

# Tvrdo lemljenje



Postupak tvrdog lemljenja.

**Tvrdo lemljenje** je [spajanje metalnih](#) materijala pomoću rastaljenog dodatnog materijala ili **lema**, čije je [talište](#) niže od tališta osnovnog materijala koji se spaja, a iznosi od 350 - 1000 °C. S druge strane, [meko lemljenje](#) se spaja s temperaturom lema nižom od 350 °C.

**Područje taljenja** nekog lema je područje [temperatura](#) od početka taljenja (**temperatura solidusa**), do potpuno rastaljenog stanja (**temperatura liquidusa**). Pod **radnom temperaturom** podrazumijeva se najniža temperatura površine izratka na mjestu lema, na kojoj temperaturi se lem može omrežati, proširivati i vezati na osnovni materijal izratka. Radna temperatura mora uvijek biti viša od temperature solidusa, no ipak smije biti ispod ili iznad temperature liquidusa. Preko granične plohe lem/osnovni materijal odvija se izmjena mjesta [atoma](#), a time i difuzija (legiranje). Zbog toga površine lemljenja moraju biti po mogućnosti glatke (dubina [hrapavosti](#) ne preko 20  $\mu\text{m}$ ) i dobro očišćene. Da bi se odstranili još postojeći površinski tanki slojevi i da bi lem mogao dobro omrežiti površinu lemljenja, upotrebljavaju se otopine [soli](#) (DIN 8511). Upotrebljavaju se i zaštitni [plinovi](#), koji spriječavaju ili smanjuju mogućnost [oksidacije](#) površine lemljenja, prije nego što se dostigne radna temperatura. <sup>[1]</sup>



## Sadržaj

- 1Prednosti i nedostaci tvrdog lemljenja
- 2Najvažniji postupci lemljenja
  - 2.1Plameno lemljenje
  - 2.2Lemljenje uronjavanjem
  - 2.3Lemljenje u peći
  - 2.4Otporno lemljenje
- 3Podjela prema obliku lemljena mjesta
  - 3.1Lemljenje sa zračnošću
  - 3.2Lem sa šavom
- 4Materijali lema

- 4.1 Podjela
- 5 Osnove oblikovanja
  - 5.1 Limovi
  - 5.2 Cijevi
  - 5.3 Okrugle šipke
  - 5.4 Spremnici
- 6 Čvrstoća
- 7 Izvori

## Prednosti i nedostaci tvrdog lemljenja

---

Prednosti: <sup>[2]</sup>

- visoka [vlačna čvrstoća](#);
- utjecaj temperature na osnovni materijal je manji nego kod [zavarivanja](#);
- kontrola procesa je vrlo dobra;
- upotrebom više lemova mogu se dobiti složene strukture;
- potrebno je manje [energije](#) nego kod zavarivanja;
- i za spajanje dijelova različite debljine i tankih dijelova;
- dobra toplinska i [električna vodljivost](#);
- moguće spajanje velikih površina;
- pogodno za serijsku proizvodnju komponenti malih izmjera.

Nedostaci:

- mala otpornost na visoke temperature;
- lemovi djelomično sadrže skupe plemenite [metale](#);
- postoji opasnost od pojave [elektrolitske korozije](#);
- u odnosu na zavarivanje priprema površina spoja može biti skuplja.

## Najvažniji postupci lemljenja

---

### Plameno lemljenje

. Prije ili poslije zagrijavanja prisloni se lem na mjesto spoja ili ulaže u sastav. Ovaj postupak prikladan je i za meko lemljenje i za tvrdo lemljenje. <sup>[3]</sup>

### Lemljenje uronjavanjem

Prije lemljenja moraju se odgovarajućim pastama ili rastopinama obraditi mjesta koja moraju ostati nezalemljena. Dijelovi koji se spajaju urone se tada, u položaju u kojem moraju biti spojeni lemljenjem, u rastaljeni lem i na taj način se ugriju. Lem tada prodire u mjesta spoja i spaja oba dijela. Ovaj postupak prikladan je i za meko lemljenje i za tvrdo lemljenje.

### Lemljenje u peći

Lem se dodaje mjestu spajanja, a dijelovi se ugriju u [plinskoj](#) ili [električnoj](#) prolaznoj peći, u kojoj se obavi lemljenje. Ovaj postupak prikladan je i za meko lemljenje i za tvrdo lemljenje.

### Otporno lemljenje

Mjesto koje se spaja ugrije se, slično kao kod [elektrootpornog zavarivanja](#), sabijanjem u [klijestima](#) ili na strojevima za elektrootporno lemljenje. Prethodno se ulaže lem. Ovaj postupak prikladan je i za meko lemljenje i za tvrdo lemljenje.

## Podjela prema obliku lemljena mjesta

---

### Lemljenje sa zračnošću

Lemljenje sa zračnošću ili rasporom ima površine spajanja s malom, po mogućnosti jednako širokom zračnošću (raspor za lem), koja uglavnom ne premašuje 0,25 [mm](#). Lem se [kapilarnim](#) djelovanjem usisava u ostavljenu zračnost između dijelova koji se spajaju.

## Lem sa šavom

**Površine koje se spajaju imaju razmak veći** od 0,5 mm ili šav oblika V ili X. Kada je šav oblika X, nastaju šavovi kao kod zavarivanja, tako da se ponekad govori o **zavarivačkom lemljenju**.

## Materijali lema

Za tvrdo lemljenje teških [kovina](#) ([željezni](#), [bakarni](#), [nikalni](#) materijali) dolaze pretežno u obzir [srebrni](#) lemovi (Ag lem), bakarni lemovi (Cu lemovi) i [mjedeni](#) lemovi (Ms lemovi) prema DIN 8513. Lemovi za lake kovine ([aluminij](#) i aluminijske slitine) prema DIN 8512 su uglavnom [aluminij-silicijski](#) lemovi (AlSi lem ili AlSiSn lem).

## Podjela

Svi lemovi se prema namjeni i sastavu dijele u 3 skupine:

- meki lemovi,
- tvrdi lemovi,
- aluminijski lemovi (meki aluminijski lemovi i tvrdi aluminijski lemovi).

Vrsta lema bira se prema postupku lemljenja, vrsti materijala spojnih dijelova, a katkad i prema posebnim zahtjevima koje mora ispunjavati lemni spoj. Od leмова se najčešće traže ova svojstva: određena temperatura [tališta](#), sposobnost legiranja s metalima spojnih dijelova i određena čvrstoća. Katkada se zahtijeva da lem ima određenu [električnu vodljivost](#) ([elektronika](#) i [elektrotehnika](#)), kemijsku otpornost (kemijska i prehrambena industrija) i određenu boju (ukrasni predmeti).

| Osnovne vrste leмова  |             |            |
|-----------------------|-------------|------------|
| Vrste lema            | Oznaka lema | $t_l$ (°C) |
| Meki kositreći lemovi | S. Sn 20    | 275        |
|                       | S. Sn 30    | 249        |
|                       | S. Sn 40    | 223        |
|                       | S. Sn 60    | 185        |
|                       | S. Sn 75    | 185        |
| Tvrdi mjedeni lemovi  | S. Cu 85 Zn | 1 020      |

|                      |                      |     |
|----------------------|----------------------|-----|
|                      | S. Cu 60 Zn          | 900 |
|                      | S. Cu 48 Zn          | 870 |
|                      | S. Cu 42 Zn          | 845 |
| Tvrđi srebrni lemovi | S. Cu 55 Zn Ag 8     | 870 |
|                      | S. Cu 55 Zn Ag 12    | 830 |
|                      | S. Cu 55 Zn Ag 8 Cd  | 730 |
|                      | S. Cu 55 Zn Ag 12 Cd | 700 |
| Aluminijski lemovi   | L – Al Si 12         | 590 |
|                      | L – Zn Al 15         | 430 |
|                      | L – Sn Zn 10         | 210 |
|                      | L – Sn Pb Zn         | 220 |

## Osnove oblikovanja

Proširenja zračnosti raspora na pojedinim mjestima, između dijelova koji se spajaju, smanjuju kapilarno djelovanje, a suženja štete protoku oksidima obogaćene taline. Naročito su kritična suženja koja se nadovezuju na proširenja zračnosti raspora. Brazde od obrade, koje teku okomito na tok lemljenja, sprječavaju tečenje ako su dublje od 0,05 do 0,1 *h* (visina). Brazde u smjeru tečenja djeluju kao kanali i potpomažu tečenje, tako da se češće i posebno izrađuju, ako se na primjer traži točan centričan položaj dijelova koji se spajaju.

Čeoni spojevi nisu prikladni zbog svoje male površine lemljenja. Najbolji su prijklopni spojevi i spojevi s podmetačima. Zakošenjem preklopnih sastavnih dijelova u spoju ili podmetača na mjestu spajanja lemljenjem, blaže se skreće tok sila, a time se povećava čvrstoća. Korisna je duljina preklopa  $l = 3$  do  $4$  s (debljina lima).

### Cijevi

Čeone spojeve najbolje je tvrdo lemiti. [Stožasta](#) izrada krajeva povećava površinu lemljenja. [Cijevi](#) debljine stijenke ispod 2 [mm](#) i cijevi koje treba meko lemiti, spajaju se dodatnim prstenom ili se na jednom kraju prošire da bi se dobio preklopni spoj.

### **Okrugle šipke**

Čeono lemljenje krajeva okruglih šipki ne preporučuje se. Bolje je da se krajevi šipke ulože u provrt, koji ostavlja zračnost za ulaz lema.

### **Spremnici]**

Za lemljenje posuda ili [spremnika](#), vrijede slična pravila kao za limove. Lemljene posude se mogu računati kao zavarene. Posebni standardi definiraju maksimalne debljine stijenki i vrijednosti.

### **Čvrstoća[**

---

Mjestu lemljenja se daje jednaka računaska vrijednost [čvrstoće](#) kakvu imaju dijelovi koji se spajaju. Lemljeni spojevi se oblikuju tako da su opterećeni smično (na odrez). [Dinamička](#) čvrstoća se uzima samo 80% od one dijelova u spoju, ako je zračnost ili raspor manji od 0,2 [mm](#). Ako je zračnost veća od 0,2 mm, onda se uzima samo 60% čvrstoće od dijelova u spoju. Koeficijenti sigurnosti se uzimaju od 1,5 do 4.