

Vpliv trenja, poti, drsne hitrosti in pritiska na obrabo

UDK: 620.178.162

ASM/SLA: Q9n, Q9p, 3-74, 3-67

Franc Uranc

Trenje in obraba sta med največjimi večnimi problemi tehnike in tehnologije. Raziskava skuša nekoliko osvetliti odvisnost obrabe od drsne poti, pritiska in hitrosti drsenja ter od trenja.

UVOD

Dosedanje preiskave so pokazale, da je visoka trdota daleč najpomembnejša od splošno merjenih lastnosti snovi, tudi ko želimo veliko obrabno obstojnost.

Na obrabno obstojnost pa vpliva tudi žilavost snovi, tako da so na povečanje pritiska ali hitrosti drsenja krhka jekla občutljivejša od žilavih. Pri majhnih razlikah pritiskov ali hitrosti ni vpliva žilavosti na obrabno obstojnost.

Vedno je trše jeklo obstojnejše od mehkejšega, če je razlika med njima več kot 5 HRC in če so obrabne razmere v mejah: pritisk pod 2 N/mm^2 , hitrost pod $0,8 \text{ m/s}$.

DOLŽINA DRSNE POTI IN TRDOTA PREIZKUŠANCEV

Merili smo potek obrabe sedmih različno trdih jeklenih preizkušancev. Obraba je potekala pri pritisku 2 N/mm^2 in hitrosti drsenja $0,03 \text{ m/s}$ po plošči iz žarjenega utopnega jekla.

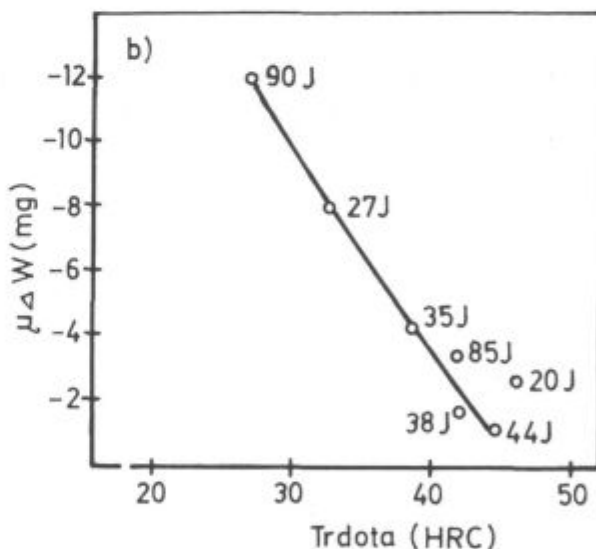
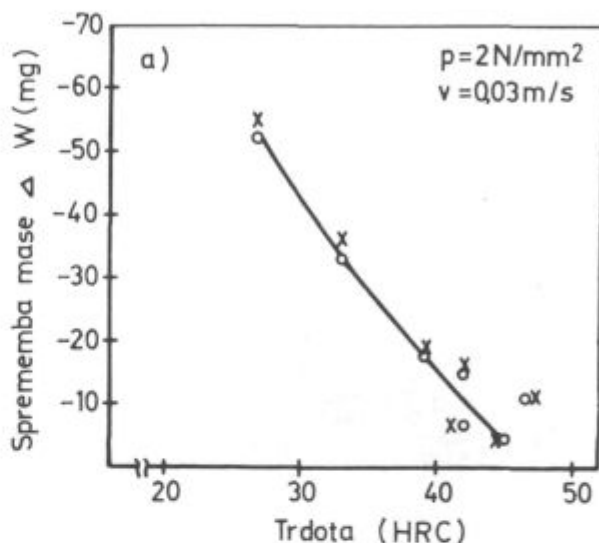
Slika 1a kaže, da je obraba pri preizkušancih, mehkejših od 40 HRC, obratno sorazmerna trdoti, nad to trdoto pa je videti odstopanje vrednosti obrabe od krivulje predvsem navzgor, k večji obrabi.

Različni obliki točk pomenita dvoje meritev obrabe. Manjša obraba (krožci) je meritev po taki obrabi, ki je še sorazmerna dolžini obrabne poti. Večja obraba (križci) je blizu končni obrabi ter je merjena po 100 metrih drsenja. Razlika med obema meritvama je zaznavna le pri preizkušancih, mehkejših od 40 HRC.

Slika 1b kaže, da odstopanje točk obrabe treh preizkušancev od krivulje ni posledica različnih količnikov trenja. Pogosto ne moremo meriti obrabe do istega stanja, ko je stopnja povečevanja obrabe že zelo majhna. Ne vemo, po kako dolgem drsenju nastopi zmanjšana stopnja obrabe v različnih razmerah pri posameznih jeklih.

Poskušajmo ugotoviti, ali moremo iz kratkotrajnih poskusov sklepati vsaj na odnose med dolgotrajnimi obrabami jekel!

Slika 2 kaže, da je strmina krivulje začetne obrabe sorazmerna s končno obrabo na utopni plošči. Predpostavimo, da velja podobna linearna odvisnost tudi pri obrabi z drugačnimi snovmi, z drugimi hitrostmi in pritiski. Če ta predpostavka velja, nam omogoča sklepanje na obrabno obstojnost različnih preizkušancev na podlagi skrajšanih poskusov. Če so vsi primerjani preizkušanci drseli enako dolgo pot po enakem delovnem sred-



Slika 1:

Odvisnost obrabe (a) in produkta obrabe ter trenjskega količnika (b) od trdote malolegiranih jekel. Preizkušanci drsijo po plošči iz utopnega jekla s hitrostjo $0,03 \text{ m/s}$ in pritiskom 2 N/mm^2 .

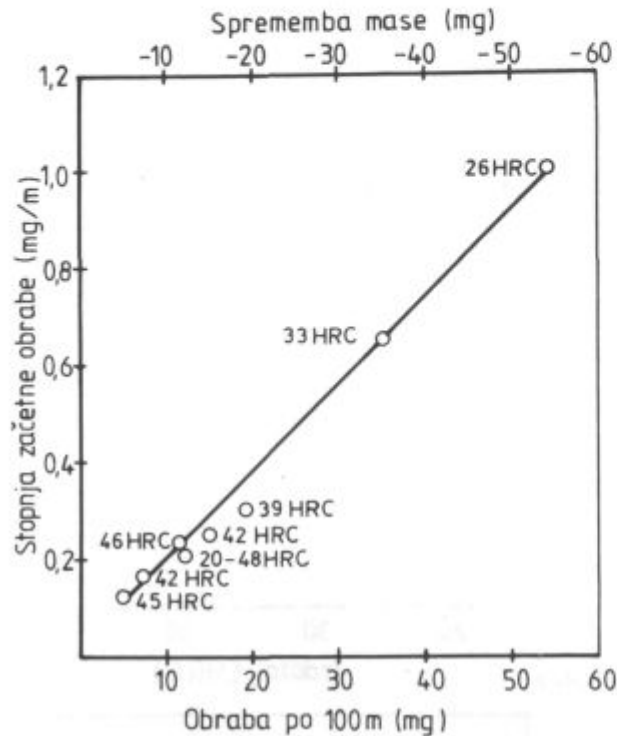
o ... največja obraba, ki je še sorazmerna z drsno potjo,
x ... obraba po 100 m drsenja.

Fig. 1

Dependence of the wear (a), and wear product and friction coefficient (b) on the hardness of low alloyed steel. Samples are sliding on a plate of die steel with speed of $0,03 \text{ m/s}$ and under pressure of 2 N/mm^2 .

o ... the highest wear still proportional to the path of sliding
x ... wear after 100 m of sliding

stvu, smemo namesto strmine premice v diagramu (obraba — drsna pot) upoštevati kot merilo obrabe kar obrabo. Podobno sorazmerje obrabne obstojnosti in trdote kot pri obrabi z utopnim jeklom velja pri obrabi z brusom. Nesorazmerno malo se obrablja le jeklo, mehkeše od 21 HRC.



Slika 2:
Odvisnost intenzivnosti obrabe pri 10 m drsenja od obrabe po 100 ali več metrih drsenja preizkušancev iz malolegiranih jekel po plošči utopnega jekla.

$p = 2 \text{ N/mm}^2$,
 $v = 0,03 \text{ m/s}$.

Fig. 2

Relationship between the wear intensity after 10 m of sliding and the wear after 100 and more meters of sliding on the plate of die steel for samples of low-alloyed steel

$p = 2 \text{ N/mm}^2$
 $v = 0.03 \text{ m/s}$

2. OBRABNA SNOV IN TRENJE

Obraba je na neki način odvisna od trenja med preizkušancem in delovno snovjo. Na sliki 3 so narisane vrednosti trenjskih količnikov štirih ali osmih jekel, drsečih po treh snoveh.

Če je delovna snov zelo trda (brusni kamen) ali zelo mehka (jeklo trdote 110 HB), je trenje obratno sorazmerno trdoti preizkušancev.

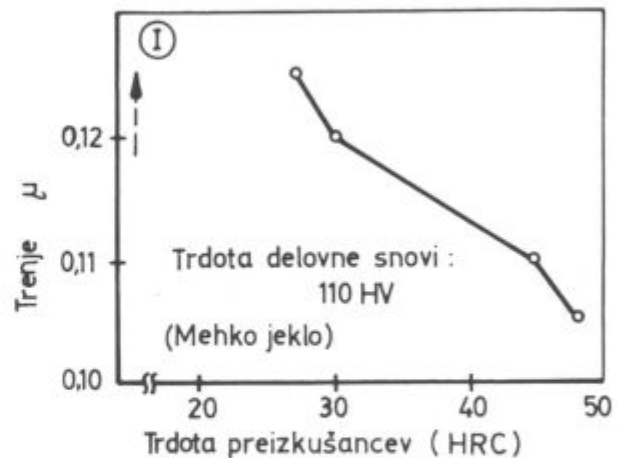
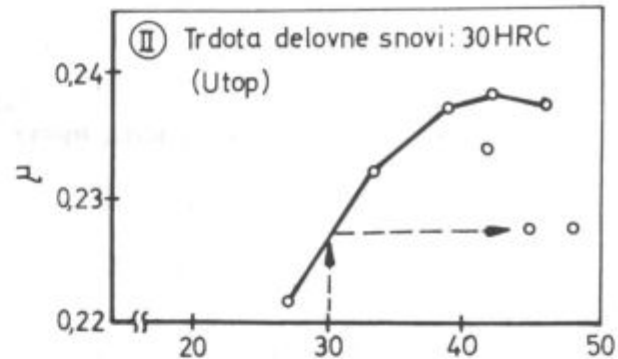
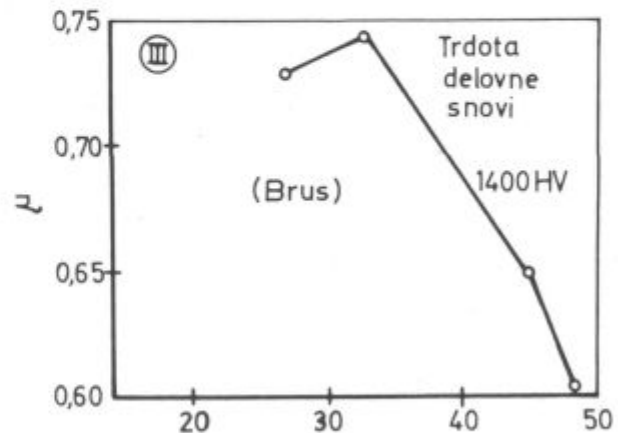
Kot kaže, se preizkušancem s trdoto pod 30 HRC z zmanjšajočo trdoto zmanjšuje trenje na brusnem kamnu.

V primeru, ko so preizkušanci podobno trdi kot delovna snov, je količnik trenja sorazmeren trdoti preizkušancev, vse dokler niso preizkušanci za okoli 15 HRC trši od delovne snovi.

S slike 4 vidimo, kako se povečuje obraba treh vzorcev jekla, drsečih po snoveh, na katerih imajo preizkušanci zelo različno trenje.

Mehko jeklo (110 HV) zelo malo ali nič ne obrablja preizkušancev.

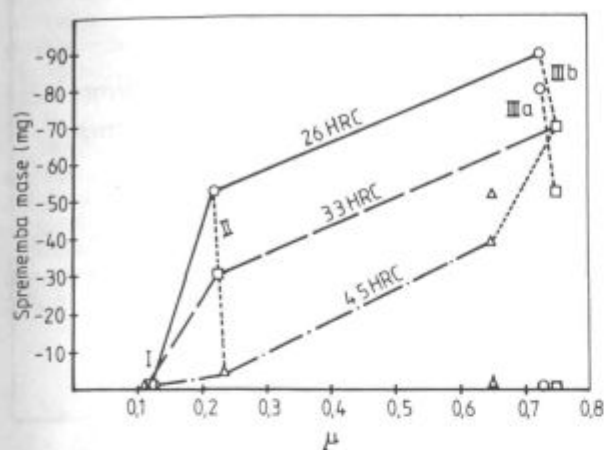
S podvojitvijo trenja, tj. z drsenjem na utopni plošči, se za več kot 100-kratno poveča obraba preizkušancev trdot 26 oz. 33 HRC. Veliko manj se poveča najtršemu preizkušancu, verjetno zato, ker je za celih 15 enot HRC trši od delujoče snovi, utopa. Obraba na enoto dolžine poti v območju intenzivne obrabe je pri drsenju po mehkem jeklu manj kot 0,05 mg/m (po 10 m drsenja, po 20 metrih se celo poveča masa preizkušancev), pri drsenju po utopnem jeklu pa je od 0,1 mg/m (jeklo trdote 45 HRC) do 1 mg/m.



Slika 3:
Vpliv trdote jeklenih preizkušancev in vrste podlage — delovne snovi na količnik drsnega trenja.

Fig. 3
Influence of the hardness of steel samples and the type of pad — abrasion material on the coefficient of sliding friction

Oznaka	Delovna snov Vrsta	μ	p (N/mm ²)	v (m/s)	s (m)
I	Jeklo (150HV)	0,11	1	0,1	10
II	Jeklo (300 HV)	0,22	2	0,03	60
III _a	Brusni kamen	0,7	0,03	0,2	47
III _b	Brusni kamen	0,7	0,03	0,8	47



Slika 4:

Ovisnost obrabe od trdote preizkušancev in od trenja z delovno snovjo

Fig. 4

Wear dependence on the hardness of samples and the friction of abrasion material

Dršenje po brusni plošči terja trikrat večjo silo za premagovanje trenja, kot je potrebna za dršenje po utopu. Intenzivnost obrabe je 1 do 2 mg/m, torej 2 do 10-krat večja kot po drsenju po utopni plošči.

Če je hitrost drsenja 0,2 m/s, sta obrabi trših preizkušancev enaki kljub zelo različnim trenjem. Če pa dvignemo hitrost na 0,8 m/s, se obraba vseh preizkušancev poveča glede na obrabo z utopom za 35 do 40 mg.

Če je hitrost drsenja po brusnem kamnu 0,8 m/s, se zdi, da se s prehodom od utopnega jekla, kot delovnega sredstva, na brusno ploščo poveča obraba vseh treh jekel sorazmerno s trenjem. Hitrost 0,2 m/s po brusu pa zmanjša razliko med obrabama žilavih jekel (26 HRC, 90 J in 45 HRC, 44 J) proti razliki obrab pri drsenju po utopnem jeklu.

Slika 5 kaže odvisnost obrabe od trdote jekel in od vrste delovne snovi (približne vrednosti tornega količnika). Razen v primeru počasnega drsenja po brusni plošči je obraba obratno sorazmerna trdoti jekla. V primeru drsenja po mehkem jeklu pride do navarjenja tega jekla na preizkušanelec, kot kaže diagram.

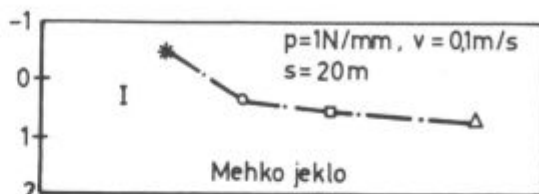
Premici obrab z utopno in brusno ploščo tečeta paralelno, kar napoveduje možnost izračuna obrabe za vsak drsni par pri danih hitrostih, pritisku in drsni poti ter trdoti drsečega telesa.

3. TRENJE IN HITROST DRSENJA

Na sliki 6 je z razmerjem »k« prikazano povečanje obrabe zadelj povečanja hitrosti od 0,03 na 0,12 m/s. Preizkušance je obrabljalo utopno jeklo. Povečanje obrabe je večje pri trših jeklih, predvsem pri drugem (krhkem: 26 J), kot pri žilavem jeklu, trdote 26 HRC (90 J).

Produkt količnika »k« s trenjskim količnikom ne pokaže spremembe v poteku krivulje.

Oznaka	Delovna snov Vrsta	μ	p (N/mm ²)	v (m/s)	s (m)
I	Jeklo (150 HV)	0,11	1	0,1	10
II	Jeklo (300 HV)	0,22	2	0,03	60
III _a	Brusni kamen	0,7	0,03	0,2	47
III _b	Brusni kamen	0,7	0,03	0,8	47



Slika 5:

Ovisnost obrabe preizkušancev iz malolegiranih jekel od njihove trdote in od vrste delovne snovi.

S_k ... največja obraba, ki je še sorazmerna z dolžino drsne poti. Razmere pri obrabi so enake, kot kaže razpredelnica ob sliki 4.

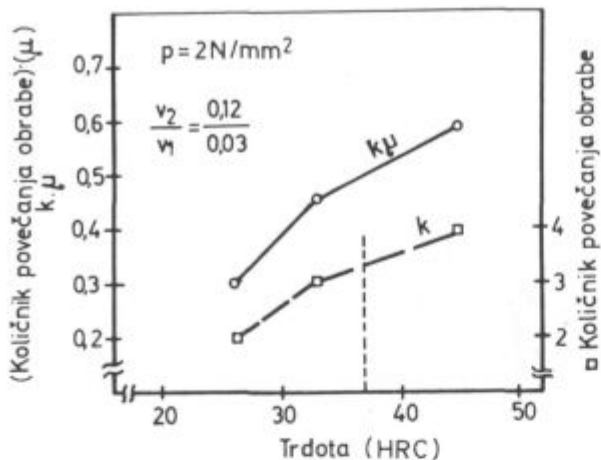
Fig. 5

Dependence of wear of low-alloyed steel samples on their hardness and the type of abrasion material

S_k ... the highest wear still proportional to the length of the sliding path. The conditions of the wear testing are given in table at Fig. 4

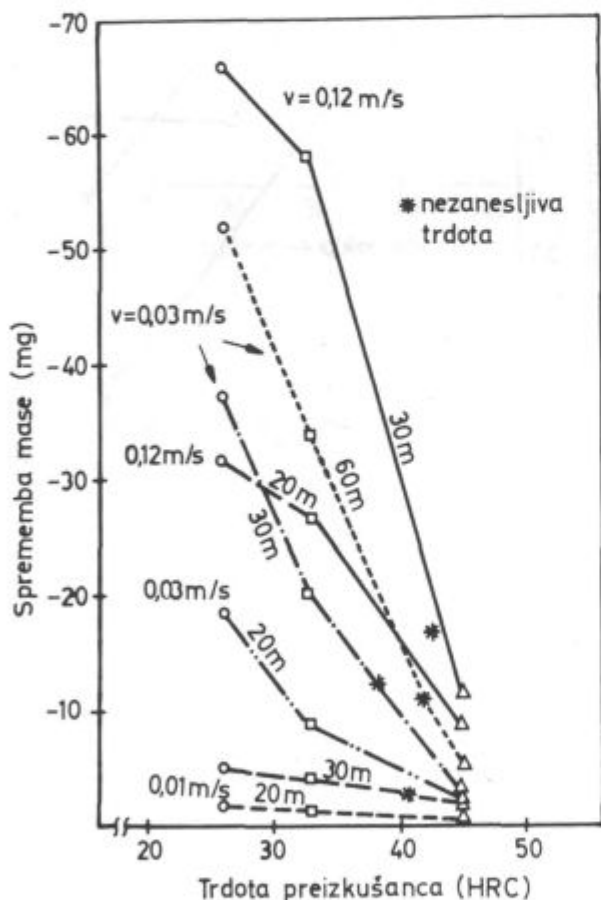
Slika 7 kaže velik vpliv povečevanja hitrosti drsenja na absolutno povečanje obrabe mehkega jekla (26 HRC) in na relativno povečanje obrabe trdega jekla (45 HRC). Učinek povečanja hitrosti je velik pri spremembah v območju majhnih hitrosti (0,01–0,03 m/s), medtem ko je pri povečanju od 0,03 na 0,12 m/s le 50 % povečanja obrabe jekla, trdote 26 HRC, oz. 4-kratno povečanje obrabe preizkušancev, trdote 45 HRC.

Če je pritisk preizkušancev na delovno snov le 1 N/mm², je učinek povečanja hitrosti nasploh zelo majhen



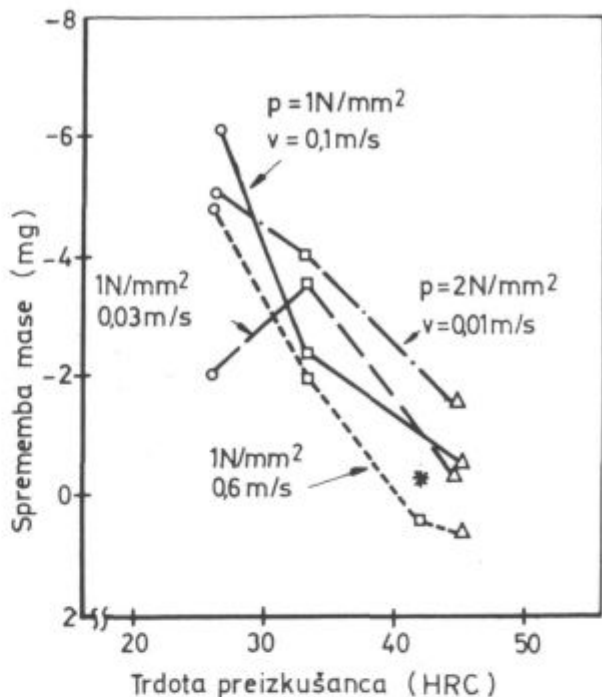
Slika 6: Povečanje obrabe zaradi povečanja hitrosti drsenja po utopni plošči je večje pri tršem jeklu. Dolžina drsenja je 30 m

Fig. 6 Increase of wear due to increased sliding speed on the die plate is greater for a hard steel. Length of sliding path was 30 m



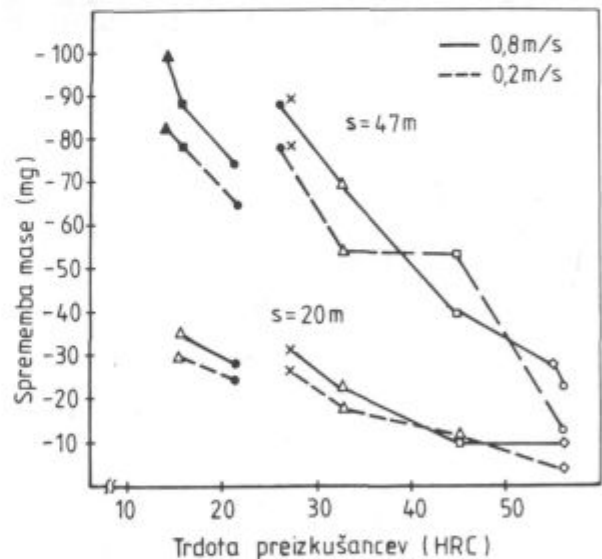
Slika 7: Vpliv hitrosti in dolžine drsenja različno trdih jekel na njihovo obrabo z utopno ploščo. $p = 2 \text{ N/mm}^2$

Fig. 7 Influence of the speed and length of sliding of variously hard steel on their wear on the die plate $p = 2 \text{ N/mm}^2$



Slika 8: Vpliv pritiska in hitrosti drsenja različno trdih preizkušancev na njihovo obrabo z utopno ploščo

Fig. 8 Influence of pressure and the sliding speed of variously hard steel on their wear on the die plate



Slika 9: Vpliv hitrosti drsenja po brusu na obrabo različno trdih jekel. Dolžina poti je 47 m. $p = 0,03 \text{ N/mm}^2$

Fig. 9 Influence of the sliding speed on a grinder on the wear of variously hard steel. Length of path was 47 m. $p = 0,03 \text{ N/mm}^2$

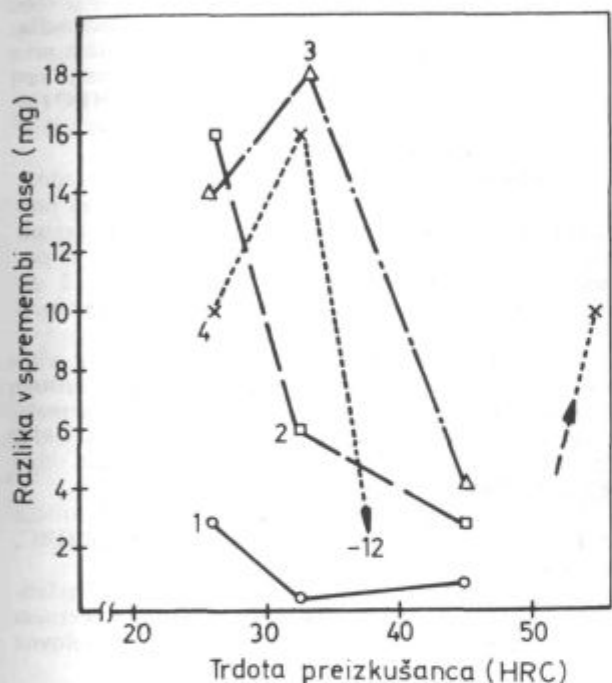
sl. 8. Pri mehkelem jeklu more sicer prevladati učinek desetkratno povečane hitrosti nad učinkom za polovico zmanjšane pritiska, to kažeta zgornji točki obrabe preizkušanca s trdoto 26 HRC, toda jeklo je v vseh pri-

merih veliko občutljivejše za povečanje pritiska, kot pa za povečanje hitrosti drsenja.

Sl. 9 ne kaže bistvene razlike med krivljama obrabe z brusno ploščo pri večji ali manjši hitrosti, razen pri jeklu, trdote 45 HRC in žilavosti 44 J. Očitno je razlika med hitrostma drsenja po brusni plošči premajhna, da bi razkrila učinek žilavosti na obrabno obstojnost.

Veliko absolutno povečanje obrabe mehkejših izmed preizkušanih jekel pri povečanju hitrosti kaže slika 10. Povečanje obrabe zaradi povečanja hitrosti nad 0,03 m/s je posebno izrazito pri krhkem jeklu (33 HRC).

Nenavadno malo se poveča obraba s povečanjem hitrosti po brusu žilavemu jeklu, trdote 26 HRC, jeklu s trdoto 45 HRC pa se celo zmanjša, kar je verjetno zasluga bainitne strukture tega preizkušanca. Nasploh pa žilavost ne vpliva toliko, da bi spremenila vrstni red obrabnih obstojnosti, določen z vrstnim redom trdot preizkušanca.



Slika 10:

Razlika med obrabo pri večji hitrosti in obrabo pri manjši hitrosti.

- 1. $p = 2 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,01 \text{ m/s}$
 $p = 1 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,03 \text{ m/s}$
- 1... $p = 2 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,01 \text{ m/s}$
 $v = 0,03 \text{ m/s}$
- 3... $p = 2 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,03 \text{ m/s}$
 $v = 0,12 \text{ m/s}$
- 4... $p = 0,03 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,2 \text{ m/s}$
 $v = 0,8 \text{ m/s}$
- 1, 2, 3... po 10 m drsenja po utopni plošči
- 4... po 47 m drsenja po brusni plošči

Fig. 10

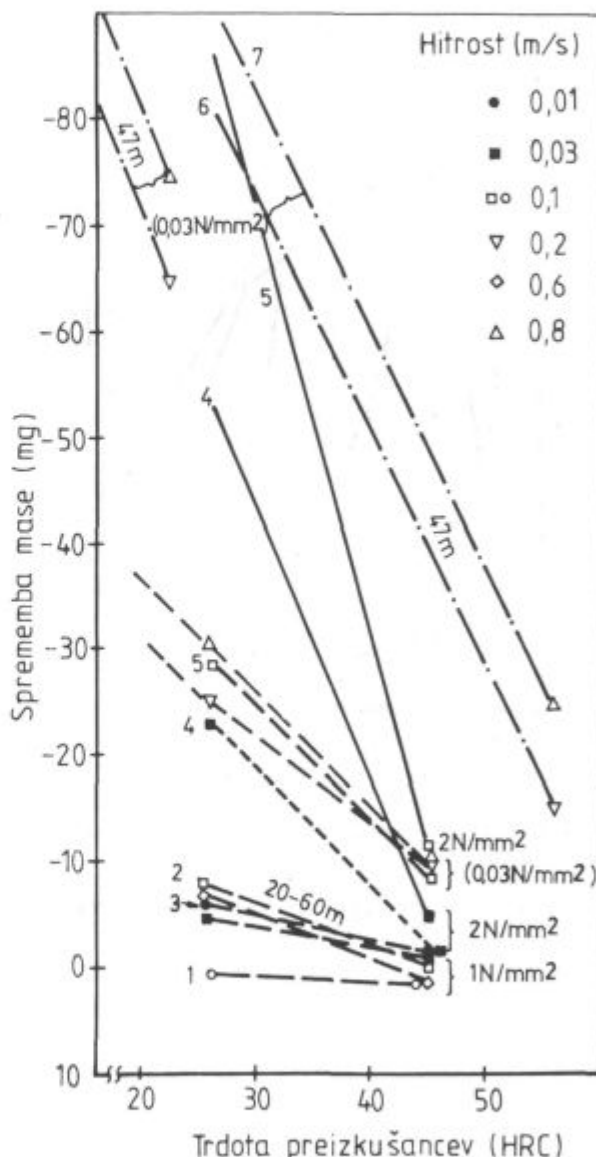
Difference in wear at higher speeds and wear at lower speeds

- 1. $p = 2 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,01 \text{ m/s}$
 $p = 1 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,01 \text{ m/s}$
 $v = 0,03 \text{ m/s}$
- 2... $p = 2 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,03 \text{ m/s}$
- 3... $p = 2 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,03 \text{ m/s}$
 $v = 0,12 \text{ m/s}$
- 4... $p = 0,3 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,2 \text{ m/s}$
 $v = 0,8 \text{ m/s}$
- 1, 2, 3... after 10 m sliding on die plate
- 4... after 47 m sliding on grinder plate

4. MOŽNOST NAPOVEDOVANJA OBRABE

Na podlagi podatkov, ki jih vsebujejo diagrami 7, 8, 9, je narisana diagram na sliki 11 in so izračunane strmine krivulj obrabe za diagram na sliki 12. Sl. 12 kaže odvisnost obrabe od trdote preizkušanca, ne glede na vrsto delovne snovi.

Ker je med obrabama z mehkim jeklom in s trdim brusnim kamnom vendarle razlika, je ob premicah, ki podajajo obrabo z brusnim kamnom, napisan preizkusni pritisk v oklepajih ($0,03 \text{ N/mm}^2$). Dejanska stična površina z brusom je 12 do 15-krat manjša od geometrijske (1). Poleg pritiska je označena ob ustreznih krivljah tudi dolžina drsnih poti, po kateri je bila izmerjena obraba.

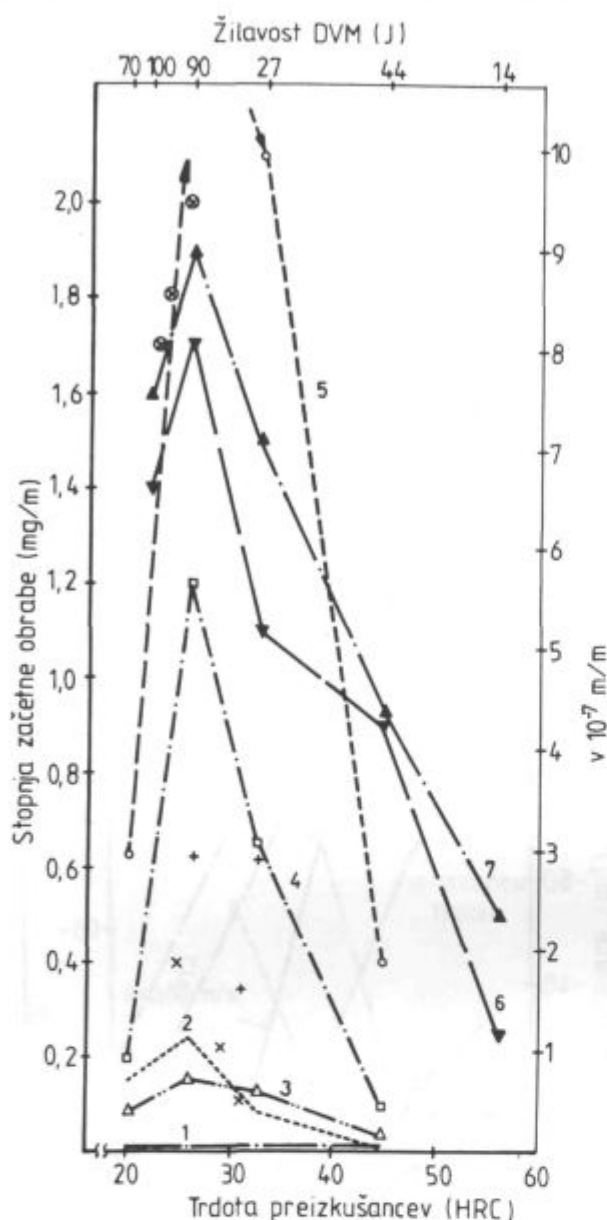


Slika 11:

Približne vrednosti obrabe različno trdih malolegiranih jekel po drsenju s pritiski med 1 do 3 in več N/mm^2 in hitrostmi 0,01 do 0,8 m/s.

Fig. 11

Approximate values of wear for variously hard low-alloyed steel after sliding under pressures between 1 and 3 or more N/mm^2 and at speeds 0.01 to 0.8 m/s



Slika 12:

Intenzivnost obrabe v začetnem stadiju v odvisnosti od trdote preizkušanih jekel

Fig. 13

Intensity of wear in the initial period depending on the hardness of tested steel

Slika 12 kaže za vsak preizkušane (dane trdote in prikazane žilavosti) strmino krivulje začetne obrabe, izračunane po diagramih obraba — drsna pot. Taka strmina krivulje oz. stopnja obrabe je sorazmerna končni obrabi z utopom in domnevno tudi z drugimi snovmi (brusnim kamnom), zato naj bi podatki s tega diagrama kazali resnična razmerja med odpornostmi različno trdih jekel proti obrabi.

Nad trdoto 26 HRC velja premo sorazmerje obrabne obstojnosti in trdote, pod to trdoto pa je zelo pomembna žilavost.

5. ZAKLJUČKI

1. Obrabno obstojnost proti določeni delovni snovi dobro opredeli intenzivnost obrabe v začetnem stadiju, tj. strmina začetka krivulje v diagramu obraba — drsna pot.

2. Drсна obraba je obratno sorazmerna trdoti preizkušancev, če le-ti niso za več kot 10 enot Rockwella (HRC) mehkejši ali trši od delujoče kovine, v tem primeru žarjenega utopnega jekla. Obratno sorazmerje velja tudi pri obrabi z brusom, le jeklo trdote 21 HRC (in verjetno mehkejša) se obrablja manj, kot ustreza zakonu obratnega sorazmerja.

3. V območju obratnega sorazmerja obrabe in trdote je pri drsenju po utopnem jeklu trenjski koeficient premo sorazmeren, pri drsenju po brusni plošči pa obratno sorazmeren trdoti preizkušancev. Delovna snov, ki poveča trenje 2 do 3-krat, poveča obrabo jekel 2 do 20-krat. Odvisnost med trdoto in obrabo se s spreminjanjem hitrosti drsenja ne spreminja.

4. Povečanje hitrosti drsenja po utopni plošči s pritiskom $2 N/mm^2$ sorazmerno poveča obrabo jekla, trdote 45 HRC, pol manj pa se poveča absolutna obraba mehkejših jekel (npr. 26 HRC) in relativna obraba jekla, trdote 45 HRC. V preizkusnih območjih s tlakom močnejše kot s hitrostjo vplivamo na obrambo.

Podvojitve tlaka poveča obrabo jekla, trdote 45 HRC, sedemkrat in obrabo jekla, trdote 26 HRC, dvainpolkrat.

5. Jeklu z znano trdoto moremo napovedati relativno obrabo, tj. intenzivnost obrabe v njenem začetnem stadiju, če poznamo hitrost, pritisk in trdoto delovne snovi.

Literatura:

- Wellinger K., H. 94) Uetz, G. Gommel: Verschleiss durch Wirkung von körnigen mineralischen Werkstoffen. Materialprüfung 9 (1967) Nr. 5, s. 153—160.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Vergrößerung der Reibung um zwei bis dreimal durch die Änderung des Arbeitsstoffes verursacht um zwei bis zwanzigmalige Vergrößerung des Verschleisses. Während eines schleifenden Verschleisses ist die Reibung umgekehrt proportional der Härte der Probe, während des adhesiven Verschleisses ist sie direkt proportional.

Die Intensität des Verschleisses im Anfangsstadium kann als ein Mass der Nichtwiderstandfähigkeit gegen Verschleiss im allgemeinen angenommen werden. Für bestimmte Drücke

und Gleitgeschwindigkeiten können die Verschleissbeständigkeit und die Härte als direkt proportional aufgezeichnet werden.

Auf den adhesiven und den schleifenden Verschleiss hat im untersuchten Bereich die Druckvergrößerung einen dreimal grösseren Einfluss als die Vergrößerung der Gleitgeschwindigkeit. Mit der Druckvergrößerung wird der Verschleiss härterer Stähle relativ grösser als der Verschleiss von weicheren Stählen.

SUMMARY

Friction-testing media which increase friction up to twice or three times accelerate the wear by the factor of two to twenty. Friction by abrasion is inversely proportional to the hardness of the sample, while friction by adhesive wear is directly proportional to the hardness.

Intensity of wear in the initial period can be the measure for wear resistance in general. Wear resistance and hardness

are linearly proportional for definite pressures and speeds of sliding.

In the investigated region of applied pressures and speeds there is the effect of pressure increase three times higher than the effect of the speed increase. The increased pressure effects the wear of harder steel to a greater extent than the wear of softer steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Двойное до тройное увеличение трения при помощи изменения материи увеличивает износ в два до двадцати раз. В течении абразивного износа трение обратно пропорционально твёрдости образца, а при адгезийском износу — прямо пропорционально.

Интенсивность износа в начальной фазе представляет собой мерилу неустойчивости против износу вообще. Можно легко нарисовать прямое соотношение устойчивости

износа и твёрдости для определенные давления и скорости скольжения.

На адгезийский и абразивный износ имеет в исследованных областях увеличение давления три раза больше влияние чем увеличение скорости скольжения. С увеличением давления релятивно больше увеличивается износ твёрдых сталей в сравнении с более мягкими.