

TEHNIČNE NOVICE

Jekla za hladno masivno preoblikovanje

A. Lagoja**

Gradivo obravnava metalurške dejavnike, ki vplivajo na preoblikovalnost jekel za hladno masivno preoblikovanje, vrste in lastnosti jekel iz proizvodnega programa železarne Jesenice, ki se uporabljajo za hladno masivno preoblikovanje, ter nekaj primerov uporabe jekel za vijake.

1. UVOD

Najpomembnejša uporabna lastnost jekel, namenjenih za hladno masivno preoblikovanje je »preoblikovalnost«. Preoblikovalnost je definirana s pojmom:

- napetost tečenja (preoblikovalna trdnost) K_t ,
- preoblikovalna sposobnost (zmogljivost),

Napetost tečenja je zelo pomembna lastnost, ker iz nje lahko določimo:

1. potrebno silo za preoblikovanje in s tem tudi sile (obremenitve), ki jih mora prenašati oblikovalno orodje, kar pomembno vpliva na njegovo vzdržnost
2. pričakovane lastnosti (trdnost) izdelka po deformaciji

Preoblikovalna sposobnost (zmogljivost) je mejna deformacija, ki jo je material še sposoben prenesti brez razpok. Kvantitativne ocene te lastnosti (še) ni, zato si pri njenem ocenjevanju pomagamo s kvalitativnimi kazalniki, kot so:

- raztezek in kontrakcija pri trgalnem preizkusu,
- krčenje pri tlačnem preizkusu do pojava prvih razpokic,
- število vrtljajev do porušitve pri vzvojnem preizkusu (torziji).

Da bi dosegli dobro preoblikovalnost jekel za hladno masivno preoblikovanje, je potrebno že pri izdelavi in predelavi teh jekel poseči po nekaterih ukrepih, ki zagotavljajo:

- optimalno kemično sestavo,
- notranjo homogenost jekla,
- dobro fizikalno čistočo jekla,
- optimalno mikrostrukturo,
- dobro površino.

Zato mora biti proces izdelave in predelave teh jekel skrbno voden in nadzorovan v vseh tehnoloških fazah.

2. DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA PREOBLIKOVALNOST

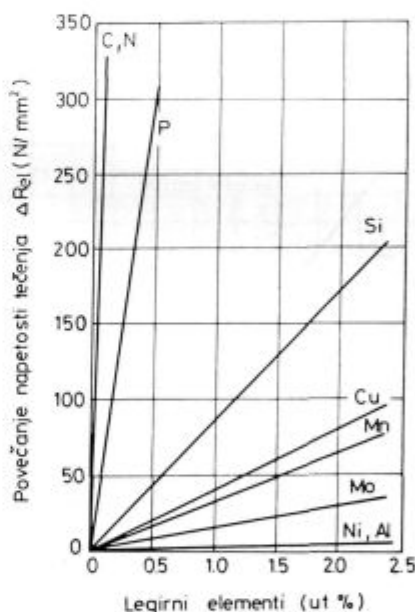
2.1 Vpliv legiranih elementov

Najboljšo preoblikovalnost ima jeklo, ki se po sestavi približuje čistemu železu. S povečanjem količine ogljika in ostalih (legiranih) elementov v jeklu se preoblikovalna zmogljivost zmanjšuje, napetost tečenja pa raste.

S povečanjem količine ogljika v jeklu raste delež perlita v mikrostrukturi, ki odločilno vpliva na trdnost in kontrakcijo jekla.

Karbidotvorni elementi Cr, Mo, V in Ti prav tako, vendar v manjši meri kot ogljik, zvišujejo trdnost (deloma preko karbidov, deloma preko nastanka trdne raztopine, s čimer povzročajo utrditev ferita).

Ostali legirni elementi (npr. Mn, Si, Ni) zvišujejo trdnost in s tem napetost tečenja preko tvorbe zmesnih kristalov (trdne raztopine).



Slika 1

Vpliv legirnih elementov na povečanje napetosti tečenja

Vplivnost posameznih legirnih elementov na trdnost pada v naslednjem redu: C, Mo, Si, Ni, Mn, Cr, pri čemer je ogljik daleč najbolj vpliven.

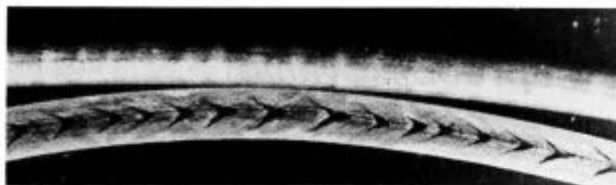
Normalno vsebujejo (npr. cementacijska) jekla do 0.40 % Si. Ker silicij povzroča močno deformacijsko utrjevanje, ga je v posebno zahtevnih primerih preoblikovanja potrebno omejiti, npr. pri cementacijskih jeklih in jeklih za popljšanje na maks. 0.15 %, pri mehkih ogljikovih (z Al pomirjenih) jeklih pa na maks. 0.10 %. Pri nelegiranih jeklih je včasih potrebno omejiti tudi vsebnost spremljajočih elementov, kot so Cu, Ni in Mo.

2.2 Homogenost jekla

Jekla za hladno masivno preoblikovanje morajo biti homogena, brez por, ostankov lunckerja, ostankov livne-

** mag. Aleš Lagoja, dipl. ing. met. — Železarna Jesenice, c. Železarjev 8, 64270 Jesenice

ga praška, notranjih razpok in večjih izcej. Notranja nehomogenost jekla lahko zelo kvarno vpliva na preoblikovalnost. Primer slabe preoblikovalnosti žice je prikazan na **sliki 2**. Žica se je pri vlečenju pretrgala zaradi izcej ogljika v sredini preseka, zaradi česar je bila sredina manj plastična in se je natrgala (nastale so številne notranje razpoke).



Slika 2

Natrganost notranjosti žice zaradi izcej v jeklu

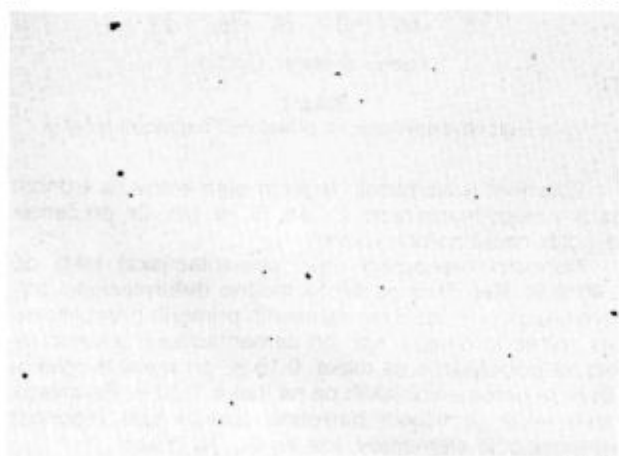
2.3 Čistoča jekla

Večji nekovinski vključki v jeklu povzročajo zarezni učinek in predstavljajo potencialno nevarnost, da napestostne konice ob njih privedejo do nastanka razpok. Pri tem igra pomembno vlogo velikost, oblika in razporeditev nekovinskih vključkov.



a

100 x



b

100 x

Slika 3

Nekovinski vključki v jeklu

- a) Dolgi sulfidni vključki
b) Modificirani nekovinski vključki kroglaste oblike

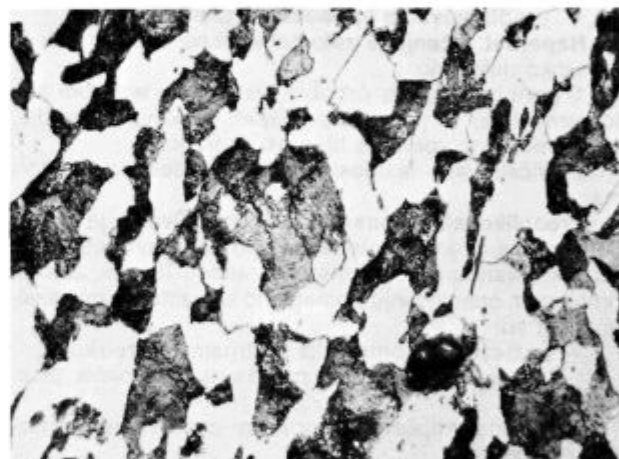
Sodobni jeklarski postopki omogočajo izdelavo izredno čistih jekel s količino žvepla pod 0.005 %. Pri tem je možna tudi modifikacija nekovinskih vključkov, tako da napr. sulfidi namesto v razpotegnjeni obliki (**sl. 3 a**) nastopajo v kroglasti obliki (**sl. 3 b**), ki je najmanj nevarna za nastanek razpok.

Oksidni vključki globularne oblike na preoblikovalno zmogljivost ne vplivajo bistveno, ne smejo pa nastopati v obliki verig. Z jeklarskimi ukrepi je možno zagotoviti tudi dobro oksidno čistočo, tako da ta ne vpliva kvarno.

2.4 Mikrostruktura

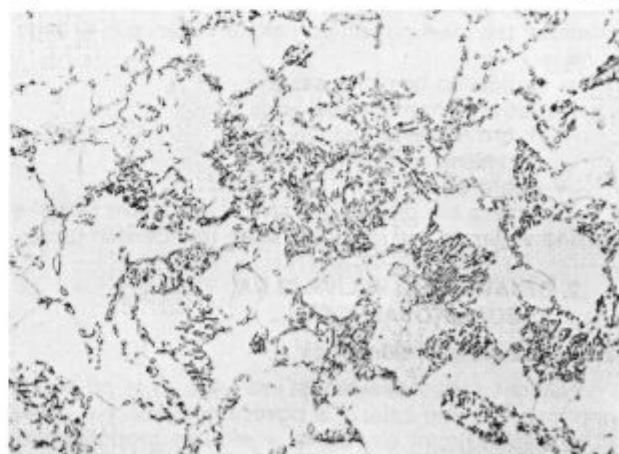
Mikrostruktura ima poleg kemične sestave najpomembnejši vpliv na preoblikovalnost.

Maloogljična in maloogirana jekla je pogosto možno za manj zahtevne izdelke uporabiti s feritno-perlitno mikrostrukturo, kakršno ima jeklo v toplo valjanem ali normaliziranem stanju. V sodobnih valjarnah je možno po valjanju žico kontrolirano ohladiti, kar omogoča zagotoviti žico s primerno mikrostrukturo in z enakomernimi mehanskimi lastnostmi po dolžini žice. Perlit je v toplo valjani ali v normalizirani žici v lamelarni obliki, kar je ugodno v primeru, da je po hladnem oblikovanju potrebna izdatnejša obdelava izdelka z odzemanjem delcev (npr. rezanje navojev). V splošnem pa je jeklo v toplo va-



a)

500 x



b)

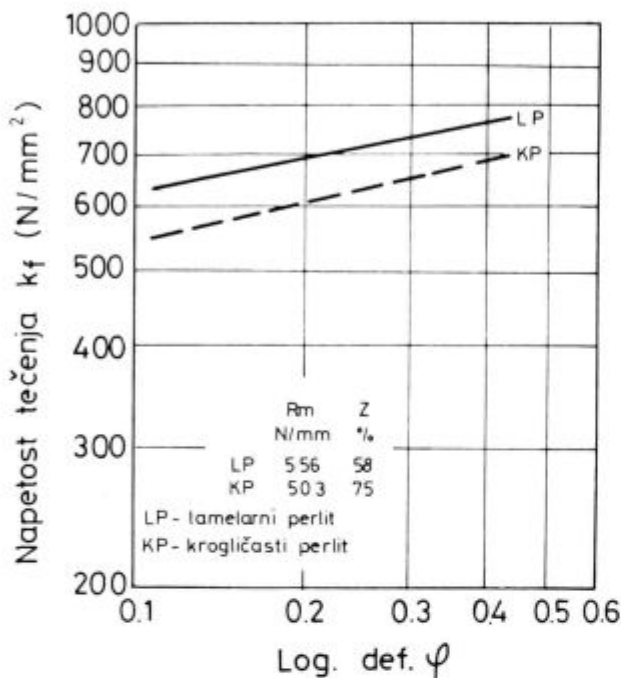
500 x

Slika 4

- a) Struktura jekla z 0.35% C v valjanem stanju
b) Struktura jekla z 0.35% C v sferoidizacijsko žarjenem stanju

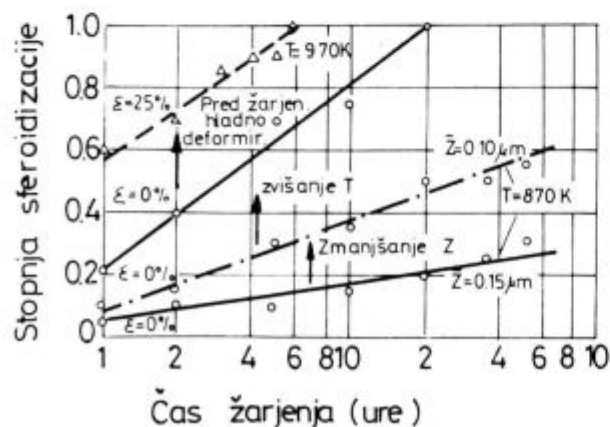
Ijanem stanju zaradi sorazmerno grobo lamelnarnega perlita le omejeno hladno preoblikovalno. Občutno izboljšanje preoblikovalnosti je možno doseči z žarjenjem žice, pri čemer se lamelarni perlit (cementit) pretvori v zrnatega.

Pri tem se zniža natezna in preoblikovalna trdnost, kontrakcija pa se izboljša. Vpliv strukture na mehanske lastnosti jekla je razviden s **slike 5**.



Slika 5
Vpliv strukture na napetost tečenja

Oblika cementita postja pomembnejša z večanjem količine ogljika v jeklu. Pri jeklih z nad 0.35 % C postane sferoidizacija odločilnega pomena. Jekla za poboljšanje je možno uspešno hladno masivno preoblikovati le v sferoidizacijsko žarjenem stanju. Sferoidizacijsko žarjenje je dolgotrajen proces. Pri toplo valjanih ogljikovih jeklih, s sorazmerno grobo lamelnarim perlitom, je potrebno za dosego dobro sferoidizirane mikrostrukture dolgotrajno žarjenje, ki za industrijske pogoje ni sprejemljivo.



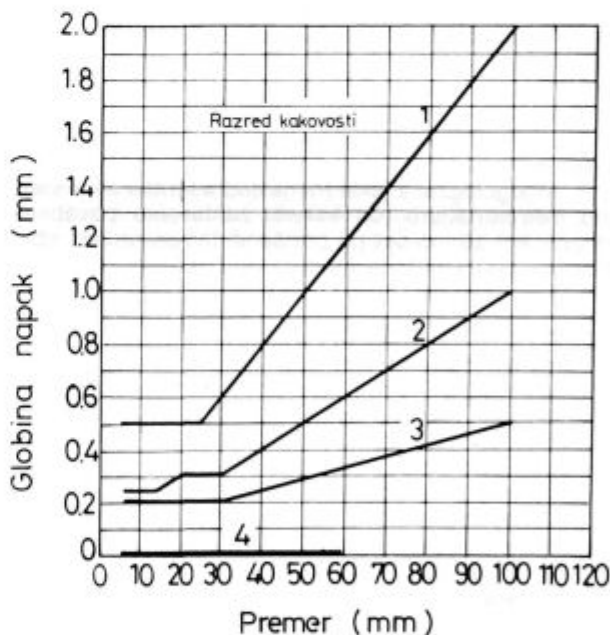
Slika 6
Vpliv časa žarjenja in hladne deformacije na stopnjo sferoidizacije. Na sliki pomeni Z medlamelarno razdaljo v perlitu.

V takih primerih je možno jeklo uspešno odžariti, če ga predhodno hladno deformiramo z vlečenjem z min. 25 % deformacijo. Zato je pogosto koristno izvesti žarjenje žice ali palic v vlečenem stanju.

Nekatera višje legirana jekla imajo po valjanju drobno lamelarno perlitno (sorbitno) ali pa celo bainitno-martenzitno mikrostrukturo. Jekla s tako izhodno strukturo je precej lažje sferoidizirati, tudi če so v valjanem stanju.

2.5 Površina in priprava površine

Za uspešno hladno masivno preoblikovanje je kakovost površine odločilnega pomena. Pri žici v toplovaljanem stanju je skoraj nemogoče zagotoviti brezhibno površino. Zato so v standardih (STAHL EISEN LIEFERBEDINGUNGEN 055 E) jekla glede na globino napak, klasificirana v štiri kakovostne razrede. Dopustne globine razpok za posamezne razrede kakovosti žice so razvidne iz **slike 7**. Žica iz prvega razreda kakovosti površine je primerna le za izdelke brez posebnih zahtev glede površine. Žice drugega kakovostnega razreda so uporabne za svetlo vlečenje, za prosto kovanje, za obdelavo z odvzemanjem delcev, z običajnim dodatkom za obdelavo. Žica tretjega kakovostnega razreda je uporabna za utopno kovanje ali vlečenje z večjimi zahtevami, za hladno in toplo oblikovanje z običajnimi dodatki za obdelavo, žica četrtega kakovostnega razreda pa je namenjena za hladno oblikovanje z velikimi stopnjami deformacije, brez dodatka za obdelavo.



Slika 7
Krivulje dopustnih globin razpok za posamezne razrede kakovosti žice

Kakovostni razred površine izberemo glede na zahtevnost izdelka oz. postopke preoblikovanja.

Slika 8 prikazuje videz krčilnih preizkušancev z različnimi globinami napak.



Slika 8
Odkrivanje površinskih napak na žici s krčilnim preizkusom

Hladnega masivnega preoblikovanja ni mogoče uspešno izvesti, če ne ustvarimo pogojev za dobro mazanje. V primeru prevelikega trenja med orodjem in materialom lahko pride celo do lepljenja jekla na orodje, kar praktično onemogoči hladno preoblikovanje.

Da zagotovimo dobro mazanje, je treba na materila nanesti nosilec maziva, za kar največkrat služi fosfat. Pri zahtevah po debelejšem sloju fosfata je ugodnejša bolj hrapava izhodna površina jekla. Da to dosežemo, je potrebno jeklo pred fosfatiranjem peskati, sodobni postopki fosfatiranja pa omogočajo tudi že nanos debelejšega sloja fosfata brez dodatnega hrapavljenja površine.

V novejšem času so na razpolago posebna maziva, ki jih med vlečenjem naneseemo na žico, brez predhodnega fosfatiranja. Uporaba teh maziv je posebno ugodna tam, kjer moramo površino izdelka očistiti, npr. zaradi naknadnega cementiranja, karbonitriranja ali galvanizacije, ker je odstranjevanje fosfata težko in zahteva uporabo vroče žveplene kisline in vroče raztopine natrijevega luča.

3. VRSTE JEKEL ZA HLADNO MASIVNO PREOBLIKOVANJE

V grobem lahko razdelimo jekla za hladno masivno preoblikovanje v naslednje skupine:

— Nelegirana jekla s feritno-perlitno mikrostrukturo, pri katerih dosežemo zahtevane lastnosti samo s hladnim deformiranjem in niso namenjena za toplotno obdelavo.

— Nelegirana in malolegirana jekla, ki jih dobavljamo v takem stanju, da imajo dobro sposobnost za hladno oblikovanje, zahtevane končne mehanske lastnosti pa dosežemo s toplotno obdelavo končnih hladno oblikovanih izdelkov. Sem spadajo jekla za cementacijo in poljšanje.

— Mnogolegirana jekla (nerjavna) s feritno ali avstenitno mikrostrukturo, od katerih zahtevamo posebne lastnosti, kot so trdnost pri povišanih temperaturah, obstojnost v ognju ali korozijsko obstojnost.

3.1 Jekla, ki niso namenjena za toplotno obdelavo

To so maloogljikna jekla z zelo majhnim deležem perlitna v feritni osnovi. Zaradi tega in zaradi nizke izhodne trdnosti in dobre preoblikovalne sposobnosti jih lahko uporabimo za manj zahtevne izdelke (nekateri vijake, matice, zakovice) že v toplovaljanem stanju.

Za najzahtevnejše izdelke (okovi svečk, ohišja ventilov, nekateri vrste vijakov...) moramo uporabiti žico, ki je predhodno predelana po tehnoloških postopkih, ki zagotavljajo najboljšo preoblikovalnost jekla. Postopki zajemajo operacije kemične priprave površine, hladnega vlečenja žice s čim večjo hladno deformacijo (min. 25%), žarjenja, ponovne kemične priprave (fosfatiranja) in končnega hladnega vlečenja z majhno hladno deformacijo. S končnim hladnim vlečenjem žice dosežemo zahtevane izhodne mehanske lastnosti žice, hkrati pa se na površino vtisne droben sloj maziva, ki olajša poznejše operacije hladnega masivnega preoblikovanja.

Jekla obravnane skupine so lahko v nepomirjeni ali v pomirjeni obliki. Pri nepomirjenih jeklih se pojavljajo večje izceje, zato je pri uporabi teh jekel možen večji raztros mehanskih lastnosti. Bolj enakomerne lastnosti hladno masivno oblikovanih izdelkov zagotavlja uporaba posebno (z Al ali Ti) pomirjenih jekel. Ta jekla so tudi manj podvržena procesom staranja. Z aluminijem posebno pomirjena jekla za hladno masivno preoblikovanje iz proizvodnega programa železarne Jesenice so navedena v tabeli 1.

Tabela 1: Jekla, ki niso namenjena za toplotno obdelavo

Ž.J.	Oznaka jekla	Kemična sestava v %				Lastnosti v valjanem stanju	
		C	Si max.	Mn	Al min.	Rm (N/mm ²)	Z (%)
JMP 5	Q St 32-3	0.05	0.10	0.30	0.020	400	60
JMP 10	Q St 36-6	0.10	0.10	0.30	0.020	430	60
JMP 15	Q St 38-3	0.15	0.10	0.30	0.020	460	55

3.2 Jekla, namenjena za toplotno obdelavo

3.2.1 Cementacijska jekla

Ta jekla so za hladno masivno preoblikovanje zelo primerna. Majhna količina C, in s tem majhen delež perlitna v teh jeklih, omogoča proizvodnjo hladno oblikovanih delov s precej veliko stopnjo deformacije. Z žarjenjem jekel na kroglasti perlit sposobnost za hladno deformiranje še povečamo.

Za najbolj zahtevne izdelke lahko uporabimo tudi žico v vlečenem + žarjenem + vlečenem stanju.

Za boljše preoblikovalnost je pri najzahtevnejših izdelkih potrebno prilagoditi tudi kemično sestavo jekla, npr. z manjšo vsebnostjo Si in S.

Za manj zahtevne hladno masivno oblikovane izdelke uporabimo največkrat nelegirana cementacijska jekla v toplovaljanem stanju (z normalno feritno-perlitno mikrostrukturo). Legirana jekla uporabljamo predvsem v sferoidizacijsko žarjenem stanju.

Cementacijska jekla iz proizvodnega programa železarne Jesenice so zbrana v tabeli 2, mehanske lastnosti v različnih dobavnih stanjih pa v tabeli 3.

Tabela 2: Cementacijska jekla

Ž.J.	Vrsta jekla	Kemična sestava v %							
		C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni
Cq 15	Cq 15	0.15	0.25	0.35	0.030	0.030			
Č 4120	15 Cr 3	0.15	0.25	0.50	0.030	0.030	0.55		
Č 4721	20 MoCr 5	0.20	0.25	1.05	0.030	0.030	1.25	0.25	
Č 5420	15 CrNi 6	0.15	0.25	0.50	0.030	0.030	1.55	0.25	1.55

Tabela 3: Cementacijska jekla

Vrsta jekla	Mehanske lastnosti v dobavnem stanju					
	Žarjeno na krogličasti perlit		Hladno vlečeno in žarjeno na krogličasti perlit		Hladno vlečeno, žarjeno na krogličasti perlit in hl. vlečeno	
	Rm maks. N/mm ²	Z min. %	Rm maks. N/mm ²	Z min. %	Rm maks. N/mm ²	Z min. %
Cq 15	470	65	470	65	490	65
Č 4120	510	60	490	62	510	62
Č 4320	550	60	530	62	550	62
Č 4721	600	60	580	61	600	61
Č 5420	600	59	580	61	600	61

3.2.2 Jekla za poljšanje

Ta jekla uporabljamo za izdelke z zahtevano višjo trdnostjo. Vrsto jekla izberemo glede na zahtevane trdnostne lastnosti in velikost preseka izdelka. Za debelejšje izdelke izberemo zaradi potrebne boljše prekaljivosti bolj legirana jekla.

Jekla za poljšanje normalno dobavljamo v sferoidizacijsko žarjenem stanju. Po potrebi so zaradi doseganja točnejših dimenzij in zaradi lažje in popolnejše sfe-

roidizacije predhodno hladno vlečena ali pa tudi končno hladno vlečena z majhno deformacijo. Izbor jekel za popboljšanje, namenjenih za hladno masivno preoblikovanje iz proizvodnega programa Železarne Jesenice je dan v tabeli 4. V tabeli 5 so navedene lastnosti teh jekel v dobavnem stanju, v tabeli 6 pa lastnosti v popbljanem stanju.

Tabela 4: Jekla za popboljšanje

Vrsta jekla		Kemična sestava v %							
Ž.J.	DIN	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	B
Cq 22	Cq 22	0.22	0.25	0.45	0.030	0.030			
Cq 35	Cq 35	0.35	0.25	0.65	0.030	0.030			
Cq 45	Cq 45	0.45	0.25	0.65	0.030	0.030			
KV 35		0.35	0.25	0.65	0.030	0.030	0.38		
KV 38	38 Cr 2	0.38	0.25	0.70	0.030	0.030	0.52		
Č 4130	34 Cr 4	0.34	0.25	0.75	0.030	0.030	1.05		
Č 4131	41 Cr 4	0.41	0.25	0.65	0.030	0.030	1.05		
Č 4730	25 CrMo4	0.25	0.25	0.65	0.030	0.030	1.05	0.22	
Č 4731	34 CrMo4	0.34	0.25	0.65	0.030	0.030	1.05	0.22	
Č 4732	42 CrMo4	0.42	0.25	0.65	0.030	0.030	1.05	0.22	
22 B 2	22 B 2	0.22	0.25	0.65	0.030	0.030			0.0030
28 B 2	28 B 2	0.28	0.25	0.65	0.030	0.030			0.0030
35 B 2	35 B 2	0.35	0.25	0.65	0.030	0.030			0.0030
KV 35 B		0.38	0.25	0.65			0.38		0.0030

Tabela 5: Mehanske lastnosti jekel za popboljšanje v dobavnem stanju

Vrsta jekla	Dobavno stanje						Maks. prem. za katerega velja
	Žarjeno na krogličasti perlit ali isto in brušeno		Vlečeno in žar. na kroglič. perlit		Vlečeno in žar. na kroglič. perlit in vlečeno		
	Rm maks. N/mm ²	Z min. %	Rm maks. N/mm ²	Z min. %	Rm maks. N/mm ²	Z min. %	
Cq 22	500	64 (60)	480	66 (62)	500	66 (62)	30
Cq 35	570	62 (60)	550	64 (62)	570	64 (62)	8
Cq 45	590	60 (58)	570	62 (60)	590	62 (60)	12
KV 35	580	60 (58)	570	62 (60)	590	62 (60)	14
KV 38	600	60 (58)	580	62 (60)	600	62 (60)	16
Č 4130	610	60 (59)	580	62 (61)	600	62 (61)	22
Č 4131	620	58 (57)	600	60 (59)	620	60 (59)	26
Č 4730	580	60 (59)	560	62 (61)	580	62 (61)	18
Č 4731	610	59 (58)	590	61 (60)	610	61 (60)	20
Č 4732	630	58 (57)	610	60 (59)	630	60 (59)	28
22 B 2	520	64 (60)	480	66 (62)	500	66 (62)	9
28 B 2	540	62 (60)	520	64 (62)	540	64 (62)	14
35 B 2	570	62 (60)	550	64 (62)	570	64 (62)	18

Tabela 6: Mehanske lastnosti v popbljanem stanju

Vrsta jekla	Premer žice ≤ 16 mm					
	Re ali Rp 02 N/mm ² min.	Rm N/mm ²	A ₅ % min.	Z % min.	Ku (ISO-U) J min.	
Cq 22	355	540/ 690	20	45	39	
Cq 35	420	620/ 770	17	40	29	
Cq 45	480	700/ 850	14	35	20	
KV 35	500	720/ 870	15	40	29	
KV 38	540	780/ 930	14	40	29	
Č 4130	685	880/1080	12	40	29	
Č 4131	785	980/1180	11	40	25	
Č 4730	685	880/1080	12	50	34	
Č 4731	785	980/1180	11	45	29	
Č 4732	885	1080/1280	10	40	25	

3.3 Nerjavna jekla

Mnogolegirana nerjavna jekla uporabljamo za izdelavo elementov, ki se uporabljajo v posebnih pogojih, npr. pri visokih temperaturah in/ali v agresivnih medijih. Od širokega izbora nerjavnih jekel je za hladno masivno preoblikovanje primerno le majhno število.

Ločimo feritna, martenzitna in avstenitna jekla. V največjem času se hitro uveljavljajo tudi tako imenovana superferitna jekla. To so feritna nerjavna jekla z zelo majhno vsebnostjo intersticijskih elementov. Ta jekla odlikuje dobra korozijska obstojnost, med hladno deformacijo pa se zelo počasi utrjujejo. Nerjavna jekla za hladno masivno preoblikovanje iz proizvodnega programa železarne Jesenice so navedene v tabeli 7.

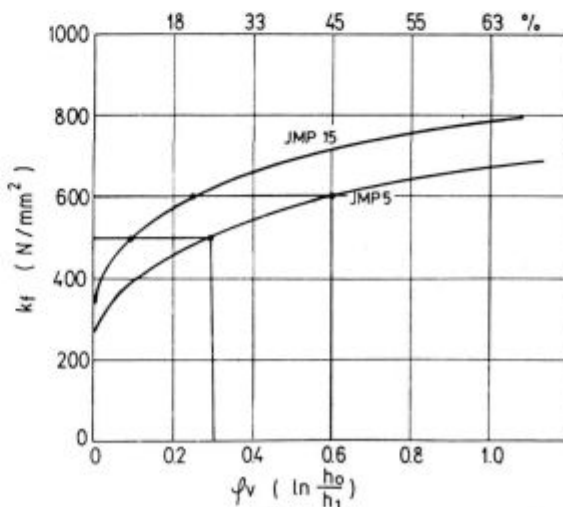
4. UPORABA JEKEL ZA VIJAKE

Vijaki so razvrščeni v standardih (npr. DIN 267) v trdnostne razrede 3.6 ... 14.9.

V oznaki trdnostnega razreda pomeni številka pred piko 1/10 minimalne zahtevane trdnosti R_m v kg/mm², številka za piko pa 10-kratno razmerje med napetostjo tečenja R_{e0.2} in trdnostjo R_m. Zmnožek obeh števil da najnižjo zahtevano napetost tečenja v kp/mm².

Vijake, trdnostnih razredov od 3.6 do 6.8 (do natezne trdnosti R_m ≤ 600 N/mm²), je možno izdelati že samo s hladnim (deformacijskim) utrjevanjem (brez toplotne obdelave — popbljanja). Za doseganje zahtevanih mehanskih lastnosti vijakov je potrebno pravilno izbrati izhodno žico, ki je največkrat v hladnovlečenem stanju. Pri tem je potrebno osnovno jeklo izbrati tako, da za doseganje zahtevane trdnosti žice ni potrebna prevelika hladna deformacija. S povečanjem hladne deformacije žice se namreč zmanjšuje njena preostala plastičnost (rezerva plastičnosti), ki se lahko ob večjih deformacijah tako zmanjša, da več ne prenese hladnega masivnega preoblikovanja, npr. oblikovanje glav vijakov.

Enako trdnost (ali preoblikovalno trdnost) žice je pri dveh različnih jeklih možno doseči z različno stopnjo hladne deformacije. Pametno je izbrati tisto jeklo, pri katerem končno trdnost dosežemo z manjšo hladno deformacijo, ker v tem primeru ostane večja zaloga (rezerva) plastičnosti za končno oblikovanje izdelka. Iz diagrama na sliki 9 lahko razberemo, da npr. preoblikovalno trdnost 500 N/mm² doseže jeklo JMP 5 pri log. deformaciji 0.3 (26%), jeklo JMP 15 pa že pri log. deformaciji 0.1 (9.5%).



Slika 9 Krivulji tečenja za jekli JMP 5 in JMP 15

Če torej mora že proizvajalec (Železarna) uporabiti veliko hladno deformacijo z vlečenjem, zato da doseže zahtevano trdnost jekla, je s tem že izkoriščen velik del zaloge plastičnosti in lahko se zgodi, da za oblikovanje zahtevnejših izdelkov preostala plastičnost več ne zadošča in pride do pokanja.

Za doseganje zahtevanih trdnostnih lastnosti višjih razredov od 8.8 do 14.9 (z min. trdnostjo 800 do 1400 N/mm²) je potrebno vijake poboljšati.

Pri tem moramo izbrati optimalno vrsto jekla. Pri premalo legiranem jeklu ne dosežemo zahtevane prekaljivosti (in trdnosti) pri preveč legiranem jeklu pa je po nepotrebnem zmanjšana preoblikovalnost jekla. (Z rastočo vsebnostjo ogljika in legiranih elementov v jeklu raste

natezna in s tem tudi preoblikovalna trdnost, preoblikovalna sposobnost pa pada).

Nelegirana jekla so uporabna do trdnostnega razreda 8.8 le za drobnejše vijake (do maks. debeline 12 mm).

Z dodatkom kroma ($\approx 0.5\%$) lahko to trdnost vijakov dosežemo do premera maks. 18 mm, pri tem pa se zaradi legirnega dodatka preoblikovalna sposobnost že nekoliko poslabša.

Zelo ugodno je mikrolegiranje z borom (ca. 0.002 % B), ki občutno izboljšuje prekaljivost brez negativnega vpliva na preoblikovalnost. Z borom legirana jekla lahko uporabimo za izdelavo vijakov trdnostnega razreda 10.9 za debeline vijakov pod 18 mm.

Uporabnost nekaterih vrst cementacijskih jekel in jekel za poboljšanje je zbrana v **tabeli 8**.

Tabela 7: Nerjavna jekla

oznaka Ž.J.	Vrsta jekla oznaka DIN	Sestava jekla v %						
		C	Si _{max}	Mn _{max}	P _{max}	S _{max}	Cr	Ni
feritno jeklo								
ACROM 17	X8Cr17	≤0.10	1.0	1.0	0.045	0.030	16.5	
ACROM 1 S	X2CrMoNb18.2	≤0.015	1.0	2.0	0.30 2. Mo 05.Nb	0.20	18.0	
martenzitno jeklo								
ACROM 2	X10Cr13	≤0.15	1.0	1.0	0.045	0.03	13.0	
austenitno jeklo								
ACRONI 11 NC	X2CrNi18.10	≤0.030	1.0	2.0	0.045	0.030	18.0	11.0
ACRONI 11 EX	X5CrNi19.11	≤0.07	1.0	2.0	0.045	0.030	18.0	11.0
Acroni 11 Ti	X10CrNiTi18.9	≤0.10	1.0	2.0	0.045 Ti ≥ 5 × % C	0.030	18.0	10.0

Tabela 8: Uporabnost nekaterih vrst jekel za vijake in matice

Oznaka Ž.J.	C	Sestava jekla v %				Mehanske lastnosti v žarjenem stanju		Kaljivost (min. trdote v jedru) (HRc)	Premer max (mm)	Upo- rabnost
		Si	Mn	Cr	Mo	Rm (N/mm ²) max	Z (%) min.			
Cq 15	0.15	0.25	0.35			440	65	—	—	zakovice, knipingi
Cq 35	0.35	0.25	0.65			550	60	40	8	matice za trd. razred 8 in 10, vijaki 8,8 do M8
35 B 2	0.35	0.25	0.65			530	62	40	18	matice trd. razreda 10 in 12 vijaki 8,8 do M20
Č 4130	0.34	0.25	0.75	1.05		580	60	42	24	8.8 — vijaki do M24 10.9 — vijaki do M18
Č 4131	0.41	0.25	0.65	1.05		610	59	45	26	10.9 — vijaki do M26 12.9 — vijaki do M8
Č 4731	0.34	0.25	0.65	1.05	0.20	600	60	45	22	10.9 — vijaki do M24 12.9 — vijaki do M16

5. ZAKLJUČEK

Pri izdelavi in predelavi jekel za hladno masivno preoblikovanje je potrebno posebno pozornost posvetiti njihovi kemični sestavi, homogenosti, čistoči, strukturi in površini, ker le na ta način lahko zagotovimo dobro preoblikovalnost. Pri izbiri jekel za določen izdelek, ki ga oblikujemo s postopki hladnega masivnega preoblikovanja je potrebno upoštevati zahtevnost izdelka po oblikovni plati, ter zahtevane lastnosti končnega izdelka. V proizvodnem programu Železarne Jesenice je široka paleta jekel za hladno masivno preoblikovanje. Z izbiro pravilne tehnologije predelave teh vrst jekel je možno lastnosti žice (ali palic) optimalno prilagoditi zahtevam končnega porabnika.

LITERATURA

1. A. Razinger: Sferoidizacijsko žarjenje jekel za kvalitetne vijake, železarna Jesenice, Raziskovalno poročilo, 1989.
2. K. Kuzman, A. Razinger: Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem, Železarski zbornik, 7, 1974, 4, s 189—197.
3. A. Razinger: Razvoj specialnih jekel za hladno masivno preoblikovanje v železarni Jesenice, XI. Jugoslovansko posvetovanje za proizvodno strojništvo, Ohrid, 1977, knjiga I., s 122—131.
4. Werkstoffkunde Stahl, Springer Verlag 1984.
5. Katalog proizvodov železarne Jesenice: Hladno vlečeno jeklo v kolobarjih in palicah, 1987.