

DK 621.8.02

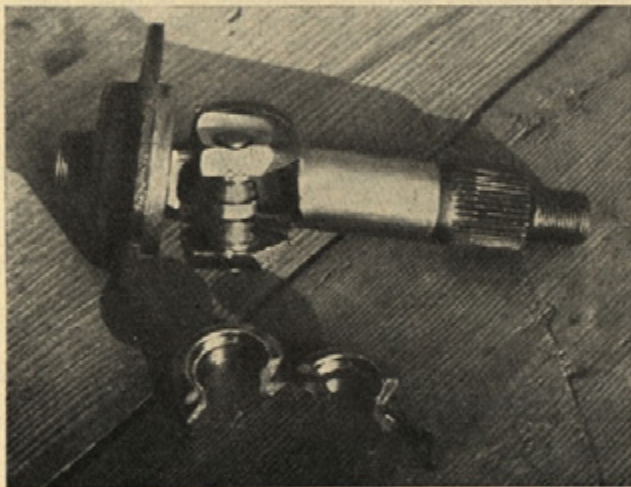
Proces sprijemanja materialov kot funkcija natančnosti pri nastavljanju prenosnega mehanizma

ALOIS ZAPLETÁLEK

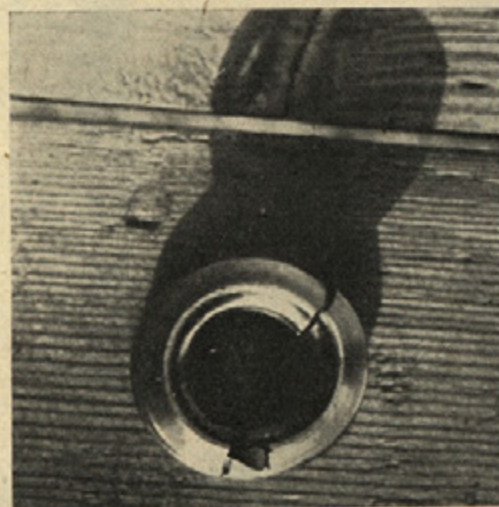
Zanesljiva funkcija in seveda tudi predvidevana obstojnost vsakega strojnega dela je odvisna od natančnosti konstrukcijske izvedbe, prileganja med montažo in delovnih pogojev. Posebno izrazito se našteti pogoji pojavljajo na takšnih mehanizmih, ki jih medsebojno veže funkcijska kinematika.

Ce ne upoštevamo ali zanemarimo te okoliščine, se prej ali pozneje uniči element, kar lahko povzroči uničenje še drugih členov ali v skrajnem primeru konča z uničenjem celotne naprave.

Primer, v katerem ne upoštevamo montažnih predpisov, je togo stisnjenje prilega za vprijem prenosnega mehanizma pri krmiljenju. To okoliščino imamo lahko za enega najverjetnejših vzrokov za nezgodo terenskega motornega vozila s tragičnimi posledicami, ki je hkrati zanimiv in pri tem osamljen primer za uničevanje člena v krmilnem prenosu.



Sl. 1. Krmiljena gred s poškodovanim kolesčkom



Sl. 2. Uničen kolesček

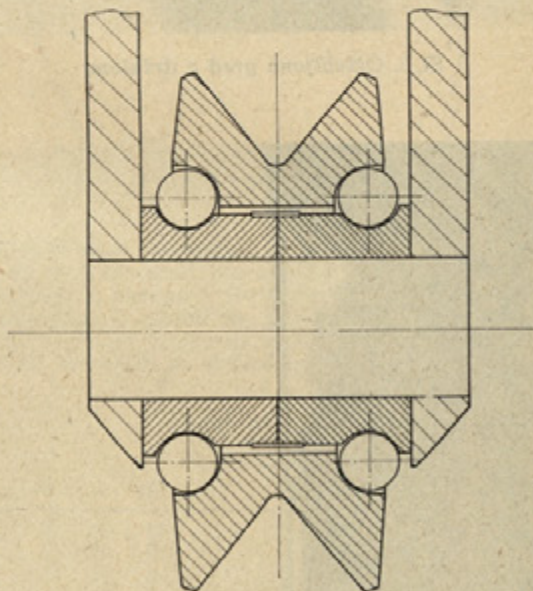
Po demontaži krmilnega prenosa smo ugotovili zdrobitev kolesčka, kakor kaže slika 1. Na sliki je tudi krmilna gred z otiščanimi robovi čepa pri kolesčku. Na sliki 2 je zdrobljeni kolesček.

Mogočih je lahko nekoliko variant, kako je nastala okvara, toda večina domnev je samo akademškega pomena, ker jih ni mogoče opreti na konkretne dokaze.

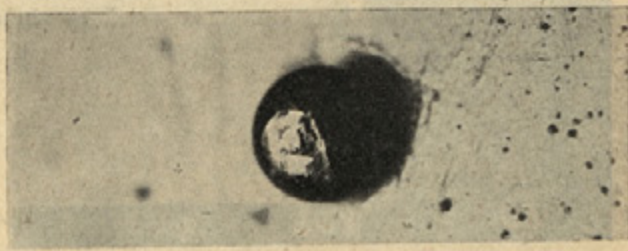
Pri natančnejšem preskušanju površinske kvalitete na kroglici in polžastem žlebu na kolesčku — v osnovi je to navadno element na krmilnem mehanizmu — in kvalitete kroglic samih je variant za poskušano razlago okvare že precej manj in so osredotočene na osnovno spoznanje, ki ga je potrdila podrobna materialna analiza, čeprav je bil sklep, da vzrok za nesrečo ni bil prvenstveno materialne temveč funkcijsko mehanične narave.

Del nadaljnega prispevka bo veljal predvsem materialni preiskavi pokvarjenih elementov ter analizi vseh spremnih pojavov, ki bi lahko prispevali, če ne k nedvomni, pa vsaj k najverjetnejši razlagi o vzroku, zakaj se je razletel kolesček pri krmilnem mehanizmu.

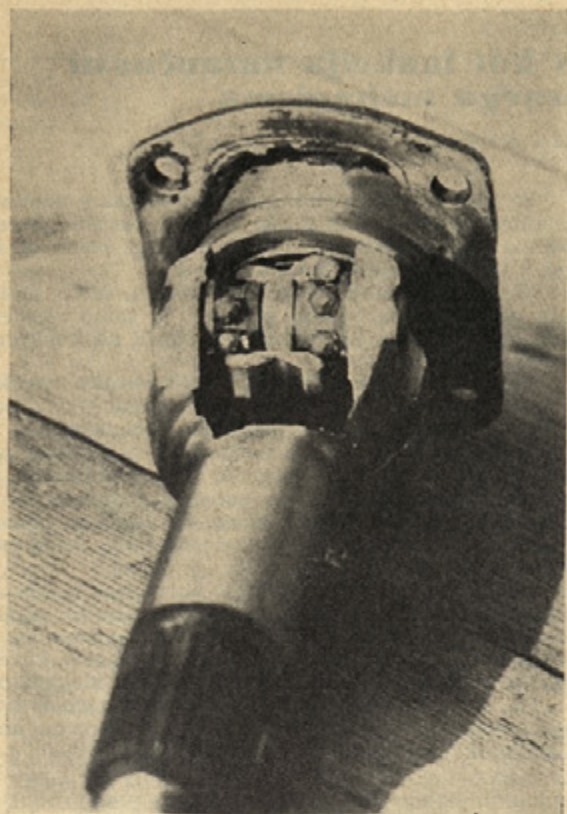
Da bi nazorneje prikazali funkcijsko razporeditev poškodovanih delov, je na sliki 3 viden prerez, kako je kolesček vložen v držalu na krmilni gredi.



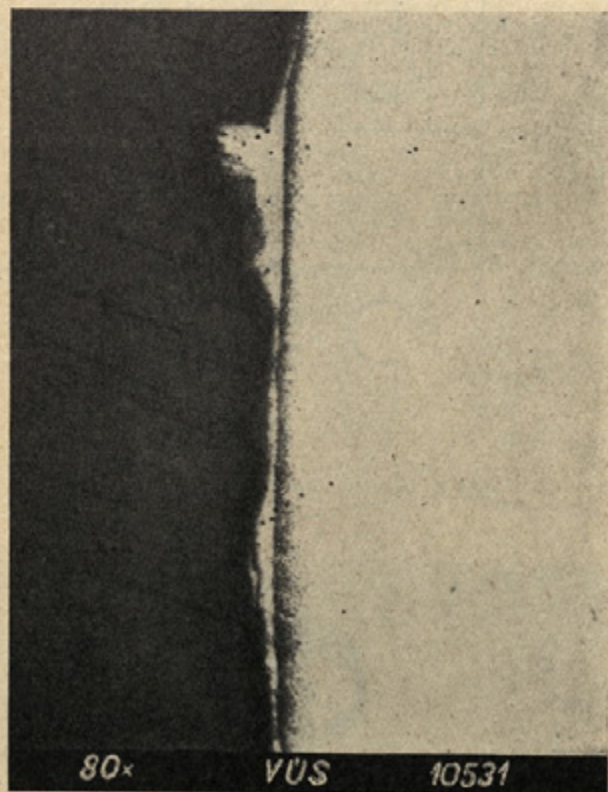
Sl. 3. Vložitev kolesčka v držaju



Sl. 4. Poškodovana kroglica



Sl. 5. Ožlebljena gred z držalom



Sl. 6. Prerez skozi površino sprijete kroglice

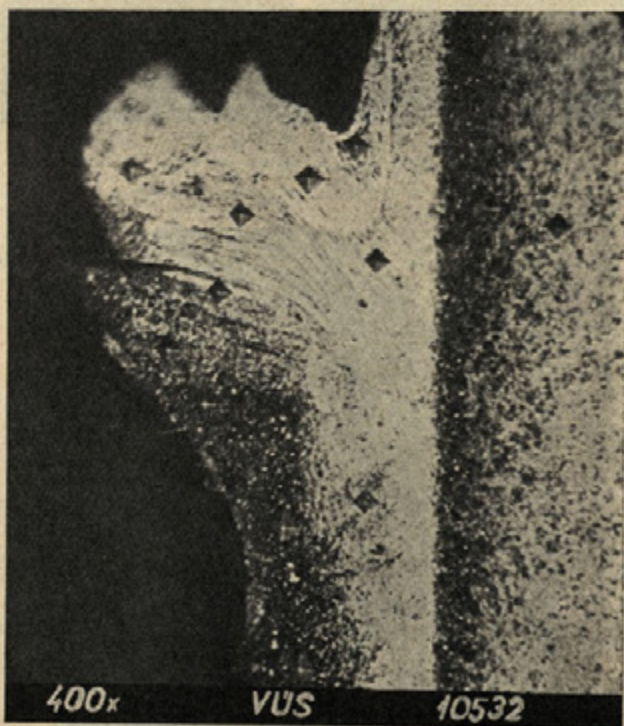
Ze pri pregledu kolesčka in kroglic s prostim očesom se je pokazalo, da so kroglični žlebovi po celotnem obodu kolesčka intenzivno obarvani rožnato do rjavo. Med kroglicami je kazala večina v ekvatorialnem predelu kotalne poti različno velike motne ploskvice, ena izmed njih pa je imela zelo grobo poškodbo, kakršno prikazuje slika 4.

Zaradi te ugotovitve smo preiskali vse razpoložljive kroglice pri raznih do stokratnih povečavah; pri tem se je pokazalo, da je samo ena kroglica skoraj brez poškodbe, šest jih ima razmeroma zelo sprijeto površino in iztrgane kovinske delce, preostalih trinajst pa samo posamezna mesta z iztrganimi kovinskimi luskinami. Zadnje štiri, kolikor jih ni bilo do popolnega števila, so se verjetno zdrobile. Te kroglice so kot drobni delci lahko ušle pozornosti preiskovalnih organov, ki so neposredno raziskovali nezgodo na kraju samem, da so jih neopaženo lahko poteptali.

Dalje smo ugotovili — tudi na nepoškodovani kroglici — vtiske v obliki plitve jamice. Tudi na notranjem robu krogličnega žleba in na desni strani držala za kolesček (sl. 5) tj. na strani, ki se nadaljuje kot gred v smeri proti opazovalcu, smo opazili nekoliko vtiskov v obliki jamice; tudi držaj sam — mehek izkovek — je imel blizu čepa nekoliko odtiskov kroglic. Poškodba kroglic, odtiski na kotalnih ploskvah, označeni z izrazitimi barvnimi osenčenji in še drugi znaki, ki izvirajo iz funkcije smernega obvladovanja vozila, dokazujejo čezmerne tlake na kotalnih elementih, na katerih so nastali pogoji za sprijemanje.

Kako je ta v bistvu termomehanski proces vplival na funkcijske lastnosti aktivnih delov prenosnega mehanizma, izvira iz metalografske raziskave. Kemične raziskave iz določenih vzrokov nismo napravili, ker pravzaprav ni bila potrebna. Domnevno ogljikovo jeklo z večjo vsebino kroma, toplotno poboljšano, je bilo mogoče — zaradi povečanja odpornosti proti obrabi še cementirano.

Področje poškodb na površini kroglice po sliki 4 smo po opravljenem izbrusu na tem mestu mikroskopsko podrobno raziskali in karakteristične pojave, ki



Sl. 7. Povečan detajl s slike 6

smo jih fotografsko dokumentirali, zajeli na sliki 6 pri srednji in na sl. 7 pri večji povečavi. Na drugi sliki, ki je povečan detalj mesta z vzpetino, je razločno viden mehanizem sprijemanja (vdiranja). Med gibanjem trenje med materialom kroglice in materialom žleba razvija toploto, ki se najprej omejuje na majhno teoretično ploskev v obliki točke. Zaradi velike koncentracije toplote se stično mesto na kroglici močno segreva do plastičnega stanja. Učinek tlaka iztisne plastični del kovine iz stičnega mesta; kovina se utrdi in hitro ohladi zaradi odvajanja toplote v kroglico in žleb. V plastični kovini se uveljavi tudi difuzija iz testaste kovine v material žleba; kovina se na žleb »prilepi«, pri nadaljnjem potiskanju pa se utrja ali odlušči.

V levem delu slike 6 vidimo eno od temnih, medsebojno paralelnih delilnih črt, ki označujejo razvrščanje sprijete kovine kot posledico ponovnega lepjenja na starejši sloj, ki se je seveda pri ohlajanju pokril z oksidno kožico, ta pa ustvarja omenjene temne črte.

Alternativno lahko dopuščamo tudi kopičenje materiala iz žleba in njegovo lepljenje na površino vdirajoče kroglice. Za ta način sprijemanja na škodo materiala v žlebu govorita prav slika 6 in njen detalj na sliki 7, čeprav je bila površina žleba svetla in gladka, kar je predvsem zato, ker so naslednje kroglice sprijeto ploskev izgladile. Preskusi na mikro trdoto, ki jih navajamo v nadaljnjem, prav tako podpirajo mnenje o možnosti še druge alternative pri mehanizmu sprijemanja.

Slika 7 zajema prerez s kroglico, ki ima »navarjen« material žleba; slika je zgovoren dokaz o procesu sprijemanja in o načinu, kako se spreminja natlačena kovina v plastičnem stanju. Preskusi o trdoti dopolnjujejo sliko o lastnostih posameznih pasov »navarka«.

Vsi dejavni elementi na kotalnem sistemu krmljenja so toplotno poboljšani, pripadajoče cementiranje pa se — kakor smo že omenili — na strukturi ni izrazilo pojavilo kljub temu, da se je globina cementacijske plasti lepo zarisala na lomnih ploskvah koleščka. Cementacijsko plast bi lahko napravili izrazitejšo samo z žarjenjem.

Toplota, ki je nastala pri sprijemanju in je bila na kraju, na katerem se je pojavljalo povečano trenje pod vplivom velikih aksialnih pritiskov, različno lokalizirana, je neogibno spremenila strukturo eksponiranih delov in s tem tudi mehanske lastnosti, predvsem trdoto, seveda le v neposredni bližini trenja.

Zato smo na značilnih krajih preskusili tudi trdoto. Ker so to bili zelo ozki pasovi, smo trdoto lahko dooločali samo z merilnikom mikro trdote po Hanemannu z obremenitvijo 50 pondov.

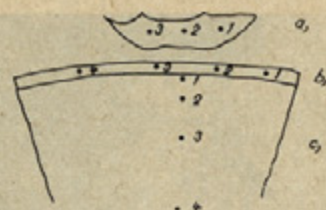
Podrobno smo preiskali sprijeto kroglico. Mikro trdoto smo ugotavljali na dveh različnih krajih na površini. Prvič smo merili po shemi na sliki 8 na kraju, ki leži desno od kraja, ki smo ga zajeli na sliki 6. Rezultati so razvidni iz naslednje tabele:

Prva meritev

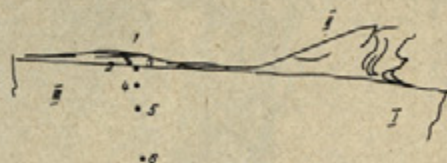
ploskev a)			pas b)			prerez c)		
test	d	HV _m	test	d	HV _m	test	d	HV _m
1	34	678	1	28	999	1	31	815
2	30	870	2	28	999	2	30	870
3	29	932	3	28	999	3	31	815
			4	28	999	4	31	815

Najtrše je področje za površino kot tanka kožica. Pri sprijemanju se je močno, toda zelo omejeno segrelo in po »olajšanju« takoj močno ohladilo zaradi odvajanja toplote v material kroglice.

Drugo merjenje izhaja od kraja na površini kroglice, ki je fotografsko zajet na sliki 6. Merjenje vidimo kot drobne točke, razporejene v smeri polmera pri krožnem prerezu s kroglico.



Sl. 8. Shema prvega merjenja



Sl. 9. Shema drugega merjenja



Sl. 10. Skica o razmestitvi vtiskov

Trdoto smo ugotavljali s skupinskim merjenjem tako, da smo raziskali vsa značilna področja. Skupine smo označili z rimskimi številkami po shemi na sliki 9, lega posameznih testov pa je na naslednji shematski sliki 10. Merjene vrednosti so številčno razvrščene po skupinah. Rezultati so zbrani v naslednji tabeli:

Druga meritev

I. skupina

test	d	HV _m	test	d	HV _m
1	36	604	5	38	542
2	29	932	6	32	765
3	38	542	7	34	678
4	30	870	8	34	678

II. skupina

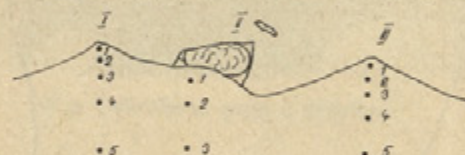
test	d	HV _m	test	d	HV _m
9	31	815	13	43	423
10	30	870	14	41	465
11	31	815	15	30	870
12	42	444			

III. skupina

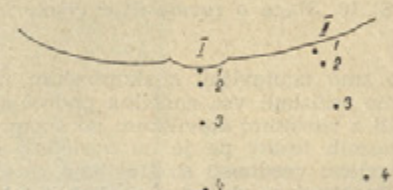
test	d	HV _m	test	d	HV _m
1	25	1254	4	32	765
2	26	1159	5	30	870
3	32	765	6	30	870



Sl. 11. »Nalepljeni« drobci kroglice



Sl. 12. Načini, kako merimo trdoto



Sl. 13. Merjenje trdote krogljčnega žleba

Dobljeni rezultati posredujejo zanimiva spoznanja. Vrednosti za trdoto, navedene pod točko c) iz prve meritve in podobno v testih 4, 5 in 6 iz I. skupine ter testih 5, 6, 7 in 8 iz III. skupine pri drugi meritvi ponazarjajo pravzaprav isto področje v prerezu skozi kroglico, vendar so vrednosti, ki ustrezajo testom iz I. skupine, nekoliko manjše.

To je posledica intenzivnega segretja po trenutni stopnji sprijemanja na določenem kraju; zato se pokaže različen vpliv tudi na prvotni strukturi. Toda tudi množina materiala, nakopičenega pri sprijemanju, vpliva na končno trdoto aktivnih ploskev. To dokazuje tudi zelo velika trdota »kožice« pri skupini b) po prvem merjenju, toda še izrazitejša so razlike ustreznih mest v I. in III. skupini po drugem merjenju. Največje vrednosti za trdoto smo namerili na krajih, na katerih je prostornina sprijete kovine majhna in je zato odvajanje toplote zelo močno; večja prostornina plastične kovine pa pomeni večjo toplotno kapaciteto in je zato toplotni gradient nekoliko manjši.

Najmanjše vrednosti v testih 12, 13 in 14 so odvisne od razogljčenega predela; razogljčenje je nastalo pri visokem in verjetno tudi ponovnem segretju.

Nekoliko vrst različno trdega nabitega materiala kaže, da se je proces sprijemanja na teh krajih nekajkrat ponovil.

Kakor kaže slika 3, sestavlja konus drugo polovico žleba za kroglice. Na njegovem zunanem robu smo ugotovili zlomljen material z jamičastim odtiskom poleg kraja zloma. Zlomljeni konus je dokaz za že omenjeno alternativo o sprijemanju kroglic in lepljenju na material žleba, kakor kaže slika 11 s ploskve prirobnice strani. Na tem detajlu smo tudi preskusili trdoto po skici na sliki 12. Rezultati so bili naslednji:

Skupina I			Skupina II			Skupina III		
test	d	HV _m	test	d	HV _m	test	d	HV _m
1	39	515	1	38	542	1	35	639
2	39	515	2	34	678	2	38	542
3	33	719	3	33	719	3	36	604
4	33	719				4	35	639
5	33	719				5	33	719

Učinek toplote je v tem področju že bolj oddaljen in zato so tu le znaki popuščanja, povezanega z upadanjem trdote, ki v smeri od površine proti notranjosti zopet narašča do prvotne vrednosti.

Da bi dobili popolno sliko o domnevnem mehanizmu sprijemanja, se nam je zdelo smiselno, da glede trdote preiščemo dno žleba za kroglice v telesu kolesčka. Pogoji za merjenje mikro trdote je zbrušena ploskev, kakršno smo pripravili v prečnem prerezu, ne daleč od jamastega odtiska. Pokazalo se je, da ima dno polovičnega žleba znake obrabe, ki jo shematično prikazujemo na sliki 13 z navedbo kraja za vboj pri preskušanju trdote. Trdoto smo preiskali na dveh krajih. Vsekakor prvega testa nismo mogli zabosti neposredno na robu, ki je bil zaobljen, kajti tako bi bili poškodovali diamantno piramido. Rezultati so bili naslednji:

Skupina I.			Skupina II.		
test	d	HV _m	test	d	HV _m
1	30	870	1	33	719
2	33	719	2	34	678
3	34	678	3	35	639
4	35	639	4	35	639

Vpliv toplote pri vdiranju žleba se je pokazal s povečano trdoto obrobne plasti zaradi lokaliziranega segrevanja in močnega ohlajevanja. V področju II je bil vpliv toplote že bolj oddaljen in zato tudi povečanje trdote na ustreznih krajih ni izrazito.

Da bi dopolnili spoznanja, do katerih smo prišli pri preiskovanju vseh ognjišč sprijemanja, ki jih spremljajo vtiski kroglic na kotlnih in sosednjih ploskvah, moramo še dodati, da smo tudi v polžastem žlebu pri kolesčku na krajih, na katerih je nastalo razdiranje, ugotovili jamast odtisek, toda bistveno širši kakor bi ustrezalo vtisku kroglice. To je posledica polžastega navoja kot posledice vplivov, ki jih bomo na kratko razložili v naslednjem.

Doslej podrobno opisano raziskovanje na poškodovanih delih naj bi pokazalo, da je bilo pripravljeno obdobje do zloma kolesčka sprijemanje kroglic. Preskusi sprijetih področij na trdoto so pokazali, da so se nekatere kroglice v površinskih področjih zaradi tornih tlakov tako utrdile, da so postale zelo krhke in so v neugodnih trenutkih, ki jih je podpiralo še stresanje vozila, razpokale in razpadale na drobne koščke; te drobce so sosednje kroglice pri njihovem gibanju v žlebu izmenoma prenašale v eno ali drugo smer. Zaradi poševne lege kolesčka v krmilnem prenosu so drobci postopoma potovali v najnižjo lego, torej na notranji rob žleba za kroglice. V neugodnem trenutku,

ko je npr. pri manevriranju s krmilom nastal na sednjih kroglicah bočni tlak, so drobci kot klin vtisnile med žleb in konus. Verjetno je, da se je ta proces nekajkrat ponovil, kar bi lahko na nekoliko krajih po celotnem obodu dokazal posnet rob; seveda je to minilo brez hujših posledic zato, ker se je drobec, ki je trši kot material kolesčka, po vtisnjenju roba zopet izgladil. Se je v kritičnem trenutku, kar je verjetno povzročilo blokiranje krmila tik pred nezgodo, se je brčkone večji drobec, ki je imel za usodno situacijo ugodno obliko, ponovno zaklinil v neko vtisnjeno mesto na robu žleba, povzročil razteg kolesčka, kar je voznik čutil kot blokiranje.

Ali se je kolesček razdrobil zaradi tega, ker je voznik premagoval upor, ali pa zato, ker je vozilo zadelo na betonski steber, ni mogoče dokazati nedvoumno, kajti pri tem je šlo za delček sekunde in voznik seveda ni mogel — iz psiholoških razlogov razumljivo — natanko obnoviti vrstnega reda dogodkov v kritičnem času.

Parabolično razvejene razpoke in nadaljnje razpoke blizu lomnih ploskev so usmerjene k tesno omejenemu mestu, na katerem se je verjetno zaklinil drobec kroglice, kar še bolj podpira avtorjevo naziranje o mehanizmu pri razdrobitvi kolesčka. Raztegovanje tega elementa zaradi učinka klina utemeljuje prav tako nastanek vtisa polžastega navoja in kroglic v bližini ognjišča loma.

Mnenje o nastanku nezgode zaradi zloma kolesčka iz materialnih vzrokov, ker je drobec vstopil v prenosni mehanizem in se je zablokiralo, avtor nima za zadosti verjetno, kajti drobec se je pri sestavljanju celotnega kolesčka natančno ujemal in ni imel znakov sekundarne poškodbe, ne glede na to, da je kolesček kot občutljiv konstrukcijski element pri izdelavi izpostavljen primerno strogi kontroli. Dvome o možnosti, da kolesček poči brez udarca, so izrazili vodilni delavci v podjetju, ki je opravilo pri vozilu generalno popravilo in so se izjavili, da to skoraj ni možno.

Res je sicer, da je prenosni sistem za krmiljenje pri določenem tipu vozila v terenskih pogojih zelo obremenjen s trenjem kotalnih elementov zaradi bočnih tlakov in bi se takšni primeri lahko ponavljali pogosteje. Ta primer pa je v resnici osamljen in v remontni praksi neznan ter so ga zato povzročili izredni vzroki.

Razpad kolesčka zaradi zaribanja in zatem nezgoda so že posledica tega, kar ostaja slej ko prej poglavito vprašanje, ki nanj doslej ni odgovora: kakšne okoliščine so povzročile proces sprijemanja?

Suhi tek ni verjeten. Možna je morebiti izsrednost iz ovojne krivulje polža ali togo sklapljanje prilaga pri vprijetju. Prvo alternativo podpira okoliščina, da so imeli vijaki za pritrditev pokrova na okrovu posnete navoje. Njihova poškodba je nastala bodisi pri zategovanju zaradi nenatančnosti pri prilaganju pokrova, kar pomeni izsrednost držala za kolesček, ali pa pri popuščeni vijakih zaradi sunkov vozila. Če dopuščamo togo prilagoditev zraka pri vprijetju, bi popuščeni vijaki to prilagoditev olajšali, toda lahko bi vplivali na izsrednost.

Izsrednost in togo nastavljanje bočnega razstopa sta se med delovanjem vozila verjetno združili glede neugodnega učinka na prenosni mehanizem in tako podpirali trajno sprijemanje kotalnih elementov do kritičnega trenutka, ko se je drobec razdrobilnih kroglic zaklinil med kolesček in konus.

Cepprav odgovornosti delavnic za tragične posledice ni mogoče nedvoumno dokazati, je avtorjeva domneva o togi prilagoditvi zraka vsaj podprta z izjavo podjetja, da pri sistemu popravil z zamenjavo ne more ugotoviti, ali se obravnavani primer nanaša na nov del ali je bil star del samo prilagojen.

Avtorjev naslov: Dr. Alois Zapletálek,
Bratislava, Fr. Kráľa
č. 7, ČSSR
(Prevedel: E. Marek)

DOPOLNILO IN POPRAVEK

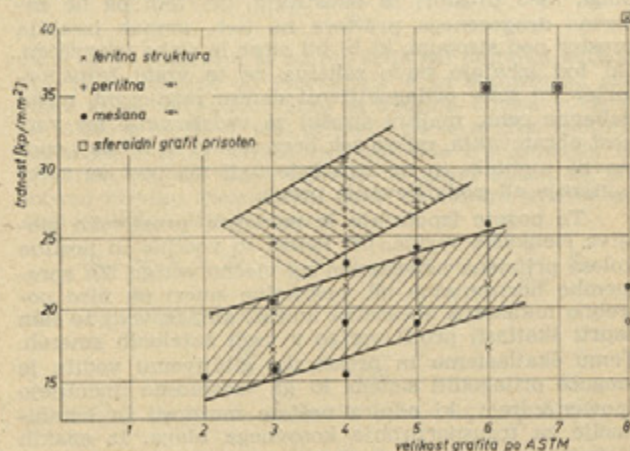
k članku V. Prosenca: »Izoblikovanje grafita pri varjenju litega železa«, ki je bil objavljen v Strojniškem vestniku XIII (1967) št. 3, str. 127 do 131.

Ker je bil avtor članka v času njegovega tiskanja študijsko odsoten v tujini in sam osebno ni mogel pregledati poskusnih odtisov, sta se — žal — vrinili v članek naslednji dve pomanjkljivosti.

V začetku članka, takoj za naslovom, bi moralo biti natisnjeno naslednje besedilo:

Članek je kratek povzetek raziskovalne naloge »Način izločanja grafita iz taline in tvorba osnovne grafitne celice pri toplem, obločnem varjenju sive litine«, katero je avtor opravil v letu 1962/63 na Zavodu za varjenje v Ljubljani. Nalogo sta financirala Sklad Borisa Kidriča in Železarna Štore. Avtor se zahvaljuje tov. N. Starčeviču, absolventu metalurgije, ki je pri nalogi največ sodeloval, in Zavodu za varjenje ter financirjema, ki so delo omogočili.

Elaborat, ki je bil glavni vir za članek, se nahaja v Centralni tehniški knjižnici v Ljubljani.



Slika 7

V diagramu na sliki 7 pa so — po krivdi tiskarne — izpadle vse označbe za absciso. Zato objavljamo v naslednjem pravilni diagram:

Prosimo avtorja in vse prizadete ustanove ter bralce, da nam oprostite nenamerni in neljubi pomanjkljivosti.

Uredništvo