

Uzroci loma regulacionih ventila parne turbine

BRATICA K. TEMELKOSKA, Univerzitet Goce Delčev,

Mašinski fakultet, Štip, Severna Makedonija

RADOMIR K. CVETANOSKI, Univerzitet Goce Delčev,

Mašinski fakultet, Štip, Severna Makedonija

SARA S. SREBRENKOSKA, Univerzitet Goce Delčev,

Mašinski fakultet, Štip, Severna Makedonija

VLATKO B. MIRČESKI, REK „Oslomej“, Kičevo, Severna Makedonija

Stručni rad

UDC: 620.172.24:621.165-32

DOI: 10.5937/tehnika1904539T

Parne turbine ne rade uvek sa konstantnim nominalnim opterećenjem. Načini eksploatacije zahtevaju da turbine rade sa promenljivim protokom pare koja prolazi kroz turbinu. Ovi načini rada dovode do promene mehaničkog stanja elemenata turbine i opreme, tj. određeni elementi turbine su izloženi kompleksnim naprezanjima pod dejstvom unutrašnjeg pritiska, promene temperature (startovanje iz hladnog ili toplog stanja u nekoliko ciklusa, koji mogu prouzrokovati plastične deformacije, pukotine u kućištu, ventila i parovoda, ukrivljene horizontalne prirubničke spojeve, promenu strukture metala, povećanje habanja ležajeva i druge neželjene posledice koje dovode do loma elemenata. Pored toga, do loma može doći zbog neodgovarajućeg materijala odabranog za izradu odgovornih delova i od nepravilne montaže ovih elemenata, kao što je prezentovano u ovom radu na nekoliko primera.

Ključne reči: mehanizmi loma, lomovi, plastična deformacija, naprezanje, materijali

1. UVOD

Projektovanje i izgradnja parnih turbina vrši se za jedan računski ili nominalni režim rada, u kome to energetsko postrojenje radi najduži vremenski period u svom životnom veku, te u tom režimu ima najveći stepen iskorišćenja odnosno najmanju specifičnu potrošnju pare ili toplote po jedinici proizvoda. Znači, vrši se izbor geometrije, konstrukcije kao i odgovarajućih materijala na ugrađenim elementima za najekonomičniji proračunski (nominalni) režim rada.

Parne turbine ne rade uvek sa konstantnim nominalnim opterećenjem, niti sa konstantnim ostalim parametrima. Načini eksploatacije mogu usloviti da turbina značajan deo vremena radi sa promenljivim protocima pare kroz turbinu: za vreme puštanja u rad i zaustavljanja turbinskog (blokovskog) postrojenja zbog redovnog rada ili zbog tehnoloških problema u pogonu i sl.

U opštem slučaju, radne karakteristike toplotnih turbina odnose se na stacionarne i nestacionarne reži-

me rada. Nestacionarni režimi rada determinišu osobine turbina u pogledu regulisanja. Dele se na one koji nastaju u normalnoj eksploataciji (puštanje turbine u rad, zaustavljanje parne turbine, promena snage pri radu parne turbine) i one koji nastaju pri havarijskim uslovima, kada zbog delovanja sistema zaštite dolazi do naglog isključenja parne turbine iz pogona.

Dakle, sistem regulacije parnih turbina treba da omogući pouzdan i siguran rad parnih turbina sa ekonomski prihvatljivim pokazateljima rada [1].

Prvi na udaru ovih promena su regulacioni ventili, kojima je potrebno posvetiti posebnu pažnju.

2. ISPITIVANJE LOMOVA I NAČIN REŠAVANJA PROBLEMA U PRAKSI

Lom je krajnji rezultat plastične deformacije i nastaje kada se iscrpi sva mogućnost materijala u pogledu elastične i plastične deformacije [2], [3].

Lom se može definisati i kao makroskopsko razdvajanje materijala koje dovodi do gubitka nosivosti čvrstog tela [4].

Fizički uzrok loma je delovanje naprezanja koje zajedno sa uticajem sredine razara atomsku i/ili molekularnu vezu, te na taj način formira slobodnu površinu. U teoriji loma i čvrstoće materijala sasvim je

Adresa autora: Dragica Temelkoska, Univerzitet Goce Delčev, Mašinski fakultet, Štip, Krste Misirkov 10a, Severna Makedonija

e-mail: bratica.temelkoska@ugd.edu.mk

Rad primljen: 29.10.2018.

Rad prihvacen: 24.06.2019.

sigurno da, da bi se dogodio lom, postoje tri faze: formiranje pukotina, rast pukotina pod dejstvom spoljnog naprezanja i lom materijala. Pojava pukotina i njihov rast zbog promenljivog opterećenja naziva se zamor materijala [6], [5].

Najvažniji deo svakog ispitivanja za nastajanje loma je: pronalaženje uzroka izazivanja pukotine (inicijalne pukotine), pukotina koja se širi, kao i napregnuo stanje tela koje uzrokuje njeno propagiranje (širenje) [7].

Na osnovu toga, koji procesi utiču na pojavu početka pukotine i njenog rasta, lomovi se dele prema uzrocima koji su izazvani od:

- brzih jakih udaraca, sa naprezanjem većem od unutrašnjeg naprezanja tela - katastrofalni (trenutni) lom,
- monotonog povećanja naprezanja na istezanje sa uzrokovanjem deformacije preseka tela, koagulacijom vakancije kao posledica svake plastične deformacije, stvaranjem pora i kidanjem zbog preopterećenja efektivno smanjene površine (prekomerno istezanje) – lom pri zatezanju
- monotonog povećanja naprezanja na pritisak i pojave radijalnih pukotina na površini tela - lom izazvan pritiskom.
- manjih naizmenično nanetih naprezanja i time izazvane plastične deformacije – lom od mehaničkog zamora materijala;
- stvaranja pukotina i njihovog rasta od korozivnih procesa na površini – korozivni zamor.
- formiranja pukotina iz zarobljenog vodonika na niskim temperaturama i formiranja njegovih molekula na povišenim temperaturama stvaranje mehurića (vodonično oštećenje materijala), koji se otvaraju i formiraju pukotine – vodonični lom i dugotrajna i spora deformacija tela tokom konstantnog naprezanja u sporu plastičnoj deformaciji – lom od puzanja.[9], [6].

Metodologija, tj. redosled osnovnih koraka ispitivanja lomova su [7]:

- Opis lokacije loma: istorija loma, proračun elemenata, eksploatacija elemenata, fotografski snimci;
- Vizuelni pregled;
- Proračunska analiza (analiza napona);
- Analiza hemijskog sastava (pogodnost upotrebljenog materijala);
- Fraktografija: korišćenjem optičkog i elektronskog mikroskopa, kako bi se utvrdio mehanizam loma;
- Metalografski pregled: ispitivanje mikro strukturnih osobina materijala kako bi se povezali sa mehaničkim karakteristikama;

- Simulacija loma: koristan ali i skup pristup koji nije uvek moguć.

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Da bi se utvrdio razlog loma vretena ventila, analizirana su tri slomljena vretena regulacionih ventila visokog pritiska. Ovi regulacioni ventili služe za regulisanje pregrejane vodene pare sa pritiskom od 130 bari i temperaturom od 545°C na turbini 13K12 u TE „Oslomej“. Oprema turbine je ZAMECH-Poljska, pa i primenjeni čelici su po PN normama.

Za ispitivanje uzeta su tri uzorka (uzorak 1, uzorak 2, uzorak 3) od slomljenih regulacionih vretena VP turbine.

Uzorak 1 je od slomljenog vretena koje je bilo u eksploataciji 10.000 radnih sati, uzorak 2 - bio je u eksploataciji 350 radnih sati i uzorak 3, 360 radnih sati u eksploataciji do loma. [8] [9]

Uzorak 1 je deo podvižnog dela ventila (zatvarač ventila), sa lomom na delu koji se spaja osovinom na pečurku. Frakturni deo je kružnog preseka Ø36 mm.

Uzorak 2 je šipka sa navojem (vreteno ventila) prečnik Ø36 mm. Lom vretena je u zoni ispod spoja i iznad spoja vretena sa pečurkom ventila.

Uzorak 3 Slomljeni deo je vreteno sa navojem M33, sa cilindričnim ispučenim beznavojnim delom u vidu vođice Ø25 mm i h=5 mm. Ventil je slomljen odmah ispod vijaka koji povezuju vreteno sa regulacionim i upravljačkim sistemom ventila.

3.1. Hemijska analiza i mehaničke karakteristike uzoraka 1, 2 i 3

3.1.1. Hemijska analiza

Uzorak 1 je proizveden od čelika 26H2MF. Prema PN normama, to je perlitno feritan čelik, na kome je izvršena termička obrada, i pripada klasi čelika namenjenih za rad na povišenim temperaturama.

Uzorak 2 je od čelika perlitne klase i najbliži je 1X12B2MΦ prema GOST, sa napomenom da je sadržina molibdena malo niža od propisane, a sadržaj vanadija i volframa nije određen. U poljskim standardima nema sličan čelik (tabela 1).

Uzorak 3, na osnovu analize hemiskog sastava, je niskolegirani čelik sa Cr, Mo i V, konstrukcijski čelik otporan na puzanju, termički obradiv, sa namenom za izradu vijaka i matice za rad na povišenim temperaturama, koji je skoro identičan po sastavu (osim povećani Ni u ispitivani material), sa čelikom sa WN 1.7709 ili prema DIN sa 21CrMoV5-7, 24CrMoV55 i ostali iz grupe čelika koji su otporni na puzanje pri visokim temperaturama, sa manjih varijacija Cr i Mo u njih. Čelik 17.709 često se koristi kao konstrukcijski materijal za izradu regulacionih ventila, koji rade na temperaturi do 540°C. (tabela 2).

Tabela 1. Hemijska analiza uzoraka 1 i 2

Hem.elem.	Uzorak 1	Čelik 26H2MF	Uzorak 2	Čelik 1X12B2MΦ
C%	0.28	0.22-0.30	0,135	0,11-0,17
Si %	0.38	0.30-0.50	Nije određen	<0.5
Mn %	0.38	0.30-0.60	Nije određen	0.5-0.8
Cr %	1.85	1.5-1.8	12.10	11-13
Mo %	0.55	0.6-0.8	0.5	0.6-0.9
V %	Nije određen	0.2-0.3	Nije određen	0.15-0.30
S %	0.011	0.035	0,008	W=1.7-2.2
P %	0.025	0.035	Nije određen	

Tabela 2. Hemijska analiza uzorak 3

Hem.elem.	21CrMoV5-7, 24CrMoV55	DIN –WN 1.7709
C%	0.20	0.17-0.02
Si %	0.31	0.15-0.35
Mn %	0.71	0.35-0.85
S %	0.017	max.0.030
P %	0.004	max.0.030
Cr %	1.30	1.2-1.50
Mo %	0.67	0.65-0.80
V%	0.26	0.25-0.35

3.1.2. Analiza mehaničkih osobina

Za analizu izvršena su po tri merenja i uzete su prosečne vrednosti, koje su date u tabelama 3 i 4.

Tabela 3. Mehaničke karakteristike uzoraka 1 i 2

oznaka	Rm [N/mm ²],	ReH [N/mm ²]	A [%].
Uzorak 1	782	631	19,01
26H2MF	900	750	12
Uzorak 2	717	570	20,1
1X12B2MΦ	800	600	15

Napomena: Po standardu se za RM daje opseg a za ReH minimalna vrednost

Tabela 4. Mehaničke karakteristike uzorka 3

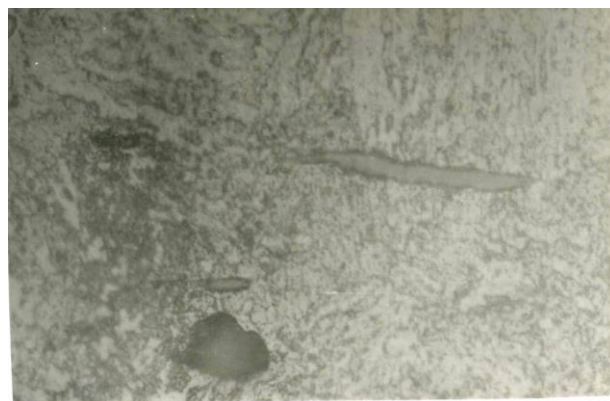
čelik	Izmerene vrednosti za Rm, [N/mm ²]		
21CrMoV5-7, 24CrMoV55	713	735	759
WN 1.7709	Vrednosti prema standardu za Rm, [N/mm ²]		
	min.700	max.850	

3.2 Mikrostruktura uzoraka

Mikrostruktura uzoraka 1 i 2

Mikrostruktura čelika iz uzoraka 1 i 2 ne ukazuje na fatalne promene mikrostrukture. Njegova čistoća je prilično visoka, pa se prelom ne može pripisati nedostacima u strukturi primarnog čelika.

Segregacija legirajućih elemenata, koja ima udel u širenju mikro-pukotina, je u normali sa metalurškog aspekta. (slika 1 i slika 2) .



Slika 1 - Uzorak 1: Struktura opušteni martenzit (martenzitno/beinitna). Uočljivi i sulfidni uključci (povećano 200x) [8]



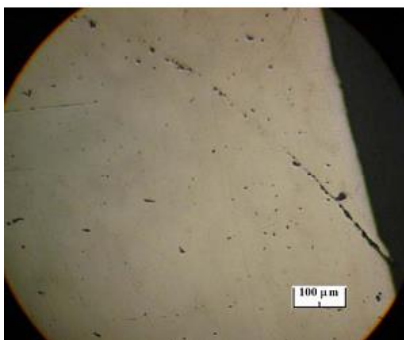
Slika 2 - Uzorak 2: Martenzitno-feritna, vidljivo opušten martenzit formiran sa koagulacijom karbida po granici 1000x [8]

Mikrostruktura uzorka 3

Mikrostruktura je martenzitno/beinitna zakaljenog i u velikoj meri otpuštenog čelika, sa formiranim feritom na otpuštanju.

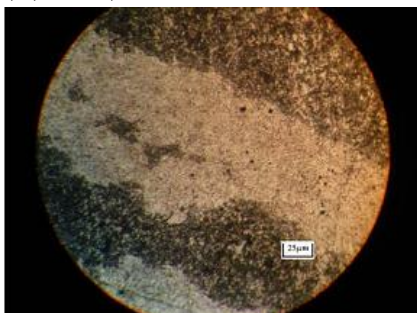
Mikrostruktura ne ukazuje na formiranje mikro-pukotina u telu, pod uticajem faznih transformacija u metalu. Na posebno pripremljen šlift u poprečnom pravcu ose, vidljiva je u blizini prelomne površine, vertikalno, pojava pukotine (duž ose vretena).

Mikrosnimak ukazuje na torziju pukotine, što znači da na nju nisu delovale tangencijalna torziona naprezanja (slika 3).



Slika 3 - Uzorak 3, Mikrosnimak sa originalnim uvećanjem 310x na poliranoj površini 1-2 mm ispod pukotine [9]

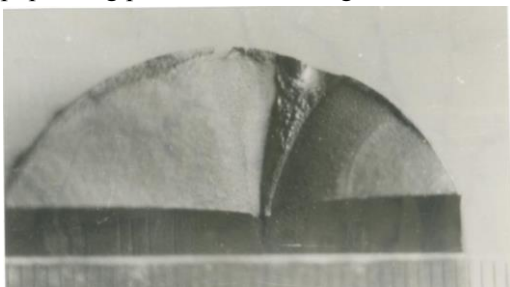
Formirane mikrostrukturne trake od primarne termomehaničke obrade (valjanje ili kovanje) sastoje se od trake karbida i trake bajanit/martenzit/ferit (u kojima je ugljenik tvrdi rastvor deformisane ili otpuštene α -rešetke) (slika 4).



Slika 4 - Uzorak 3 snimak trake od toploplastične deformacije. U svetlom polju grupisana su martenzitna zrna, a u tamnom delu karbidi i martenzitno/ bajinitna zrna [9]

3.3. Mikrovizuelni izgled ispitivanih preloma

Uzorak 1 je deo gornjeg zatvarača ventila. Na jednom kraju vreteno ima navoj, a na donjem delu povezuje se za pečurku ventila. Sa vretenom se podiže i spušta zatvarač (pečurka) ventila, a na kraju vretena od zatvarača ima frakturu i to na mestu otvora u koji ulazi osovin, koja povezuje vreteno sa pečurkom ventila. Fraktura je nastala tačno na najvećem prečniku otvora, duž poprečnog preseka cilindričnog dela, (slika 5).



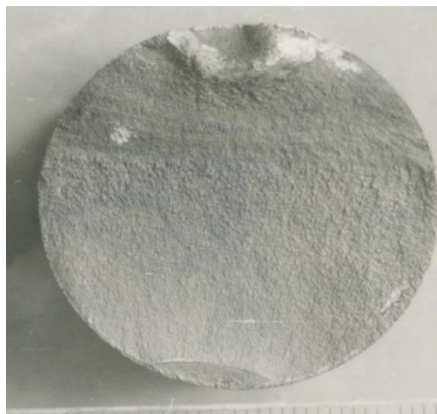
Slika 5 - Makroskopski snimak dela prelomne površine uzorak 1. Vidljivo propagiranje pukotine od dva različita pravca, koji se sjedinjavaju pod uglom u donjim površinama [8]

Na zidu cilindričnog dela uočljiva su mehanička oštećenja u vidu mehničkog struženja po najdužoj površini zida u dužini od 15 mm od prelomne površine i širine risova od 2 do 2,5 mm. Ogrebotine imaju plastični karakter i rezultat su struganja stranog tela sa većom tvrdoćom od osnovnog materijala. Površina otvora ima vidljive radijalne riseve (udubljenja) koji su mestimični. Prema izgledu su ili ostaci od primarnog dupčenja otvora, ili su nastali pri ulasku stranih i tvrdih tela između otvora i osovine. (slika 5 i slika 6).



Slika 6 - Makroskopski snimak prelomne površine uzorka 1. Vidljiva je zona propagiranja pukotine, u vidu koncentričnih segmenta. Povećanje 50x [8]

Uzorak 2 je u vidu šipke (deo vretena) sa navojem jednog kraja, sa frakturiranim završetkom drugog kraja. U prelomu i okolini preloma, vreteno je od punog materijala (slika 7).

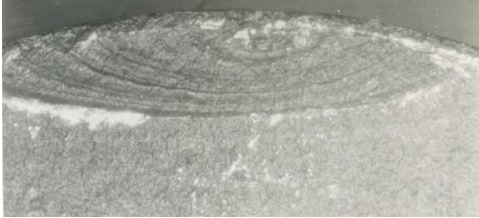


Slika 7 - Makroskopski snimak površine uzorka 2. Vide se sve tri zone odvijanja preloma: obrazovanje kritične pukotine, propagiranje pukotine i dolom. Na kraju doloma primećuje se drugačiji mehanizam doloma praćen sa plastičnom deformacijom i rascepljenje (svetla površina) [8]

Vizuelni pregled ukazuje da je sastavljen od tri zone. Na cilindričnim delom sa strane tamnije zone ima tragove plastične deformacije metala, sa udubljenjima i nekoliko makro pukotina u deformisanoj zoni od radijalnog oblika. Pukotine završavaju u deformisanom delu i nisu proširene. Prema izgledu prlomnog dela i deformacije, ovaj defekt verovatno

proizlazi iz završnog cepljenja materijala u procesu lomljena. (slika 7).

Ove dve prelomne površine ostale su da se drže zajedno sa malom površinom, da bi sa mehaničkim udarima i savijanjem jedno sa drugim, došlo je do spore deformacije i potpunog razdvajanja prelomnih površina. (slika 8).



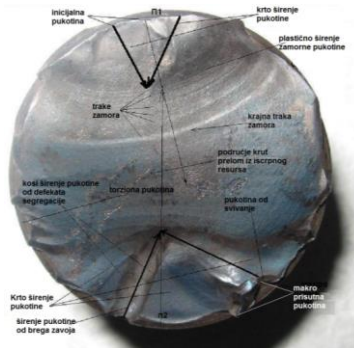
Slika 8 - Makroskopski snimak širenja inicijalne pukotine do kritičnih razmera, uzorka 2. Na površini vidljiv deo hemisko-termičke obrade. Povećanje 11, 5x [8]

Uzorak 3 je slomljen deo od navojnog vretena regulacionog ventila VP turbine sa navojem M33, ispušćenje cilindričnog dela do Ø25mm i h=5 mm. Najveća dužina dela je 36 mm, a najkraća 31 mm. Slomljena površina je pod uglom od 38° (slika 9).



Slika 9 - Makro snimak slomljenog dela regulacionog ventila

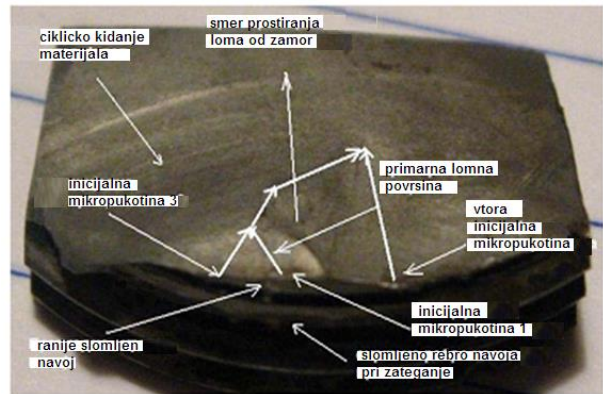
Osnovni prelom je od zamora, sa pojavom na dva sistema koji su uzrokovali lom od zamora, koji su se odvijali istovremeno, na suprotnim stranama prečnika vretena.



Slika 10 - Makro snimak površine slomljenog dela pod uglom od 90° prema osi vretena. Vidljivi talasi preloma od zamora koji se protežu u gornjem delu slike (uzorak 3) [9]

Jedan je na višem delu vretena, bliže vijku (oznaka P1, na slici 10), a drugi je na suprotnoj strani po dijagonali (osnaka P2 slika 10).

Površina loma bez sumnje ukazuje na zamor, sa tipičnim komponentama zamora, primarna zona širenja pukotina, koji su nastale na suprotnim mestima preloma [11]. Svaka od ove dve pukotine širila se i doprinela iscrpljenju resursa nosivosti preostalog dela i njegovom momentalnom krtom rascepljenju. Ove pukotine inicirane su od nekoliko mikropukotina koje su se spojile i formirale su, za ovakve slučajeve, useke i promene smeru širenja sa svake strane kao što je prikazano na slici 11.



Slika 11 - Fraktografski snimak prelomne površine formirana od cikličkog zamora sa katastrofalnim lomom u 6 cikli primarnog loma (uzorak 3)[9]

Analiza prelomne površine ukazuje da postoje više pukotina po perimetru, na kome nije razvijen lom od zamora, što znači da su se tu odvijali i drugi mehanizmi loma.

Analiza površina navoja vretena u blizini loma, ukazuje na više slomljenih bregova ili pukotinae u njihovom korenu, od kojih startuje veći broj inicijalnih pukotina, nastalih pri montaži, gde je vreteno zategnuto sa vijkom, što su uzrokovali unutrašnji tangencijalni naponi. Pa tako ove kritične površinske pukotine sa navojnim površinama, proširile su se pod uticajem nadvorenog naprezanja.

3.4. Mehanizam loma uzoraka

Mehanizam loma je različit za sva tri uzoraka. Uzorak 1: Mehanizam kod ovog uzorka (uzorak 1) je tipičan za deo sa zarezom i koncentrisana naprezanja u najveći prečnik rupe. Na ovu površinu deluju najveća koncentrisanja naprezanja, u samom materijalu javlja se slojevi sa izraženom krtosti. Na taj deo na materijalu naneta su veća naprezanja od dozvoljenih za taj materijal. Pri otvaranju i zatvaranju ventila došlo je do povećanje otpora, čime je prekoračena izdržljivost materijala i započelo je cepanje na nekom od risova koji se javljaju na površinskom sloju, na nekoj od površinskih granica zrna ili na nekoj od pora radi

konfiguracije površine i počela je da se širi normalno u pravcu delovanja naprezanja. Pri svako sledećem otvaranju i zatvaranju ventila, mikropukotina se proširila do makropukotine, koja je dovela do loma. (slika 5 i slika 6).

Prema tome kod uzorka 1 uzrok za lom je nepravilno centriranje pa su se na mestu spoja vretena sa pečurkom javile koncentracije naprezanja koje su uzrokovane od nekvalitetne obrade (bušenje i rajbovanje) rupe za ose (klin). [8].

Uzorak 2: Ima drugačiji mehanizam loma. Ovde se javlja mikropukotina zbog zamora materijala na površini. Ova mikropukotina širila se u toku 10-15 otvaranja i zatvaranja ventila, čime je dostigla kritičnu veličinu i počela je da širi pri naprezanju i moment koji je doveo do preloma. (slika 7 i slika 8).

Moguće je da je ventil radio sa povećanim trenjem, pa je došlo do opterećenja vretena sa većim momentom zatezne sile od dozvoljene. Pojava pukotine izazvane zamorom ne nastaje od plastične deformacije metala, nego verovatno od prisustva segregacije u čeliku, kao i promenljivih poprečnih opterećenja uzrokovanih nepravilnim vođenjem vretena, tj. nepravilnom montažom (nepravilno centriranje i vođenje vretena sa pečurkom u odnosu na telo ventila). [8], [10].

Uzorak 3. Lom ispitivanog vretena regulacionog ventila visokog pritiska turbine je tipa: lom od mehaničkog zamora [9]. Sa određenom feritno/martenzitno/bajanitnom mikrostrukturom, sa sitnim karbidima i malom količinom povoljno raspoređenih nemetalnih uključaka, primenjeni čelični materijal vretena trebalo bi da izdrži min. 10.000 h, ako se optereti sa naprežanjem nižem od 500 N/mm², bez loma na sobnoj temperaturi ili sa 80 N/mm², na 450°C. Naprežanje koje uzrokuje 130 bar (13 N/mm²) od pare u visokopritisnom delu turbine, je svakako manje. Faktičko stanje je da je lom vretena nastao po samo 350 h. Za ovako kratko vreme eksploatacije materijala, nije moglo doći do vidnog puženja čak i za eksploatacionu temperaturu od 545°C.

Pri eksploataciji na temperaturi od 545°C zatezne karakteristike materiala od uzorka 3 se vidno smanjuju, zato što su na gornjoj granici njegove upotrebljivosti, pa i iznad nje. Stvarna eksploataciona naprežanja nanešena na vretenu su veća od otpornosti materijala za čelik 24CrMoV55 od kojega je izrađeno ovo vreteno. U uslovima već prisutne mikropukotine, sa kritičnom veličinom od prethodne izrade i montaže vretena, to će za kratko vreme da inicira lom od mehaničkog zamora.

Iz analize frakturirane površine može se zaključiti da je lom nastao zbog mehaničkog zamora preko odvajanja na svim karakteristikama prelomne površine

izazvane mehaničkim zamorom (slika 9, slika 10 i slika 11):

- vidljive su krte intergranične površine na dve inicijalne pukotine, koji brzo dostižu nadkritičnu vrednost za naneto, za nas nepoznato, naprežanje.
- nadovezuje se oblast oscilacijskog širenja pukotine sa tipičnim oblikom, sličan talasima vode na pesku na plaži, (beach marks) i
- poslednji stadijum je zajedničko delovanje oba sistema pukotine, i momentalni lom u centralnoj oblasti površine loma prema tipičnom mehanizmu koelescencije (srašnjavanje) mikropora koje su nastale od deformacije pri kidanju.

Razlog za nastajanje loma ventilskog vretena je: klasa čelika od koga je izrađeno vreteno, koji ne može izdržati mehanička naprežanja pri rad ventila u realnim eksploatacionim uslovima i realnu šemu naprežanja koja se javlja kod njega (osno naprežanje, torziona i na savijanje) [9]. Mikrostrukturna i metalografska ispitivanja nisu pokazala formiranje mikropukotine u telu dela, pod uticajem faznih transformacija u metalu, pa tako mikropukotine i zaostali naponi, moguće je da su nastali pri formiranju navoja vretena, kao i oštećenju navoja pri manipulaciji i montaži.

4. ZAKLJUČAK

Režimi rada parnih turbina dovode do promene mehaničkog stanja elemenata turbine i prateće opreme, tako da su pojedini elementi turbine izloženi složenim naprežanjima: pod uticajem unutrašnjeg pritiska javljaju se naprežanja i pri temperaturnim promenama (startovanje iz hladnog ili toplog stanja u više ciklusa) dolazi do pojave plastične deformacije, pukotine na kućištu turbine, ventila i parovoda, krivljenja horizontalnih prirubničkih spojeva, promene strukture materijala, povećanog trošenja ležajeva i drugih neželjenih posledica koji dovode do loma elemenata.

Osim toga, lomovi mogu nastati i od neadekvatnog materijala odabranog za izradu odgovornih delova kao i nepravilne montaže tih elemenata, kao što je prezentovano u radu na nekoliko uzoraka.

Uzorci 1 i 2 na koji je nastao lom, izrađeni su od čelika koji su pravilno odabrani za tu namenu, a isto tako promena mehaničkih karakteristika nisu uzrok za predveremeni lom.

Kod uzorka 1 povećano opterećenje je uzrokovano od nepravilnog centriranja i koncentracija naprežanja uzrokovanih od nekvalitetne obrade (bušenje i rajbovanje), a kod uzorka 2 lom je nastao zbog povećanog poprečnog opterećenja uzrokovano zbog nepravilnog centriranja i vođenja vretena.

Kod uzorka 3 uzrok je neadekvatno izabrani čelik za tu namenu, kao i pojave mikropukotine zbog obrade i montaže vretena.

Zbog toga i pored pravilnog projektovanja elemenata turbine, sa svim uzetim parametrima režima eksploatacije, ipak postoje i drugi faktori koji ne mogu da se predvide u prethodnim proračunima, a mnogo doprinose havarijama parnih turbina.

Potrebno je pre montaže elemenata izvršiti kontrolu materijala elemenata, dimenzije, mesta eventualne obrade, a posebno kontrolisati montažu elemenata.

LITERATURA

- [1] Zdravko Milovanović, *Energetske mašine* Tom 1, Chapter: 5, Publisher: Univerzitet u Banjoj Luci Mašinski fakultet Banja Luka, pp.5.1-5.132
- [2] Dr. Mirsada Oruč, Mr. Raza Sunulahpašić *Lomovi i osnove mehanike loma*, Univerzitet u Zenici –Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica 2009.
- [3] M.Juvan: *Ispitivanje metala II*, Skripta, Metalurški fakultet, Zenica, str. 110-139, 1972.
- [4] M. Franz, *Mehanička svojstva materijala*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 35, 1998.
- [5] www.fsb.hr/NewsUpload/30_09_2006_4638 "Materijali u brodogradnji". Skripta.doc
- [6] I. Vitez, *Ispitivanje mehaničkih svojstava metalnih materijala*, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J. J.Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, 2006.
- [7] I. Atanasovska i dr, Priprema modela kvaliteta u forenzičkom inženjerstvu, 34. *Nacionalna konferencija o kvalitetu*, Festival kvaliteta, Kragujevac, 2007.
- [8] Tehnički izveštaj *Ispitivanje i analiza na vretena od regulacioni ventili na VP turbina vo TE „Oslomej“*. Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“ Tehnološko – metalurški Fakultet, Skopje 1995.
- [9] Izveštaj - *Ispitivanje i utvrđivanje na pricinite za lom na vreteno od regulacionen ventil na VP turbine vo TE „Oslomej“*, Univerzitet „Sv. Kiril i Metodij“ Tehnološko–metalurški Fakultet, Skopje 2009 g.
- [10] L. P Gerasimova, A. A Ežova, M. I. Mareseev, *Izlomi konstrukcioni stalej, spravočnik*, Moskva, Metalurgija, 1987.
- [11] N. W. Sachs, P. E, Understanding the Surface Features of Fatigue Fractures: How They Describe the Failure Cause and the Failure History, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, ASM International DOI: 10.1361/ 15477020522924 1547-7029, Volume 5(2) April 2005, p.11-15.)

SUMMARY

CAUSES FOR STEAM TURBINE CONTROL VALVES FRACTURE

The steam turbines d'not always work under constant nominal load. Different working regimes are conditioning the turbines to work with variable steam flow. These regimes relate to changes in the mechanical state of the turbine elements and its equipment, i.e. certain parts of the turbine are exposed to complex strains: strains from the inner pressure, temperature changes (cold and hot starts in many cycles) that may result in plastic deformations, cracks in the casings, valves, steam lines, bending of flanges, material structure changes, increased bearings wear and many other undesirable consequences that lead to fracture of the turbine parts.

Additionally, fractures can occur by improper material choice for the responsible parts and/or improper assembling of those parts, as the examples presented in this analysis.

Key words: *fracture mechanics, breaches, plastic deformations, load, materials*