

Svinec kot avtomatni dodatek v jeklih za cementacijo in poboljšanje ter njegov vpliv na predelavnost in fizikalne lastnosti jekel

DK: 669.14.018.232

669.14018.46

ASM/SLA: SGA-k

Anton Razinger

Uporabnost svinčevih jekel je osnovana na predpostavki, da svinec izboljša obdelovalnost, ne da bi se zaradi njegove prisotnosti bistveno poslabšale fizikalne in tehnološke lastnosti jekel. Potrditve te hipoteze smo iskali tudi v raziskovalnem delu na vzorcih jekla, ki smo ga izdelali v Železarni Jesenice. Vse preiskave smo opravljali na vzorcih jekla s svincom in brez njega na isti žarži, tako da lahko ugotovljene razlike v lastnostih v celoti pripišemo prisotnosti svinca v jeklu. Poseben poudarek smo namenili mikrostrukturnim preiskavam oblike in porazdelitve svinca v pogojih plastičnega preoblikovanja in porušitve vzorcev. Če upoštevamo relativno enakomerno porazdelitev svinca v makrostrukтури blokov jekla, nevtralni vpliv prisotnosti svinca na porazdelitev ostalih legirnih elementov ter dejstvo, da je ves svinec izločen v mikrostrukтури in obliki drobnih izoliranih in asociiranih vključkov v elementarni obliki, potem lahko že utemeljimo naslednji zaključek naših preiskav. Prisotnost svinca v jeklu v splošnem nima pomembnega vpliva na fizikalne in tehnološke lastnosti jekel. Izjema je le manjši vpliv na žilavost in trajno utripno trdnost ter na obnašanje jekel pri povišanih temperaturah, kjer so vključki svinca tekoči.

1. UVOD

1.1 Smoter osvajanja svinčevih jekel

Jeklo v obliki hladno predelanih palic zavzema pomemben delež v proizvodnem programu Slovenskih železarn. Hladno predelana palična jekla so namenjena predvsem za nadaljnjo predelavo na avtomatskih obdelovalnih strojih, kjer se z odrezovanjem oblikujejo strojni deli pri velikih rezalnih hitrostih in v velikih serijah. Obdelovalnost kot fizikalna lastnost jekel je zato odločilnega pomena za kvaliteto hladno predelanih paličnih jekel.

Anton Razinger je magister metalurgije in višji strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

Nalogo smo izdelali s sofinansiranjem sklada Borisa Kidriča (naloga št. 2—206/297-73).

Na obdelovalnost jekel je mogoče vplivati predvsem z legiranjem žvepla, svinca, selena, telurja, bizmuta ter z ustrezno toplotno obdelavo palic. Žveplo, ki je poceni in ga je mogoče enostavno legirati v jeklo, ima zaradi škodljivega vpliva na fizikalne lastnosti jekel omejeno uporabnost in se zato uporablja predvsem za povišanje obdelovalnosti kvalitetnih ogljikovih nelegiranih jekel, ki so znana pod nazivom »avtomatna jekla«. Žarjenje kot sredstvo za poboljšanje obdelovalnosti kvalitetnih in plemenitih ogljikovih in legiranih jekel je dokaj uspešno le pri visokih temperaturah in dolgih časih žarjenja, kar je v praksi praktično neizvedljivo, zato v normalnih pogojih z žarjenjem ne dosežemo bistvenega izboljšanja obdelovalnosti jekel.

Svinec se je pokazal kot zelo primeren dodatek, ker močno izboljša obdelovalnost, ne poslabša pa fizikalnih in kemičnih lastnosti jekel. Za proizvajalca paličnih jekel pomeni osvajanje svinčevih jekel predvsem to, da obdrži visok kvaliteten nivo svojih proizvodov, s katerim lahko zadovolji zahteve potrošnikov po dobri obdelovalnosti vseh vrst paličnih jekel. Smoter osvajanja svinčevih jekel je predvsem izboljšanje kvalitete že osvojenih vrst jekel s poboljšanjem njihove obdelovalnosti.

1.2 Obseg preiskav ter jeklo za preiskave

Izvršili smo obsežno raziskovalno delo z namenom, da ugotovimo, v kolikšni meri vpliva prisotnost svinca v jeklih na fizikalne in tehnološke lastnosti jekel. Ker je literatura na tem področju sorazmerno zelo bogata, smo se zato osredotočili predvsem na preiskave, kjer smo pričakovali negativni vpliv svinca. Poseben poudarek smo namenili preiskavam, ki naj pokažejo obliko in porazdelitev delcev svinca v mikrostrukтури jekel ter preiskavam prelomnih površin z namenom, da pojasnimo eventualni vpliv svinca na fizikalne lastnosti jekel ali pa njegovo nevtralnost pri tem. Preiskave obdelovalnosti jekel so bile vzporednega značaja, saj so bile v večjem obsegu izvršene v okviru druge raziskovalne naloge (11).

Za preiskavo vpliva svinca na predelavnost in fizikalne lastnosti jekel smo izbrali naslednje vrste reprezentančnih jekel:

- ogljikovo nelegirano jeklo za cementacijo Č 1121
- ogljikovo nepomirjeno avtomatno jeklo — Č 3990
- ogljikovo nelegirano jeklo za poboljšanje — Č 1530
- nizko legirano jeklo za cementacijo — Č 4320

Jekla so bila izdelana v 60-tonski električni obločni peči in vlita v normalno konične kokile, kvadratnega preseka 650×650 mm, skozi lijak. Na vsaki livni plošči so bili vliti trije bloki. Svinec smo vpihali v curek jekla (2) le na prvi plošči, na ostalih ploščah pa svinca nismo vpihali. Na ta način smo dobili jeklo za preiskave z dodatkom svinca in za primerjavo jeklo brez svinca iste šarže.

Bloke preiskovanega in primerjalnega jekla smo izvaljali v blume kvadratnega preseka 120×120 mm. Vzorce za preiskavo smo izdelali iz blumov jekla, ki so ustrezali sredini blokov. Karakteristična kemična sestava vzorcev jekla za preiskave je podana v tabeli 1.

2. REZULTATI PREISKAV

2.1 Oblika in porazdelitev vključkov svinca v mikrostrukturi jekel ter obnašanje le-teh med vročo in hladno predelavo

Preiskovalna metoda: elektronska mikroanaliza

Laboratorij za preiskave: Metalografski laboratorij, Metalurški inštitut v Ljubljani (sodelavec dr. Kosec)

Rezultati preiskav: V mikrostrukturi blokov jekel je ves svinec izločen v vključkih kot element Pb. Vključke svinca nahajamo v dveh oblikah:

a) kot izolirane vključke krogličaste oblike, katerih velikost ne presega $5 \mu\text{m}$

b) v asociaciji z ostalimi nemetalnimi vključki, ki so v jeklih. Taki asociirani vključki imajo nepravilno obliko in se prilagajajo značilnim oblikam posameznih tipov nemetalnih vključkov. Ugotovili smo, da je velikost asociiranih vključkov svinca odvisna od velikosti nemetalnih komponent.

Porazdelitev izoliranih vključkov svinca je v celotnem volumnu blokov enakomerna, porazdelitev asociiranih vključkov svinca pa sledi zakonitostim porazdelitve posameznih tipov nemetalnih vključkov (1) (2).

Pri temperaturi vroče predelave jekla so vključki svinca v tekočem stanju. Med preoblikovanjem jekla se delci svinca razpotegnejo v smeri deformacije. Izolirani vključki svinca so razpotegnjeni močneje kakor oksidni ali oksisulfidni vključki (sl. 1).



Slika 1
Izolirani vključki svinca v vroče valjanem svinčevem jeklu
(El. sl. x 420, Pb-bel)

Tabela 1: Kemična sestava vzorcev jekel za preiskave

| Vrsta jekla | Stev. šarže | Vsebnost elementov (%) | | | | | | |
|-------------|-------------|------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Al | Pb |
| Č 1530 | 10 7038 | 0.52 | 0.35 | 0.68 | 0.018 | 0.010 | 0.018 | — |
| Č 1530 Pb | 10 7038 | 0.52 | 0.33 | 0.67 | 0.020 | 0.010 | 0.010 | 0.21 |
| Č 4320 | 10 7041 | 0.19 | 0.24 | 1.10 | 0.022 | 0.016 | 0.024 | — |
| Č 4320 Pb | 10 7041 | 0.19 | 0.23 | 1.10 | 0.022 | 0.015 | 0.028 | 0.18 |
| Č 1121 | 10 7039 | 0.08 | 0.28 | 0.47 | 0.022 | 0.021 | 0.014 | — |
| Č 1121 Pb | 10 7039 | 0.09 | 0.28 | 0.44 | 0.024 | 0.019 | 0.023 | 0.23 |
| Č 3990 | 10 7040 | 0.11 | 0.04 | 0.99 | 0.084 | 0.354 | 0.006 | — |
| ATJ 100 Pb | 10 7040 | 0.11 | 0.05 | 1.00 | 0.084 | 0.361 | 0.008 | 0.23 |

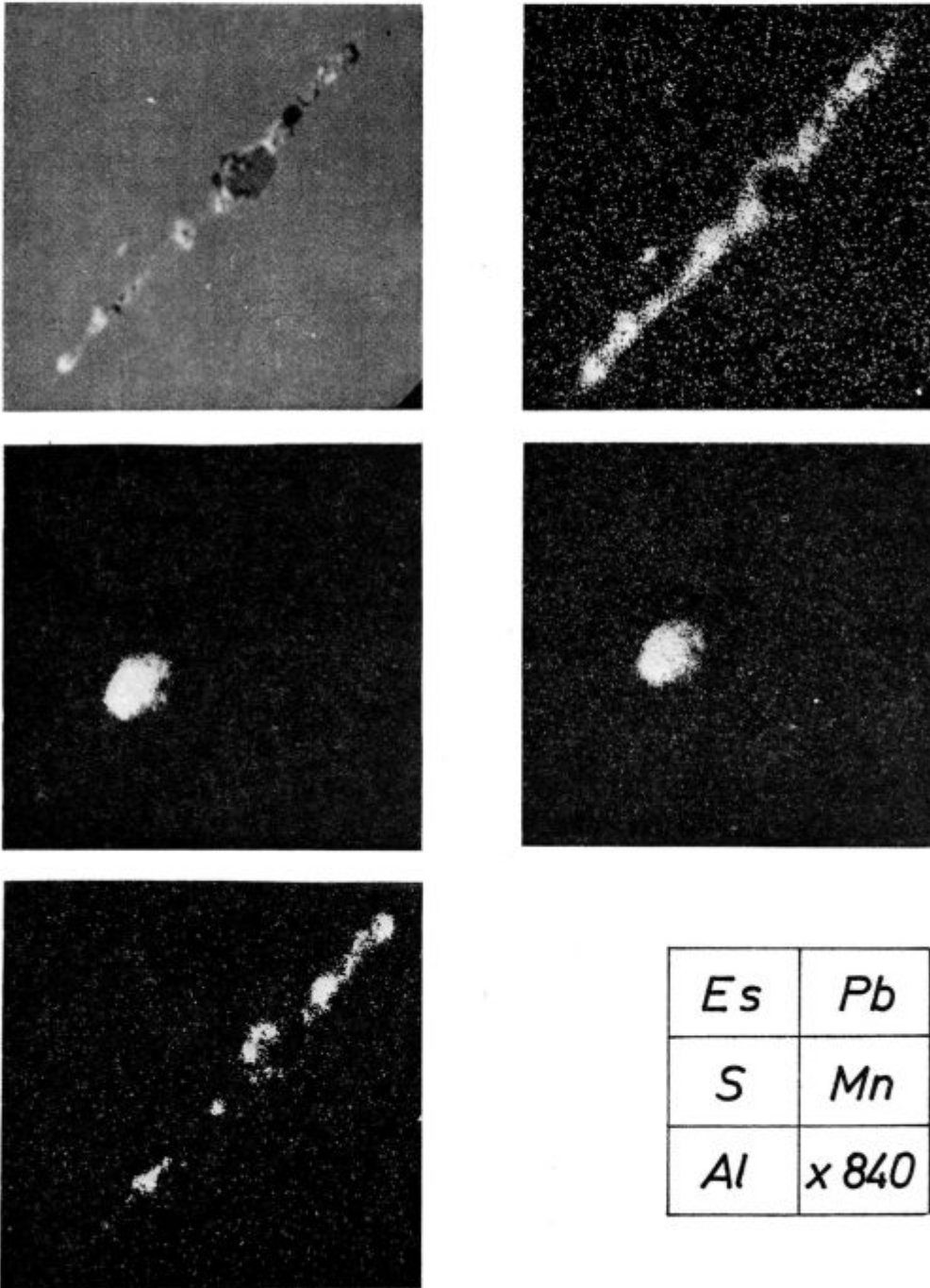
V asociiranih vključkih ostane svinec tudi po deformaciji jekla v tesni zvezi z nemetalnimi komponentami v vključkih, vendar pa pri tem zavzame značilen položaj (sl. 2). Mislimo, da svinec med tečenjem materiala izpolni praznine, ki se tvorijo med plastično deformacijo ob nemetalnih vključkih (4).

Takšna razporeditev delcev svinca ob nemetalnih vključkih je zelo pomembna za vpliv svinca in nemetalnih vključkov na fizikalne lastnosti jekla.

Med hladno deformacijo jekla pride do fragmentacije lamel svinca, pri čemer ne opazimo nikakršne tvorbe praznin (sl. 3).

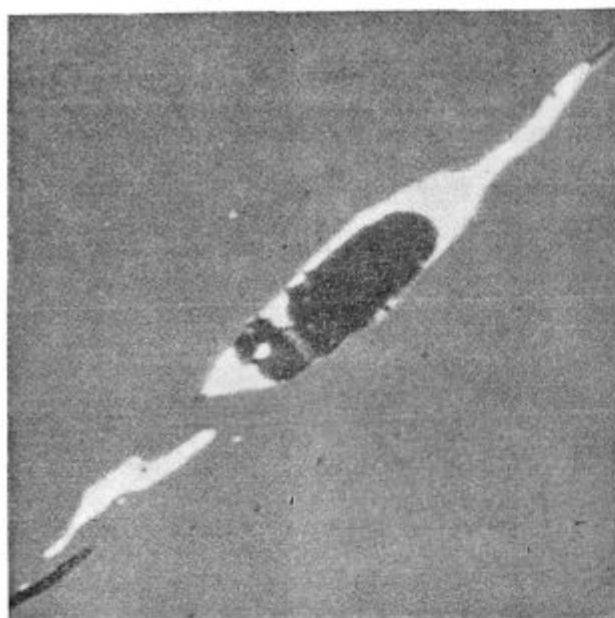
Študij povezave izoliranih vključkov z mikrostrukturnimi komponentami jeklene matice pa je pokazal naslednje (3):

Pri nizkoogljicnem jeklu je večina svinčevih vključkov pridružena feritnim zrnom. V litem stanju, ko so še jasne segregacije ogljika, je pogostost svinčevih vključkov v otokih perlita enaka kot v feritu. Z naknadno toplotno obdelavo, pred-



Slika 2

Asociirani vključki svinca v vroče valjanem svinčevem jeklu (El. sl. in sp. X posn. pov. 840)



Slika 3
Oblika vključkov svınca v hladno predelanem svinčevem jeklu (El. sl. x 420, Pb-bel)

vsem normalizacijo in visokotemperaturnim žarjenjem, ko se zmanjšajo ali odpravijo segregacije ogljika, opazimo »premeščanje« svinčevih vključkov iz perlita v ferit. Opazili smo tudi, da je po normalizaciji ali visoko temperaturnem žarjenju lite strukture mnogo več vključkov svınca na mejah kot v notranjosti kristalnih zrn, kar v surovem litem stanju nismo opazili.

V preoblikovanem stanju (palicah) so razlike v položaju izoliranih vključkov svınca pred toplotno obdelavo in po njej zanemarljive (sl. 4) (sl. 4a).

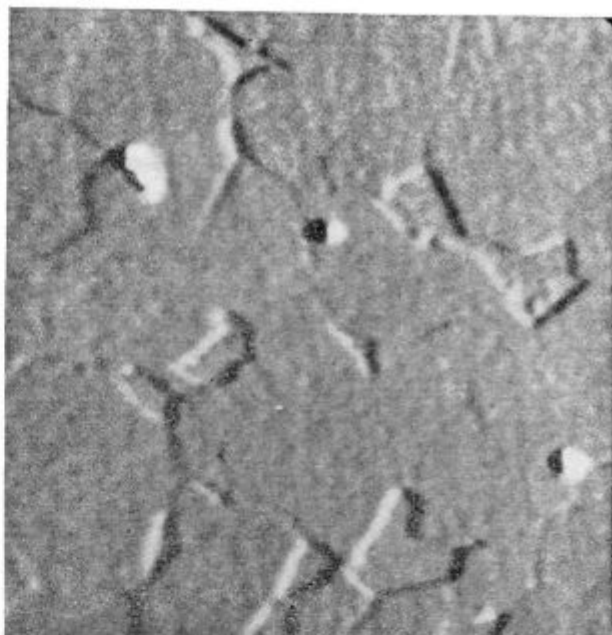
Toplotni režim pred vročim preoblikovanjem in med preoblikovanjem povzroči spremembe, ki so v določeni meri ekvivalentne žarjenjem, ki smo jih opravili z litim jeklom, tako da po naknadnih toplotnih obdelavah predelanega jekla ne opazimo bistvenih sprememb v porazdelitvi vključkov svınca.

Razpotegnjeni svinčevi vključki so v odvisnosti od dolžine povezani z večjim številom feritnih zrn ali pa lahko feritna zrna meje z vključkom. Že približna ocena razporeditve vključkov svınca je pokazala, da jih je mnogo več v notranjosti zrn kakor na mejah.

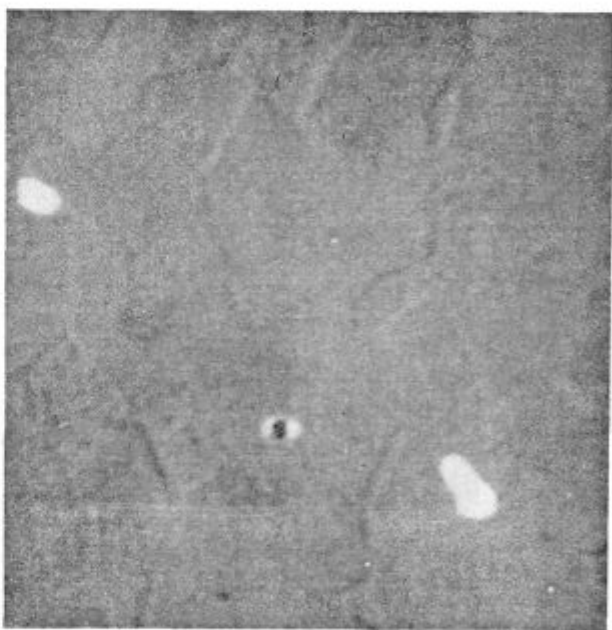
Po normalizaciji pride sicer do prekristalizacije ferita tudi v okolici vključkov svınca, vendar pa to nima skoraj nobenega vpliva na položaj vključkov svınca glede na perlitno in feritno komponento jekla.

V feritno-bainitni matici kaljenega jekla so vključki svınca pridruženi obem strukturnim komponentam. Verjetno je vzrok v večjem deležu perlita v istem jeklu.

Pri srednje ogljičnem jeklu (v litem in valjanem stanju), so vključki svınca vloženi v feritno in



Slika 4
Vključki svınca v feritno-perlitni matici valjanega svinčevega jekla Č 1121 Pb (El. sl. x 840, Pb-bel)

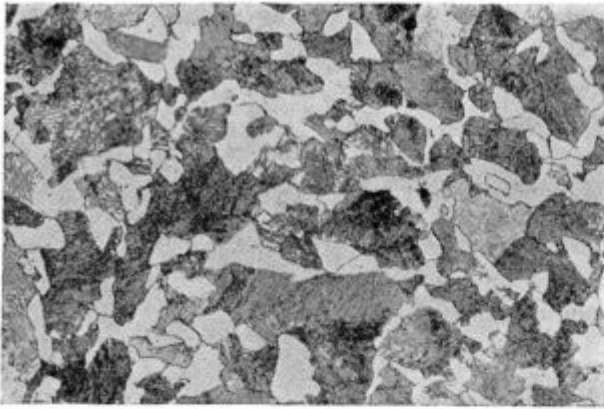


Slika 4a
Vključki svınca v feritno-perlitni matici valjanega in žarjenega svinčevega jekla Č 1121 Pb (El. sl. x 840; Pb-bel)

perlitno osnovo v notranjosti zrn in na kristalnih mejah. Naknadna normalizacija ne spremeni opazno deleža svinčevih vključkov v eni ali drugi osnovi (sl. 5).

Razpotegnjeni v smeri valjanja, pripadajo vključki povečini večjim kristalnim zrnom tako ferita kakor perlita.

Legirni elementi vplivajo posredno na položaj vključkov svınca v mikrostrukturi jekla, ker pri



Slika 5

Vključki svinca v feritno-perlitni matici valjanega svinčevega jekla Č 1530 Pb (pov 500)

danem ogljiku v jeklu povečujejo delež perlita. Pri jeklu Č 4320 Pb še vedno prevladujejo svinčevi vključki v feritu, precej pa jih je pridruženih tudi perlitu (sl. 6).

S toplotno obdelavo se v legiranih jeklih položaj vključkov svinca opazno ne spreminja.

Druge pomembne ugotovitve so še naslednje:

— vključki svinca ne vplivajo opazno na potek martenzitne premene in ne na oblikovanje martenzita v okolici

— vključki svinca ne preprečujejo rasti kristalnih zrn avstenita, na kar sklepamo iz grobega zrna po transformaciji v ferit, oziroma perlit. Tak rezultat ni v skladu s podatki iz literature (5).

— pri mehkem žarjenju je površina vključkov svinca mesto, kjer lahko koagulirajo delci cementita (heterogena kal za precipitacijo cementita).



Slika 6

Svinčevi vključki v jeklu Č 4320 Pb v povezavi s feritnimi (a) in perlitnimi (b) zrni (El. sl. x 420, Pb-bel).

Vključki svinca se pri tem obnašajo podobno kakor nekovinski vključki (npr. MnS). Položaj vključkov svinca proti ostalim strukturnim komponentam ostane po mehkem žarjenju nespremenjen, le da lamelarni perlit zamenja zrnati cementit.

Na splošno lahko trdimo, da se izolirani vključki svinca pojavljajo na vseh značilnih mestih kovinske matice v feritu in perlitu znotraj kristalnih zrn in na mejah. Še najbolj izstopa odvisnost položaja izoliranih vključkov svinca od deleža perlita v jeklu. Vključki svinca predstavljajo torej v matici svinčevih jekel statično in stabilno fazo, pri kateri so vse spremembe položaja le navidezne in so posledica transformacij oziroma rasti osnovnih strukturnih komponent jekla.

Pasivno vlogo svinca v jeklu potrjujejo tudi rezultati, ki dokazujejo, da prisotnost svinca nima vpliva na porazdelitev ostalih legirnih elementov v blokih svinčevih jekel (1).

2.2 Obdelovalnost jekla

Preiskovalna metoda: Struženje s konstantnim pritiskom (10)

Laboratorij za preiskave: Tehnološki laboratorij RO Železarna Jesenice.

Pogoji preizkusa: stružni noži BRC — Ravne geom. orodja: $\alpha 8^\circ$, $\gamma 12^\circ$, $\kappa 60^\circ$, $\lambda - 4^\circ$, $\epsilon 90^\circ$, r 0,5 mm globina rezanja $t = 2$ mm

rezalna hitrost 50 m/min.

Pred preizkusom so bili preizkušanci normalizirani.

Kriterij za oceno preoblikovalnosti: indeks obdelovalnosti izračunan na osnovi regresijskih koeficientov premic.

Rezultati preiskav so podani v tabeli 2

Tabela 2: Obdelovalnost ocenjena po metodi struženja s konstantnim pritiskom

| Vrsta jekla | Koef. korel. | Regres. koefic. | St. nap. reg. koef. | T vred. | Index obdeloval. % |
|-------------|--------------|-----------------|---------------------|---------|--------------------|
| Č 1121 | 0.947 | 34.5 | 4.1 | 8.4 | 100 |
| Č 1121 Pb | 0.984 | 75.5 | 4.8 | 15.9 | 222 |
| Č 4320 | 0.994 | 95.9 | 3.4 | 27.8 | 100 |
| Č 4320 Pb | 0.994 | 123.1 | 4.5 | 27.4 | 129 |
| Č 1530 | 0.990 | 75.2 | 3.7 | 20.2 | 100 |
| Č 1530 Pb | 0.993 | 106.3 | 4.3 | 24.7 | 143 |
| Č 3990 | 0.994 | 136.2 | 5.1 | 26.5 | 100 |
| ATJ 100 Pb | 0.989 | 199.0 | 10.4 | 19.1 | 147 |

Za dokaz pozitivnega vpliva prisotnosti svinca na obdelovalnost v tem primeru ni potrebna še analiza variance. Ugoden vpliv svinca na obdelovalnost potrjujejo tudi rezultati laboratorijskih in industrijskih preiskav, ki temeljijo na merjenju obrabe orodja, rezalnih sil in hrapavosti površine

obdelovancev (11) (12) (13). Na osnovi dobljenih rezultatov preiskav obdelovalnosti pa lahko zaključimo tudi to, da dodatek svinca nima enakega vpliva na obdelovalnost pri vseh vrstah jekel, niti pri različnih pogojih odrezavanja.

2.3 Sposobnost svinčevih jekel za plastično preoblikovanje

2.31 Preoblikovalnost v vročem

Preiskovalna metoda: torzijski preizkus v vročem (6)

Laboratorij za preiskave: tehnološki laboratorij RO
Zelezarna Jesenice (sodelavec mag. Brudar)

Pogoji preizkusa: deformacijski volumen 2400 mm²

vrtilna hitrost $n = 27$ obr./min,
hitrost deformacije $u = 0.135$ s⁻¹,

Kriteriji za oceno preoblikovalnosti: — faktor predelovalnosti P — št. obratov do preloma pri sp. temp. optimalnega intervala vroče predelave 1050° C — n_{pr}

— preoblikovalna trdnost K_f (kp/mm²).

Rezultati preiskav so zbrani v tabeli 3.

Tabela 3: Faktorji predelavnosti in preoblikovalna trdnost

| Oznaka jekla | Faktorji predelavnosti | | Preoblikoval. trdnost | | | |
|--------------|------------------------|-----------|-----------------------|---------|---------|---------|
| | n_{pr} | n_{max} | P | 1050° C | 1150° C | 1250° C |
| Č 1121 | 20 | 94 | 6.4 | 8.1 | 6.0 | 3.7 |
| Č 1121 Pb | 5 | 34 | 0.7 | 8.0 | 6.0 | 8.4 |
| Č 3990 | 6.5 | 10 | 0.11 | 7.7 | 5.7 | 3.3 |
| ATJ 100 Pb | 6.0 | 7 | 0.03 | 8.1 | 5.8 | 4.9 |
| Č 4320 | 5.5 | 48 | 2.18 | 8.5 | 5.8 | 3.4 |
| Č 4320 Pb | 5.0 | 25 | 0.31 | 8.4 | 6.2 | 3.7 |
| Č 1530 | 35 | 95 | 10.3 | 7.6 | 5.2 | 4.1 |
| Č 1530 Pb | 6.5 | 26 | 0.64 | 8.0 | 5.2 | 3.9 |

Zaradi prisotnosti svinca se poslabša plastičnost jekel v vročem, če jo ocenjujemo po kriteriju števila obratov do porušitve, oziroma s faktorjem preoblikovalnosti. Kljub temu pa lahko trdimo, da so svinčeva jekla sposobna za vročo predelavo z valjanjem, oziroma kovanjem, saj je število obratov do preloma tudi pri spodnji temperaturi vroče predelave nad kritično mejo. Če pa ocenjujemo vpliv prisotnosti svinca na plastičnost v vročem na osnovi preoblikovalne trdnosti med jekli s svincom in brez njega, ni statistično pomembnih razlik. Nobene razlike med osnovnimi in svinčevimi variantami jekel nismo opazili tudi med samim procesom predelave jekel z vročim valjanjem.

2.32 Preoblikovalnost v hladnem

Preiskovalna metoda: Diskontinuirni tlačni preizkus (8) (9)

Laboratorij za preiskave: Laboratorij za plastično preoblikovanje, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, (sodelavec mag. Kuzman)

Pogoji preizkusa: dimenzije preizkušancev: enakostraničen valj $r = 15$ mm

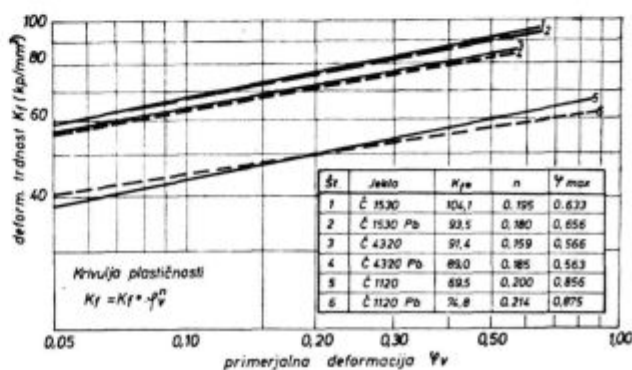
hitrost deformacije: $u = 0.01$ s⁻¹

število stopenj 7

Kriteriji za oceno preoblikovalnosti:

- lega krivulje oz. K_f
- maksim. deformacije φ max.
- koeficient utrjevanja n

Rezultati preiskav so zbrani na sl. 7.



Slika 7
Krivulje plastičnosti mehko žarjenih jekel Č 1120, Č 1530 in Č 4320 s in brez svinca

Preiskave plastičnosti jekel v hladnem pri zmernih deformacijah so pokazale, da prisotnost svinca nima vpliva na preoblikovalnost, izraženo s preoblikovalno trdnostjo, maksimalno deformacijo in koeficientom utrjevanja. Tak rezultat potrjuje tudi praksa hladnega vlečenja palic in žice.

2.4 Vpliv prisotnosti svinca na žilavost jekel

Laboratorij za preiskave:

Laboratorij za mehanske preiskave in metalografski laboratorij, Metalurški inštitut v Ljubljani (sodelavca: dr. Kosec, ing. Žvokelj)

2.41 Rezultati preiskav žilavosti

Vzorci za preiskavo žilavosti smo odrezali iz gredic prečno na smer valjanja. Način toplotne obdelave vzorcev za preiskave je razviden v tabeli 4, pogoji preizkušanja žilavosti pa so podani v tabeli 5.

Vse preiskave smo izvršili v treh paralelkah. Pri analizi rezultatov pa smo upoštevali srednjo vrednost. Dobljeni rezultati preiskav žilavosti so zbrani v tabeli 6:

Tabela 5: Toplotna obdelava vzorcev jekla za preiskave žilavosti

| Vrsta jekla s in brez Pb | Toplotna obdelava | |
|-----------------------------|-----------------------------|---|
| | A | B |
| Č 1121 | normalizirano 900° C, 1 uro | slepo kalj. 900° C, voda |
| Č 3990 | normalizirano, ohlaj. zrak | slepo kalj. 900° C, voda |
| Č 4320 | žarjeno 900° C, 1 uro | slepo kalj. 870° C, olje |
| Č 1530 | žarjeno 600° C, 3 ure | poboljšano TA 870° C, olje TN 620° C |

Tabela 6: Pogoji preizkušanja žilavosti

| Stanje preizk. | Oblika zareze | Toplotna obdelava | Temperatura preizkušanja °C | | |
|-------------------|------------------|----------------------|--------------------------------|------|-------|
| | | | — 40 | + 70 | + 350 |
| I. | V Notch | A | — 40 | + 70 | + 350 |
| II. | DVM | A | — 40 | + 70 | + 350 |
| III. | V Notch | B | — 40 | + 70 | + 350 |

Tabela 6: Rezultati preiskav žilavosti (kpm/cm²)

| Vrsta jekla | Temp. preizkušanja in stanje preizkušanca | | | | | | | | |
|----------------|---|-----|------|---------|------|------|----------|------|------|
| | — 40° C | | | + 70° C | | | + 350° C | | |
| | I. | II. | III. | I. | II. | III. | I. | II. | III. |
| Č 1121 | 1.6 | 2.1 | 3.5 | 13.6 | 14.0 | 11.4 | 12.3 | 14.5 | 8.2 |
| Č 1121 Pb | 2.6 | 1.9 | 3.0 | 9.4 | 10.3 | 7.9 | 7.3 | 9.8 | 6.9 |
| Č 3990 | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 3.1 | 2.6 | 1.4 | 2.8 | 2.6 | 1.4 |
| ATJ 100 Pb | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 3.1 | 2.9 | 1.7 | 3.3 | 3.0 | 1.5 |
| Č 4320 | 1.5 | 3.3 | 1.3 | 8.3 | 8.0 | 2.6 | 7.4 | 5.4 | 2.0 |
| Č 4320 Pb | 1.6 | 2.2 | 1.1 | 5.0 | 5.8 | 2.0 | 5.2 | 8.4 | 1.6 |
| Č 1530 | 1.1 | 1.6 | 4.7 | 4.5 | 4.3 | 6.1 | 7.4 | 5.4 | 2.0 |
| Č 1530 Pb | 1.0 | 1.0 | 2.4 | 4.1 | 3.5 | 3.5 | 3.3 | 3.8 | 3.3 |

Vpliv prisotnosti svinca na žilavost preiskanih vrst jekel smo ocenjevali s pomočjo statistične metode analize variance ($3 \times 3 \times 2$). Pri tej metodi lahko s 95 % verjetnostjo ($P = 0.05$) trdimo, da vpliv prisotnosti svinca na žilavost ni slučajen, če je vrednost P : STP večja kakor F iz tabele.

Pri posameznih vrstah jekla smo za $N_1 = 1$, $N_2 = 4$ in $F = 7.71$ (tabela) ugotovili naslednje: (tabela 7).

Tabela 7: Vpliv prisotnosti svinca na žilavost izbranih vrst jekel

| Vrsta jekla | Vrednosti iz analize variance | | | |
|----------------|-------------------------------|-------|--------|-------------------------|
| | P | STP | P:STP | Vpliv prisot. svinca |
| Č 1121 | 27.133 | 0.975 | 27.828 | ni slučajnost |
| Č 4320 | 2.645 | 1.684 | 1.570 | slučajnost |
| Č 3990 | 0.108 | 0.016 | 6.75 | slučajnost |
| Č 1530 | 13.005 | 0.137 | 94.93 | ni slučajnost |

Pri posameznih temperaturah pa je vpliv prisotnosti svinca razviden iz podatkov v tabeli 8:

Tabela 8: Vpliv prisotnosti svinca na žilavost pri posameznih temperaturah

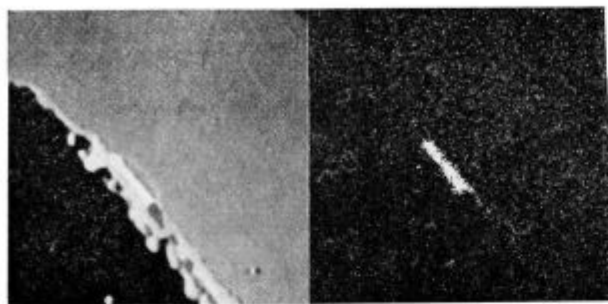
| Temp. °C | P | SKP | P:SKP | Vpliv prisot. svinca |
|----------|--------|-------|--------|-------------------------|
| — 40 | 0.845 | 0.232 | 3.65 | slučajnost |
| + 70 | 25.205 | 0.797 | 31.399 | ni slučajnost |
| + 350 | 10.000 | 2.131 | 8.447 | ni slučajnost |

S statističnimi metodami smo lahko ugotovili, da prisotnost svinca znižuje žilavost preiskanih vrst jekel.

2.42 Preiskave prelomnih površin (14)

Preiskovalna metoda:
mikrofraktografija in elektronska mikroanaliza vzorcev prelomnih površin

Z mikrofraktografskimi in mikroskopskimi preiskavami prelomnih površin pri danih povečavah nismo zaznali vpliva vključkov svinca na mehanizem preloma. Dokazali smo celo, da je delež svinčevih vključkov na prelomnih površinah povsem slučajen (sl. 8).



Slika 8

Svinec na prelomni površini (El. sl. in sp X Pb x 840)

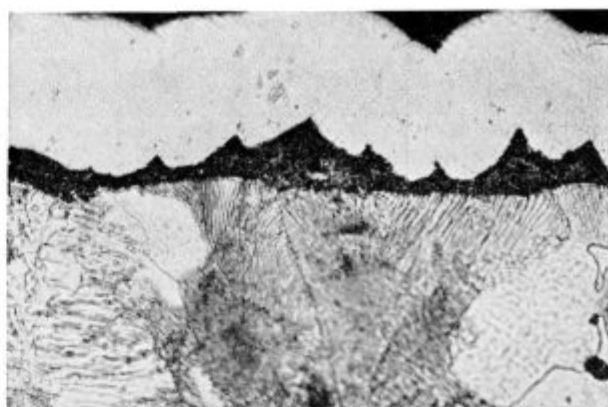
Da bi dobili več informacij o ponašanju vključkov svinca med prelomom žilavostnih epruvet, smo izvršili nekaj preizkusov z epruvetami, ki so vsebovale makrovključke svinca. Vzorci jekla so bili vzeti iz območja poudarjenih izcej svinca v blumig jekla C 1121 Pb. Epruvete so imele DVM zarezo, preizkus pa smo izvršili v popolnoma plastičnem in popolnoma krhkem področju. Ugotovili smo naslednje značilnosti prelomnih površin:

- a) vključki svinca ostanejo po prelomu tesno spojeni s kovinsko matico;
- b) prelom poteka preko vključkov svinca in ima vedno plastičen izgled;



Slika 9

Prelomna površina na prehodu iz perlita (zgoraj) v svinčev vključek (spodaj) (pov. 3800)



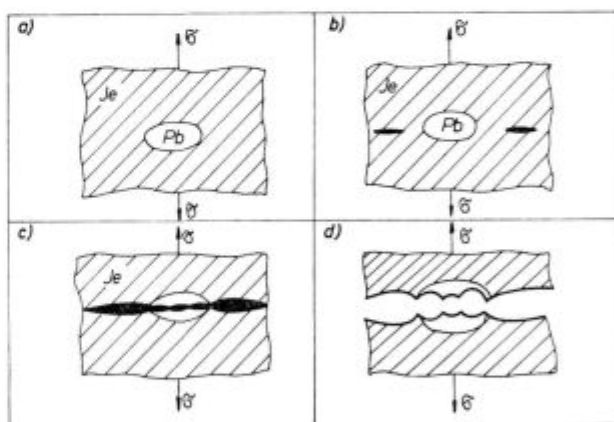
Slika 10

Plastičen prelom preko velikega svinčevega vključka (pov. 500).

c) nekovinski vključki, ki se nahajajo v asociaciji z vključki svinca, propagirajo potek razpoke z dekohezijo s kovinsko osnovo.

Navedena opažanja ilustriramo z nekaj karakterističnimi primeri: (slika 9) (slika 10).

Na osnovi opazovanj velikega števila prelomnih ploskev svinčevih jekel lahko postavimo naslednjo shemo porušitve preko svinčevega vključka v izolirani in asociirani obliki (sl. 11) (sl. 12).

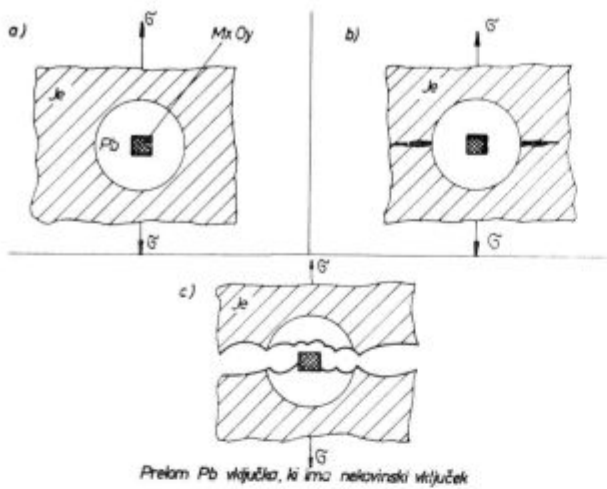


Svinčev vključek v plastični osnovi

Slika 11

Shema porušitve izoliranega svinčevega vključka v plastični osnovi.

Ker smo podobne zakonitosti zasledili tudi pri preiskavi prelomnih površin epruvet svinčevih jekel, porušeni z nateznim in pa upogibno torzijskim preizkusom, smatramo, da je potrebno iskati vzroke za eventualno poslabšanje fizikalnih lastnosti jekel zaradi prisotnosti svinca v dogajanjih na meji (interface) med jekleno matico in nekovinskimi vključki ter vključki svinca. Prav v tej smeri nameravamo nadaljevati naše raziskovalno delo.



Slika 12

Shema porušitve asociiranega svinčevega vključka v plastični osnovi

2.5 Vpliv prisotnosti svinca na trajno nihajno trdnost

Preiskovalna metoda:

Vrtilno upogibni preizkus

Laboratorij za preiskave:

Laboratorij za mehanske preiskave Metalurški inštitut v Ljubljani

(sodelavca: ing. Brifah, dr. Kosec).

Preizkuse smo izvršili pri dveh vrtilnih hitrostih, 3000 in 6000 vrt./min. Preizkušanci so bili najprej grobo mehansko obdelani, nato toplotno obdelani in nazadnje mehansko obdelani na mero in polirani. Pogoji toplotne obdelave vzorcev jekla so podani v tabeli 9.

Natezna trdnost in dosežena trajna nihajna trdnost je za posamezne vrste jekel podana v tabeli 10.

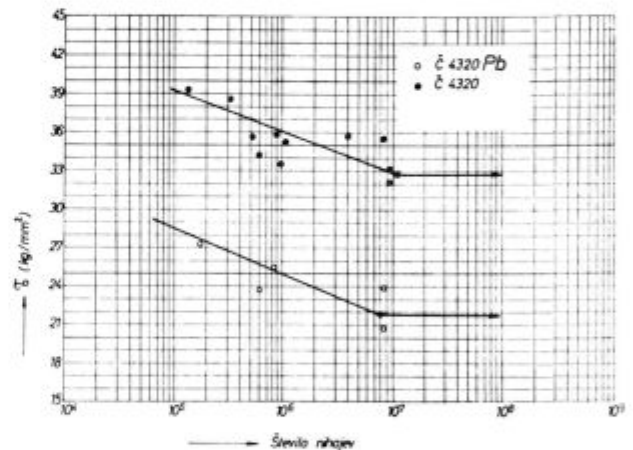
Primerjava Wöhlerjevih krivulj vseh jekel, razen Č 4320 in Č 4320 Pb tudi ne kaže nobenih pomembnih razlik, iz katerih bi lahko sklepali na škodljivi vpliv svinca na dinamične lastnosti jekla. Pri jeklu Č 4320 s in brez svinca pa so se pojavile razlike, ki jih ne moremo več pripisati slučajnim pojavom (sl. 13).

Rezultati poskusov kažejo jasno odstopanje pri trajni upogibni trdnosti, trajni torzijski trdnosti in tudi po notranjem trenju se jekli med seboj jasno ločita (sl. 14).

Tabela 10: Natezna trdnost in trajna nihajna trdnost

| Vrsta jekla | Natezna trdnost (kp/mm ²) | Trajna nihajna trdnost v (kp/mm ²) | |
|-------------|---------------------------------------|--|--------------|
| | | 3000 vrt/min | 6000 vrt/min |
| Č 1120 | 76.5 | 32.6 | 30.6 |
| Č 1120 Pb | 79.0 | 28.6 | 30.6 |
| Č 4320 | 120.7 | 76.6 | 74.6 |
| Č 4320 Pb | 110.8 | 56.6 | 56.6 |
| Č 1530 | 87.4 | 36.6 | 40.6 |
| Č 1530 Pb | 87.3 | 34.6 | 36.6 |
| Č 3990 | 46.6 | 24.6 | — |
| ATJ 100 Pb | 45.2 | 26.6 | — |

V vseh primerih gredo lastnosti v prid jeklu brez svinca. Pri ostalih preizkušanih jeklih, razen pri trajni torzijski trdnosti jekel Č 3390 in Č 3390 Pb, kjer so pa razlike ravno obratne, se izmerjene lastnosti obeh vrst jekel zelo dobro skladajo.



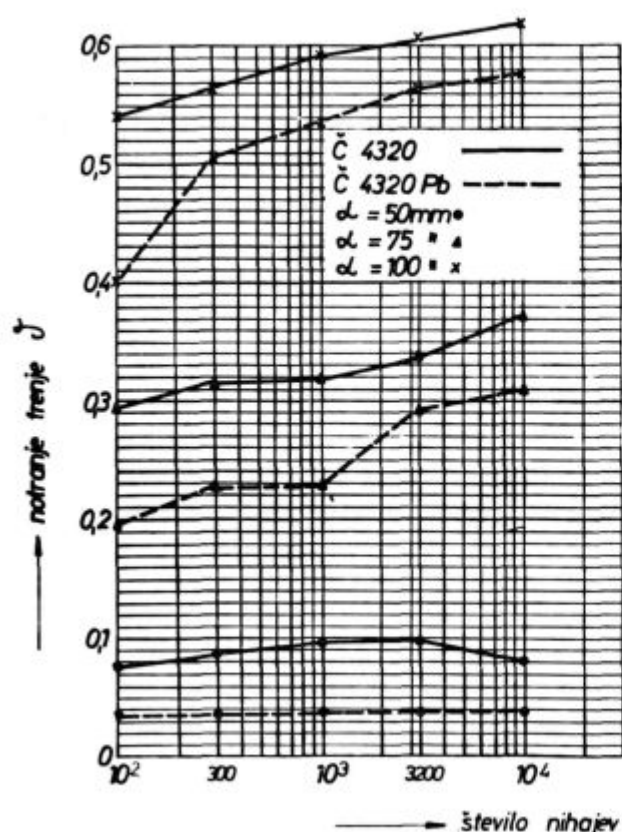
Slika 13

Wöhlerjeva krivulja jekla Č 4320 s in brez svinca.

Po morfologiji preloma jeklene matice ni mogoče trditi, da prisotnost svinčevih vključkov vpliva na mehanizem preloma jekla. Z našimi poskusi pa nismo mogli ugotoviti, če vpliva in kako vpliva svinčev vključek, posebej še tisti na

Tabela 9: Toplotna obdelava vzorcev jekla za preiskave

| Vrsta jekla | Način in pogoji toplotne obdelave |
|--------------------|---|
| Č 3990, ATJ 100 Pb | normalizacija, 900° C, 1 ura, zrak |
| Č 1120, Č 1120 Pb | cementacija, solna kopel 900° C, 1 ura, voda |
| Č 4320, Č 4320 Pb | cementacija, solna kopel 900° C, 1 ura, olje |
| Č 1530, Č 1530 Pb | poboljšanje, kaljenje 850° C, voda, nap. 620° C |



Slika 14

Notranje trenje jekla Č 4320 s in brez svınca

površini oziroma v cementirani coni, na začetek razpoke in njeno širjenje pri dinamični obremenitvi jekla. Da bi se približali pojavom, ki se dogajajo v neposredni okolici svinčevega vključka, bi morali uporabiti tehnike in naprave, katere nam danes še niso na razpolago.

2.6 Vpliv prisotnosti svınca na lastnosti cementiranega sloja

Laboratorij za preiskave:

Metalurški inštitut v Ljubljani, sodelavec
ing. Kveder (15)

Program teh preiskav je obsegal sledeče cementacije:

- a) cementacije v trdnem sredstvu
 - sredstvo za cementacijo: Durferrit Granulat 6
 - cementacijo smo izvršili pri temperaturah 850°, 900° in 950° C
 - čas cementacije pa je bil vsakokrat 2, 5 in 10 ur
 - ohlajevanje v zabojih na zraku
- b) cementacije v plinu
 - sredstvo za cementacijo: svetilni plin z manjšim dodatkom mešanice butan propan
 - temperatura in časi cementacije isti kot pri trdnem sredstvu
 - ohlajevanje v izolacijskem sredstvu

- c) cementacije v soli
 - cementacijo izvršili pri temperaturi 930° C
 - časi cementacije 1, 2 in 5 ur

Preiskave so pokazale, da v nobenem primeru prisotnost svınca v jeklu ne vpliva pomembno na lastnosti cementiranega sloja v pogledu:

- globine cementacije
- standardne cementacije
- površinske količine ogljika
- mikrostrukture cementiranega sloja

Kot dokaz nevtralnega vpliva svınca v cementiranem sloju navajamo analizo variance površinskih količin ogljika v jeklih s svincem in brez prisotnosti svınca (tabela 12, tabela 13)

Tabela 12: Vrednosti površinskih količin ogljika za analizo variance

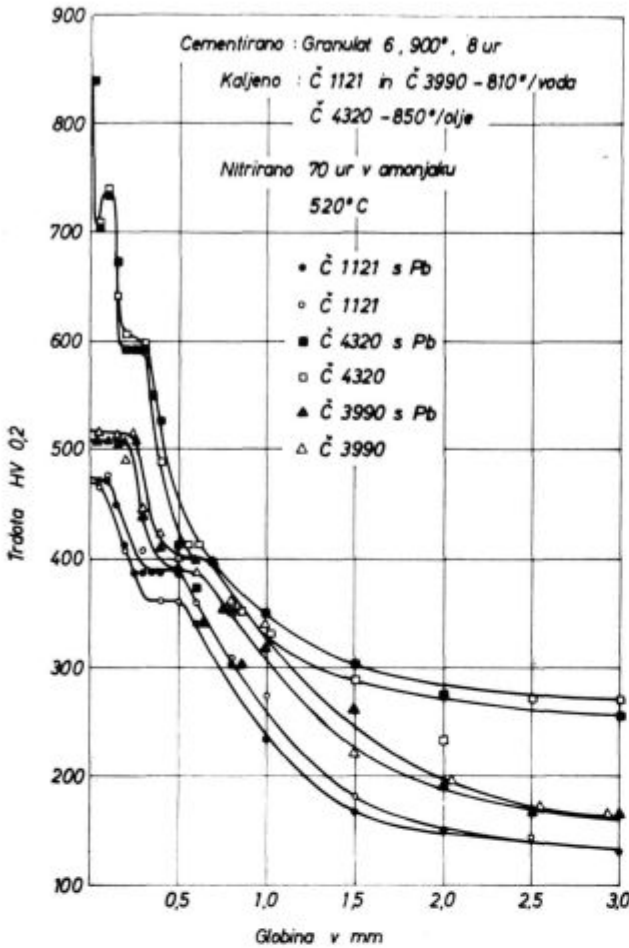
| jeklo | Č 1121 | | | Č 4320 | | | | | |
|--------|--------|-----------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|------|------|------|
| | Temp. | Čas (ure) | Granulat 6-G s Pb | Plin - P s Pb | Granulat 6-G s Pb | Plin - P s Pb | | | |
| 850° C | 5 | 0.80 | 0.82b | 1.00 | 1.05 | 0.85 | 0.83 | 1.19 | 1.26 |
| | 10 | 0.87 | 0.85 | 1.07 | 1.05 | 0.86 | 0.87 | 1.35 | 1.14 |
| | 2 | 0.81 | 0.83 | 0.65 | 0.49 | 0.84 | 0.84 | 0.64 | 0.58 |
| 900° C | 5 | 0.91 | 0.90 | 1.04 | 0.93 | 0.91 | 0.88 | 1.05 | 1.10 |
| | 10 | 0.94 | 0.96 | 1.15 | 1.12 | 0.97 | 1.00 | 1.70 | 2.00 |
| | 2 | 0.92 | 0.93 | 1.13 | 1.06 | 0.98 | 0.98 | 1.08 | 1.18 |
| 950° C | 5 | 0.99 | 0.95 | 1.14 | 1.14 | 1.03 | 1.04 | 1.69 | 1.29 |
| | 10 | 1.12 | 1.10 | 1.07 | 1.08 | 1.10 | 1.07 | 1.72 | 1.46 |

Tabela 13: Analiza variance

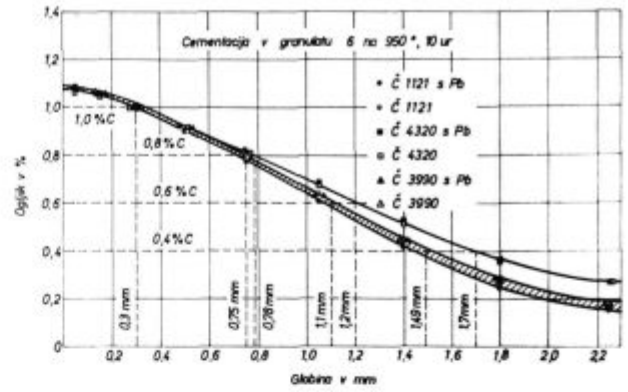
| Oznaka jekla | R ² | F (α = 0,05) izračunan | F (α = 0,05) iz tabel |
|--------------|----------------|------------------------|-----------------------|
| Č 1120 | | | |
| Č 1120 Pb | 0.0031 | 7.4 | 7.71 |
| Č 4320 | | | |
| Č 4320 Pb | 0.002 | 0.49 | 7.71 |

S 95 % statistično gotovostjo lahko trdimo, da v pogledu površinskih količin ogljika med jekli s svincem in brez svınca ni razlik. Tudi pri nitriranju nismo opazili nobenega vpliva svınca na lastnosti nitriranega sloja (slika 15).

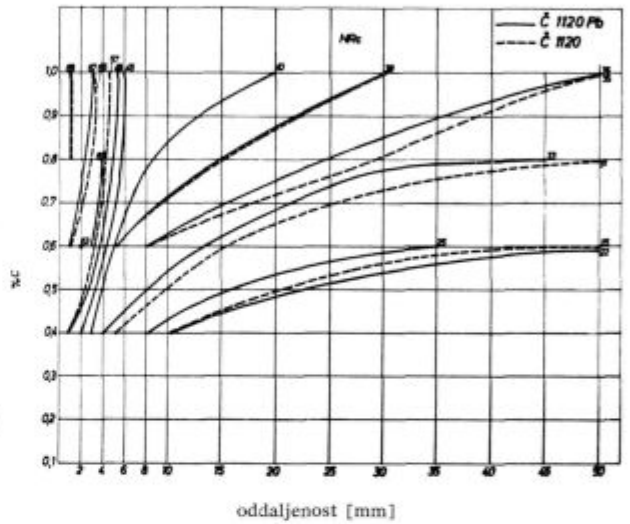
Kaljenje cementiranih vzorcev je dalo pričakovane rezultate brez očitnih razlik med variantami jekla s svincem in brez njega. Dosežene trdote po kaljenju preizkušancev, ki so bili cementirani v granulatu Durferrit 6 na temperaturi 900° C 6 ur, so zbrani v tabeli 14 (vsak podatek je povprečje 15 meritev).



Slika 15
Potek trdote v nitriranem sloju



Slika 16
Gradient ogljika v cementirani plasti.



Slika 17
Diagram obrobne kaljivosti jekla Č 1120 s in brez svinca

Tabela 14: Trdote po cementiranju in kaljenju

| Oznaka jekla | Temper. kaljenja | Trdota (voda) | HRC (olja) |
|--------------|------------------|---------------|------------|
| Č 1121 Pb | 810° C | 67.5 | 35.0 |
| Č 1121 | 810° C | 67.5 | 35.0 |
| Č 4320 Pb | 840° C | 64.5 | 64.3 |
| Č 4320 | 840° C | 64.6 | 64.7 |
| ATJ 100 Pb | 810° C | 66.6 | |
| Č 3990 | 810° C | 66.6 | |

Preiskali smo tudi obrobno kaljivost jekel. Vzorci za te preiskave so bili cementirani v granulatu Durferrit 6 pri temperaturi 950° C 10 ur. Vsebnost ogljika v cementiranih plasteh je prikazana na sl. 16.

Dobljeni diagrami obrobne kaljivosti kažejo določene razlike med različnimi variantami jekel, ki pa za tako delikaten preizkus niso velike (sl. 17).

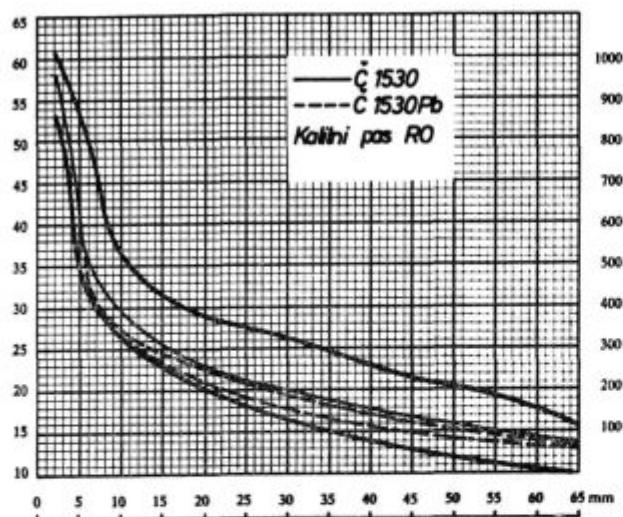
Na osnovi preiskav obrobne kaljivosti jekel, zopet lahko trdimo, da prisotnost svinca nima pomembnega vpliva na sposobnost jekla za cementacijo.

2.7 Vpliv prisotnosti svinca na kaljivost in trdnostne lastnosti jekla Č 1530 v poboljšanem stanju

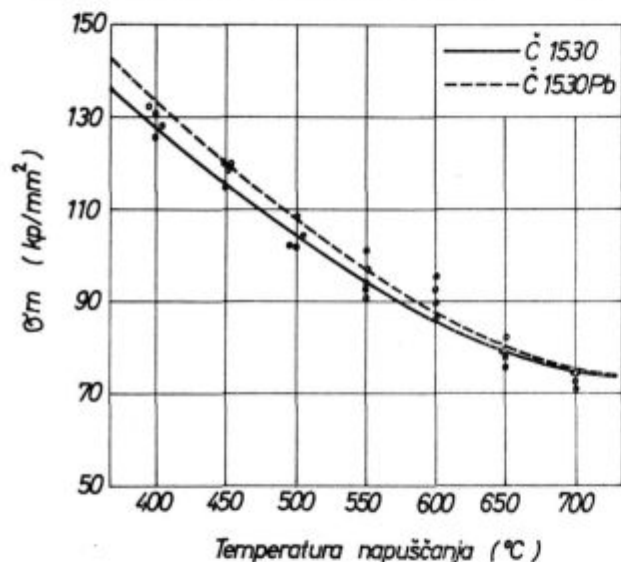
Laboratorij za preiskave: Fizikalni laboratorij — Raziskovalni oddelek Zelezarna Jesenice

Kaljivost več šarž jekla Č 1530 s svincom in brez njega smo preiskali s pomočjo standardnega Jominy preizkusa. Na podlagi medsebojne primerjave preiskovanih in primerjalnih jekel ter položaja krivulj v kalilnem pasu kvalitete jekla Č 1530 proizvodnje Zelezarne Jesenice (sl. 18) lahko zaključimo, da prisotnost svinca nima vpliva na kaljivost jekla Č 1530.

Preiskave trdnostnih lastnosti v poboljšanem stanju smo izvršili na vzorcih eksperimentalne šarže 10 7038 z mikrotrgalnimi probami. Vzorci so bili iz temp. 850° C kaljeni v vodi. Napuščni diagram je prikazan na sl. 19 in ne kaže razlik med obema variantama jekla. Preiskave trdnostnih lastnosti poboljšane jekla pri povišanih temperaturah pa kažejo povečano krhkost svinčevega jekla pri temperaturah v okolici tališča svinca (sl. 20.).



Slika 18
Kaljivost jekla Č 1530 z in brez svinca (po Jominiju).



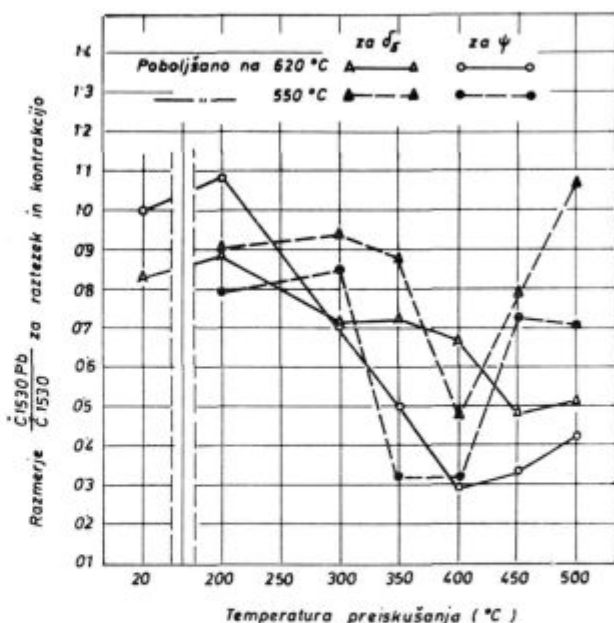
Slika 19
Napušni diagram jekla Č 1530 z in brez svinca.

Krhkost svinčevih jekel pri kritičnih temperaturah narašča z naraščajočo trdoto jekla. Opisani fenomen, ki je za Cr-Mo svinčeva jekla opisan v literaturi (16), lahko pomeni določeno omejitev uporabnosti svinčevih jekel, če so obratovalne temperature strojnih delov v kritičnem temperaturnem območju.

ZAKLJUČKI

Zaključki, ki so pomembni za razumevanje vpliva prisotnosti svinca na lastnosti jekel, so naslednji:

1. V blokih svinčevih jekel je svinec enakomerno porazdeljen v vseh tistih območjih, kjer so tudi ostali legirni elementi enakomerno porazdeljeni. Dokazano je, da prisotnost svinca ne vpliva na porazdelitev ostalih legirnih elementov v jeklu.



Slika 20
Razmerje raztezkov in kontrakcij svinčevega in osnovnega jekla Č 1530 v poboljšanem stanju

2. Ves svinec je v jeklu izločen v vključkih in kovinski obliki. Vključki svinca so izolirani ali pa asociirani z ostalimi nemetalnimi vključki v jeklu.

3. Med vročo predelavo se izolirani vključki svinca razpotegnijo v smeri deformacije močneje kakor nemetalni vključki. V asociiranih vključkih zavzame svinec po deformaciji značilen položaj, ki sovпада z votlinami ob nemetalnih komponentah.

Med hladno predelavo pride do fragmentacije lamel svinca brez tvorbe praznin.

4. Vključki svinca predstavljajo v matici jekel statično in stabilno fazo, pri kateri so vse spremembe položaja le navidezne in so posledica transformacij, oz. rasti osnovnih strukturnih komponent jekla.

Glede vpliva svinca na fizikalne in tehnološke lastnosti pa lahko zaključimo naslednje:

5. Svinčeva jekla imajo zmanjšano sposobnost za preoblikovanje v vročem ter nespremenjeno sposobnost za preoblikovanje v hladnem pri zmerenih deformacijah.

6. Zaradi prisotnosti svinca se v vseh primerih izboljša obdelovalnost, vendar pa je to izboljšanje različno pri različnih vrstah jekel.

7. Svinčeva jekla imajo nižjo žilavost in trajno utripno trdnost, vendar po morfologiji prelomov ni mogoče trditi, da prisotnost vključkov svinca vpliva na mehanizem preloma jekla.

8. Svinec v cementacijskih jeklih nima vpliva na cementacijske in kaline lastnosti jekel.

9. Pri temperaturah v okolici tališča svinca je dokazana krhkost svinčevih jekel, ki je tem večja, čim trše je jeklo.

Literatura

1. A. Razinger: Zelezarski zbornik 8 (1974), št. 2, str. 99—109.
2. A. Razinger: Magistrsko delo — Jesenice 1973.
3. L. Kosec in sodelavci: Poročilo Metalurškega inštituta — naloga 295, Ljubljana 1974.
4. W. E. Brower: Metallurgical Transaction (1972), vol. 3, str. 3025—3031.
5. A. P. Weaver: Trans. A. S. M. (1957), 49, str. 464—481.
6. A. Kveder: Zelezarski zbornik 4 (1970), št. 3, str. 167—178.
7. B. Brudar: Zelezarski zbornik 7 (1973), št. 2, str. 101—108.
8. K. Kuzman, A. Razinger: Zelezarski zbornik 7 (1973), 4, str. 189—197.
9. B. Rudolf: Diplomsko delo št. 1788 — Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1972.
10. A. Razinger: Zelezarski zbornik 2 (1968), št. 1, str. 21—34.
11. Dr. Peklenik in sodelavci: Raziskave obdelovalnosti jekel s posebnim poudarkom za obdelavo na avtomatih. Poročilo št. 130 inst. LAKOS, Ljubljana 1973, (sof. SBK).
12. Bajželj Miro: Diplomsko delo št. 1774 — Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1972.
13. Sink Jakob: Diplomsko delo št. 1689 — Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1972.
14. A. Razinger, L. Kosec: Poročilo raziskovalnega oddelka ZJ, št. 36/1973, Jesenice 1970.
15. A. Kveder: Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, Naloga 188, Ljubljana 1973.
16. S. Mostovoy, N. N. Breöer: Trans. ASM196 1, vol. 61, str. 219—232.

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war den Einfluss der Bleianwesenheit auf die Zerspanbarkeit, auf die physikalischen und technologischen Eigenschaften des Stahles festzustellen und zu erläutern. Die Untersuchungen sind an vier verschiedenen repräsentativen Stahlsorten mit und ohne Blei legiert, an derselben Schmelze durchgeführt worden. Die festgestellten Unterschiede können deshalb mit Sicherheit der Bleianwesenheit zugeschrieben werden. Im Bezug auf die verschiedenen Literaturangaben haben wir in unserer Arbeit besonderen Wert den Untersuchungen der Form und der Verteilung des Bleies bei den Bedingungen der plastischen Verformung und Zerstörung der Proben gelegt. Dazu ist die Elektronenmikroanalyse als Untersuchungsmethode angewendet worden:

Die Bleieinschlüsse stellen in der Stahlmasse eine statische und stabile Phase dar.

Das Verhalten der Stähle bei den Bedingungen der plastischen Verformung haben wir an warmen Torsionsproben und kalten Stauchproben studiert. Wir haben festgestellt, dass das Blei im Stahl die plastischen Eigenschaften im warmen Zustand verschlechtert, dass es aber

keinen Einfluss auf die plastische Eigenschaften im kalten Zustand hat. Diese letzte Feststellung halten wir für sehr wichtig.

In der Hinsicht der Festigkeitseigenschaften kann kein Unterschied zwischen den mit Blei legierten und nicht-legierten Stählen beobachtet werden. Eine nur kleinere Verschlechterung der Zähigkeit und Dauerfestigkeit konnte beobachtet werden, wobei aber durch die mikrofraktographischen Untersuchungen der Bruchflächen der Grund dazu nicht festgestellt werden konnte. Die Untersuchungen haben auch eine grössere Sprödigkeit der Vergütungsstähle im Bereich der Bleischmelztemperatur ergeben.

Die Einsatzhärtungsuntersuchungen an Stählen haben ergeben, dass die Anwesenheit von Blei im Stahl keinen Einfluss auf die Härtungseigenschaften der Stähle hat.

Einen günstigen Einfluss des Bleies auf die Zerspanbarkeit haben wir auch mit der Gewichtsvorschubverfahren Methode und mit den Industrierversuchen bestätigt.

Die Untersuchungsergebnisse sind sowohl für den Erzeuger, wie auch für den Verbraucher direkt anwendbar.

SUMMARY

The paper presents and explains the influence of lead on workability, and physical and technological properties of steels. Samples of four general steels once with usual composition and once with added lead but of the same batch were investigated. The found differences can thus be surely attributed to the presence of lead. Because of numerous data in references the emphasis of our investigations was devoted to the shape and distribution of lead during forming and breaking of samples. Electron microanalysis was used in this investigations.

Lead inclusions were found to be a constant and stable phase in the steel matrix.

Steel behaviour during forming was studied by the hot torsion test and by the cold tensile test. Presence of lead was found to deteriorate the hot plasticity of steel but has no influence on the cold plasticity. The latter finding

is very important. There was found also no difference between the strength of steels with lead and without it. Slight deterioration was observed in toughness and fatigue strength, but microfractographic investigations of fractures could not explain the reasons. Increased fragility of steels for tempering at the temperatures close to the melting point of lead were confirmed.

Studies of case hardening showed that lead has no influence on the case-hardening and quenching properties of steel.

Favourable influence of lead on the machinability was confirmed by investigations with constant feed pressure and by the industrial tests.

Results of investigations are useful for the manufacturers and the consumers of lead steels.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель изучения была определить и объяснить влияние наличия свинца на пригодность к обработке а также на физические и технологические свойства сталей. Исследования выполняли на образцах четырех репрезентативных сортов стали в основной и в модификации с свинцом одной и той же шихты. Поэтому

установленные различия можно с надёжностью приписать присутствию свинца. Учитая многочисленные сведения в литературе, исследователи особое внимание обратили на форму и распределение свинца в условиях пластической деформации и разрушении образцов. При исследовании употребляли электронный

микроаналитический метод. Исследованием определено, что включения свинца представляют собой в основной массе стали статическую и стабильную фазу.

Поведение стали при условиях пластичной деформации изучали на образцах испытанием на прочность при кручении в горячем состоянии и испытанием на сжатие в холодном. Определено, что присутствие свинца ослабляет пластичность стали в горячем состоянии, присутствие свинца ослабляет пластичность в холодной переработки. Это свойство, по мнению исследователей имеет важное значение. Что касается прочности, между сталями с свинцом и без него разница не обнаружена. Незначительное ослабление обнаружено при вязкости и длительной пульсирующей прочности,

но установить причину этого исследованием поверхности излома путём микрофрактографических снимков не удалось.

Исследованием доказали повышение хрупкости при сталях для улучшения при температурах в пределах около точки плавления свинца.

Исследования цементации стали показали, что присутствие свинца в стали не имеет никакого влияния на свойства стали при закалке и цементации.

Благоприятное влияние свинца на обрабатываемость доказали также исследованием методом с подачей константного давления а также опытами в промышленности.

Результаты этих исследований применимы одинаково для производителя и потребителя свинцовых сталей.