

# Svojstva i primjena cinka i njegovih legura

---

**Grgić, Ana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:819051>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-31**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Ana Grgić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Danko Čorić, dipl. ing.

Student:

Ana Grgić

Zagreb, 2022.

## Izjava

Izjavljujem da sam završni rad na temu „Svojstva i primjena cinka i njegovih legura“ izradila samostalno koristeći znanje stečeno tijekom studiranja i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Danku Ćoriću i Tomislavu Rodingeru, mag. ing. mech., na pruženoj pomoći tokom izrade završnog rada, koja je uvelike utjecala na isti. Također se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i kolegama čiji je utjecaj doprinio mom uspjehu i završetku preddiplomskog studija.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 22 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ana Grgić** JMBAG: 0035214936

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Svojstva i primjena cinka i njegovih legura**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Properties and applications of zinc and its alloys**

Opis zadatka:

Cink i njegove legure su konstrukcijski materijali iz skupine teških obojenih metala koje odlikuju karakteristična svojstva koja uvjetuju njihovu primjenu. Ovi se materijali većinom koriste u obliku prevlaka, odljevaka, valjanih šipki, vučene žice, otkivaka i ekstrudiranih proizvoda tako da je u radu potrebno opisati značajke tehnički čistog cinka, cinkovih prevlaka, lijevanih i gnječanih legura uz opis raspoloživih postupaka lijevanja i metoda oblikovanja. Na kraju je potrebno istražiti komercijalno najvažnije cinkove legure uz prikaz kemijskog sastava, mehaničkih, fizikalnih, kemijskih, toplinskih i električnih svojstava kao i raspoloživih postupaka spajanja i mogućnosti toplinske obrade te istaknuti primjere primjene.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadan:

Prof. dr. sc. Danko Čorić

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. - 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. - 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	I
POPIS TABLICA.....	II
POPIS OZNAKA .....	III
POPIS KRATICA.....	IV
SAŽETAK .....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. CINK I CINKOVE LEGURE.....	2
2.1. Općenito .....	2
2.2. Svojstva .....	3
2.3. Postupci dobivanja.....	4
2.3.1. Pirometalurški postupci dobivanja cinka .....	4
2.3.2. Hidrometalurški postupci dobivanja cinka .....	9
2.4. Korozijska postojanost .....	12
3. PREMAZI OD CINKA .....	13
3.1. Vruće pocinčavanje.....	13
3.2. Elektrogalvanizacija .....	16
3.3. Metalizacija .....	16
3.4. Mehanička galvanizacija .....	16
4. ODLJEVCI CINKOVIH LEGURA.....	17
4.1. Svojstva odljevaka od cinkovih legura.....	17
4.2. Tlačno lijevani odljevci.....	17
4.3. Gravitacijski odljevci.....	21
4.4. Završne i sekundarne obrade za odljevke od cinkovih legura.....	22
5. GNJEČENI CINK I CINKOVE LEGURE .....	23

5.1. Plosnato valjani proizvodi.....	23
5.2. Superplastični cink.....	24
5.3. Proizvodi dobiveni postupkom provlačenja .....	24
5.4. Ekstrudirani proizvodi .....	24
6. SVOJSTVA CINKOVIIH LEGURA.....	25
6.1. Legura AG40A (Zn-4Al-0,04Mg, legura br. 3).....	25
6.2. Legura AC41A (Zn-4Al-1Cu-0,05Mg, legura br. 5) .....	29
6.3. Legura ZA-8 (Zn-8Al-1Cu-0,02Mg).....	30
6.4. Legura ZA-27 (Zn-27Al-2Cu-0,015Mg).....	32
6.5. Legura ILZRO 16 (Zn-1,25Cu-0,2Ti-0,15Cr) .....	35
6.6. Legura za bezjezgrečno lijevanje (Zn-4,75Al-0,25Cu) .....	37
6.7. Komercijalno valjani cink (Zn-0,08Pb) .....	37
6.8. Bakrom ojačani valjani cink (Zn-1,0Cu) .....	39
6.9. Superplastični cink [5] .....	40
7. ZAKLJUČAK .....	42
8. LITERATURA.....	43

**POPIS SLIKA**

Slika 1 Čisti cink [8] .....	3
Slika 2 Dor-Delattre peć za diskontinuiranu toplinsku redukciju pržene mješavine [4] .....	5
Slika 3 Vertikalna retorta za dobivanje cinka [4] .....	6
Slika 4 Peć za elektrokemijsko dobivanje cinka [4] .....	7
Slika 5 ISP postupak dobivanja cinka [4] .....	8
Slika 6 Shema hidrometalurškog postupka dobivanja cinka [4] .....	9
Slika 7 Utjecaj sadržaja silicija na debljinu cinkove prevlake [7] .....	13
Slika 8 Specifični izgled površine uslijed Sandelin efekta [7] .....	14
Slika 9 Primjer pocinčane ograde [7] .....	14
Slika 10 Vrijednosti istezljivost od 0,2; 0,5 i 1 % za tlačno lijevanu cinkovu leguru ZA-8 u ovisnosti o naprezanju i temperaturi, vrijeme ispitivanja od $3 \times 10^3$ h [5] .....	31
Slika 11 Vrijednosti istezljivost od 0,2; 0,5 i 1 % za tlačno lijevanu cinkovu leguru ZA-27 u ovisnosti o naprezanju i temperaturi, vrijeme ispitivanja od $3 \times 10^3$ h [5] .....	34
Slika 12 Statička izdržljivost cinkove legure ILZRO 16 pri različitim temperaturama [5] .....	36



**POPIS TABLICA**

Tablica 1 Postotak cinka u rudama [4] .....	2
Tablica 2 Kemijski zahtjevi za ingote legure Zn-5Al-MM za premazivanje vrućim uranjanjem (Galfan ili UNS Z38510) po ASTM B 750 [5].....	15
Tablica 3 Nazivni sastav uobičajenih odljevaka od cinkovih legura i ingota od cinkovih legura [5].....	18
Tablica 4 Nazivni sastavi cink aluminij ljevačkih legura izravno lijevanih za proizvodnju odljevaka i ingota za pretaljivanje [5].....	19
Tablica 5 Nominalni sastav cinkovih legura za lijevanje koje se koriste za alate za oblikovanje deformiranjem i za bezjezgreni lijev u obliku ingota [5].....	22
Tablica 6 Nominalni kemijski sastav valjanih legura cinka prema ASTM B 69 [5] .....	23
Tablica 7 Utjecaj temperature na mehanička svojstva cinkovih legura i odljevaka od cink – aluminij legura [5].....	26

## POPIS OZNAKA

OZNAKA	JEDINICA	NAZIV VELIČINE
$c_p$	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	specifični toplinski kapacitet
$E$	GPa	modul elastičnosti
$E_0$	V	elektropotencijal
$HB$		tvrdoća, Brinellova metoda
$K_{IC}$	$\text{MPa}\sqrt{m}$	lomna žilavost
$KU, KV$	J	udarni rad loma
$L$	$\text{kJ/kg}$	latentna toplina taljenja
$R_d$	MPa	dinamička izdržljivost
$R_m$	MPa	vlačna čvrstoća
$R_{ms}$	MPa	savojna čvrstoća
$R_{mt}$	MPa	tlačna čvrstoća
$R_{p0,2}$	MPa	konvencionalna granica razvlačenja
$R_{pe/t\vartheta}$	MPa	granica puzanja
$T$	K	temperatura
$\alpha$	$\mu\text{m/m}\cdot\text{K}$	koeficijent linearnog toplinskog rastezanja
$\varepsilon$	%	istežljivost
$\vartheta$	$^{\circ}\text{C}$	temperatura
$\lambda$	$\text{W/m}\cdot\text{K}$	toplinska vodljivost
$\sigma$	MPa	naprezanje

**POPIS KRATICA**

<b>KRATICA</b>	<b>OPIS KRATICE</b>
ASME	engl. American Society of Mechanical Engineers (Američko društvo inženjera strojarstva)
ASTM	engl. American Society for Testing and Materials (Američko društvo za ispitivanje i materijale)
ISP	engl. Imperial Smelting Process (postupak dobivanja cinka)
UNS	engl. Unified numbering system (Unificirani sustav numeriranja)

## **SAŽETAK**

U radu je opisan cink i njegove legure, od procesa dobivanja istih do njihove primjene. Detaljno su opisana mehanička, kemijska, toplinska i neka druga svojstva, što je važno za razumijevanje cinka kao materijala te predstavlja veliki utjecaj na njegovu primjenu.

Osim toga, navedeni su oblici u kojim se spomenuti materijali koriste, a detaljno su objašnjeni premazi od cinka, odljevci cinkovih legura te gnječeni proizvodi od cinka i njegovih legura. Premazi od cinka pružaju korozivsku otpornost, a način na koji se nanose opisan je u daljnjem tekstu. Odljevci cinkovih legura pokazuju dobru otpornost na koroziju, a najraširenije metode lijevanja su danas tlačno i gravitacijsko lijevanje. Gnječeni cink i cinkove legure koriste se kao plosnato valjani proizvodi, proizvodi dobiveni postupkom provlačenja te ekstrudirani proizvodi.

Ključne riječi: cink, cinkove legure, svojstva, cinkovi premazi, primjena cinka

**SUMMARY**

This thesis describes zinc and its alloys, from production process to application. Mechanical, chemical, thermal and some other properties are described in detail, which is important for understanding zinc as a material. These properties also represent a major impact on the application of zinc and the application of zinc alloys.

In addition, used forms of the mentioned materials are given. Zinc coatings, zinc alloy castings and wrought zinc and zinc alloys are explained in detail. Zinc coatings provide corrosion resistance, further in the text their application will be described. Zinc alloy castings also show good corrosion resistance, and the most common casting methods today are die casting and gravity casting. Wrought zinc and zinc alloys are used as flat – rolled products, products made by drawing process, extruded and wrought products.

Key words: zinc, zinc alloys, properties, zinc coatings, application of zinc

## 1. UVOD

Riječ cink potječe od riječi „seng“, što znači kamen ili metal. U Kini i Indiji cink se koristio već 1500. godine p.n.e., dok se od 15. stoljeća pojavljuje u Europi, u malim količinama. Otkrivanjem postupka destilacije, 1742. godine povećala se proizvodnja. U povijesnoj pokrajini Šleskoj (današnja Poljska), Rudberg je 1798. godine izgradio prvu destilacijsku peć, a ondašnji postupak prihvaćen je sve do danas kao najracionalniji. 1873. godine sagrađena je prva cinčana u Celju, koja i danas radi prema destilacijskom procesu. Osamdesetih godina počeo se osmišljavati proces dobivanja cinka mokrim putem uz upotrebu elektrolize. Takav način omogućio je dobivanje cinka vrlo visoke čistoće, zbog čega danas većina koristi upravo taj postupak. Tokom Prvog svjetskog rata, zbog nestašice kositra i bakra, cink se počeo sve više upotrebljavati [1].

Danas se cink, koji je po svojim varijacijama primjene na prvom mjestu među obojenim metalima, a po proizvodnim količinama na trećem mjestu u svijetu koristi kao jedan od glavnih metala za zaštitu od korozije [1]. Također su u posljednjem desetljeću željezo i magnezij proučavani kao potencijalni biorazgradivi metali koji bi se mogli primjenjivati u medicinske svrhe, ali zbog svojih mehaničkih ograničenja, cink se pokazao kao bolji izbor [2]. Budući da čisti cink ima loša mehanička svojstva, potrebno mu je dodati legirne elemente. Cink sa svojim legurama se koristi u obliku premaza, odljevaka, valjanih limova, vučene žice, otkovaka i ekstrudiranih dijelova. Također se koristi kao glavni sastojak mjedi te kao žrtvena anoda za koroziju u morskom okruženju.

## 2. CINK I CINKOVE LEGURE

### 2.1. Općenito

Cink je kemijski element, koji pripada u skupinu neplemenitih metala. U periodnom sustavu elemenata označava se simbolom Zn, atomski broj mu je 30, a atomska masa 65,409 [3]. Ukupna koncentracija cinka u tlu ovisi o sastavu matičnog materijala i mineralogiji tla, posebno o koncentraciji kvarca, koji utječe na sadržaj većine elemenata u zemljinoj kori. Rezultati dobiveni korištenjem fizikalnih i kemijskih metoda za frakcioniranje tla, ukazuju da je cink u čvrstoj fazi povezan sa čvrstim fazama tla poput minerala gline, vodenih oksida i organskih tvari. Danas se koncentracija cinka u biljkama, tlu i vodi mjeri sofisticiranim spektroskopskim metodama analize koje su vrlo selektivne, osjetljive i brze. Kolorimetrijske i mokre kemijske tehnike, kojima se određuje koncentracija cinka, ograničene su metode te u primjeni ne koriste modernu instrumentaciju [9]. Sirovine za metalurško dobivanje cinka su rude i industrijski cinkovi otpaci. Cinkov sulfid (ZnS) se smatra najvažnijom rudom, a u prirodi ima dvije modifikacije: kubna (sfalerit) i heksagonska (vurcit). Od velike važnosti je i cinkov karbonat (ZnCO<sub>3</sub>) s mineraloškim nazivom smitsonit (kalamín, galmáj). Ruda koja se odlikuje sposobnošću dobivanja cinka velike čistoće je cinko silikat (Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) (mineraloški naziv *wilemit*). Cinkove rude je potrebno obogaćivati zbog malih količina cinka. U tablici 1 prikazan je udio cinka u pojedinim rudama. Proces obogaćivanja se sastoji od: drobljenja i mljevenja, gravitacijskih metoda, magnetske separacije i flotacije. Danas se može postupkom selektivne flotacije dobiti prosječno 50 % cinka [6]. Tom postupku podložne su sulfidne rude, dok oksidne nakon takvog postupka ne pokazuju zadovoljavajući rezultat. Međuprodukti i otpaci su drugi važan izvor dobivanja cinka. Prilikom prerade, pretaljivanja, rafinacije i pocinčavanja nastaju cinkovi pepeli iz kojih se dobiva cink [1].

Tablica 1 Postotak cinka u rudama [4]

Ime	Kemijska formula	%Zn
Sfalerit-cinkblenda (vurcit)	ZnS	67,0
Kalamín	Zn <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> ·SiO <sub>3</sub>	54,2
Smitsonit-galmáj	ZnCO <sub>3</sub>	52,1
Cinkit	ZnO	80,3
Franklinít	(ZnO·MnO)·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6-18,0

Posve čisti cink je srebrno bijele boje (prikazan na slici 1), a cink komercijalne čistoće je metal plavkasto-bijele boje zbog površinskog sloja karbonata. Tehnološka svojstva čistog cinka su loša, što se može pripisati temperaturi rekristalizacije, koja je izuzetno niska (pri sobnoj temperaturi ima grubozrnatu kristalnu strukturu). Zagrijavanje u područje povišenih temperatura uzrokuje pojavu krhkosti, zbog čega nije konstrukcijski primjenjiv, za razliku od legura cinka [6]. Obojena metalurgija predstavlja veliku opasnost zagađenju okoliša, a budućnost donosi sve strože zakone o zaštiti okoliša, što rezultira porastom troškova proizvodnje [4].



Slika 1 Čisti cink [8]

## 2.2. Svojstva

Cink je metal čije je talište na  $419,53\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a vrelište na  $907\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pri sobnoj temperaturi je krhak i tvrd. Na temperaturi između  $100$  i  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ima povećanu istežljivost. Povišenjem temperature iznad  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ponovo postaje krhak te se može samljeti u prah [6]. Gustoća cinka iznosi  $7,14 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$  [4]. Kristalna rešetka je heksagonska gusto slagana. Kako je već spomenuto, čisti cink pokazuje lošija mehanička svojstva. Dodatkom bakra, aluminija, željeza i kositra povećava se čvrstoća, a aluminij povećava i žilavost [1]. Zbog neplemenitosti na cinkovoj površini nastaju slojevi netopivih spojeva koji prijanjaju uz metalnu površinu pa je cink otporan prema vodi i neutralnim ili slabo alkalnim otopinama. Čisti cink se ne otapa u razrijeđenim kiselinama. Na vlažnom zraku te u medijima koji sadrže ugljikov dioksid ili kisik stvara se zaštitni sloj  $\text{ZnO} \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$  koji ga štiti od atmosferske korozije. Otpornost ovisi o čistoći metala i sastavu agresivnog medija. Cink je dobar vodič električne struje [3].



## 2.3. Postupci dobivanja

Poznata su dva osnovna principa kojima se dobiva cink iz obogaćenih ruda: pirometalurški postupak (suhi postupak, destilacijom) i hidrometalurški postupak (mokri postupak, elektrolizom). Svjetska proizvodnja naginje više hidrometalurškom postupku. Obje metode obuhvaćaju i postupak prženja jer se cink u mineralima nalazi većinom kao sulfid; proces se pojednostavljuje ako su prisutni oksidi. Zagrijavanjem se smanjuje sadržaj sumpora [4].

### 2.3.1. Pirometalurški postupci dobivanja cinka

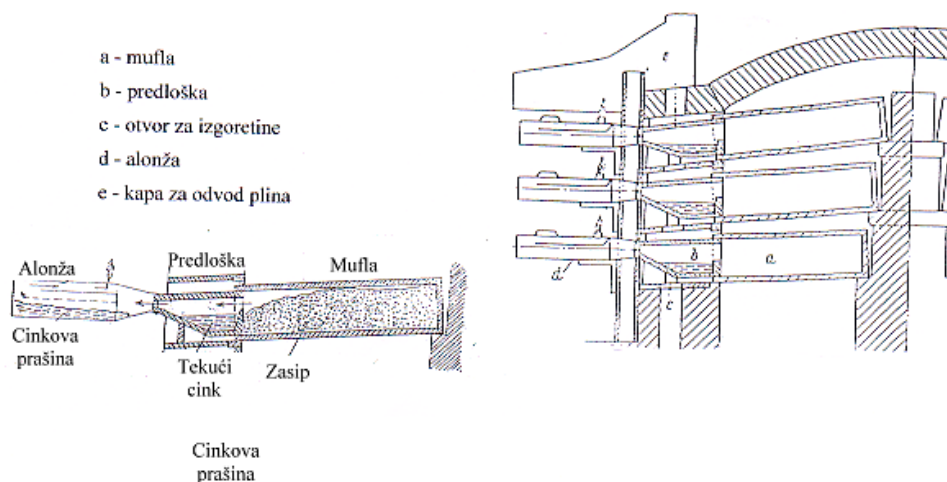
U pirometalurške postupke ubrajaju se slijedeći postupci:

- a) Diskontinuirana toplinska redukcija pržene mješavine u ležećim retortama
- b) Kontinuirana toplinska redukcija žarene i briketirane blende u stojećim retortama, *Sib-New Jersey* postupak
- c) Elektrokemijska redukcija u elektrolučnim ili elektrotopnim pećima, *Sent Joseph Lead* postupak
- d) ISP postupak (*Imperial Smelting Process*)

Nakon navedenih postupaka slijedi rafinacija kako bi se dobio što čišći cink [4].

#### *a) Diskontinuirana toplinska redukcija pržene mješavine u ležećim retortama*

Diskontinuirana toplinska redukcija *pržene mješavine* u ležećim retortama provodi se u destilacijskim pećima prikazanim na slici 2. Konstrukcija peći dijeli se na gornji i donji dio. U gornjem dijelu se nalaze retorte ili mufle (a), koje su otporne na temperature do 1500 °C, a ističu se čvrstoćom, visokom toplinskom vodljivosti, ne propuštaju plinove što sprječava neželjenu pojavu oksidacije. Nakon retorte slijede kondenzatori, u kojima temperatura mora biti između 420 i 500 °C, ili predlošci (b), koji izdržavaju temperature do 950 °C i potrebno ih je tjedno mijenjati te alonže (d) na čijem je gornjem dijelu otvor kao zaštita od eksplozije ugljikovog monoksida (CO). Donji dio dovodi generatorski plin i zrak za sagorijevanje. Prženac (ZnO) mora biti porozan, male granulacije te mora imati dobar pristup cirkulacijskim plinovima i sposobnost dobrog odvoda nastale cinkove pare.



Slika 2 *Dor-Delattre* peć za diskontinuiranu toplinsku redukciju pržene mješavine [4]

Jednadžbe redukcije (1) i (2) pri čemu je koks redukcijsko sredstvo iz kojeg se dobiva CO glase:



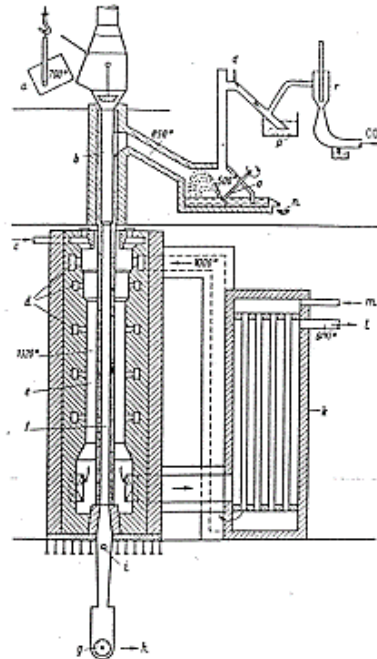
Reakcija je endotermna, dakle potrebno je dovesti toplinu, što se odvija sagorijevanjem generatorskog plina preko stijenci retorti. Temperatura redukcije iznosi 1300 °C, a ciklus kondenzacije koji slijedi traje od 24 do 48 sati.

Kao glavni nedostatak navodi se diskontinuiranost, velika potrošnja koksa, a produkt je potrebno još i rafinirati [4].

*b) Kontinuirana toplinska redukcija žarene i briketirane mješavine u stojećim retortama, Sib-New Jersey postupak*

Od finog prženca, ugljena i veziva se rade briketi, a onda se koksiraju čime se postiže tražena čvrstoća. Zasip od krupnozrnatog materijala sadrži do 70% prženca i do 40% ugljena. Na slici 3 prikazana je vertikalna retorta za dobivanje cinka.

- a - doprema briketa
- b - odjeljivač olova
- c - dovod plina za loženje
- d - kanali za topli zrak
- e - ložište
- f - retorta
- g - pužni transporter za izbacivanje izgorjetina
- h,i - dovod plina za ispiranje (CO)
- k - rekuperator
- l - odvod plina u dimnjak
- m - dovod zraka
- n - otprema cinka
- o - grafitni propeler za ispiranje plina cinkom
- p - mulj od cinkovog praha
- q - dovod vode za taloženje praha
- r - mlazna pumpa.



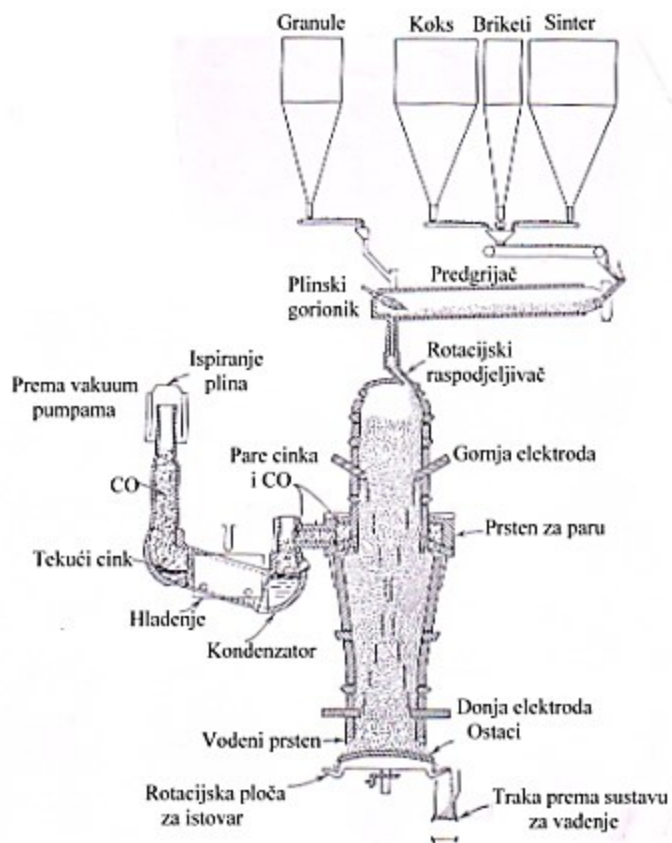
Slika 3 Vertikalna retorta za dobivanje cinka [4]

U retortama temperature variraju od 1250 do 1350°C. Cinkove pare odlaze u kondenzator kraj navedenih retorti gdje je stalna temperatura te uspješno izbjegnuta opasnost od oksidacije. Spomenuti kondenzator ima dva dijela; prvi je nagnuti kanal koji se priključuje na retortu pri čemu se naglo hladi para, a drugi dio je komora u kojoj se skuplja tekući cink. Nastaje cinkov prah taložen na dnu, a potom slijedi briketiranje.

Ovom metodom omogućava se skoro potpuna čistoća cinka te manja potrošnja koksa u odnosu na prethodno spomenuti proces, ali postupak briketiranja nije ekonomičan [4].

### c) Elektrokemijska redukcija u elektrolučnim ili elektrootpornim pećima, Sent Joseph Lead postupak

Kontinuirani proces pri čemu se toplina proizvodi unutar peći (elektrootporno) pomoću grafitnih elektroda u gornjem i donjem dijelu peći, što je prikazano na slici 4. Temperatura se kreće od 1200 do 1400 °C. Sastav plinova koji nastaju: 45% CO, 45% cinkovih para, dušik, vodik i CO<sub>2</sub>. Plinovi odlaze u kondenzatore, gdje se kondenzira cink. Cink se potom lijeva u slabove za tržište ili ga je potrebno dodatno rafinirati radi postizanja visoke čistoće [4].



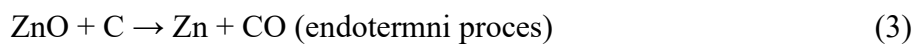
Slika 4 Peć za elektrokemijsko dobivanje cinka [4]

#### d) ISP postupak (*Imperial Smelting Process*)

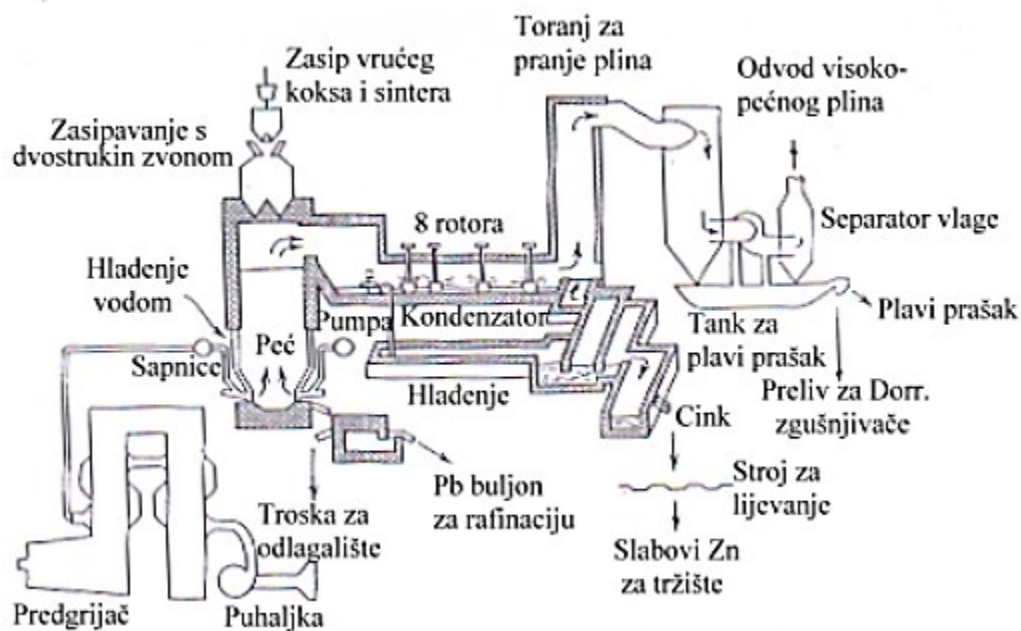
Danas najkorisniji postupak kojim se iz visoke peći uz cink dobiva olovo sa srebrom, bakrom, antimonom, itd.

Sastav zasipa peći: vrući prženac (od cink-olova), predgrijani koks te vapno. Sapnice služe za dovod zraka.

Proces redukcije opisan je jednadžbama (3) i (4):



Cinkove pare ulaskom u kondenzatore prelaze u tekući metal. Raspršivanje olova sprječava oksidaciju. Nakon hlađenja cink se izljeva van. U kondenzatoru se još zadržava plin s 5% cinka, a daljnjim hlađenjem nastupa oksidacija u ZnO te povratak na prženje. Postupak je prikazan na slici 5 [4].

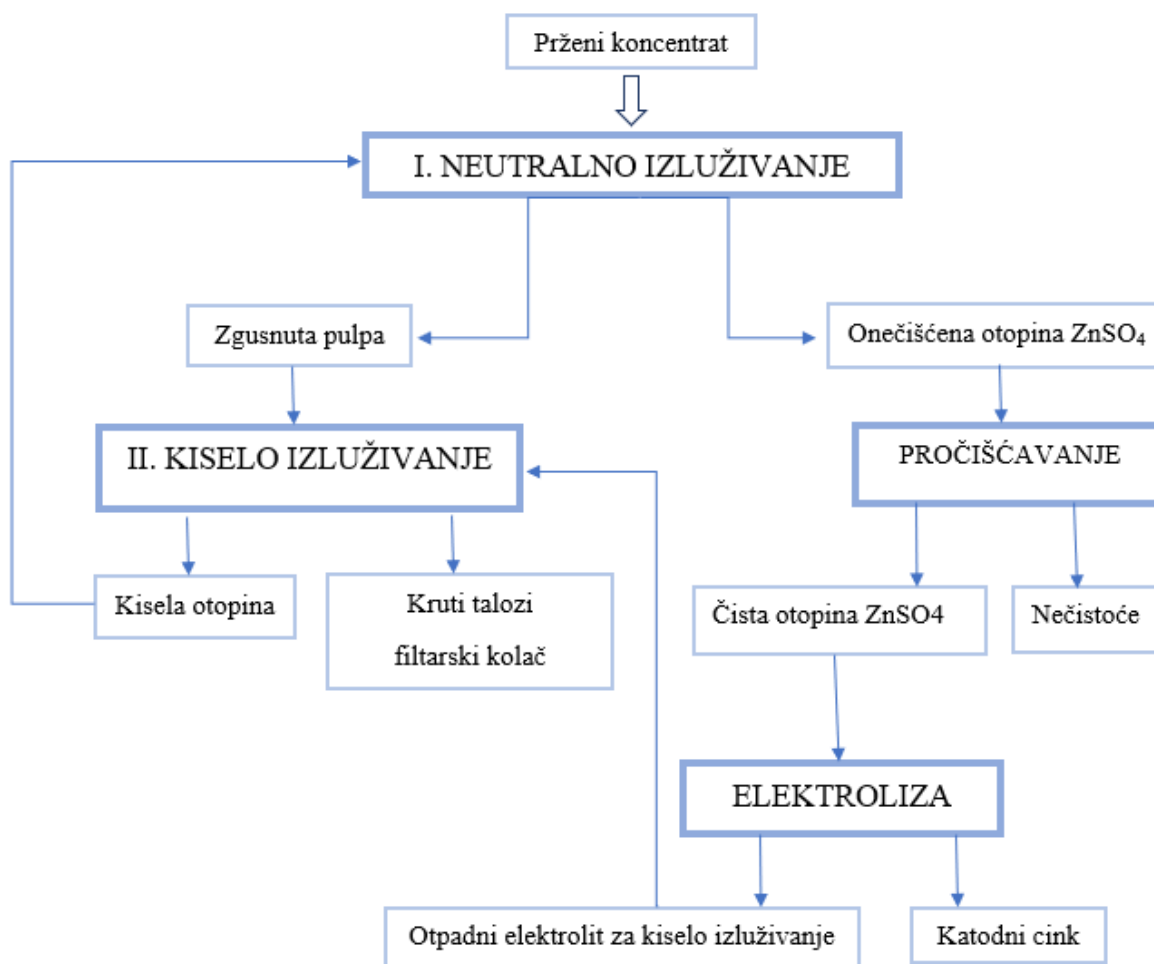


Slika 5 ISP postupak dobivanja cinka [4]

### 2.3.2. Hidrometalurški postupci dobivanja cinka

#### Elektrolitičko dobivanje cinka

Ovaj postupak ne zahtijeva rafinaciju, za razliku od prethodno navedenih. Elektrolitičko dobivanje cinka uključuje: prženje, izluživanje, pročišćavanje i elektrolizu cinka. Navedeno će biti opisano u nastavku. Na slici 6 prikazana je shema hidrometalurškog postupka dobivanja cinka.



Slika 6 Shema hidrometalurškog postupka dobivanja cinka [4]

## PRŽENJE

Prženjem se cinkov sulfid (ZnS) prevodi u oksid zbog svoje slabe topivosti u sulfatnoj kiselini.

## IZLUŽIVANJE

Izluživanje se provodi u više stupnjeva kako bi se izbjegle nečistoće. U nastavku je opisano izluživanje u dva stupnja.

1. stupanj – neutralno izluživanje. U prvom stupnju izluživanje se provodi sa slabom kiselinom. Spomenuta kiselina dobiva se iz drugog stupnja izluživanja, nakon što se sulfatna kiselina jako neutralizira sa cinkovim oksidom (ZnO). U slaboj kiselini cinkovi spojevi otapaju se vrlo malo ili nikako. Dolazi do taloženja nečistoća, zbog čega je potrebno hidrolitičko pročišćavanje otopine od željeza, arsena i antimona. Miješanje traje dva sata ili više uz potrošnju kiseline. Trošenje kiseline odvija se kroz reakciju sa cinkovim oksidom (ZnO), a koji se u obliku cinkovog sulfata (ZnSO<sub>4</sub>) prevodi u otopinu. Para ubrzava reakciju, ali se i povisuju temperature na 98 °C. Tokom neutralnog izluživanja potrebno je provjeravati pH vrijednost otopine, a čija je granica pH 6 početak taloženja cinka. U slučaju povišenja istog dolazi do taloženja metalnih hidroksida. Slijedeći korak je zgušnjavanje, koje prethodi daljnjem pročišćavanju otopine od bakra, kadmija, i drugih metala. Slijedi elektroliza, a kruti talog bogat cinkom odlazi u 2. stupanj izluživanja [4].

2. stupanj – kiselo izluživanje. U drugom stupnju izluživanje se provodi sa starim elektrolitom iz elektrolize pri čemu je bitno izlužiti što veći udio cinkovog oksida (ZnO). Tankovi se prazne u zgušnjivače, otopina odlazi u prvi stupanj, a kruti dio se taloži, filtrira i ispire [4].

## PROČIŠĆAVANJE

Pročišćavanje se provodi sa slijedećim sredstvima: cementacijom sa cinkovim prahom uklanja se bakar i kadmij, s Na-Sb tartaratom arsen, antimon i nikal, s ksantogenatom germanij, a  $\alpha$ -nitrozo  $\beta$ -naftolom kobalt i sa srebrnim sulfatom (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) klor. Nakon pročišćavanja i dalje će postojati određene nečistoće, koje međutim ne ometaju elektrolizu. Na pročišćavanje se dovodi otopina cinkovog sulfata (ZnSO<sub>4</sub>) nakon neutralnog izluživanja [4].

## ELEKTROLIZA

Na elektrolizu dolazi pročišćena otopina cinkovog sulfata (ZnSO<sub>4</sub>). Postrojenje za elektrolizu sastoji se od kaskadno posloženih kada (ćelija od drveta ili betona). Kade su prevučene kiselo otpornim slojem (sloj od olova, bitumena, asfalta ili plastike). U kade ispunjene elektrolitom

uranjaju se anode (rešetkaste i rupičaste olovne ploče) i katode (ploče od tvrdog valjanog aluminija ili cinka). Parametri pri elektrolizi jesu sljedeći: gustoća struje iznosi  $400 - 600 \text{ A/m}^2$ , radna temperatura je  $35 - 45 \text{ }^\circ\text{C}$  i napon elektrolize je  $3,5 \text{ V}$  [4].

Razelektriziranje cinkovih iona i taloženje cinka na katodi tokom elektrolize opisano je jednačbom (5) [4]:



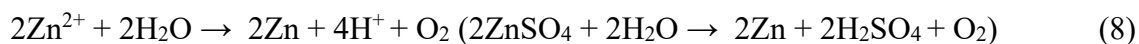
pri čemu je elektropotencijal cinka  $E_0 = -0,76 \text{ V}$ .

U ovom slučaju je vodik elektropozitivniji element, a poznavajući činjenicu da se na katodi prvo izdvaja elektropozitivniji element, teorijski se zaključuje da se cink ne može taložiti iz vodenih otopina na katodi (cink ima negativniji potencijal izdvajanja od vodika). Ipak, zbog posljedica prenapona vodika na cinkovoj ili aluminijevoj katodi u kiseloj otopini, vodik će postati elektronegativniji od cinka pa će se cink moći taložiti na katodi.

Sljedeće jednačbe (6) i (7) opisuju razvijanje kisika na anodi, a pri čemu se razelektriziravaju  $\text{OH}^-$  ioni iz elektrolita (ioni nastali elektrolitičkom disocijacijom vode) [4]:



Suma reakcija je prikazana jednačbom (8):



Osim već spomenutih utjecaja na elektrolizu, od velikog značaja su i prisutne nečistoće, čije ponašanje ovisi o potencijalu izdvajanja. Elektronegativnije nečistoće od cinka ne interferiraju direktno s procesom elektrolize, osim ako ih nema u većim količinama. Dozvoljena granica elektronegativnih nečistoća od cinka je do  $60 \text{ g/dm}^3$ . Elektropozitivnije nečistoće od cinka talože se sa cinkom na katodi. Katoda se pritom uz njih otapa i nastaju rupe na katodnom cinku. Takve nečistoće su najopasnije.

Elektrolizom, čiji je cilj zadržati koncentraciju cinka i kiseline konstantnim, dobiva se cink čistoće  $99,99\%$  [4].



#### **2.4. Korozijska postojanost**

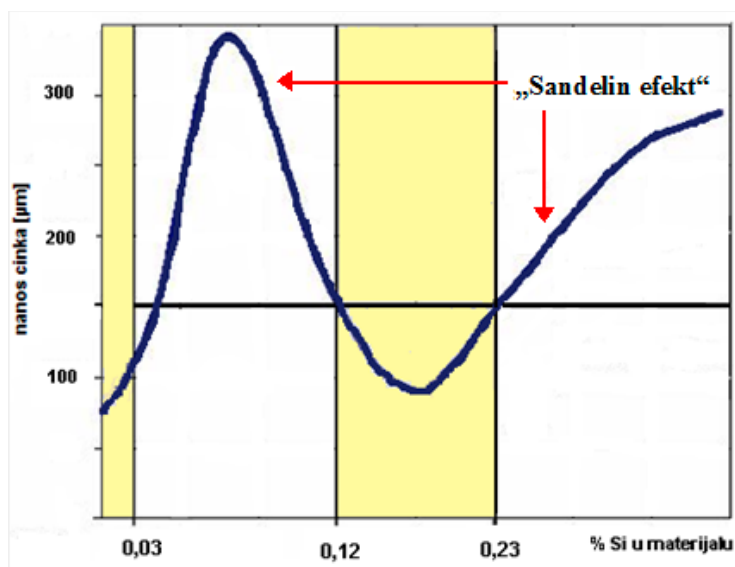
Cink se smatra vrlo otpornim na koroziju. Atmosferska korozija cinka procjenjuje se relativno sporom. Na površini cinka formira se gust sloj oksida, koji upravo štiti od daljnje korozije te oštećenja. Na sličan način cink reagira i u prisutnosti vode, stvara se površinski zaštitni sloj korozijski otporan na utjecaj vanjskog medija, vode. Uporaba cinka u organskim otopinama je također opravdana. S druge strane, cink nije primjenjiv u kiselinama ili jako lužnatim otopinama zbog svoje loše postojanosti [3].

### 3. PREMAZI OD CINKA

Premazivanjem čelika i željeza cinkom postiže se korozijska otpornost. U nastavku će biti opisane metode nanošenja cinčanih premaza.

#### 3.1. Vruće pocinčavanje

Metoda vrućeg pocinčavanja predstavlja izvrsnu zaštitu od korozije nanošenjem cinkove prevlake. Proizvod nakon vrućeg pocinčavanja ima karakteristike čelika, a korozijsku otpornost cinka. Materijal koji se želi vruće pocinčavati potrebno je pripremiti. Priprema uključuje: bušenje tehnoloških rupa (kako bi se materijal pocinčao iznutra te kako ne bi došlo do eksplozije pri uronu), elementi ne smiju imati ostatke boje, zavari moraju biti čisti i neporozni, adekvatna konstruiranost proizvoda te ponekad pjeskarenje. Veliki utjecaj na konačna svojstva proizvoda te funkcionalnost prevlake ima sastav materijala. Kao štetni uključci u osnovnom materijalu smatraju se silicij, fosfor i sumpor. Silicij može uzrokovati stvaranje hrapavog i debljeg sloja cinka na površini što može rezultirati ljuštenjem. Na slici 7 može se vidjeti utjecaj sadržaja silicija na debljinu cinkove prevlake. Od 0,03 do 0,12 %Si te pri udjelima većim od 0,23 %Si stvara se specifična površina, koja nastaje zbog „Sandelin efekta“. Ujedno su to i intervali gdje se ne preporučuje vruće pocinčavanje [7]. Na slici 8 prikazan je primjer takve površine.



Slika 7 Utjecaj sadržaja silicija na debljinu cinkove prevlake [7]



Slika 8 Specifični izgled površine uslijed Sandelin efekta [7]

Dvije glavne faze vrućeg pocinčavanja su: kemijska priprema materijala i proces pocinčavanja. Proces koji predstavljaju pripremu površine za pocinčavanje su: odmaščivanje, dekapiranje, ispiranje i fluksiranje, nakon čega slijedi sušenje, a potom i pocinčavanje uranjanjem u talinu cinka pri 450 °C. Antikorozivna zaštita raste od središta prema površini. Na slici 9 prikazana je primjena vrućeg pocinčavanja ograde u Cinčaoni Helena [7].



Slika 9 Primjer pocinčane ograde [7]

Vruće pocinčavanje uključuje proizvodnju kontinuirane galvanizirane čelične trake te galvanizaciju konstrukcijskih oblika i proizvoda nakon izrade. Danas su razvijeni novi premazi trake s poboljšanom otpornošću na koroziju: Galfan (5 %Al) i Galvalume (55 %Al). Tablica 2 sadrži postotne udjele elemenata u leguri Galfan.

- Karakteristike proizvodnje kontinuirane galvanizirane čelične trake koje koriste legure sastava 0,20 %Al i ostatak cink: debljina premaza do 25  $\mu\text{m}$ , izvrsna adhezija i mogućnost oblikovanja premaza, dobra zavarljivost.
- Primjena pocinčanih traka: automobilska proizvodnja i građevinarstvo.

Tablica 2 Kemijski zahtjevi za ingote legure Zn-5Al-MM za premazivanje vrućim uranjanjem (Galfan ili UNS Z38510) po ASTM B 750 [5]

Element	Sastav, %
Aluminij <sup>(a)</sup>	4,2 – 6,2
Cerij i lantan	0,03 – 0,10
Željezo, max	0,075
Silicij, max	0,015
Olovo, max <sup>(b)</sup>	0,005
Kadmij, max <sup>(b)</sup>	0,005
Kositar, max	0,002
Ostali, max svaki <sup>(c)</sup>	0,02
Ostali, max ukupno <sup>(c)</sup>	0,04
Cink	ostatak

Napomena: U svrhu prihvaćanja i odbijanja, promatrana vrijednost ili izračunata vrijednost dobivena analizom treba se zaokružiti na najbližu jedinicu na posljednjem desnom mjestu brojki korištenih za izražavanje navedene granice, u skladu sa postupkom zaokruživanja propisanom u odjeljku 3 ASTM E 29. Prema dogovoru između kupca i dobavljača, može biti potrebna analiza i ograničenja utvrđena za elemente ili spojeve koji nisu navedeni u tablici kemijskog sastava. Zn-5Al-MM ingot legure za premazivanje vrućim potapanjem mogu sadržavati antimon, bakar i magnezij u količinama do 0,002, 0,1 i 0,05%. Nisu zabilježeni štetni učinci od prisutnosti navedenih elemenata (do zadanih koncentracija), stoga za njih nisu potrebne analize. Magnezij može odrediti kupac, do 0,1% max. Cirkonij i titanij također može odrediti kupac, do 0,02% max.

(a) Aluminij može kupac odrediti do 7,2% max.

(b) Poznato je da olovo i kadmij te u manjoj mjeri kositar i antimon uzrokuju intergranularnu koroziju u legurama cink – aluminij. Stoga je važno održavati razine tih elemenata ispod navedenih granica.

(c) Osim antimona, bakra, magnezija, cirkonija i titana

- Karakteristike galvanizacije nakon proizvodnje pri čemu se koristi cink bez aluminija, a koji sadrži maksimalno 1% Pb: minimalna debljina premaza od 85 do 100  $\mu\text{m}$ .
- Primjena galvanizacije nakon proizvodnje: u elektroenergetskoj industriji te za odašiljače; proizvodi koji se primjenjuju u cestovnom prometu (npr. zaštitne ograde, znakovi, rasvjetni stupovi); izmjenjivači topline; armaturne šipke; itd. [5]

### 3.2. Elektrogalvanizacija

Elektrogalvanizacija uključuje nanošenje prevlake iz elektrolita ili taline pomoću električne struje [3]. Prevlaka nastaje kada se pozitivno nabijeni cinkovi ioni u otopini reduciraju u metalni cink, nakon čega se talože na katodi. Obradak je u elektrolitu katoda (spojen na negativan pol električne istosmjernje struje), a s druge strane su topljive anode čistog cinka koje tvore cinkovu prevlaku [10]. Ovim postupkom moguće je dobiti premaze od čistog cinka, legura cinka i nikla odnosno cinka i željeza. Premazi su glatki i tanki [5].

### 3.3. Metalizacija

Postupak koji za premazivanje koristi čisti cink ili leguru Zn-15Al. Primjenjuje se u slučaju zahtijevanja debljih premaza. Vrlo lako se može provesti na terenu, stoga se koristi pri obnovi postojećih konstrukcija [5]. Najprije je potrebno pripremiti površinu, koja se čisti mlazom abraziva. Cinkov prah ili žica dovodi se u pištolj, gdje slijedi taljenje, a potom prskanje površine. [10]

### 3.4. Mehanička galvanizacija

Mehanička galvanizacija odvija se u rotirajućim bubnjevima. Primjenjuje se kod pričvršćivača proizvedenih od čelika za opruge ili površinski obrađenih čelika, a može se primijeniti i ondje gdje su specificirani deblji premazi [5].

## 4. ODLJEVCI CINKOVIIH LEGURA

U nastavku će biti obrađene dvije metode lijevanja, koje su danas najšire u primjeni: tlačno lijevanje i gravitacijsko lijevanje. Ovisno o tipu lijevanja, vrsti legure, kao i o mediju u kojem se nalaze, ovisit će gubitak svojstava uzrokovan korozivnim djelovanjem. Općenito, korozija za ove legure ne predstavlja veliku opasnost. Lijevani proizvodi primjenjuju se za dijelove poput karburatora, kućišta pumpi za gorivo, dijelova brisača, poluga mjenjača, nosača alternatora, itd. Nakon lijevanja provode se završne i sekundarne obrade što uključuje: brušenje, poliranje, četkanje i čišćenje u bubnju; prevlačenje materijalima poput bakra, nikla, srebrnog i crnog nikla, kroma i mjedi; kemijsku završnu obradu poput kromiranja, emajliranja, lakiranja, bojanja, glaziranja, anodizacije i vakuumskog aluminiziranja odnosno plastifikacije [5].

### 4.1. Svojstva odljevaka od cinkovih legura

Odljevci cinkovih legura imaju dobru otpornost na koroziju, koju je moguće poboljšati kromiranjem i anodiziranjem za one materijale koji se nađu u korozivnijim okruženjima. Imaju odlična svojstva obradivosti odvajanjem čestica, potrebne su male sile rezanja te dobru završnu obradu površine pri čemu se minimalno troši alat te stvaraju strugotine. Odljevci su zavarljivi, a moguće ih je i spajati mekim ili tvrdim lemljenjem kao i lijepljenjem ili mehaničkim spojevima. Uz navedena svojstva, treba dodati visoku učinkovitost prigušivanja vibracija i zvuka, odlična ležišna svojstva te otpornost na iskrenje [5].

### 4.2. Tlačno lijevani odljevci

Pri tlačnom lijevanju veliku primjenu imaju cink – aluminij nadeutektičke legure s višim sadržajem aluminija pri čemu je bitno spriječiti prekomjerno nakupljanje nečistoća poput olova, kadmija, kositra i željeza. Sastavi legura za tlačno lijevane odljevaka dani su u tablici 3 i tablici 4. Cinkove legure imaju nisko talište, ne zahtijevaju fluksiranje ili zaštitnu atmosferu te ne zagađuju okoliš. Hlađenje velikom brzinom kod tlačno lijevanih odljevaka osigurava minimalnu promjenu svojstava i dimenzija. Cinkove legure su visoko fluidne pa se mogu lijevati u odljevke s vrlo tankim stijenkama te se tlačno lijevati prema strožim dimenzijskim tolerancijama, za razliku od drugih legura [5].

Tablica 3 Nazivni sastav uobičajenih odljevaka od cinkovih legura i ingota od cinkovih legura  
[5]

Legura <sup>(a)</sup>			Sastav, %								
UNS broj	ASTM oznaka	Uobičaj. oznaka	Cu	Al	Mg	Fe	Pb	Cd	Sn	Ni	Zn
<b>Odljevci (ASTM B 86)</b>											
Z33520 (b)	AG40A	br. 3	0,25 max <sup>(d)</sup>	3,5–4,3	0,020–0,05	0,100	0,005	0,004	0,003	...	Ostat.
Z33523 (b)	AG40B	br. 7	0,25 max	3,5–4,3	0,005–0,020	0,075	0,003	0,002	0,001	0,005 -0,020	Ostat.
Z35531 (b)	AC41A	br. 5	0,075 – 1,25	3,5–4,3	0,03–0,08 <sup>(e)</sup>	0,100	0,005	0,004	0,003	...	Ostat.
Z35541	AC43A	br. 2	2,5 – 3,0	3,5–4,3	0,020–0,050	0,100	0,005	0,004	0,003	...	Ostat.
<b>Oblik ingota (ASTM B 240)</b>											
Z33521 (c)	AG40A	br. 3	0,10 max	3,9–4,3	0,025–0,05	0,075	0,004	0,003	0,002	...	Ostat.
Z33522 (c)	AG40B	br. 7	0,10 max	3,9–4,3	0,010–0,02	0,075	0,002	0,002	0,001	0,005 -0,020	Ostat.
Z35530 (c)	AC41A	br. 5	0,75 – 1,25	3,9–4,3	0,03–0,06	0,075	0,004	0,003	0,002	...	Ostat.
Z35540	AC43A	br. 2	2,6 – 2,9	3,9–4,3	0,025–0,05	0,075	0,004	0,003	0,002	...	Ostat.

Napomena: U svrhu prihvaćanja i odbijanja, promatrana vrijednost ili izračunata vrijednost dobivena analizom treba biti zaokružena na najbližu jedinicu na posljednjem desnom mjestu brojki korištenih za izražavanje specificirane granice, u skladu s postupkom zaokruživanja propisanim u ASTM E 29.

(a) ASTM oznake legura utvrđene su u skladu s ASTM B 275. UNS oznake utvrđene su u skladu s ASTM E 527. Posljednja znamenka UNS broja razlikuje legure sličnog sastava. UNS oznake za ingote i odljevke nisu dodijeljene istim redoslijedom za sve legure.

(b) Odljevci cinkovih legura mogu sadržavati nikal, krom, silicij i mangan u količinama 0,02; 0,02; 0,035 i 0,06 %. Nisu zabilježeni štetni učinci zbog prisutnosti navedenih elemenata u navedenim koncentracijama; stoga, za njih nisu potrebne analize.

(c) Ingot tlačno lijevane cinkove legure može sadržavati nikal, krom, silicij i mangan u količinama do 0,02; 0,02; 0,035 i 0,05 %. Nisu zabilježeni štetni učinci zbog prisutnosti navedenih elemenata u navedenim koncentracijama; stoga, za njih nisu potrebne analize, osim za nikal kod legure Z33522.

(d) Za većinu komercijalnih primjena, sadržaj bakra u rasponu od 0,025 do 0,75 % neće loše utjecati na tlačno lijevanje i ne bi trebao biti osnova za odbacivanje.

(e) Udio magnezija može biti vrlo nizak, oko 0,015 %, pod uvjetom da olovo, kadmij i kositar ne prelaze 0,003; 0,003 i 0,002 %.

Tablica 4 Nazivni sastavi cink aluminij ljevačkih legura izravno lijevanih za proizvodnju odljevaka i ingota za pretaljivanje [5]

Legura	Sastav, %								
	UNS broj (a)	Dodaci				Nečistoće <sup>(c)</sup>			
Uobičajena oznaka		Al	Cu	Mg	Zn <sup>(b)</sup>	Fe max	Pb max	Cd max	Sn max
<b>Odljevci (ASTM B 791)</b>									
ZA-8	Z35636	8,0-8,8	0,8-1,3	0,015-0,030	ostatak	0,075	0,006	0,006	0,003
ZA-12	Z35631	10,5-11,5	0,5-1,2	0,015-0,030	ostatak	0,075	0,006	0,006	0,003
ZA-27	Z35841	25,0-28,0	2,0-2,5	0,010-0,020	ostatak	0,075	0,006	0,006	0,003
<b>Ingoti (ASTM B 669)</b>									
ZA-8	Z35635	8,2-8,8	0,8-1,3	0,020-0,030	ostatak	0,065	0,005	0,005	0,002
ZA-12	Z35630	10,8-11,5	0,5-1,2	0,020-0,030	ostatak	0,065	0,005	0,005	0,002
ZA-27	Z35840	25,5-28,0	2,0-2,5	0,012-0,020	ostatak	0,072	0,005	0,005	0,002

(a) UNS oznake legura uspostavljene su u skladu s ASTM E 527

(b) Riješeno aritmetičkom razlikom.

(c) Cink-aluminij ingoti za pretaljivanje mogu sadržavati krom, mangan ili nikal u količinama do 0,01 % svakog ili 0,03 % ukupno. Nisu zabilježeni štetni učinci pri prisutnosti ovih elemenata u navedenim koncentracijama; stoga nisu potrebne analize za njih.

Mikrostruktura cinkovih legura za lijevanje je dendritska/eutektička. Cink aluminij legure za lijevanje zahtijevaju pažljivo rukovanje u svrhu sprječavanja nakupljanja štetnih nečistoća (olovo, kadmij, željezo, itd.). Neke karakteristike cinkovih legura: nisko talište, zahtijevaju mali unos topline, nije potrebno fluksiranje ili zaštitna atmosfera, ne zagađuju okoliš, velika brzina hlađenja što rezultira manjim promjenama svojstava i dimenzija, za potrebe strogih dimenzijskih tolerancija moguće je primijeniti stabilizirajuću toplinsku obradu prije uporabe. Velika prednost cinkovih



legura temelji se na visokoj fluidnosti što omogućuje lijevanje u odljevke s mnogo tanjim stijenkama, u odnosu na druge legure za tlačno lijevanje. U nastavku teksta istaknut će se svojstva pojedinih, već spomenutih, legura [5].

Legura br. 2 ističe se vlačnom čvrstoćom, statičkom izdržljivošću i tvrdoćom, čije su vrijednosti najviše u odnosu na ostale spomenute podeutektičke legure za tlačno lijevanje. Loše svojstvo dimenzijske nestabilnosti pripisuje se visokom sadržaju bakra.

Legura br. 3 je najraširenija legura cinka za tlačno lijevanje u Sjedinjenim Američkim Državama zbog izvrsne kombinacije svojstava čvrstoće, mogućnosti lijevanja, dimenzijske stabilnosti, lakoće obrade i cijene.

Legura br. 5 ima veću tvrdoću od legure br. 3, ali lošiju duktilnost. Statička izdržljivost je lošija od legure br. 2.

Legura br. 7 je verzija legure br. 3, visoke čistoće. Legura br. 7 ima bolju sposobnost lijevanja od legure br. 3. Pokazuje najveću duktilnost u odnosu na ostale podeutektičke legure.

Legura ZA-8 je jedina nadeutektička legura koja se može ljevati u vrućoj komori, zajedno s podeutektičkim legurama. Ima veću čvrstoću, bolju dimenzijsku stabilnost i manju gustoću od legure br. 2, no općenito su im svojstva prilično slična. Njeni odljevci se lako dorađuju pa je moguće dobiti izvrsnu kombinaciju visoke čvrstoće i estetskog izgleda.

Legura ZA-12 pokazuje dobru sposobnost lijevanja u strojevima za tlačno lijevanje s hladnom komorom. Ima vrlo nisku gustoću (jedino legura ZA-27 ima nižu). Specificirana je za odljevke koji zahtijevaju visoku kvalitetu lijevanja i optimalna uporabna svojstva.

Legura ZA-27 je najlakša, najčvršća i najjača od svih legura cinka te osim toga ima najbolja svojstva prigušenja zvuka i vibracija. S druge strane, pokazuje relativno nisku duktilnost i udarnu žilavost ukoliko se tlačno lijeva.

Legura ILZRO 16 razvijena je zbog optimalne statičke izdržljivosti na povišenim temperaturama. Među ostalim legurama cinka ima najveću statičku izdržljivost. Loša svojstva ove legure su teška proizvodnja i nestabilno taljenje, zbog čega ju zamjenjuje legura ZA-8 [5].

### 4.3. Gravitacijski odljevci

Do 1960-ih godina nisu postojale cinkove legure opće namjene za gravitacijsko lijevanje. Prva legura koja se pojavila u svrhu gravitacijskog lijevanja je legura ILZRO-12 (danas ZA-12), a zatim su dodane i ZA-8 te ZA-27. Navedene legure veću primjenu ipak pronalaze u tlačnom lijevanju. Sastav nekih legura za gravitacijsko lijevanje dan je u tablici 5. Ovdje je također bitno izbjeći nečistoće [5].

Kirksite legure se koriste za alat za oblikovanje deformiranjem, a mogu se lijevati u pješčane kalupe za brzo oblikovanje, čiji se sastav može usporediti s legurom br. 2 za tlačno lijevanje. Svoju primjenu pronalaze u izradi dvodijelnih matrica za oblikovanje dijelova od metalnih limova poput komponenti za upotrebu u transportnoj i zrakoplovnoj industriji. Kalupi za lijevanje na gotov oblik izrađeni od Kirksite legure koriste se za injekcijsko prešanje polimera i za izradu prototipova te proizvodne procese.

Legure za bezjezgreni lijev imaju široku primjenu u proizvodnji šupljih odljevaka poput postolja stolnih svjetiljki. Proces kreće s rastaljenom legurom, koja se ulijeva u kalup. Kalup se preokrene te dolazi do curenja nestvrdnutog metala. Stvrdnuta ljuska se uklanja. Debljina ljuske ovisi o vremenu između ulijevanja i preokretanja kalupa, temperature taline i kalupa te o materijalu kalupa [5].

Tablica 5 Nominalni sastav cinkovih legura za lijevanje koje se koriste za alate za oblikovanje deformiranjem i za bezjezgreni ljev u obliku ingota [5]

Legura	Sastav, %								
	Uobičajena oznaka	UNS broj	Al	Cd max	Cu	Fe max	Pb max	Mg	Sn max
<b>Legure za alat za oblikovanje deformiranjem (ASTM B 793)</b>									
Legura A	Z35543	3,5-4,5	0,005	2,5-3,5	0,100	0,007	0,02-0,10	0,005	ostatak
Legura B	Z35542	3,9-4,3	0,003	2,5-2,9	0,075	0,003	0,02-0,05	0,001	ostatak
<b>Legure za bezjezgreni ljev (ASTM B 792)</b>									
Legura A	Z34510	4,5-5,00	0,005	0,2-0,3	0,100	0,007	...	0,005	ostatak
Legura B	Z30500	5,25-5,75	0,005	0,1 max	0,100	0,007	...	0,005	ostatak

#### 4.4. Završne i sekundarne obrade za odljevke od cinkovih legura

Prikladne završne obrade uključuju:

- Brušenje, poliranje, četkanje i čišćenje u bubnju
- Prevlačenje materijalima poput bakra, nikla, srebrnog i crnog nikla, kroma i mjedi
- Kemijsku završnu obradu poput kromiranja, emajliranja, lakiranja, bojanja, glaziranja, anodizacije i vakuumskog aluminiziranja
- Plastifikaciju (praškasti premaz)

Fosfatiranje lijevane površine općenito se preporučuje da bi se osiguralo dobro prijanjanje za naknadne boje ili praškaste premaze. Iako cinkove legure imaju dobru prirodnu otpornost na koroziju (pod uvjetom da nisu prekoračene granice nečistoća), kromiranje i anodiziranje pružaju dodatnu zaštitu od korozije u umjereno do jako korozivnim okruženjima. Bijela hrđa, koja se može formirati na cinkovim odljevcima koji se nalaze u vlažnim okruženjima, učinkovito se sprječava ili odgađa kromiranjem površine.

Cinkove legure imaju odlična svojstva obradivosti odvajanjem čestica što uključuje brušenje, urezivanje, razvrtanje, provlačenje, glodanje, tokarenje, mljevenje, urezivanje navoja i piljenje..

## 5. GNJEČENI CINK I CINKOVE LEGURE

Cink u čistom obliku ili s malim udjelom legirnih elemenata koristi se na tri glavna načina kao gnječeni proizvod: plosnato valjani proizvodi, proizvodi dobiveni postupkom provlačenja i ekstrudirani proizvodi [5].

### 5.1. Plosnato valjani proizvodi

Plosnato valjani proizvodi podrazumijevaju lijevanje cinka u ravne ploče, koje je potrebno najprije predgrijati. Nakon lijevanja slijedi grubo i završno valjanje. Ovim postupkom dobiva se cink koji ima izvrsnu oblikovljivost. Spajanje se provodi mekim lemljenjem i elektrootpornim zavarivanjem. U tablici 6 prikazan je udio pojedinih elemenata u sastavu ovih legura [5].

Tablica 6 Nominalni kemijski sastav valjanih legura cinka prema ASTM B 69 [5]

Legura		Sastav, %						
Uobičajena oznaka	UNS broj	Cu	Pb	Cd	Fe max	Al max	Ostali max	Zn
Zn-0,08Pb	Z21210	0,001 max	0,10 max	0,005 max	0,012	0,001	0,001 Sn	ostatak
Zn-0,06Pb- 0,06Cd	Z21220	0,005 max	0,05- 0,10	0,05- 0,08	0,012	0,001	0,001 Sn	ostatak
Zn-0,3Pb- 0,3Cd	Z21540	0,005 max	0,25- 0,50	0,25- 0,45	0,002	0,001	0,001 Sn	ostatak
Zn-1Cu	Z44330	0,85- 1,25	0,1 max	0,005 max	0,012	0,001	0,001 Sn	ostatak
Zn-1Cu- 0,010Mg	Z45330	0,85- 1,25	0,15 max	0,04 max	0,015	0,001	0,006-0,016 Mg 0,001 Sn	ostatak
Zn-0,8Cu- 0,15Ti	Z41320	0,50- 1,50	0,10 max	0,05 max	0,012	0,001	0,12-0,50 Ti 0,001 Sn	ostatak
Zn-0,8Cu	Z40330	0,70- 0,90	0,02 max	0,02 max	0,001	0,005	0,02 Ti	ostatak

## **5.2. Superplastični cink**

Sastav superplastičnog cinka temelji se na 21 – 23 % Al i malom udjelu bakra. Lako se oblikuje u složene oblike poprimajući pritom karakteristike plastike ili rastaljenog stakla (na temperaturama 250 – 270 °C). Superplastični cink ima jedinstvena svojstva koja se dobivaju toplinskom obradom na temperaturama 275 – 375 °C, gašenjem s te temperature i naknadnim dozrijevanjem. Pritom nastaje vrlo sitno zrno. Ponovnim zagrijavanjem superplastičnog cinka i hlađenjem manjom brzinom superplastična svojstva nestaju.

## **5.3. Proizvodi dobiveni postupkom provlačenja**

Postupak provlačenja je kontinuiran te se njime dobiva oblik žice, a provodi se nakon lijevanja, valjanja ili ekstrudiranja cinka u šipku i vučenja. Široka primjena se nalazi u termičkom naštrcavanju ili metalizaciji. Spomenuti postupak sprječava korozijske procese [5].

## **5.4. Ekstrudirani proizvodi**

Ekstrudiranje cinkovih legura zahtijeva veće tlakove i manje brzine, u usporedbi s drugim metalima, a temperature iznose 250 – 300 °C. Navedenim postupkom dobiva se približno gotovi oblik uz minimalnu strojnu obradu, za koju katkad i nema potrebe. Danas se upotrebljavaju dvije legure gnječenog cinka: Korloy 2573 te Korloy 3130. Svoju primjenu gnječeni cink pronalazi u izradi krovista i opšava, a valjani cink ima raznovrsnu primjenu: kućišta mjerača, kopče, čahure, brtve, itd. [5].

## 6. SVOJSTVA CINKOVIIH LEGURA

U narednom dijelu navedene su neke cinkove legure te opis njihovih mehaničkih, toplinskih i kemijskih svojstva uz primjere primjene

### 6.1. Legura AG40A (Zn-4Al-0,04Mg, legura br. 3)

#### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 86: 3,5 – 4,3 %Al, 0,02 – 0,05 %Mg, max 0,25 %Cu, max 0,1 %Fe, max 0,005 %Pb, max 0,004 %Cd, max 0,003 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Legure postaju podložne intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina

#### MEHANIČKA SVOJSTVA

Vlačna svojstva: Tlačno lijevan uzorak, promjera 6,35 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 283 MPa; istežljivost ( $\epsilon$ ), 10 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Vlačna i ostala mehanička svojstva ovise o temperaturi i vremenu ispitivanja čija ovisnost je prikazana u tablici 7.

Savojna čvrstoća ( $R_{ms}$ ): 214 MPa

Tlačna čvrstoća ( $R_{mt}$ ): 414 MPa

Tvrdoća: 82 HB (500·9,81 N opterećenje, kuglica promjera 10 mm, vrijeme ispitivanja 30 s)

Udarni rad loma: Charpy, bez utora, kvadratni uzorak dimenzija 6,35 mm: 58 J

Lomna žilavost ( $K_{IC}$ ): Tlačno lijevan uzorak, 12,3 MPa·√m, pri 24 °C

Dinamička izdržljivost ( $R_d$ ): Dvosmjerno savijanje, 48 MPa pri  $5 \cdot 10^8$  ciklusa

Granica puzanja:  $R_{p1/100000/20}$ , po ASME kodu za kotlove: 21 MPa

Tablica 7 Utjecaj temperature na mehanička svojstva cinkovih legura i odljevaka od cink – aluminij legura [5]

Oznaka legure	Temperatura	Vlačna čvrstoća <sup>(a)</sup>	Udarni rad loma <sup>(b)</sup>	Lomna žilavost (prosječni $K_{IC}$ )	
				Tlačni odljevak	Odljevak iz pješčanog kalupa
	°C	MPa	J	MPa $\sqrt{m}$	MPa $\sqrt{m}$
<b>Konvencionalne legure za lijevanje</b>					
Br.2	21	359	47,5		
Br. 3	-40	308,9	2,7	10,1	
	-20	301,3	5,4		
	0	284,8	31,2		
	21	282,7	58,3		
	24	-	-	12,3	
	40	244,8	57,0		
	95	195,1	54		
Br. 5	-40	337,2	2,7		
	-20	340,6	5,4		
	0	333,0	55,6		
	21	328,2	65,1		
	40	295,8	62,4		
	95	242,0	58,3		
Br. 7	-40	308,9	1,4		
	-20	299,2	1,9		
	-10	-	2,4		
	0	282,7	3,8		
	20	-	54,2		
	50	232,4	58,3		
	95	193,1	54,2		

Oznaka legure	Temperatura	Vlačna čvrstoća <sup>(a)</sup>	Udarni rad loma <sup>(b)</sup>	Lomna žilavost (prosječni $K_{IC}$ )	
				Tlačni odljevak	Odljevak iz pješčanog kalupa
	°C	MPa	J	MPa $\sqrt{m}$	MPa $\sqrt{m}$
	150	120,0	43,4		
<b>Cink-aluminij legure za lijevanje</b>					
ZA-8	-40	409,6	1	10,2	
	-20	402,7	1		
	-10	-	2		
	0	382,7	2		
	20	373,7	42		
	24	-	-	12,6	
	40	-	54		
	50	328,2	-		
	60	-	56		
	80	-	65		
	100	224,1	63	27,7	
ZA-12	-40	450,2	1,5	11,2	9,8
	-20	-	1,5		
	0	434,4	3		
	20	403,4	29		
	24	-	-	14,4	14,5
	40	-	35		
	50	349,6	-		
	60	-	40		
	80	-	46		
	100	228,9	46	29,0	29,1
	150	119,3	-		



Oznaka legure	Temperatura	Vlačna čvrstoća <sup>(a)</sup>	Udarni rad loma <sup>(b)</sup>	Lomna žilavost (prosječni $K_{IC}$ )	
				Tlačni odljevak	Odljevak iz pješčanog kalupa
	°C	MPa	J	MPa $\sqrt{m}$	MPa $\sqrt{m}$
ZA-27	-40	520,6	2	11,9	16,4
	-20	500,6	3		
	-10	-	7		
	0	497,1	-		
	24	-	-	20,2	23,7
	20	425,4	13		
	40	-	15		
	50	397,8	-		
	60	-	16		
	80	-	16		
	100	259,3	16	35,2	42,1
	150	129,0	-		

(a) Lijeveno stanje

(b) Lijeveno stanje, kvadratni uzorak 6,35 mm, bez zareza

#### TOPLINSKA SVOJSTVA

Likvidus temperatura: 387 °C

Solidus temperatura: 381 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): 27,4  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 100 °C

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,419 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 113,0 W/m·K

## KEMIJSKA SVOJSTVA

Ova legura ima bolju otpornost nego čisti cink i može biti korištena svugdje gdje je uspješno korišten cink ili cinkom prevučeni čelik.

## PRIMJENA

Tlačni odljevci kao što su automobilski dijelovi, kućanski aparati i pribor, uredska i računalna oprema, građevinski dijelovi.

### 6.2. Legura AC41A (Zn-4Al-1Cu-0,05Mg, legura br. 5)

#### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 86: 3,5 – 4,3 %Al, 0,75 – 1,25 %Cu, 0,03 – 0,08 %Mg; max 0,1 %Fe, max 0,005 %Pb, max 0,004 %Cd, max 0,003 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Legure postaju podložne intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina

#### MEHANIČKA SVOJSTVA

Vlačna svojstva: Tlačno lijevan uzorak, promjera 6,35 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 328 MPa; istežljivost ( $\epsilon$ ), 7 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Vlačna i ostala mehanička svojstva ovise o temperaturi i vremenu ispitivanja.

Savojna čvrstoća ( $R_{ms}$ ): 262 MPa

Tlačna čvrstoća ( $R_{m1}$ ): 600 MPa

Tvrdoća: 91 HB (500·9,81 N opterećenje, kuglica promjera 10 mm, vrijeme ispitivanja 30 s)

Udarni rad loma: Charpy, bez utora, kvadratni uzorak dimenzija 6,35 mm: 65 J

Dinamička izdržljivost ( $R_d$ ): Dvosmjerno savijanje, 56,5 MPa pri  $5 \cdot 10^8$  ciklusa

#### TOPLINSKA SVOJSTVA

Likvidus temperatura: 386 °C

Solidus temperatura: 380 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): 27,4  $\mu\text{m/m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 100 °C

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,419 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 109,0 W/m·K

## KEMIJSKA SVOJSTVA

Ova legura ima bolju otpornost nego čisti cink i može biti korištena svugdje gdje je uspješno korišten cink ili cinkom prevučeni čelik.

## PRIMJENA

Tlačni odljevci kao što su automobilski dijelovi, kućanski aparati i pribor, uredska i računalna oprema, građevinski dijelovi.

### 6.3. Legura ZA-8 (Zn-8Al-1Cu-0,02Mg)

#### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 669 (ingot): 8,2 – 8,8 %Al, 0,8 – 1,3 %Cu, 0,02 – 0,03 %Mg, max 0,065 %Fe, max 0,005 %Pb, max 0,005 %Cd, max 0,002 %Sn, ostatak Zn. ASTM B 791 (odljevci): 8,0 – 8,8 %Al, 0,8 – 1,3 %Cu, 0,015 – 0,03 %Mg, max 0,075 %Fe, max 0,006 %Pb, max 0,006 %Cd, max 0,003 %Sn, ostatak Zn.

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Legure postaju podložne intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina.

#### MEHANIČKA SVOJSTVA

Vlačna svojstva: Tlačno lijevan uzorak, promjera 6,35 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 374 MPa; konvencionalna granica razvlačenja ( $R_{p0,2}$ ): 290 MPa; istežljivost ( $\epsilon$ ), 8 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Uzorak lijevan u trajni kalup, promjera 12,7 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 240 MPa; konvencionalna granica razvlačenja ( $R_{p0,02}$ ): 208 MPa; istežljivost ( $\epsilon$ ), 1,3 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Modul elastičnosti ( $E$ ), 85,5 GPa. Vlačna i ostala mehanička svojstva ovise o temperaturi i vremenu ispitivanja.

Savojna čvrstoća ( $R_{ms}$ ): Tlačno lijevan uzorak, 275 MPa; Uzorak lijevan u trajni kalup, 242 MPa

Tlačna čvrstoća ( $R_{m1}$ ): Tlačno lijevanje, 252 MPa; Lijevanje u trajne kalupe, 210 MPa

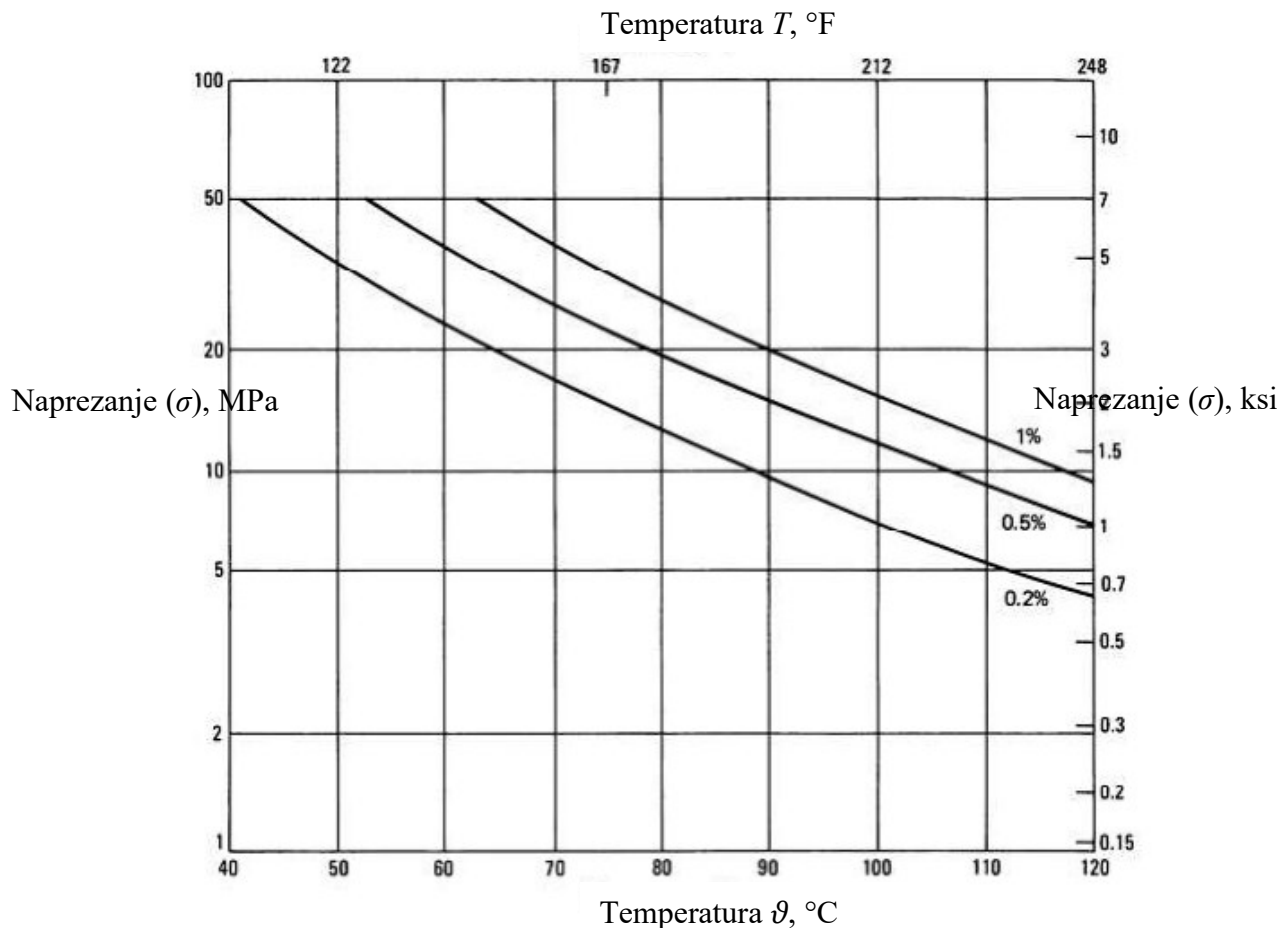
Tvrdoća: Tlačno lijevan uzorak, 103 HB; Uzorak lijevan u trajni kalup, 87 HB (500·9,81 N opterećenje, kuglica promjera 10 mm, vrijeme ispitivanja 30 s)

Udarni rad loma: Charpy, bez utora: tlačno lijevan kvadratni uzorak dimenzija 6,35 mm: 42 J; kvadratni uzorak lijevan u trajni kalup, dimenzije 10 mm: 20 J

Lomna žilavost ( $K_{IC}$ ): Tlačno lijevan uzorak,  $12,6 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$ , pri  $24 \text{ }^\circ\text{C}$

Dinamička izdržljivost ( $R_d$ ): Dvosmjerno savijanje,  $5\cdot 10^8$  ciklusa: Tlačno lijevan uzorak, 103 MPa, Uzorak lijevan u trajni kalup, 52 MPa

Granica puzanja:  $R_{p1/100000/20}$ , po ASME kodu za kotlove: 70 MPa (slika 10)



Slika 10 Vrijednosti istežljivost od 0,2; 0,5 i 1 % za tlačno lijevanu cinkovu leguru ZA-8 u ovisnosti o napreznju i temperaturi, vrijeme ispitivanja od  $3 \times 10^3 \text{ h}$  [5]

## TOPLINSKA SVOJSTVA

Likvidus temperatura: 404 °C

Solidus temperatura: 375 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): 23,2  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 100 °C

Latentna toplina taljenja ( $L$ ): 112 kJ/kg

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,435 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 115 W/m·K

## KEMIJSKA SVOJSTVA

Ova legura ima bolju otpornost nego čisti cink i podeutektičke cink-aluminij legure i može biti korištena svugdje gdje je uspješno korišten cink ili cinkom prevučeni čelik.

## PRIMJENA

Za tlačne i gravitacijske odljevke, tamo gdje je potrebna visoka čvrstoća kao što su automobilski dijelovi i općenito oprema, dijelovi agrikulturnih strojeva, elektronički i električni spojevi, kućanski i vrtni pribor, računalna oprema, poslovni uređaji, uređaji za snimanje, ručni alati.

**6.4. Legura ZA-27 (Zn-27Al-2Cu-0,015Mg)**

## KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 669 (ingot): 25,5 – 28,0 %Al, 2,0 – 2,5 %Cu, 0,012 – 0,02 %Mg, max 0,072 %Fe, max 0,005 %Pb, max 0,005 %Cd, max 0,002 %Sn, ostatak Zn. ASTM B 791 (odljevci): 25,0 – 28,0 %Al, 2,0 – 2,5 %Cu, 0,01 – 0,02 %Mg, max 0,075 %Fe, max 0,006 %Pb, max 0,006 %Cd, max 0,003 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Legure postaju podložne intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina. Visok udio željeza uzrokuje prekomjerno trošenje alata.

## MEHANIČKA SVOJSTVA

Vlačna svojstva: Tlačno lijevan uzorak, promjera 6,35 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 426 MPa; konvencionalna granica razvlačenja ( $R_{p0,2}$ ): 371 MPa; istezljivost ( $\epsilon$ ), 2,5 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Uzorak lijevan u trajni kalup, promjera 12,7 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 424 MPa; istezljivost ( $\epsilon$ ), 2 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Uzorak lijevan u pješčani kalup, promjera 12,7 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 421 MPa; istezljivost ( $\epsilon$ ), 4,5 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Modul elastičnosti ( $E$ ): 77,9 GPa. Vlačna i ostala mehanička svojstva ovise o temperaturi i vremenu ispitivanja.

Savojna čvrstoća ( $R_{ms}$ ): Tlačno lijevan uzorak, 325 MPa; Uzorak lijevan u pješčani kalup, 292 MPa

Tlačna čvrstoća ( $R_{mt}$ ): Tlačno lijevan uzorak, 359 MPa; Uzorak lijevan u pješčani kalup, 330 MPa

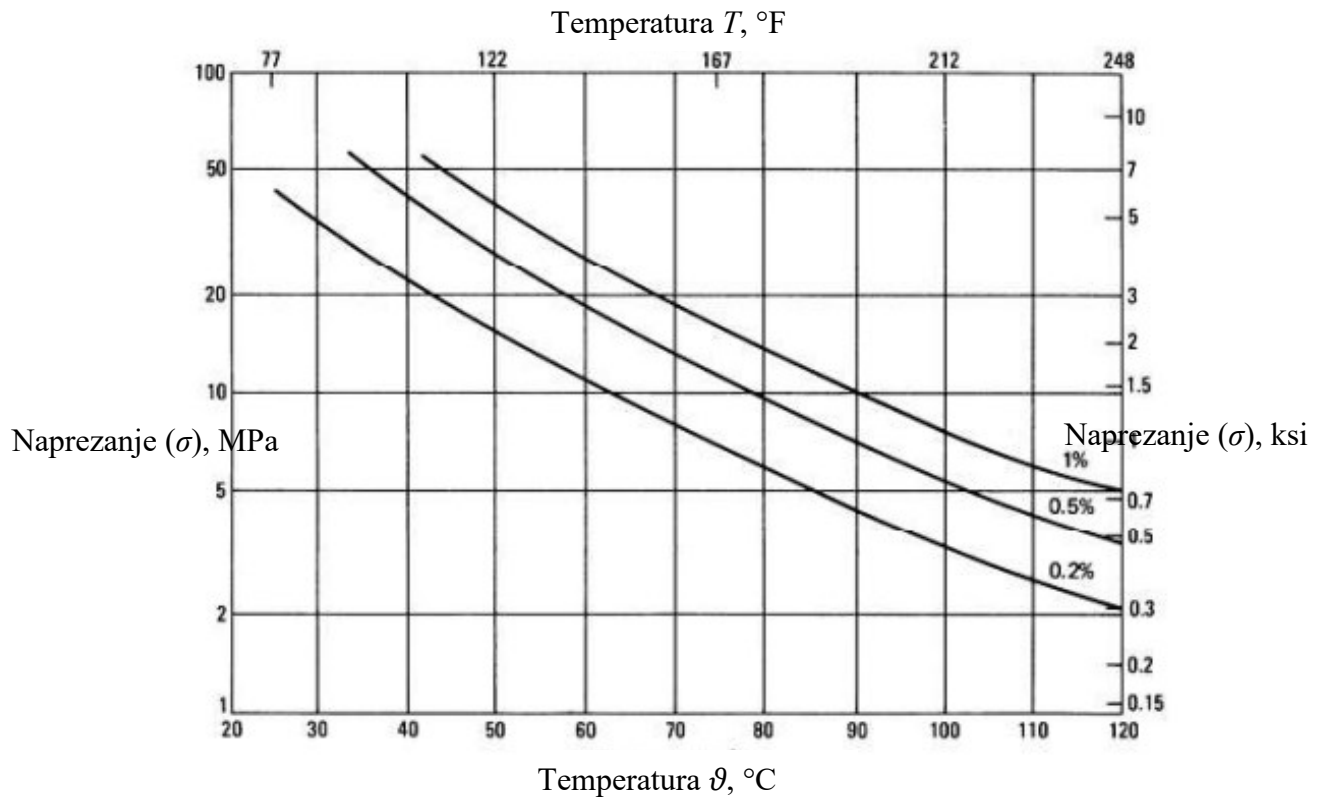
Tvrdoća: Tlačno lijevan uzorak, 119 HB; Uzorak lijevan u trajni kalup, 113 HB; Uzorak lijevan u pješčani kalup, 90 HB (500·9,81 N opterećenje, kuglica promjera 10 mm, vrijeme ispitivanja 30 s)

Udarni rad loma: Charpy, bez utora: tlačno lijevan kvadratni uzorak dimenzija 6,35 mm: 12 J; kvadratni uzorak lijevan u pješčani kalup, strojno obrađen na dimenzije 10 mm: 48 J

Lomna žilavost ( $K_{IC}$ ): Pri 24 °C: Uzorak lijevan u pješčani kalup, 23,7 MPa·√m; Tlačno lijevan uzorak, 20,2 MPa·√m

Dinamička izdržljivost ( $R_d$ ): Dvosmjerno savijanje, 5·10<sup>8</sup> ciklusa: Tlačno lijevan uzorak, 117 MPa, Uzorak lijevan u pješčani kalup, 172 MPa

Granica puzanja:  $R_{p1/100000/20}$ , po ASME kodu za kotlove: Tlačno lijevan uzorak, 69 MPa; Uzorak lijevan u pješčani kalup i homogeniziran (320 °C, hlađen u peći), 95 MPa (slika 11)



Slika 11 Vrijednosti istezljivost od 0,2; 0,5 i 1 % za tlačno lijevanu cinkovu leguru ZA-27 u ovisnosti o naprezanju i temperaturi, vrijeme ispitivanja od  $3 \times 10^3$  h [5]

#### TOPLINSKA SVOJSTVA

Likvidus temperatura: 484 °C

Solidus temperatura: 375 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): 26,0  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 100 °C

Latentna toplina taljenja ( $L$ ): 128 kJ/kg

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,525 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 125,5 W/m·K

#### KEMIJSKA SVOJSTVA

Ova legura ima bolju otpornost nego čisti cink i podeutektičke cink-aluminij legure i može biti korištena svugdje gdje je uspješno korišten cink ili cinkom prevučeni čelik.

## PRIMJENA

Za tlačne i gravitacijske odljevke koji zahtijevaju visoku čvrstoću kao što su: nosači motora i pogonski sklopovi automobila, dijelovi agrikulturnih strojeva, kućanski i vrtni pribor i teški ručni i radni alati. Ova legura je u široko primjenjiva za ležajeve i čahure za visokopterećene primjene pri malim brzinama.

### 6.5. Legura ILZRO 16 (Zn-1,25Cu-0,2Ti-0,15Cr)

#### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: 1,0 – 1,5 %Cu, 0,15 – 0,25 %Ti, 0,10 – 0,20 %Cr, 0,01 – 0,04 %Al, max 0,02 %Mg, max 0,04 %Fe, max 0,005 %Pb, max 0,004 %Cd, max 0,003 %Sn, ostatak Zn

#### MEHANIČKA SVOJSTVA

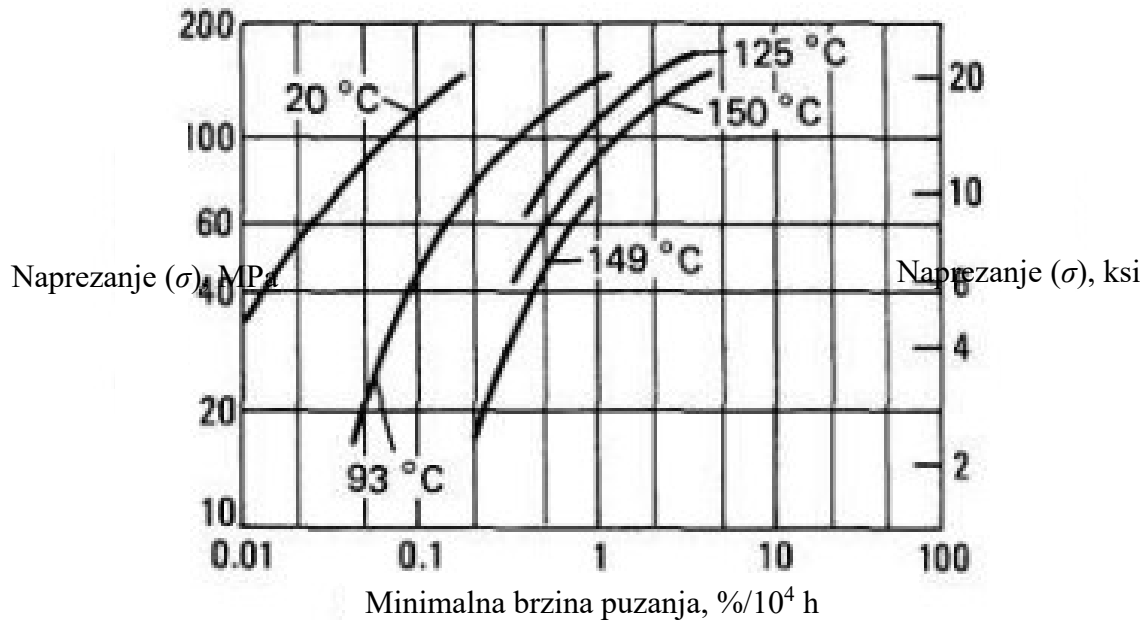
Vlačna svojstva: Tlačno lijevan uzorak, promjera 6,35 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 230 MPa; konvencionalna granica razvlačenja ( $R_{p0,2}$ ), 140 MPa; istezljivost ( $\epsilon$ ), 6 % za početnu mjernu duljinu 50 mm. Modul elastičnosti ( $E$ ) 97,0 GPa

Tvrdoća: Tlačno lijevan uzorak, 76 HB; Uzorak lijevan u trajni kalup, 113 HB; Uzorak lijevan u pješčani kalup, 90 HB (500-9,81 N kg opterećenje, kuglica promjera 10 mm, vrijeme ispitivanja 30 s)

Udarni rad loma: Charpy, bez utora: tlačno lijevan kvadratni uzorak dimenzija 6,35 mm: 25 J

Granica puzanja:  $R_{p1/1000/20}$ , po ASME kodu za kotlove, 95 MPa;  $R_{p1/1000/100}$ , 28 MPa (slika 12)





Slika 12 Statička izdržljivost cinkove legure ILZRO 16 pri različitim temperaturama [5]

#### TOPLINSKA SVOJSTVA

Likvidus temperatura: 416 °C

Solidus temperatura: 418 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): 27,0  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 100 °C

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,402 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 104,7 W/m·K

#### PRIMJENA

Kontinuirano opterećene nosive komponente za primjenu pri povišenim temperaturama.

## 6.6. Legura za bezjezgreno lijevanje (Zn-4,75Al-0,25Cu)

### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 792 (ingot): 4,5 – 5,0 %Al, 0,2 – 0,3 %Cu, max 0,1 %Fe, max 0,007 %Pb, max 0,005 %Cd, max 0,005 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Legura postaje podložna toplim pukotinama, intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina

### MEHANIČKA SVOJSTVA

Vlačna svojstva: Uzorak lijevan u bezjezgrene kalup, promjera 12,7 mm: vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 193 MPa; istežljivost ( $\epsilon$ ), 1,0 % za početnu mjernu duljinu 50 mm.

Udarni rad loma: Charpy, bez utora, uzorak lijevan u bezjezgrene kalup: kvadratni uzorak dimenzija 6,35 mm: 4 J

### TOPLINSKA SVOJSTVA

Likvidus temperatura: približno 390 °C

Solidus temperatura: 380 °C

### KEMIJSKA SVOJSTVA

Ova legura ima bolju otpornost nego čisti cink i može biti korištena svugdje gdje je uspješno korišten cink ili cinkom prevučeni čelik.

### PRIMJENA

Za lijevanje u bezjezgrene i trajne kalupe, uglavnom u proizvodnji rasvjetnih tijela i kipova.

## 6.7. Komercijalno valjani cink (Zn-0,08Pb)

### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 69: max 0,10 %Pb, max 0,012 %Fe, max 0,005 %Cd, max 0,001 %Cu, max 0,001 %Al, max 0,001 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Željezo i kadmij povećavaju tvrdoću i smanjuju duktilnost. Legura postaje podložna toplim pukotinama, intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina.

## MEHANIČKA SVOJSTVA

Kod gnječenih materijala svojstva su često anizotropna (ovise o smjeru) pa su dana u uzdužnom i poprečnom smjeru (u odnosu na smjer valjanja), npr. vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 134 MPa (uzdužno) do 159 MPa (poprečno).

Vlačna svojstva: Vruće valjani uzorak, vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 134 do 159 MPa; istezljivost ( $\varepsilon$ ), 65 do 50 %; Hladno valjani uzorak, vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 145 do 186 MPa; istezljivost ( $\varepsilon$ ), 50 do 40 %

Tvrdoća: Vruće valjani uzorak, 42 HB

Dinamička izdržljivost ( $R_d$ ): Uvojno opterećenje,  $10^8$  ciklusa: Vruće valjana traka, 17 MPa

## TOPLINSKA SVOJSTVA

Neka svojstva su anizotropna (ovisna o smjeru) pa su dana su u uzdužnom i poprečnom smjeru (u odnosu na smjer valjanja), npr. koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ), 32,5  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  (uzdužno) do 23,0  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  (poprečno).

Talište: 419 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): od 32,5 do 23,0  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 40 °C

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,395 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 108,0 W/m·K

## KEMIJSKA SVOJSTVA

Opće korozijsko ponašanje: Ova legura ima odličnu otpornost atmosferskoj koroziji.

## PRIMJENA

Uobičajena uporaba: Općenito vučeni ili deformirani dijelovi koji zahtijevaju određenu krutost, kao što su vučene posude za baterije.

Mjere opreza pri uporabi: Deformira se pri niskim kontinuiranim opterećenjima, osobito pri povišenim temperaturama.

## 6.8. Bakrom ojačani valjani cink (Zn-1,0Cu)

### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: ASTM B 69: 0,85 – 1,25 %Cu, max 0,10 %Pb, max 0,012 %Fe, max 0,005 %Cd, max 0,001 %Al, max 0,001 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Željezo i kadmij povećavaju tvrdoću i smanjuju duktilnost. Legura postaje podložna toplim pukotinama, intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina.

### MEHANIČKA SVOJSTVA

Neka svojstva su anizotropna (ovise o smjeru): vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 170 MPa (uzdužno) do 210 MPa (poprečno).

Vlačna svojstva: Vruće valjani uzorak, vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 170 do 210 MPa; istezljivost ( $\varepsilon$ ), 50 do 35 %; Hladno valjani uzorak, vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 210 do 280 MPa; istezljivost ( $\varepsilon$ ), 40 do 25 %

Tvrdoća: Vruće valjani uzorak, 52 HB; Hladno valjani uzorak, 60 HB

Dinamička izdržljivost ( $R_d$ ): Uvojno opterećenje,  $10^8$  ciklusa: Vruće valjana traka, 28 MPa

Savojna čvrstoća ( $R_{ms}$ ): 138 do 152 MPa

### TOPLINSKA SVOJSTVA

Neka svojstva su anizotropna (ovisna o smjeru): koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ), 32,5  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  (uzdužno) do 23,0  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  (poprečno).

Likvidus temperatura: 422 °C

Solidus temperatura: 419 °C

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): 34,7 do 21,1  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  pri 20 do 40 °C

Specifični toplinski kapacitet ( $c_p$ ): 0,402 kJ/kg·K pri 20 do 100 °C

Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ): 104,7 W/m·K

## KEMIJSKA SVOJSTVA

Ova legura ima odličnu otpornost atmosferskoj koroziji.

## PRIMJENA

Brtve, natpisne pločice, ferule i vučeni ili deformirani proizvodi koji zahtijevaju krutost.

Mjere opreza pri uporabi: Deformira se pri visokim kontinuiranim opterećenjima, osobito pri povišenim temperaturama.

### 6.9. Superplastični cink [5]

#### KEMIJSKI SASTAV

Granični sastav: 21 – 23 %Al, 0,40 – 0,60 %Cu, 0,008 – 0,012 %Mg, max 0,01 %Pb, max 0,002 %Fe, max 0,01 %Cd, max 0,001 %Sn, ostatak Zn

Posljedice prekoračenja udjela nečistoća: Željezo i kadmij povećavaju tvrdoću i smanjuju duktilnost. Legura postaje podložna toplim pukotinama, intergranularnoj koroziji i preuranjeno dolazi do loma zbog savijanja i pukotina.

#### MEHANIČKA SVOJSTVA

Neka svojstva su anizotropna (ovise o smjeru): vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 310 MPa (uzdužno) do 380 MPa (poprečno).

Vlačna svojstva: Valjani uzorak, vlačna čvrstoća, 310 do 380 MPa; konvencionalna granica razvlačenja ( $R_{p0,2}$ ), 255 do 297 MPa, istezljivost ( $\varepsilon$ ), 27 do 25 %; Uzorak žaren na 315 °C i hlađen na zraku, vlačna čvrstoća ( $R_m$ ), 400 do 441 MPa; konvencionalna granica razvlačenja ( $R_{p0,2}$ ), 352 do 386 MPa, istezljivost ( $\varepsilon$ ), 11 do 9 %. Modul elastičnosti ( $E$ ) 68 do 93 GPa.

Tvrdoća: Valjani uzorak, 70 do 79 HB; Žareni uzorak, 84 do 85 HB

Granica puzanja:  $R_{p1/100000/20}$ , po ASME kodu za kotlove: Valjani uzorak, 20 do 25 MPa; Žareni uzorak, 40 do 69 MPa

Udarni rad loma: Valjani i žareni uzorak: 8,5 do 27 J pri 20 °C, ovisno o smjeru djelovanja opterećenja

Prigušenje:  $Q^{-1}$  ( $\cdot 10^3$ ) pri 100 Hz: Hladno valjani uzorak, 7,8 pri 20 °C, 27,8 pri 100 °C

## TOPLINSKA SVOJSTVA

Neka svojstva su anizotropna (ovisna o smjeru):. koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ), 22,0  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  (uzdužno) do 21,5  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$  (poprečno).

Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja ( $\alpha$ ): Pri 20 do 40 °C. Valjano stanje, 22,0 do 21,5  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ ; Žareno stanje, 26,6 do 26,8  $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$

## PRIMJENA

Isporučuje se kao lim za toplo deformiranje. Posebno korisno za male proizvodne serije gdje se troškovi alata moraju održavati niskim. Koristi se za elektronička kućišta, ormare i ploče, dijelove poslovnih strojeva te medicinske i druge laboratorijske instrumente i alate.

Mjere opreza pri uporabi: Podložno puzanju ako je jako opterećeno, osobito pri povišenim temperaturama.

## **7. ZAKLJUČAK**

Cink i cinkove legure imaju jedinstvena svojstva zbog čega su idealni za određene primjene. Dodavanjem legirnih elemenata čistom cinku, postižu se bolja mehanička svojstva. Najpoznatije svojstvo cinka, koje promiče njegovu korisnost je otpornost na koroziju. Zahvaljujući izvrsnoj otpornosti na koroziju, cink se koristi za premazivanje ili pocinčavanje čelika, pri čemu se nastoje zadržati željena mehanička svojstva uz bolju korozijsku postojanost, uzevši u obzir da cink nije primjenjiv u kiselinama ili jako lužnatim otopinama. Kao i svi drugi metali, cink korodira pod utjecajem kisika i vlage, ali puno manjom brzinom. Veliku prednost donosi i niska temperatura taljenja, zbog čega je primjerice pri lemljenju potrebno dovesti minimalnu toplinu. Cijena cinka je vrlo visoka, što djelomično ograničava njegovu primjenu.

## 8. LITERATURA

- [1] B. Marjanović, I. Pipuš, Tehnička enciklopedija, 2. svezak: Cink, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1966.
- [2] G. K. Levy, J. Goldman, E. Aghion, The Prospects of Zinc as a Structural Material for Biodegradable Implants—A Review Paper, *Metals*, 7, 402, 2017
- [3] I. Bakotić, Elektrokemijsko pocinčavanje ugljičnog čelika, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010
- [4] Z. Lenhard, Metalurgija obojenih metala I, Metalurški fakultet, Sisak, 2008
- [5] R. J. Barnhurst, Zinc and Zinc Alloys, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special – Purpose Materials, ASM Handbook, Volume 2, 1990
- [6] V. Grbec, Utjecaj temperature vode na brzu koroziju cinka, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009
- [7] Dostupno na: <http://www.cincaonahelena.hr/> pristupljeno: 15.1.2022
- [8] Dostupno na: <https://www.thoughtco.com/zinc-facts-606621>, pristupljeno: 28.1.2022
- [9] P. Barak, P. A. Helmke, The Chemistry of Zinc, International Symposium on Zinc in Soils and Plants, Perth, 1993
- [10] I. Matasić, Zaštitni premazi s visokim udjelom cinka, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015