



[www.ror.edu.rs](http://www.ror.edu.rs)

## RESURSI I RECIKLAŽA SEKUNDARNIH SIROVINA KAO OSNOVA ZA PROIZVODNJU LEGURA ALUMINIJUMA

### *RESOURCES AND RECYCLING OF SECONDARY RAW MATERIALS AS BASIS FOR ALUMINIUM ALLOYS PRODUCTION*

Zagorka Aćimović-Pavlović<sup>1</sup>, Đuro Simović<sup>2</sup>, Ljubiša Andrić<sup>3, #</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet Beograd, Srbija

<sup>2</sup>"Inos"- Beograd, Srbija

<sup>3</sup>Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina Beograd, Srbija

Primljen: 27. jun 2012.

Prihvaćen: 25. jul 2012.

---

**IZVOD** – Sirovinsku bazu za proizvodnju sekundarnih legura aluminijuma predstavljaju otpaci i ostaci čistog aluminijuma i njegovih legura, kao i otpaci raznorodnih materijala koji sadrže aluminijum, odnosno njegove legure. Pošto se aluminijum pojavljuje na mnogim mestima kao otpadak ili ostatak stvorena je potreba da se pitanju sakupljanja, pripreme i prerade, odnosno povratka aluminijumskog otpada u reprodukcioni ciklus posveti znatna pažnja. Recikliranje aluminijuma može se posmatrati sa različitih tački gledišta: ekonomski, ekološki, tehnološki. Naša zemlja nema primarnu proizvodnju, pa je i zbog toga značajno pitanje uspešnog recikliranja otpadaka aluminijuma, o čemu je u radu dato dosta podataka.

**Ključne reči:** reciklaža, aluminijumski otpaci, proizvodnja legura aluminijuma

**ABSTRACT** - Raw materials which represent basis for "secondary" aluminum alloys are waste and scrap of pure aluminum and its alloys, as well as waste and scrap of various materials which contain aluminum or its alloys. Hence aluminum residues are numerous and they appear on various places, there is alerting open question considering necessity of collecting, preparing and processing, i.e. returning aluminum waste into the recycling process. Aluminum recycling can be considered from different point of view: economic, ecologic, technologic, etc. Our country does not have primary manufacturing, thus question of aluminum waste recycling is very significant, and this paper presents numerous data about described problem.

**Key words:** recycling, aluminum scrap and waste, production of aluminium alloys

---

---

# Kontakt adresa autora: Lj. Andrić, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina Franše d'Eperre 86, 11000 Beograd, Srbija. E-mail: [lj.andric@itnms.ac.rs](mailto:lj.andric@itnms.ac.rs)

\* Rezultati u ovom radu su proistekli iz istraživanja na projektu TR34002 koja su finansirana od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

## 1. UVOD

Aluminijum je metal koji je za relativno kratko vreme uspeo da se svojim izvanrednim tehničkim, estetskim i drugim pozitivnim svojstvima, nametne konstruktorima i projektantima tako da je njegova oblast primene šira nego kod drugih metala. Čist aluminijum nema veliku primenu zbog loših mehaničkih i livačkih svojstava. Svojom sposobnošću legiranja sa raznim drugim metalima omogućeno je dobijanje tro i više komponentnih legura. Razvojem određenih tehnologija pripreme liva i procesa livenja, ostvarene su strukture sa unapred zadatim mehaničkim, fizičko-hemijskim i tehnološkim svojstvima, tako da se te legure u poslednje vreme sve više javljaju kao konkurent, čak i čelicima. Često aluminijuske livene konstrukcije, sa visokim mehaničkim svojstvima u odnosu na gustinu, bez unutrašnjih napona u leguri, eliminisanih pogodnim sastavom i konstrukcionim rešenjima, ekonomično supstituišu kovane, zavarene i montažne konstrukcije [1-7].

Visok tempo razvoja proizvodnje i primene aluminijuma baziran je na njegovim izuzetno pogodnim svojstvima, a pre svega: maloj gustini, 2,7 g/cm<sup>3</sup>; relativno visokim mehaničkim karakteristikama; otpornosti na koroziju u atmosferi i određenim hemijskim sredinama; lako obradljivosti u hladnom i zagrejanom stanju; visokom toplotnom i elektroprovodljivošću. Aluminijum se lako reciklira bez štetnog uticaja na okolinu, sa izuzetno malim utroškom energije (oko 5%) u odnosu na utrošenu energiju pri elektrolitičkom dobijanju aluminijuma. Aluminijumski otpaci iz proizvodnje (industrijski otpaci) i otpaci iz potrošnje (amortizacioni otpaci) imaju visoku cenu na tržištu, a njihovom regeneracijom, pored izuzetno povoljnih ekonomskih efekata, postiže se efikasna i optimalna zaštita životne sredine [8-12].

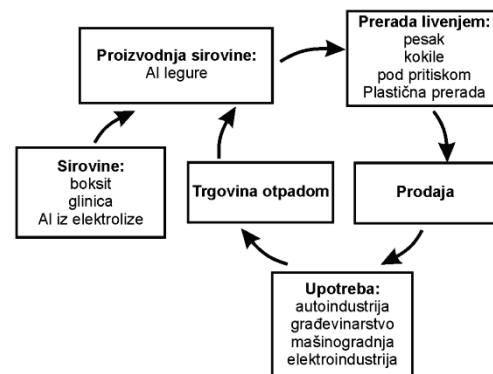
Za svaki tehnički materijal od velike važnosti je da, kada mu se završi prvobitna određena namena i kada završi kao otpadak, postane materijal koji će se reciklirati bez gubitaka u kvalitetu. Shvatajući značaj povoljnih efekata prerade aluminijumskog otpada visokorazvijene zemlje sveta imaju dobro organizovano tržište aluminijumskog otpada. Primenjuju visoko profitabilne tehnologije prerade, uz maksimalnu zaštitu životne sredine u saglasnosti sa postojećom zakonodavnom politikom. To im omogućava da, danas, za proizvodnju aluminijumskih legura, pored čistog aluminijuma iz elektrolize, koriste veliki deo recikliranog aluminijuma. Krajem prošlog veka u

ukupnoj proizvodnji aluminijuma u razvijenim zemljama sveta određeni procenat potiče od otpadaka, na primer: u SAD 20 – 30%, Engleskoj 30 – 35%, Nemačkoj više od 45%, Francuskoj 24 – 26% [2,13-16]. Prema podacima, poslednjih dvadeset godina prošlog veka, potrošnja sekundarnog aluminijuma, u zavisnosti od stepena razvoja zemlje, rasla je po stopi od 4,2-5,5%, dok je u istom periodu, proizvodnja primarnog aluminijuma rasla po daleko nižoj stopi od svega 2,8% [4].

Kod nas u fabrikama za preradu sekundarnih sirovina učešće industrijskih otpadaka je oko 90%. U cilju proizvodnje legura željenog sastava od otpadaka aluminijuma, uz ekonomično dodavanje primarnog aluminijuma i legirajućih elemenata neophodno je ostvariti određene preduslove: sakupljanje, sortiranje i predhodna obrada otpadaka u cilju odstranjivanja štetnih primesa, topljenje pod kontrolisanim uslovima, kako bi se postigao optimalan prinos i dobar kvalitet metala, čemu će se u radu posvetiti posebna pažnja.

## 2. RAZVOJ PROIZVODNJE I POTROŠNJE ALUMINIJUMA SA OSVRTOM NA NASTAJANJE OTPADAKA ALUMINIJUMA I LEGURA ALUMINIJUMA

Kod metala kao što je aluminijum, u čijoj proizvodnji je utrošak energije visok, od posebne važnosti je da se svi raspoloživi otpaci vrte u sirovinski krug. Ovaj kružni tok za legure aluminijuma važi gotovo od početka primene aluminijumskih proizvoda (aluminijumskog posuđa, pre svega). Rano je otkrivena mogućnost povratka materijala u proces proizvodnje nakon završene upotrebe proizvoda. U doglednoj budućnosti moraju svi proizvodni procesi biti zaokruženi u ekonomsko-energetsko-ekološkom ciklusu (sl.1.).

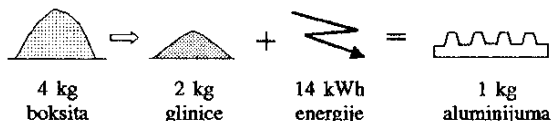


Slika 1. Kružni ciklus legura aluminijuma [7]

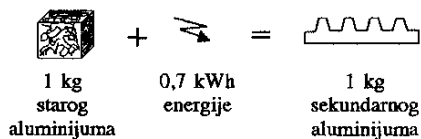
Za razliku od visokorazvijenih zemalja, kod nas kružni ciklus legura aluminijuma nije potpun. Za to postoji više razloga, a pre svega neorganizovanost tržišta aluminijumskog otpada, kao i zastarelost opreme i tehnologija u pripremi i preradi otpadaka. Kapaciteti su uglavnom organizovani za preradu aluminijumskog opada visokog kvaliteta i to procesom pretapanja. Analizom tržišta vidi se da je takvog otpada sve manje, tako da su prerađivači primorani da prerađuju aluminijumski otpad nižeg kvaliteta uz velike gubitke metalnog aluminijuma[5, 7, 16, 17].

U zemljama koje imaju visoko razvijenu proizvodnju aluminijumskih proizvoda nastaju i velike količine sekundarnog aluminijuma. Glavni izvor sekundarnog aluminijuma su finalni proizvodi od Al i Al legura (ambalažni materijal, različite vrste vozila, limenke i druga potrošna roba), a takođe i livački proizvodi i proizvodi iz plastične prerade. Reciklaža aluminijumskih proizvoda oduvek je uticala na proširenje i ubrzani razvoj aluminijumske industrije. Prednost aluminijumske industrije sa maksimalnim korišćenjem recikliranog materijala su očigledne, posebno ako se ima u vidu količina utrošene električne energije za proizvodnju primarnog i sekundarnog aluminijuma (sl.2.). Zato sekundarni aluminijum ima veliki značaj za industriju aluminijuma kao alternativni izvor za proizvodnju novih aluminijumskih proizvoda.

**Proizvodnja primarnog aluminijuma**



**Proizvodnja sekundarnog aluminijuma**



Slika 2. Pregled uslova proizvodnje primarnog i sekundarnog aluminijuma [7]

U prilog korišćenja sekundarnog aluminijuma u odnosu na primarni govore i činjenice da je za proizvodnju primarnog aluminijuma neophodno obezbediti velika investiciona ulaganja u rudarske i metalurške kapacitete, kao i to da su troškovi prerade visoki. Kod proizvodnje sekundarnog aluminijuma sva ulaganja i troškovi svedeni su na minimum.

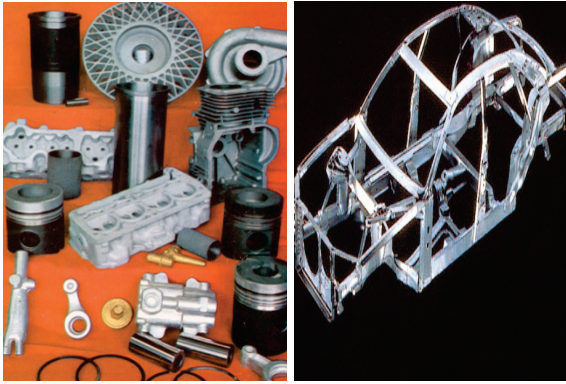
Pri proračunu obima nastajanja otpadaka mora se imati u vidu veličina metalnog fonda, tj. količina aluminijumskih proizvoda koji se nalazi u opticaju i vek trajanja tih proizvoda. Oblast primene aluminijuma u raznim granama privrede je različita i ne može se uzimati podjednako za sve zemlje sveta zbog uslova privređivanja i lokalnih specifičnosti. Podaci o primeni aluminijuma se dosta razlikuju u raznim vremenskim periodima [4,7]. U tabeli 1. dat je pregled upotrebe aluminijuma u raznim granama industrije sa prosečnim vekom trajanja proizvoda i procenom ponovnog korišćenja[2].

Tabela 1. Upotreba aluminijuma u industriji i povratak Al – otpada [2]

Grana industrije	Učešće u ukupnoj upotrebi (%)	Ponovo iskoristivo (%)	Vek trajanja proizvoda (god.)
Saobraćaj	25 – 30	70-90	oko 10*
Gradevinarstvo	20 – 25	50	10 – 30
Ambalaža	10 – 15	20	do 1
Elektrotehnika	8 – 10	80	10 – 30
Alumotermija	3,5	-	-
Roba za domaćinstvo	5 – 10	70	5 – 10
Industrija praha	0,8	-	-
Mašingradnja	5 – 10	60	oko 10
Hemija	1,6	80	5
Ostalo	5,4	60	5

\*prema drugim podacima predviđeni rokovi trajanja: za putničke automobile 20god.; za delove za železnicu 40 god. [10]

Kao što je već napomenuto, ovi podaci se razlikuju za razne zemlje sveta i različite vremenske periode, ali statistike govore da se znatan deo potrošnje odnosi na proizvodnju saobraćajnih i transportnih sredstava, sl.3. Najveći deo su putnički automobili u kojima se ugrađuje u obliku livenih delova motora, nosača, lajsni, ramova, ostale galanterije[2,4,7]. Deo delova proizvedenih od ovog materijala sadrži se i u teškim kamionima, autobusima, hladnjačama i drugim vozilima. U lokomotivama, razni nosači, lajsne – ukrasne i pokrivne, delovi motora izrađeni su od livenog ili plastično obrađenog aluminijuma i legura aluminijuma. Zahvaljujući visokoj postojanosti prema koroziji, antimagnetskim svojstvima aluminijumske legure se široko primenjuju u brodogradnji i avio industriji [7,12].



Slika 3. Raznovrsne oblasti primene aluminijuma

Aluminijum zauzima vodeću poziciju u građevinarstvu, u odnosu na druge građevinske materijale, a koristi se za izradu raznih mostova, kranova, hala, stubova dalekovoda, raznih konstrukcija. Razlog za veliku primenu aluminijuma u građevinarstvu je: mala težina, dobra mehanička svojstva kao i dobra dekorativna i antikoroziivna zaštita. Iz ovih razloga široku primenu našle su legure u proizvodnji vrata, prozora, držača, krovova, radijatora. Odlivci od svih Al-legura, pre svega AlMg, pokazuju nakon poliranja ili anodne oksidacije, kao i farbanja, jedan poseban sjaj tako da se primenjuju za izradu delova nameštaja, optičkih uređaja, kućnih aparata i umetničkog liva, a potisnuli su druge materijale. Iz ovih oblasti primene aluminijuma može se očekivati veća količina amortizacionog otpada.

### 2.1. Vrste sekundarnih sirovina aluminijuma i legura aluminijuma

Uporedo sa razvojem proizvodnje primarnog Al rasla je i njegova prerada u najrazličitije polufabrikate. Dva osnovna pravca prerade primarnog Al su livenje i plastična prerada i u tim procesima nastaju znatne količine sekundarnih sirovina aluminijuma. Kao što je već rečeno aluminijumski otpad dolazi iz dva izvora:

- novi ili procesni otpad koji nastaje u proizvodnji (strugotine, odresci od limova i sl.), tzv. industrijski otpad
- stari otpaci - otpadni materijali, odbačeni predmeti, kuhinjski aparati i posuđe i slično, tzv. amortizacioni otpad.

Industrijski otpaci nastaju u fazama mehaničke obrade aluminijumskih proizvoda kao viškovi materijala koji nisu ušli u sastav finalnog proizvoda. To su: limovi nastali pri operacijama sečenja, probijanja, dubokog izvlačenja, strugotina nastala pri operacijama struganja, rezanja, glodanja i sličnih procesa obrade skidanjem

materijala, a javljaju se i kao neispravni – škart produkti, posebno folija, tuba i drugi proizvodi. Poznatog su hemijskog sastava, čisti su i iz njih se dobija sekundaran aluminijum visokog kvaliteta uz minimalne troškove prerade. Sličnog kvaliteta su i otpaci iz građevinarstva, saobraćaja i zanatstva nastali kao ostaci od sečenja i oblikovanja aluminijumskih proizvoda – limovi, šipke, profili i cevi.

Otpaci iz livnica se razlikuju od gore navedenih industrijskih otpadaka, mada se i oni svrstavaju u ovu grupu. U toku procesa prerade metala u tečnom stanju i u toku dalje obrade odlivaka nastaje sledeći povratni materijal:

- ulivni sistem i nalevci koji otpadaju prilikom čišćenja odlivaka,
- loši proizvodi – odlivci čiji su nedostaci otkriveni u procesu proizvodnje,
- strugotine nastale kod sečenja i mehaničke obrade odlivaka i
- troske koje nastaju pri topljenju metala i njihovih legura.

Obim nastajanja industrijskih otpadaka zavisi od obima prerade aluminijumskih sirovina ili poluproizvoda i primenjenih tehnologija. Njihov kvalitet zavisi od pridržavanja mera pravilnog sortiranja i skladištenja otpada na mestu nastajanja. Neophodno je obezbediti razvrstavanje po klasama, kako bi se sačuvala čistoća i jednorodnost tih otpadaka.

Kategoriju otpadaka iz potrošnje čine oštećeni, amortizovani i rashodovani proizvodi kojima je istekao vek korišćenja. U sebi mogu sadržati jednorodni aluminijum ili pak mogu sadržati pored ostalog znatne količine materijala na bazi aluminijuma. Pri proračunu obima ove vrste materijala mora se imati u vidu veličina metalnog fonda, tj. količina aluminijumskih proizvoda koji se nalazi u opticaju i vek trajanja tih proizvoda, (tabela 1). Na ovoj vrsti otpadaka često su prisutne znatne količine nečistoća i drugih materijala (boje, naneti ili povezani drugi materijali kao što su papir, tkanine i plastika), a prisutni su i višekomponentni otpaci, tj. sklopovi raznih materijala – aluminijum sa drugim metalima i nemetalima. To sve utiče da se smanji kvalitet i vrednost ove vrste otpadaka, tako da je neophodna adekvatna priprema.

Po mestu i učestalosti nastanka postoji razlika kod ovih vrsta otpadaka. Industrijski otpaci nastaju samo u proizvodnim pogonima, tj. na manjem broju lokacija i to kontinualno u obimu koji zavisi od obima proizvodnje. Izvori amortizacionih otpadaka imaju veliku prostornu i vremensku disperziju i javljaju se u neredovnim količinama i vremenskim razmacima.

Izuzetno značajna oblast i uslov za uspešni povratak u reprodukcioni ciklus ove vrste materijala ima klasifikacija i standardizacija otpadaka. Činjenica je da u raznim zemljama postoje različite klasifikacije i standardi za otpatke aluminijuma. Neophodnost klasifikacije proizvodnog i amortizacionog otpada obojenih metala nameću različiti načini prerade sekundarnih sirovina. Standardizacija otpatka obuhvata: stanje, kvalitet, oblik i način isporuke i čitav niz drugih elemenata koji su bitni za formiranje cene i dalji tretman aluminijumskog otpatka. Kod nas postoji standard koji definiše način klasifikovanja otpadka aluminijuma u tri kategorije otpadaka: otpaci nelegiranog aluminijuma i aluminijuma za gnječenje, otpaci legura za livenje i gnječenje i otpaci aluminijumskih užadi, strugotina i ostataka, a u okviru svake kategorije postoji podela na klase i sorte [2, 7, 11, 12].

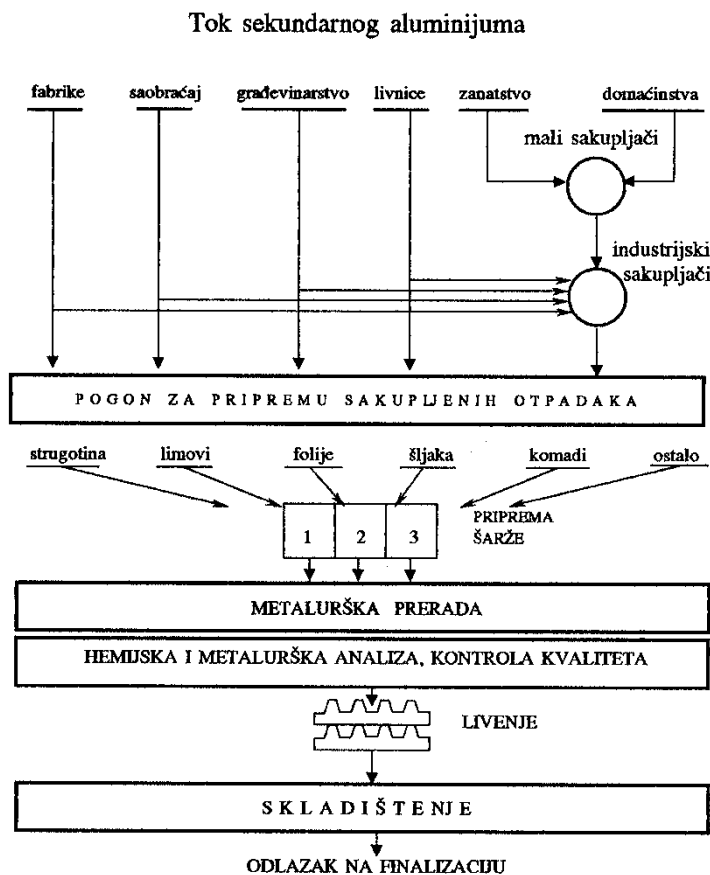
### 3. PROIZVODNJA LEGURA ALUMINIJUMA IZ SEKUNDARNIH SIROVINA

Reciklaža, u suštini, predstavlja proces vraćanja ma-

terijala koji je u nekoj fazi proizvodnje ili potrošnje ispaio iz daljeg tretmana, u taj isti ili neki drugi sirovinski krug. Sa povećanjem potrošnje aluminijuma raste i količina nastalog otpatka, a sa tim i potreba da se tako nastali otpadak nakon pripreme ponovo vrati u proizvodni proces. Povratak aluminijumskog otpada u reprodukcioni ciklus predstavlja kompletan proces od trenutka njegovog pojavljivanja pa do ponovne upotrebe u industriji a može se podeliti u tri osnovne faze:

- sakupljanje sa transportom i skladištenjem,
- pripreme za preradu i
- prerada.

Na sl. 4 prikazan je tok sekundarnog aluminijuma. Da bi do izražaja došle sve, već napred navedene prednosti dobijanja legura aluminijuma iz aluminijumskog otpatka, u poređenju sa procesom dobijanja metala iz prirodnih nalazišta, neophodno je izvršiti što precizniju selekciju po vrstama materijala i grupama sličnog hemijskog sastava i izvršiti odgovarajuću pripremu otpadaka.



Slika 4. Tok sekundarnog aluminijuma

### **3.1. Sakupljanje, transport iskladištenje otpadaka**

Uspešan povratak aluminijuma u reprodukcioni ciklus biće izvesniji i sigurniji ako započne na samom mestu gde se stvara otpadak kao tehnološki višak ili otpadak u pogonima za preradu metala. Razne vrste legura aluminijuma su po spoljnjem izgledu tako slične da ne pružaju mogućnost kasnijeg razdvajanja prostim metodama, tako da je naknadno sortiranje po vrstama vezano sa složenim tehnološkim postupcima, smanjenom ekonomijom i uopšte manjom šansom za postizanje većeg iskorišćenja metala. U pogonima gde nastaju otpaci mora se prvenstveno sprečiti njihovo zagađivanje sa raznim metalnim i nemetalnim primesama. U tom cilju najpovoljnije je kada se na samim mašinama za obradu metala postave dodatni uređaji i prihvatni sudovi –kontejneri kojima se sprečava rasturanje otpadaka i njihovo prljanje. Prihvatni sudovi moraju biti jasno obeleženi tako da se sa lakoćom može vršiti razvrstavanje materijala.

Izuzetno vredna sirovina kao što su aluminijumski otpaci zahteva brižljivo postupanje pri uskladištenju. Strugotina, šljaka i prašina moraju se skladištiti u pokrivenim prostorijama uz nastojanje da se što pre prerade. Ostali otpaci mogu se lagerovati na otvorenom prostoru. Prostori na kojima se uskladištavaju otpaci aluminijuma moraju se obeležiti, a otpadak se mora izdvajati po vrstama. Isitnjeni otpadak (dezintegrisan, šrederovan) i sitna strugotina mogu se pomoću raznih uređaja (transporteri, konvejeri, silosi) lagerovati i transportovati što znatno doprinosi povećanju produktivnosti rada. Proces sakupljanja mora biti dobro organizovan, a takođe, mora obuhvatati sve izvore nastajanja otpatka.

### **3.2. Priprema otpadaka aluminijuma za preradu**

Da bi se dobili što bolji tehnološki parametri topljenja i postigao dobar kvalitet liva, svaka vrsta otpatka zahteva posebnu pripremu pre same prerade, a ista zavisi od fizičkog izgleda otpadaka i njihove zaprljanosti stranim primesama. Otpaci od čistog aluminijuma i otpaci od legura razlikuju se po hemijskom sastavu, a takođe, i otpadak legure za plastičnu preradu razlikuje se od legura za livenje. Imajući u vidu raznovrsnost proizvoda na bazi legura aluminijuma i njihovu primenu može se videti složenost sklopova u kojima se legure aluminijuma pojavljuju zajedno sa čelikom, teškim metalima, plastičnom masom, gumom, bojama, uljem, emulzijom. Samo manji

deo otpatka nastaje u obliku i veličini koja se može direktno šaržirati u peć za topljenje. Osnovne grupe otpadaka aluminijuma su: komadasti otpadak, folija, šljaka, strugotina i svaka od njih zahtevaju posebne tehnologije pripreme. Pre početka procesa pripreme vrši se uzorkovanje i karakterizacija prikupljenih otpadaka.

Priprema komadastog otpada započinje sortiranjem, tj. razdvajanjem: limova, žice, cevi, profila. Relativno lako se odvajaju komadi teških metala na bazi njihove veće specifične težine i različite boje. Delovi od gvožđa i čelika se odvajaju na bazi njihove magnetičnosti (osim kada se radi o nerđajućem čeliku). Najviše primenjivani postupci pripreme komadastog otpada su presovanje, sečenje i dezintegracija kombinovana sa magnetnom separacijom i separacijom u teškim tečnostima.

Manji komadi otpatka idu u proces presovanja, tj., paketiraju se u cilju lakšeg skladištenja i manipulacije otpadom, a takođe lakšeg šaržiranja u peć i manjeg odgora. Pri ubacivanju u presu i izradi paketa mora se voditi računa da materijal mora biti oslobođen svih stranih primesa, složenih delova, amortizera i drugo, delova od nerđajućeg čelika, a količina strugotine, folija i opiljaka treba da bude manja od 10%.

Usitnjavanje krupnih komada ima za cilj da otpad svede na određeni granulometrijski sastav i u te svrhe koriste se: autogeni i električni aparati za rezanje, različite vrste makaza, hidraulične giljotinske makaze, ručne sekire i slično, pa sve do modernih kompleksnih postrojenja sastavljenih od drobilica, magnetnih separatora i gravimetrijskog klasiranja u teškim tečnostima [7,11].

Blokovi i glave motora, karteri i slični liveni delovi mogu se lomiti pomoću hidrauličnih uređaja za lomljenje ili na lomarama opremljenim padajućim kuglama.

Postrojenja za usitnjavanje–šrederi aluminijumskih otpadaka predviđena su za pripremu raznorodnog materijala pomešanog sa metalnim i nemetalnim primesama. Isitnjeni materijal se magnetnom separacijom oslobađa od magnetičnih primesa. Dobijeni materijal je granulacije 80-120 mm i pogodan je za ubacivanje u peć.

Limovi sa visokim sadržajem cinka i magnezijuma posebno se klasiraju i paketiraju, a služe kao dodaci legurama.

Zadatak savremene pripreme strugotine je da se što efikasnijim načinom dovede u stanje koje obezbeđuje maksimalan izvadak metala, odnosno smanjenje oksidacije i druge gubitke uz odgovarajuću produktivnost svih stadijuma procesa rada. To se

najefikasnije postiže na postrojenju koje obavlja tri osnovna procesa - usitnjavanje, sušenje i uklanjanje primesa. Kvalitet ovakve strugotine je veoma visok, a sadržaj vlage u njoj ispod 0,5% [7, 11].

Otpadna folija, posebno stara folija, obično je zaprljana nečistoćama, a glavna metalna nečistoća je olovo koje se ne meša sa aluminijumom, ali se mora voditi računa da se pri korišćenju folije izbegne taloženje olova na dnu peći za topljenje. Folija se priprema presovanjem u hidrauličnim presama. Pošto je obično presvučena plastikom, hartijom, bojena, štampana, u cilju njihovog uklanjanja mora se žariti na temperaturi 300 – 400°C u rotacionim pećima. U slučaju potpuno čistih folija, bez boja i nenaštampane, pre pretapanja presuju se u hidrauličnim presama. Ove folije se najčešće koriste za proizvodnju Al praha postupkom mlevenja [5].

Šljaka se javlja u svim pogonima u kojima se prerađuje aluminijum, a u sebi može imati različit sadržaj metala (8-90%) što zavisi od tehnologije, vrste i kapaciteta uređaja za topljenje, vrste uloška, vrste primenjenih soli za rafinaciju i zaštitu, načina sakupljanja šljake sa površine metala, granulacije šljake. Osim zarobljenog metala, u šljaci mogu biti prisutni razni oksidi, razne rastvorne i nerastvorne soli koje se upotrebljavaju pri pretapanju, ostale nečistoće. Suština postupaka za pripremu šljake je zasnovana na mehaničkom razbijanju i vađenju zarobljenog metalnog aluminijuma. Iz mlevene šljake nakon prosejavanja izdvajaju se krupni delovi Al koji se mogu direktno pretapati, a sitniji (Al prašina), može da se koristi u alumotermijskim reakcijama. Pri ovome obavezna je magnetna separacija čime se izdvaja delovi na bazi Fe. Prašina kao najsitnija frakcija se skuplja na filterima tako da je celo postrojenje sa aspekta zagađenja okoline obezbeđeno. Postoje i drugi načini pripreme šljake, na primer, korišćenjem korpi postavljenih na vibracione stolove [7, 11].

Otpaci žica, kablova i provodnika su često zaprljani sa materijalom koji služi kao izolacija i zaštita (čelični omotač, guma, hartija, PVC, polietilen i druge plastike, bitumen, a takođe i bakarni kablovi), što se sve mora razdvojiti pre prerade primenom postupaka spaljivanja ili mehaničkim postupcima (mlevenje, prosejavanje i separacija u vazdušnoj struji pri čemu se dobija čist granulat aluminijuma). U cilju zadovoljenja ekološkog aspekta prerade pri postupku spaljivanja kablova moraju se preduzeti mere za eliminisanje produkata sagorevanja koji često sadrže hlór.

Toksični i opasni materijali retko su prisutni u otpadu aluminijuma, ali ukoliko su prisutni, treba da se

odstrane pre pripreme i topljenja.

### **3.3. Prerada otpadaka i proizvodnja legura aluminijuma**

Uslovi odvijanja procesa topljenja i livenja legura dobijenih iz sekundarnih sirovina su složeni usled dejstva mnoštva tehnoloških parametara vezanih za vrstu samih otpadnih materijala, njihovu pripremu za preradu, međureakcije različitih komponenti iz šarže, uticaj topitelja na hemizam reakcija pri topljenju, uticaj stvorene šljake, temperature, vremena topljenja i slično. Konkretnim istraživanjima na opremi i raspoloživim sirovinama neophodno je naći korelaciju između relevantnih tehnoloških parametara procesa pripreme i prerade otpadaka i kvaliteta dobijene legure aluminijuma.

Navedeni postupci pripreme svih vrsta otpadaka vrše se radi postizanja što većeg iskorišćenja materijala pri topljenju, a takođe i za postizanje većeg kvaliteta sekundarnih aluminijumskih legura. Najčešće se od otpadaka proizvodi legura za livenje i to se smatra najstarijom primenom, mada u novije vreme, počinje da se pripremaju i za legure namenjene plastičnoj preradi ili za aluminijum visoke čvrstoće. Nakon pripreme otadaka sledi prerada aluminijumskog otpatka koja se sastoji iz sledećih stupnjeva:

- pretapanje,
- rafinacija i legiranje i
- razlivanje.

Proces pretapanja pripremljenih otpadaka ekonomično se vrši u rotacionoj plamenoj peći, na što je moguće nižoj temperaturi, uz maksimalno skraćenje vremena topljenja da ne bi došlo do pregrevanja metala i gubitaka sagorevanjem. Da bi se proizvodila aluminijumska legura prema standardnim specifikacijama uz minimalne proizvodne troškove, šarža se mora sastaviti od takvih količina i vrsta otpadaka koji će odgovarati željenom sastavu, bez većeg dodavanja legirajućih materijala.

U cilju dobijanja kvalitetnih legura aluminijuma iz sekundarnih sirovina neophodno je da se pre procesa livenja liv oslobodi od svih vrsta primesa i nečistoća, da se dovede na potreban sastav i temperaturu. Postupak rafinacije i legiranja može da se obavi u svim topioničkim pećima, ali se danas najčešće primenjuju peći za održavanje, postavljene pored rotacionih peći. U njima se vrši korekcija sastava, rafinacija, degazacija i modifikacija, dovođenje na temperaturu livenja. Za procese rafinacije, degazacije i modifikacije koriste se različite soli u različitim količinama u odnosu na masu

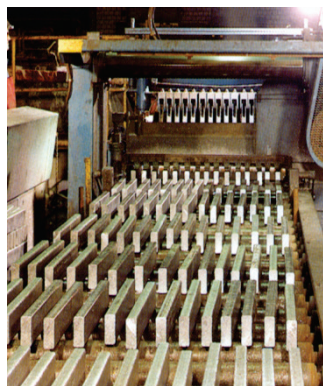
uloška, a primenju se različitim metodama. Takođe, za procese degazacije, primenjuju se gasovi ( $N_2$ , Ar, gasne smeše  $N_2$ -Ar,  $N_2$ -freon i slično) koji se produvavaju kroz rastop i na taj način doprinose čišćenju rastopa od rastvorenih gasova, prvenstveno vodonika, a pri tome se odstranjuju i nemetalni uključci. Od velike važnosti je poznavanje načina zaštite rastopa kao i samog procesa uklanjanja nemetalnih uključaka pri čemu važnu ulogu ima primena odgovarajućih rafinatora i zaštitnih soli, kao i raznih oblika keramičkih filtera.

Aluminijumske legure proizvedene u topionicama potrošačima se isporučuju:

- u tečnom stanju do linije livenja u termoloncima (sl.5) ili
- u obliku ingota, raznih polufabrikata, granula, griza (sl. 6, 7).



Slika 5. Termolonci za prenos tečnog metala



Slika 6. Livenje primarnih legura u polufabrikate



Slika 7. Livenje sekundarnih legura aluminijuma u ingote

Kod modernijih postrojenja često između peći i uređaja za razlivanje instaliraju se pumpe (centrifugalne) čime se rastop uspešnije prebacuje na razlivanje. Danas se u mnogim slučajevima upotrebljavaju indukcioni transportni kanali koji imaju čitav niz prednosti u brzini transporta, očuvanju temperature, skraćuju vreme livenja. Poznati su ovakvi uređaji za doziranje tečnog aluminijuma firme AEG-Nemačka [10]. Radi lagerovanja i zaštite od atmosferilija ingoti se pakuju na palete, oblažu plastičnom folijom i u takvom stanju bivaju isporučeni potrošačima.

## ZAKLJUČAK

Sakupljanje i prerada aluminijumskog otpada spada u najmlađe industrijske grane koje još uvek traže svoje mesto u privredi. U našoj zemlji ne postoje pouzdani podaci o količinama sakupljenih i prerađenih aluminijumskih otpadaka po kategorijama. Uzrok ovome je slabo vođenje evidencije i različito ponašanje u različitim uslovima konjunktura, pa otuda dolazi i do nepouzdanosti podataka. Poseban problem predstavlja izvoz otpadaka što smanjuje sirovinску bazu aluminijuma. Stanje razvoja naše privrede u zadnjoj deceniji je izrazito stagnirajuće i na znatno nižem nivou u odnosu na stanje pre dvadeset godina. Poseban problem predstavlja nemogućnost tehnološkog i tržišnog povezivanja sa razvijenim zemljama sveta što još više pogoršava i otežava rad u industriji aluminijuma. Kao doprinos razvoju industrije aluminijuma, može nesumnjivo da posluži razvoj i kontinuirani rast proizvodnje i potrošnje sekundarnog aluminijuma. S toga istraživanja i osvajanja tehnologija i opreme za sakupljanje, pripremu i preradu različitih vrsta otpadaka su aktuelna, kako sa ekonomskog aspekta, tako i sa aspekta ekologije- zaštite životne sredine, očuvanja prirodnih resursa i smanjenja degradacije velikih površina zemljišta.

## LITERATURA

1. Mondolfo, L.F. *Aluminium Alloys Structures and Properties*; Butter Worths: London-Boston, 1976.
2. Lewinski, A. Recent Developments in the Aluminium Recycling Industry, Proceedings of Conf. Aluminium, Essen, Deutschland, Sept. 1997; pp 220-225.
3. Tomović, M. *Livenje lakih i obojenih metala*; Univerzitet u Beogradu, TMF Beograd: Beograd, 1990.



4. Klos, R. *Aluminium - Gússlegierungen*, Verl. Moderne Industrie, 1995, (ISBN 3-478-93138-x).
5. Simović, Đ.; Aćimović, Z.; Andrić, V. *Tehnološki projekat izgradnje livnice sekundarnog aluminijuma*, Inos-Beograd: Čačak, 1979. (realizovan projekat 1980).
6. Glaser, K.F. Aluminium zu Beginn der 80er Jahre. *Metall* **1978**, *32* (1), 1032-1038.
7. Aćimović-Pavlović, Z.; Simović, Đ. *Proizvodnja legura aluminijuma iz sekundarnih sirovina*; Univerzitet u Beogradu, TMF Beograd: Beograd, 2005. (ISBN 86-7401-206-X).
8. *Aluminum Handbuch* – Herbert Góner, S. Marx, 1960.
9. Tripković, S.; Veljanovski, B.; Aćimović, Z. Osnovne smernice proizvodnje odlivaka legura aluminijuma, Zbornik radova V Konferencija industrije aluminijuma, Banja Koviljača, 1997; pp 83 – 87.
10. Kroitzsch, E. Die Rückgewinnung von Aluminium aus Schrotten und Abfällen –Verfahren und Wirtschaftlichkeit, *Metall* **1978**, *32*(10), 1056 – 1059.
11. Ilić, I.; Gulišija, Z.; Radovanović, N.; Sokić, M.; Matković, V.; Marinković, J. *Resursi i reciklaža sekundarnih sirovina obojenih metala*; RTB, Institut za bakar, Indok centar: Bor, 2002.
12. Ilić, I.; Gulišija, Z.; Sokić, M. *Reciklaža metalnih sekundarnih sirovina*, ITNMS: Beograd, 2010. (ISBN 978-86-82867-23-4).
13. Kirchner, G. Recycling: an ecological and economical success. *Aluminium Age* **2003**, *1*, 21 – 23.
14. Kvande, H. How it works: The Industrial Aluminium El. Proc. Explained". *Aluminium Age* **2003**, *1*, 11 – 16.
15. Aćimović, Z.; Pavlović, Lj.; Trumbulović, Lj.; Andrić, Lj.; Stamatović, M. Synthesis and characterization of cordierite ceramics from non-standard raw materials for application in silumine foundries. *Materials Letters* **2003**, *57*, 2651-2656.
16. Nikolić, R.; Perović, S.; Reciklaža i održivi razvoj. *Reciklaža i održivi razvoj* **2008**, *1*(1), 116-122.
17. Mihajlov, A. Segment održivog korišćenja prirodnih resursa i integralnog upravljanja otpadom: Reciklaža. *Reciklaža i održivi razvoj* **2010**, *3*(1), 1-8.