati kao nedozvoljenu, jer se pokazalo da pri erozionom delovanju barutnih gasova ova mesta postaju žarišta i mesta velikog oštećenja prevlaka. Najmanje oštećenje na donjoj ivici mlaznice imaju prevlake koje su taložene na brušenoj površini osnovnog metala.

Zaštita osnovnog metala prevlakama hroma značajno poboljšava otpornost na eroziono delovanje barutnih gasova (od 10 do 150 puta).

Ispitivanja na eroziono delovanje barutnih gasova uz korišćenje metode primenom modifikovanog PAT 37 mm pokazala su, da ova metoda može veoma uspešno da se koristi za naznačena funkcionalna ispitivanja pri definisanju zaštite unutrašnje površine cevi.

Literatura

- [1] MITROVIĆ, N. i dr. *Istraživanje postupaka za produženje balističkog života cevi oružja i oruđa*. Int. dok. 04-Pr-3, VTI, Beograd, 1987.
- [2] CORMICK, M.M., DOBSON, S.J. Characteristics and properties of electrodeposited chromium from aqueous solutions. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1987, vol.17, p.303-314.
- [3] PETROVIĆ, B. *Ispitivanje mehaničkih osobina elektrolitičkih prevlaka hroma*. Magistarski rad, TMF, Beograd, 1993.
- [4] SIMONOVIĆ, R. *Uređaj za ispitivanje erozionih karakteristika baruta*. Int. dok -02-27-118, VTI Beograd, 1984.
- [5] JARAMAZ, S., MICKOVIĆ, D. *Eksperimentalna istraživanja u uređaju za ispitivanje erozionih karakteristika baruta*. Int. dok. VTI-002-01-260, Beograd, 1989.
- [6] PETROVIĆ, B. *Ispitivanje uticaja prethodne pripreme površine i termičke obrade prevlaka hroma na njihove fizičko-mehaničke karakteristike*. Int. dok. VTI-1009, Beograd, 1990.
- [7] JARAMAZ, S., MICKOVIĆ, D. *Uticajni faktori na eroziju određeni u uređaju za ispitivanje erozionih karakteristika baruta*. Int. dok. VTI-02-01-0138, Beograd, 1988.
- [8] PETROVIĆ, B. *Uticaj pripreme površine i termičke obrade na svojstva prevlaka hroma*. *Zaštita materijala*, 1995, vol. 36, no.1, p.6-11.
- [9] PETROVIĆ, B. *Uticaj strukture i morfologije na specijalna svojstva prevlaka elektrolitičkog hroma*. *Zaštita materijala*, 1995, vol. 36, no.3, p.94-99.
- [10] STOJANOVIĆ, M., PETROVIĆ, B. i dr. *Elektrolitičko hromiranje unutrašnjosti cevi*. 12. jugoslovensko savetovanje i 162. skup