

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**.

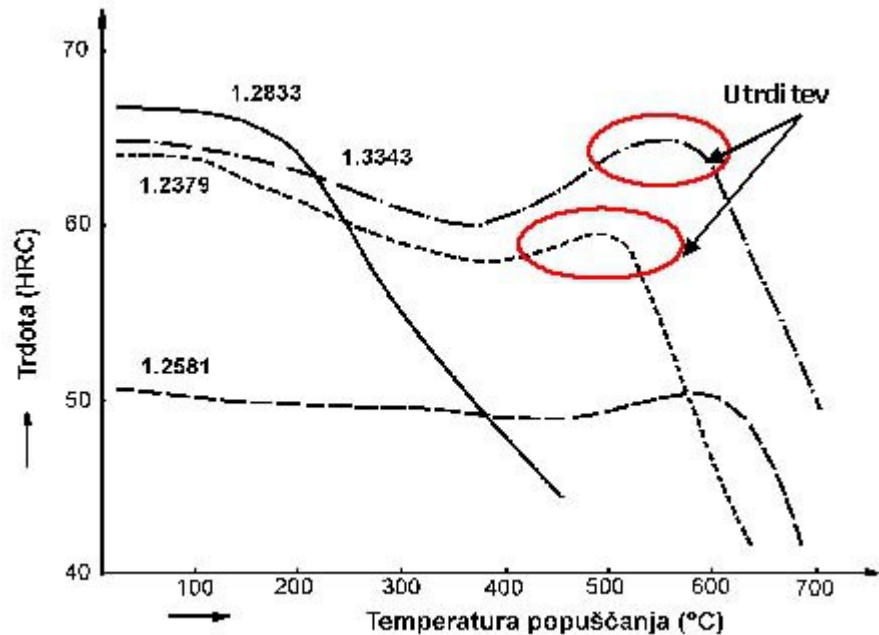
Temperatura popuščanja je vedno manjša od temperature premenske točke Ac_1 . Če je **jeklo legirano**, se zgodi med popuščanjem na določeni temperaturi, da pride do **izločanja kompleksnih karbidov zlitinskih elementov**. To so zelo majhni delci, ki se izločijo v osnovi in vplivajo tudi na spremembo 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 štiri različni procesi, ki jih ni mogoče ostro ločiti med seboj.

Stopnje popuščanja so naslednje:

- **1. stopnja** poteka pri temperaturi popuščanja med 100 in 200 °C. Pri omenjeni temperaturi popuščanja razpade tetragonalni martenzit v metastabilni karbid e ($Fe_{2,4}C$) 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 °C. Pri tem razpade zadržani avstenit v kubični martenzit in karbid e. Med tem procesom pri tako visoki temperaturi pride tudi do tvorbe majhnih delcev **Fe_3C** .
- **3. stopnja** predstavlja popuščanje v temperaturnem intervalu med 300 in 400 °C. Omenjena temperatura je zadosti visoka, da pride do pretvorbe **karbida e v Fe_3C** . Posledica je tvorba Fe_3C , 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 °C do temperature premene Ac_1 . 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 °C, 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 Ac_1 , 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 °C.) 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.

VRSTA JEKLA	KEMIČNA SESTAVA (%)				
	C	Cr	V	Mo	W
1.2833	1		0,1		
1.3343	0,9	4	1,85	5	6,5
1.2379	1,6	12	1	0,8	
1.2581	0,3	2,65	0,35		8,5

Potek popuščenja

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

Čas **držanja na temperaturi popuščenja** 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 popuščenja 24 ur.

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

Temperatura popuščenja mora biti za 30 do 50 °C višja od delovne temperature orodja. Popuščenje lahko izvršimo s kuhanjem v vodi, segretem v olju, solni kopeli ali z žarjenjem v pečeh.

Naslednja tabela podaja temperature popuščenja za nekatera jekla. Te so za **različna jekla različna**.

ZAP. ŠT.	VRSTA JEKLA	TEMPERATURA POPUŠČANJA (°C)
1.	Jeklo za cementiranje	140 do 200
2.	Jeklo za delo v hladnem stanju	100 do 300
3.	Jeklo za poboljšanje	530 do 680
4.	Hitrorežno jeklo	550 do 580
5.	Orodje za delo vročem stanju	400 do 700

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 (hitrorežno 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 °C.

Lastnosti in uporaba jekla za poboljšanje

Jekla za poboljšanje so nelegirana ali malolegirana srednjegljična jekla. Vsebnost ogljika je **0,25 do 0,7 %**. Poleg ogljika pa jekla vsebujejo še druge **zlitinske elemente** v različnih 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 Fe_3C in železa alfa. Če jeklo vsebuje še karbidotvorne elemente, se nahajajo v mikrostrukturi tudi karbidi zlitinskih elementov. Drobnost razporejena kristalna zrna v osnovi z izločki karbidov vplivajo na mehanske lastnosti poboljšane 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 (T_0 je za Φ 40 mm.). Pri večjih premerih zaradi slabe prekaljivosti uporabljamo malolegirana jekla, ki imajo sposobnost zagotoviti večjo prekaljivost.

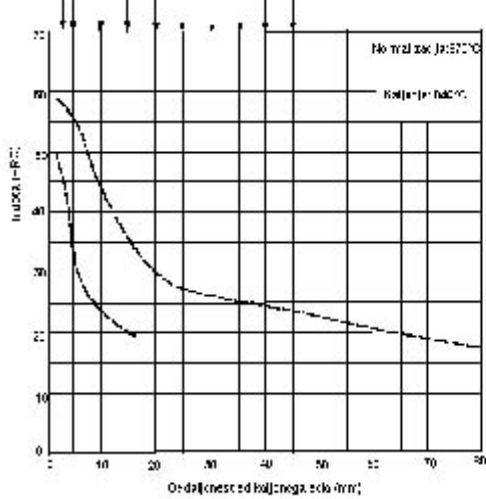
Iz navedenega se vidi, da je po kaljenju zelo pomembna prekaljivost. O **dobri prekaljivosti govorimo**, če vsebuje izdelek po **kaljenju na sredi najmanj 50 % martenzita**. Za zagotavljanje kaljivosti jekla so pomembni pasovi kaljivosti, ki so za nekatera poboljšana jekla navedeni v standardu SIST EN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

a)

1.1191	Cr (%)	Si (%)
	0,40 - 0,51	0,15 - 0,22

Premat okroglih palic z enako odoto		Polovja	Kaljenje
100		Površina	Urbn 1-2
12 26 54 70 86 100 112 124 135 142		Sredina	
7 15 28 42 54 68 80 90 98 100		Površina	Urbn 1-2
		Sredina	



b)

1.2225	C (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)
	0,17 - 0,41	0,15 - 0,25	0,85 - 1,30	0,15 - 0,20

Premat okroglih palic z enako hrskino		Polovja	Kaljenje
100		Površina	V vodil. H=2
10 20 54 70 86 100 112 124 135 142		Sredina	
7 15 28 42 54 68 80 90 98 100		Površina	V vodil. H=0,1
		Sredina	

