4.1.4 Popuščanje

Jekla, ki smo jih kalili, takoj po kaljenju popuščamo z namenom:

* da se doseže **želena trdota,**
* da se **odstranijo notranje napetosti** v kaljenem izdelku,
* da se dobi stabilnejša mikrostruktura in se poveča **žilavost**.

Temperatura popuščanja je vedno manjša od temperature premenske točke Ac1. Če je **jeklo legirano**, se zgodi med popuščanjem na določeni temperaturi, da pride do **izločanja kompleksnih karbidov zlitinskih** **elementov**. To so zelo majhni delci, ki se izločijo v osnovi in vplivajo tudi na spremembo mikrostrukture ter s tem trdote jekla. Izbira temperature popuščanja je odvisna od vrste jekla in namena uporabe jekla.

Glede na spremembo mikrostrukture po popuščanju razlikujemo več stopenj popuščanja. V teh stopnjah prevladujejo štirije različni procesi, ki jih ni mogoče ostro ločiti med seboj.

Stopnje popuščanja so naslednje:

* **1. stopnja** poteka pri temperaturi popuščanja med 100 in 200 oC. Pri omenjeni temperaturi popuščanja razpade tetragonalni martenzit v metastabilni karbid e (Fe2.4C) in kubični martenzit ali popuščni martenzit, v katerem so izločeni delci karbida e.
* **2. stopnja** popuščanja se izvede v temperaturnem območju od 150 do 300 oC. Pri tem razpade zadržani avstenit v kubični martenzit in karbid e. Med tem procesom pri tako visoki temperaturi pride tudi do tvorbe majhnih delcev **Fe3C.**
* **3. stopnja** predstavlja popuščanje v temperaturnem intervalu med 300 in 400 oC. Omenjena temperatura je zadosti visoka, da pride do pretvorbe **karbida e v Fe3C**. Posledica je tvorba Fe3C, ki se po daljšem času popuščanja izloča v obliki zrnatega cementita. Tako trdota jekla pade in znaša 50 do 60 HRC.
* **4. stopnja** poteka v temperaturnem območju od 350 oC do temperature premene Ac1. Za to stopnjo je značilna rast faz, kot je npr. cementita, ki koagulira in se izloča v zrnati obliki. Pri tem se spremeni trdota jekla. Če je temperatura popuščanja višja od 500 oC, se dobi v mikrostrukturi bolj grobo kroglasto oblikovan cementit. Pri tej temperaturi popuščanja dobimo popustno sorbitno strukturo, ki ima trdoto od 20 do 45 HRC. V kolikor žarimo kaljeno jeklo na temperaturi tik pod premeno Ac1, se izloči v mikrostrukturi celo zrnati perlit, ki ima v feritni osnovi izločen koagulirani cementit. Njegova trdota je od 5 do 20 HRC. **Za 4. stopnjo popuščanja** je tudi značilno, da pride pri jeklih, ki vsebujejo **karbidotvorne elemente,** pri visokotemperaturnem popuščanju (To je v temperaturnem območju od 530 do 680 oC.) do difuzije zlitinskih elementov v cementit ali do **tvorbe posebnih karbidov** in s tem do **utrditve jekla (spodnja slika).**

V spodnji tabeli je podana kemična sestava zgoraj navedenih jekel.



**Potek popuščanja**

**Segrevanje** jekla na temperaturo popuščanja naj bo počasno in enakomerno po celotnem prerezu. Čas segrevanja je odvisen od premera izdelka.

Čas **držanja na temperaturi popuščanja** je odvisen od oblike, velikosti izdelka in vrste jekla ter znaša običajno 1 do 3 ure. Sicer je čas zadrževanja odvisen od **točnosti dimenzij izdelka.** Tako npr. merilna orodja, pri katerih je pomembno, da se ne spremeni oblika, držimo jeklo na temperaturi popuščanja 24 ur.

**Ohlajevanje** po popuščanju mora biti pazljivo zaradi pojava krhkosti. V tem primeru se jekla hitro ohlajajo s temperature popuščanja. Tj. v vodi ali olju. Če ni nevarnosti za pojav krhkosti pri popuščanju, se priporoča počasno hlajenje, tj. na zraku ali v peči.

**Temperatura popuščanja mora biti za 30 do 50 oC višja od delovne temperature orodja**. Popuščanje lahko izvršimo s kuhanjem v vodi, segretem v olju, solni kopeli ali z žarjenjem v pečeh.

Naslednja tabela podaja temperature popuščanja za nekatera jekla. Te so za [**različna**](http://www.metalravne.com/selector/steels/ocr12.html)[**jekla**](http://www.metalravne.com/selector/steels/utopmo2.html)[**različna.**](http://www.metalravne.com/selector/steels/merilo.html)



Temperatura popuščanja je zelo pomembna, ker vpliva na trdoto popuščanega izdelka. Vpliv temperature popuščanja na trdoto jekla za nelegirano ogljikovo orodno (vrste 1.2833) jeklo podaja zgoraj navedena slika. Odvisnost trdote od temperature popuščanja za legirano orodno jeklo, pa razberemo iz krivulje 1.3343 (hitrorezno jeklo), 1.2581 (orodno jeklo za delo v vročem) in 1.2379 (orodno jeklo za delov hladnem).

**Poboljšanje jekla**

**Poboljšanje** je postopek toplotne obdelave, kjer se jekla kali v **kalilnem sredstvu** (voda, olje, solni kopeli) in nato takoj **popušča pri visoki temperaturi** približno od 530 do 670 oC.

**Lastnosti in uporaba jekla za poboljšanje**

**Jekla za poboljšanje** so **nelegirana ali malolegirana srednjeogljična jekla**. Vsebnost **ogljika je 0,25 do 0,7 %.** Poleg ogljika pa jekla vsebujejo še druge **zlitinske elemente** v raznih kombinacijah, kot so mangan, silicij, krom, nikelj, molibden ali vanadij. Dodatek zlitinskih elementov je pomemben, ker vpliva na globino zakaljene plasti izdelka.

S poboljšanjem dosežemo, da je mikrostruktura po žarjenju sestavljena iz drobnih, enakomerno porazdeljenih karbidov Fe3C in železa alfa. Če jeklo vsebuje še karbidotvorne elemente, se nahajajo v mikrostrukturi tudi karbidi zlitinskih elementov. Drobno razporejena kristalna zrna v osnovi z izločki karbidov vplivajo na mehanske lastnosti poboljšanega jekla, ki se kaže kot velika žilavost pri sorazmerno visoki trdnosti.

**Jekla za poboljšanje** so primerna **za dinamično in statično obremenjene dele strojev**. Če si izberemo za dinamično obremenjene dele ogljikova jekla, so le-ta uporabna za strojne dele manjših premerov (To je za Φ 40 mm.). Pri večjih premerih zaradi slabe prekaljivosti uporabljamo malolegirana jekla, ki imajo sposobnost zagotoviti večjo prekaljivost.

Iz navedenega se vidi, da je po kaljenju zelo pomembna prekaljivost. O **dobri prekaljivosti govorimo**, če vsebuje izdelek po **kaljenju na sredi najmanj 50 % martenzita**. Za zagotavljanje kaljivosti jekla so pomembni pasovi kaljivosti, ki so za nekatera poboljšana jekla navedeni v standardu SIST EN 10083. Omenjeni diagrami so narejeni na osnovi kontrolnih preizkusov prekaljivosti po metodi Jominy.

Na sliki a) je prikazan pas zagotovljene kaljivosti za jeklo 1.1191, na sliki b) pa za jeklo 1.7225. Omenjena številčna označba velja za standarda SIST EN 10027-2.

