

Jeklo po letu 2000

Steel after the year 2000

F. Vodopivec, *Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana*

Na osnovi podatkov objavljenih v strokovni literaturi je podan pregled stanja in razvoja tehnologije izdelave jekla z vidikov porabe energije, ekologije, razvoja talilnih, livnih in predelovalnih naprav, lastnosti jekla pri uporabi in porabe v različno razvitih državah. Intenzivna rast količine proizvedenega jekla po letu 1960, razvoj tehnologije, ki omogoča izdelavo proizvodov na cenejših napravah, ekološka prijaznost, fleksibilnost lastnosti in njihovo neprestano izboljševanje zagotavljajo, da bo jeklo tudi po letu 2000 ostalo osnovno gradivo tehnične civilizacije.

Ključne besede: jeklo, razvoj, ulivanje, lastnosti, ekologija, energija

A short survey is given over published references and data on questions the state of the art and the development of the technology for the manufacturing of steels from the stand points of energy consumption, ecology, development of melting, casting and hot working equipment, properties at use and consumption in different countries. The significant growth of the production, after the year 1960, the development of technology, which allows the manufacture of better products at lower cost, the ecological acceptability as well as the flexibility of properties and their constant improvement show that after the year 2000 steel will remain the basic material of the technical civilization.

Key words: steel, development, casting, properties, ecology, energy

1 Uvod

Ob prelomnih letih pogosto razmišljamo o tem, kaj obeta razvoj v bodočnosti. Tudi o jeklu, ki je bilo nesporno osnovno gradivo tehnične civilizacije v 19. in v 20. stoletju, često ugibamo, ali bo to vlogo ohranilo še naprej in koliko ga lahko izpodrinejo gradiva, ki se danes relativno hitreje razvijajo tudi zato, ker izhajajo iz količinsko manjše proizvodnje, npr. aluminij, polimeri in inženirska keramika. Koristno je, da o perspektivah jekla kot gradiva razmišljamo tudi pri nas, ker imamo lastno proizvodnjo in porabo jekla in oboje ima industrijsko tradicijo.

Če gradiva razvrstimo po tem, koliko energije je potrebno za enoto statične ali dinamične trdnosti, oz. žilavosti loma, razpoznamo iz **tabele 1**, da jeklo presega vsa gradiva razen lesa in kamna.

Druge kovine, še bolj pa polimeri, zaostajajo, imajo pa seveda druge prednosti. Zato se ponuja sklep, čim dražja bo energija, tem bolj bo rastel pomen jekla, ker ga v strojih in napravah les in kamen ne moreta nadomestiti, čeprav se jeklo z njima ne more kosati na številnih področjih uporabe. Dokazni razlogi, da bo jeklo ohranilo svoj položaj med sodobnimi gradivi so:

- je energetsko in ekološko racionalno gradivo za strojno in elektroindustrijo ter gradbeništvo;
- ima širok razpon lastnosti: trdnost in trdoto v razmerju

1:10, duktilnost in žilavost pa v razponu 1:20; zato se jeklo lahko obdeluje z jeklenimi orodji;

- ima največje trajno dinamično trdnost, elastični modul in žilavost loma;
- se da oblikovati z litjem in kovanjem v toplem in v hladnem;
- je korozijsko obstojno v številnih medijih, izjema so le maloštevilni najbolj agresivni;
- že danes približno polovico jekla izdelamo z reciklažo odpadkov, pri čemer prihranimo tudi polovico energije v primerjavi s proizvodnjo jekla iz rude;
- sodobna proizvodnja je ekološko prijazna, iz železarn in jeklarn pa zaradi notranje reciklaže ni odpadkov, ali pa ekološko niso sporni razen v tem, da jemljejo prostor za odlaganje.

2 Proizvodnja jekla

Zadnjih 15 let proizvodnja jekla količinsko zastaja v primerjavi z rastjo med leti 1950 in 1980, ko se je proizvodnja dvignila od nekaj nad 200 mio ton na okoli 750 mio ton, torej skoraj za več kot 3,5-krat. Na **sliki 1** vidimo, da je rast kratkoročno neenakomerna in občutljiva za gospodarske krize³. Predvideva se, da bo do leta 2000 in še naprej proizvodnja rastle po 1% letni stopnji⁴. Naprej se bo zmanjševala v razvitih državah, v nerazvitih pa bo rastle. Količinska stagnacija proizvodnje v zadnjih 15 letih pa ne pomeni tudi enake stagnacije v uporabi.

Tabela 1: Lastnosti nekaterih gradiv. Po viru 1, dopolnjena s podatki vira 2.

Gradivo	Raztržna trdnost MN/m ²	Elastični modul MN/m ²	Trajna utrpna trdnost MN/m ²	Žilavost loma (KiC) MNm ^{-3/2}	Specifična teža kg/m ³	Specifična energija kWh/kg	Spec. en. (kWh) na MN trdnosti			Sp.energija na MNm ^{-3/2} žilavosti loma
							Raztržna trdnost	Elastični modul	Trajna utrpna trdnost	
Kovinska										
Siva litina	400	45000	150	2-8	7300	4-16	73-292	3,6-2,8	194-776	2
Jeklo za pob.	1000	77000	500	150-180	7830	16	349	1,63	253	0,1
Nerjavno 18/8	500	86000	250	80	7900	32	230	2,94	490	0,4
Med 60Cu/40Zn	400	37300	140	30-90*	8360	27	565	6,05	1612	0,45
Aluminij	300	26000	90	15-60*	2700	81	729	8,4	2430	2,2
Dur aluminij	500	26000	180		2700	81	438	8,4	1215	
Magnez. zlitine	190	17500	95	10-20*	1700	115	1029	11,2	2058	7,7
Titanove zlitine	960	45000	450	70-100*	4420	200	920	19,6	1964	2,7
Polimeri										
Propalen GWM22	35	1500	7,5		906	22	575	13,4	2660	
Politen LDxRM	12	84	3,2		920	22	1555	24,1	6225	
Rigidax 2000 HDPE	30	1380	4		950	28	932	4,5	7000	
Nylon 66A100	86	2350	20	5-7	1140	45	595	18	1560	7,5
PVC	50	1680	12,5	3	1400	27,5	796	23	3080	9,0
Druge										
Železobeton	38	10000	23	0,2	2400	2,3-4	145-253	0,55-0,96	240-417	15,5
Les - trdi	14	4500	6	2-10	720	0,5	26	0,08	60	0,08
Les - mehke	5	2000	3	0,1-1	550	0,5	55	0,14	92	1,0
Steklo	100	30000	-	1	2500	3,3	83	0,28	-	3,3

* - podatek velja za različne zlitine:

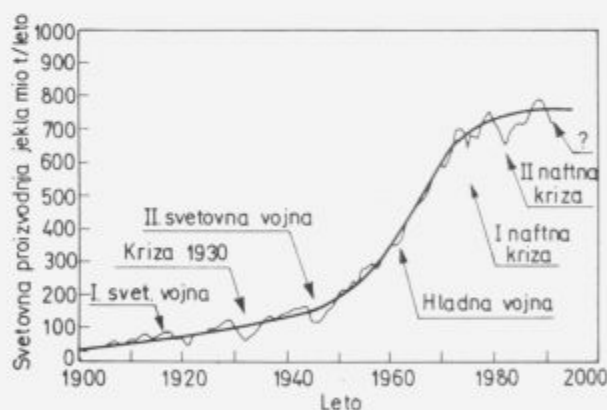
- inženirska keramika 2-10

- kompoziti 15-80

Po letu 1970 se je začela hitro razvijati tehnologija kontinuirnega litja. Zaradi tega litja se je izplen proizvodnje, torej razmerje med količino jekla, ki se iz jeklarne prodaja in količino jekla, ki se stali v pečeh, povečalo za ca. 15%. Pri enaki proizvodnji talilnih agregatov je torej na voljo za prodajo in uporabo ca. 100 mio ton jekla več. V Nemčiji so izračunali, da so z uvedbo konti litja pridobili toliko jekla, kolikor bi ga dala jeklarne s letno proizvodnjo 5.5 mio ton⁴. Drugi pomemben razlog stagnacije so izboljšane lastnosti jekla kot gradiva in sodobne metode za izračun konstrukcij. Meja plastičnosti in trdnost konstrukcijskih jekel sta se pri enakih, ali povečanih duktilnosti žilavosti loma po letu 1960 povečali na dvojno vrednost (slika 2), zato so tudi sodobne jeklene konstrukcije precej lažje. Zasedil sem podatek, da so na Nizozemskem zgradili nov jekleni cestni most, ki je še enkrat lažji od mosta za enako obremenitev zgrajenega pred 25 leti. So še drugi argumenti, ki dokazujejo, da je stagnacija porabe mnogo manjša od stagnacije proizvodnje. Seveda pa ni mogoče upoštevati razmer v obdobjih gospodarske krize in velikih političnih sprememb, kakršnim smo danes priča, za izhodišče razmišljanja o realnih možnostih razvoja. Slika 1 prepričljivo dokazuje, da je proizvodnja jekla konstantno rastla kljub pomembnim znižanjem v obdobjih gospodarskih kriz, seveda pa mnogo počasneje v letih po 1980 kot v letih 1960 do 1980. Poglejmo, kaj se dogaja na področju razvoja tehnologije jekla in mu omogoča, da se ohranja v konkurenci z drugimi gradivi.

3 Tehnologija izdelave in predelave

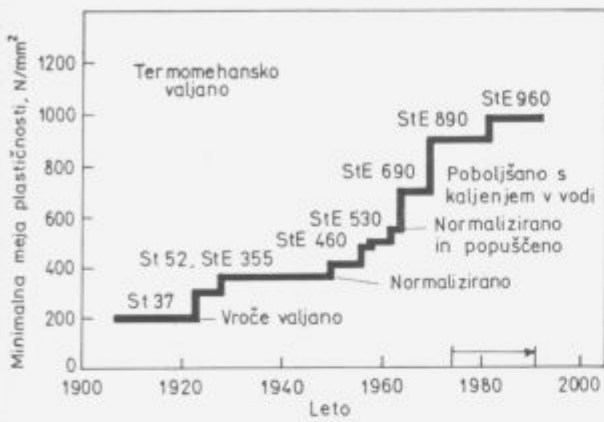
Razvoj je zelo intenziven v vseh treh segmentih: proizvodnja surovega železa iz rude, taljenje in vlijanje ter vroča in hladna predelava jekla.



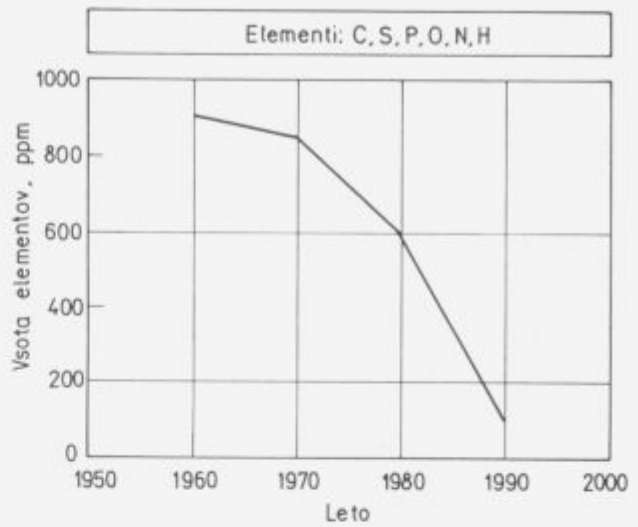
Slika 1. Količinska rast proizvodnje jekla od leta 1940 do danes. Označena so obdobja močnejših gospodarskih kriz.

Figure 1. Growth of steel production since 1940. Marked are periods of stronger economical crisis.

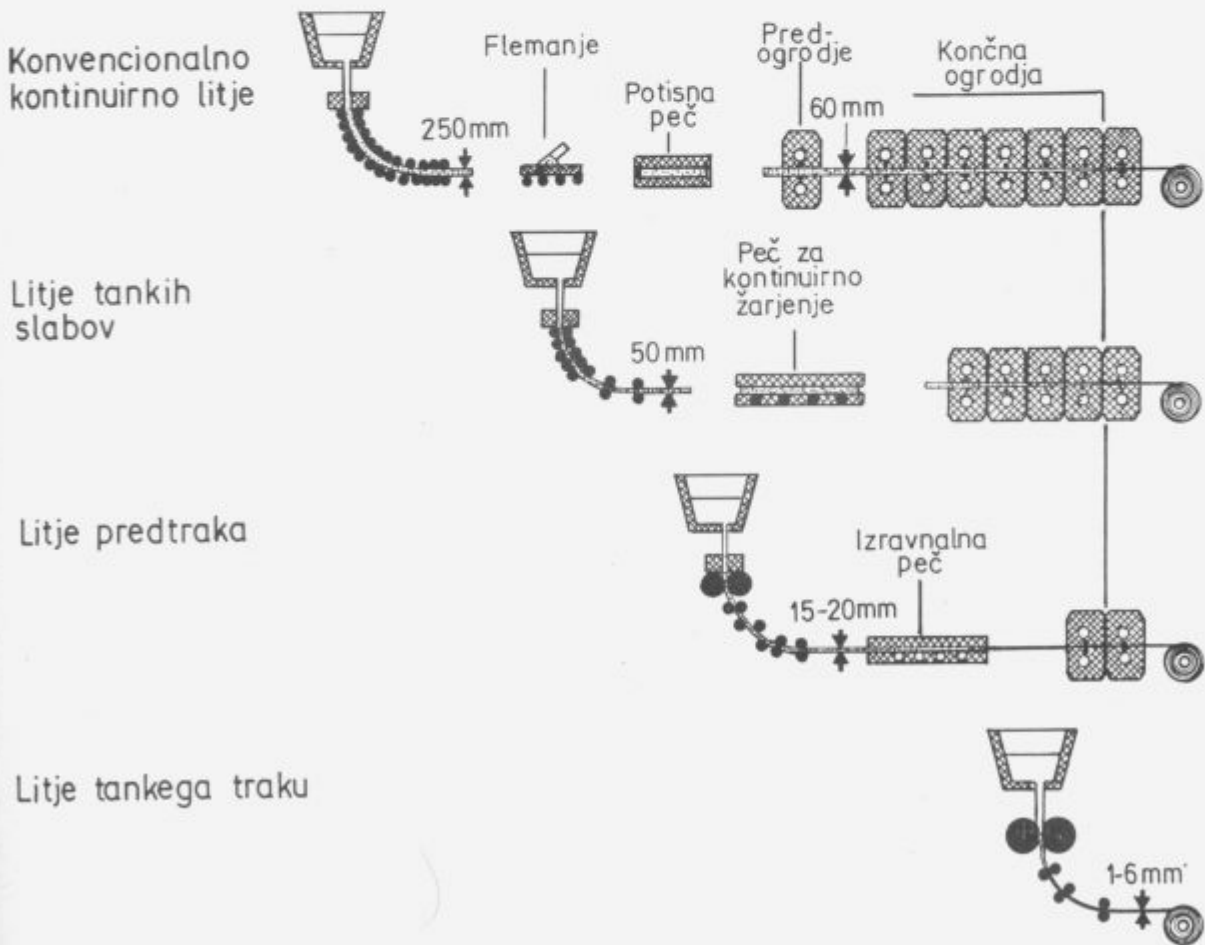
V Sloveniji ni plavžev, zato o razvoju tehnologije plavžarstva samo dva podatka. Narašča proizvodnja v plavžih s premerom talilnika nad 10 m in proizvodnjo nad 7000 ton grodja dnevno⁴.



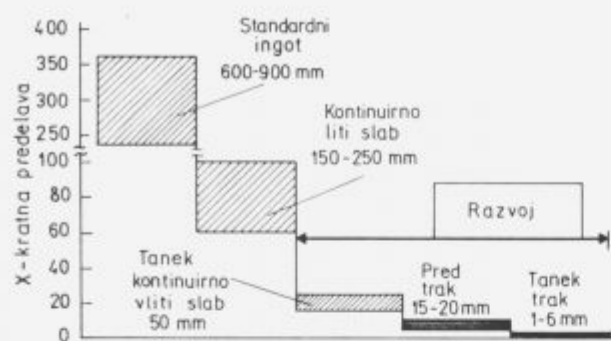
Slika 2. Naraščanje meje plastičnosti jekel za konstrukcije.
Figure 2. Increase of the yield strength of structural steels.



Slika 3. Dosežena najmanjša vsebnost nekaterih elementov v mehkih jeklih.
Figure 3. Minimal content of some elements in soft steels.

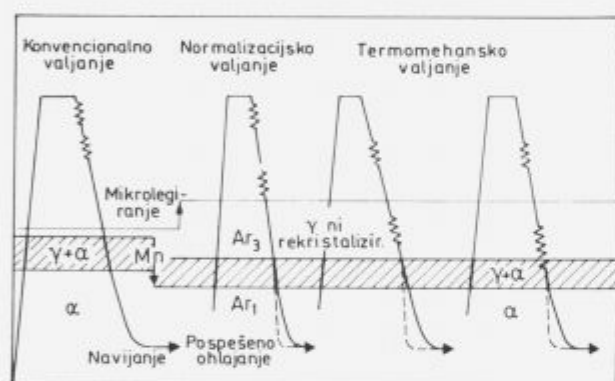


Slika 4. Shematičen prikaz 4 razvojnih stopenj razvoja tehnologije kontinuirnega vlitvanja in pripadajoče opreme.
Figure 4. Scheme of 4 development levels of continuous casting and the corresponding equipment.



Slika 5. Stopnja predelave pri različnih debelinah litega polizdelka, od diskontinuirno ulitega ingota do kontinuirno ulitega traka.

Figure 5. Deformation by different thickness of the cast product from discontinuous cast ingot to continuous cast strip.



Slika 6. Shematičen prikaz različnih tehnologij vročega valjanja pločevine.

Figure 6. Scheme of the hot rolling of thick plates.

Preračunana v koks, se je poraba vse energije z izdelavo tone grodlja v času od 1960 do 1990 zmanjšala od ca. 887 na 472 kg⁵.

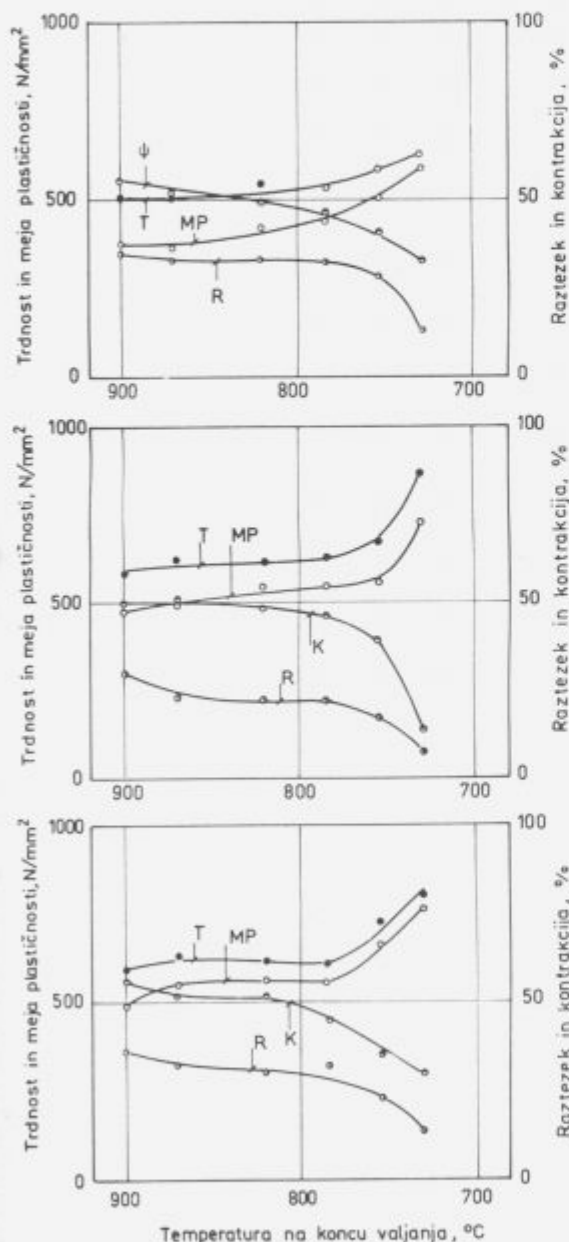
Pri proizvodnji jekla imata bodočnost samo dva proizvodna agregata: kisikovi konvertorji, v katerih se predeluje tekoči grodelj in do 10% starega železa in elektroobločne peči s starim železom kot osnovnim vložkom. Siemens-Martinove peči so energetske in ekološko nesprejemljive in obratujejo samo še v tehnološko nerazvitih državah. Gonilo razvoja tehnologije so: večanje sprejemljivosti za naravno in delovno okolje, zmanjšanje porabe energije, živega dela in vseh vrst reprodromaterialov ter zmanjšanje stroškov kapitala, torej investicij za nove proizvodne naprave. V razvitih državah in tudi v Sloveniji se večina jekla izdelava po dvostopenjskem postopku: v talilni peči se vložek stali in doseže osnovna sestava, v ponovni peči, ki je cenejši agregat, pa se talina dokončno rafinira in doseže končna sestava. Postopek ima dve prednosti, zagotavlja večjo produktivnost in sestavo, ki v večji meri ustreza željeni, zato se dosega boljše lastnosti. Verjetno je najbolj objektivni kazalec razvoja tehnologije taljenja in rafi-

nacije trend zmanjševanja količine nekaterih elementov, ki močno vplivajo predvsem na duktilnost in magnetne lastnosti jekel (slika 3). Od 900 ppm v letu 1960, se je skupna količina zmanjšala na okoli 80 ppm v letu 1990⁶. V slovenskih jeklar-nah dosežemo danes okoli 100 ppm. To je dokaz, da naš tehnološki zaostanek za razvitimi ni neobvladljiv. Predstavo o trendu zmanjšanja porabe energije kaže podatek, da smo pred desetimi leti smatrali za tehnološko napredno proizvodnjo jekla v elektroobločni peči s porabo 550 kWh/tono jekla; danes je ta številka že pod 400 kWh/t⁷. Slovenske jeklarne temu trendu sledijo s prevelikim zaostajanjem, preveliko pa je tudi zaostajanje pri drugih proizvodnih stroških, na primer pri porabi elektrod in ognjevarnega materiala. Mogoče je bil dosežen največji napredek na področju tehnologije vlitvanja, kjer je kontinuirno litje gredic in slabov popolnoma zamenjalo litje v blok za vse proizvode, razen za težke odkovke. Namesto 600 do 900 mm debelih bram se danes izdelujejo pločevine in trakovi iz 150 do 250 mm debelih slabov. Vse bolj se uveljavlja tudi vlitvanje slabov z debelino do 50 mm. V gradnji sta tudi že dve jeklarni, kjer se bo vlitval predtrak z debelino 15 do 20 mm, po letu 2000 pa bo že primerna za proizvodnjo tudi tehnologija vlitvanja traku z debelino 1 do 5 mm. Na sliki 4 so shematično predstavljene vse 4 tehnologije s pripadajočo proizvodno opremo. Konkurenca drugih materialov sili v hitro uresničenje pravila, vlitni polproizvode s takšno debelino, da bo mogoče izdelati končne proizvode z zahtevanimi lastnostmi in kakovostjo površine z najmanjšo vročo in hladno predelavo. Napredek tehnologije neprekinjenega litja omogoča zmanjšanje stroškov za predelavo na minimum, vse od investicij, (glej: slika 5, ki shematično prikazuje razvoj livno-predelavne tehnologije), do energije za ogrevanje in deformacijo, in doseganje novih lastnosti (omogočajo jih večja kemijska homogenost in manjša zrna, oboje je naravna posledica hitrega strjevanja jekla). Slika 6 kaže, kako se zmanjšuje stopnja predelave pri proizvodnji tankih hladno valjanih trakov v odvisnosti od debeline začetnega polproizvoda. Razvija se tudi tehnologija vroče in hladne predelave. Na sliki 5 so shematično prikazane sorodne tehnologije vročega valjanja, ki omogočajo, da na cenen način izdelujemo pločevino z zelo različnimi lastnostmi⁸ z majhnimi spremembami v kemijski sestavi jekla. To dokazuje slika 7, ki prikazuje lastnosti jekla s praktično enako osnovno sestavo. Dodatek aluminija zagotavlja nek nivo trdnosti in plastičnosti, z dodatkom vanadija ali niobija se lastnosti močno spremenijo⁹.

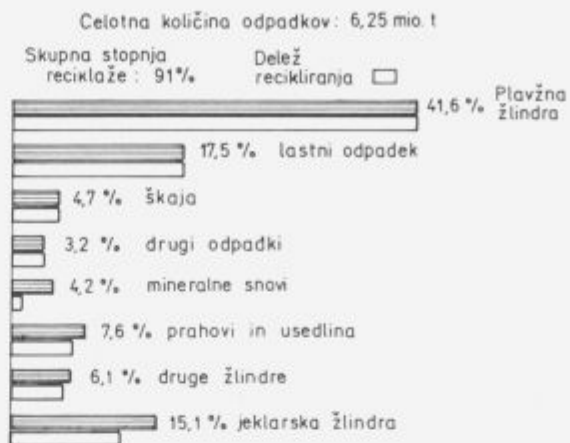
4 Ekologija

Proizvodnja jekla danes ni in nikdar ne bo okolju popolnoma prijazna, vendar pa je že danes v razvitih okoljih za okolje popolnoma sprejemljiva tehnologija. Če ne bi bilo tako, bi se ne ohranjala v državah, ki uveljavljajo najostrejšje zahteve glede okolja npr. v Švici. Prizadevanja, da postane proizvodnja jekla okolju še bolj prijazna, gredo v naslednjih smereh: zmanjšanje količine vseh vrst emisij in odpadkov vključno s hrupom, reciklaža starega železa in odpadkov vključno s popolnoma zaprti tokokrogi hladilne in procesne vode, izboljšanje delovnega okolja ter razvoj in proizvodnja jekel s povečano korozijsko obstojnostjo, ki so potrebna za gradnjo naprav za procesiranje odpadkov iz drugih industrij. Dobro sliko o odpadkih si lahko ustvarimo na osnovi podatkov za nemško jeklarsko firmo Thyssen Stahl, ki proizvaja okoli 10 mio t jekla letno in stoji v gosto poseljenem Porurju⁴. Od leta

1960 do leta 1990 se je skupna količina odpadkov iz proizvodnje zmanjšala od 1200 na 500 kg/t jekla. Kot kaže **slika 8**, se reciklira okoli 90%. Preostanek ca. 10% se odlaga v inertni obliki in ne vpliva na zrak in na vodo. Pomemben faktor izboljšanja okolja je tudi zmanjšanje porabe vseh vrst energentov in pomožnih materialov. V letu 1990 se je za izdelavo jekla uporabilo ca. 425 mio ton jeklenih odpadkov, kar je zamenjalo ca. 700 mio ton železne rude in prihranilo ca. 230 mio ton koksia oziroma dobro polovico energije potrebne za proizvodnjo enake količine jekla iz rude. V Nemčiji znašajo pri sedanji proizvodnji stroški varovanja okolja okoli 50 DEM/t jekla.



Slika 7. Vpliv temperature valjanja na jeklo z osnovno sestavo 0,11% C, 1,2% Mn in 0,4% Si in z dodatkom aluminija, vanadija ali niobija.
Figure 7. Influence of rolling temperature on the properties of steels with basic composition 0.11 % C, 1.2 % Mn and 0.4 % Si and additions of aluminium as well as vanadium or niobium.



Slika 8. Delež različnih odpadkov pri proizvodnji jekla v firmi Thyssen Stahl in stopnja njihove reciklaže.

Figure 8. Share of different wastes in the manufacturing of steel by Thyssen Stahl and their recycling share

Delo v proizvodnji in v predelavi jekla je fizično naporno zaradi vročine, hrupa in specifične atmosfere na delovnem mestu. Delovno okolje torej ni posebno prijazno. Izboljšanje prinašajo razvoj tehnologije, avtomatizacija proizvodnje in računalniško krmiljenje procesov. Danes smatramo za gospodarsko sprejemljivo, če jeklarna proizvaja in vroče izvalja okoli 300 t masovnega jekla letno na zaposlenega. Računa se, da bo po letu 2000 za proizvodnjo okoli 600.000 t vroče valjanih trakov nova jeklarna potrebovala okoli 350 zaposlenih⁵. Približno šestkrat večja produktivnost je merilo napredka v vodenju procesa, njegove tehnološke posodobitve ter odgovor jeklarjev na izziv drugih gradiv.

5 Lastnosti

Za konstrukcijska jekla, ki se uporabljajo v gradbeništvu in v strojni industriji je mogoče mejo plastičnosti izračunati s pomočjo naslednjega izraza:

$$R = R_o + R_{tr} + R_{v,z} + R_{f,s} + R_{izl} + R_{def} + R_{to}$$

V njem so:

- R_o - naravna trdnost čistega železa, ki se izračuna iz sile potrebne za premik dislokacij

$$R_o = K \frac{2G}{1-\nu} \exp \frac{2pa}{(1-\nu)b}$$

G - strižni elastični modul; ν - Poissonovo število; a - razdalja med atomskimi ravninami in b - razdalja med atomi v smeri drsenja dislokacije;

- R_{tr} - utrditev s trdno raztopino

$$R_{tr} = \sum K_n C_n$$

K_n - faktor utrditve za element, katerega vsebnost je C_n

- $R_{v,z}$ - utrditev zaradi zmanjšanja velikosti zrn

$$R_{v,z} = K Z^{-1/2}$$

z K-konstanta in Z velikost zrn

- $R_{f,S}$ - utrditev zaradi fazne sestave

$$R_{f,S} = \sum f_n R_n$$

z f_n kot volumskim deležem faze s trdnostjo R_n

- R_{izl} - izločilna utrditev zaradi ovir za premikanje dislokacij, predvsem različnih izločkov

$$R_{izl} = \frac{K G B f^{1/3}}{d}$$

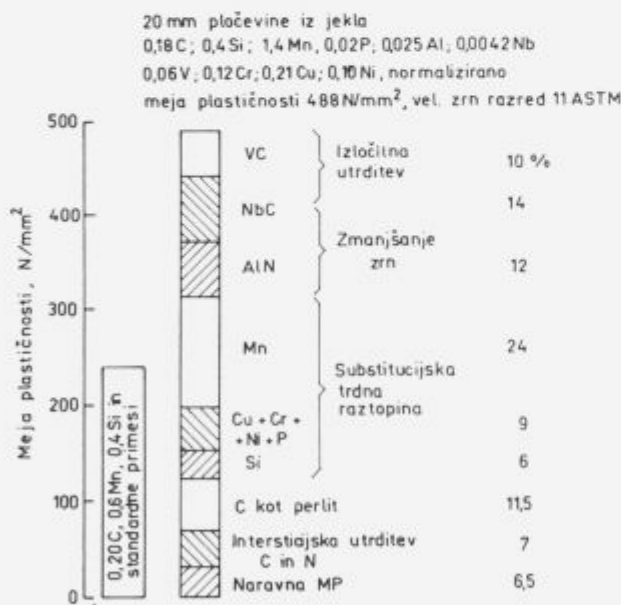
z B-Burgersov vektor dislokacij, f-volumski delež in d-premer izločkov

- R_{def} - utrditev zaradi hladne deformacije

Teoretično je $R_{def} = R_0 + K G B^{1/2}$ z kot gostoto dislokacij.

Empirično se utrditev zaradi hladne deformacije izračuna iz izraza $R_{def} = K \Sigma^n$ z Σ kot stopnjo hladne deformacije in n - koeficientom deformacijske utrditve.

- R_{to} - utrditev zaradi toplotne obdelave



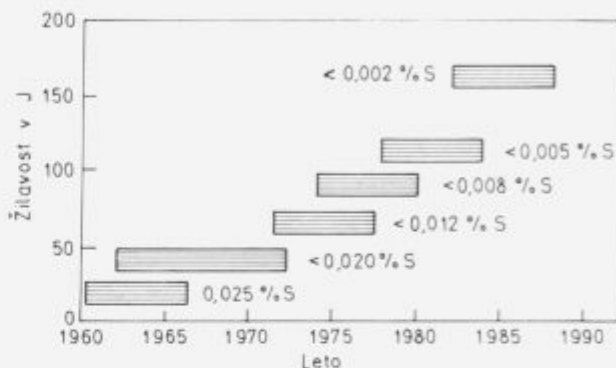
Slika 9. Deleži različnih mehanizmov utrditve v meji plastičnosti mikrolegiranega konstrukcijskega jekla vrste Nioval 47.

Figure 9. Share of different strengthening mechanisms in the yield strength of the normalised microalloyed steel Nioval 47.

Pri toplotni obdelavi se trdnost poveča zaradi notranjih napetosti, ki so posledica zadržanja elementov v prisiljeni trdni raztopini, zaradi neravnotežne premene, pri kateri nastane nova faza z večjo specifično prostornino ter zaradi spremembe v velikosti zrn. Odvisno od pogojev, se notranje napetosti pri

popuščanju spremenijo, največkrat se zmanjšajo, pojavi pa se lahko izločilna utrditev.

Upravičena je torej trditev, da ima jeklo sicer enostavno kristalno mrežo, prostorsko ali ploskovno centrirano kocko, vendar so v vseh primerih lastnosti odvisne od števila napak v tej urejenosti. Zato je mikrosvet jekla mikrokozmos presenetljive kompleksnosti, neke vrste subtilna mešanica urejenosti in namernega mikrokaosa, ki ga tehnološko še ne obvladamo popolnoma, zato so možnosti za nadaljnje izboljšanje lastnosti jekla.



Slika 10. Rast prečne žilavosti debeline pločevine z zmanjšanjem vsebnosti žvepla v jeklu.

Figure 10. Influence of the content of sulphur on the transverse notch toughness.

Na sliki 9 so prikazani deleži različnih mehanizmov utrditve pri konstrukcijskem jeklu mikrolegiranem z aluminijem, niobijem in vanadijem¹⁰, ki je bilo pred desetletjem še moderno gradivo. Naravna trdnost kristala železa predstavlja zelo majhen delež v meji plastičnosti te vrste jekla. Popolnoma logično je zato, da omogoča večje tehnološko obvladovanje faktorjev, ki vplivajo na trdnost jekla, da se njegove lastnosti neprestano izboljšujejo, kar za primer konstrukcijskih jekel kaže slika 2. Kako pomembna je čistost jekla za specifične lastnosti, žilavost v primeru žvepla kot neželene nečistoče v konstrukcijskih jeklih, kaže slika 10. Od leta 1960 se je v teh jeklih zmanjšala vsebnost žvepla od 0,025% na 0,002%, žilavost pa je zrastle od 24 J na preko 150 J⁵, kar zagotavlja večjo varnost konstrukcijam, olajša njihovo izdelavo z varjenjem in omogoča varjenje jekla z visoko mejo plastičnosti. Boljše tehnološko obvladovanje mehanizmov zagotavljanja duktilnosti in trdnosti omogoča razvoj novih vrst jekel in razumljivo povzroča upadanje porabe starih vrst. Na sliki 11 so prikazani življenjski ciklusi jekla za debele cevi. Življenjska doba vsake vrste jekla je razmeroma kratka, zato se ni čuditi podatku, da od ca. 2500 vrst jekel, ki so danes v uporabi v Nemčiji, polovica ni starejša od 5 let^{11, 15}. Zanimivo in poučno je dejstvo, da se boljše lastnosti dosegajo s sestavo, ki ima po količini manj, ali enako, po številu pa več legirnih elementov (slika 12). Velja, da sodobnega jekla z visoko mejo plastičnosti in žilavostjo ni mogoče izdelati brez mikrolegiranja z aluminijem, niobijem in pogosto tudi titanom in vanadijem²⁰. Čedalje hitreje narašča proizvodnja nerjavnih jekel in hladno valjanih trakov, ki so pred korozijo zaščiteni z kovinskimi ali/n polimernimi prevlekami. Podoben napredek, čeprav ne tako izrazit, je opazen tudi pri drugih vrstah jekel:

7 Zaključek

Hiter tehnološki razvoj proizvodnje in jekla kot gradiva vzpodbujajo po letu 1960 poostrene ekološke zahteve, zmanjšanje vseh proizvodnih stroškov, še posebej stroškov za energijo in kapital in uvajanje informacijske tehnologije. Zato ni bojazni, da jeklo ne bi ohranilo svojega položaja med gradivi, ki jih proizvaja in porablja tehnična civilizacija. Jeklo se bo lahko uspešno kosalo z drugimi gradivi, če se bo razvijalo tudi kot material in zagotavljalo za sprejemljivo ceno lastnosti, ki ga bodo napravile čim bolj primerne in kompetitivne za specifične namene uporabe. Proizvodnja jekla v Sloveniji tehnološko ni na enakem nivoju kot v razvitih državah. Predvsem je odstopanje veliko pri stroških, vendar je tehnološki zaostanek obvladljiv, če bodo na voljo sredstva za dopolnitev opreme in bo v zadostni meri uporabljeno obstoječe znanje. Bodočnosti proizvodnje jekla v Sloveniji ni mogoče iskati v rasti, ki bi bila količinsko kompetitivna z bolj razvitimi okolji. Gospodarsko upravičeno proizvodnjo bo zagotavljal le cenovno kompetitiven program, za kar bo potrebno mnogo znanja o tehnologiji, o materialu, o organizaciji del in o trženju, ki bo omogočil fleksibilno pokrivanje tržnih niš s cenovno sprejemljivimi proizvodi. Hitra rast se obeta v razvitih državah predvsem za nerjavna jekla^{16,17}. To bi bilo v bodoče potrebno čim bolj upoštevati. Za tak razvoj bo potrebno mnogo znanja. Ocenjujoč trend razvoja razmer na področju raziskovanja in razvoja v zadnjih letih, obeti v tej smeri niso prav vzpodbudni. Posebno niso vzpodbudni, če vlaganja v raziskovanje v naši industriji primerjamo npr. z Japonsko, kjer je vlaganje jeklarske industrije v to dejavnost doseglo v letu 1990 2,3% vrednosti vse prodaje¹⁸. Točnih podatkov o vlaganjih v raziskave za evropske proizvajalce jekla nismo našli, ne morejo pa biti mnogo nižji od Japonskih vlaganj, sicer se ne bi obdržali na trgu. Druga pot, ki pelje iz razvojnega zaostanka je vključitev več sekundarne predelave v sklop jeklarn. O tem mnogo razmišljajo v razvitih državah. Gospodarsko bi bilo gotovo upravičeno, da se del sekundarne predelave, predvsem postopki, ki povzročajo mnogo odpadkov, na primer krojenje, kovanje in štancanje, prenesejo v jeklarne. S tem bi prihranili vsaj stroške, ki so potrebni za prevoz materiala do porabnika ter za zbiranje in prevoz odpadkov nazaj v jeklarne. V lit. viru 19 je navedena kot realna celo možnost, da bi v jeklarne prenesli izdelavo posamičnih delov karoserije in šasije za avtomobil. Poudarja pa se tudi, da se bo zaradi "minimill" koncepta proizvodnja jekla širila tudi v majhne države brez tradicije v tej proizvodnji. Lep primer zato sta Islandija in Hong Kong, ki sta se tudi v zadnjih letih uvrstila med proizvajalce jekla.

8 Literatura

- ¹ W.O. Aleksander: Some aspects of metallurgy; past, present and future; *Metals and Materials* b. 11, 57-63, 1981.
- ² B. Ule: privatna informacija.
- ³ H.A. Faure: Development, state of the art and future aspects of steel-making; *Metallurgical Plant and Technology International*, 1993, št. 3, 32-41.
- ⁴ L.J. Holschuch: Stagnation in the world's steel markets; *Metallurgical Plant and Technology International*, 1992, št. 6, 32-38.
- ⁵ A. Altgeld in C. Schneider: *Stahl 2000*; Thyssen Technische Berichte 24, 1992, št. 1, 1-21.

- ⁶ L. Meyer: Aspekte künftiger Stahlewicklungen; *Thyssen Technische Berichte* 23, 1992, št. 1, 35-42.
- ⁷ W. Ballandino, F.G. Hauck in K. Klintworth: Steelmaking at Acciaierie Venete - Improved performances by the K-ES process; *Metallurgical Plant and Technology International*, 1992, št.5, 42-51.
- ⁸ C. Strassburger: Entwicklungen zur Verbesserung des Verarbeitungs- und Gebrauchverhaltens warmgewalzter Stahl-bleche (Warmaband); *Thyssen Technische Berichte* 24, 1992, št. 1, 23-34.
- ⁹ F. Vodopivec, M. Gabrovšek, J.Žvokelj, D.Kmetič: A laboratory Simulation of the rolling of thin plates on a Steckel hot rolling mill; *Metallurgical Science and Technology*, 1990, 102-116.
- ¹⁰ F. Vodopivec in M. Gabrovšek: Meja plastičnosti konstrukcijskih jekel, fizikalno metalurške osnove; *Železarski zbornik* 21, 1987, 19-28.
- ¹¹ G. Kading, H. Bleilebens, W. Fix, D.Wolfhard in K. Wunneberg: Innovationsprozesse in der Stahlindustrie; *Stahl u. Eisen* 113, 1993, št. 3, 39-47.
- ¹² F. Vodopivec, S. Jurca, J. Žvokelj, F. Filipov and K. Kuzman: Influence of austenite grain size on mechanical properties and fracture of forged 0,48 C and 1,2 Mn steel; *Hot Working and Forming processes*, The Metals Society, London 1980, 222-227.
- F. Vodopivec, J. Žvokelj, S. Jurca, F. Filipov in K. Kuzman: Ojnice s perlitno mikrostrukturo za avtomobilski motor; *Železarski Zbornik* 15, 1981, 247-256.
- ¹³ E. Schulz: Die Zukunft des Stahls im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie; *Stahl u. Eisen* 113, 1993, št.2, 25-33.
- ¹⁴ R. Vondran: Auf der Suche nach neuen Strukturen-Die Osteuropäische Stahlindustrie aus westlicher Sicht; *Stahl u. Eisen* 113, 1993, št. 4, 39-45.
- ¹⁵ E.D.Schulz: Image Förderung für den Werkstoff Stahl; *Stahl u. Eisen* 109, 1989, št. 10, 236-237.
- ¹⁶ N.N.: Dinamismo degli acciai speciali: *La Metallurgia Italiana*, 1991, št. 3, 286-287.
- ¹⁷ N.N.: *Metals Outlook: Advanced Materials & Processes*, 1989, št. 1, 11-18.
- ¹⁸ S. Hasoki: Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 1992; *ISIJ International* 33, 1993, št.4, 427-445.
- ¹⁹ R. Vondran: Chancen der deutschen Stahlindustrie in Europa und der Welt; *Stahl u. Eisen* 113, 1993, 27-30.
- ²⁰ F. Vodopivec: Microalloying of steel; *Kovine, zlitine, tehnologije* 26, 1992, 319-328.