

Obraba rudarskih naprav in orodij za hladno oblikovanje jekla

ASM/SLA: TS, CIq, Q 9
DK: 669.14.018.256 : 669.15-196

Franc Uranc

UVOD

Obraba različnih jeklenih in železnih naprav pomeni ogromno gospodarsko škodo. Poskusno določevanje obrabne obstojnosti pogosto ne daje zadovoljivih podatkov, ki bi lahko služili izbiri novega materiala ali drugačne toplotne obdelave orodja.

Obrabna obstojnost jekla ni vsestransko opredeljujoč pojem, ker je obraba vsakega strojnega dela odvisna od načina obremenjevanja.

Iz podatkov kakršnegakoli obrabnega preizkusa ali iz znanih trdot ali žilavost ne moremo predvideti splošne uporabnosti posameznega jekla ali železa. Lahko pa iz splošno znanih podatkov sklepamo na vzdržnost določenega tipa orodja iz določenega jekla.

V naslednjem so prikazane vzdržnosti različnih tipov orodij, od rudniških mlinov do rezalcev stekla¹.

Podatki praktičnih preizkusov so razvrščeni glede na to, katera kombinacija lastnosti odločilno vpliva na vzdržnost konstrukcijskega dela pri določenem tipu obrabe.

Preiskave vzdržnosti proti obrabi

Največ podatkov o vzdržnosti potrjuje pretežen vpliv enega dejavnika, poleg kemijske sestave materiala strojnega dela. Primeri, ki kažejo, da sta

trdota in kemijska sestava edina pogoja za dobro vzdržnost, zajemajo mlinske krogle, rezalce stekla, oblikovalne matrice za pločevino, mazane udarno obremenjene ležajne površine, obloge naprav, v katerih drsi pesek. Kdaj na videz bolj vpliva legirna sestava, kdaj trdota in kdaj žilavost, prikazujejo navedeni primeri.

Slika 1 kaže vzdržnost, žilavost in trdoto mlinjskih krogel iz jekla z 0,8 % C. Krogle so se uporabljale v poskusnem mlinu, premera en meter. Skozi mlin je teklo na uro 200 kg rudnine in 60 litrov vode. Obrabna obstojnost krogel, obdelanih na tri različne trdotne stopnje, so preizkusili s tremi različnimi razmeroma čistimi rudninami, to je s kremenom, živcem in kalcitom.

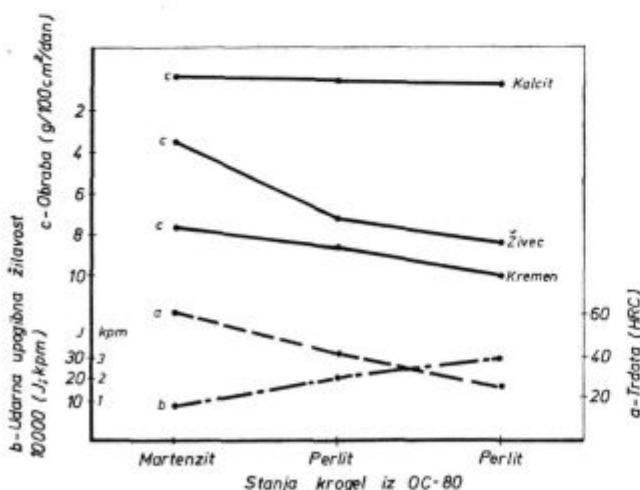
Pri mletju kremenca, ki je približno tako trd kot martenzitno jeklo in veliko trši od perlitnega, se krogle različnih trdot niso v vzdržnosti razlikovale za več kot za 25 %. Pri mletju živca, ki je veliko mehkejši od kremenca, toda še zmerom trši od perlitnega železa, znašajo razlike v obrabni obstojnosti že 100 %, kar gre na račun velike vzdržnosti krogel iz martenzitnega jekla, ki meljejo snov, mehkejšo od martenzita. Martenzitne krogle dobijo svetlo gladko površino, medtem ko krogle iz perlitnega železa postanejo motne in so močno opraskane.

Pri mletju kalcita je obraba vseh treh vrst krogel zelo majhna, vendar je kljub temu razlika v hitrosti obrabe perlitnih in martenzitnih krogel več kot 100 %.

Podobne rezultate so dobili tudi pri mletju navadnih uporabnih rud, ki so manj čiste. Rude z visokim odstotkom kremenca obrabljajo perlitne in martenzitne krogle skoraj enako, medtem ko so krogle iz martenzitnih jekel in železa daleč boljše od drugih krogel pri mletju rud z visoko vsebnostjo živca. Rude z visoko vsebnostjo železovega oksida dajo podobne rezultate kot rude živca, ker imata hematit in magnetit podobno mineraloško trdoto kot živec.

Cementov klinker podobno obrablja kot kalcit. Obraba vseh treh vrst krogel je majhna, vendar je hitrost obrabe krogel iz perlitnega jekla dvakrat do štirikrat večja kot hitrost obrabe krogel iz martenzitnega jekla. Pri preizkusih je kalcit učinkoval bolj kot mazivo kot abraziv, kajti s poskusi kotaljenja krogel v sami vodi so ugotovili, da se je hitrost obrabe glede na hitrost v mešanici vode in kalcita dvakratno povečala.

Na sliki 1 so podatki za trdoto krogel preračunani iz enot Vickersa v enote Rockwella. Žila-

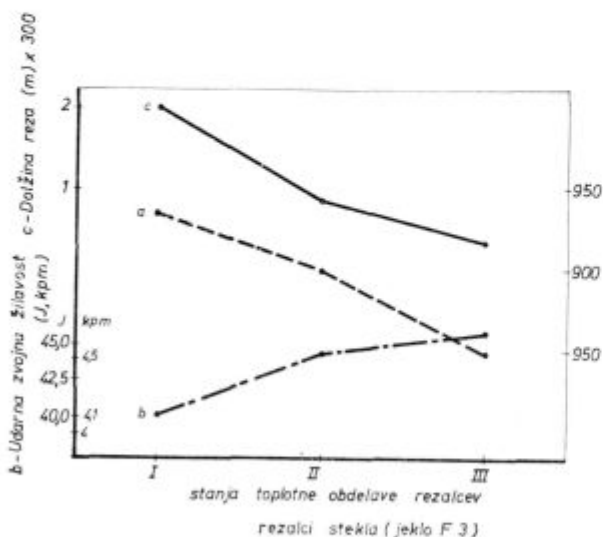


Slika 1
Obraba mlinjskih krogel iz jekla z 0,8 % C.

Franc Uranc je diplomirani inženir metalurgije in raziskovalec v Železarni Ravne

vostne vrednosti so izbrane na podlagi podatkov drugih raziskav, vendar možna nenatančnost tu ni tako škodljiva, saj vidimo, da žilavost jekla, iz katerega so mlinske krogle, ne vpliva na hitrost obrabe.

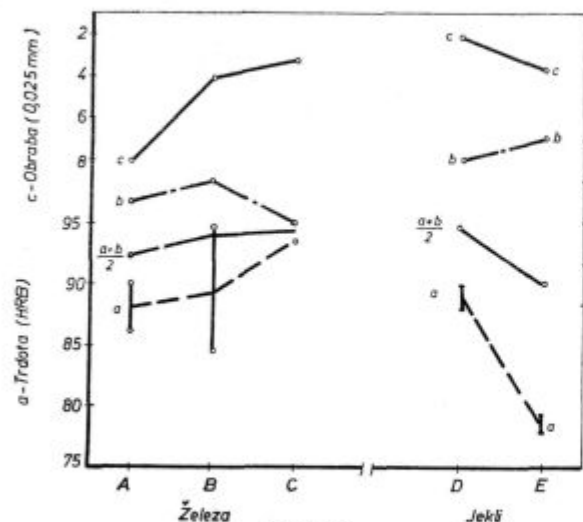
Samo struktura in trdota krogel določata obstojnost proti obrabi.



Slika 2
Obraba jeklenih rezalcev stekla.

Močan vpliv trdote na obstojnost orodij je viden pri rezalcih stekla, ki so iz jekla, približne sestave: 1,25 % C, 3,5 % W, 0,75 % Cr (tip F3 po AISI-SAE). Že dvig trdote nožev za 75 enot Knoop poveča odpornost proti zatopitvi več kot štirikrat. Kot se vidi iz slike 2, ni zaslediti vpliva žilavosti.

Poskusi z ekscentri, na katere je pritiskala sila 400 kp in ki so se vrteli s hitrostjo 1050 obratov na minuto, so pokazali (sl. 3a), da je obstojnost mazane površine odvisna od trdote ekscentra.

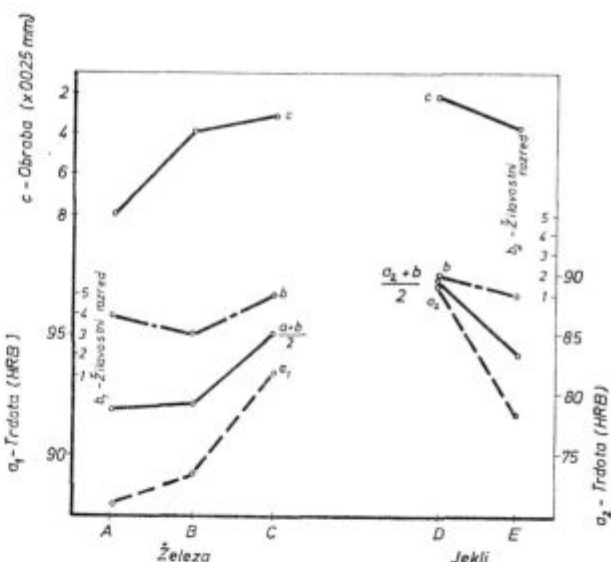


Slika 3a
Obraba udarno obremenjenega, mazanega modela zoba zobnika.

Delen vpliv žilavosti pa je vendar viden, kot se lahko sklepa iz razlik med vzdržnostmi, žilavostmi in trdotami preizkušanih vrst železa in jekel. Vzdržnosti jekel in železa se na osnovi trdot in žilavosti ne more primerjati. Obrabo so določali na šestih zobeh na treh enako oddaljenih mestih.

Kemijska sestava vseh treh vrst železa je bila približno enaka: 3,1 % C, 0,9 % Mn, 2,23 % Si. Jekli, ki smo ju preizkušali, sta imeli sestavo 0,45 % C, 0,8 % Mn (D) in drugo 0,22 % C, 0,8 % Mn (E). Trdote teh jeklenih ekscentrov so bile v mejah 78 do 79 HRB (pri jeklu E) in 88 do 90 HRB (pri D jeklu). Siva litina (A) je imela trdoto 87 do 90 HRB, siva litina (C) pa 93 do 94 HRB, medtem ko perlitno kovno železo trdote od 84 do 94 HRB.

Natančna žilavost ni vidna iz izvirnih podatkov, zato so se postavili za posamezne vrste jekla in železa žilavostni razredi, katerih širina pa ni sorazmerna dejanskim višinam in razlikam žilavosti, merjenim na katerikoli način. Vplivnost trdote je pri železu veliko manjša kot pri jeklih. To se vidi iz sl. 3b, ki kaže vpliv žilavosti kot vpliv strukture na vzdržnost.

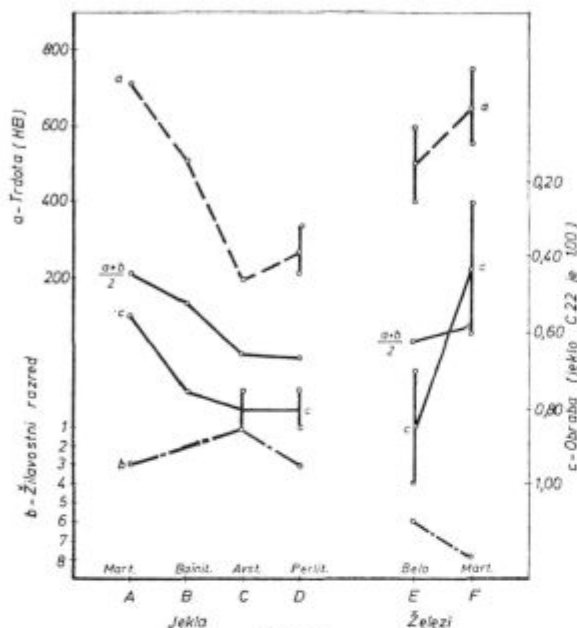


Slika 3b

Za strojne dele, obremenjene na obrabo in udarce ali sunke, se veliko uporablja jeklo z 12 % Mn, ki pa ni primerno, če ne nastopajo v uporabi udarci, na primer pri cevih. V takih primerih je vzdržnejše lito martenzitno železo. Ker je Hadfieldovo jeklo toliko vzdržnejše od drugih pri obrabi s sunki, se včasih napačno posplošuje, češ da pri mirni obrabi to jeklo ne nudi veliko odpora proti obrabi.

Slika 4 kaže odpornost jekla z 12 % Mn proti obrabi z mokrim kremenčevim peskom, zrnatosti AFSNo 50. Tlak peska na preizkušance je bil 35.10^4 N/m^2 . S številnimi preizkusi so potrdili abrazijski faktor 0,75 do 0,85 (glede na 1,00 za jeklo z 0,22 % C, s trdoto 107 HB). Z jeklom tega tipa smo primerjali jeklo s približno kemijsko

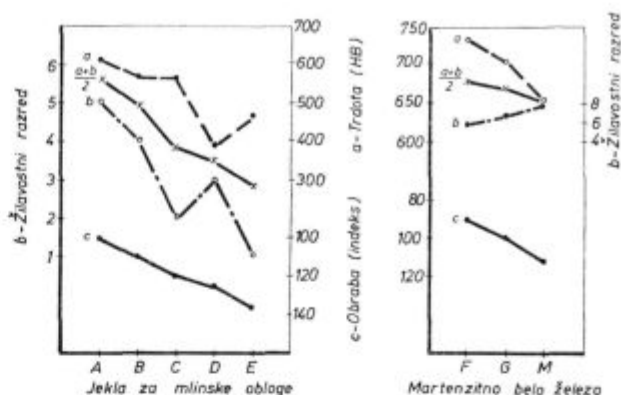
sestavo 0,5 % C, 1 % Mn, 1 % Cr, 0,35 % Mo, obdelano enkrat na martenit (A), drugič na bainit (B). Jeklo z 12 % Mn je označeno na sliki s črko C. Oznaka D ustreza jeklu z 0,8 % C, toplotno obdelanemu na perlit. Z jekli smo primerjali tudi dve vrsti železa. Legirano belo železo je predstavljeno na sliki z oznako E, trdota tega jekla je 400 do 600 HB; martenizirano lito železo, znano pod



Slika 4

Obraba različnih jekel in belega železa z drsečim peskom.

imenom Ni-hard, je označeno na sliki s črko F in je imelo trdoto 550 do 750 HB. Vrednosti za žilavost so v diagramu podane kot žilavostni razredi, ker je ustrezne podatke še najlažje najti. Žilavost železa glede na žilavost jekel je namreč dokaj neznan pojav, kar je glede na različno strukturo razumljivo. Pri tem smo za perlitno jeklo vzeli nižjo od dveh predlaganih in možnih vrednosti, to je razred 4 namesto možnega 3 in za legirano belo železo višjo vrednost (6 od možnega 6 ali 7). Ta samovoljna izbira je bila potrebna zaradi nepopolnosti izvirnih poskusnih podatkov,



Slika 5

Obraba mlinskih krogel iz različnih jekel in belega železa.

ni pa vplivala na videz krivulj žilavosti in obrabne obstojnosti. Dimenzije za posamezne vrste enot niso tako zahtevne, saj je trdota daleč najodločilnejša pri izbiri materialov, ki bi bili primerni za delovanje pri opisanem tipu obrabe.

Podobno kaže slika 5 primere abrazije mlinskih krogel iz belega železa in različnih jekel. V mlinih z velikimi hitrostmi in velikimi krogami se za krogle vzame jeklo z 12 % Mn. Za srednje udarne pogoje se vzame krom-molibdenovo in krom-nikljevo-molibdenovo jeklo, za manj ekstremne pogoje pa se navadno vzamejo krogle debeline okoli 25 mm, izdelane iz trdega železa. Pri mlinskih preizkusih, katerih rezultati so podani na sliki 5, so dobili vrednosti, katerih medsebojni odnosi so zelo podobni kot pri vrednostih, dobljenih z visokotlačnim mlinskim laboratorijskim preizkusom. Razlike so samo tedaj, ko veliki udarci povzročajo lomljenje in odkrušenje zelo krhkih vrst železa, kot je na primer martenizirano s 4 % Ni in 2 % Cr.

Slika kaže trdoto, žilavost in obrabno obstojnost različnih mlinskih krogel, izdelanih iz jekel in vrst železa, ki se uporabljajo za izdelavo oblog mlinov. Prikazane trdote so preračunane iz podatkov, izraženih v enotah Rockwella. Izvirne trdote so dobljene z merjenjem na obrabljeni površini krogel. Trdote pod hladno utrjeno površino krogel so torej nižje od navedenih. V tabeli

Oznaka na sl. 5	Material krogel	Kemijska sestava (%)				
		C	Mn	Cr	Mo	Ni
A	Martenizirano visokoogljično Cr-Mo jeklo	1,0	0,8	6,0	1,0	
B	Martenizirano visokoogljično Cr-Mo jeklo	0,7	0,7	2,0	0,4	
C	Martenizirano srednjeogljično Cr-Mo jeklo	0,4	1,5	0,8	0,4	
D	Perlitno visokoogljično Cr-Mo jeklo	0,8	0,8	2,5	0,4	
E	Avstenitno 12 % Mn jeklo	1,2	12,0	—	—	
F	Martenizirano Cr-Mo belo železo	2,8	1,0	15,0	3,0	
G	Martenizirano visokokromovo belo železo	2,7	1,0	26,0	—	
H	Martenizirano Ni-Cr belo železo	3,5	1,5	2,0	—	4

kemijskih sestav so prikazane oznake posameznih materialov, ustrezne oznakam na sliki 5.

Na sliki sta ločeno prikazani skupini jekel in železa. Žilavost je nanesena v razredih, ki so določeni za vsak material na osnovi laboratorijskih podatkov in na osnovi podatkov o obnašanju posameznih materialov v uporabi, to je o njihovem nagnjenju h krušenju ali lomljivosti.

Stopnje odpornosti proti obrabi temeljijo na indeksu 100 za visokoogljčno martenzitno jeklo (A). Vrednosti nad 100 pomenijo večjo hitrost obrabe, manjše vrednosti manjšo hitrost, kot je pri tem martenzitnem jeklu A.

Iz diagrama se vidi, da je pri martenzitnem belem železu hitrost obrabe v glavnem obratno sorazmerna trdoti krogel in žilavost ne vpliva. Tudi legiranost ne vpliva bistveno, kot smo s primerjanjem sestav in vzdržnosti ugotovili.

Drugače pa je pri jeklih. Pri tej skupini bi bila obrabna obstojnost tudi odvisna v glavnem od trdote, ko bi ne bilo zraven jekla z 12 % Mn, katerega krogle so po obrabi kazale na površini

večjo trdoto, kot je bila tista, ki je določala obrabo prvotnih večjih krogel.

Pri analizi obrabne obstojnosti smo upoštevali poleg trdote še žilavost zaradi velike žilavosti jekla z 12 %, kajti žilavost tu kompenzira hladno utrjenje površine. Razlika pa je tudi med načinom obrabe v tem primeru in v primeru, ki je prikazan na sliki 4, kjer je bil tlak peska vendarle manjši! Nekoliko podoben pojav kot v tem primeru (sl. 5) je opaziti tudi v primeru mlinskih krogel, prikazanem na sl. 1. Ker je v primeru na sl. 1 kemijska sestava vseh krogel približno enaka, ni močnega vpliva hladnega utrjenja. Vendar se na sliki 1 vidi, da je pri mletju mehkejših rudnin martenzitna struktura jekla krogel veliko ugodnejša od perlitne. Posebno razločno se to vidi za mineral živce.

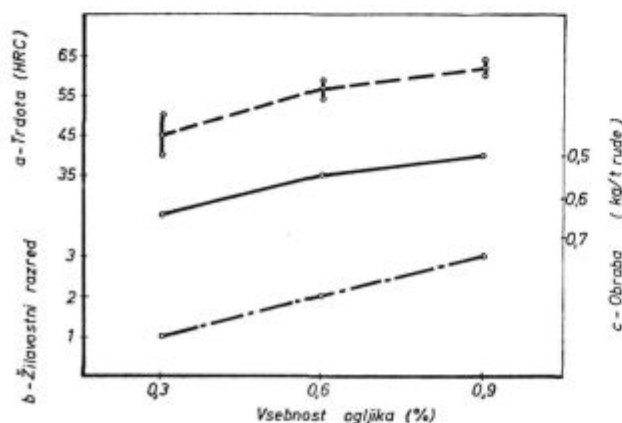
Pri preizkušanju mlinskih krogel so pri Climaxu ugotovili vpliv vsebnosti ogljika in trdote jekla na odpornost proti obrabi.

Krogle so bile iz jekel sledečih sestav in trdot:

Vrsta krogel	C %	Mn %	Si %	Cr %	Mo %	B %	Trdota HRC
A	0,25	0,90	0,30	0,60	0,20	0,002	40—50
B	0,55	0,90	0,25	0,30	0,05	0,001	54—58
C	0,80	0,70	0,30	0,20	0,15	0,002	60—64

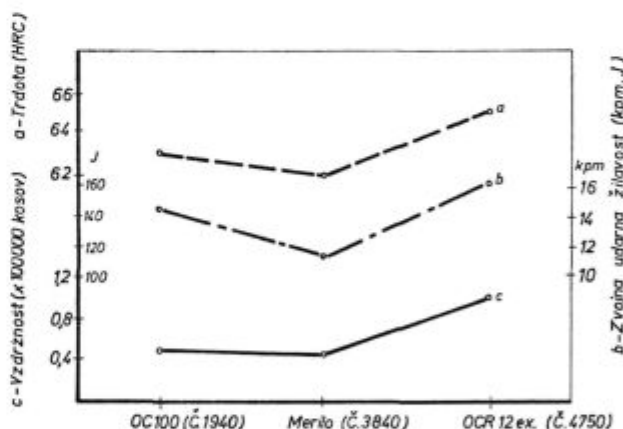
Vpliv kemijske sestave je odločilen za vzdržnost. Tudi v tem primeru je vpliv žilavosti na vzdržnost negativen, kot se vidi iz slike 6, kjer je žilavost podana v obliki razredov in pomeni nižja številka razreda višjo žilavost.

Slika 7 kaže poseben primer orodij za oblikovanje pločevine mehkega jekla. Oblika, na katero naj se deformira 3 mm debela pločevina, je precej zapletena in je zato oblikovanje zelo ostro. Orodja so bila iz jekel OC 100 (Č.1940), Merilo (Č.3840) in OCR 12 ex. (Č.4750). Iz slike bi se dalo sklepati, da na vzdržnost še najbolj vpliva trdota orodja,



Slika 6

Vpliv ogljika v jeklu mlinskih krogel na njihovo obrabo.

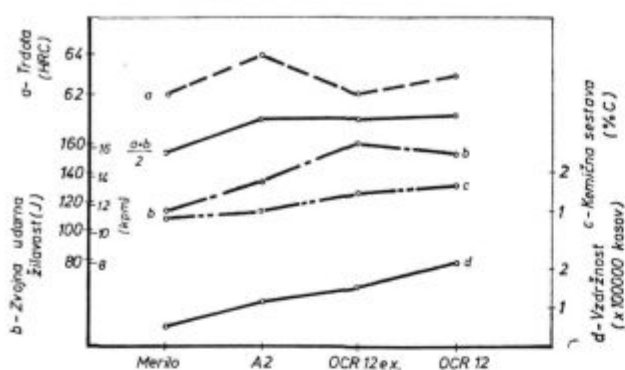


Slika 7

Obraba matric za oblikovanje mehke jeklene pločevine.

vendar lahko tudi žilavost, to je struktura jekla. Strukturo lahko prikažemo tudi s kemijsko sestavo, vendar v tem primeru ni potrebno, kajti razločno se vidi vpliv vsebnosti ogljika. Iz drugih poskusov na podobnih orodjih je razvidno, da je v resnici kemijska sestava jekla orodja za oblikovanje jekla najodločilnejši dejavnik. Pri tem so seveda zahtevane zadovoljive trdote.

Slika 8 kaže vzdržnost orodja stiskalnice, ki upogiba vroče valjane trakove mehkega železa do kota 90°. Jeklo trakov ima 0,6—0,85 % C in trdoto 37—42 HRC. Trakovi so 1,5 mm debeli. Vzdržnost

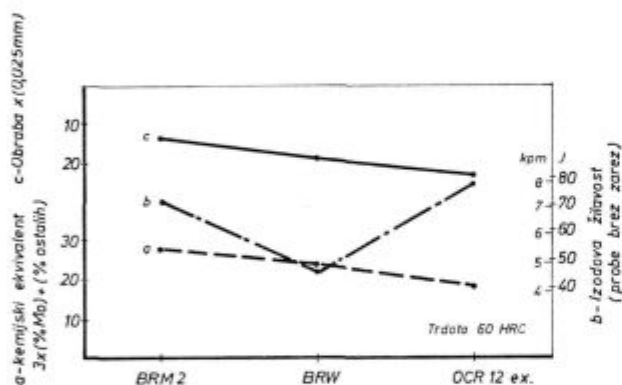


Slika 8

Obraba matric za krivljenje jeklenih trakov.

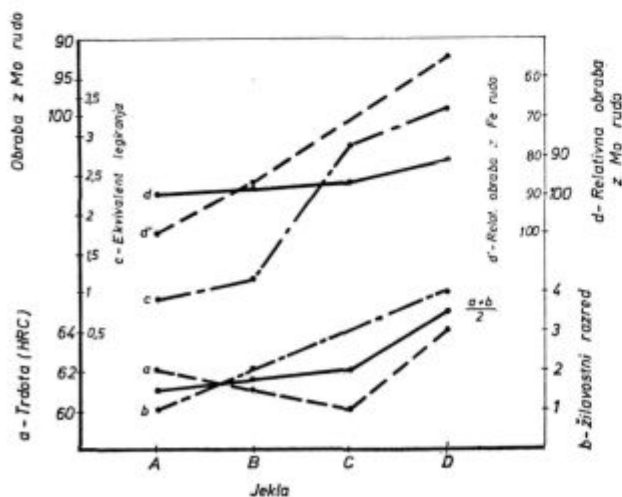
se lahko za silo ponazori s sintetično krivuljo trdote in žilavosti, toda zanesljiveje sklepamo na vzdržnost orodja iz kemijske sestave jekla, oz. že iz vsebnosti ogljika. Zvojna udarna žilavost najbrž ni zanesljiva postavka za sklepanje na vzdržnost.

Slika 9 kaže obstojnost prebojnih trnov za luknjanje svetlo luženih trakov iz silicijevega jekla.



Slika 9

Obraba trnov za prebijanje tračnega železa.



Slika 10

Vpliv ogljika v jeklu mlinskih krogel na njih obrabo.

Žilavostne vrednosti so izbrane na osnovi znanih trdot. Vpliv kemijske sestave je razločno viden. Zanimiv je velik vpliv molibdena. Ker je število preizkušenih jekel majhno, ne moremo napovedati, ali ta odnos vplivnosti elementov ne velja samo za preizkušano skupino treh jekel.

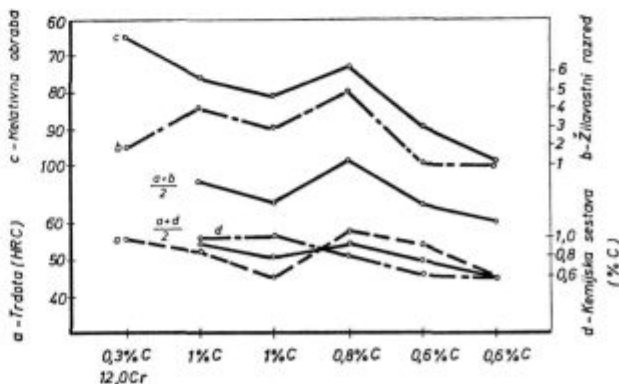
Tudi slika 10 kaže odločen vpliv legiranja, to je predvsem vsebnosti ogljika na vzdržnost mlinjskih krogel. Čeprav pa sta visokoogljčni visokokromovi jekli najbolj obstojni, se za mlinjske krogle ne uporabljata, ker so cenejše krogle iz jekla z 1,15 % C. Kot ekvivalent legiranja je prikazan v diagramu rezultat seštetja odstotkov vsebnosti ogljika in za desetkrat zmanjšane vsebnosti legiranih elementov. Vpliv legiranja je dobro viden zato, ker gre za tako visoko stopnjo legiranja in vsebnosti ogljika, da je vpliv trdote zabrisan.

Kemijske sestave preizkušenih jekel so:

Vsebnost %	A	B	C	D
C	0,8	1,15	1,5	0,25
Mo	2,12	0,5	1,0	1,0
Cr		12,0	12,0	

Zanimivo je, da dobimo krivuljo, ki je podobna krivulji obrabne obstojnosti, tudi s sintezo krivulje trdote in v nasprotno smer odmerjene krivulje žilavosti.

Poseben primer obrabe predstavljajo sita (slika 11). Prikazana je obstojnost sit iz prokrona in iz raznih ogljičnih jekel. Na obstojnost ima velik vpliv trdota, vendar pa sodočlata tudi legiranost in struktura jekla, iz katerega so žice sita. Tako ne more biti manj obstojno sito iz OC 100 (Č.1940), kjer so žice mehkejšje, kot sito iz žic jekla z 0,6 % C, ki so lahko trše. Vpliv same trdote zmanjša, in s tem poveča vpliv kemijske sestave, krivulja žilavosti, ki jo odštevamo od krivulje za trdoto. Takšen postopek se dobro obnese pri ogljičnih jeklih. Premalo se upošteva vpliv legiranih elementov v legiranih jeklih, kajti žilavost teh jekel ni v enakem



Slika 11

Obraba žic v sitih.

odnosu glede na trdoto kot pri nelegiranih jeklih, temveč so ta bolj žilava. To pomeni, da pri manjši trdoti legiranih jekel žilavost ni »zadosti majhna«, da bi prikazala vpliv legiranosti. Zato bi morali imeti različne ekvivalente za različne legirne elemente. V tem primeru na sliki 11 nastopa samo eno legirano jeklo, zato nismo pristopili k raziskavi vpliva kroma.

Takšna seštevavanja so možna zaradi tega, ker je žilavost orodnih jekel z 1 % C nesorazmerno visoka glede na žilavost nižjelegirane z 0,8 % C.

Slika 12 prikazuje primere obrabe mlinskih oblog iz štirih različnih tipov jekel. Obloge iz teh jekel so bile nameščene na tistih delih mlina, ki so najbolj obremenjeni na udarce. Mlin s krogelami je imel premer 3 metre in je mlet z veliko hitrostjo, tako da so bili udarci na plošče zares močni. Pri teh tipih mlinov zato pogosto uporabljajo plošče iz drugačnih jekel za srednji del, kjer so močni udarci in iz drugačnih za končne dele, kjer so udarci precej šibkejši.

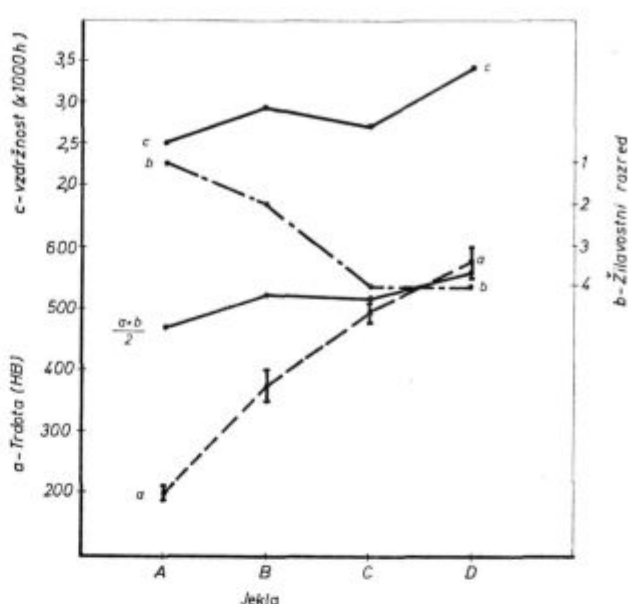
Tabela prikazuje približne kemijske sestave, toplotno obdelavo in trdote preizkušanih oblog.

Tabela: Mlinske obloge

Oznaka na sl. 7	Tip jekla	C	Kemijska sestava (%)				Mo	Toplotna obdelava	Trdota (HB)
			Mn	Si	Cr				
A	Avstenitno Mn	1,2	12,0	0,6				Gašeno	192—212
B	Perlitno Cr-Mo	0,8	0,8	2,5	0,5	0,4		Kalj. na zraku + pop.	352—401
C	Martenzitno Cr-Mo	0,7	0,7	0,6	1,5	0,4		Kalj. v soli + pop. 480° (martemp.)	477—514
D	Martenzitno Cr-Mo	0,7	0,7	0,6	1,5	0,4		Kalj. v soli + pop. na 260°	555—601

Preizkušali smo dve plošči manganskega jekla, štiri plošče jekla B, pet plošč jekla C in osem plošč z največjo trdoto. Vse plošče so bile v začetku dimenzijsko enake in v mlinu so ostale vse dotlej, da so se obrabile v območju največje obrabe skorajda popolnoma. Pogoji obrabe so bili za vse plošče enaki. Diagram na sliki 12 prikazuje povprečno dobo, ki so jo vzdržale v mlinu posamezne skupine plošč.

Trše od martenzitnih jekel je najboljše za tovrstne obloge, kot so ugotovili po večkratnih primerjalnih preizkusih plošč iz tega jekla in plošč iz perlitnega jekla. Perlitno jeklo je naslednji najboljši uporabni material, ker dolgo vzdrži in ker daje zaradi razmeroma zelo dobre žilavosti zagotovilo proti nevarnosti prezgodnjega loma. Z dodatnimi preizkusi so ugotovili, da je martenzitno jeklo za te namene zadosti žilavo in tako so skorajda izključili uporabo drugih jekel za udarno



Slika 12
Udarčna obraba mlinskih oblog iz raznih tipov jekel.

obremenjene obloge tovrstnih mlinov. Mehkejša in drugačnega jekla in avstenitno jeklo sta se pokazala za manj primerna materiala plošč za mline, zato se v glavnem ne uporabljata več.

Rezultati preizkusov, s katerimi so prišli raziskovalci pri Climaxu do jasne slike o uporabnosti jekel različnih struktur za mlinske obloge, kažejo na odločilen vpliv strukture materiala na odpornost proti obrabi. Ker pa je strukturne razlike zelo težko prikazati kvantitativno na osnovi metalografskih pregledov, preostane kot merilo strukturnih lastnosti trdih jekel poleg trdote še žilavost.

K diagramu na sliki 12 bi lahko pripomnili, da sintetična krivulja trdote in žilavosti ni podobne oblike kot krivulja dejanske vzdržljivosti, katero skuša prikazati. Premalo je poudarjena obstojnost perlitnega jekla (B) glede na mehkejšega od martenzitnih dveh (C). To hibo bi se dalo

odpraviti z majhnim zmanjšanjem merila na lestvici za trdoto ali zvečanjem merila za žilavost. Zaradi čisto tehničnih postopkov pri izdelavi diagramov teh sprememb nismo opravili. Takšna pomanjkljivost sinteze krivulje obstojnosti pa ne predstavlja resne ovire za ugotovitev razločnega vpliva trdote in žilavosti na obrabno odpornost v takšnih primerih uporabe. V opisanem primeru nam manjkajo podatki o dejanski žilavosti preiskovanih jekel, zato se tudi ne more postaviti popolnoma ustrežajočega razmerja vpliva žilavosti in trdote. Zato je tudi sintetična krivulja lahko nekoliko drugačna, kot bi bila s pomočjo konkretnih podatkov o žilavosti preiskovanih jekel. Diagram se ne more s stoodstotno zanesljivostjo uporabiti za nadaljnje predvidevanje uporabnosti drugačnih materialov za te namene, dokler se ne določi tem, do zdaj preiskovanim jeklom žilavosti v oprijemljivih enotah, ki bolj ustrezajo resničnemu stanju kot razdelitev na razrede.

Pretres rezultatov

Iz vseh diagramov se vidi, da ima na obrabno obstojnost odločilen vpliv trdota. Edinstven vpliv trdote se vidi v primerih, ko se primerjajo orodja, izdelana iz samo enega tipa jekla, ki ima morda različne vsebnosti ogljika ali pa je samo toplotno obdelano na različne trdote. To se vidi na primerih mlinskih krogel iz jekla z 0,8 % C (slika 1). Tak edinstven vpliv trdote je posebno razločno viden pri rezalcih stekla (slika 2). Podobno je pri mazanih zobnikih iz različnih jekel in vrst železa (slika 3). Jasnejšo podobo pa dobimo, če upoštevamo tudi žilavost, kajti obraba je tu udarna.

Če primerjamo različne tipe jekel z različnimi tipi železa, ki se uporabljajo za izdelavo mlinskih krogel, se tudi pokaže trdota kot odločujoči dejavnik, vendar je opaziti vpliv strukture, ki jo ponazarja kombinacija trdote in negativna žilavosti (sl. 4). Trdoto, primerno za dosego velike obrabne obstojnosti, lahko dosežemo z legiranjem in toplotno obdelavo ustreznih orodij in konstrukcijskih delov nasploh. Učinek legiranja lahko obravnavamo zase kot odločilnega za obrabno obstojnost (sl. 6, 7, 8, 9, 10). Pri tem lahko dobimo krivuljo relativne obrabne obstojnosti tudi s pomočjo krivulje trdote in krivulje v nasprotno smer obrnjene žilavosti. Takšna krivulja je podobna krivulji legiranosti, kot se vidi iz slik 6, 10.

Poseben primer vpliva legiranosti in trdote je podan na sliki 11, kjer tudi lahko dobimo krivuljo relativne obrabne obstojnosti s pomočjo trdote in v negativno smer štete žilavosti. Ne moremo pa izrisati krivulje obstojnosti samo s pomočjo prikaza legiranosti, temveč moramo poleg nje upoštevati tudi trdoto.

Razlika med primerom po sliki 10 in 11 je v tem, da je pri orodnih jeklih, ki niso legirana (slika 11) in imajo precej nižjo vsebnost ogljika kot legirana visokoogljikna visokokromova jekla (slika

10), vpliv ogljika premajhen, da bi mogli samo na osnovi kemijske sestave sklepati na vzdržnost orodij, oz. v tem primeru sit.

Značilen primer kombiniranega vpliva trdote in žilavosti je razviden s slike 8, ki kaže vzdržnost orodij za krivljenje trdega jekla, ter iz slike 12, ki kaže vzdržnost mlinskih oblog pri udarni obrabi. To sta jasna primera, ko žilavost neposredno učinkuje na obrabno obstojnost konstrukcijskega dela. Žilavostni sovpliv pa je viden tudi na slikah 3, 4 in 7.

Žilavost vpliva posredno kot izravnalec nihanj trdote. Z njo prikazujemo vpliv legiranosti, kadar imamo opravka z več jekli ali vrstami železa in se ne more predstaviti vzdržnost samo s trdoto. To se dogaja v primerih mirne obrabe z mineralnimi snovmi, kot kažejo slike 5, 6, 7, 10, 11 in delno tudi sliki 3 in 4, kjer v enem primeru nimamo obrabe z minerali, ampak mazano obrabo kovin.

Pregled čez celotno zbirko diagramov nam pokaže, da je možno razvrstiti vse prikazane primere v štiri skupine glede na odvisnost obrabne obstojnosti od trdote, kemijske sestave, strukture in žilavosti.

V prvi skupini diagramov je viden vpliv samo dveh dejavnikov. Na obrabno obstojnost mlinskih krogel in rezalcev stekla vplivata samo struktura (toplotna obdelava) in trdota. Ker imamo v vsakem od teh dveh primerov opravka samo z enim jeklom, se lahko tudi vpliv strukture prikaže kar s trdoto (sl. 1 in 2). V drugi skupini so diagrami, ki zajemajo vsak po več tipov jekel in celo železa (sl. 3, 4, 5, 6, 10, 11). V vseh teh primerih je moč ponazoriti obstojnost s krivuljo, ki je rezultanta trdotne krivulje in krivulje navzdol nanesene žilavosti. Negativ žilavosti predstavlja vpliv strukture, oz. kemijske sestave materialov orodij v toliko, v kolikor ga ne more predstaviti trdota. V primerih 6, 10, 11 pa se je vpliv kemijske sestave lahko kar direktno odčital, kajti izrazit je vpliv ogljika na lastnosti orodij.

Razlika med prvo in drugo skupino diagramov je v tem, da je v prvi skupini v vsakem diagramu zajeto samo eno jeklo, v drugi pa so upoštevane kemijske sestave orodij in je zato poleg trdote pomemben še dejavnik, ki kaže razlike v strukturi različnih jekel in vrst železa. Ta dejavnik je negativ žilavosti.

Podoben pa je pri obeh skupinah primerov obrabe način obrabe, ker gre za obrabo z nekovinskimi snovmi, le v enem primeru za obrabo mazanih kovinskih površin.

Različni od teh dveh sta tretja in četrta skupina primerov, ki kažeta obrabo pri udarnih pogojih in obrabo s kovinami. Važno je, da so orodja za oblikovanje mehke pločevine iz primerne legiranega jekla. Trdota naj bo seveda ustrezna legirnemu tipu jekla orodja. Tip jekla za orodje je v takih primerih zelo pomemben (sl. 7 in 9).

Pri udarni obrabi z minerali ali pri obdelovanju trdega jekla nastopajo zadosti močni udarci, da se

lahko ponazori obrabna obstojnost orodij samo s krivuljo rezultanto trdote in žilavosti (sl. 8 in 12). Pri orodjih za obdelavo jekla se dobi poleg tega krivulja relativne obrabne obstojnosti s prikazom kemijske sestave jekla orodja (sl. 8).

Poleg strukture je za material orodja najpomembnejša lastnost trdota. V primerih mirne obrabe z nekovinami se kombinira trdota z negativom žilavosti in tako izrazi vpliv strukture na obrabno obstojnost. V primerih udarne obrabe pa se pokažeta kot komplementarni komponenti krivulje relativne obrabne obstojnosti trdota in žilavost orodij. Predvsem trdota in žilavost odločata o obrabni obstojnosti orodij za obdelavo nekovin ter o obrabni obstojnosti mazanih kovinskih površin. Za obdelavo kovin pa so primerna le orodja iz manjšega števila jekel, ki morajo doseči primerno trdoto, predvsem zato pa morajo imeti primerno legirano sestavo.

SKLEP

Konstruiranje krivulj relativne obrabe izhaja iz predpostavke, da na obrabo najbolj in s primerljivim učinkom vplivata trdota in žilavost obremenjenega orodja.

Preizkusi različnih orodij so pokazali, da na obrabno obstojnost odločilno vplivata trdota in legirna sestava orodja. Žilavost kot neposredni vplivni dejavnik pride v poštev pri udarnih obrabah in negativ žilavosti skupaj s trdoto zajema vpliv legiranosti na obstojnost orodij, ki jih obrabljajo nekovine.

Stopnja legiranja je posebno pomembna za orodja, ki obdelujejo kovine. Drugačen model obrabe pa predstavljajo mlinke, krogle, obloge, sita, obloge, po katerih drsi mineral, orodja za obdelovanje nekovin nasploh. Za ta orodja se uporabljajo zelo različni materiali, zato je vpliv kemijske sestave nejasen. Pri teh je obraba zmerom velika, lahko pa se zmanjša s primerno toplotno obdelavo orodja. Potrebno je doseči optimalno razmerje med trdoto in žilavostjo. Tako lahko uporabljamo cenejša jekla in železo. Poznati je treba dosegljive žilavosti jekel in železa, ki se že uporabljajo, in tistih, ki bi morda lahko ustrezala za enake namene.

Literatura:

1. Metals Handbook, Vol. I, Properties and Selection of Metals, 8th Edition, American Society for Metals, str. 244 do 257, 704 do 705.

ZUSAMMENFASSUNG

Abriebfestigkeit der Werkzeuge und der Konstruktionsteile im allgemeinen, ist hauptsächlich von der chemischen Zusammensetzung und der Härte des Maschinenteiles abhängig. Im Falle einer schlagartigen Abnutzung, sind die Härte und Zähigkeit die wichtigsten Eigenschaften, welche die Abriebfestigkeit bestimmen. Aus dem Artikel ist es ersichtlich, in welchen Fällen die Zähigkeit schon einflussbar ist. Die Daten über die Zähigkeit der Maschi-

nenteile, welche von Mineralen auf ruhige Weise abgenutzt werden, sind sehr wertvoll.

Zähigkeitswerte zusammen mit den Härtewerten können die Daten über den Legierungsgrad gut ersetzen. Bei den Werkzeugen für die Metallbearbeitung ist wichtig vor allem der Legierungsgrad und weniger die Härte und die Zähigkeit.

SUMMARY

Wear resistance of tools and machine parts in general depends mainly on the amount of alloying elements and on the hardness of the machine part. In the cases of impact wear the hardness and the toughness are the most important properties determining the wear resistance. The paper describes cases in which the toughness is already influential. The data on toughness of machine

parts which are in a constant way worn by minerals are very valuable. The known combination of toughness and hardness data can well be used instead of the data about the amount of alloying elements. In tools for working metals the degree of alloying is more important than hardness and toughness alone.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопротивление износу инструментов и конструктивных деталей в общем, зависит главным образом от содержания легирующих элементов и твердости машинных деталей. В случаях ударного износа именно твердость и вязкость определяют сопротивление износу. В статье приведены данные из которых видно когда наступает влияние вязкости. Значение данных о вязкости машинных

деталей при износе с спокойным путем с минералами весьма велико. Вязкость, совместно с твердостью, хорошо замещает данные о степени легирования. При инструментах для обработки металлов значение имеет главным образом легирование, менее же только твердость и вязкость.