

UDK 620.169.1

Ocenitev preostale dobe trajanja elementov, ki obratujejo pri zvišanih temperaturah

FRANJO ŠLIBER

1. UVOD

Potreba po ocenitvi preostale dobe trajanja elementov, ki obratujejo pri zvišanih temperaturah, je posebno žgoča v termoelektrarnah, in to pri tistih elementih, katerih zamenjava ni preprosta in ceneja in katerih porušitev bi lahko povzročila večjo materialno škodo, če ne bi terjala celo človeških življenj. V termoelektrarnah so to predvsem parni vodi in deli parnih turbin.

Struktura materiala elementa, ki obratuje pri visoki temperaturi, se sčasoma spremeni. Po eni strani se zaradi lezenja pojavljajo na mejah votli prostori in mikro razpoke, ki lahko prej ali slej vodijo k porušitvi, po drugi strani pa pride do spremembe strukture z izločanjem in strjevanjem delcev in tvorbe novih faz. Te spremembe oziroma poškodbe so močno odvisne od temperature in obremenitve, ki pogosto niso povsem znane in pri obratovanju tudi niso stalne. K temu moramo prišteti še dolgoročne vplive, kakor npr. korozijo, in kratkotrajne učinke, kakršni so prehodna temperatura in napetostna stanja pri zagonih in zaustavitvah, kar vse vpliva na dobo trajanja elementa.

Za ocenitev preostale dobe trajanja je več metod, od katerih ima vsaka določene prednosti pa tudi slabe strani. Za naš primer parnega voda smo za določanje še preostale dobe trajanja uporabili ekstrapolacijsko metodo, ki sloni na kratkotrajnih preizkusih časovne trajne trdnosti [1]. To metodo bomo kratko opisali, podali rezultate take cenitve in jo kritično analizirali.

2. POTEK DOLOČITVE PREOSTALE DOBE TRAJANJA

Kakor smo že omenili, smo za določitev preostale dobe trajanja izbrali metodo ekstrapolacije rezultatov kratkotrajnih preizkusov časovne trdnosti. Pri tem tridimenzijsko (prostorsko) sovisnost med napetostjo σ , temperaturo preizkušanja T in časom do porušitve t_B izpeljemo s parametrom P v dvodimenzijsko sovisnost $\sigma - P$, pri čemer je parameter P funkcija temperature T in časa do porušitve t_B ($P = f(T, t_B)$). Parameter P smo privzeli v obliki, kakršno sta predlagala Manson in Haferd:

$$P = \frac{\log t_B - A}{T + B}$$

pri čemer pomenijo

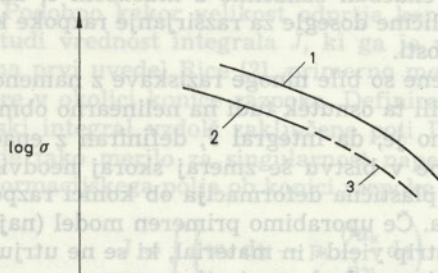
t_B ... čas do porušitve (h),

T ... temperaturo pri preizkušanju (K),

A in B ... konstanti materiala.

Ta metoda omogoča ocenitev preostale dobe trajanja, ne da bi poznali dejansko izhodiščno stanje preizkušane materiala. Zadoščajo že podatki o najmanjši trajni trdnosti materiala, ki ga preizkušamo, kakor jo navajajo standardi, kar pa lahko vpliva na natančnost ocenitve, o čemer bomo spregovorili pozneje. Iz podatkov o najmanjši časovni trdnosti materiala določimo konstanti A in B tako, da parameter P približno ustreza tako za časovne trdnosti pri 100 000 urah kakor tudi pri 200 000 urah obremenitve (morebiti tudi pri 10 000 urah obremenitve). Tako določena sovisnost $\sigma - P$ za dobavno stanje (diagram na sliki 1) omogoča približno programiranje kratkotrajnih preizkusov časovne trdnosti materiala, ki je bil v obratovanju.

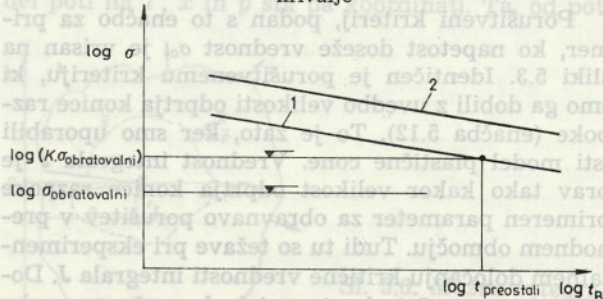
Kratkotrajne preizkuse časovne trdnosti izvedemo pri najmanj treh različnih temperaturah, pri čemer izberemo parameter P oziroma ustrezno napetost σ tako, da čas do porušitve preizkušanca traja približno 50 ur. S tem dobimo neposredno primerjavo med dobavnim in dejanskim stanjem materiala. Kratkotrajni preizkusi časovne trdnosti omogočajo vendarle eksperimentalno določiti le levi zgornji del krivulje $\sigma - P$ (diagram na sliki 1), preostali del krivulje (ki je na sliki 1 črtkan) določimo z ekstrapolacijo (približno vzporedno s krivuljo za dobavno stanje).



$$P = (\log t_B - A) / (T + B)$$

Slika 1

1 — dobavno stanje, 2 — dejansko stanje, 3 — ekstrapolirani del krivulje



Slika 2

1 — dejansko stanje, 2 — dobavno stanje

Tako dobimo podatke, iz katerih lahko določimo izotermično sovisnost med napetostjo σ in časom do porušitve t_B za dejansko obratovalno temperaturo (shematski diagram na sliki 2).

Če v ta diagram vnesemo še obratovalno napetost, oziroma s faktorjem varnosti K povečano vrednost obratovalne napetosti, lahko iz diagrama razberemo preostalo dobo trajanje preverjanega elementa.

3. PRIMER OCENITVE PREOSTALE DOBE TRAJANJA

Praktično smo po tej metodi izvedli ocenitev preostale dobe trajanja cevi parnega voda iz termoelektrarne. Podatki, ki so bili na voljo, so naslednji:

- cev $\varnothing 248 \times 28$ mm
- kakovost materiala cevi 12 HMF (Poljska)
- obratovalni tlak 135 bar
- obratovalna temperatura 540 °C
- čas obratovanja $\approx 75\,000$ h

Standard za to kakovost materiala ni bil na voljo (Poljski standard BN-63/0648-02), pač pa smo podatke našli v viru [2].

Orientacijski podatki o deležu legirnih elementov za ta material so podani v razpredelnici I., podatki o časovnih mejah lezenja in časovnih trajnih trdnostih pa v razpredelnici II.

Za navedene podatke smo določili konstanti A in B v parametru P :

$$P = \frac{\log t_B + A}{T + B}$$

Razpredelnica I.: Orientacijski deleži legirnih elementov v materialu 12 HMF

	%	
C	0,08 ... 0,15	Cr 0,90 ... 1,20
Mn	0,40 ... 0,70	Mo 0,25 ... 0,35
Si	0,15 ... 0,30	V 0,15 ... 0,30
P	$\leq 0,03$	Ni $\leq 0,25$
S	$\leq 0,025$	Cu $\leq 0,20$

Razpredelnica II.: Orientacijski podatki o trdnostnih lastnostih materiala 12 HMF pri zvišanih temperaturah

Temperatura °C	1 % časovna meja lezenja		časovna trdnost	
	N/mm ²		N/mm ²	
	10 000 ur	100 000 ur	10 000 ur	100 000 ur
480	235	177	265	196
520	177	127	196	157
560	116	82	139	106
580	88	61	118	88
600	—	—	78	59

in dobili

$$P = \frac{\log t_B - 95}{T + 2180}$$

S krivuljo $\sigma - P$ za dobavno stanje smo programirali kratkotrajne preizkuse časovne trdnosti materiala cevi pri treh različnih temperaturah:

$T = 500$ °C, 550 °C in 600 °C (773 K, 823 K in 873 K)

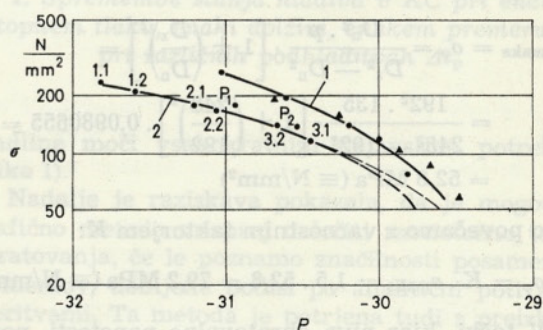
Rezultati teh kratkotrajnih preizkusov časovne trdnosti so podani v razpredelnici III. in grafično prikazani v diagramu na sliki 3.

Razpredelnica III.: Rezultati kratkotrajnih preizkusov časovne trdnosti materiala 12 HMF

Označba preizkušanca*	Temperatura preizkušanja		σ N/mm ²	t_B h	P
	t °C	T K			
1.1	500	773	237	10,5	—31,82
1.2	500	773	210	53,0	—31,59
2.1	550	823	178	19,0	—31,21
2.2	550	823	169	51,5	—31,07
3.1	600	873	120	109**	—30,45
3.2	600	873	141	23,5	—30,67
P.1	550	823	178	119**	—30,95
P.2	600	873	141	58	—30,54

* Preizkušanca z označbama 1.1 in 1.2 sta bila odvzeta v vzdolžni smeri, prvi ob notranji, drugi ob zunanji površini stene cevi; preizkušanca z označbama P.1 in P.2 sta bila odvzeta v obodni smeri cevi.

** Preizkušanec se ni porušil, t_B je ocenjen na podlagi diagrama $\Delta 1 - t$!



Slika 3

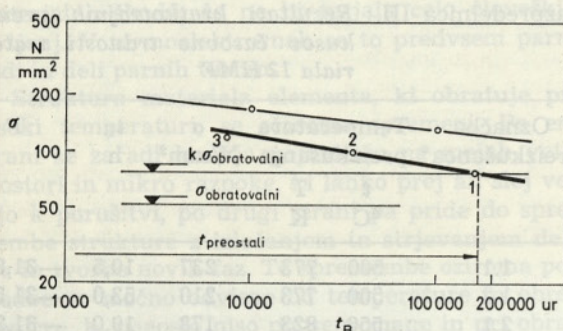
1 — dejansko stanje po 75 000 urah obratovanja, 2 — dobavno stanje

Preizkušanci za to preverjanje so imeli premer $\varnothing = 10$ mm in navoje R 5/8 na koncih za vpenjanje v vpenjalne glave stroja.

Iz rezultatov, podanih v razpredelnici III. in v diagramu na sliki 3, izberemo nekaj točk in določimo izotermično premico $\sigma - t_B$ za obratovalno temperaturo $T = 540$ °C $\equiv 813$ K. Izbrane točke na krivulji $\sigma - P$ so podane v razpredelnici IV.

Razpredelnica IV.: Določitev izotermičnih vrednosti za dejansko stanje materiala

Označba izbranih točk	$\log \sigma - \log 20$	P_i	$T + 2180$ K	$\log t_B = 2,993 \cdot P_i + 95$	t_B h
1	0,5820	—30,00	2993	5,210	162 181
2	0,69897	—30,22	2993	4,5515	35 607
3	0,77815	—30,45	2993	3,8631	7 297



Slika 4

Rezultati iz razpredelnice IV so prikazani grafično v diagramu na sliki 4, kjer je hkrati podana tudi izotermična premica za dobavno stanje materiala, kar omogoča razbrati razliko med dobavnim in dejanskim stanjem materiala.

V diagramu na sliki 4 vrišemo še nivo obodne obratovalne napetosti, ki smo jo določili po izrazu:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{maks}} &= \sigma_{\varphi} = \frac{D_n^2 \cdot p}{D_z^2 - D_n^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_z}{D_n} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{192^2 \cdot 135}{248^2 - 192^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{248}{192} \right)^2 \right] \cdot 0,0980655 = \\ &= 52,8 \text{ MPa} (\equiv \text{N/mm}^2)\end{aligned}$$

in jo povečamo z varnostnim faktorjem K :

$$K \cdot \sigma_{\varphi} = K \cdot \sigma_{\text{maks}} = 1,5 \cdot 52,8 = 79,2 \text{ MPa} (\equiv \text{N/mm}^2)$$

V točki, kjer nivo obratovalne napetosti, povečane z varnostnim faktorjem K , preseka izotermično premico dejanskega stanja materiala, razberemo vrednost $t_{\text{preostalo}}$, to je še preostala doba trajanja. V našem primeru lahko ocenimo to vrednost na okoli 173 000 obratovalnih ur.

V zvezi s samim eksperimentalnim kratkotrajnim določanjem časovnih trdnosti naj omenimo, da smo imeli nekaj težav, ker smo imeli na voljo le stroj za določanje meje lezenja (Metalurški inštitut, Ljubljana), ki nima zadostnega razmika vpenjalnih glav stroja. Problem smo rešili tako, da smo opazovani valjasti del preizkušancev ustrezno skrajševali.

4. ANALIZA REZULTATOV

Preden analiziramo ocenitev preostale dobe trajanja za naš primer, podajmo nekaj splošnih navedb o natančnosti cenitve preostale dobe trajanja, ki jo določamo po tej metodi z ekstrapolacijo rezultatov kratkotrajnih preizkusov časovne trdnosti:

— Slaba stran metode, ki sloni na rezultatih kratkotrajnega preizkušanja časovne trdnosti je predvsem v tem, da moramo preizkušanja opraviti tudi pri temperaturah, ki so bistveno višje od obratovalnih in pri katerih lahko postane struktura materiala nestabilna, če hočemo doseči sprejemljive čase preizkušanja (to je čase do loma preizkušancev). Spremembe strukture so v teh primerih lahko takšne, da niso istovetne s spremembami, ki jih material utрпи v času obratovanja, kar rezultate lahko popači. Če z enakim namenom povečujemo obremenitve pri preizkusih, lahko prav tako zaideemo v področja, ki ne ustrezajo obratovalnim razmeram.

— Slaba stran te metode je tudi v tem, da rezultati ne dajejo nikakršnih opozoril o dejanskih obratovalnih razmerah, ki so lahko tudi bistveno različne od nominalnih in od katerih je odvisna preostala doba trajanja, tako da lahko postane ocena preostale dobe trajanja zaradi tega nezanesljiva.

— Nenatančnost te metode lahko izvira tudi iz tega, ker konstanti A in B v parametru P določamo z najmanjšimi časovnimi trdnostmi, kakor jih podajajo standardi za dobavno stanje materialov; če so dejanske časovne trdnosti materiala v dobavnem stanju dosti večje od omenjenih najmanjših, lahko tudi to spelje v napačno oceno preostale dobe trajanja.

— Določanje preostale dobe trajanja po tej metodi je precej nenatančno tudi zaradi ekstrapolacije eksperimentalnih rezultatov in njihovega vrednotenja za obratovalne razmere, kar pa je pravzaprav slaba stran vseh metod, ki uporabljajo ekstrapolacijo.

— Prednost te metode je predvsem v tem, da je osip rezultatov preizkušanja časovne trdnosti, tudi kratkotrajne, bistveno manjši kakor pri metodah, ki slonijo na opazovanju deformacij oziroma raztezov, zaradi česar so te druge metode skoraj neuporabljive.

Iz navedenega je razvidno, da je ocena preostale dobe trajanja po tej metodi lahko dokaj nezanesljiva, kar je pri uporabi rezultatov treba upoštevati. V kritičnih primerih, ko bi po tej metodi ugotovili, da je še preostala doba trajanja razmeroma kratka, bi bilo treba zaradi teh razlogov nujno preveriti časovno trdnost pri parametrih (σ, T) , ki so čim bližji obratovalnim, če že ne pri parametrih, ki so enaki obratovalnim.

V svojem primeru smo našli, da je še preostala doba trajanja razmeroma velika ($t_{\text{preost.}} \approx 173\,000$ obratovnih ur), zaradi česar se lahko zadovoljimo z rezultati kratkotrajnih preizkusov časovne trdnosti in upravičeno opustimo njeno dolgotrajno preverjanje pri obratovnih parametrih. Še več, ekstrapolacija rezultatov dejanskega stanja materiala, ki smo jo izvedli približno vzporedno s krivuljo za dobavno stanje (diagram na sliki 3), je na varni strani, saj bi potek eksperimentalno določenega dela krivulje $\sigma - P$ dopuščal tudi smelejše ekstrapolacijo te krivulje (tanko črtkani del krivulje v diagramu $\sigma - P$ na sliki 3), iz česar bi izhajala za preostalo dobo trajanja že vrednost prek 200 000 obratovnih ur.

Zelo koristno bi bilo, to preiskavo ponoviti po določenem času obratovanja (na primer po nadaljnjih 50 000 do 70 000 urah), saj bi bila v tem primeru ocenitev preostale dobe trajanja glede na ugotovljeno stanje po 75 000 urah obratovanja lahko še dosti bolj zanesljiva.

LITERATURA

[1] A. Rosselet: Die Abschätzung der Restlebensdauer betriebsbeanspruchter Teile mit Hilfe von Zeitstandversuchen (Gebrüder Sulzer A. G., Winterthur, Schweiz).

[2] A. Meissner: Montaż rurociągów energetycznych, ARKADY, Warszawa, 1965.

Avtorjev naslov: Franjo Sliber, dipl. inž.,
Inštitut za metalne
konstrukcije, Ljubljana

MAGISTRSKA DELA

UDK 621.574.9.012.04

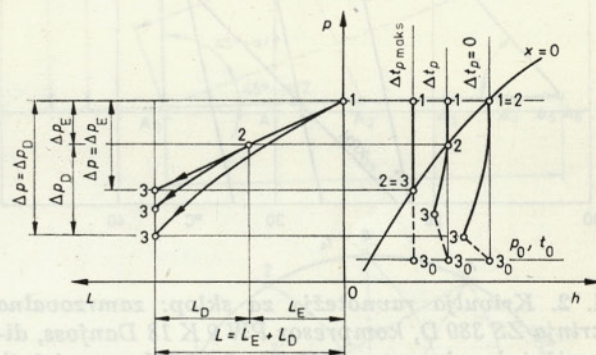
VPLIV DOLŽINE CEVI NA RAZMERE PRI DUŠITVI V KAPILARI

Fakulteta za strojništvo Univerze Edvarda Kardelja
v Ljubljani

Avtor: mag. Tone Obersnu, dipl. inž.

Mentor: prof. dr. Miran Oprešnik, dipl. inž.

Hladilni sistem s kapilaro se obnaša drugače od sistema, ki ima namesto kapilarne cevi vgrajen termostatski ali avtomatski regulirni ventil. Bistveno bolj je občutljiv na zunanje spremembe, temperaturo okolja in toplotno obremenitev. Vsaka sprememba teh dveh parametrov povzroča premik hladiva iz kondenzatorja v uparjalnik ali obratno, kar povzroča spremembo tlaka oziroma temperature. Iz teh razlogov je dimenzioniranje sistema s kapilarno cevjo (KC) in same KC zahtevnejše od določanja katerega koli regulirnega ventila. Zahteva namreč uravnoteženje hladilne oziroma kondenzacijske moči med kompresorjem, kondenzatorjem, KC, uparjalnikom in hlajenim objektom. Tak uravnotežen sistem obratuje seveda idealno samo v eni točki. Kakor hitro se spremenijo zunanje okoliščine pa se obratovanje preobrne nad ali pod krivuljo ravnotežja, dokler se ne ustali novo ravnotežno stanje, ki ustreza nižani ali zvišani temperaturi okolja, ki pa ni več optimalno. Raziskava vpliva dolžine cevi na razmere pri dušitvi v KC je pokazala zanimivost, da je pretok hladila R 12 skozi KC močno odvisen od njegove podhladitve pri vstopu in bi zato bilo mogoče s primerno izbranim premerom in dolžino KC ter z regulacijo podhladitve kapljevine spreminjati njeno prepustnost, kar pomeni hladilno moč. Tak način regulacije bi bil brez gibljevih delov in bi omogočal prilagoditev



Sl. 1. Spremembe stanja hladiva v KC pri enakem vstopnem tlaku, enaki dolžini, enakem premeru ter pri različnih podhladitvah Δt_p

hladilne moči vsakokratnim dejanskim potrebam (slika 1).

Nadalje je raziskava pokazala, da je mogoče z grafično metodo vnaprej določiti ravnotežno točko obratovanja, če le poznamo značilnosti posameznih elementov, dobljene bodisi po analitični poti ali z meritvami. Ta metoda je potrjena tudi s preizkusi. V praksi se namreč nenehno srečujemo s problemom dimenzioniranja hlajenih objektov. Grafična metoda določanja krivulje ravnotežja, obdelana v tej raziskavi (slika 2) je v takih primerih najprimernejša in pomeni znaten prihranek časa in materiala in je poleg tega še pregledna, kar izključuje napake.

Raziskava je bila usmerjena v iskanje medsebojne odvisnosti med pretokom dušika in pretokom hladiva R 12 v kapilarni cevi. Zato je bilo treba poiskati teoretično rešitev odvisnosti pretoka dušika kakor tudi pretoka hladiva od premera KC, njene dolžine, trenja ob stene, vstopnih in izstop-