

Primeri iz dela metalografskega laboratorija

Ze v eni prejšnjih številkk tega zbornika smo opisali nekaj primerov porušenih konstrukcijskih elementov (predvsem gredi). Z metalografsko analizo smo poskušali dognati vzroke porušitve oziroma najti najverjetnejše faktorje, ki so povzročili porušitev. V tem sestavku pa analiziramo vzroke porušitve oz. neuporabnosti drugih konstrukcijskih elementov, npr. delov motornih vozil in delov orodij.

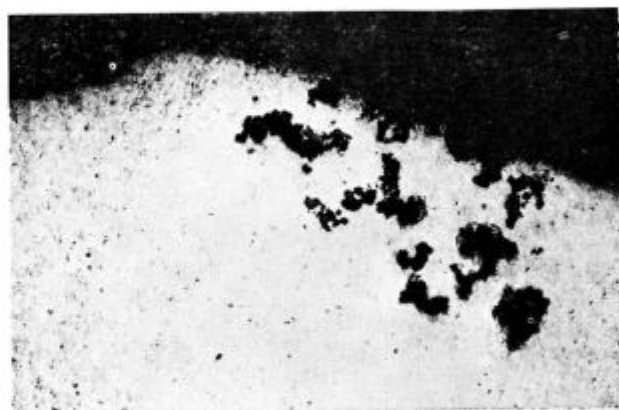
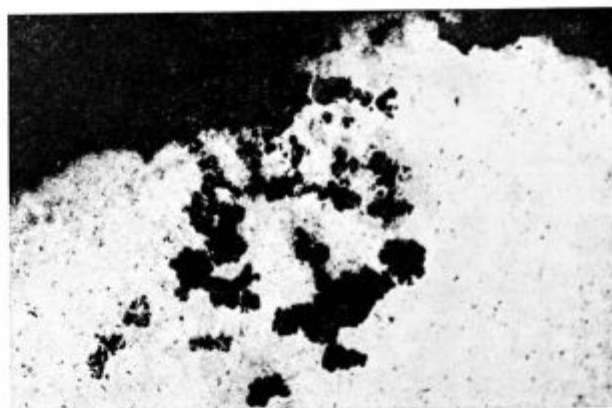
1. V prvem primeru smo morali dognati vzroke porušitve nosilca — elementa zavornega mehanizma pri avtomobilu. V preiskavo smo dobili ročico in nosilec, ki pa sta bila močno zamazana s prahom in oljem (slika 1). Oba dela smo najprej temeljito očistili z bencinom. Prelomne ploskve

so bile sicer na nekaj mestih zarjavele, vendar smo pri primerjavi sovpadajočih prelomnih površin jasno videli, da se je nosilec prelomil trenutno. Na nobenem mestu nismo odkrili znakov utrujenostnega preloma. Na prelomnih ploskvah, ki sta označeni s številko 2, nismo opazili nikakršnih makroskopskih napak (slika 1). Nasprotno pa smo na obeh ploskvah, označenih s številko 1 (slika 1 in slika 2) takoj opazili dokaj velik luncker, v njegovi okolici pa področje močne poroznosti, ki zavzema približno 1/3 do 1/2 prelomne površine. Zaradi naknadnega udarca po prelomu je bila poškodovana prelomna površina na 1 na mestu P.

Velikost in obseg poroznosti smo opazovali na prerezi, ki so bili napravljeni pravokotno na prelomno površino (slike 3, 4 in 5).



Slika 1
Ročica in prelomljeni nosilec, pomanjšano pribl. 4×



Slika 3, 4
Poroznost na prečnem preseku čez prelomno ploskev. Polirano, pov. pribl. 8×





Slika 5

Detajl v področju močne poroznosti, pov. 100 ×, polirano

Ze makroskopski pregled je pokazal materialno napako (lunker in obsežno poroznost), ki zavzema velik del preseka oziroma volumna. Take napake zmanjšujejo konstrukcijskemu elementu zmožnost prenašanja večjih dinamičnih obremenitev.

Nedvoumno smo lahko pokazali vzrok porušitve šele potem, ko smo spoznali tudi mikrostrukturne značilnosti. Na različnih mestih smo izrezali iz nosilca reprezentančne vzorce. Na mestih, oddaljenih od lunke in na prelomu niti mikroskopsko nismo opazili kakih napak.

Ugotovili smo, da je bil nosilec ulit iz sive litine. Grafit je bil lamelaren, vrste A po lestvici ASTM, mestoma se je pa pojavljal tudi grafit vrste C. Po velikosti grafitnih lamel smo ga uvrstili pretežno v 4., delno pa v 5. velikostni razred (srednje in srednje fin grafit) (slika 6).

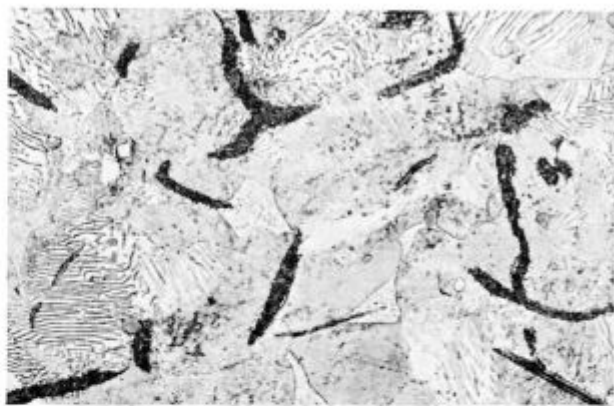


Slika 6

Grafit, vrste A po ASTM, velikost 4...5, polirano, pov. 100 ×

Mikrostruktura litine je normalna in sestoji, poleg grafita, iz treh komponent: perlita, ferita in fosfidnega eutektika (slika 7).

Struktura sestoji pretežno iz perlita, torej lahko litino uvrstimo med perlitne sive litine. Ferit se pojavlja zvečine ob grafitnih lamelah v obliki manjših kolonij. Fosfidni eutektik je bil razpore-



Slika 7

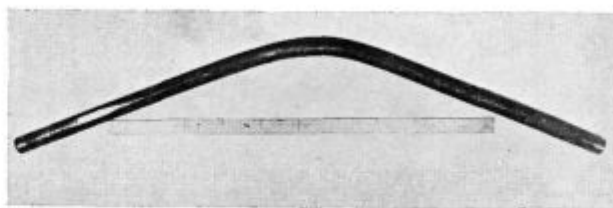
Mikrostruktura litine v zdravem delu: grafit, ferit, perlit, fosfidni eutektik, jedkano z nitalom, pov. 500 ×

jen ob mejah perlitnih zrn, vendar ne v množinah, ki bi vplivale na zmanjšanje trdnostnih lastnosti ulitka. Sestava in mikrostruktura sive litine sta bili torej primarni in v tej smeri ni kazalo iskati vzroka porušitve.

Po vsem zgoraj opisanem sta bila lunke in poroznost edini materialni napaki v nosilcu. Zaradi njunega obsega oziroma prostornine, ki jo v materialu zavzemata, sta tudi nedvoumno vzrok porušitve nosilca, h kateri pa je nedvoumno pripomogla trenutna velika dinamična obremenitev.

2. Tudi drugi preiskovani konstrukcijski element je bil del motornega vozila. V tem primeru pa ni prišlo do porušitve, temveč je postal neuporaben zaradi upogiba. Za nadaljnjo preiskavo ima opis že s prostim očesom opaznih značilnosti poglaviti pomen.

Vežni drog je bil dolg 160 cm, izdelan pa iz cevi. Ukrivljenost v sredini cevi je bila približno 23 cm, v dolžini približno 40 cm (slika 8 in 9). Na eni strani je bil delno svetlo črno lakiran (pribl. 38 cm), na drugem koncu pa na dolžini pribl. 20 cm. Preostali srednji del cevi (raven in ukriv-



Slika 8

Makroskopski posnetek vežnega droga, pom. pribl. 10 ×



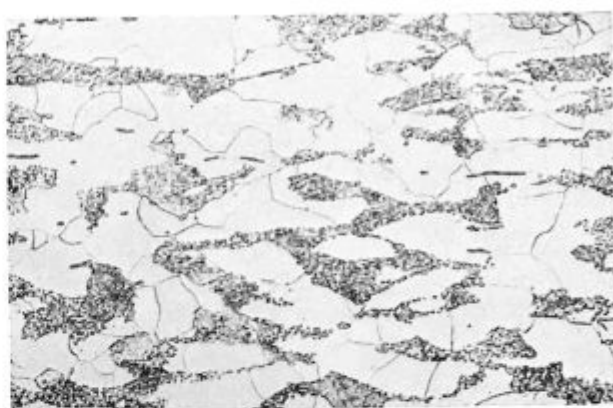
Slika 9

Makroskopski posnetek vežnega droga, pom. pribl. 2,5 ×

ljen) pa je bil brez prevleke laka, opazili pa smo tudi temne lise, ki so posledica segrevanja cevi (slika 9). Druga gola mesta pa so kazala razne izbokline in zaradi udarcev in prask deformirana mesta. Preiskava je obsegala meritve trdot (HRB) in metalografski pregled.

Trdote smo izmerili po celi dolžini, na vseh mestih, ki so kazala prej opisane značilnosti (tabela 1).

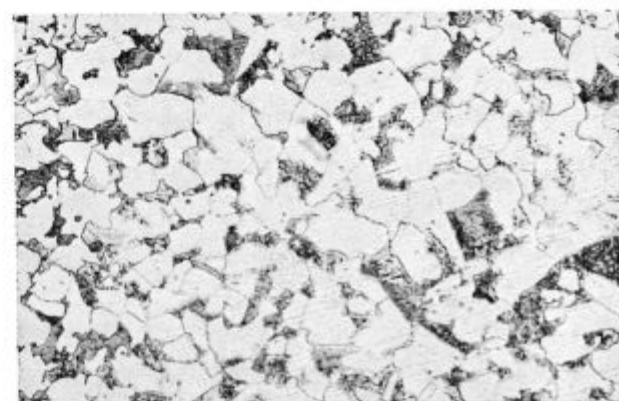
Merilno mesto Štev. Opis	HRB	HB σ_n (rač.) kp/mm ²	
1 Lakirani del	75,1	131	47
2 Lakirani del	76,3	133	48
3 Lakirani del	77,4	137	49
4 Lakirani del	79,6	145	53
5 Prehod na odrgnjeni del	82,6	155	56
6 Začetek izbokline	79,9	146	53
7 Vrh izbokline	82,2	152	55
8 Konec izbokline	80,8	147	54
9 Začetek izbokline	82,4	152	55
10 Vrh izbokline	85,8	166	60
11 Konec izbokline	83,8	158	57
12 Začetek krivine	81,3	149	54
13 V krivini	78,1	140	50
14 Konec krivine	83,3	157	56
15 Sledovi udarca	83,7	158	57
16 Škaja	83,2	157	56
17 Prehod na lakirani del	79,7	146	53
18 Lakirani del	77,2	137	49



Slika 10

Mikrostruktura na mestu vz. 1., drobnnozrnati ferit in globularni perlit, nital, pov. 500 ×

vz. 1, perlit pa je bil lamelaren. Opaziti ni bilo nobene anizotropije v orientaciji zrn. Na izboklini se je struktura še bolj razlikovala, čeprav je bila tudi tu sestavljena iz ferita in perlita. Ferit je bil tu delno puščičaste, delno mrežaste oblike in je obdajal velika zrna lamelnega perlita (slika 12).



Slika 11

Mikrostruktura na mestu vz. 2, drobnnozrnati ferit in lamelarni perlit, nital, pov. 500 ×



Slika 12

Mikrostruktura v vzboklini, ferit in lamelarni perlit, nital, pov. 100 ×

Natezna trdnost osnovnega materiala je približno 50 kp/mm², v sredini pa je zaradi različnih vplivov narasla na 55 kp/mm².

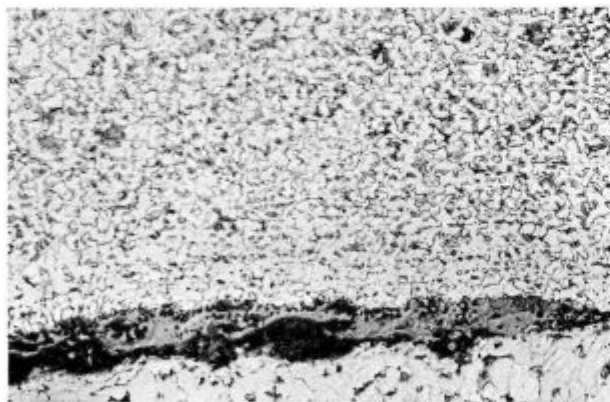
Vzorci (4) za metalografski pregled smo izrezali tako, da so obsegali naslednja merilna področja trdot:

- vzorec 1 (2, 3)
- vzorec 2 (6, 7, 8)
- vzorec 3 (12, 13)
- vzorec 4 (15)

Na mestu vzorca 1 je bila struktura sestavljena iz drobnnozrnatega ferita in globularnega perlita (slika 10). Globularni perlit kaže, da je bila cev verjetno pred dobavo segrevana pri približno 700° C, kar je povzročilo sferoidizacijo cementitnih lamel.

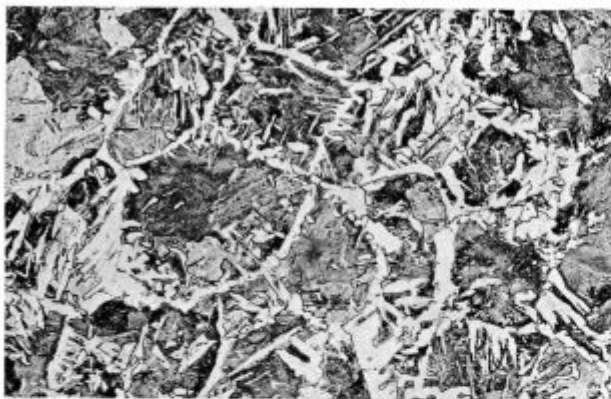
Na izrezanem vzorcu 2 (merilno mesto 6, 7, 8), kjer je bila cev nabreknjena, je bila struktura bistveno drugačna. Približno 10...15 mm od nabrekljne je bila sestavljena iz ferita in perlita (slika 11), zrna ferita so bila drobnejša kot pri

Primerjava s strukturo na mestu vzorca 1 pove, da je bilo jeklo na mestu nabreklina segreto precej nad Ac3 (približno 860°C) temperaturo (verjetno blizu 1000°C) tako, da je prišlo do pregretja (rasti avstenitnih zrn) in nastanka grobe strukture pri ohlajevanju. Na oddaljenosti približno 1,5 cm od nabreklina je bilo jeklo segreto prav tako čez Ac3 temperaturo (blizu 900°C) zaradi česar je nastala pretvorba globularnega perlita v lamelarnega. Na notranji strani cevi smo opazili ob nabrekli ostanke škaje (slika 13).



Slika 13
Škaja na notranji strani cevi, nital, pov. 100 ×

Na mestu vzorca 3 smo opazili podobno mikrostrukturo kot v nabrekli, le da je bila grobejša. To kaže na še višjo temperaturo pregretja (slika 14). Na mestu vzorca 4 je mikrostruktura podobna oni z mesta vzorca 1, kar kaže, da jeklo na tem mestu ni bilo podvrženo naknadnim toplotnim vplivom.



Slika 14
Mikrostruktura na mestu vzorca 4, ferit in lamelarni perlit, nital, pov. 100 ×

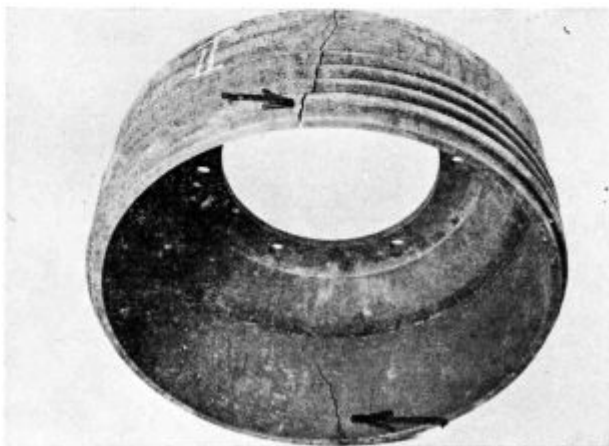
Na osnovi metalografske preiskave smo lahko zanesljivo trdili, da je bil vezni drog na nekaterih mestih v srednjem delu močno segret. V tem delu novo nastala grobokristalna struktura je v vsakem primeru neugodnejša od prvotne. Vendar ji pa

kljub temu ne moremo prisoditi, da je povzročila poškodbo droga.

Zaradi ohlajanja po lokalnem segrevanju so nastale v cevi na posameznih mestih velike notranje napetosti elastičnega značaja. Po grobi oceni lahko zrastejo na vrednosti blizu meje plastičnosti.

V neugodnih primerih se lahko seštejejo z zunanjimi obremenitvami v rezultatno, ki je povzročila deformacijo cevi. Uporabljena zunanja sila, ki je povzročila deformacijo cevi, je bila v tem primeru lahko že dosti manjša od uklonske trdnosti cevi.

3. Tretji primer je prav tako iz avtomobilske industrije. V preiskavo smo dobili 3 počene zavorne bobne avtomobilskih prikolic. Poslani vzorci so bili že rabljeni, pri servisnem pregledu pa so bili vzeti iz obratovanja (sl. 15).



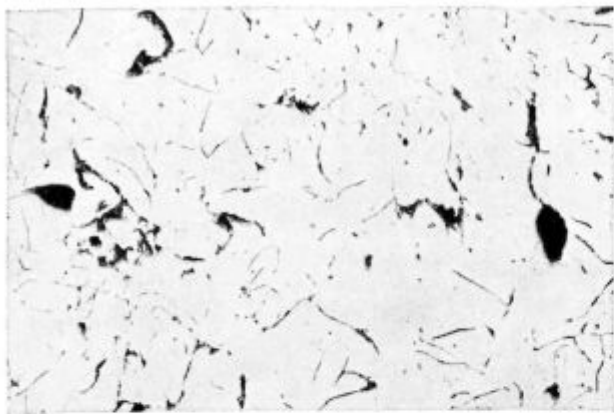
Slika 15
Izgled enega od treh zavornih bobnov. Zgoraj in spodaj sta diametralno nasproti razpoki (puščici)

Preiskava je obsegala kemično in metalografsko analizo ter merjenje mehanskih lastnosti.

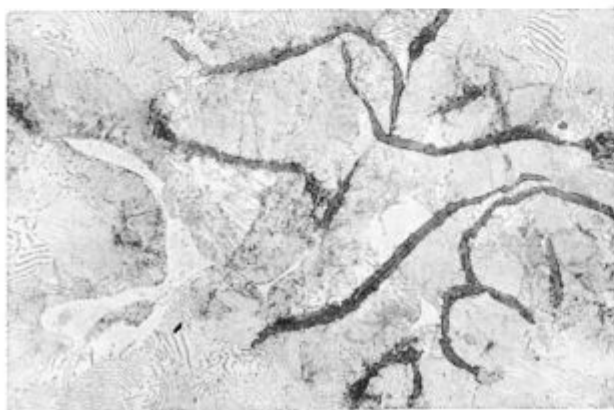
S kemično analizo smo ugotovili, da je material bobnov praktično povsem identičen, saj so razlike pri vseh analiziranih elementih (C, Cgraf., Si, Mn, P, S, Cr, Mo) največ do 0,06 %.

Na izrezanih vzorcih smo ugotovili, da je grafit v zavornem bobnu I lamelaren, vrste A in velikosti 5...6, vrste B (velikost 5...6), ter oblike interdendritskega grafita tipa E. (Velikostni razred po ASTM 6 in manjši.) Tudi množina vključkov je normalna. Posebno na zunanji strani reber smo opazili znake mikroporoznosti (slika 16). Mikrostruktura uvršča material med perlitne litine, vsebuje pa same normalne komponente: finolamelaren perlit, ferit in fosfidni eutektik (slika 17). Ferit je najbolj pogost ob grafitnih lamelah, posebno še v rozetah. Množina in porazdelitev fosfidnega eutektika prav tako ustrezata zahtevani kvaliteti materiala.

V bobnu št. II je grafit pretežno interdendritsko izločen (vrste E, velikostni razred 6 in manjši) ali pa v obliki vrste D (velikost 7...8), mestoma pa se pojavlja tudi grafit vrste A (velikostni razred 5...6). Jasno so bili vidni tudi znaki mikroporoz-



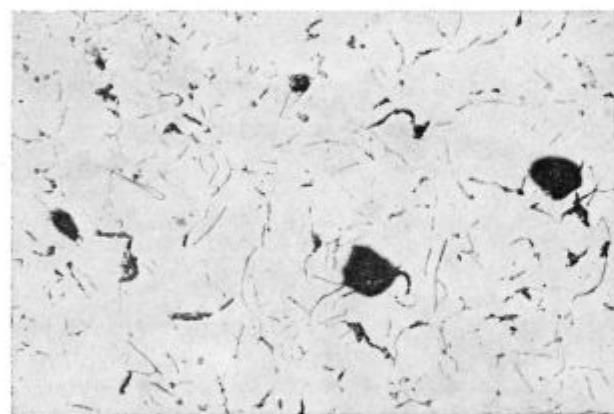
Slika 16
Mikroporoznost, polirano, pov. 100 ×



Slika 17
Struktura: grafit, perlit, ferit in fosfidni eutektik, nital, pov. 500 ×

nosti (slika 18). V strukturi ni bilo opaziti nobenih anormalnosti, sestavljale so jo pa normalne komponente: finolamelarni perlit, ferit in fosfidni eutektik.

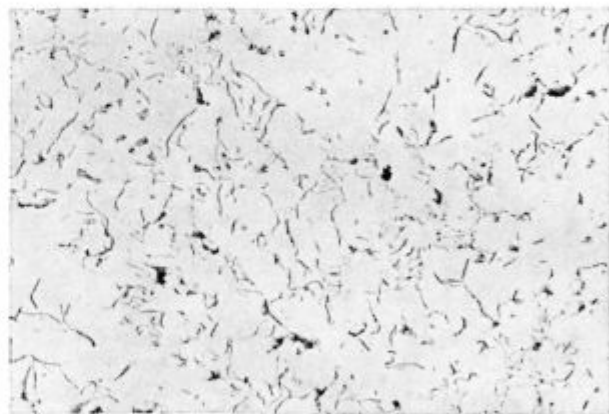
Tudi material tretjega bobna je sodil k perlitni sivi litini. Grafit je bil izločen pretežno v interdendritski obliki vrste D (velikostni razred 7...8) in



Slika 18
Mikroporoznost, polirano, pov. 100 ×

E (velikostni razred 6 in manj), (slika 19). Redko se pojavljata tudi vrsti B in A z zelo kratkimi lamelami. Mikroporoznost je bila zelo majhna. Strukturne komponente so bile iste kot pri prvih dveh bobnih.

Metalografski pregled torej ni pokazal nobenih napak, ki bi lahko bile nedvomno vzrok razpokanja. Tudi opazovana mikroporoznost tako po velikostni razporeditvi kot po obsegu, ni mogla bistveno vplivati na mehanske lastnosti litine.



Slika 19
Grafit vrste E in D, polirano, pov. 100 ×

Trdota po Brinellu (boben I - 196 kp/mm², boben II - 197 kp/mm², boben III - 198 kp/mm²) pove, da je ustrezal material kvalitete SL 26 po JUS.

Za isto kvaliteto litine pri debelini sten 15...30 mm znaša minimalna natezna trdnost $\sigma_m = 26$ kp/mm². Večjo od minimalne vrednosti sta imela le materiala bobnov I in III (27,8kp/mm² oz. 27,2 kp/mm²) pri II pa je bila okoli 25 kp/mm².

Sklep, zasnovan na zgornjih preiskavah, je v tem primeru malo drugačen kot pri do sedaj opisanih. Rezultati preiskav so pokazali, da je material ustrezal deklariranemu kvalitetnemu razredu (litini SL 26). Množina ogljika v litini je bila sicer na zgornji meji, zaradi česar je bilo v litini precej grafita, imela pa je tudi manjšo trdoto. Vse vrednosti pa so bile še vedno v intervalih, ki so predpisani za ta material. Pri preiskavi tudi nismo našli napak, ki bi utegnile biti vzrok razpokam. Opažena mikroporoznost nima večjega zarezne učinka kot ga imajo grafitni lističi, ki so normalne strukturne komponente.

Z metalurškega stališča, v kolikor smo ga lahko zajeli z izvršenimi preizkusi, je bila litina povsem v redu.

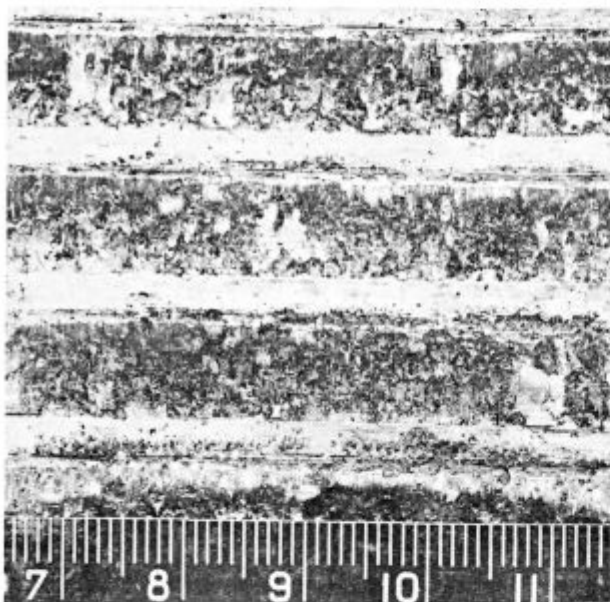
Obstojajo pa še drugi kvalitetni faktorji, katerih z laboratorijskimi preizkusi ni mogoče oceniti. Tak faktor je staranje ulitkov oziroma njihovo napetostno žarenje, o čemer pa ni bilo podatkov. Če ulitki niso bili podvrženi tej toplotni obdelavi, je bilo razpokanje verjetno posledica prav tega. Ob močnih obremenitvah pri zaviranju.

Če pa temu ni tako, je verjetni razlog razpokanja normalna obremenitev bobnov, katere litina te kvalitetne vrste ne more prenesti. Verjetno je delovna obremenitev bobnov tako velika, da bi morali biti bobni izdelani iz litine boljših mehanskih lastnosti (npr. SL 30, iz temprane litine, ki se mnogo uporablja v te namene, ali iz nodularne litine).

4. V naslednjem primeru ni bilo težko hitro poiskati vzroke porušitve, saj se je ponujal že pri prvem natančnejšem pregledu skozi binokularno lupo. Dokaj dalje smo se zamudili pri razmišljanju iz katerih kovin je sestavljena zlitina. Preiskovani element je bila navojna stročnica stiskalnice (slike 20, 21 in 22). Po mikrostrukturni značilnosti in specifični teži smo sklepali, da je material zlitina cinka in neke bistveno lažje kovine, verjetno aluminija.



Slika 20
Navojna stročnica z odtrganimi navoji



Slika 21
Povečani detajl prelomnih površin 4 navojev

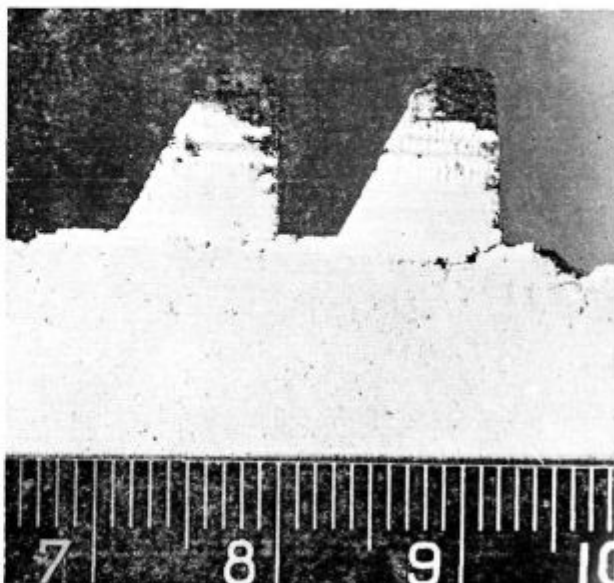
Kemična sestava zlitine je bila naslednja:

Zn	50,55 %
Al	45,70 %
Cu	3,20 %
Mg	0,21 %
Si	0,16 %
Fe	0,10 %

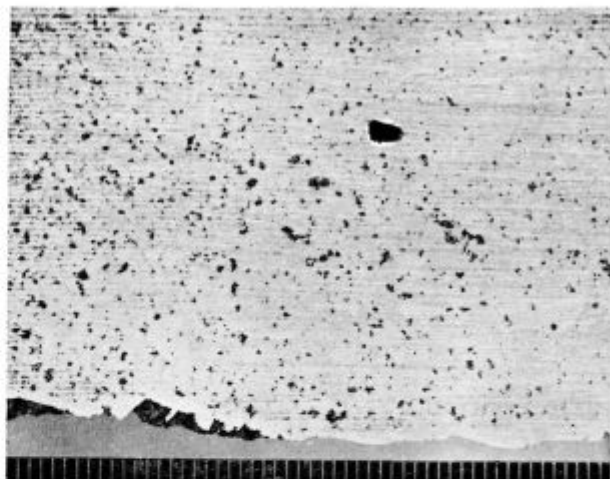
Zlitina spada v vrsto modernih cinkovih zlitin z veliko trdnostjo. Po razpoložljivih podatkih zlitina še ni bila normirana.

Zlitina ima značilno dendritsko večfazno strukturo (slika 25 in 26) z zelo finodispergirano fazo (neugotovljene sestave), zaradi česar se ji močno zvečajo trdnostne lastnosti.

V delu stročnice, ki smo ga prejeli v preiskavo, so bili navoji potrpani v korenu.



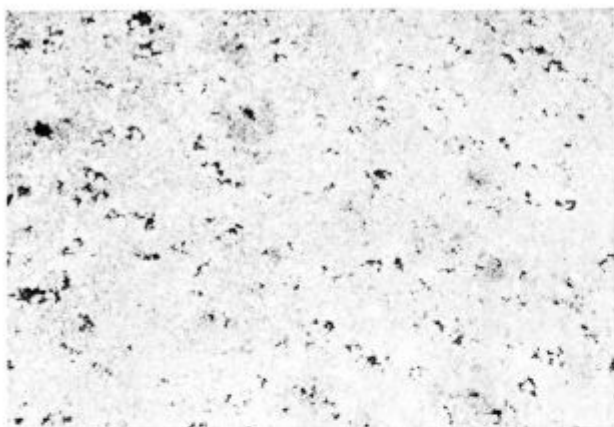
Slika 22
Prečni presek čez preostala navoja



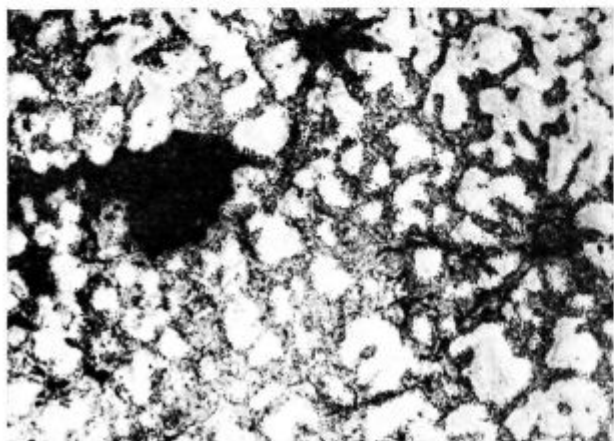
Slika 23
Izredno obširna mikroporoznost na prečnem preseku stročnice

Na sliki 21 so pri večji povečavi prikazane prelomne površine 4 navojev, slika 22 pa kaže presek presotalih navojev. V korenu desnega navoja je razpoka, obe pa imata poškodovani glavi.

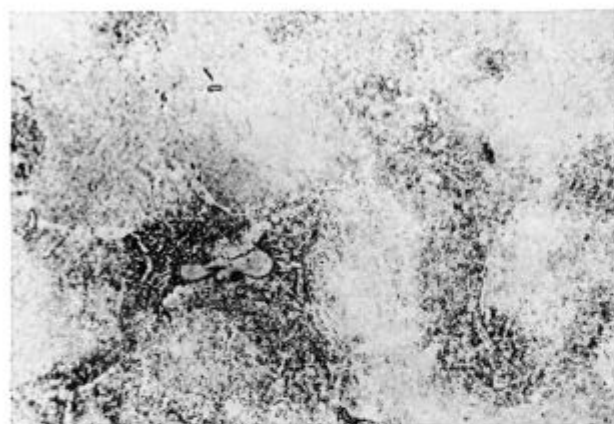
Na vseh teh posnetkih lahko opazimo, da so v kovini številne drobne napake. Jasneje pa lahko



Slika 24
Makroskopsko jedkan prečni presek stročnice, pov. $6\times$



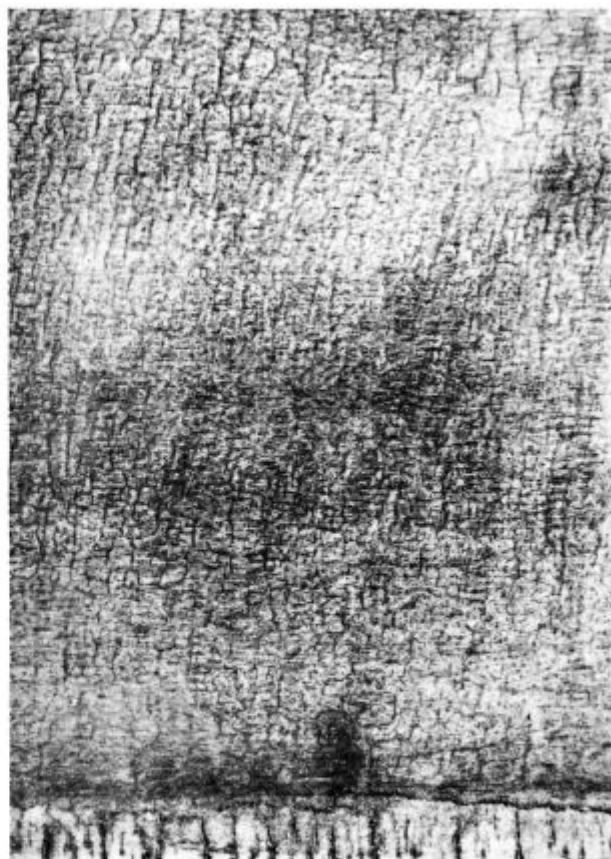
Slika 25
Makrostruktura ob porah: primarni kristali z eutektikom, pov. $40\times$



Slika 26
Mikrostruktura zlitine, pov. $200\times$

ocenimo njihovo število in razdelitev na sliki 23, ki kaže osni presek stročnice.

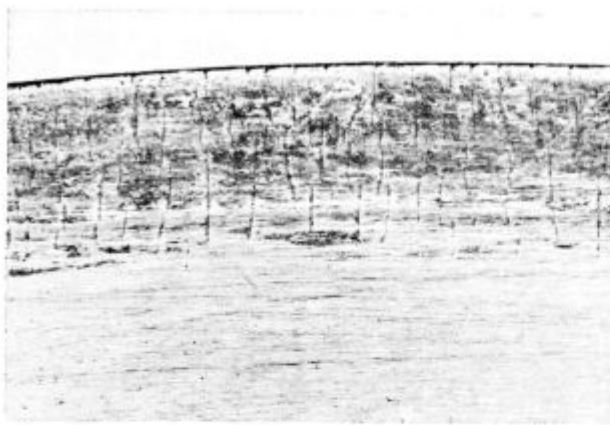
Po slikah 23, 24 in 25 se jasno vidi, da so napake mikrolunkerji. Ti niso enakomerno porazdeljeni



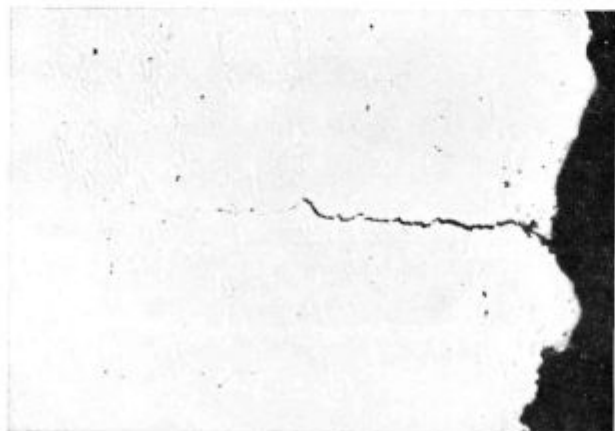
Slika 27
Brusilne razpoke na obodu noža, pov. pribl. $4,5\times$



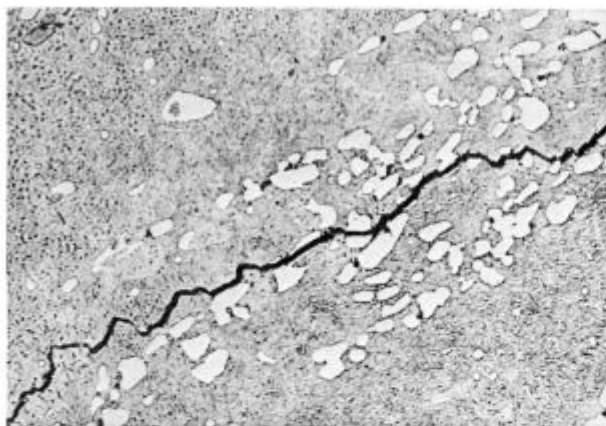
Slika 28
Brusilne razpoke na osnovni ploskvi noža, pov. pribl. $2\times$



Slika 29
Razpoke ob rezalnem robu na osnovni ploskvi valja,
pov. pribl. 5 ×



Slika 30
Transkristalna razpoka na ravni površini noža, pov. 200 ×



Slika 31
Potek razpoke preko mikrostrukturnih komponent, jed-
kano ($\text{CuSO}_4 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$), pov. 500 ×

v ulitku, marveč jih je več v spodnjem delu (sl. 20).

Množina mikrolunkerjev in obseg nezdravega materiala sta tako velika, da ulitek ni primeren za namenjeno uporabo. Škodljivi vpliv nehomoge-

nosti zlitine se je pokazal v tem, da so mikrolunkerji olajšali nastanek in širjenje prelomne razpoke v korenu navojev, kjer je pri obremenitvi navojne stročnice največja koncentracija nape-
tosti.

5. Naslednji primer je poškodovan krožni nož, ki je razpokal že po kratki uporabi. Nož je bil odluščen na reznem robu, imel pa je tudi vzporedne razpoke s tem robom. Na površini, ki se je pri odluščenju odkrila, je bil pokrit pas s svetlorjavo rjo, globlje pa s temno sivo snovjo. Ista snov se je pojavila tudi, ko smo rezni rob luščili naprej po obstoječi razpoki. Svetlo rjava rja se je lahko raztopila v razredčeni solni kislini, temno siva pa nekoliko počasneje, niso je pa raztopljala organska topila. Po tem sklepamo, da to niso ostanki kalilnega olja, ampak škaje, ki je prišla v razpoko z jeklene pločevine med rezanjem.

Po jedkanju so se na površini noža odkrile (slike 27 in 29) drobne razpoke. Na obodu noža so razpoke samo ob rezalnem robu (slika 29), na drugih mestih pa pokrivajo velike dele rezne površine.

Razpoke so bile podobno usmerjene in nekoliko večje ob zunanjem robu kot v notranjosti (slika 28). Na obodu valja so bile tudi številne drobne razpoke pretežno v smeri osi valja. Ob robu so bile večje in povezane z onimi v osni smeri.

Potek razpoke v preseku, vzporednem z osnovno ploskvijo, kaže slika 30. Ta razpoka je bila približno 0,4 mm globoka.

Oblika, število in velikost razpok kažejo, da niso nastale pri kaljenju noža, temveč pri brušenju kaljenega noža. Vzrok je bil ali preslabo hlajenje ali prevelik odvzem materiala. Brusilne razpoke so se nato pri rezanju še bolj širile in med sabo povezale v značilno mrežasto obliko, kar je povzročilo odluščenje reznega roba.

S ponovljenim celotnim ciklom toplotne obdelave in odstranitvijo poškodovanega dela je bilo mogoče nato popraviti nož.

SKLEP

V zgornjih primerih smo pokazali vzroke porušitve oziroma nastanka takšnih poškodb na konstrukcijskih delih, da le-ti niso bili več uporabni.

V opisanih primerih je vzrok poškodb in neuporabnosti ali tipična livarska napaka, toplotna poškodba ali pa nepravilno izbran material za dane delovne pogoje. V vseh opisanih primerih smo razmeroma po lahki in kratkotrajni poti ugotovili in dokazali materialne napake in s tem vzroke neuporabnosti.

Pri obravnavi teh problemov se je že mnogo-krat pokazalo, da strojna in kovinska industrija premalo kontaktirata z metalurgi, če pa, je že prepozno. Eden naslednjih člankov bo ta primer povsem ilustrativno potrdil.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel sind einige Beispiele der Zerstörung und Beschädigung verschiedener Konstruktionselemente beschrieben.

In den beschriebenen Fällen ist die Ursache der Beschädigung oder ein typischer Gießfehler, eine Warmversprödung oder für die gegebenen Arbeitsbedingungen ein nicht recht ausgewählter Werkstoff. In allen Fällen haben

wir verhältnismässig leicht und schnell die Ursache der Beschädigung gefunden.

Bei den meisten hier beschriebenen Fällen war eine schlechte Arbeit, die Nachlässigkeit bei der Warmbearbeitung der Konstruktionsteile und eine zu kleine Aufmerksamkeit beim Auswählen des geeignetsten Werkstoffes der Grund für das Auftreten der Fehler.

SUMMARY

In the paper some cases of breaking and damage on construction elements are described.

In the described cases the damage, and the inapplicability of the elements were caused either by typical casting defects, thermal damages or incorrectly chosen materials for given working conditions. In all the described cases

the material defects were found relatively easily and quickly, and thus also the cause of their inapplicability.

Majority of the previously described defects were caused either by badly performed work, carelessness in heat treatments, or insufficient care in choosing materials.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны случаи разрушения и повреждения различных конструктивных элементов.

На описанных примерах причина повреждения порок типично литейного происхождения, тепловое повреждение или неправильный выбор материала для данных условий работы.

При всех описанных примерах порок обнаружен весьма легко и быстро и таким образом определено почему данный элемент не употребим.

В большинстве случаев пороки вследствие: плохо выполненная работа, небрежность при выполнении термической обработки и недостаточное внимание при выборе материала.