

DK 621.874.06

Novi vidiki za uporabo površinsko kaljenih tekalnih koles

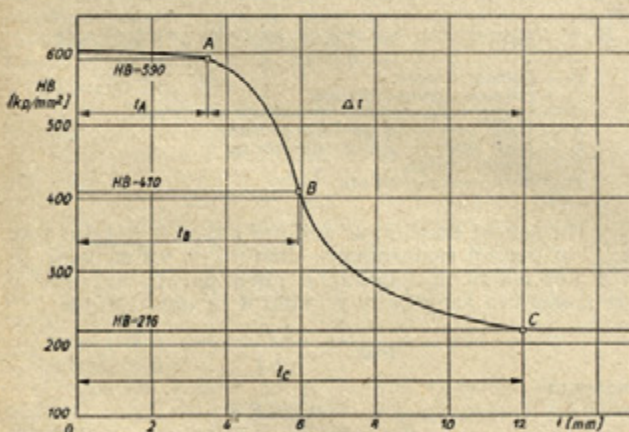
MARKO KOS

Pri tekalnih kolesih na napravah, ki se premikajo pod velikimi obremenitvami in z razmeroma majhnimi hitrostmi po tirnicah, kakor razni žerjavi in prekladalni mostovi, transporterji, bagri itd., se čedalje bolj uporabljajo boljši materiali s površinskim kaljenjem v težnji, da se zmanjša teža ter povečajo specifične obremenitve. Izkušnje kažejo, da so do sedaj uporabljeni homogeni materiali pri tem odpovedali. Meje obremenitev ter vplivi kaljene površinske plasti na poškodbe tekalne ploskve kakor tudi na življenjsko dobo kolesa niso bili obdelovani načrtno. Da je treba površinsko kaljena kolesa uporabljati povsem drugače kakor nekaljena, če naj ustvarjajo možnosti, ki jih je treba znati izkoristiti, je treba pregledati celotno napetostno stanje ter pri tem upoštevati lastnosti trde površinske skorje.

Pri presojanju vpliva globine kaljene plasti lahko s pridom uporabimo dognanja preizkusov, ki so bili opravljeni na zobniških pogonih: vpliv globine kaljene plasti in kalilnega postopka na trdnostne lastnosti raznih materialov, vpliv prehoda trdote s površine v smeri proti jedru, zlasti pa glede pogojev, pri katerih nastaja tvorba gubic ali odlusčenje. Bistvo vprašanja je vpliv globine kaljene plasti na trajnostno utripno trdnost pod lokalnimi napetostmi z močnim strižnim delovanjem ter na kotalno trdnost tekalnih ploskev.

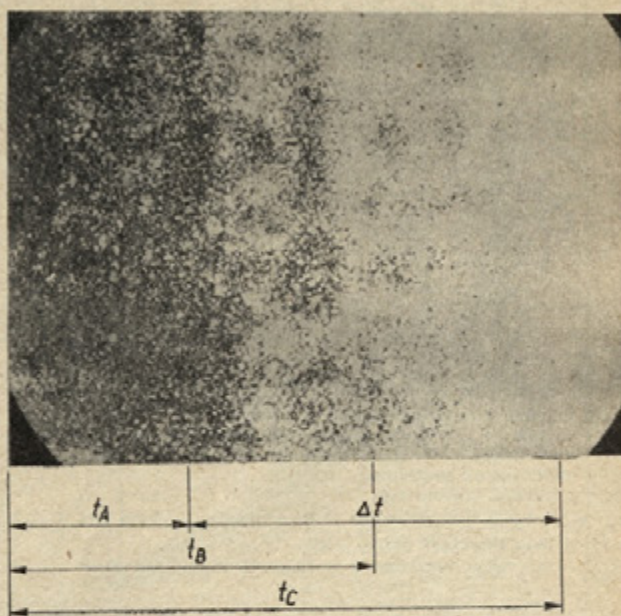
1. POJEM GLOBINE KALJENE PLASTI

Pojem globine kaljene plasti tu ni vedno enako definiran. Kakor je vidno s slike 1, lahko globino t_K merimo na razne načine; najenostavnejše je, meriti globino s pomočjo krivulje trdote, ki jo snemamo na normalnem prerezu. Imenska globina naj bo vedno delovna globina do točke B. Ta točka sovпада s plastjo, ki je vidna na prelomnem mestu. Na krivulji poteka trdote (sl. 1) je točka B preokretna točka krivulje. Dasi v literaturi ni natančneje definirano [1], lahko jemljemo



Sl. 1: Potek trdote kaljene plasti v odvisnosti od razdalje do površine

- t — razdalja od površine,
- t_A — globina največje trdote,
- t_B — globina srednje trdote, točka B ustreza preokretni točki krivulje kaljene plasti,
- t_C — globina mehkega jedra; točka C ustreza malo povečani obrusni sliki (glej sliko 2) ali tudi kaljeni plasti, ki je vidna v prelomni sliki,
- Δt — širina prehodnega področja med robnim materialom in jedrom, ki je vidno v jedkani obrusni sliki



Sl. 2: Povečana obrusna slika prehodnega področja kaljenega sloja in jedra (Označbe glej pri sliki 1!)

$t_K = t_B$, kar se strinja z raznimi podatki in izkuštvami o vplivu kalilne globine. Na jedkani obrusni sliki (sl. 2) je videti prehode raznih področij.

2. OBREMITVE V POVRŠINSKI PLASTI TEKALNE PLOSKVE

Poškodbe, ki nastajajo med obratovanjem, so drsna obraba zaradi odrgnjenja in oguljenja, tvorba gubic in deloma v posebnih primerih — prelom.

Obraba nastaja kot posledica drsenja med kolesom in tirnico kakor tudi zaradi različnih obodnih hitrosti koničnega kolesnega oboda.

Tvorba in izpadanje gubic v več ali manj približni obliki školjkastih odlusčkov nastajata kot posledica normalnega kotaljenja kolesa po tirnici.

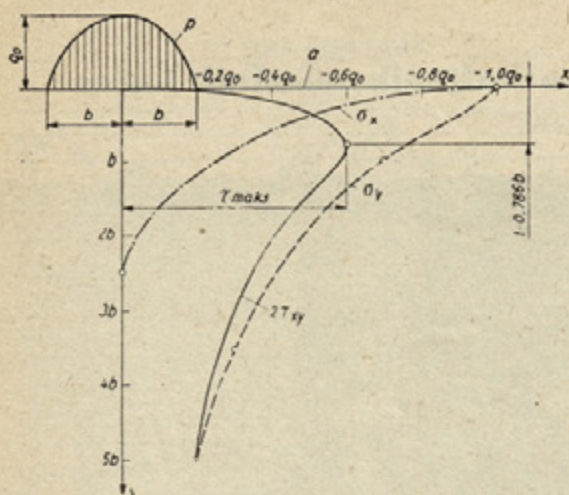
Zlom nastaja zaradi neustrezne konstrukcije profila kolesne glave, o katerem v tem sestavku ne bomo razpravljali.

Obraba tečišča se zmanjšuje z rastočo trdoto površine najprvo zelo občutno, nato počasneje. Pri tem nastaja v površini sami napetost; ta polagoma potuje v sorazmerju z odrgnjenjem v globino plasti, ki leži pod prvotno površino. Obraba je zelo majhna ter nastaja zaradi zaviranja in zagonskih sunkov. Obraba napreduje razmeroma zelo počasi, kakor je pokazala praksa, ker morajo biti tečišča dovolj trda, da se upirajo nastajanju gubic zaradi kotaljenja.

3. NASTAJANJE GUBIC

Nastajanje gubic je predvsem odvisno od kotalnega pritiska ozir. od kotalne odpornosti materiala, ki raste v prvi aproksimaciji linearno s trdoto po Brinellu.

Kotalni pritisk povzroča na površini in pod njo tečišča napetosti po sliki 3. Te napetosti so bile teoretično [2] [3] in tudi eksperimentalno dokazane. Pri tem se lahko naslonimo na izsledke, ki so sicer podlaga kotalni



Sl. 3. Razporeditev napetosti pri ploskem dotiku

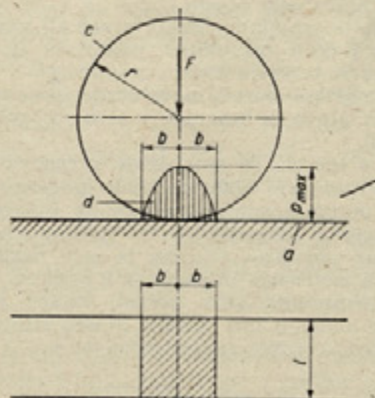
a — dotikalna ravnina kolesa s tirnico,
 p — pritisk v razdalji x od dotikalnišča kolesa vzporedno z ravnino,
 y — razdalja od površine,
 q_0 — največja vrednost p,
 σ_x, σ_y — normalna napetost v x- oziroma y-smeri pri $x = 0$,
 τ — strižna napetost pri $x = 0$,
 τ_{max} — največja vrednost τ v razdalji t pod površino

odpornosti zobnikov [4] ali vseh vrst kotalnih ležajev, ker so si razmere povsem podobne. Dovolj so znani stavki po Hertzu, s katerimi se lahko natančno določi velikost pojavljajočih se pritiskov ter napetosti. Ni pa tako gotovo, katera vrednost napetosti ali neke druge veličine je tista, pri kateri nastajajo prve poškodbe v materialu.

Pri nadaljnjem obravnavanju ločimo dva primera:

a) ploski dotik kolesa z zgornjo ravno površino tirnice (sl. 4) in

b) točkasti dotik kolesa z zaobljeno površino tirnice (sl. 5). Pri obeh se kotalni pritisk razporeja v obliki elipse. Ločita se v vrednosti največjega kotalnega pritiska, ki je pri točkastem dotiku mnogo večji kakor pri ploskem, prav tako tudi v razporeditvi napetosti, ki so pri točkastem dotiku pomaknjene bližje površini.



Sl. 4. Razmestitev kotalnega pritiska pri ploskem dotiku

a — ravnina tirnice,
 b — polovična širina sploščenja,
 c — težišče kolesa s polmerom r in širino l,
 F — obremenitev kolesa,
 p_{max} — največja vrednost kotalnega pritiska,
 d — elipsa razporeditve kotalnega pritiska

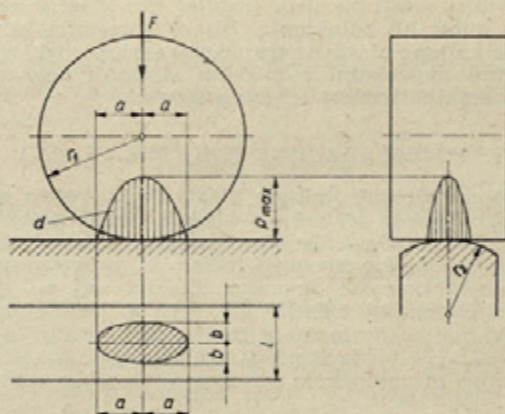
Največ se pri obravnavanju kotalne trdnosti tečišča uporablja hipoteza strižnih napetosti. Po njej se pojavlja maksimum strižne napetosti v globini pod površino: pri ploskem dotiku v razdalji

$$t = 0,786 b \quad (1)$$

od površine (b po sliki 4) v velikosti $\tau_{max} = 0,304 p$ [5] oziroma pri točkastem dotiku v razdalji

$$t = 0,47 b \quad (2)$$

(b po sliki 5) v velikosti $\tau_{max} = 0,31 p$. Po ostalih trdnostnih hipotezah se pojavljajo maksimalne napetosti bližje površini. Tako bi bil po hipotezi normalnih napetosti in hipotezi totalne deformacijske energije $t = 0$. Največja obremenitev se pojavlja torej na površini. Po razteznostni hipotezi in po hipotezi ekvivalenčne deformacijske energije pa izhaja $t = 0,465 b$ oziroma $t = 0,704 b$ za ploski dotik. Torej daje hipoteza strižnih napetosti največjo razdaljo kraja maksimalne obremenitve od površine. Ostale hipoteze dajejo sicer po velikosti mnogo večjo napetost, vendar zaradi značaja poteka trdote proti površini to ni zanimivo, ker je material tem neprimerno odpornejši kakor na prehodni plasti proti mehkeemu jedru, t. j. tam, kjer je $t = t_K$. Ker kalimo zato, da omogočimo prenašanje večjih napetosti, moramo biti prepričani, da so resnično vse napetosti edinele v trdem sloju — ne pa zunaj njega.



Sl. 5. Razmestitev kotalnega pritiska pri točkastem dotiku

r_1 — polmer kolesa,
 r_2 — polmer krivine tirnice,
 d — elipsa razporeditve kotalnega pritiska,
 a — večji polmer elipse sploščenja,
 b — mali polmer elipse sploščenja,
 l — širina tirnice,
 F — obremenitev kolesa

Na osnovi enačbe (2) dobimo največji kotalni tlak p_{max} za prečno razteznostno število $\nu = 0,3$ za jeklo in z E kot elastičnim modulom obeh parnih materialov ter z ostalimi označbami po sliki 4 za ploski dotik:

$$p_{max} = \frac{2F}{\pi b l} \quad (3)$$

oziroma

$$p_{max}^3 = \frac{0,175 F E}{l r} \quad (4)$$

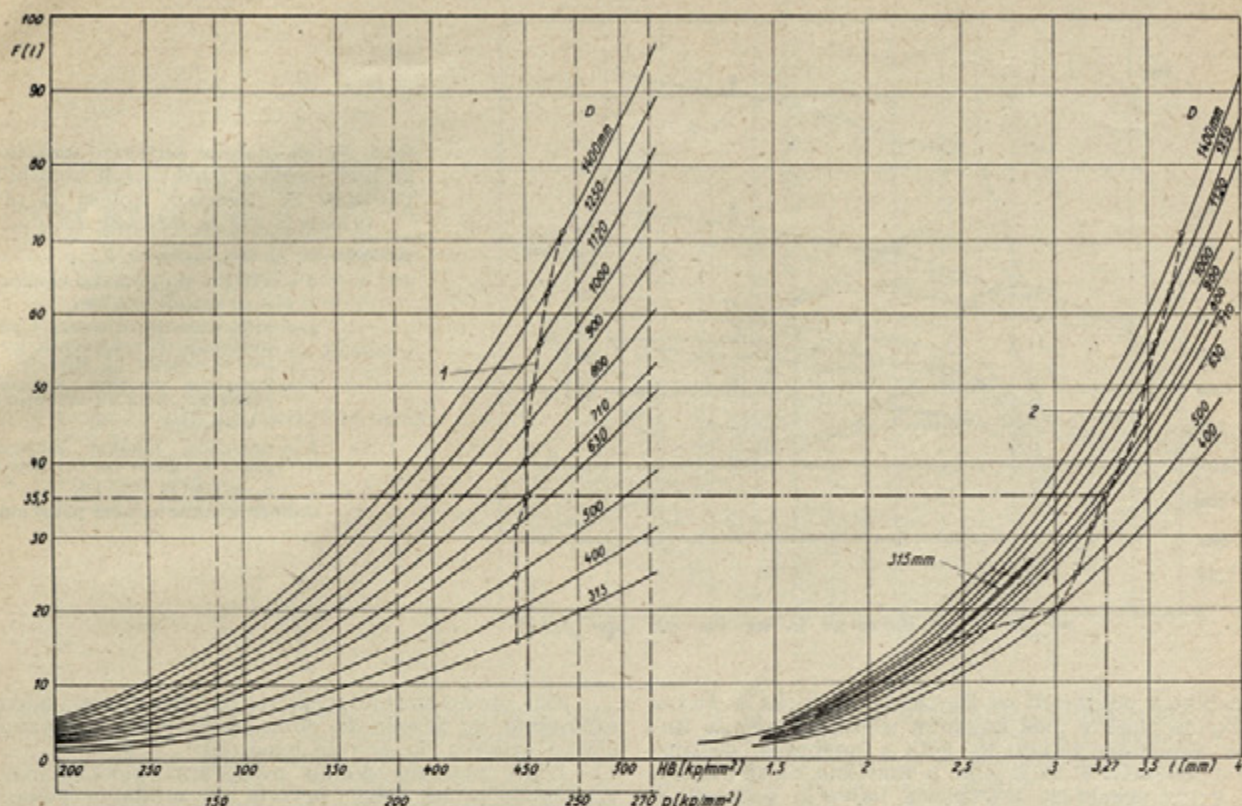
Na podlagi teh dveh enačb ter izraza (1) dobimo za globino največje napetosti pri jeklenih kolesih z $E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ kp/mm}^2$:

$$t = 1,356 \cdot 10^{-4} r \cdot p_{max} \text{ (mm)} \quad (5)$$

s t in r v mm ter p_{max} v kp/mm^2 .

Podobno dobimo za točkasti dotik po [2] in [5] ter z uporabo izraza (2) enačbe za določitev največjih kotalnih pritiskov kakor tudi globine največje napetosti.

Za dopustno obremenitev oziroma trajnostno mejo glede na življenjsko dobo imamo tisto spodnjo mejo



Sl. 6. Dopustna obremenitev koles v odvisnosti od površinske trdote ter globina največje napetosti pod površino pri točkastem dotiku

F — obremenitev kolesa,
 p — dopustni Hertzov pritisk v odvisnosti od trdote (dopustna trajnostna meja),
 t — globina točke največje napetosti pod površino,
 D — premer kolesa.
 Polmer krivine tirnice je 200 mm.
 1 — točke pritiskov pod imenskimi obremenitvami, določenimi na sliki 8, krivulja 4,
 2 — točke globine največje napetosti pri imenskih obremenitvah

Hertzovega pritiska, pri katerem se ne pojavlja niti po 10^7 kotaljenjih nikakršno nastajanje gubic [5]. Pri ploskem dotiku znaša dopustni trajnostni pritisk $p_D = 0,31 \text{ HB}$, če je HB površinska trdota materiala po Brinellu v kp/mm^2 , a pri točkastem dotiku $p_D = 0,525 \text{ HB}$ [4], [5].

V naslednjem so obravnavana tekalna kolesa v standardnih velikostih od 200 do 1400 mm premera.

V diagramu 6 so prikazane dopustne obremenitve pri raznih velikostih tekalnih koles v odvisnosti od trdote tekalne površine, kakor tudi globina pojavljajoče se največje napetosti pod površino pri različnih obremenitvah. Vrednosti veljajo za točkasti dotik pri polmeru temenskega vzbočenja tirnice 200 mm (polmer r_s na sliki 5). Nosilnosti zelo hitro rastejo z rastočo trdoto. Pri naravno trdem materialu (210 HB) je pri točkastem dotiku zelo majhna nosilnost pri vseh velikostih koles.

Diagram 7 kaže potek globine največje napetosti pod površino ter razmerje t/D pri točkovnem pritisku pri tirnici s polmerom 200 mm.

Diagram 8 kaže potek dopustne obremenitve v odvisnosti od velikosti kolesa pri tirnici s polmerom 200 mm za točkasti kakor tudi za ploski dotik. Na osnovi neke srednje trdote plasti 470 HB je določena v krivulji 4 vrsta imenskih obremenitev. Na podlagi te imenske vrste dobimo v diagramu 7 dejansko pojavljajoče se globine največje napetosti. Praktično obsega to področje:

$$1,3 \text{ mm} \leq t \leq 3,68 \text{ mm}$$

Kaljena plast mora segati globlje kakor je področje največje napetosti, in to za 50 do 100 %. Potem

dobimo potrebno področje debeline kaljene plasti za točkasti dotik:

$$1,95 \text{ mm} \leq 1,5 t = t_K \leq 5,52 \text{ mm (z varnostjo 1,5)}$$

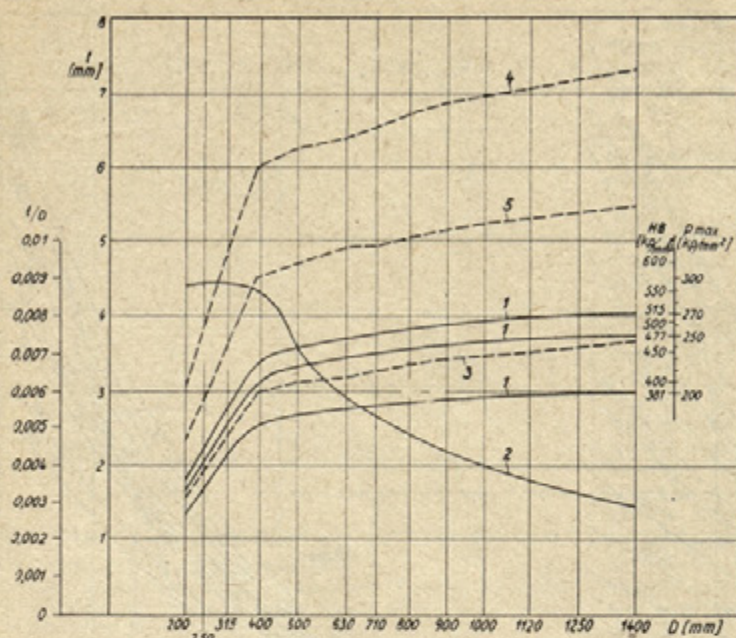
$$2,6 \text{ mm} \leq 2 t = t_K \leq 7,66 \text{ mm (z varnostjo 2)}$$

V diagramu 7 so vrisane potrebne debeline kaljene plasti na osnovi imenskih obremenitev, ki jih določamo iz razpoložljive debeline kaljene plasti kakor tudi iz dopustnega pritiska pri trajnostni meji v diagramu 8 (krivulja 4).

Gornji diagrami se nanašajo na tirnice z železniškim prerezo in polmerom vzbočenja v glavi 200 mm, kakršne so mnoge evropske tirnice ter angleške tirnice po B. S. S. 11: 1936 (polmer je 226 mm). Če se polmer poveča, kakor je to pri ameriških tirnicah po profilu ASCE ter pri angleških žerjavskih tirnicah po B. S. S. 105, kjer je polmer 305 mm, se globina največje napetosti poveča, a pritisk se zmanjša in s tem tudi potrebna trdota. To ne vpliva na gornje ugotovitve, ker krije 100 % varnost pri globini kaljene plasti vse premike.

Dopustni Hertzov pritisk p je pri točkastem dotiku precej večji kakor pri ploskem dotiku — tako pri statični kakor pri dinamični obremenitvi. Tako je za kaljeno jeklo pri krogi na ravni [5] dopustni Hertzov pritisk za statični primer 1,75-krat večji od dopustnega pritiska pri valju na ravni ter 1,4 do 1,7-krat večji pri dinamični obremenitvi. Vzrok je v tem, da so napetosti pri točkastem dotiku trodimenzionalne, a pri ploskem dotiku samo dvodimenzionalne.

Na sliki 9 je prikazano v prostorskem koordinatnem sistemu pomikanje točke maksimalne napetosti

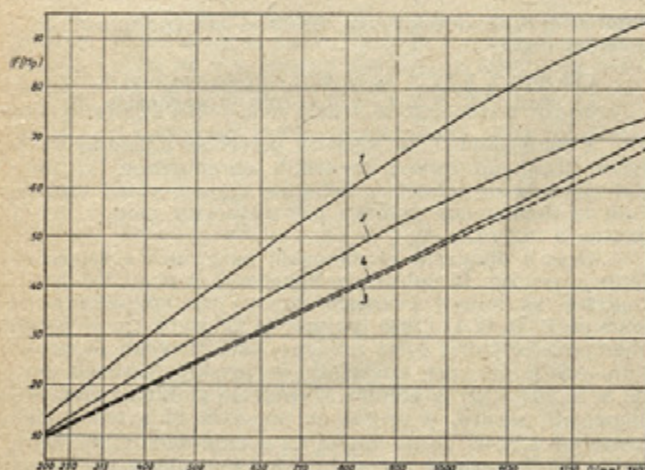


Sl. 7. Potek globine največje napetosti pod površino t pri raznih kotalnih pritiskih in premerih kolesa D ter razmerje t/D za točkasti dotik

Krivulja 1 — t pri različnih p_{max}

- 2 — t/D pri $p_{max} = 270 \text{ kp/mm}^2$ (kar ustreza 515 HB),
 - 3 — točke dejanskih globin t pri imenskih obremenitvah koles, določenih na sliki 6,
 - 4 — potrebne globine kaljene plasti t_K glede na krivuljo 3 z varnostjo $\gamma = 2$,
 - 5 — potrebne globine kaljene plasti t_K glede na krivuljo 3 z varnostjo $\gamma = 1,5$.
- Polmer krivine tirnice je 200 mm

v globino v odvisnosti od Hertzovega pritiska in širine dotikalne ploskve med kolesnim tečiščem in glavo tirnice. Vrednosti veljajo za kolo s premerom 800 mm pri obremenitvi 31,5 t. S slike je razvidno, da se pomika pri širitvi tekalnega dotikalnišča največja napetost v globino, a dopustni pritisk pada. Na nekem področju (pri širini dotikalne ploskve 25 do 50 mm) pade dopustni pritisk pod dejanskega. Vendar je to področje prehodno: tu je še vedno trodimenzionalno napetostno stanje in ga zato ne moremo obravnavati kot samo ploski dotik: dopustni pritisk mora biti dejansko večji, a globina največje napetosti manjša, kar se da ugotoviti samo eksperimentalno.



Sl. 8. Dopustne obremenitve tekalnih koles v odvisnosti od Hertzovega pritiska in načina dotika

- Krivulja 1 — dopustne obremenitve pri točkastem dotiku pri 515 HB (dopustni največji pritisk 270 kp/mm^2),
- 2 — dopustne obremenitve pri točkastem dotiku pri 477 HB (dopustni največji pritisk 250 kp/mm^2),
- 3 — dopustne obremenitve pri ploskem dotiku pri trdoti 390 kp/mm^2 in širini tirnice 25 mm (dopustni največji pritisk 120 kp/mm^2),
- 4 — dopustne imenske obremenitve tekalnih koles glede na razpoložljivo globino kaljene plasti in trdoto pri točkastem dotiku. Polmer krivine tirnice je 200 mm

Pri obravnavanju prikazanih diagramov lahko ugotovimo, da je točkasti dotik enakovreden ploskemu dotiku oziroma da je celo ugodnejši:

1. pri ploskem dotiku mnogokrat ploskvi nista vzporedni, zaradi česar prihaja do mestoma velikih in škodljivih robnih pritiskov,

2. pri točkastem dotiku imamo lahko mnogo večje pritiske, ker imamo trodimenzionalno napetostno stanje in

3. pri točkastem dotiku se obremenitev lahko za mnogokratnik poveča, ne da bi se pomaknila točka največjega pritiska v mehki sloj, ker globina največjega pritiska ne raste linearno z obremenitvijo, marveč s tretjim korenom. Pri povečanju kolesne obremenitve za 100 % (kratkotrajni udarci) se pomakne točka največje napetosti za 26 % globlje ter še vedno ne doseže mehke plasti, tako da se ne pojavljajo nikakršne poškodbe v trdi coni. Pri ploskem dotiku se večja globina največje napetosti linearno z obremenitvijo.

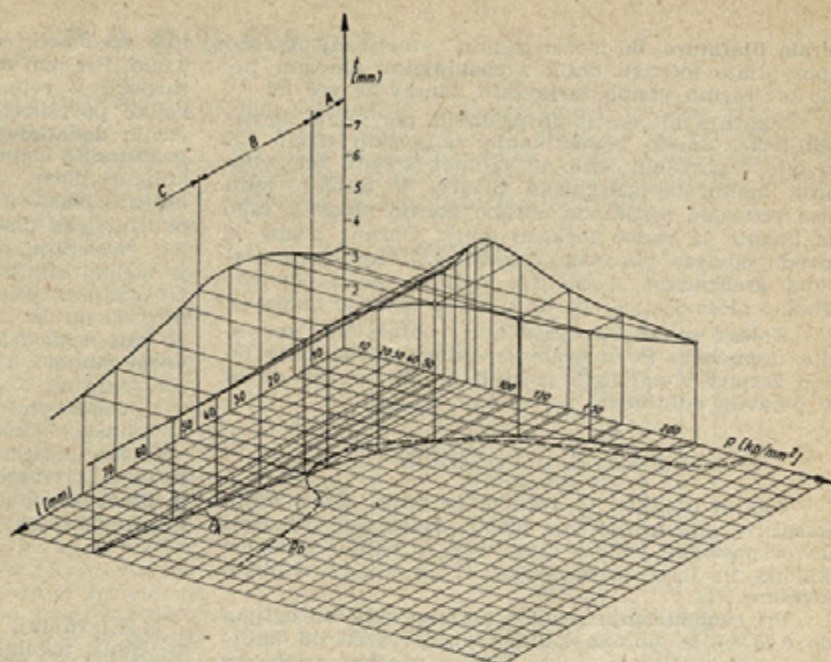
Pomanjkljivost pri zgornjih analizah, ki takoj pada v oči pri diagramu 9, je obnašanje pritiska in globine največje napetosti na prehodnem področju med točkastim dotikom s trodimenzionalnim napetostnim stanjem in med ploskim dotikom s dvodimenzionalnim napetostnim stanjem. A ne samo to: tudi ploski dotik sam, ki nastaja med zaobljeno ploskvijo vrha tirnice in kolesom, je problematičen, ker je oblika dotikalnišča med obema telesoma še vedno elipsa, kjer tudi ob strani podpirajo napetosti v materialu ter ustvarjajo trodimenzionalno napetostno stanje. Zaradi tega bo očitno tudi tu globina največje napetosti manjša, a dopustni pritisk večji. Odgovor na to lahko prinese le eksperimentalna raziskava.

Razen tega je treba opozoriti še na to, da veljajo računi na osnovi Hertzovih enačb, s katerimi dokaj nazorno prikazujemo obremenitveno stanje na površini in pod njo, samo za homogene materiale, kakršna pa niso površinsko kaljena jekla. Vendar v literaturi ni dovolj podlog za presojanje notranje mehanike v gradivu nehomogene sestave.

Zato je težko pravilno razlagati pojave poškodb na tekalni ploskvi kolesa, ki se pojavljajo pri kotalnem pritisku, predvsem pretlačanje kaljene plasti s poznejšim odlučenjem. Pojav odlučenja — v ZDA imenovan »spalling« — je treba že po zunanjem videzu ločiti od nastajanja gubic na površini — ime-

Sl. 9. Potek točke največjih napetosti v odvisnosti od Hertzovega pritiska, globine pod površino in širine dotikalne ploskve med kolesom in tirnico pri kolesu s premerom 800 mm in pri obremenitvi 31,5 t. Polmer krivine tirnice je 200 mm.

- p_A — dejanski Hertzov pritisak,
 p_D — dopustni pritisak glede na globino in trdoto,
 t — razdalja od površine,
 l — širina dotikalne ploskve med kolesom in tirnico,
 A — področje točkastega dotika,
 B — prehodno področje,
 C — področje ploskega dotika



novanem pri zobnikih »pitting« — kajti tvorba gub se pojavlja v elastičnem področju deformacij ter ima tipično luskasto obliko izpustov ter se pojavlja tudi pri nekaljenih materialih. Odluščanje se pojavlja zaradi razpoke vzporedno s površino vzdolž prehoda s skorje v jedro ter ga lahko opazujemo samo pri površinsko kaljenih materialih z relativno mehkim jedrom. Gotovo je, da je pri tem pojavu velikega pomena globina kaljene plasti, dasi nimamo o obremenitvah nobenih teoretičnih podatkov.

Ce pregledamo izkušnje, ki jih glede tega lahko nabereimo na podobnem področju zobnikov, moramo ugotoviti, da spoznanj o vplivu trdote površine glede nastajanja gub oziroma odluščanja ni. Znana je samo ugotovitev H. Glaubitza [6], da globina odluščanja sovpada z razdaljo od površine do kraja največje napetosti t . Iz tega izhaja zahteva, da je $t_K > t$. Zahtevano, da je $t_K = (1,5 \dots 2) t$ imamo za upravičeno in zadostno. Kakor je vidno iz diagrama 6, ne moremo izrabiti površinske trdote (okrog 58 HRC oz. 590 HB) v celoti, ker smo omejeni z globino največje napetosti, ki praviloma ne bi smela biti večja od 4 mm. Zato površinske trdote, če zadošča 460 HB, ni potrebno zahtevati na delavniških načrtih, pač pa postaviti zahtevano minimalne globine kaljene plasti.

4. VIDIKI ZA UPORABO POVRŠINSKO KALJENIH KOLES

Površinsko kaljenje tekalnih koles terja dodatne delovne operacije in s tem stroške, vendar hkrati omogoča uporabo manjših koles za enake obremenitve, s čimer dosegamo znatne prihranke pri teži in ceni. Iz nižje tabele je razvidno, da se teža koles zmanjša približno za polovico.

Nosilnost kolesa [Mp]*	16	20	25	32
Kolo z nekaljeno površino				
premer [mm]	500	630	710	800
teža kolesa [kp]	130	190	252	378
Kolo s kaljeno tekalno površino				
premer [mm]	315	400	500	630
teža kolesa [kp]	58	95	136	224
Zmanjšanje teže [%]	55,3	50	46	41

* 1 Mp (megapond) = 1000 kp = teža mase 1 t.

V spodnji tabeli so nekaljena kolesa iz litega jekla CL 0600 (GS 60) s trdoto 200 HB pri ploskem dotiku s tirnico, širine tirnice so v skladu s DIN 15 046. Obe vrsti koles sta na drsnih ležajih.

Širina glave tirnice pri točkastem dotiku ne vpliva na pritisak, zato lahko dosegamo nadaljnje prihranke pri teži žerjavskih prog.

Medtem ko so bile doslej v rabi za doseg ploskega dotika tirnice z ravno in široko površino glave (KS tirnice), lahko za najvišje pritiskne uporabljamo navadne železniške tirnice z zaobljeno vrhno ploskvijo. Ker imajo te tirnice zaradi večje višine večje vztrajnostne momente od KS tirnic, je faktor izkoriščenja tirnice F/G (če je F obremenitev kolesa in G teža tirnice v kp/m) mnogo večji in ugodnejši.

Doslej smo pri življenjski dobi tekalne ploskve obravnavali samo kolo. Tirnica ima trdoto 300 do 350 HB, zato se pojavljajoči se Hertzovi pritiski tolikšni, da je trajna življenjska doba prekoračena (glej diagram 6). O življenjski dobi tirnice je sicer težko govoriti, ker je odvisna od dolžine proge. Kolo s premerom 315 mm se bo na 10 m dolgi progi zavrtelo desetkrat in bo torej tudi obremenitev proge trajala desetkrat manj časa. Da ne prihaja do plastičnih deformacij, lahko vidimo iz proračuna statične obremenitve [5, po VKF]. Pri kolesu s premerom 800 mm ima tirnica največjo statično obremenitev, pri kateri se ne pojavlja plastična deformacija, pri 63 t (če predpostavimo trdoto 300 HB) oziroma pri 100 t (trdota 350 HB). Ker je imenska obremenitev kolesa 40 t, imamo varnost $\nu = 1,575$ oziroma 2,5 proti plastični deformaciji. Ker je obremenitev tirnice večja od dopustne trajnostne meje, se bo pričela tirnica med obratovanjem uvaljati, dokler ne bo dosežena tolikšna širina naleganja, da bo Hertzov pritisak enak trajnostni meji, kar se bo pojavilo pri 10^7 vrtljajih kolesa. Pri kolesu s premerom 800 mm bo širina uvaljanja 10 mm, da se bodo pritiski ustabili. Kljub temu lahko še vedno govorimo o točkovnem pritisku.

Tirnice z železniškim prerezo imajo zelo velike vztrajnostne momente, mnogo večje od ploskih žerjaviških tirnic KS, pri čemer pa so mnogo lažje. Prihranki, ki jih lahko dosegamo s to ugotovitvijo, so lahko zelo veliki.

Predsodek proti točkastemu dotiku, ki je bil ukoreninjen pri projektantih žerjavov ter ga je pod-

pirala literatura, bo moral izginiti. Američani uspešno uporabljajo točkasti dotik z zaobljenimi glavami tirnic pri raznih vrstah žerjavskih naprav že več let.

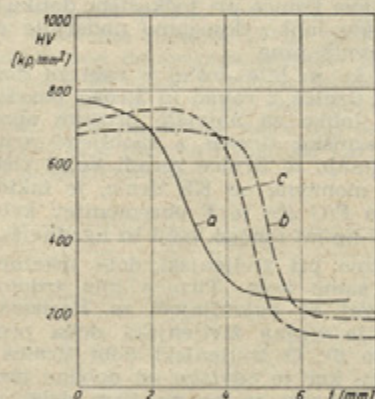
Izkušnje, ki smo si jih pridobili, potrjujejo gornje zaključke. Spričo pomanjkanja žerjavskih tirnic KS so bile v povojnih letih na velikem številu žerjavskih prog montirane železniške tirnice. V desetih letih niso pokazale nikakršne obrabe gornje ploskve, tako da imamo še vedno točkasti dotik. Obraba bokov je seveda odvisna od vrste kolesa: s stranskima kolesnima grebenoma, z bočnim vodilom ali s konično tekalno ploskvijo, kar pa ne spada v okvir te razprave.

Kolesa so se spočetka hitro obrabljala, ker so bila premehka. Po uporabi površinskega kaljenja tečejo žerjavi v najtežjih pogojih že več let, ne da bi se pojavila odlusčenja na kolesih.

5. KALILNI POSTOPKI

Kalilni postopki so različni in prav tako z njimi dosegljive globine kaljene plasti. Avtor želi prikazati glavne postopke, vendar samo tiste, ki dajejo natančno skladno in trdo robno cono, ki je zvesta oblikam površine [7].

Pri cementiranju jekel z majhno količino ogljika (do 0,25 %) je globina kaljene plasti razen od kalilnega sredstva (plina, solne kopeli, praška) predvsem odvisna od trajanja cementiranja. Ekonomično lahko dosegamo v solni kopeli in v plinu vrednosti t_K do 2 mm, v prašku tudi do 5 mm (glej sliko 10). Deformacija, ki nastaja pri visokih temperaturah in dolgem trajanju cementiranja, je brez vpliva na kolo in na



Sl. 10. Potek trdote v odvisnosti od globine pod površino pri različnih kalilnih postopkih

HV — Vickersova trdota;

t — razdalja od površine,

a — cementirano (16 Mn Cr 5),

b — plamensko kaljeno (42 Cr V 4),

c — indukcijsko kaljeno (42 Cr V 4)

navadne zahteve o natančnosti, tako da je odvečno naknadno brušenje. Razen tega je treba pri zelo velikih globinah paziti na možnost preogljčenja robne cone (prosti karbidi, cementitna mreža).

V naslednjem naštetih načini kaljenja delujejo brez difuzije, pa se robna cona ne nasiča s povzročitelji trdote.

Pri indukcijskem kaljenju jekel za poboljšanje — predvsem v vnaprej poboljšanem stanju — je t_K odvisen od električne moči stroja, frekvence in časa oziroma hitrosti pomika. Globina plasti se lahko že vnaprej določi. Dosegamo lahko $t_K = 5$ mm.

Pri plamenskem površinskem kaljenju je t_K odvisen od moči gorilnika, toplotne vrednosti gorilnega plina in od hitrosti pomika. Tu lahko dosegamo ve-

like vrednosti, celo večje, kakršne potrebujemo — do 8 mm. Pri tem moramo paziti, da ne nastajajo kalilne razpoke v robni coni, a imamo kljub temu dovolj veliko površinsko trdoto. Zato količina ogljika in legirnih dodatkov v jeklih ne sme biti prevelika. Najpogostejša napaka, ki se pojavlja v zvezi z globino kaljene plasti, je nastanek lupine, t. j. odlepljenje kaljene plasti in pri kaljenju poboljšanih delov normalizacijska plast med jedrom in skorjo.

Naslednja napaka, ki nastaja pri kaljenju koles, je mehko mesto pri stiku po obodu zaradi razžarjenja že okaljene ploskve, ki je vir obrabe pri obratovanju. Temu se lahko uspešno izognemo s prekritjem že kaljenega dela z ilovico in azbestom. Da dosegamo večjo globino kaljene plasti, ugodno vpliva poboljšanje jekla na 70 kp/mm².

Kakor vidimo iz zgornjega pregleda, je mogoče površinsko kaliti z zadostno globoko trdo kaljeno površinsko plastjo celotno področje tekalnih koles. Do koles s premerom 315 mm zadošča že cementiranje, medtem ko je treba pri večjih premerih uporabljati indukcijsko ali plamensko kaljenje.

6. ZAKLJUČEK

Z izvajanjem je skušal avtor dokazati, da je točkasti dotik tekalnih koles pod velikimi obremenitvami na normalnih železniških tirnicah enakovreden ploskem dotiku, ki je bil doslej splošno v rabi. Pri površinsko kaljenih kolesih je treba upoštevati lastnosti razmeroma tankega sloja na površini materiala, zaradi česar se uporaba takšnih koles bistveno razlikuje od navadnih koles z doslej splošno uporabljanimi materiali enakomerne trdote. Pri tem mora točka največjih napetosti ležati v trdi kaljeni plasti. Pri določanju obremenitve je treba upoštevati velikost dotikalnega pritiska in globino plasti. Ker povzroča točkasti dotik trodimenzionalno napetostno stanje, so dopustni pritiski mnogo večji, medtem ko je globina največjih napetosti manjša in pri spremembah obremenitve stalnejša kakor pri ploskem dotiku. S tem dosegamo prihranek pri teži koles kakor tudi tirnic. Da se preverijo teoretične analize in preizkusijo v praksi, je treba izvesti eksperimentalne raziskave, ki bodo dale natančen odgovor o nejasnostih glede razdelitve napetosti na prehodnem področju med točkastim in ploskim dotikom kakor tudi glede lege napetosti ter obrabe med obratovanjem.

SEZNAM LITERATURE

(Z * označeni spisi so knjižne izdaje)

- [1] Quadflieg, J.: Das Problem der Einsatztiefe und ihrer einheitlichen Bestimmung. Härtereitechn. Mitt. 6 (1952), str. 9/30.
- [2] * Rühl, K. H.: Druckkräfte zwischen gewölbten Oberflächen. »Hütte«, zv. I, 28. izd., str. 964/70, Berlin 1955.
- [3] * Mašinostrojenje, zv. I/2, str. 353/60, Moskva 1947.
- [4] Glaubitz, H.: Die zweckmässige Einhärtungstiefe bei oberflächengehärteten Getriebezähnen. VDI Z. 100 (1958) 6, str. 216/26.
- [5] * Niemann, G.: Maschinenelemente, zv. I., str. 204/12, Berlin 1950.
- [6] * Glaubitz, H.: Werkstoffe u. Wärmebehandlung gehärteter Zahnräder. Anforderungen des Verwenders. Schriftenreihe Antriebstechnik, zv. 1., str. 48/55, Braunschweig 1950.
- [7] Meingast, H., M. in H. Glaubitz: Einfluss von Wärmebehandlung, Werkstoff- und Chargeneigenart auf die Festigkeitseigenschaften eines Zahnrades. Härtereitechn. Mitt. 4 (1950), str. 99/126.

Avtor: ing. Merko Kos, Titovi zavodi
Litostroji, Ljubljana