

Preiskava vzrokov poškodb na lopaticah parne turbine

Lopaticice so bile iz jekla z 0,20 % C in 13,3 % Cr. Razpoke so se pojavile ob stabilizacijskih čepih. S pomočjo mehanskih in metalografskih preiskav je bilo ugotovljeno, da je bilo vzrok nastanku razpok pregretje jekla pri lotanju čepov, mikrofraktografska preiskava pa je pokazala, da so se razpoke širile postopoma iz začetnih mikrorazpok.

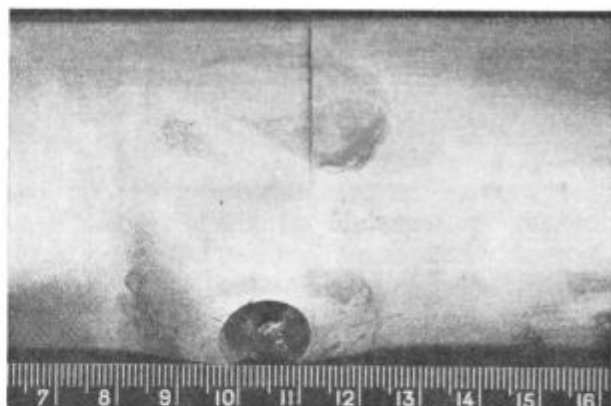
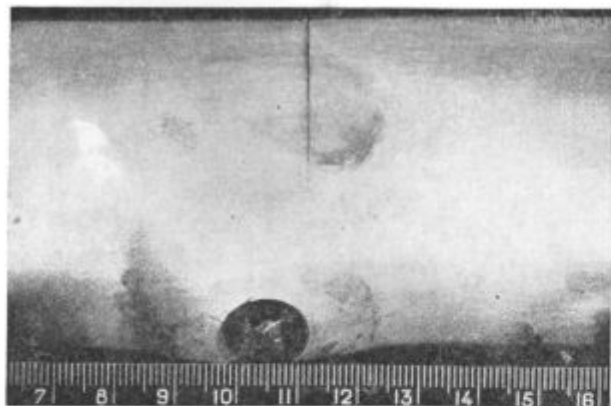
1. OPIS POŠKODBE IN MEHANSKE PREISKAVE JEKLA

Parna turbina je bila ustavljena zaradi prevelikih vibracij. Pri pregledu se je opazilo, da so na številnih lopaticah nizkotlačnega dela ob stabilizacijskih čepih razpoke pravokotno na os lopatice (sliki 1 in 2). Potrebno je bilo dognati naravo in poreklo teh razpok. Po podatkih iz strokovne lite-

tudi zahtevane lastnosti. Mehanske lastnosti lopatic popolnoma ustrezajo predpisom.

Poprečna trdota, poprečje zelo številnih meritev na petih lopaticah, je bila 227 HV 10. Na dveh lopaticah smo izmerili trdoto po celi površini. Ta poskus je pokazal, da je trdota po vsej lopatici precej enakomerna, razen ob čepih z ali brez razpok. Tu je merjenje trdote po bolj gosti kvadratni mreži pokazalo močno lokalno povečanje trdote (slika 3). V primerjavi s trdoto preostalega dela lopatice je bilo povečanje trdote mestoma večje od 100 %.

Jedkanje je pokazalo, da je na mestu povečane trdote makrostruktura jekla drugačna od makrostrukture normalnega dela lopatice. To polje drugačne makrostrukture se je pokazalo pri vseh čepih približno na istem mestu, razlikovalo pa se je po velikosti.



Slika 1 in 2

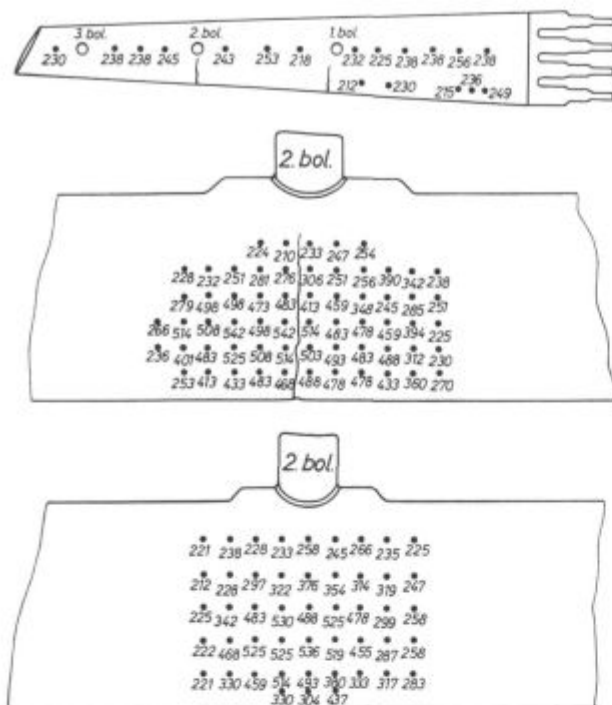
× 0,7. Makroskopsko jedkano. Razpoke na dveh lopaticah ob drugem čepu

ture se lopatice izdelujejo iz legiranega kromovega jekla, ki ima po JUS standardih označbo Č. 4172, v katalogu naših železarn ima oznako Prokron 3, po DIN pa oznako X20Cr13. Predpisi zahtevajo, da ima to jeklo 0,17 do 0,22 % C, 12 do 14 % Cr in standardne vsebnosti drugih legiranih elementov in nečistoč. Kemijska analiza je pokazala, da so lopatice iz jekla z 0,20 % C in 13,3 % Cr, to je, da sestava ustreza predpisom. Vzorci iz treh različnih lopatic so pokazali poprečje mehanskih lastnosti, ki je navedeno v tabeli 1, kjer so podane

2. METALOGRAFSKA PREISKAVA

Iz poškodovanih lopatic in iz neuporabljenih rezervnih lopatic smo izrezali vzorce za mikroskopsko preiskavo na različnih značilnih mestih. Dognali smo, da ima jeklo malo vključkov in mikrostrukture iz popuščenega martenzita, ki je na tanjših presekih nekoliko bolj fin kot na debelih (sliki 4 in 5).

Mikrostruktura na trših poljih ob čepih pa je bistveno drugačna in je sestavljena iz drobnostna-



Slika 3

Trdota vzdolž osi lopatice (zgoraj) in na poškodovanih mestih ob čepih z razpoko (sredina) in brez nje (spodaj)

tega kalilnega martenzita, ki ima ob kristalnih mejah bolj ali manj razvito karbidno mrežo (sliki 6 in 7). V mikroskopu se je jasno videlo, da potekajo glavna razpoka in njene stranske veje prav po karbidni mreži.

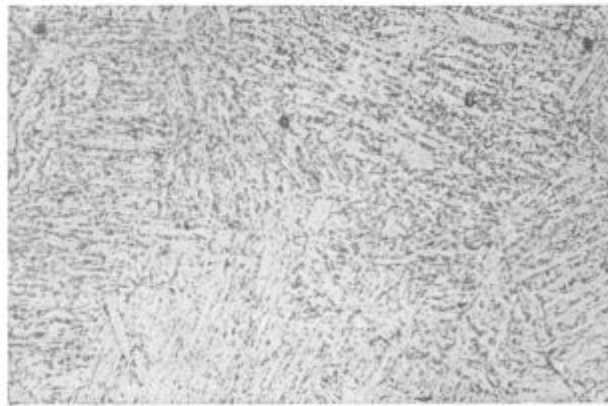
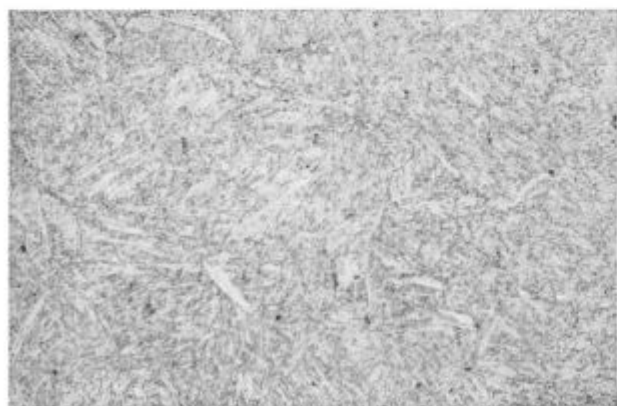
Mikrostruktura iz kalilnega martenzita in karbidne mreže je zelo krhka, je metalurško nedopustna in očiten dokaz, da je nepravilno delo pokvarilo spočetka dobro jeklo. Taka struktura lahko nastane samo, če jeklo ogrevamo pri dovolj visoki temperaturi dovolj dolgo, da pride do transformacije martenzita in karbidov v avstenit in ga nato počasi ohlajamo ali pa zadržujemo pri nekoliko nižji temperaturi, da nastane karbidna mreža

zaradi zmanjšane topnosti ogljika, nato pa jeklo ohladimo dovolj hitro, da pri ohlajanju nastane fino zrnati kalilni martenzit. Po faznem diagramu Fe-C-Cr je za jeklo Prokron 3 pričakovati premeno $\alpha - \gamma$ pri temperaturah med 850—900° C. Praktični preizkus na vzorcih jekla, izrezanih iz lopatic, pa je pokazal, da nastane karbidna mreža, če se jeklo počasi ohlaja v intervalu 800—850° C. To se ujema s preje omenjenim faznim diagramom, ki kaže, da je v tem temperaturnem intervalu trifazno področje obstojnosti ferita, avstenita in karbidov. Gotovo je zato, da je nastala karbidna mreža zaradi zadrževanja jekla približno v tem temperaturnem intervalu.

3. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH PODATKOV

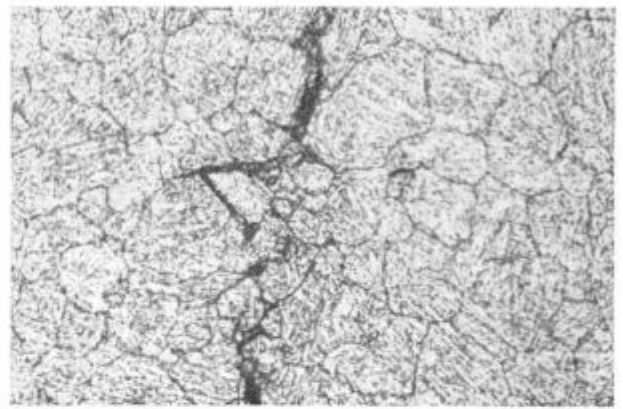
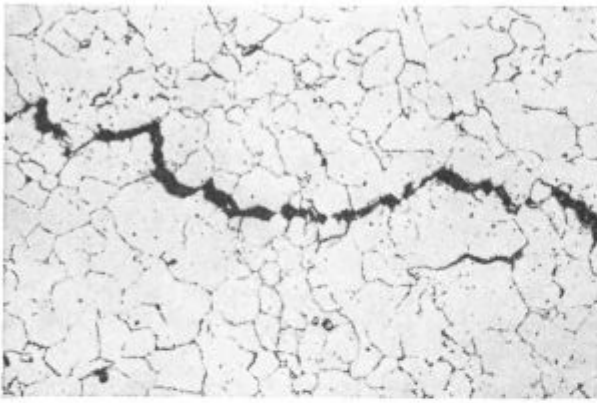
Z metalografskimi preiskavami in merjenjem trdote je nedvomno dokazano, da je pri lotanju čepov na lopatice prišlo do nedopustnega lokalnega previsokega segrevanja jekla, kar je imelo za posledico nastanek krhke martenzitno-karbidne mikrostrukture. To pa je zvezano še z enim neprijetnim pojavom. Lokalno segrevanje in ohlajanje in nastanek martenzita povzročijo zaradi volumskih sprememb močne notranje napetosti. S pomočjo merilnih trakov je bilo eksperimentalno ugotovljeno, da so v zalotani nerazpokani lopatici ob robu polja termičnega vpliva natezne notranje napetosti. Ob robu lopatice, kjer so bile razpoke in približno paralelno z osjo lopatice, so bile izmerjene največje napetosti 14,3 kp/mm², na novi lopatici pa na istem mestu in v isti smeri pa le 2,9 kp/mm².

Lahko upravičeno predpostavimo, da so napetosti v mikroskopskem merilu še večje, saj volumske spremembe zaradi lokalnega ogrevanja, ohlajanja in transformacije, lahko povzročijo notranje napetosti, ki presegajo mejo plastičnosti jekla ali pa celo presegajo njegovo trdnost. Dokaz za to so kalilne razpoke.

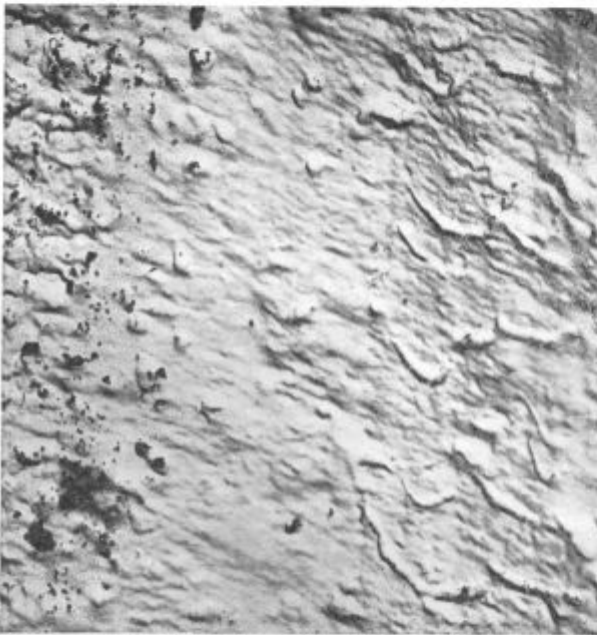


Slika 4 in 5

× 500. Mikrostruktura jekla na tanjšem in na debelejšem preseku lopatice



Slika 6 in 7
 × 200. Karbidna mreža in razpoke na dveh lopaticah



Slika 8 in 9
 × 6000. Dvostopenjska replika: plastična snov — oglje. Mikrofraktografske značilnosti prelomne površine.

Vse to kaže, da so razpoke nastale zato, ker je zaradi nepazljivega spajkanja čepov prišlo istočasno do nastanka velikih notranjih napetosti in krhke mikrostrukture.

Pojavilo pa se je vprašanje, kdaj so razpoke nastale, t. j. ali so nastale v praktično polni velikosti naenkrat zaradi trenutne anormalnosti v obratovanju turbine ali pa so se počasi širile iz začetne mikrorazpoke zaradi vibracij v obremenitvi med obratovanjem turbine in so zato utrujenostnega porekla. Na prelomnih površinah ni bilo mikroskopskih značilnosti na osnovi katerih bi lahko opredelili način širjenja razpok in dognali njihovo poreklo. Zato smo na prelomnih površinah napravili preiskavo z elektronskim mikrosko-

pom po mikrofraktografski metodi. Po tej metodi je mogoče na osnovi mikroskopskih značilnosti točno opredeliti način širjenja razpoke in s tem njeno naravo¹. To je seveda mogoče le v primeru, če korozija ni preveč poškodovala prelomnih površin. Tega se ni bilo treba bati, ker so lopatice iz nerjavnega jekla in so prišle v stik le z vodo in vodno paro. Z zaporednimi odtisi v zmehčani rodoid smo prelomno površino očistili, nato pa pripravili indirektno ogljene replike. Opazovanje v elektronskem mikroskopu je pokazalo na prelomni površini na posameznih mestih periodičnost v morfologiji preloma, kar je značilen znak, da je razpoka nastala s postopnim širjenjem, t. j., da je utrujenostnega porekla.

4. SKLEP

Na osnovi opisanih rezultatov preiskave smo lahko z gotovostjo oblikovali naslednji sklep:

Nepravilno ogrevanje pri spajkanju čepov je lokalno pokvarilo jeklo z dobrimi začetnimi lastnostmi in ustvarilo notranje napetosti ter krhko mikrostrukturo. Na posameznih mestih, kjer so

Tabela 1 — Mehanske lastnosti

Povprečje 3 lopatic	Predpis za X20Cr13	
Trdnost (kg/mm ²)	76,8	65—80
Meja plastičnosti (kg/mm ²)	60,8	najm. 45
Raztezak (%)	18	najm. 16
Kontrakcija (%)	64	
Žilavost (kg/cm ²)	7,6	najm. 4
Trdota HV 10 (kg/mm ²)	277	180—250

bile notranje napetosti največje, so se zato pojavile pri ohlajanju po lotanju ali pa zaradi vibracij med obratovanjem turbine drobne mikrorazpoke. Med obratovanjem turbine so se zaradi omenjenih vibracij razpoke širile po mehanizmu, ki je značilen za širjenje razpok utrujenostnega porekla.

Opisanih poškodb jekla Č.4172 ni mogoče popraviti z nobenim drugim posegom kot s ponovno termično obdelavo lopatic, kar je bilo nemogoče napraviti. Zato je bilo potrebno vse lopatice, ki so bile od spajkanja poškodovane, zamenjati z novimi, za lotanje pa uporabiti trdo spajko z nižjim tališčem, ki ne zahteva, da se pri delu z njo jeklo segreje na tako visoko temperaturo, da lahko pride do α - γ premene.

Literatura

1. L. Kosec in F. Vodopivec: »Uporaba metode mikrofraktografije«, Železarski zbornik, 3, marec 1969, 1—14.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Dampfturbinenschaufeln waren aus einem Stahl mit 0,20 % C und 13,3 % Cr hergestellt. Die Risse sind an Stabilisationszapfen entstanden. Die mechanischen und metallographischen Untersuchungen haben ergeben, dass die

Überhitzung beim Lötten der Grund für die Entstehung der Risse ist. Die mikrofraktographischen Untersuchungen zeigten, dass sich die Risse von der erst entstandenen Mikrorissen stufenweise ausbreiteten.

SUMMARY

The vanes were made from steel with 0,20 % C and 13,3 % Cr. The cracks were observed in the vicinity of stabilizing corks. Mechanic and metallographic investigation revealed that the cause for cracking was overheating of

steel which occurred during the soldering of the corks. Microfractographic investigation showed that the cracks gradually propagated from the initial microcracks.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лопатки турбины выработаны из легированной стали с содержанием 0,20 % C и 13,3 % Cr. Трещины обнаружены на поверхности стабилизационных пробков.

На основании механических и металлографических результа-

тов испытания пришли к заключению, что причина трещин перегрев стали во время пайки; микрофрактографическое испытание показало что появление трещин происходило постепенно начиная с возникновением микро-трещин.

