

## 7.6.6 Lotanje

Z lotanjem (spajkanjem) lahko kovine povežemo v nerazstavljivo zvezo s pomočjo vezave materiala.

Osnovne materiale in dodatek z nizkim tališčem (lot) segrejemo do predpisane delovne temperature za uporabljeni lot. Pri tem ostane osnovni material dveh kovinskih delov, ki se spajata, v trdnem stanju, lot pa se raztali. Ob ohlajanju se lot strdi in poveže med seboj prilagojena sestavna dela.

Področje uporabe lotanja sega od rokodelskih popravil do masovne proizvodnje.

Lotanje (spajkanje) ima naslednje prednosti:

- Z lotanjem lahko brez problemov medsebojno povežemo tudi raznovrstne kovine.
- Zaradi nižje delovne temperature ima veliko prednosti pri sestavljanju delov z manjšimi ali različno debelimi stenami. S tem se zmanjša tudi nevarnost uničenja delov zaradi spremembe strukture, toplotne napetosti in gubanja (slika 1 in slika 2).
- Lotani spoji so v glavnem neprepustni za paro in tekočine. Primeri uporabe: rezervoarji, cevne instalacije (slika 2).
- Lotani spoji imajo na splošno dobro električno prevodnost. Primeri uporabe: gradnja elektromotorjev, lotanje tokovnih povezav in spajkanje tiskanih vezij.
- Postopek lotanja se da pogosto enostavno avtomatizirati (slika 3).

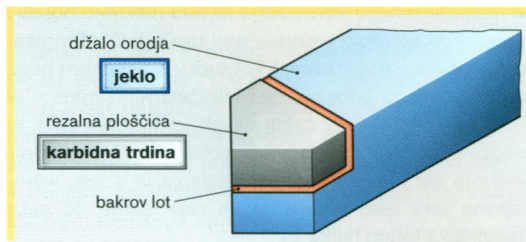
### Potek lotanja

Lotani spoj nastane v treh fazah (slika 4).

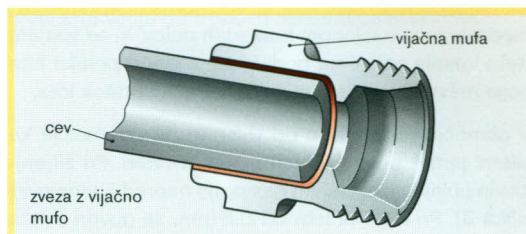
Do **omočenja** pride, ko staljeni lot odrine talilo in se prime očiščenega osnovnega kovinskega materiala. Pri tem morata biti kovinska dela na lotanem mestu segreta do delovne temperature lota. Nastane tesen stik med dodano snovjo (lotom) in osnovnim materialom. Istočasno pride do **pronicanja** lota. Kaplja raztaljenega lota se razširi s povečanjem svoje površine in zaradi kapilarnosti spolzi v najmanjše vmesne prostore. Istočasno sledi **nastanek zlitine** lota z mejno plastjo osnovnega materiala.

Raztaljeni lot mora priti v neposreden stik z osnovnim materialom, da sploh lahko omogoči omočenje, ki temelji na **adheziji** (sile privlačnosti med molekulami različnih snovi). Že najmanjša pokritost površine lotanca z nečistočo ali ovoja raztaljenega lota z oksidno plastjo prepreči neposreden dotik in onemogoči lotani spoj.

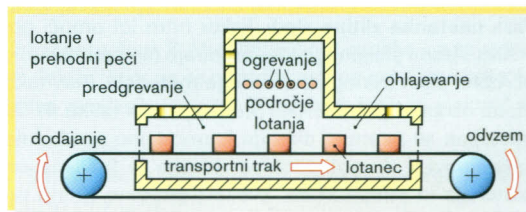
Takoj po predhodni mehanski ali kemični obdelavi nastanejo pri sobnih temperaturah na lotancih oksidne plasti. Med lotanjem površine oksidirajo celo zaradi čistil ter talil, segrete kovine se hitreje spajajo s kisikom kot hladne.



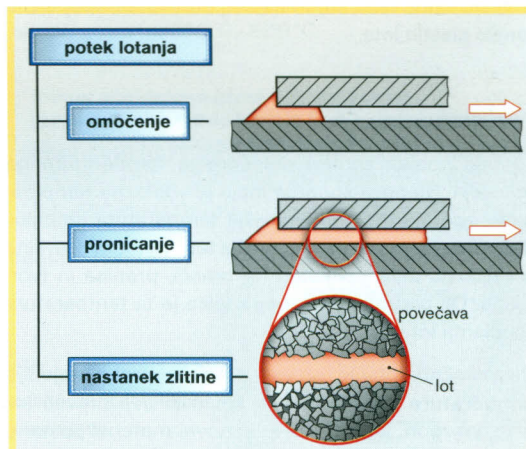
Slika 1: Lotanje raznovrstnih kovin



Slika 2: Lotanje neprepustnih delov z različnimi debelinami stene



Slika 3: Avtomatiziran postopek lotanja



Slika 4: Potek lotanja po fazah

Že najmanjša pokritost površine lotanca z nečistočo ali ovoja raztaljenega lota z oksidno plastjo prepreči neposreden dotik in onemogoči lotani spoj.

Te nevidne obloge kovinskega oksida moramo bodisi zmanjšati s segrevanjem obdelovancev in lota v zaščitnem plinu ali pa raztopiti s primernimi topili (talili). Pronicanje, s tem pa tudi omočenje, potekata v dovolj ozkih **režah lotanja** tako v vodoravnem kot tudi v navpičnem položaju. Ta pojav se razlaga s kapilarnim delovanjem. **Kapilarnost** temelji na adheziji med tekočinami in trdnimi površinami (stenami reže). Na podlagi adhezije se tekočina vzpenja po stenah. V ozkih cevah je kohezija (sila, ki privlači molekule iste snovi) dovolj močna, da preostalo tekočino povleče za seboj navzgor (**slika 1**). Za lotanje so najprimernejše reže širine od 0,05 mm do 0,2 mm. Pri tej širini sta kapilarni pritisk polnjenja in s tem višina vzpona lota tako velika, da se reže same od sebe napolnijo z lotom (**slika 2**).

V praksi zaradi hrapavosti površine osnovnih materialov najugodnejšo režo lotanja večinoma dosežemo že z medsebojnim naslonom kovinskih delov, ki se spajata. Reža lotanja naj se ne podaljšuje v smeri poteka lotanega mesta, ker se s tem ovira nadaljnji pretok lota.

V območju rež s širino od 0,2 mm do 0,5 mm je kapilarni pritisk polnjenja samo še neznaten. Pri širjenju lota in polnjenju rež lahko nastopijo nepredvidene ovire (**slika 3**). Pri lotu, širšem od 0,5 mm, se govori o lotnem stiku. Lotni stiki zahtevajo zaradi majhnega kapilarnega pritiska polnjenja večinoma posebno tehniko lotanja.

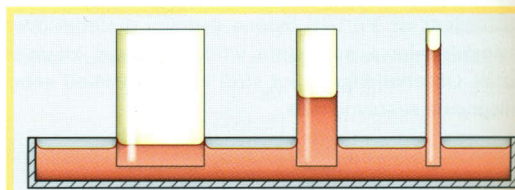
Faza **nastanka zlitine** sledi, kakor hitro lot omoči površino. Atomi staljenega lota prodirajo (se premikajo) v obrobno plast trdnega osnovnega materiala. Prav tako atomi osnovnega materiala pronicajo v lot (**slika 4**). Ta postopek se imenuje **difuzija** (samodejno prodiranje kake snovi v drugo). Globina difuzije je odvisna od materiala in temperature. Zveze s popolno zlitino pri majhni debelini lota so močnejše obremenjive, ker je plast zlitine trdnjša od samega lota. Zato stremimo za majhno širino reže, saj so najbolj trdni lotani spoji s čim tanjšo plastjo lota.

### Temperatura lotanja

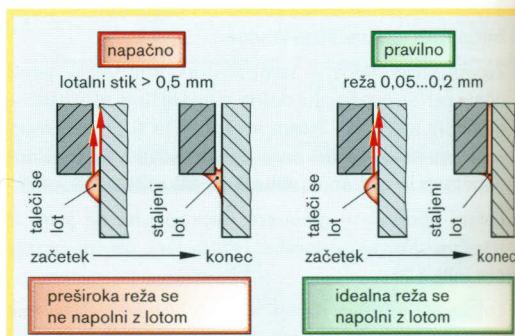
Lotanje poteka znotraj določenega temperaturnega območja. Njegova spodnja meja je »delovna temperatura«, zgornja meja je »najvišja temperatura lotanja«. **Delovna temperatura** je najnižja temperatura površine kovinskega dela, pri kateri lot omoči, pronica in tvori zlitino. Ob uporabi ustreznega talila je ta temperatura konstanta lotanja.

Neoporečno lotanje ni več mogoče preko **najvišje temperature lotanja**. Če so kovinski deli preveč segreti, lot zgori, talilo izpari in osnovni material postane grobo zrnat. Da se pospeši nastanek zlitine, se naj po lotanju vzdržuje delovna temperatura lota še 15 do 60 sekund.

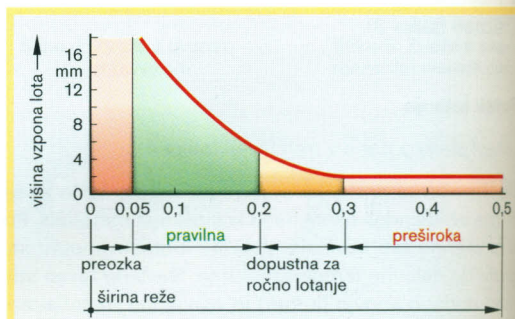
Med ohlajanjem in strjevanjem lota se zalotano mesto ne sme premikati ali tresti.



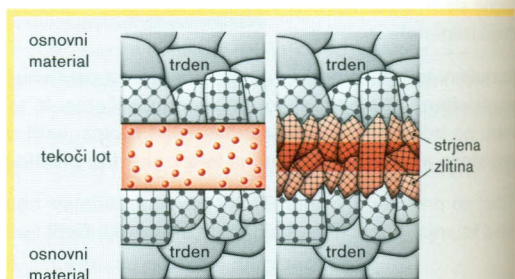
Slika 1: Kapilarno delovanje



Slika 2: Kapilarno delovanje v reži lotancev



Slika 3: Povezava med širino reže in višino vzpona lota



Slika 4: Nastanek zlitine

## Postopki lotanja

Višina delovne temperature (približno 450 °C) razmejuje postopka mehkega in trdega lotanja. Pri **mehkem lotanju** je mesto povezave mehko in ni primerno za velike prenose sil. Izvaja se na nizki delovni temperaturi, pri kateri lahko nastane samo neznatna plast zlitine. Poleg tega je trdnost največkrat uporabljenega svinčevega lota majhna. Nizka delovna temperatura je tudi vzrok, da je lotani spoj toplotno zelo občutljiv. Železne materiale zato redko povezujemo z mehkim lotanjem. Nasprotno se mehko lotanje zelo pogosto uporablja za povezavo in tesnjenje bakra, kositra, cinka in njihovih zlitin, saj mehki loti zalijejo s kapilarnim delovanjem vse reže med veznimi deli. Tudi spajkanje elektronskih elementov se izvaja s postopkom mehkega lotanja.

**Trdo lotanje** je primerno za vezavo zlitin jekla, nelegiranega jekla, karbidnih trdin, žlahtnih kovin, sive litine, temprane litine in bakra. Mesto spoja je trdno in prožno. Pod pogojem, da je pravilno izvedeno, se lahko močno obremeni. Pri neželeznih kovinah je trdnost lotanega spoja večkrat večja od trdnosti osnovnega materiala.

## Loti

Za vse lote velja:

- njihovo tališče je vedno nižje od tališča osnovnega materiala,
- so posebno redko tekoči,
- dobro se vežejo z drugimi kovinskimi materiali.

Loti se po njihovi delovni temperaturi delijo na mehke in trde. **Izbira lota** naj poteka s pomočjo priročnikov s preglednicami standardov. Iz njih se razberejo sestava, območje taljenja, delovna temperatura in način uporabe.

Po DIN EN ISO 3677 so kratice za trde lote opremljene z začetno črko B. V nadaljevanju oznake so navedene bistvene sestavine zlitin kot kemični simboli z odstotkovnimi deleži. Sicer pa se pri trdih lotih navaja samo odstotek glavne sestavine. Tretji del oznake vsebuje še področje talilne temperature v °C. Pri mehkih lotih za elektronske elemente stoji za drugim delom oznaka »E«.

**Mehki loti za težke kovine** so pretežno zlitine iz kositra (Sn) in svinca (Pb), katerim so za povečanje trdote in trdnosti večkrat dodani antimon (Sb), srebro (Ag), baker (Cu) in cink (Zn).

**Trdi loti za težke kovine** so pretežno zlitine bakra in cinka ali srebrov lot (zlitine bakra in srebra). Nadaljnji dodatki so lahko kadmij (Cd), fosfor (P), silicij (Si), mangan (Mn), kositer (Sn) in nikelj (Ni). Žlahtna kovina srebro (deloma do 85 %-delež), kot sestavina lota, zniža delovno temperaturo na 610 °C...800 °C.

## Talila

Talila niso iz kovinskih materialov. Talila ali zaščitni plini lahko odstranijo oksidno prevleko, če so površine materialov mehansko zadosti očiščene. Omočenje površine materiala z lotom je mogoče, ker raztaljeni lot najprej izpodrine talilo (**slika 1**). Za preprečevanje korozije se morajo po lotanju ostanki talila odstraniti z lotanega mesta. Talila za mehko lotanje označujemo po DIN EN 29454:

- s števkami za tip, osnovo in katalizator talila,
- s črko A za tekoče, B za trdno in s C za talilo v obliki paste.

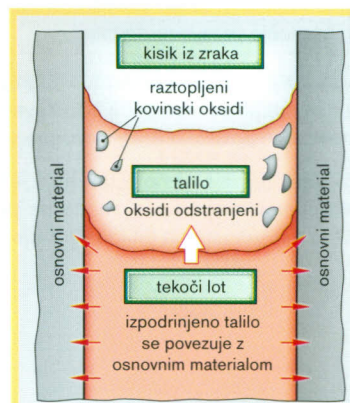
Za lotanje že močno oksidiranih površin je primerna tekočina za lotanje (cinkov klorid) z oznako 3.2.2.A (F-SW 11), ki deluje z razkrajanjem.

Primerna mast za lotanje bakra v obliki paste 2.2.1.C (F-SW 21) je rahlo korodirna (razkrajja).

Talila za trdo lotanje so večinoma borove spojine in prav tako korodirajo. Učinkujejo v različnih temperaturnih območjih (npr. F-SH2 od 750 °C ...1100 °C).

### Primer standardne oznake za srebrov lot (področje rabe = trdo lotanje Cr/Ni – jekel, titana)

| DIN EN ISO 3677    | delovna temperatura | območje taljenja |
|--------------------|---------------------|------------------|
| B-Ag60CuSn-600/730 | 720 °C              | 600...730 °C     |



Slika 1: Delovanje talila

## Tehnika lotanja

Neodvisno od postopka lotanja in primera uporabe upoštevamo pri lotanju določene delovne korake:

- Z lotanih površin moramo najprej mehansko ali kemično odstraniti oksidne, prašne in maščobne plasti. To praviloma izvedemo z drgnjenjem s smirkovim papirjem, strgalom, pilo ali jekleno krtačo. V redkih primerih tudi z uporabo primerne kisline.
- Nanesemo talilo. To seveda ni potrebno, če je talilo že vdeleno v lot v obliki paste ali prahu, kot je na primer pri skoraj vseh elektro lotih.
- Mesto lota enakomerno segrejemo z ustreznim orodjem.
- Lot se pristavi in raztali na mestu lota.
- Zlotano mesto se po potrebi očisti, tako da se odstrani preostalo talilo.

## Segrevanje mesta lotanja

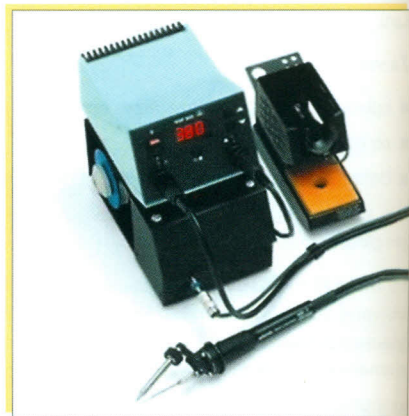
Za ročno mehko lotanje na področju mehanike, kot je npr. izdelava cevnih povezav, se pogosto uporablja plamen, ki izvira iz zmesi zraka in gorilnega plina. Nasprotno na področju elektrotehnike in elektronike večinoma uporabljamo spajkalne postaje z električno ogrevanimi spajkalniki kot nosilci toplote. Ta postopek ima prednost, saj temperaturo lahko nastavljamo po potrebi, kot je to npr. nujno pri izdelavi ploščic tiskanega vezja (slika 2).

Pri strojnem mehkem lotanju dele, ki bodo zaspajkani, najprej segrejemo v predgrevalni napravi in zatem povlečemo preko vala kositrove spajke (slika 3). Za segrevanje delov pri trdem lotanju, ki se na področju mehatronike ne uporabljajo tako pogosto, koristimo skoraj izključno plamen iz varilnih gorilnikov ali gorilnikov za trdo lotanje (slika 1).

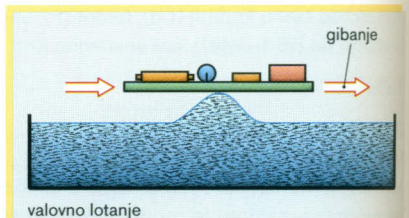
Zlotani spoji morajo biti izvedeni tako, da se v njih pojavljajo strižne napetosti, saj slabo prenašajo natezne obremenitve.



Slika 1: Plinski gorilnik za trdo lotanje



Slika 2: Spajkalna postaja za mehko lotanje



Slika 3: Valovno lotanje