

Jugoslovenski naučno-stručni časopis

YU ISSN 0352-678X

PROCESNA TEHNIKA

Broj 2-3.
Jun-
septembar
2000.
Godina
16.



Generalni
pokrovitelj
PROCESINGA
2000



**MINEL
FAD**

OCENA POUZDANOSTI CEVNOG SISTEMA VRELOVODNOG KOTLA NA BAZI ANALIZE STANJA

Dr Miodrag Arsić, mr Vujadin Aleksić,
GOŠA Institut, Beograd,
prof. Aleksandar Sedmak, Olivera Popović,
Mašinski fakultet, Beograd

Podaci o trenutnom kvalitetu cevnog sistema su potrebni radi donošenja odluke o daljoj eksploataciji i ukupnoj oceni pouzdanosti kotlovske postrojenja. U pogledu otkaza kritična mesta na cevima sistemima su zavareni spojevi, zbog heterogene strukture i značajne promene mehaničkih osobina. U radu je prikazan metodološki pristup analizi stanja cevnog sistema kotlova, a na primeru vrelovodnog kotla VKL-50 opisane su metode ispitivanja kvaliteta zavarenih cevi i izloženi rezultati ispitivanja, što je omogućilo ocenu pouzdanosti zavarenih spojeva u eksploataciji.

Ključne reči: cevni sistem; zavareni spojevi; kvalitet; pouzdanost

RELIABILITY ASSESSMENT OF THE HOT-WATER BOILER PIPE SYSTEM BASED ON STATE ANALYSIS

Data on the current quality of the pipe system are required for deciding on further operation and overall reliability assessment of the boiler plant. In regard to a breakdown, the critical spots of the pipe system are welded joints due to their heterogeneous structure and considerable alteration of mechanical properties. The methodological approach has been presented for the state analysis of the boiler pipe system, and the example of a hot-water boiler VKL-50 has been used to illustrate the testing methods of the welded pipe quality. The research results have enabled the reliability assessment of the welded joints during operation.

Key words: pipe system; welded joints; quality; reliability

Uvod

Preвременi otkaz zavarenih spojeva cevnog sistema (cevi ekonomajzera, ekranske cevi) kotlova izazvan je istovremenim uticajem velikog broja tehnološko-metalurških, konstrukcijskih i eksploatacijskih faktora (slika 1). Zato se povoljna konstrukcijska rešenja, koja bi obezbedila pogonsku sigurnost zavarenih spojeva i integritet cevnog sistema u uslovima eksploatacije, mogu ostvariti samo pravilnim izborom materijala cevi i potpunim poznavanjem ponašanja zavarenih spojeva u različitim režimima rada kotla.

Analiza stanja cevnog sistema kotlova

Analize postojećih rešenja predstavljaju važne informacije za usavršavanje metoda projektovanja i konstruisanja cevnog sistema kotlova, razvoj novih tehničkih rešenja i metoda ispitivanja još u fazi prototipa, kao i za poboljšanje svojstava postojećih materijala i tehnologija njihove obrade i za razvoj novih materijala. Analiza stanja cevnog sistema, koja polazi od postojeće baze podataka, predstavlja proces koji zahteva sistematizovan prilaz problemu (slika 2). Analizom se može utvrditi trenutni kvalitet i oceniti pouzdanost u daljoj eksploataciji.

Ocena kvaliteta i pouzdanosti zavarenih spojeva cevnog sistema vrelovodnog kotla VKL-50

Dug radni vek, produženje operativnog ciklusa, sigurnost i pouzdanost u radu su ciljevi određivanja stanja cevnog sistema vodogrejnog kotla. U tu svrhu su ispitani hemijski sastav materijala cevi, mehaničke osobine i struktura zavarenih spojeva, geometrija cevnih lukova i debljine zida cevi (u iznosu od 10%).

Osnovne tehničke karakteristike izvedenog cevnog sistema

Osnovne karakteristike cevnog sistema vrelovodnog kotla VKL-50, koji služi za toplifikaciju, su sledeće:

Cevni snop izrađen od bešavnih cevi prečnika	ø 57 mm
Debljina zida cevi	4 mm
Pritisak vrele vode na izlazu	13 bar
Temperatura vrele vode na izlazu	170°C
Cevi su zavarene	
volframovom elektrodom	postupak TIG
Dotadni materijal žica	SGMo (DIN 8578)
	prečnik 2,4 mm
Zavarivanje izvedeno jednosmernom strujom direktnog polariteta	
Jačina struje za zavarivanje	200 A
Napon luka za zavarivanje	16 V
Zaštitni gas za zavarivanje	argon
Protok zaštitnog gasa pri zavarivanju	12 l/min

Zavareni spojevi su formirani sa po dva prolaza, koreni i završni

Analiza hemijskog sastava cevi

Rezultati analize hemijskog sastava cevi (materijal Č 1214), koja je urađena za uzorak iz kritičnog snopa cevnog sistema, izneseni su u tabeli 1.

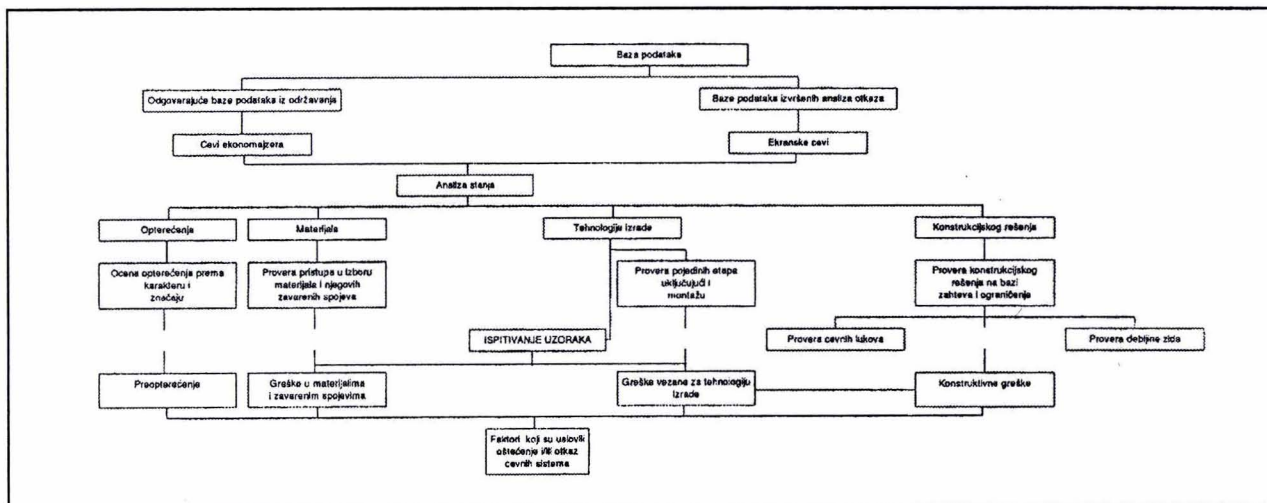
Prema hemijskom sastavu, zaključuje se da je ugljenični čelik, umiren silicijumom, i dalje u području garantovane čistoće ($P, S < 0,04\%$).

Ispitivanje zavarenih spojeva zatezanjem

Ispitivanja zavarenih spojeva zatezanjem izvedena su na sobnoj temperaturi na tehničkim epruvetama sa nadvišenjem i na epruvetama sa paralelno obradenim bokovima, prema JUS C.T3.051, koje su ispitane na sobnoj i povišenoj temperaturi (200°C). Rezultati ispitivanja prikazani su u tabeli 2.



Slika 1. Pregled uticaja na sigurnost zavarenih spojeva



Slika 2. Proces analize stanja cevne sistema vrelovodnog kotla

Ispitivanja zavarenih spojeva zatezanjem ukazuju na zadovoljavajuću čvrstoću, uz relativno veliku plastičnost.

Ispitivanje tvrdoće zavarenih spojeva

Na uzorku pripremljenom prema JUS C.T3.051 ispitana je tvrdoća kroz zavareni spoj po Vickersu (HV 30) (slika 3), saglasno JUS C.A4.030.

Rezultati ispitivanja pokazali su da je tvrdoća zone uticaja toplote približno ista kao tvrdoća osnovnog metala, a da je tvrdoća metala šava znatno veća (oko 50%) od tvrdoće osnovnog metala, što za posledicu ima povećanje krstosti u zoni metala šava.

Ispitivanje žilavosti zavarenog spoja

Ispitivanje udarne žilavosti obavljeno je na sobnoj temperaturi (20°C), prema JUS C.A4.004, na epruvetama čiji je poprečni presek manjih dimenzija od osnovne standardne epruvete, zbog dimenzija cevi. Zarez je napravljen u metalu šava. Rezultati ispitivanja, prikazani u tabeli 3, pokazuju da je udarna žilavost metala šava zadovoljavajuća.

Metalografska ispitivanja zavarenog spoja

Na posebno pripremljenom izbrusku, izvedena su makroskopska i mikroskopska ispitivanja. Makroskopskim ispitivanjima je nađeno da je penetracija zadovoljavajuća i da nema prslina. Mikroskopskim ispitivanjima je utvrde-

no da je struktura osnovnog metala feritno-perlitna, sa odnosom 80:20 i veličinom zrna 5–7, dok je u korenom prolazu metala šava prisutna Vidmanštetenova struktura (slika 4).

Provera karakteristika lukova

Cevni sistem je izložen nizu opterećenja, počev od sopstvene težine, težine radnog fluida, promene količine fluida i opterećenja izazvanih dejstvom radnih parametara. Najosetljiviji delovi cevne sistema su lukovi, čija je otpornost manja od otpornosti pravih delova. Opterećenja se najviše koncentrišu u zoni istezanja lukova i neutralnoj zoni. Stoga je proverena geometrija lukova, odnosno debljina zidova lukova i njihova promena u odnosu na pravi deo. Osim toga, urađena je metalografska analiza u cilju utvrđivanja deformacije zrna u spoljnoj i unutrašnjoj zoni cevne lukova.

Ultrazvučna provera debljine zida cevne lukova

Debljina zida cevne lukova izmerena je ultrazvučnim demetrom, na uzorcima $\varnothing 57/90$ i $\varnothing 57/120$, sa osnim rastojanjima od 200 mm. Merna mesta na spoljnim lukovima su na međusobnim rastojanjima od 30 mm, a na unutrašnjem od 25 mm.

Najmanja debljina spoljnog luka izmerena je u zoni maksimalnog zatezanja i iznosi 3,5 mm, što je za 12% manje od osnovne debljine zida cevi. Kod unutra-

Tabela 1. Hemijski sastav materijala cevi

Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Cr	Ni
Sadržaj, %	0,09	0,25	0,47	0,013	0,007	0,01	0,074	0,05	0,02

Tabela 2. Rezultati ispitivanja zavarenih spojeva zatezanjem

Tip epruvete i temperatura ispitivanja	Epruveta sa nadvišenjem, 20°C	Srednja vrednost	Epruveta sa paralelnim bokovima, 20°C	Srednja vrednost	Epruveta sa paralelnim bokovima, 200°C	Srednja vrednost
Napon tečenja R_{eH} , MPa	–	–	296, 288, 269, 335, 291, 309	298	181, 161, 152, 205, 190	177,8
Zatezna čvrstoća, R_m , MPa	402, 412, 406, 419, 421	412	396, 416, 403, 439, 408, 428	415		
Izduženje A_5 , %	–	–	37,7; 35,7; 37,7; 36,7; 37,3; 36,6	36,9		

šnjih cevni lukova najmanja izmerena debljina zida iznosi 4,0 mm, a najveća 4,7 mm, što je za 17,5% veće od osnovne debljine zida cevi.

S obzirom da je dozvoljeno stanjenje po standardu JUS M.E2.012 do 15%, izmerene debljine zida cevni lukova zadovoljavaju.

Metalografska analiza cevni lukova

Metalografska analiza je urađena u cilju utvrđivanja deformacije zrna u spoljnoj i unutrašnjoj zoni cevni lukova. Analiziran je uzorak u najkritičnijoj zoni (zona sa najvećim zatezanjem u spoljnjem delu luka). Na slici 5 prikazana je metalografska analiza mikrostruktura u pojedinim zonama.

Na slici je uočljiva velika deformacija zrna u pravcu zatezanja (zrno je izduženo), što je povoljno samo ako opterećenje deluje u pravcu zrna. Mikrostruktura unutrašnje zone na prednjem luku (slika 5b) takođe je izdužena, ali manje od strukture u spoljnoj zoni. Na unutrašnjem luku u obe zone zrno je pretrpelo deformaciju sabijanja, pa je došlo do njegovog zadebljanja (slika 5c, d).

Ultrazvučna provera debljine zida cevnog sistema i kontrolni proračun čvrstoće

U cilju utvrđivanja stanja cevnog sistema vrelodnog kotla, izmereni su debljina zida cevi (u iznosu 10%) i kontrolni proračun čvrstoće.

Debljina zida cevi je izmerena prema standardu ISO 200.95.055, ultrazvučnim aparatom KRAUT-KRAMER DM-2. Minimalna izmerena debljina zida cevi iznosi $s_{\min} = 2,6$ mm.

Potrebna debljina zida cevi pod unutrašnjim pritiskom, prema JUS M.E2.253, za materijal Č 1214 i radne parametre (uslove eksploatacije) iznosi $s = 1,6$ mm. To ukazuje da su izmerene debljine zida cevi u granicama dopuštenih vrednosti i da se mogu i dalje koristiti u predviđenim uslovima eksploatacije.

Slika 3. Rezultati ispitivanja tvrdoće zavarenog spoja HV30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
155	155	223	223	152	155	145	145	168	163	227	223	155	145

Procena pouzdanosti zavarenih spojeva

Za procenu pouzdanosti zavarenih spojeva, primenjen je probabilistički model tipa „čvrstoća–naprezanje“, koji se zasniva na predstavljanju karaktera promene čvrstoće zavarenih spojeva i promene napona, koja deluju u vidu slučajnih veličina ili slučajnih funkcija vremena. Otkaz predstavlja slučajno stanje koje odgovara definisanom stepenu prekoračenja napona u odnosu na čvrstoću.

Promenljive koje utiču na pouzdanost su tako raznovrsne da je moguće direktno ispitivanje svakog pojedinačnog slučaja, te je neophodno razumeti šta se odigrava u materijalu pod uslovima različitih opterećenja, kakav je rezultat ovih procesa i koji je „parametar materijala“ kritičan da bi se razmatrao i primenio.

Pri proceni pouzdanosti zavarenih spojeva, razmotrene su tri promenljive: unutrašnji prečnik ($D_u = 49$ mm), pritisak radnog fluida u cevi ($p = 1,3$ MPa) i debljina zida cevi (t) (1–3).

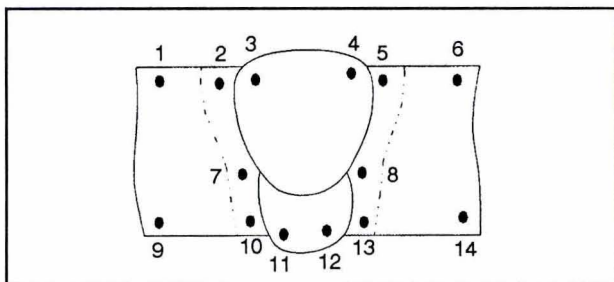
Srednje naprezanje u datoj debljini zida cevi je:

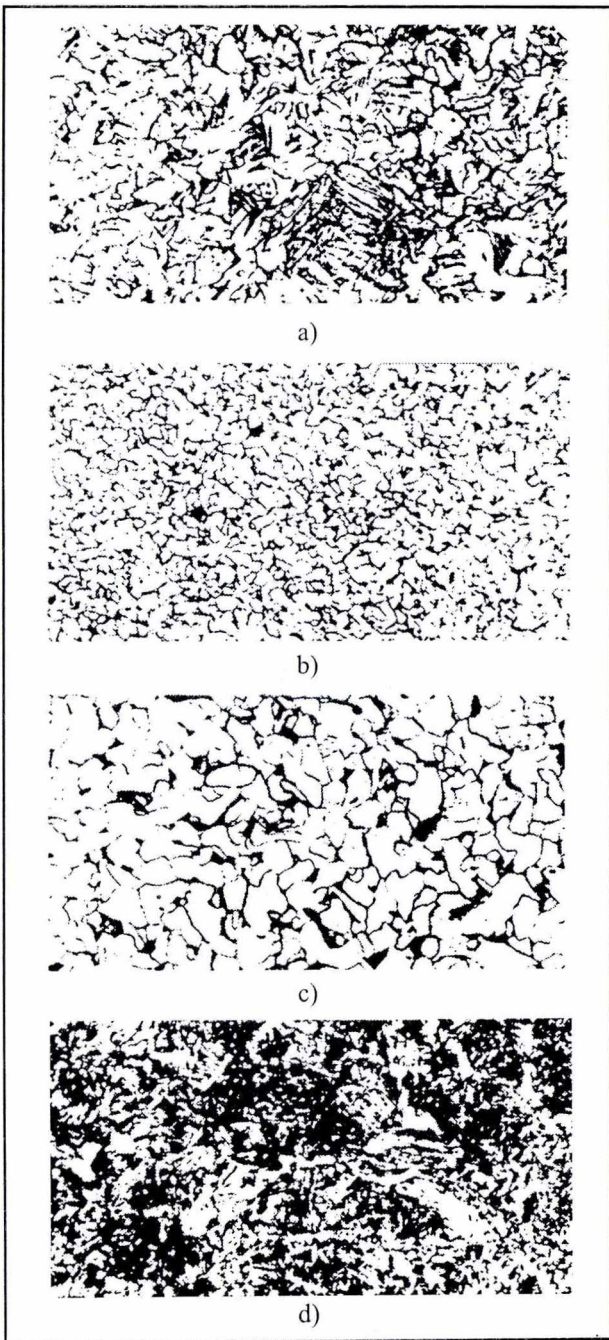
$$\bar{\sigma} = \frac{\overline{D_u \cdot p}}{2 \cdot \bar{t}} \quad (1)$$

Varijanca napona zavisi od varijance pojedinih promenljivih:

$$\sigma = f(\bar{D}, \bar{p}, \bar{t}) = f(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

Kada nema međusobne korelacije, za slučaj sa tri promenljive, varijanca napona je:

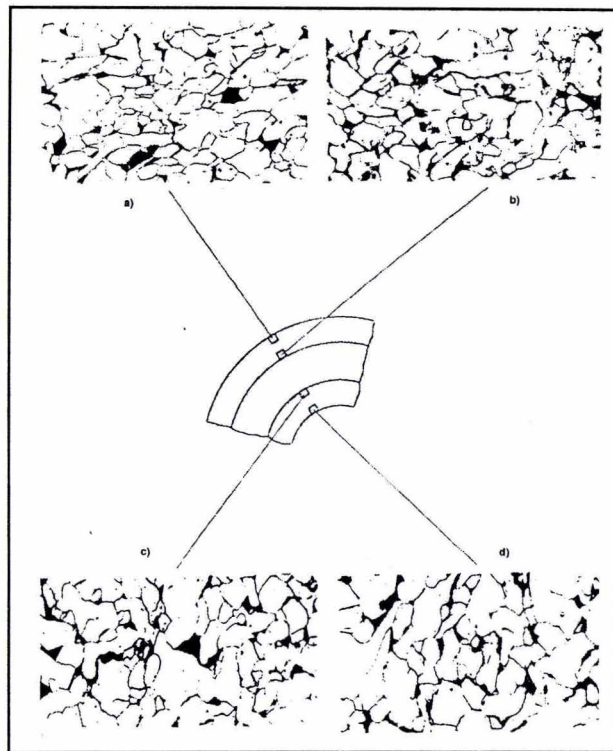




Slika 4. Snimci metalografskog ispitivanja zavarenog spoja; a) mikrostruktura osnovnog metala; b) mikrostruktura ZUT (zona normalizacije); c) mikrostruktura ZUT (zona pregrevanja); d) mikrostruktura metala šava korenog zavara

Tabela 3. Rezultati ispitivanja žilavosti

Epruveta	Površina A, cm ²	Energija loma KV, J	Žilavost, J/cm ²
1	0,242	46,1	191
2	0,238	47,1	198
3	0,229	42,2	184
4	0,238	47,2	198
5	0,241	46,2	192
Sred. vrednost		45,7	193



Slika 5. Mikrostruktura pojedinih zona cevnog luka: a) mikrostruktura spoljne zone na spoljnom luku; b) mikrostruktura unutrašnje zone na spoljnom luku; c) mikrostruktura spoljne zone na unutrašnjem luku; d) mikrostruktura unutrašnje zone na unutrašnjem luku

$$s_{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_i} \right)_{x_i=\bar{x}}^2 s_{x_i}^2 = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial D_u} \right)_{D_u=\bar{D}_u}^2 s_D^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial p} \right)_{p=\bar{p}}^2 s_p^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial t} \right)_{t=\bar{t}}^2 s_t^2 \quad (3)$$

$$s_{\sigma}^2 = \left(\frac{\bar{p}}{2 \cdot \bar{t}} \right)^2 s_D^2 + \left(\frac{\bar{D}_u}{2 \cdot \bar{t}} \right)^2 s_p^2 + \left(-\frac{\bar{D}_u \cdot \bar{p}}{s \cdot \bar{t}^2} \right)^2 s_t^2 \quad (4)$$

Pod pretpostavkom da se promene čvrstoće i napona pokoravaju normalnom zakonu raspodele, i da nema međusobne korelacije, pouzdanost zavarenih spojeva (R) se izračunava iz izraza:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_m^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot dx \quad (5)$$

Pri čemu je m argument tablične vrednosti:

$$m = -\frac{\overline{R_{zs}} - \bar{\sigma}}{\sqrt{s_{zs}^2 + s_{\sigma}^2}} \quad (6)$$

Izračunavanjem integrala (5) metodom brojnog integraljenja dobija se za neoštećene cevi (debljina zida $t = 4$ mm) vrlo visoka pouzdanost zavarenih spojeva $R = 0,999$, a za oštećene cevi (debljina zida $t = 2,6$ mm) pouzdanost zavarenih spojeva $R = 0,66$.

Na osnovu iskustva iz ranijih analiza i pokazatelja o ugroženosti kritičnih zavarenih spojeva cevnog sistema

vrelvodnih kotlova za centralno grejanje, utvrđena pouzdanost za jedan od kritičnih zavarenih spojeva može se smatrati prihvatljivom.

Zaključak

1. Metodološki pristup analizi stanja cevnog sistema kotlova, prikazan na primeru vrelvodnog kotla VKL-50, može biti upotrebljen pri izradi nove ili modernizaciji postojeće konstrukcije, za planiranje obima i termina izvođenja remonta, količine rezervnih delova i materijala.
2. Probablistička analiza je pokazala značajno smanjenje pouzdanosti na stanjenim cevima, čime je omogućena kvantifikacija poznate činjenice da je sigurnost konstrukcije ugrožena pri smanjenju nosećeg preseka.
3. Uvođenje informacionog sistema i formiranje odgovarajućih baza podataka od izuzetnog je značaja za pre-

ventivno održavanje i ocenu kvaliteta i pouzdanosti cevnih sistema, kao i kotlova u celini.

Literatura

- [1] **Ivković, Z.:** *Matematička statistika*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [2] **Kocecioglu, D.:** *Mechanical Reliability and probabilistic design for reliability*, The George Washington University, 1978.
- [3] **Sarvan, M., M. Arsić, A. Sedmak:** *Ocena kvaliteta i pouzdanosti zavarenih spojeva cevnog sistema vdogrejnih kotlova za centralno grejanje*, „Zavarivanje i zavarene konstrukcije“, (47), 1/1998, str. 19–21.

PROCESNA
TEHNIKA

PREGLEDNI RAD • SUBJECT REVIEW

UDK 504.055

BIBLID 0352-678X (2000) 16:2 p. 252-257

POVIŠEN NIVO VIBRACIJA NA PROCESNIM MAŠINAMA

Dragan Milenov, dipl. inž., i Branko Tasevski, dipl. inž.,
NIS „Naftagas“, Pogon Održavanje, Zrenjanin

Uticao vibracija na elemente složenog tehničkog sistema, sklopove i drugu elektronsku opremu, ispoljava se kroz razna dejstva. Sa gledišta čvrstoće elemenata, moguće su takve deformacije koje vremenom dovode do zamora određenih delova, pa uz koncentraciju i radni napor do loma i dovodenja tehničkog sistema u stanje u otkazu. Pored toga, dolazi do povećanog trenja, a time i do većih energetske gubitaka i manjeg učinka mašine.

Sa gledišta funkcionalnosti nekog složenog tehničkog sistema, vibracije po nivou amplitude i učestanosti moraju odgovarati utvrđenim graničnim vrednostima, jer u protivnom dolazi do grešaka u funkcionisanju, smanjenju veka trajanja i opasnosti od trajnog oštećenja. Postupkom merenja i frekventnom analizom povišenog nivoa vibracija, moguće je odrediti prave uzročnike vibracija i način na koji se one mogu otkloniti.

Ključne reči: vibracije; uzročnici; merenje;
frekventna analiza

INCREASED VIBRATION LEVEL ON PROCESSING MACHINES

The vibration impact on the elements of a complex technical system, assemblies and other electronic equipment is demonstrated through various effects.

In regard to the strength of equipment parts, some deformities may occur causing the fatigue of certain parts, and along with concentration and working stress, and leading the technical system to the state of breakdown. Furthermore, increased friction occur resulting in higher energy loss and lower machine efficiency. In regard to the operation of a complex technical system, vibrations must be within

established limit values of amplitude level and frequency because otherwise operation errors, shortened life and permanent damage may occur. By the regular measurement and analysis of the increased vibration level, it is possible to identify the actual causes of vibration and methods by which vibrations may be eliminated.

Key words: vibrations; causes; measurements;
frequency analysis

1. Uvod

Razvoj tehnike i tehnologije, kao i sve prisutniji naponi na očuvanju čovekove okoline, permanentno postavljaju strože zahteve u pogledu mirnog rada složenih tehničkih sistema – mašina. Uzroci pojava povišenih vibracija mašina su različiti, pa su samim tim i načini otklanjanja usko vezani sa analizom uzroka.

U praksi postoje različiti uzročnici nastanka povišenog nivoa vibracija na procesnim mašinama. Ako je u pitanju samo debalans rotacionih elemenata, problemi povišenog nivoa vibracija su se rešavali jednostavno – postupkom uravnotežavanja. Prave teškoće nastaju ako su uzročnici povišenog nivoa vibracija druge prirode – plus debalans. Ovo treba napomenuti, jer se u većini slučajeva nailazi na otpor i nevericu korisnika sredstava i održavalaca. Otpor je prouzrokovan nepoznavanjem problematike povišenog nivoa vibracija, ili jednostavno nespremnošću da se izvrše dodatne korekcije ili kompletne rekonstrukcije postojećih mašina. Ako je problem u nedostatku novca – to je manji problem (uslovno rečeno).

2. Osvrt na teoriju vibracija

Opšta svojstva

Kod procesnih mašina u industriji, koje imaju ulogu radne mašine, pojavljuju se oscilatorne sile, koje svojim dejstvom izazivaju vibracije. Pošto nijedna struktura tehničkog sistema (radne mašine) nije savršeno stabilna, svaka vrsta sile koja deluje na tehnički sistem izazvaće, u stvari, vibracije.