

Primena legura aluminijuma u sredstvima naoružanja

Borivoje Veljanovski, dipl.inž.¹⁾
Dr Miodrag Kalezić, dipl.inž.²⁾
Dr Vencislav Grabulov, dipl.inž.¹⁾
Mr Milutin Nikačević, dipl.inž.¹⁾

Zahvaljujući svojoj specifičnoj čvrstoći, plastičnosti, žilavosti loma i korozionoj otpornosti, legure aluminijuma se u svetu masovno primenjuju u proizvodnji sredstava naoružanja i vojne opreme. Nove tehnologije i intenzivni radovi u toj oblasti omogućili su zamenu čeličnih delova u razvoju i proizvodnji savremenih borbenih vozila, raketa i municije, borbenih vazduhoplova, ratnih brodova, inženjerskih mostova i sl. Dat je prikaz tipova i karakteristika osnovnih aluminijumskih legura (serija 2xxx, 5xxx, 6xxx i 7xxx), vrste poluproizvoda (ploče, limovi, profili, otkovci, odlivci), tehnologije njihovog oblikovanja i tendencije razvoja u oblasti legura aluminijuma visoke čvrstoće.

Ključne reči: Legure aluminijuma, sredstva naoružanja, tendencije razvoja, primena, borbeno vozila, vazduhoplovi, municija, rakete, brodovi, mostovi.

Uvod

SAVREMENA sredstva naoružanja i vojne opreme u svetu imaju izvanredne taktičko-tehničke i borbeno-eksploatacione karakteristike u svim uslovima upotrebe: visoku pokretljivost i nosivost, zahtevanu efikasnost dejstva, potrebnu sigurnost i pouzdanost, malu masu i dug vek trajanja. Navedene karakteristike mogu se ostvariti jedino ako se za njihovu izradu koriste materijali visoke čvrstoće i plastičnosti, velike otpornosti prema lomu u statičkim i dinamičkim uslovima, korozione postojanosti i otpornosti prema korozionom zamoru, naponskoj koroziji i interkristalnoj koroziji. Pored toga, materijali treba da imaju što je moguće manju masu i da su tehnološki pogodni za oblikovanje. Razume se da navedeni skup međusobno protivrečnih karakteristika nije moguće pronaći u jednom materijalu, pa se moraju koristiti metali i legure i odgovarajuće tehnologije kojima se obezbeđuje optimalni spoj svojstava za različite namene. Legure aluminijuma imaju povoljan odnos čvrstoće i specifične mase, dobra antikorozijska svojstva, osobine im se poboljšavaju u uslovima eksploatacije na niskim temperaturama i imaju visoku plastičnost ili čvrstoću, uz velike mogućnosti podešavanja međusobnog odnosa ove dve karakteristike legiranjem, hladnom deformacijom i termičkom obradom.

Praktično sve komercijalne Al-legure primenjuju se u sredstvima naoružanja. Oštri zahtevi i visoke performanse pojedinih sistema naoružanja zahtevali su razvoj novih legura specifičnih karakteristika. Takve legure su dobijene, pre svega, iz sistema Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Li-Mg, Al-Cu-Mg-Ni-Mn-Si-Fe- i Al-Mg-Mn. Zavisno od osnovne namene, mogu se koristiti legure visoke čvrstoće serije 7xxx zatezne čvrstoće ≈ 750 MPa (za delove klasičnih i raketnih projektila) ili legure visoke čvrstoće i dobre zavarljivi-

vosti serije 5xxx i 7xxx (za oklopna tela borbenih vozila) ili legure srednje čvrstoće i dobre plastičnosti serije 2xxx (za otkovke potpornih točkova, elemente hodnog dela i delove motora borbenih vozila) ili legure visoke plastičnosti serije 1xxx, 5xxx i 6xxx (za delove opreme i bojeve glave raketnih i artiljerijskih projektila). Za izradu sredstava naoružanja aluminijumske legure se koriste u obliku tankih i debelih limova (platiranih i neplatiranih), presovanih i vučenih profila i šipki, otkovaka i odlivaka [1-3].

Istraživanje i razvoj novih sistema naoružanja i vojne opreme su uslovljeni mogućnostima istraživanja i razvoja novih materijala i tehnologija, a posebno u oblasti lakih legura specifičnih karakteristika. Za njihovo dobijanje se, pored klasičnih postupaka, sve češće primenjuju metalurgija praša, tehnologija kompozita i još neke tehnologije.

U tabeli 1 su prikazani osnovni podaci za aluminijumske legure koje se najčešće koriste za izradu delova naoružanja i vojne opreme u armijama Francuske, Sjedinjenih Američkih Država i Velike Britanije [4,5].

Legure aluminijuma prikazane u tabeli 1 koriste se u proizvodnji vazduhoplova, oklopnih borbenih sredstava, orudja i oružja, municije i raketa, mostova, inženjerske opreme i brodova.

Legure aluminijuma u vazduhoplovstvu

Savremeni borbeni vazduhoplovi izloženi su visokim opterećenjima tokom leta, posebno u pojedinim režimima i manevrima. Opterećenje je promenljivo, sa učestanostima koje zavise od tipa letelice i njenih karakteristika. Stoga je u projektovanju vazduhoplova neophodno voditi računa o zamornom veku delova pri niskocikličnom i pri visokocikličnom opterećenju.

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

²⁾ Jugimport – SDPR, 11070 Novi Beograd, Bulevar umetnosti 2

Tabela 1. Osnovni podaci o najčešće korišćenim legurama aluminijuma

Sistem	Oznaka	Hemijski sastav						Prosečne mehaničke osobine		
	AA	Zn	Cu	Mg	Mn	Si	Cr	R _m , (MPa)	R _{p0.2} , (MPa)	A ₅ , (%)
Al	1050							120	80	11
Al-Cu-Mg	2014		4.5	0.6	0.8	0.8	0.1	420	280	18
	2017		4.0	0.6	0.7			420	280	18
	2024		4.4	1.5	0.6			460	320	18
	2030		4.0	0.8	1.0	Pb=1.0		420	280	12
Al-Mg	5052			2.5			0.25	200	100	20
	5083			4.5	0.8			300	140	18
	5086			4.0	0.5		0.15	270	120	22
	5754			3.0	0.3			220	100	23
	5056			5.0	0.2		0.15	280	120	15
	AlMg6Mn (GOST)			6.5	0.7			320	160	16
Al-Mg-Si	6060			0.5		0.5		220	170	14
	6061		0.3	1.0		0.6	0.2	300	270	13
	6081		0.3	0.8	0.3	0.9		320	280	14
	6082			0.8	0.8	1.1		320	280	12.5
Al-Zn-Mg	7005	4.5		1.4	0.5		0.15	380	320	12
	7039	4.0		3.0	0.3		0.3	450	370	12
	7007	6.5		2.0	0.4		0.2	510	460	12
Al-Zn-Mg-Cu	7075	5.6	1.6	2.5			0.25	540	480	10
	7079	4.3	0.6	3.3	0.2		0.2	530	460	14
	7178	6.8	2.0	2.7			0.25	600	530	9
	7001	7.4	2.1	3.0				630	570	9
	7049	7.7	1.6	2.3			0.22	640	570	10
	7050	6.2	2.3	2.3	0.1			530	460	11
Al-Li-Mg	8090		1.2	0.75	Li =2.5			420	310	9
	8091		2.9	0.8	Li =2.5			600	550	10
Al-Si-Mg	356			0.3		7.0		280	200	6
	332		1.0	1.0	Ni=2.5	12.0		260	220	3
	360			0.5		9.5		290	240	6

Pored toga, posebnu pažnju treba posvetiti problemima aerodinamičkog zagrevanja pri supersoničnim brzinama. Za izradu borbenih vazduhoplova koriste se legure aluminijuma serije 2xxx (2017, 2024, 2014) u obliku limova i profila. Ove legure imaju relativno visoku čvrstoću i dobru plastičnost, imaju i dobru otpornost na zamor, stvaranje i prostiranje zamorne prsline [6].

Da bi se poboljšala krutost i čvrstoća strukture aviona, razvijaju se legure sistema Al-Li, koje imaju manju specifi-

čnu masu i višu granicu razvlačenja od legura tipa duraluminijuma. Limovi od Al-Li legura mogu se spajati zavarivanjem, što bitno olakšava proizvodnju i povećava strukturalnu otpornost delova [7,8]. Tako su na ruskom avionu *MiG-33* prednji deo trupa i kabina pilota izradjeni od Al-Li limova spojenih zavarivanjem (sl.1).

Poluproizvode, koji se koriste za izradu delova u vazduhoplovstvu, mogu da izradjuju samo ovlašćeni i atestirani proizvođači, sa potpunom kontrolom kvaliteta tokom svih

faza tehnološkog procesa. Poluproizvodi moraju imati propisan hemijski sastav, metalurške i mehaničke osobine, a posebno se proveravaju stanje površine i eventualno prisustvo grešaka koje mogu da utiču na funkciju i bezbednost delova vazduhoplova.



Slika 1. Prednji deo trupa novog ruskog borbenog aviona MIG-33 izrađen je od zavarenih AL-Li limova

Oklopna borbena sredstva

Poslednjih decenija u razvoju i modernizaciji oklopnih borbenih sredstava intenzivno se primenjuju legure aluminijuma. Naime, zbog zahteva za pokretljivošću, plivanjem, vazдушnim prenošenjem i nosivošću, potrebno je koristiti lake materijale visoke čvrstoće pogodne za oblikovanje i zavarivanje. Za izradu kupola, oklopnih tela, potpornih i oslonih točkova, delova motora i dopunske balističke zaštite koriste se legure serije 5xxx (5086, 5083) i 7xxx (7004, 7039) u obliku tankih i debelih limova, profila, otkovaka i odlivaka od Al-Si-Mg legura [1,9-11].

Pitanje ukupne mase je jedan od ključnih problema u projektovanju borbenih vozila. Napredak u tehnologiji protivoklopnih sredstava i njihovim performansama probojnosti doveo je do zahteva za debljim oklopom i uzrokovao povećanje mase oklopnog tela i kupole. Razvoj u domenu materijala i njihovih zaštitnih svojstava doveo je do smanjivanja ove mase, ali se trka između oklopa i protivoklopnih sredstava i dalje nastavlja. Većina svetskih proizvođača ne navodi dovoljno pouzdane podatke o performansama upotrebljenih materijala i zaštitnim svojstvima realizovanih rešenja. Navodi se, uglavnom, da je oklop *složen, poboljšan, laminiran ili specijalan*. Oklop, inače, čini $\approx 45\%$ ukupne mase tenka, od čega je 75% udeo kupole. Nekada se za izradu oklopa koristio isključivo čelik, a danas se primenjuju čelik, legure aluminijuma, keramika i kompoziti [12].

Jedna od metoda za ocenu relativne efikasnosti oklopne zaštite zasniva se na upoređivanju površinske mase (masa/jedinična površina) čeličnog valjanog pancira zadatog nivoa zaštite od dejstva izabranog projektila sa površinskom masom određenog tipa oklopa istog nivoa zaštite. Taj odnos se naziva masena *efektivnost* (ME).

Aluminijumski oklop koristi se prvenstveno za zaštitu borbenih vozila od streljačke municije i parčadi artiljerijskih projektila (pre šezdesetih godina za to je korišćen valjani homogeni pancir sa 320 HB do 380 HB). Na američkom borbenom vozilu pešadije M113 primenjena je Al-Mg-Mn legura 5083 tvrdoće 75 HB [9] (koja daje slabiju zaštitu od projektila velike udarne brzine, a bolju zaštitu od parčadi). Familija Al-Zn-Mg legura serije 7xxx obradjuje se

termički (na tvrdoću do 150 HB). Ove legure su osetljive na naponsku koroziju. ME im je do 1.4, što omogućava znatnu uštedu u masi u odnosu na čelični pancir. Familija oznake 2xxx nije osetljiva na naponsku koroziju, ali je nepogodna za proces zavarivanja. Ugradnjom čeličnog pancira sa spoljne strane ploča od Al-legura, povećava se nivo zaštite.

Kod lakog oklopa obloženog keramikom spoljašnji tvrdi sloj (keramika) razbija projektil, a unutrašnji sloj apsorbuje kinetičku energiju. Tvrdoća keramike je do 3 000 HV (čeli-ka do 750 HV). Masena efektivnost je od 2 do 3.

Masena efikasnost čeličnih pancira visoke čvrstoće je manja pri zaštiti od dejstva municije kalibra 14,5 mm nego od kalibra 7,62 mm. Za ploče od Al-legure odnos tih veličina je obrnut.

Masena efikasnost keramikom obloženih oklopa je slična za oba kalibra. Materijal iza keramike treba da bude tanak i deformabilan, sa zazorom do osnovnog oklopa. ME za Al-legure raste pri smanjenju nagiba oklopa, a za keramike se smanjuje. Stoga pri vrlo malim uglovima nagiba ploče od Al-legure daju bolju zaštitu nego keramike.

Tabela 2. Masena efikasnost lakih oklopa pri upravnom dejstvu pancirnog projektila 7,62 mm

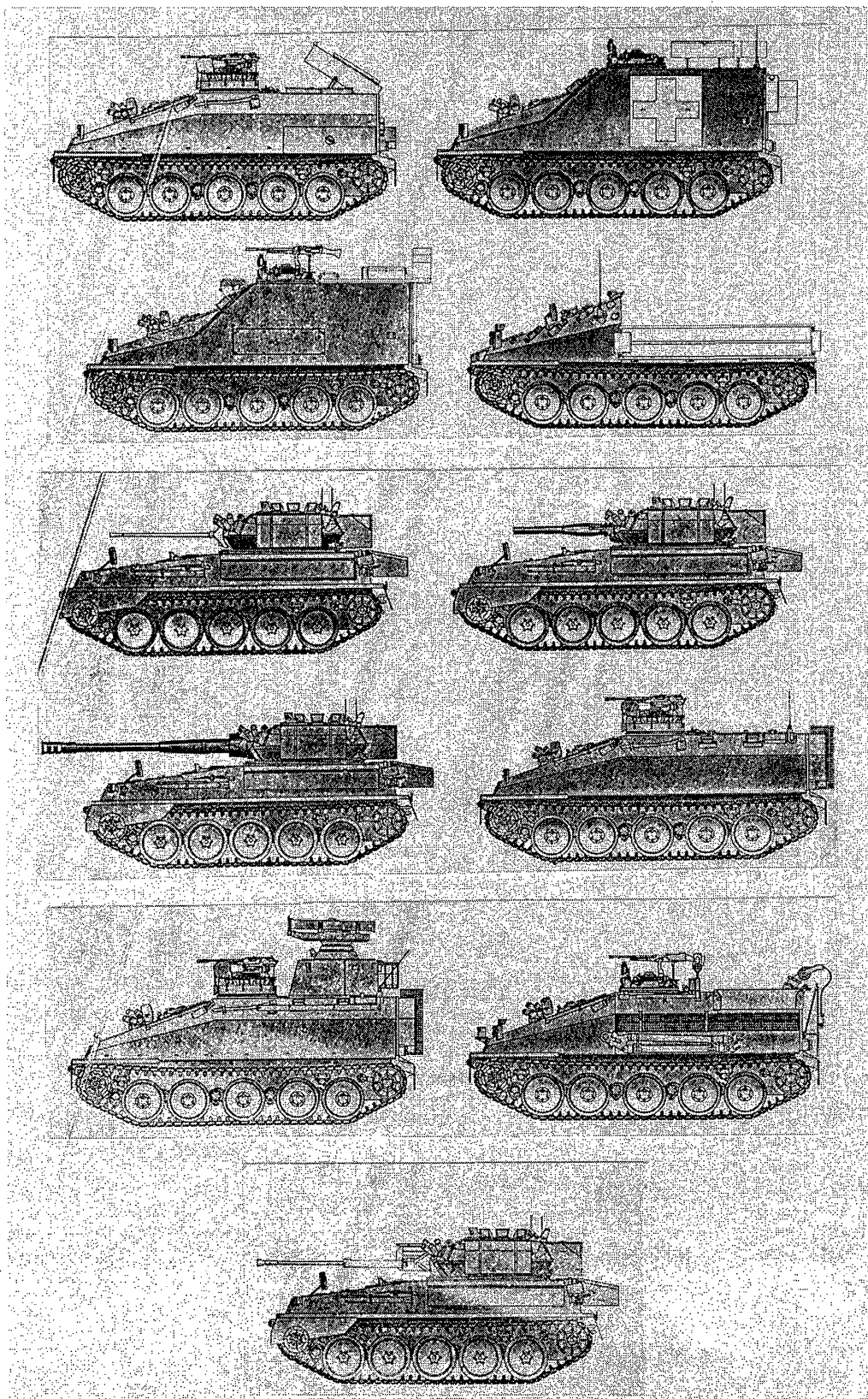
Tip oklopa	Specifična masa (kg/m ³)	Površinska gustina (kg/m ²)	Masena efektivnost
ČELIK			
380 HB	7830	114	1.00
Čelik visoke tvrdoće (550 HB)	7850	98	1.16
Dvostruka tvrdoća 600-440 HB	7850	64	1.78
ALUMINIJUM			
Al-legura 5083	2660	128	0.89
Al-legura 7039	2780	106	1.08
Al-legura 2519	2807	100	1.14
LAMINATI OD STAKLENIH VLAKANA			
E-staklo	2080	115	0.74
S-staklo	2045	93	1.23
OKLOP OBLOŽEN KERAMIKOM			
Al ₂ O ₃ (AD 90)	3560		
Al ₂ O ₃ + Al-legura 5083	3125	50	2.28
Al ₂ O ₃ + Al-legura 7020	3200	42	2.75
Al ₂ O ₃ + laminat E-staklo	2556	46	2.48
Al ₂ O ₃ + laminat Kevlara	2000	38	3.00
Bor-karbid	2450		
Bor-karbid + Al-legura 6061	2564	35	3.26
Titanijum-diborid	4450		

Osim za američko vozilo M113, čija su kupola i oklopno telo izradjeni od legura aluminijuma, i za familiju engleskih vozila *Scorpion* masovno se koriste aluminijumske legure [6].

U ovoj su familiji laki lovci tenkova sa topom kalibra 90 mm, izvidjačko vozilo naoružano topom 30 mm, raketni lovac tenkova sa protivoklopnim raketama *Swingfire*, laki raketni sistem za protivvazдушnu odbranu, komandno vozilo, ambulansno vozilo, vozilo za izvlačenje i transportno vozilo (sl.2).

Aluminijumske legure primenjene su i na belgijskim, švajcarskim i francuskim borbenim vozilima pešadije.

Aluminijumske legure tipa silumina masovno se koriste za izradu delova motora za borbeno vozilo (karter, blok, glava, poklopac, korito, pumpe). Klipovi motora velike snage rade se od otkovaka aluminijumske legure 7075 [10].



Slika 2. Britanska familija oklopnih vozila različite namene na unificiranoj šasiji vozila *Scorpion*

U razvoju novih oklopnih borbenih sredstava i dalje se široko primenjuju legure aluminijuma. Osim poluproizvoda dobijenih klasičnim tehnologijama oblikovanja, intenzivno se radi na osvajanju kompozitnih materijala sa aluminijumskom osnovom, višeslojnih spojeva aluminijuma i čelika i materijala dobijenih metalurgijom praha za limove poboljšane balističke zaštite.

Oružja i orudja

Jedan od osnovnih zahteva u razvoju sredstava pešadijskog naoružanja je da se obezbedi visoka pouzdanost i mala masa sistema. Zbog toga se za izradu delova pištolja, automata, pušaka, puškomitraljeza, mitraljeza i bacača granata primenjuju otkovci, profili i limovi. Tipični primeri su usa-

dnik pištolja, okviri za municiju, nastavci na cevi, prigušivači, nožice itd.

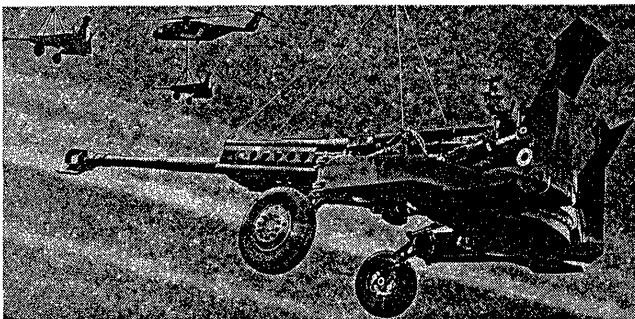
U poslednje vreme se za izradu podloga minobacača kalibra 60 mm i 81/82 mm koriste otkovci od aluminijumske legure visoke otpornosti i čvrstoće. Time se, uz potrebne karakteristike na vatrenom položaju, obezbeđuje mala masa sistema i omogućava povećavanje borbenog kompleta municije koji prenosi posluga minobacača [13], sl.3.



Slika 3. Podloge savremenih minobacača kalibra 60 mm i 81/82 mm izrađene su od Al-legura visoke otpornosti

U razvoju američke vučene haubice kalibra 155 mm M198 jedan od najvažnijih zahteva bio je da se obezbedi vazdušno prenošenje helikopterima nosivosti do 70 000 N. Zbog toga je orudje, namenjeno za opremanje američkih mornaričkih i kopnenih snaga za brze intervencije, izradjeno sa velikim brojem delova od aluminijuma i njegovih legura. To je prvo artiljerijsko orudje vatrene podrške sa aluminijumskim donjim lafetom (zavarenim od dva odlivka), oslonom pločom za gadjanje (zavareni limovi) i krakovima lafeta (savijeni i zavareni kutijasti nosači). Na taj način je obezbedjeno da masa orudja bude $\approx 7\ 000$ kg i ispunjen zahtev naručioca u pogledu aerotransportabilnosti.

Na sličnom principu, uz zahtev da se što je moguće više smanji ukupna masa orudja, projektovana je nova engleska vučena haubica 155 mm LTH. Korišćenjem aluminijumskih legura visoke čvrstoće za izradu donjeg lafeta, krakova lafeta i još nekih delova, izradjeno je orudje nove koncepcije (kombinacija haubice i minobacača) čija je masa na vatarenom položaju manja od 4 000 kg [14], sl.4.



Slika 4. Donji lafet i krakovi lafeta engleske haubice 155 mm LTH izrađeni su od Al-legure

Primenom aluminijumskih legura u proizvodnji artiljerijskih orudja vatrene podrške, obezbeđuje se ispunjavanje jednog od osnovnih taktičko-tehničkih zahteva u razvoju novih sistema tog tipa. Potrebno je, naime, da se obezbede visoka taktička i strategijska pokretljivost i, u najvećoj mogućoj meri, olakšaju sve operacije sa orudjem na vatarenom položaju i u njegovoj pripremi za otvaranje vatre.

Municija i rakete

Zbog potencijalne opasnosti po poslugu i posadu, municija i rakete moraju biti potpuno sigurni i bezbedni pri rukovanju, manipulaciji i lansiranju iz orudja. Ukoliko se radi o prenosnim sistemima, na primer o ručnim protivoklopnim raketnim lanserima, onda se od njih zahteva i mala masa, pa to nalaže korišćenje aluminijumskih legura visokih mehaničkih karakteristika. Većina zemalja u svetu razvila je takve legure specifičnih svojstava čiji sastav i karakteristike nisu u potpunosti poznati. Radi se o materijalima visoke čvrstoće i zadovoljavajuće otpornosti prema lomu i plastičnosti. To su, najčešće, legure Al-Zn-Mg-Cu-Cr-Mn-Zr (francuska A-Z8GU spec, američka 7049A, ruske V-93 i V-96). Koriste se za izradu komora, pregradnih zidova i mlaznica raketnih motora, tela i krilaca stabilizatora, kapa i kontejnera, otpadajućih segmenata na potkalibarnim projektilima. Poluproizvodi su presovane šipke koje se kovanjem dalje preraduju u željene oblike. Gotovi delovi se štite anodnom oksidacijom, čime se poboljšavaju antieroziona i antiabraziona svojstva [15].

Kao i u izradi delova za vazduhoplove, i u ovom slučaju se zahteva posebna kontrola kvaliteta, uz potpuno odsustvo prslina i krupnijih sekundarnih faza. Moraju biti poznati zamorni vek i koroziona postojanost pri dugotrajnom skladištenju, kao i otpornost na naponsku koroziju.

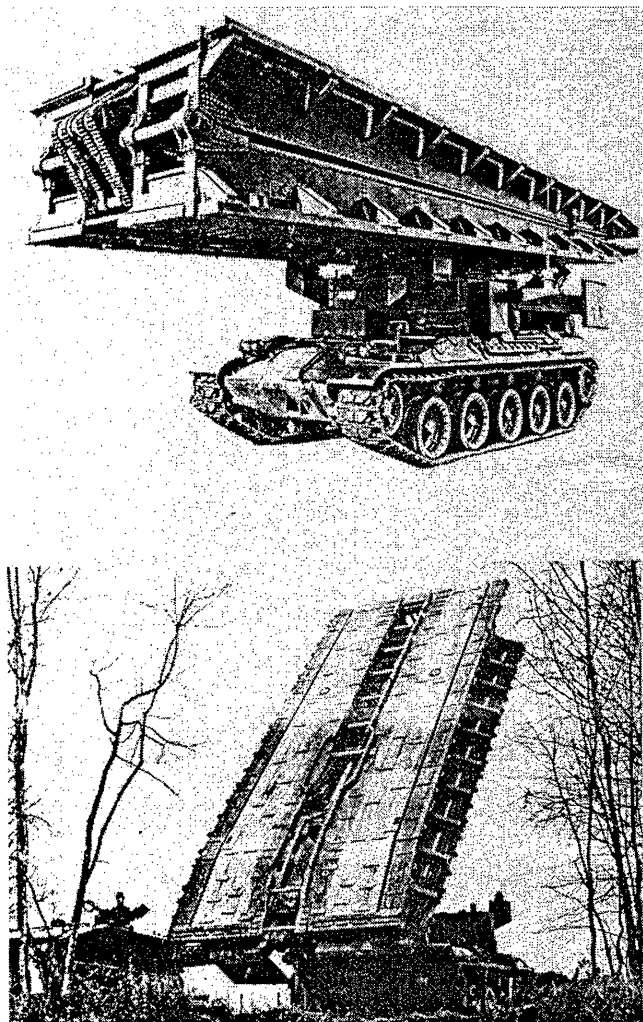
Mostovi i inženjerska oprema

Laki prenosni mostovi, bilo da se radi o varijanti pontona ili da su ugrađeni na vozila odgovarajuće nosivosti, neophodni su deo opreme inženjerskih jedinica svih armija u svetu. Pored osnovnog zahteva za malom masom i visokom otpornošću pri velikim opterećenjima, limovi i profili od aluminijumskih legura koji se koriste za izradu mostova moraju da imaju dobru zavarljivost. Zbog male mase delovi mostova su pogodni za manipulaciju i transport, kao i za brzo postavljanje i sklapanje za ponovni transport (sl.5).

Za izradu inženjerskih mostova najčešće se koriste legure iz sistema 5xxx i 7xxx [1,15].

Brodogradnja

Mali ratni brodovi i minolovci se, zbog specifične namene, izrađuju uz najveće moguće korišćenje aluminijuma i njegovih legura. Osnovni razlozi su, pored nemagnetičnosti (samim tim i neosetljivosti na dejstvo vodenih i podvodnih mina sa magnetnim upaljačem), izrazito dobra antikoroziorna svojstva, pre svega, legura iz sistema 5xxx i 6xxx. Kada se zahtevaju veće čvrstoće, koriste se legure sistema 2xxx i 7xxx, koje moraju biti platirane [1,5,15].



Slika 5. Francusko vozilo guseničar AMX-30 sa mostom dvodelne konstrukcije

Veći ratni brodovi i topovnjače izradjeni su od čelika i aluminijumskih legura, koje se koriste za formiranje nadgradnja i palube.

Za oba navedena tipa ratnih plovila, delovi se izradjuju od poluproizvoda u obliku limova i profila, a za neke komponente koriste se odlivci i oblikovani limovi.

Zaključak

Legure aluminijuma specifičnih mehaničkih karakteristika su nezamenljive u projektovanju i proizvodnji savremenih sredstava naoružanja i vojne opreme. Zahvaljujući velikim mogućnostima metalurške i dalje prerade deformacijom, uključujući i termičku obradu, mogu se optimizovati svojstva legure potrebna za pojedine aplikacije u datim uslovima upotrebe. Veliki broj zemalja u svetu je osposobljen za razvoj i proizvodnju aluminijumskih legura visokih me-

haničkih karakteristika. Istraživanje i razvoj u oblasti tih legura su nerazdvojni deo procesa razvoja budućih sistema naoružanja i vojne opreme, od kojih će se zahtevati sve bolje i bolje performanse. Stoga je neophodno intenzivirati započeta istraživanja u oblasti kompozitnih materijala sa aluminijumskom osnovom, višeslojnih spojeva aluminijuma i čelika i materijala dobijenih metalurgijom praha za limove poboljšane balističke zaštite.

Imajući u vidu moguća ograničenja vojnih budžeta u svetu, nivo troškova uloženi u osvajanje novih materijala i tehnologija i potencijalno smanjenje tržišta za kupovinu sredstava naoružanja i vojne opreme, realno je očekivati masovni transfer vojnih tehnologija u civilni sektor, posebno u domenu primene legura aluminijuma visoke čvrstoće. Neki od domena koji su posebno interesantni su železnički transport, automobilska industrija, brodogradnja i civilni vazduhoplovi.

Literatura

- [1] ASM HANDBOOK - Properties and Selection, vol.2, 5 TH Ed. - 1998.
- [2] ZHOU,J., DUSZCZYK,J. Effect of extrusion conditions on mechanical properties of Al-20Si-3Cu-1Mg alloy. *Journal of Materials Science*, 1991, vol.26, no.14, p.3739-3747.
- [3] ALUMINIUM, vol. II, Design and Application, Ed.By K.R.Van Horn, ASM, METALS PARK, OHIO, 1967.
- [4] VELJANOVSKI,B.V. *Razvoj aluminijumskih legura visoke čvrstoće*. intd. dok. deo 1-4, VTI, 1986..
- [5] ASM HANDBOOK - Materials Characterization, 5 TH Ed. - 1998.
- [6] ALCAN - Division of British Alcan Aluminium limited, DATA SHEET, 1983.
- [7] PRASAD,N.E., KAMAT,S.V., MALAKONDIAH,G., KUTUMBARAO,V.V. Fracture Toughness of Quaternary Al-Li-Cu-Mg Alloy under Mode I, II i III loading conditions. *Metallurgical and materials transactions*, 1994, vol.25A, no.11, p.2439-2452.
- [8] WU,X.J., WALLACE,W., RAIZENNE,M.D., KOUL,A.K. The Orientation Dependence of Fatigue-Crack Growth in 8090 Al-Li Plate. *Metallurgical and Materials Transactions*, 1994, vol.25A, no.3, p.575-588.
- [9] PARK,D.S., KONG,B.O., NAM,S.W. Effect of Mn-Dispersoid of the Low-cycle fatigue Life of Al-Zn-Mg Alloys. *Metallurgical and Materials Transactions*, 1997, vol.28A, no.7, p.1547-1553.
- [10] KACZROWSKI,M. On the possibility of the Local heat treatment of age hardenable Al Si9 (Mg) Cas. Alloy. *Aluminium*, 1996, vol.72, no.5, p.356-360.
- [11] CREUSOT-LOIRE INDUSTRIE: Division mecanique specialisee, prospecti.
- [12] STEPHANS,J.R. *Composit Boots 21 ST - Centruy Aircraft Engines*. advanced materials and processes, 4/90.
- [13] VEKTOR - VEKTOR MORTAR SYSTEM. Informacija proizvođača.
- [14] VSEL-ARMENTS, the 155 mm ULTRALIGHTWEIGHT FIELD HOWITZER, tehnička informacija.
- [15] Aluminium Alloys in Defence Equipment - CEGEDUR PECHNIEY. tehnička informacija.

Rad primljen: 12.7.1999.god.