



Society of Production
Engineering

SPMS 2018

37. Savetovanje Proizvodnog mašinstva Srbije

ICPE-S 2018

37th International Conference on Production Engineering of Serbia



Faculty of Engineering
University of Kragujevac

Kragujevac, Serbia, 25 – 26. October 2018

UTICAJ VRSTE ZAVARENOG SPOJA NA BALISTIČKA SVOJSTVA PANCIRNOG ČELIKA ARMOX 500T

Vukić LAZIĆ¹, Dušan ARSIĆ^{1*}, Milorad RAKIČEVIĆ¹, Srbislav ALEKSANDROVIĆ¹,
Milan ĐORĐEVIĆ², Petar MARINKOVIĆ⁴, Nada RATKOVIĆ¹

¹Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia, vlazic@kg.ac.rs,
dusan.arsic@fink.rs, rakicevicmikica@gmail.com, srba@kg.ac.rs, nratkovic@kg.ac.rs

³ Faculty of Technical Sciences, University of Priština, Kosovska Mitrovica, Serbia, tpolab@fink.rs

⁴ DLS Special systems, Kragujevac, Serbia, dlsoffice@dlssystem.com

*Corresponding author: dusan.arsic@fink.rs

Rezime: Čelici klase ARMOX pripadaju grupi finozrnih čelika povišene jačine koji se proizvode kaljenjem i niskim otpuštanjem uz intenzivnu termo-mehaničku obradu na povišenim temperaturama. Kombinacija termičke i mehaničke obrade obezbeđuje sitno metalno zrno izuzetno povoljne mehaničke karakteristike čelika, dok nisko otpuštanje obezbeđuje relativno visoku tvrdoću i dobra balistička svojstva. Stoga je moguće da se usled zavarivanja te povoljne mehaničke i balističke osobine naruše. Modelske ploče za ispitivanje su zavarene po propisanoj tehnologiji i to: sučevni spoj, ivični spoj i ivični spoj sa zaštitom. U ovom radu su prikazani rezultati dobijeni balističkim ispitivanjem zavarenih ploča pucanjem sa tri vrste municije u sve vrste zavarenih spojeva. Cilj istraživanja je da se utvrdi najkritičnije mesto na zavarenim pločama iz aspekta balističke otpornosti na projektil.

Ključne reči: ARMOX 500T, zavarivanje, balistička svojstva, municija, zavareni spoj, zona uticaja toplote.

1. UVOD

Borbena vozila za pešadiju nastala su iz težnje ka povećanju efikasnosti tenkova i mogućnosti njihovog opstanka na bojnom polju. Tu se javio problem razvoja oklopa koji će sprečiti prođor projektila streljačke i protivoklopne municije u vozilo, a u isto vreme ostvariti što bolje taktičko-tehničke i borbeno-eksploatacione karakteristike. S obzirom na navedene zahteve, neminovno dolazi do razvoja posebne grupe čelika povišene jačine,

pod nazivom pancirni čelici, koji se od tada neprestano razvijaju [1].

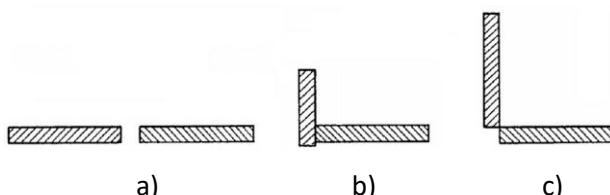
Švedska kompanija SSAB Oxelösund u svom proizvodnom programu ima čelike povišene jačine, a posebno se izdvaja grupa pancirnih čelika pod komercijalnom oznakom ARMOX koji se proizvode po strogo definisanim postupcima proizvodnje [2]. Njihove odlične osobine proizlaze iz načina njihove prozvodnje. Imaju veoma mali sadržaj ugljenika što povoljno utiče na zavarljivost, a jačina se postiže primenom termomehaničke obrade (TMO) [2, 3]. Međutim, uprkos njihovim

izvanrednim osobinama, pri zavarivanju oklopne konstrukcije, lokalno dolazi do pogoršanja osobina usled unete toploote. Takva mesta na konstrukciji predstavljaju kritična mesta i cilj ovog rada je da pokaže kako se ta mesta (različite vrste zavarenih spojeva) ponašaju u uslovima kada ih pogode projektili različitog tipa.

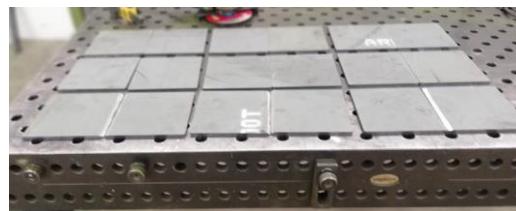
2. ZAVARIVANJE PLOČA ZA IZRADU UZORAKA

Zavareni spojevi na borbenim vozilima izrađenim od ovog ili nekog drugog pancirnog čelika, predstavljaju najranjivije mesto cele konstrukcije. Razlog je taj da se pri zavarivanju pancirnih čelika moraju primeniti dodatni materijali koji daju metal šava znatno manje jačine u odnosu na osnovni materijal, u suprotnom došlo bi do pojave hladnih prslina jer su pancirni čelici veoma zakaljivi. Pored toga, ovaj čelik spada u uslovno zavarljive čelike, što znači da se moraju primeniti i odgovarajuće mere pri zavarivanju. Jedna od najbitnijih je kontrolisani unos toplote što SSAB jasno izlaže u specifikacijama ovog čelika i ograničava unos toplote na 200°C, jer na većim temperaturama dolazi do prekomernog otpuštanja i gubitka svih povoljnih osobina dobijenih pomoću TMO. U radu su date preporuke koje je neophodno ispoštovati u cilju dobijanja što kvalitetnijih zavarenih spojeva, kao i preporučene tehnologije zavarivanja, sve na osnovu preporuka proizvođača, kao i stručnjaka koji su se bavili ovim problemima.

Ispitni uzorci koji su potrebni za balistička ispitivanja osnovnih zona zavarenog spoja izrađeni su u oblicima sučeonog, ugaonog i ugaono-rubno spoja (Sl. 1). Dimenzije ploča čelika ARMOX 500T dimenzija 200×200×8.6 mm su bile i ploče su isečene na laseru.



Slika 1. Shematski prikaz a) sučeonog, b) ugaonog i v) rubnog spoja



Slika 2. Pripremljene ploče za zavarivanje

Za zavarivanje je korišćen MAG postupak a parametri zavarivanja zavarivanja su prikazani u tabeli 1 dok je na slici 3 dat izgled ploča posle zavarivanja za sva tri slučaja.

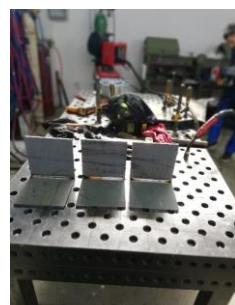
Tabela 1. Parametri zavarivanja ploča

1.	Vrsta žleba	V
	Način pripreme	brušenje
2.	Prečnik žice	1.0 mm
	Vrsta	
3.	Vrsta zaštitnog gasa	Ar + 2.5
	Temperatura predgrevanja	125-175°C
	Međuprolazna temperatura	150-175°C
	Postupak merenja	termokrede
4.	Pribor za zagrevanje	gasni plamen
	Postupak zavarivanja	135 (MAG)
	Položaj zavarivanja	PA
	Tehnologija zavarivanja	ulevo/75°
	Jačina struje	190-210 A
	Napon luka	24.5 V
	Vrsta struje	DC
	Polaritet	+
	Brzina dodavanja žice	6 m/min
	Brzina zavarivanja	21 cm/min
	Protok gasa	18 l/min
	Broj prolaza	2
	Pogonska energija	≈ 11000 J/cm

Prikazani parametri zavarivanja su uz neznatne izmene korišćeni za zavarivanje svih vrsta spojeva.



a)



b)

Slika 3. Zavarene ploče: a) Sučevi spoj, b) Ugaoni spoj, i c) Rubni spoj sa zaštitom



c)

Slika 3 (nastavak). Zavarene ploče: a) Sučevni spoj, b) Ugaoni spoj, i c) Rubni spoj sa zaštitom

3. ISPITIVANJE BALISTIČKE OTPORNOSTI OSNOVNIH ZONA ZAVARENIH SPOJEVA

Mnoge zemlje imaju propisane standarde koji se odnose za nivoe balističke zaštite, ali najčešće korišćeni od strane proizvođača ARMOX-a, pre svega zbog svojih kupaca, su STANAG 4569 (Tabl. 2) koji propisuje NATO i EN 1522 [3] koji je propisan od strane UN-a. Standard STANAG 4569 odnosi se na stepene zaštite za logistička i laka oklopna vozila i u najvećoj meri se koristi pri izradi konstrukcija ovog tipa.

Tabela 2. Standard STANAG 4569 NATO

Nivo	Vrsta oružja	Kalibar	Rastojanje, m	Brzina, m/s
I	Puška	7.62×51 NATO Ball	30	833
		5.56×45 NATO SS109		900
		5.56×45 M193		937
II	Pešadijska puška	7.62×39 API BZ	30	695
III	Snajperska puška	7.62×51 AP (WC core)	30	930
		7.62×54R B32 API		854
IV	Mitraljez	14.5×114AP /B32	200	911
V	Automatski top	25 mm APDS-TM-791	500	1258

Standard uključuje pretnje balističkih projektila, malih i srednjih kalibara, kao i fragmente koji simuliraju penetratore u cilju simuliranja artiljerijskih dejstava. Namjenjen je ponovljivim postupcima ispitivanja za ocenu balističke zaštite delova oklopnih vozila i za utvrđivanje kritičnih zona na vozilima. Pretnje su podeljene u pet različitih nivoa, gde je prvi nivo namenjen civilnim pretnjama, dok su ostali nivoi namenjeni za različite stepene vojnih pretnji.

3.1 REZULTATI BALISTIČKOG TESTA

Iako su uzorci izrađeni tako da budu po tri u svakoj grupi (sučevni, ugaoni i ugaono-rubni), ispitivanje na balistička opterećenja izvedena su samo na po jednom uzorku iz svake grupe. To je urađeno, pre svega, zbog složenosti eksperimenta, a pored toga dobijeni podaci su bili dovoljni da se proceni otpornost. Cilj ovog eksperimenta je oceniti stepen oštećenja, odnosno tip proboga na osnovnim zonama zavarenog spoja (osnovnom materijalu-OM, zoni uticaja toplote-ZUT, zoni stapanja-ZS i na metalu šava-MŠ) municijom vrste 7.62×39.

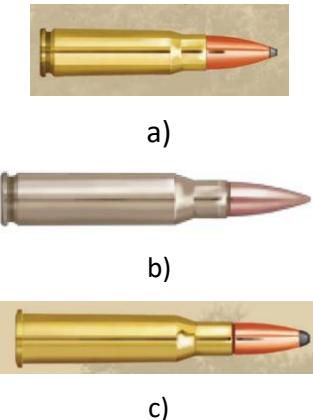
M67 Ball, 7.62 × 51 NATO Ball (Ball M80) i pancirnim metkom 7.62 × 54R B32 API (Dragunov). Metak 7.62 × 39 M67 Ball nije po zaštitnim nivoima koje NATO propisuje, već po ruskim standardima balističke zaštite za koji SSAB ne garantuje.

Eksperiment je izведен na opitnom poligonu firme Prvi Partizan d.o.o u Užicu koja poseduje višedecenijsko iskustvo u proizvodnji municije i ispitivanjima ove vrste. Na opitnom poligonu sprovode se završna, verifikaciona i homologaciona ispitivanja municije pre isporuke. Eksperiment su izvela stručna lica po odgovarajućim standardima.

Oprema za izvođenje opita se sastojala iz:

- Opitne cevi sa zatvaračem za merenje brzine, u kalibru 7.62 x 39mm,
- Opitne cevi sa zatvaračem za merenje brzine, u kalibru 7.62 x 51mm,
- Opitne cevi sa zatvaračem za merenje brzine, u kalibru 7.62 x 54mm,
- Postolja za opitnu cev,

- Municije 7.62 x 39 M67 Ball, brzina $v_{25} = 725 m/s$ (Sl. 4a; Tabl. 2),
- Municije 7.62 x 51 NATO Ball (Ball M80), brzina $v_{25} = 830 m/s$ (Sl. 4b; Tabl. 2), i
- Municije 7.62 x 54R B32 API, brzina $v_{25} = 790 m/s$ (Sl. 4c; Tabl. 2).



Slika 4. Izgled korišćene municije: a) 7.62x39 M67 Ball, b) 7.62x51 NATO Ball (Ball M80), i c) 7.62x54R B32 API [3]

Uzorci pancirnog čelika su pre početka eksperimenta pozicionirani čvrsto u drvenim okvirima kako ne bi došlo do gubitka energije usled pomeranja ploča pri udaru metka. Rastojanje izlaznog otvora opitne cevi do uzorka je 10 m. Po planu eksperimenta zavareni spojevi su postavljeni tako da zavar bude upravan na pravac kretanja metka, što će kod ugaonog i ugaono-rubnog spoja pokazati ponašanje osnovnog materijala i zone uticaja toplote pri udaru metka pod ugлом.

Zaključci o ponašanju zavarenih ploča su doneti na osnovu vizuelnog pregleda sučeonog spoja posle završenog eksperimenta (Sl. 5). Ispaljeno je ukupno 10 projektila tri različita kalibra, a ukoliko je do probroja došlo, tip probroja usvojen je prema utvrđenim načinima perforacije oklopa [4].



Slika 5. Prikaz ispitanog uzorka sučeonog spoja sa ulazne strane [3]

Kada je ocenjeno stanje sučeonog spoja na balistička opterećenja pristupljeno je fiksiranju

ugaonog spoja, takođe u drveni okvir. Ispaljeno je ukupno 9 projektila tri različita kalibra. Na slici 6 prikazana je ulazna strana ugaonog spoja.



Slika 6. Prikaz ispitanog uzorka ugaonog spoja sa ulazne strane [3]

Probijena mesta-perforacije (Sl. 6) su takva da su karakteristična za udare projektila sa šiljatim vrhom u oklope male debljine, ali i u nekim slučajevima javlja se i pri udarima projektila sa ravnim vrhom pri brzinama koje su približne graničnim brzinama probijanja. Posledice probijanja za ovaj način perforacije karakteristične su po tome što oblik rupe sa izlazne strane oklopa liči na latice cveta.



Slika 7. Prikaz ispitanog uzorka ugaonog spoja sa zaštitom sa: a) Ulazne, i b) Izlazne strane

Na kraju je ispitana ugaono-rubni spoj koji, kako je već napomenuto, sa unutrašnje strane ima pločice od istog materijala koje bi idejno trebalo da predstavljaju dodatnu zaštitu u slučaju probroja metala šava i njegove okoline. Ispaljeno je ukupno 8 projektila tri različita kalibra u karakteristične zone zavarenog spoja. Rezultati su prikazani na slici 7. Na uzorku je

izvršen vizuelni ulazne (Sl. 7a) i izlazne strane (Sl. 7b) uzorka.

Prvi način prikazan na slici 7a pri kojem dolazi do izbijanja čepa iz oklopa (engl. plugging), gde čep (engl. plug) nastaje usled udara projektila sa ravnim ili hemisferičnim vrhom pri brzini koja je oko granične brzine probijanja (najmanja brzina pri kojoj projektil perforira oklop). Čep nastaje usled dejstva adijabatskog smicanja pri čemu dolazi do formiranja područja smicajnih napona.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je razmatrana zavarljivost pancirnog čelika ARMOX 500T koji spada u grupu čelika povišene jačine, te je na početku ovog rada ukazano je na njihove povoljne osobine, data je podela, kao i problemi koji se javljaju u toku zavarivanja za različite grupe čelika povišene jačine. Budući da su skloni nastanku hladnih prslina date su preporuke i mere za njihovo sprečavanje.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da su OM, ZUT i MŠ otporni na metkove kalibra 7.62x39. Ispitivanjem municijom kalibra 7.62x51 pokazalo se da je samo OM zona otporna na proboj. Za pancirnu municiju kalibra 7.62x54R nema prepreka, sve zone su ugrožene, pa čak i ojačanja postavljena kod ugaono-rubnog spoja.

Na osnovu dobijenih rezultata i njihovog razmatranja, kod konstrukcija koje su izložene dejstvu projektila, projektovati zavarene

spojeve tako da metal šava uvek bude sakriven koliko god je moguće, a sučevni spoj strogo izbegavati.

ZAHVALNOST

Ovo istraživanje je delimično podržano od strane projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije kroz projekat TR 35024. Autori su na pomoći zahvalni i firmama DLS Specijalni Sistemi Beograd, razvojni centar Kragujevac, Srbija i Prvi Partizan Užice, Srbija.

LITERATURA

- [1] D. Arsić, R. Nikolić, V. Lazić, B. Hadzima, S. Aleksandrović, M. Đorđević: Weldability estimates of some high strength steels, u: *Proceedings of the 42. International Conference Zvaranie*, 12-14. 11. 2014, Tatranská Lomnica, Slovakia, pp. 11-21.
- [2] <https://www.ssab.com/products/brands/armox>
- [3] V. Lazić, D. Arsić, R. R. Nikolić, D. Djordjević, R. Prokić-Cvetković, O. Popović: Application of the high strength steel HARDOX 450 for manufacturing of assemblies in the military industry, *Key Engineering Materials*, Vol. 755, pp. 96-105, 2017.
- [4] M. Rakićević: *Estimation of weldability and selection of optimal welding technology of bulletproof steel ARMOX 500T*, MSc thesis, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, Serbia, 2018. (in Serbian).

INFLUENCE OF THE WELDING JOINT TYPE ON BALLISTIC PROPERTIES OF THE ARMOUR STEEL ARMOX 500T

Abstract: Steels of the ARMOX class belong into a group of the fine-grained increased strength steels, which are manufactured by the quenching and low-tempering procedure, with intensive thermo-mechanical treatment at high temperatures. Combination of the heat and mechanical treatments provides for the fine grains and exceptionally good properties of these steels, while the low-tempering enables relatively high hardness and good ballistic properties. This is why the welding of these steels can negatively affect the material properties in individual zones of the welded joint what could lead to worsening of the material's ballistic properties, as well. The model plates were welded with the specially prescribed technology; the joints were the but-joint, corner joint and the joint with the shielding plate. In this paper are presented results obtained from the ballistic tests of the plates welded by the prescribed technology; tests consisted of shooting with three types of live ammunition at different types of the welded joints.

Key words: ARMOX 500T, welding, ballistic properties, ammunition, welded joint, heat affected zone