

POŠKODBE KONDENZATORSKIH CEVI, UGOTOVLJENE Z METODO VRTINČNIH TOKOV

CONDENSATOR TUBE DAMAGES DETERMINED WITH THE EDDY CURRENT METHOD

Boštjan Godec, Grega Kovačič

Inštitut za metalne konstrukcije, Mencingerjeva 7, 1000 Ljubljana, Slovenija
bostjan.godec@imk.si

Prejem rokopisa - received: 2001-11-09; sprejem za objavo - accepted for publication: 2002-02-04

Neporušitveno preiskavalno metodo vrtničnih tokov, ki je zasnovana po principu elektromagnetne indukcije, smo uporabili pri preiskavah kondenzatorskih cevi iz materiala CuZn28Sn dimenzij ϕ 21 mm \times 1 mm, ki so bile odvzete iz termoenergetskega objekta. Med naslednjo zaustavitvijo tega objekta smo navedeno metodo uporabili pri pregledu večjega števila kondenzatorskih cevi. Po opravljeni preiskavi smo nekaj cevi razrezali in na osnovi metalografskih preiskav podali povezavo med dobljeno krivuljo z vrtničnimi tokovi in obliko poškodbe. Tako smo ocenili preostalo dobo trajanja, sprejemali odločitve o čepljenju posameznih cevi in njihovi zamenjavi. Večina poškodb, ki smo jih ugotovili je bila posledica vibracij in obrabe materiala ob podporah, v posameznih primerih pa so nastopile poškodbe tudi zaradi jamičaste korozije, ki je ponekod povzročila preluknjanje cevi.

Ključne besede: vrtnični tokovi, kondenzatorske cevi, jamičasta korozija, elektromagnetna indukcija

The nondestructive eddy current test method based on the principle of electromagnetic induction has been used in an investigation conducted on condenser tubes made of CuZn28Sn, with the following dimension ϕ 21 mm \times 1 mm taken from the condenser. The eddy current method was used to control a number of condenser tubes in thermal power plant during next shut down. Some tubes were cut after eddy current control. On the basis of metalographic investigation the connection between the form of signal and the tube damage was observed. This offered a basis to estimate residual lifetime and decide to plug individual tubes or to replace them in regard to examination results. Most damages observed occurred due to vibration and friteness on supports while fewer damages occurred due to localised pitting corrosion which in some cases lead to tube penetration.

Key words: eddy current, condenser tubes, pitting corrosion, electromagnetic induction

1 UVOD

Toplotni izmenjevalnik ali kondenzator ima lahko več tisoč cevi dolžine do 20 m^{1,2}. Napake v cevni snopih v napajalnikih toplotnih pregrevnikov in kondenzatorjih v termoelektrarnah kakor tudi v kemični industriji in rafinerijah povzročajo zastoje in zaustavitve. Med obratovanjem so cevi izpostavljene različnim škodljivim vplivom. Pojavljajo se poškodbe tako na notranji kot zunanji strani cevi^{1,2,7,8,9}. Ker so kondenzatorske cevi povezane v snope, jih lahko pregledamo samo z notranje strani. Z uporabo vrtničnih tokov lahko v kratkem času pregledamo celotno dolžino in obseg cevi.

Preskušanje z vrtničnimi tokovi ima svoje začetke v Faradayevem odkritju elektromagnetne indukcije leta 1831. Leta 1879 je Hughes zaznal spremembe v lastnostih tuljave, kadar jo je postavil v stik s kovino z različno prevodnostjo in permeabilnostjo, vendar vse do druge svetovne vojne tega efekta niso praktično uporabili za preskušanje materialov. Velik razvoj je bil narejen v petdesetih in šestdesetih letih, še posebej v avionski in nuklearni industriji⁶.

Če tuljavo, skozi katero teče izmenični tok, postavimo v neposredno bližino prevodne površine, potem magnetno polje tuljave inducira na površini tega

predmeta vrtnične tokove. Ti povzročijo nastanek sekundarnega magnetnega polja, ki vpliva na primarno magnetno polje tuljave in s tem na njeno impedanco^{1,2,4,5}. Nelinearnost povzroči spremembo gostote in velikosti vrtničnih tokov. Ko je na površini predmeta pod tuljavo razpoka, ta povzroči prekinitev in s tem zmanjšanje vrtničnega toka, kar spet povzroči zmanjšanje sekundarnega magnetnega polja in povečanje impedance. Sprememba napetosti na tuljavi je osnova za vso preiskavo z vrtničnimi tokovi. Z merjenjem spremembe napetosti na tuljavi lahko iščemo spremembe v preiskovanem materialu. Hkrati se spremeni tudi fazni kot med napetostjo in tokom, kar je važen podatek za vrednotenje napake^{4,5}. Pri preiskavi je treba upoštevati dejavnike, ki vplivajo na velikost vrtničnih tokov: impedanco, električno prevodnost, magnetno permeabilnost, faktor stika, faktor zapolnitve ter robni in površinski efekt^{1,4,5,7}.

S to metodo zaznamo korozijske poškodbe, razpoke, rise, zajede, poškodbe cevi pod podpornimi ploščami na zunanji in notranji strani cevi. Uporabljajo se tri tehnike: diferencialna metoda z enim kanalom za analizo signala, diferencialna metoda z uporabo več frekvenc pri analizi signala in absolutna metoda. Preiskovanje železnih in magnetnih nerjavnih materialov s standardno opremo za

preiskavo z vrtničnimi tokovi ni možno. Za te materiale sta bila razvita postopka: oddaljeno polje vrtničnega toka in prepust magnetnega fluksa¹. Navadno se uporablja preiskava z dvema ali več frekvencami naenkrat, zato da bi se izognili neželenim vplivom distančnih oz. podpornih plošč. Preiskava z vrtničnimi tokovi je izredno mnogostranska in se uporablja za ugotavljanje ali razlikovanje med fizikalnimi, strukturnimi in metalurškimi lastnostmi električno prevodnih železnih in neželeznih kovin in kovinskih delov in tudi za odkrivanje napak v materialu. Metoda vrtničnih tokov je izredno občutljiva, kar je v mnogih primerih negativno, saj lahko nekatere spremenljivke v materialu, ki pri preiskavi niso bistvene, povzročijo spremembo signala in napačno interpretacijo le-te¹.

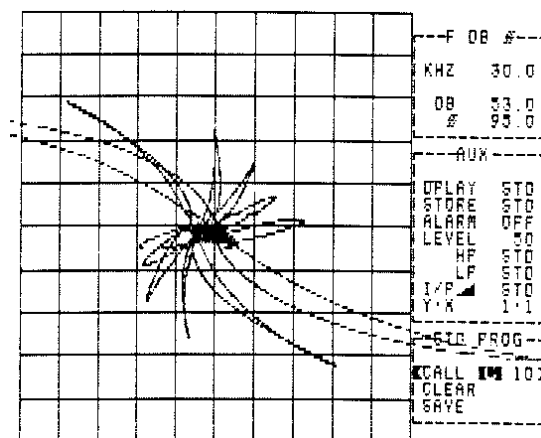
2 EKSPERIMENTALNI DEL

Z neporušitveno preiskovalno metodo vrtničnih tokov smo preiskali poškodbe kondenzatorskih cevi z metodo uvajanjem sonde v cev. Preiskave smo opravili z napravo HÖCKING AV 100SE, ki ima možnost delovanja v frekvenčnem območju od 1 kHz do 1 MHz, vsebuje zaslon in pomnilnik, s katerim je možno spremljati spremembe impedance sonde, katere navitja so povezana na diferencialni način. Poleg tega ima sposobnost uporabe analogne kompenzacije za regulacijo vertikalne in horizontalne komponente signala na zaslonu (X in Y), z možnostjo regulacije napetosti med ±1,5 V do ±15 V. Na **sliki 1** je prikazana sonda, ki jo uporabljamo za preiskave cevi z notranje strani, in etaloni za preiskave, na **sliki 2** pa je prikazan izpis pri preiskavi na etalonu z značilno Lissajous-jevo krivuljo. Premer sonde je izbran glede na notranji premer cevi, da še omogoča prehod skozi cev brez zatikanja. Kalibracijo izvedemo na kalibracijski cevi, ki ima umetno narejene napake in je izdelana iz materiala z enakimi lastnostmi, tako dimenzijskimi kot kemijskimi, ter enako termično obdelavo, kot je cev kondenzatorja, ki jo pregledujemo.



Slika 1: Sonda in etaloni, ki se uporabljajo pri preiskavi cevi z notranje strani

Figure 1: The probe and the etalon used for inside tube examination

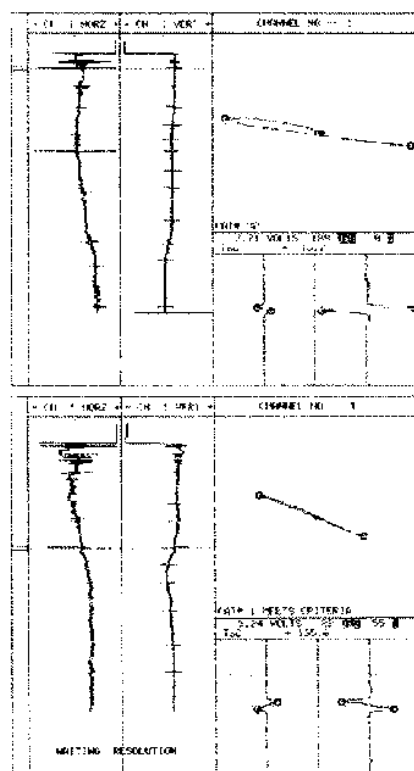


Slika 2: Izpis pri preiskavi na etalonu

Figure 2: The print during examination of the etalon

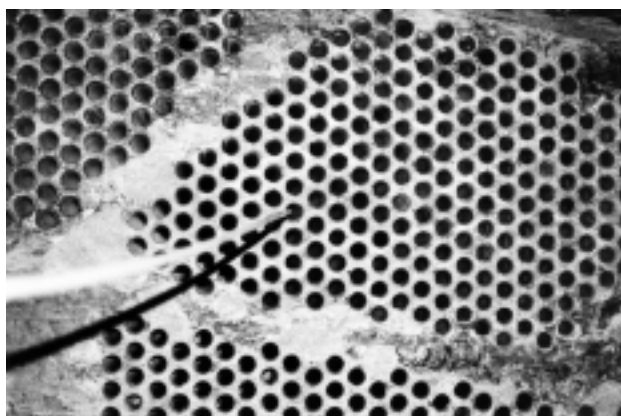
2.1 Laboratorijske preiskave odvzetih kondenzatorskih cevi

Iz kondenzatorja termoenergetskega objekta je bilo odvzetih štirinajst poškodovanih kondenzatorskih cevi kvalitete CuZn28Sn ϕ 21 mm \times 1 mm. Na izbranih ceveh smo v laboratoriju opravili preiskave z vrtničnimi



Slika 3: Primer meritve napak z metodo vrtničnih tokov na kondenzatorskih ceveh v laboratoriju z značilno krivuljo; a) korozijska poškodba z notranje strani, b) zunanja napaka - udarec

Figure 3: The example of measure the defect with the eddy current method on condenser tubes in laboratory with characteristic curve; a) corrosion defect from inside; b) defect from outside - stroke



Slika 4: Meritve poškodb kondenzatorskih cevi z uvajanjem sonde
Figure 4: The defect measurement on condenser tubes with the probe insertion

tokovi in nato ugotovljene poškodbe primerjali z metalografsko preiskavo. Kot primer navajamo primerjavo dveh signalov: korozija z notranje strani (**slika 3a**) in zunanja poškodba - udarec (**slika 3b**). Slednji ima velik kot in veliko amplitudo, vendar se vrh do vrha začne na nasprotni strani kot v primeru korozije.

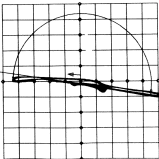
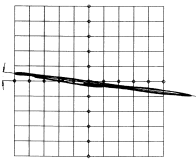
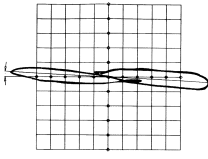
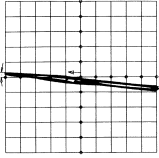
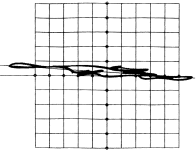
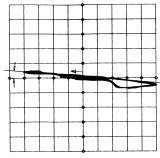
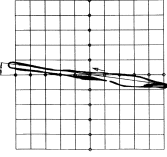
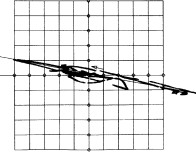
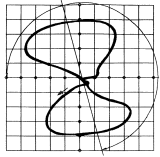
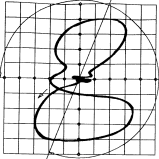
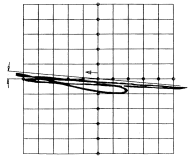
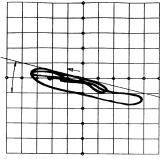
2.2 Preiskave kondenzatorskih cevi na objektu

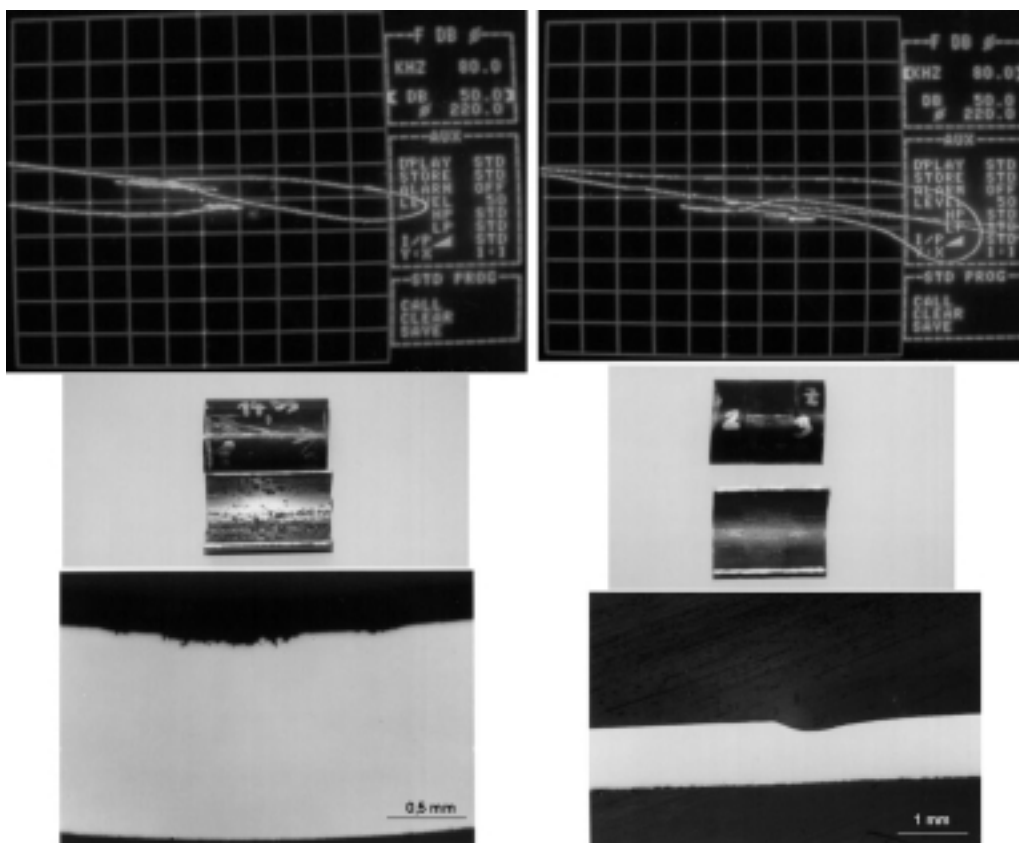
Na kondenzatorju smo izvršili na sedemnajstih ceveh meritve z metodo vrtnčnih tokov (**slika 4**). Preiskava je bila izvedena med zaustavitvijo bloka termoeenergetskega objekta. Preiskane so bile cevi iz različnih segmentov. Pri preiskavi praktično ni bilo cevi, ki ne bi imela poškodbe (**tabela 1**).

Ko primerjamo vzdolžni načrt kondenzatorja, kjer so vrisane podporne plošče in razdaljo, kje smo dobili signal za napako, potem lahko nedvomno trdimo, da

Tabela 1: Preiskave kondenzatorskih cevi z vrtnčnimi tokovi

Table 1: The condenser tubes examination with the eddy current method

Kondenzatorske cevi		
Parametri preiskave: frekvenca: 50 do 80 kHz, jakost: 50 dB, fazni kot ϕ : 220°		
Cev XVI 251-1a  Signal na 3,1 m - zunanja napaka (obraba)	Cev XVI 251-1b  Signal na 4,2 m - notranja napaka (korozija)	Cev XVI 251-1c  Signal 5,3 m - notranja napaka (korozija)
Cev XVI 251-1d  Signal na 6,5 m - notranja napaka (korozija)	Cev XV 158-7a  Signal na 2,3 m - notranja napaka (korozija)	Cev XV 158-7b  Signal na 4,1 m - notranja napaka (korozija)
Cev XV 158-7c  Signal na 5,4 m - notranja napaka (korozija)	Cev XV 158-7d  Signal na 6,5 m - notranja napaka (korozija)	Cev XVIII 221 - 8a  Signal na 1,4 m - zunanja napaka (obraba)
Cev XVIII 221 - 8b  Signal na 2,7 m - zunanja napaka (obraba)	Cev III 251-10  Signala na 1,5 m - notranja napaka (korozija)	Cev IV 158-11a  Signal na 5,1 m - notranja napaka (korozija)



Slika 5: Primerjava izpisa krivulje, narejene z metodo vrtničnih tokov, z metalografskim obrušom, narejenim na mestu indikacije: a) Napaka: jamičasta korozija; notr. stran cevi. Velikost: 0,1 mm; 10 %, b) Napaka: obraba, zunanja stran cevi. Velikost: 0,21 mm; 21 %

Figure 5: Comparison of the curve print perform with the eddy current method with metallographic cross section done on the indication spot: a) Defect: pitting corrosion; tube inside. Size: 0,1 mm; 10 %, b) Defect: triteness, tube outside. Size: 0,21 mm; 21 %

prihaja v večini primerov do poškodb na zunanji strani cevi na mestih podpornih plošč zaradi vibracij ob podpornih ploščah. Na preostalih ceveh ugotavljamo poškodbe z notranje strani, verjetno zaradi jamičaste korozije.

2.2.1 Preiskave na dveh odvzetih ceveh iz kondenzatorja v laboratoriju

Iz predela kondenzatorja I 221 in III 251 smo odvzeli dve cevi. Te smo pregledali z vrtničnimi tokovi v laboratoriju in nato razrezali za metalografske preiskave. Podani so rezultati meritev vrtničnih tokov v primerjavi z metalografskimi preiskavami (slika 5).

3 DISKUSIJA

Največ poškodb na preiskanih kondenzatorskih ceveh izvira iz vibracij in obrabe ob podpornih ploščah. Pri stalnih vibracijah pride do obrabe cevi na zunanji strani. Signala, ki nastaneta zaradi obrabe ob podpornih ploščah in od podporne plošče se prekrivata, zato smo uporabili metodo vrtničnih tokov z dvema frekvencama. Signal napake zaradi obrabe ob podpori v določenih primerih prikrije signal, ki prikazuje preluknjanje cevi. Vendar

smo s spreminjanjem parametrov meritve zaznali obe vrsti napake. Iz oblike krivulje in njene velikosti, predvsem pa faznega kota, se da sklepati, ali gre za notranjo ali zunanjo poškodbo in o približni velikosti poškodbe. Ker smo razdaljo od postavitve sonde v cevi primerjali z načrtom kondenzatorja, smo hitro ugotovili, da je indikacija večine poškodb povezana s podporami. Zaradi vibracij prihaja tam do obrabe, kar se lepo pokaže pri preiskavi. Prav tako je možno locirati poškodbo zaradi korozije, predvsem se pojavlja jamičasta korozija. Vendar je v praksi potrebno uporabiti računalniško povezan način vrednotenja rezultatov in avtomatizirano podajanje sonde v cevi, kar omogoča preglede vseh cevi kondenzatorja ali večjega števila v kratkem času, kot ga dopušča zaustavitev termoenergetskega objekta med remontom.

4 SKLEP

Metodo vrtničnih tokov smo uporabili pri ugotavljanju obsega poškodb na kondenzatorskih ceveh v termoenergetskem objektu. Ta neporušitvena preiskovalna metoda se je pokazala kot zelo senzibilna in učinkovita, vendar zahteva veliko izkušenj in znanja. Pri preiskavah smo uporabljali napravo za meritve vrtničnih

tokov z uporabo ene frekvence in ročno manipulacijo sonde ter ročno obdelavo podatkov. V primeru preiskav kondenzatorja je to edina zanesljiva metoda, saj z nobeno drugo metodo ne moremo v tako kratkem času preiskati vseh cevi kondenzatorja in istočasno zunanjo in notranjo stran cevi. Ugotovljeno je bilo, da je večina poškodb posledica vibracij in obrabe materiala z zunanje strani cevi ob podporah. V nekaterih primerih smo ugotovili poškodbe z notranje strani cevi, ki pa so posledica jamičaste korozije.

5 LITERATURA

- ¹ Metal Handbook - Vol. 17: Nondestructive testing, 9th Edition AMS, International, 1991
- ² A. Černe, B. Godec, Sanation of the thermo-power plants: proceedings of the 1st international symposium, Rogaška Slatina, May 28-30, 1997, 165-169
- ³ Delovni postopek IMK: DP-N8, Preizkušanje z vrtnčastimi tokovi (ECT), 1997
- ⁴ Eddy Curent Testing, Level II course, ENEL, Central Laboratory, Piacenza, 1995
- ⁵ Nondestructive testing - eddy current testing, Programed instruction handbook, San Diego, PI-4-5, 1967
- ⁶ http://www.hocking.com/theory_testing.htm
- ⁷ S. A. Jenkins, D. W. Lowden, Eddy current inspection simulators: computer-aided learning, *Materials Evaluation*, 11 (1993) 51, 1226-1236
- ⁸ H. Chang, F. C. Shoenig, Jr., J. A. Soules, Eddy current offers a powerful tool for investigating residual stress and other metallurgical properties, *Materials Evaluation*, 12 (1999) 57, 1257
- ⁹ C. V. Dodd, J. R. Pate, J. D. Allen, Advancement in eddy current test technology for steam generator tube inspection, *Materials Evaluation*, 1 (1995) 53, 49-54
- ¹⁰ ASME Boiler and Pressure Vessels Code, Section XI, Rules for Inservice Inspection of NPP Components