

*Вера Шијачки Жеравчић¹, Гордана Бакић¹, Милош Ђукић¹,
Биљана Анђелић², Бранислав Рајичић¹, Јасмина Асул³*

¹Машински факултет, Универзитета у Београду, Београд, Србија

²Технички факултет у Чачку, Универзитет у Крагујевцу, Чачак, Србија

³Институт за аеронаутику, Универзитет Блиде „Саад Далелб“, Сума, Алжир

Оцена интегритета цевног система вреловодног котла изложеног корозији

Стручни рад

UDC: 621.186.3:620.196

BIBLID: 0350-218X, 35 (2009), 1, 95–110

У циљу извођења валидне процене интегритета компоненти уграђених у индустријска енергетска постројења неопходно је применити методолошки приступ који обухвата прикупљање, систематизацију и анализу података из експлоатационе историје, пројектовање програма испитивања стања материјала методама са и без разарања, као и одговарајућих критеријума прихватљивости. У раду је дао пример процене интегритета цевног система вреловодног котла једног домаћег постројења изложеног корозији на основу података из експлоатационе историје, резултата ранијих испитивања, као и на основу поређења добијених резултата испитивања са усвојеним критеријумима прихватљивости. Процена интегритета критичних компоненти представља подлогу за дефинисање предлога о парцијалној замени котловских цеви, као и низа корективно-превентивних које имају за циљ превенцију појаве разарања као и обезбеђивање високе поузданости у раду.

Кључне речи: вреловодни котло, цевни систем, корозија, процена интегритета, корективно-превентивне мере

Увод

Модерни приступи у управљању радним веком котловских постројења, генерално, засновани су на обезбеђењу:

- експлоатације постројења на предвиђеним радним параметрима, повећаној ефикасности и сигурности,
- планске замене делова у технички и економски оправданом тренутку, која је заснована на пажљиво разрађеној стратегији одржавања, и
- продужетка радног века постројења.

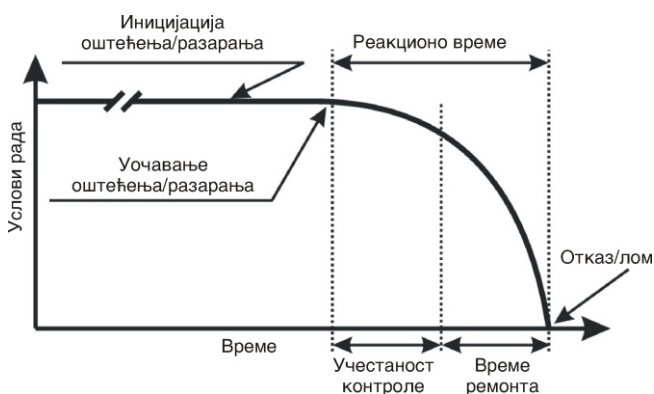
Методолошки приступ, који је саставни део управљања радним веком котловских постројења, а који омогућава добијање неопходних података за процену преосталог века и процену интегритета постројења и његових виталних компоненти обухвата:

- дијагностику оштећења микроструктуре компоненти котловских постројења применом различитих метода испитивања без и са разарањем,
- формирање базе података и формирање „досијеа” постројења у циљу коришћења софтвера за процену експлоатационе употребљивости и прорачун века до лома, и
- дефинисање програма контроле постројења чији ће резултати мерења након анализе да буду саставни део базе података.

Оштећења која се јављају код котловских постројења могу да буду последица деловања различитих механизма, при чему постоје и ситуације када више механизма делује истовремено. Пошто појава оштећења зависи од фактора који су карактеристични за дато постројење (конструкција, карактеристике постројења, радни параметри, карактеристике горива, итд.), неопходно је свако постројење и његове компоненте посматрати независно да би се добила конкретна слика о стању материјала баш тог постројења, односно да би се извршила што реалнија процена његове експлоатационе употребљивости и радног века.

Нажалост, почетни стадијум оштећивања, а самим тим и разарања не може да се уочи, па из тог разлога није могуће применити – спровести било какву превентивну акцију којом би се спречило ширење оштећења [1]. У највећем броју случајева, бар када је реч о котловским постројењима, разарање компоненти се одвија постепено. Примарни и секундарни стадијум разарања, односно иницијација и први стадијум ширења оштећења су латентни и тек после извесног времена (латентно време је различито у зависности од врсте оштећења) неке индикације оштећења, односно разарања могу да се уоче. У зависности од врсте оштећења и механизма разарања као и критичности компоненте постоји време, тзв. реакционо време током којег је неопходно применити мере одржавања пре него што дође до лома.

Стадијуми ширења разарања су приказани на сл. 1. Сума времена између контрола, учестаности контрола и времена које је неопходно за извођење поправке, треба да буде краће од реакционог времена које се завршава ломом, с тим што учестаност контроле зависи од врсте компоненте.



Слика 1. Стадијуми ширења разарања

Веома је важно истаћи да је, када дође до разарања неке компоненте, неопходно утврдити узроке тог оштећења као и механизме разарања у циљу спречавања поновљених разарања из истог разлога. У раду је дат приказ методологије у сегменту одржавања који се односи, пре свега, на период контроле и учестаности контроле цевног система вреловодног котла који је изложен корозији.

Да би методологија била са успехом примењена, неопходно је имати базу података која садржи све релевантне податке везане за постројење и његове компоненте од почетка рада (укључујући и комплетну техничку документацију), преко експлоатационе историје до тренутка када се врши конкретна контрола. У циљу формирања базе података, неопходно је извршити дијагностику оштећења виталних елемената постројења, и то по типовима оштећења, њиховим локацијама, пратећим ефектима, као и могућим узроцима оштећења.

Овакви подаци не представљају само драгоцен улазни податак при планирању одржавања котловских постројења током рада и застоја, већ обезбеђују и могућност управљања грешкама чије се присуство одражава на радни век постројења.

Анализа свих прикупљених података (укључујући и оне из експлоатационе историје постројења), и резултата испитивања омогућава издвајање критичних компоненти постројења, као и утврђивање главних механизма и узрочника њиховог оштећивања [2–4]. У наредном кораку, кроз научни и експертски приступ, могуће је извршити процену преосталог радног века виталних компоненти постројења и процену интегритета постројења применом различитих метода. Тек на основу тако добијених података могуће је доношење одлуке о томе које активности треба спровести да би постројење могло да настави са даљом експлоатацијом, а које се односе на: предвиђање наредног периода контроле, обављање поправке и неопходност замене и то одмах или након тачно одређеног периода.

Циљ рада је био процена интегритета цевног система једног вреловодног котла код кога су се појавила изразита корозиона оштећења, а по наведеној методологији, на основу резултата испитивања методама без и са разарањем. Процена интегритета цевног система котла спроведена према наведеној методологији је омогућила дефинисање [5]:

- тренутних критичних зона цевног система котла (са аспекта експлоатације, стања материјала, наслага, степена и брзине настајања корозионих оштећења), као и потенцијално критичних зона које су предвиђене за праћење,
- степена деградације материјала, запрљаности и корозионих оштећења цевног система котла,
- могућности даље поуздане експлоатације компоненти цевног система и њених зона,
- делова цевног система предвиђених за замену,
- програма праћења стања и испитивања критичних делова цевног система који нису за замену,
- краткорочних и дугорочних задатака и мера одржавања, и
- препорука везаних за вођење постројења, планирање захвата и спровођење ремонта.

Основни подаци о испитиваном котлу

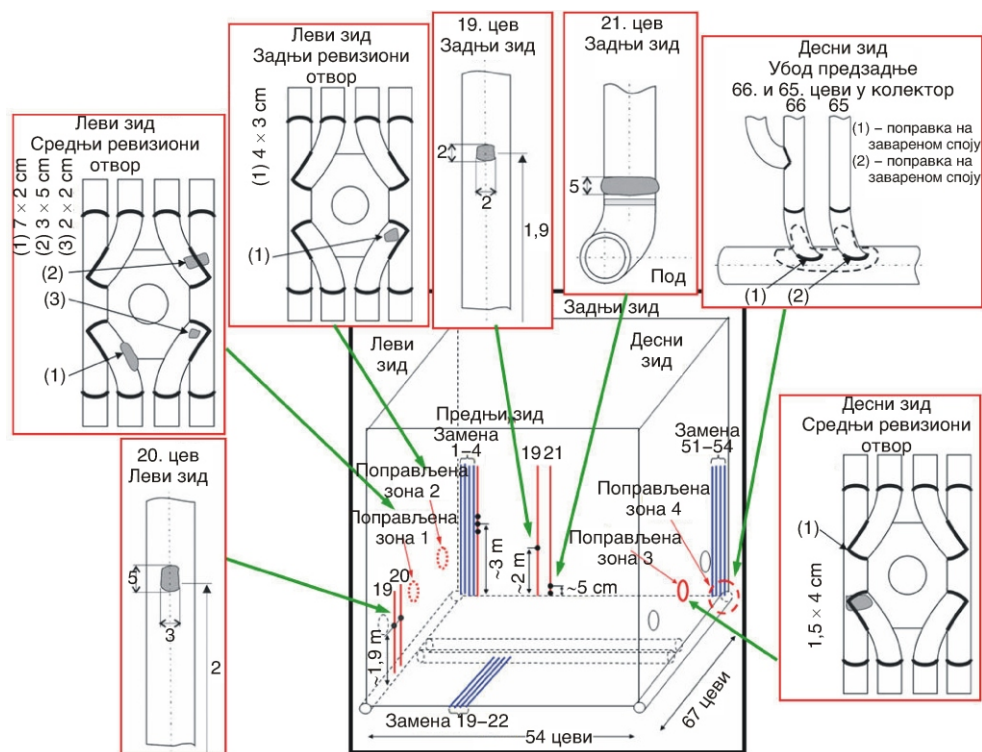
Испитивани вреловодни котао са принудном циркулацијом (самостојећи мембрански) је у експлоатацији већ деветнаест година, ради са натпритиском у гасном тракту, и константним протоком воде. Ложиште је екранисано и заптивено, а

предвиђено је да се као гориво користи гас или мазут, те је стога уграђен комбиновани гореник. Основни радни параметри испитиваног котла су дати у табл. 1.

Таблица 1. Основни радни параметри испитиваног котла

Максимална производња	Радни притисак	Испитни притисак	Температура воде (улаз)	Температура воде (излаз)
$Q_{\text{макс.}} = 58 \text{ MW}$	$P_{\text{рад.}} = 17,5 \text{ bar}$	$P_{\text{исп.}} = 25 \text{ bar}$	$t_{\text{ул.}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_{\text{изл.}} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$

Према подацима из експлоатационе историје котла, први проблеми се јављају на екранским цевима (57 4, челик S1214.1.) у виду цурења појединих цеву, због којих је након десет година рада извршена замена делова цевног система у ложишту, сл. 2.



Слика 2. Позиције замењених и шематски приказ поправљених екранских цеву [6]

У тренутку замене нису извршена испитивања у циљу утврђивања узрока појаве оштећења, јер се након извесног времена показало да проблеми изведеном заменом нису отклоњени и да се учесталост цурења повећала, посебно на цевима у зони левог и задњег зида ложишта [6]. Експлоатациона историја котловског постројења јасно указује да је критична компонента цевног система котла екрански испаривач, који је током протекле експлоатације, услед учесталих пуцања и отказа, у знатној мери угрозио експлоатациону поузданост постројења.

Програм испитивања цевног система котла

Први корак у процени интегритета овог котловског постројења је био дефинисање Програма испитивања на основу прелиминарног визуелног прегледа екранских цеви вреловодног котла и сагледавања података из експлоатационе историје, који је обухватио: испитивања методама без разарања на екранским цевима у котлу, као и испитивања узорака методама са разарањем који су исечени са одабраних цеви [6].

Испитивања екранских цеви методама без разарања су обухватила стандардне поступке, као што су: визуелна контрола екранских цеви, мерење дебљине зида цеви на „критичним” екранским цевима котла у оговарајућим зонама из којих нису узети узорци, мерење тврдоће метала на одабраним екранским цевима котла, детекција корозионих оштећења и наслага уређајем EMF3-MFI, и пенетрантска контрола зона и цеви које су се, на основу података из експлоатационе историје и обављеног обележавања, показале као критичне и склоне оштећивању.

Тачна позиција екранских цеви, које су предвиђене за исецање и испитивање методама са разарањем, дефинисана је након њихове детаљне визуелне контроле у котлу и означавања зона поправки. На исеченим узорцима цеви су обављена стандардна испитивања која су укључила: визуелну контролу са макроснимањем, димензиону контролу, испитивање тврдоће и затезних карактеристика, анализу хемијског састава као и микроструктурна испитивања.

Резултати испитивања методама без разарања на екранским цевима

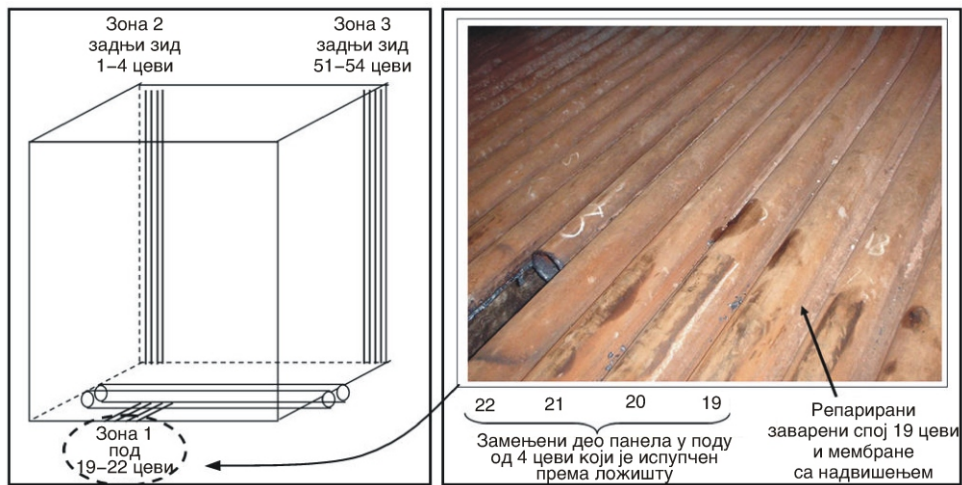
Визуелна контрола доступних зона екранских цеви је обављена на лицу места и састојала се у:

- сагледавању стања спољашњих површина екранских цеви у предњем, задњем, десном и левом зиду и поду,
- означавању локација (по висини и страни котла) цеви/деоница цеви екрана које су замењене или поправљене, сл. 2, и
- провери геометрије панела.

На спољашњим површинама цеви у предњем, задњем и десном бочном зиду уочена је равномерна корозија без дебљих наслага. Појава кондензације и влажних зона са траговима цурења, углавном испод поправљених области, констатована је на више места.

Такође су уочене деформације појединих цеви у виду испупчења ка ложишту котла и то у три зоне, сл. 3.

Дебљина зида цеви. Мерење дебљине зида екранских цеви је обављено у 5 зона: предњем, задњем, левом и десном зиду и у поду. На основу анализе позиција поправки и замена екранских цеви, испитивање дебљине зида је извршено на свим „критичним” цевима на три мерна места по цеви. Измерене вредности дебљине зида цеви су у опсегу од 3,3–4,0 mm, с тим што је на цевима задњег, десног и левог зида и пода констатовано стањење дебљине зида у односу на номиналну вредност за 10% и више.



Слика 3. Зоне деформације екранских цеви

Тврдоћа материјала. Мерење тврдоће материјала екранских цеви је обављено на свим зидовима и поду и то на три мерна места на свакој „критичној” цеви, табл. 2. На основу приказаних података уочава се да постоје цеви, посебно на левом и десном зиду, код којих је измерена вредност тврдоће нижа од стандардом минимално очекиване вредности.

Таблица 2. Резултати мерења тврдоће на лицу места

Зона I – предњи зид		
Број цеви	Локација	Тврдоћа, HBS*
4, 27, 51	1,5 m од пода	119 , 124, 145
Зона II – задњи зид		
19	у близина поправке	129–144
21, 31, 50, 53	1,7 m од пода	129–145
Зона III – леви зид		
20, 34, 45, 63	1,5 m од пода	115 –160
Зона IV – десни зид		
20, 35	1,5 m од пода	117 –131
Зона V – под		
10, 18, 20, 25	колектор	119 –160
Минимална препоручена тврдоћа, HBS (Ћ1214)		120

* Напомена: болдованим бројевима означене су вредности испод препоручених

Детекција корозионих оштећења и наслага уређајем EMF3-MI. Уређај EMF3-MI, развијен и сертификован на Машинском факултету у Београду, успешно је примењен на цевном систему котлова домаћих термоенергетских постројења (ТЕ „Костолац” и ТЕ-ТО „Зрењанин”) за поуздано откривање корозионих оштећења и

налага различитог степена са унутрашње стране цеви без њеног исецања. Овај уређај омогућава да се на брз и једноставан начин, без разарања, испита велика област цевног система без посебне припреме спољашњих површина [7].

Испитивање помоћу овог уређаја је обављено на укупно 34 цеви и то у свих пет зона. Цеви у задњем, предњем, левом и десном зиду су испитане на висини 1,5 m од пода ложишта (зона горионика), а цеви у поду ложишта на средини између предњег зида и колектора, односно на средини између задњег зида и колектора.

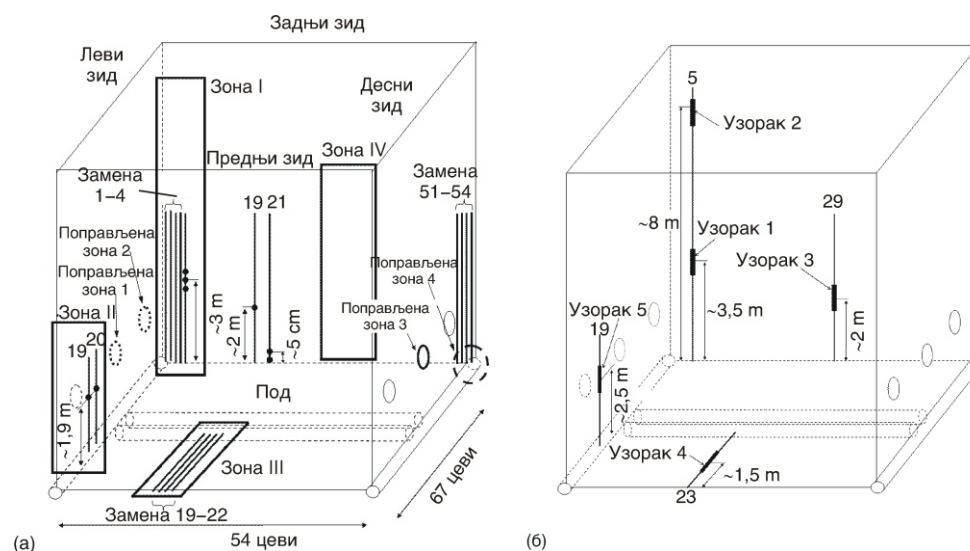
На основу добијених резултата констатовано је да је:

- скоро две трећине од укупног броја испитаних цеви захваћено јаким корозионим оштећењем и виду издвојене значајне количине наслага и постојања корозионих кратера, и
- са аспекта корозије најугроженији задњи зид ложишта и под.

Пенетрантска контрола. Контрола пенетрантима је обављена на свим, током досадашње експлоатације, поправљеним екранским цевима и зонама. Такође, извршено је и испитивање цевних лукова у близини задњег и левог зида, на десном и левом зиду у близини ревизионог отвора, као и на 32. цеви у зони где су учени трагови цурења. Испитивањима екранских цеви овом методом нису откривене грешке недозвољеног типа.

Резултати испитивања са разарањем на узорцима цеви

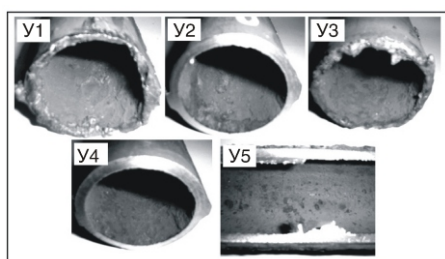
На основу података из експлоатационе историје екранског испаривача, визуелне контроле *in situ* и испитивања помоћу уређаја EMF3-MI, дефинисане су „критичне” зоне и локације из којих су исечени цевни узорци за испитивање методама са разарањем, сл. 4 (а, б).



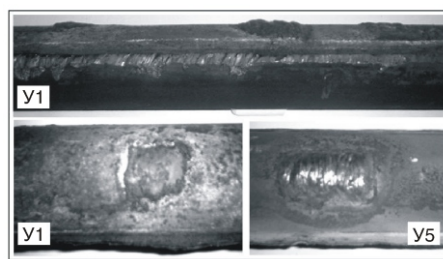
Слика 4. Позације „критичних” зона (а) и локације узорковања цевних узорака (б)

Визуелна контрола. На унутрашњој површини стране цеви окренуте ка ложишту, код свих пет узорака, уочене су вишеслојне, по дебљини неравномерне (до 3 mm) растресите наслагe црвенкасто–смеђе боје (хематит) испод којих постоји снажно корозионо оштећење у виду кратера различите дубине продора, сл. 5.

Цевни узорци бр. 1 и 5 садрже и области (30–40 mm) које су заварене приликом поправке, сл. 6. Све поправљене зоне карактерише изразито надвишење, висине до 35 mm које представља грешку заваривања, али и потенцијална места за настанак нових оштећења.



Слика 5. Унутрашња површина стране цевних узорака окренуте ка ложишту



Слика 6. Изглед поправљених области за надвишењем

Дебљина зида цеви. Мерење дебљине зида узорака екранских цеви је обављено на пет мерних места на страни цеви окренутој директном дејству димних гасова (пламена страна). Резултати указују да код четири узорка постоји стањење зида цеви веће од 10% (Y1 – 3,59 mm; Y3 – 3,54 mm; Y4 – 3,5 mm и Y5 – 3,52 mm), што такође указује на изразито корозионо оштећење на унутрашњој површини екранских цеви котла.

Хемијска анализа. Хемијски састав свих узорака цеви је одређен кванто-метарским поступком и са спољашње и са унутрашње стране. Резултати испитивања хемијског састава заједно са стандардом предвиђеним вредностима садржаја хемијских елемената челика Š1214 приказани су у табл. 3.

Таблица 3. Хемијски састав испитиваних узорака цеви

Узорак	Садржај легирајућих елемената [%]						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
Y1сп.	0,079	0,238	0,490	0,10	0,090	0,026	0,024
Y1ун.	0,069	0,211	0,493	0,10	0,089	0,028	0,030
Y2сп.	0,073	0,221	0,485	0,10	0,063	0,028	0,03
Y2ун.	0,082	0,218	0,498	0,10	0,087	0,010	0,022
Y3сп.	0,088	0,22	0,486	0,10	0,094	0,018	0,026
Y3ун.	0,082	0,216	0,489	0,10	0,088	0,018	0,020
Y4сп.	0,130	0,281	0,443	–	–	0,018	0,015
Y4ун.	0,151	0,280	0,447	–	–	0,018	0,017
Y5сп.	0,066	0,261	0,432	–	0,102	0,018	0,033
Y5ун.	0,072	0,261	0,430	–	0,105	0,021	0,030
Ст. Š1214	0,17	0,10–0,35	0,45	–	–	макс. 0,05	макс. 0,05

Иако сви испитани узорци (У) имају задовољавајући хемијски састав према стандарду, индикативна је не само разлика у садржају угљеника са спољашње (сп.) и унутрашње (ун.) стране код истог узорка, већ и низак садржај угљеника генерално, код четири од пет узорка. Наиме, иако стандард не дефинише за конкретан случај (челик $\check{C}1214$) доњу границу препорученог садржаја угљеника, према генералним напоменама датим у стандарду, може да се усвоји да она не би требало да износи мање од 0,10% С, у ком случају би могло да се констатује да је садржај угљеника одређен код узорка 1–3 и 5 веома низак, и то знатно нижи од стандардне вредности (0,17). Овако низак садржај угљеника може да потиче од: (1) – производње, што значи да је полазни материјал био „незадовољавајућег квалитета”, или (2) – услова експлоатације који су били такви да је могло да дође до разугљеничења површинских слојева (и са спољашње и са унутрашње стране). Међутим, на основу резултата осталих испитивања јасно је да су биле уграђене цеви са овако ниским садржајем угљеника.

Механичка својства материјала. Испитивање механичких својстава узорка цеви је укључило испитивање тврдоће методом по Бринелу и одређивање затезних својстава материјала. Тврдоћа је мерена по спољашњој површини стране цеви окренуте ка ложишту дуж изводнице, као и на попречном пресеку прстенова припремљених за металографска испитивања.

Епрувете за испитивање зајезањем материјала су исечене из свих пет узорка цеви (узорци означени са 1–5) и то са стране цеви окренуте ка ложишту, с тим што је код узорка 1, ради поређења карактеристика на истој цеви, извршено и исецање епрувете са стране цеви окренуте ка озиду котла (У1–2). Резултати одређивања затезних својстава материјала свих пет узорка заједно са стандардом предвиђеним вредностима за $\check{C}1214.1$ су дати у табл. 4.

Таблица 4. Резултати испитивања затезних својстава узорка

Узорак	У1–1	У1–2	У2–1	У3–1	У4–1	У5–1	$\check{C}1214.1$
$R_{0,2}$ [N/mm ²]	74	170	162	175	211	116	235
R_m [N/mm ²]	123	311	299	306	323	194	340–440
A_5 [%]	11	26,9	23,63	26,13	26,67	9,3	мин. 25

* Напомена: болдованим бројевима означене су вредности испод препоручених

Својства отпорности ($R_{0,2}$, R_m) свих испитиваних узорка су нижа или екстремно нижа од минималних, стандардом предвиђених вредности. Ове карактеристике могу да се пореде, и у потпуној су сагласности са резултатима тврдоће који су измерени на попречном пресеку свих узорка цеви. Својства деформације (A_5) су код узорка цеви 1 и 5 недозвољено ниска у односу на стандардом препоручену минималну вредност, код узорка цеви 2 су нешто нижа од стандардом препоручених, а код узорка цеви 3 и 4 су практично на минимално дозвољеној граници. Генерално, механичке карактеристике одређене на свим узоцима цеви су неприхватљиве као карактеристике које треба да има материјал $\check{C}1214$ у датим условима експлоатације, што значи да материјал цеви нема задовољавајуће карактеристике по овом критеријуму за поуздану експлоатацију.

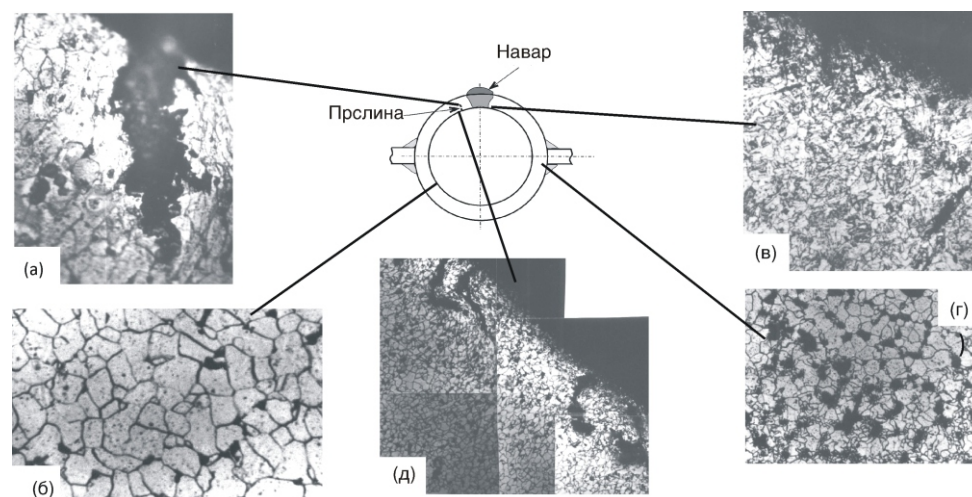
Резултати мерења тврдоће као и стандардом препоручене вредности за челик Č1214.1 приказани су у табл. 5. Приказани резултати указују да је, код свих 5 испитаних узорка цеви у попречном пресеку (индикативни показатељи) ова карактеристика материјала незадовољавајућа и да су очитане вредности код узорка 1 и 5 екстремно ниске. Наиме, у табл. 4 наведене су, ради поређења, и вредности тврдоће материјала цеви Č1214/1 које су препоручене стандардом. Разлике мерених и стандардом препоручених вредности су више него уочљиве, а величина одступања (за поједине вредности више од 60% у односу на доњу граничну вредност) неприхватљива је по било ком допуштеном одступању. Генерално, практично све измерене вредности тврдоћа су или на нивоу доње граничне вредности препорученог интервала или значајно ниже од тог нивоа.

Таблица 5. Резултати испитивања тврдоће узорка цеви

Узорак	Спољашња површина					Попречни пресек				
	Мерна места					Мерна места				
Узорак 1	72	131	118	119	102	48	115	107	113	78
Узорак 2	80	130	120	124	95	51	115	111	119	75
Узорак 3	52	129	121	122	89	49	117	109	116	85
Узорак 4	48	131	119	120	112	54	118	109	114	83
Узорак 5	63	131	119	122	107	47	110	102	111	71
Опсег тврдоће за Č1214.1:120–154										

* Напомена: болдованим бројевима означене су вредности испод препоручених

Микроструктурна испитивања. Микроструктурна испитивања свих пет узорка су изведена на металографским узорцима који су исечени у виду прстена из ре-



Слика 7(а–д). Узорак 1, прстен за испитивање микроструктуре, позиције испитивање на попречном пресеку цеви

(а) основни материјал; (б) унутрашња сирана; (в) зона поправке, унутрашња сирана, прслине; (г) зона ушцаја шойлоје мембране; (д) унутрашња сирана, прслине

презентативних области и који су затим припремљени брушењем, полирањем и на-
гризањем на стандардан начин.

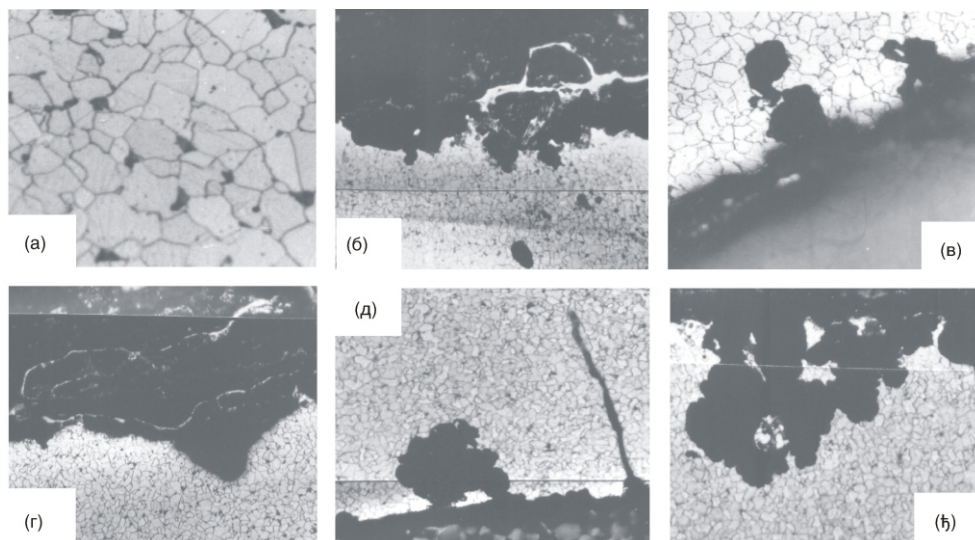
Код узорка 1 (задњи зид, 5. цев, ката 3,5 m од пода) прстен је исечен из цеви
на начин да је обухваћена и зона поправке што је шематски приказано на сл. 7.

Са приказаних микрофотографија, сл.7(а–д), које одражавају микрострук-
туру испитиваног узорка, може да се констатује:

- да је основна микроструктура феритно–перлитна, као што се и очекује за ову
класу челика, али са врло малим садржајем перлитног микроконституента (3,5%
перлита што одговара челику са садржајем угљеника од свега 0,04%), и
- да су у зони поправке уочене, у широј области, све секвенце веома грубих
структура зона утицаја топлоте као и постојање прслина са унутрашње стране
цеви, чија појава указује или на неодговарајући поступак поправке или на неод-
говарајуће параметре заваривања током поправке.

Микроструктурне карактеристике узорка 2 (задњи зид, 5. цев, ката 3,5 m од
пода ложишта са врха панела) су приказане на сл. 8(а–ђ) са којих може да се констату-
је да:

- је основна микроструктура скоро чисто феритна, перлитни микроконституент је
спорадичан, са нехомогеном расподелом и у веома малој количини,
- са унутрашње стране цеви постоје корозиона оштећења у виду корозионих
кратера (дубине 0,6–09 mm), галванске корозије и наслаге дебљине 0,8–1,0 mm, и

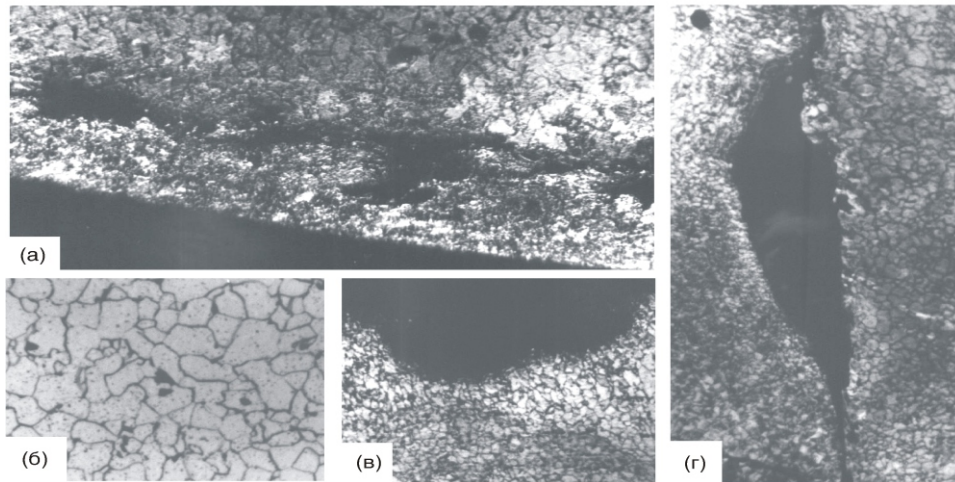


Слика 8(а–ђ). Узорак 2, позиције испитиване на попречном пресеку цеви
(а) основни материјал; (б) унутрашња стирана, наслаге; корозиони крајтери; (в) спољашња
стирана, разугљеничење, корозиони крајтери; (г) унутрашња стирана, наслаге, корозиони
крајтери; (д) спољашња стирана, прслине, крајтери; (е) унутрашња стирана, повезани
корозиони крајтери

- да са спољашње стране цеви постоје корозиони кратери дубине до 0,3 mm (гасна корозија) као и прслине, дубине продора до 0,85 mm; по неким карактеристикама, пре свега по начину иницијације, уочена прслина би могла да се сврста у категорију корозионо-заморних прслина.

Микроструктурне карактеристике узорка 3 (задњи зид, 29. цев, ката 2,0 m од пода ложишта) су приказане на сл. 9(а–г) са којих може да се констатује да је:

- основна микроструктура скоро чисто феритна, перлитног микроконституента има местимично, са нехомогеном расподелом и у веома малој количини (4% перлита, 0,035% C),



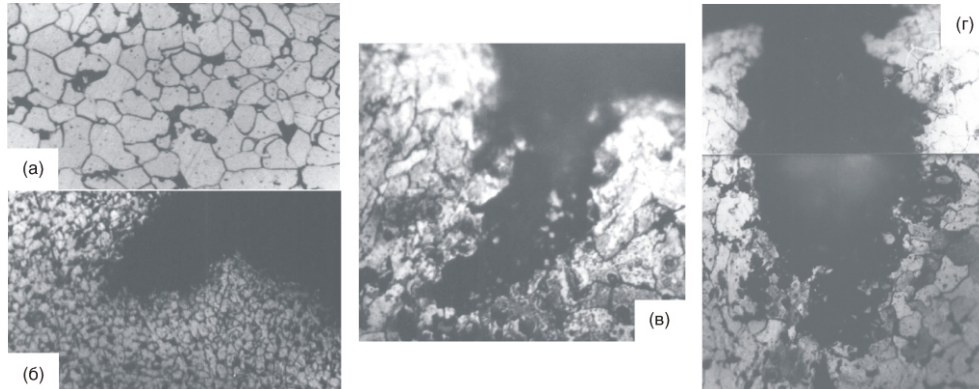
Слика 9(а–г). Узорак 3, позиције испитиване на попречном пресеку цеви

- (а) спољашња површина, прслине и преваљаности / раслојавање у поповршинском слоју;
 (б) основни материјал; (в) унутрашња страна, разуљеничење, корозиони крајер;
 (г) спој цев-мембрана, зрешка везивања, прслине

- да са унутрашње стране цеви постоје корозиона оштећења у виду корозионих кратера (дубине до 0,6 mm) и наслаге дебљине 0,8–1,5 mm, и
- да се са спољашње стране цеви опажају корозиона оштећења са бројним корозионим кратерима и потповршинским прслинама које се пружају паралелно са осом цеви и могу да буду или последица грешака из производње – преваљаности или корозионог раслојавања због грешака.

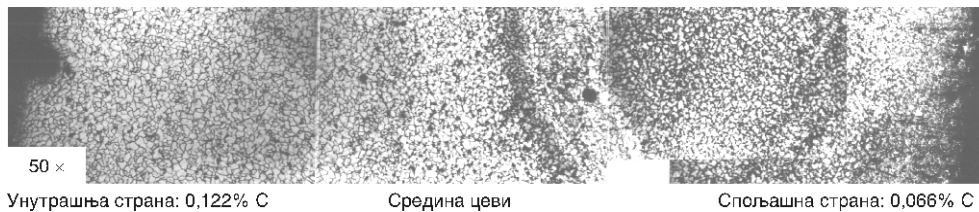
Микроструктурне карактеристике узорка 4 (предњи зид, 23. цев, на растојању од 1,5 m од предњег зида ложишта) су приказане на сл. 10(а–г) са којих може да се констатује:

- да је основна микроструктура феритна-перлитна, са перлитним микроконституентом у количини од 7% (0,06% C),
- да са унутрашње стране цеви постоји деформација потповршинских слојева у близини оштећења, изразито корозионо оштећење у виду корозионих кратера дубине до 0,7 mm и наслаге дебљине 0,3–0,5 mm, и
- да са спољашње стране цеви постоје корозиони кратери и наслаге.



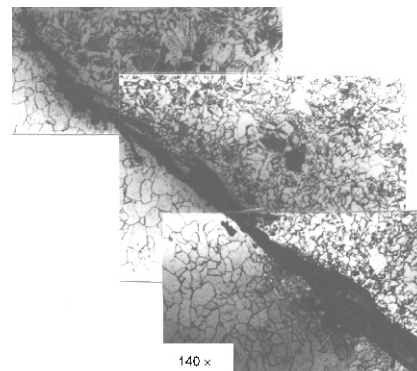
Слика 10(а–г). Узорак 4, позиције испитиване на попречном пресеку цеви
 (а) основни материјал; (б–г) унутрашња страна, корозиона оштећења

Микроструктурне карактеристике Узорка 5 (леви зид, 19. цев, ката 3 м од пода) су приказане на сл. 11(а, б) са којих може да се констатује да је:



Слика 11(а). Узорак 5, попречни пресек по дебелини цеви

- да је основна микроструктура феритна-перлитна, са изразитом концентрацијском нехомогеношћу; садржај угљеника са спољашње стране износи 0,066%, а са унутрашње 0,122%; количина перлитног микроконституента варира по дебелини зида цеви у зависности од количине угљеника; деформација средњих микро-структурних слојева као последица производње цеви; шупљине; укључци,
- да са унутрашње стране цеви постоје корозиона оштећења, наслаге и корозиони кратери, и
- да површински слојеви са спољашње стране садрже прслине.



Слика 11(б). Узорак 5, зона мембране, грешка везивања, прслине, груба зона утицаја топлоте

Оцена интегритета екранских цеви

Оцена интегритета екранских цеви вреловодног котла, односно процена њихове експлоатационе расположивости извршена је на основу релевантних параметара који описују тренутно стање метала екранских цеви и расположивих података из експлоатационе историје постројења. Релевантни параметри који описују тренутно стање метала екранских цеви вреловодног котла су добијени свеобухватном анализом резултата испитивања: хемијског састава материјала, механичких својстава материјала, микроструктуре, степена корозионих оштећења метала и осталих видова оштећења и одступања.

За сваки од параметара усвојен је одговарајући критеријум прихватљивости на основу стандарда, техничких норми и препорука. Преглед параметара са критеријумима прихватљивости и проценат испитивања који задовољава одговарајуће захтеве дат је у табл. 6 [6].

Таблица 6. Критеријуми прихватљивости за испитивања на цевима у котлу и испитивања на узорцима

Параметар	Критеријум прихватљивости	Укупан број испитивања	Задовољен критеријум [%]
Испитивања на цевима у котлу			
Тврдоћа	НВ > 120	50	84
Дебљина зида	Дозвољено стањење < макс. 10%	53	36
Корозионо стање (ЕМФ3-М1)	Индикуван I степен оштећења – „прихватљив”	34	35
Остала оштећења	Без налаза	9	100
Испитивања на узорцима			
Хемијски састав	Задовољава стандард	50	84
Микроструктура	Ферит-перлит са перлита	53	36
Тврдоћа	НВ	34	35
Механичке карактеристике	Задовољавају стандард	9	100
Спољашњи пречник цеви	$D = 57 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	9	100
Дебљина зида	Стање макс. 10%	9	100
Корозионо стање (микроструктура)	Индикуван I степен оштећења – „прихватљив”	9	100

Таблица 7. Збирни преглед по критеријумима прихватљивости

Параметар	Прихватљивост
Хемијски састав	Не задовољава
Микроструктура	Не задовољава
Тврдоћа	Не задовољава
Механичке карактеристике	Не задовољава
Дебљина зида	Не задовољава
Спољашњи пречник цеви	Задовољава
Корозионо стање	Не задовољава
Површинска оштећења	Задовољава

Анализирајући процентуалне уделе резултата испитивања који су задовољили критеријум прихватљивости по параметрима може да се да збирни преглед који је приказан у табл. 7.

Закључак

Уочене микроструктурне карактеристике, нехомогеност у хемијском саставу и

микроструктури, изразито ниска механичка својства и степен развоја корозионих оштећења указују да:

- полазне карактеристике уграђеног материјала екранског цевног система нису биле задовољавајуће, што значи да полазни материјал није имао стандардом захтеване вредности.

На основу сагледавања укупног обима и природе корозионих оштећења на цевном систему екрана могу се донети следећи закључци:

- наслаге и корозиони процеси на унутрашњој површини испитиваних екранских цеви по обиму захватају готово цело ложиште и налазе се у различитој мери у задњем, предњем, левом и десном зиду ложишта, као и у поду, и
- по појавном облику тип уочених корозионих оштећења одговара кратерској, зауставној и корозији под наслагама.

Процена експлоатационе расположивости и интегритета екранских цеви котла извршена на основу релевантних параметара и усвојених критеријума прихватљивости за сваки од параметара указује да:

- екрански цевни систем нема задовољавајући интегритет и експлоатациону расположивост на дужи период, што значи да се током даље експлоатације могу очекивати пуцања екранских цеви како у критичним тако и у осталим зонама ложишта.

Литература

- [1] ***, *Lifetime Analysis of Boiler Tube, State-of-the-Art Report*, VTT Technical Research Center of Finland, NO TUO74-021828, 2003
- [2] Hagn, L., Lifetime Prediction for Parts in Corrosive Environment, *Proceedings*, 8th International Brown Bowery Symposium on Corrosion in Power Equipment, Baden Baden, Germany, 1983, 256-262
- [3] Шијачки Жеравчић, В., Бакић, Г., Ђукић, М., Анђелић, Б., Милановић, Д., Модел класификације отказа и њихове статистичке обраде за цевни систем термоенергетског постројења, *Превентивно инжењерство*, 11 (2003), 2, 35–39
- [4] Шијачки Жеравчић, В., Бакић, Г., Ђукић, М., Анђелић, Б., Милановић, Д., Марковић, Д., Модерни приступи у одржавању термоенергетских постројења – методологија, поређења, унапређења, *Превентивно инжењерство*, 10 (2002), 2, 23–29
- [5] Ђукић, М., Шијачки Жеравчић, В., Бакић, Г., Керечки, Ј., Анђелић, Б., Рајичић, Б., Концепт одржавања котловских цеви изложених корозионом атаку, *Зборник радова на комјакт диск*, Симпозијум „Електране 2004”, Врњачка Бања, Србија, 2004.
- [6] Шијачки Жеравчић, В., Бакић, Г., Ђукић, М., Извештај 12-10-12.04/2001, Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд, 2001.
- [7] Шијачки Жеравчић, В., Бакић, Г., Ђукић, М., Искуства у примени уређаја ЕМФ3-М1 за детекцију корозионих оштећења на цевима цевног система котла, *Зборник радова*, Конференција Енергетика Српске, Теслић, Република Српска (БиХ), 2001, 125

Abstract

Integrity Assessment of Hot-Water Boiler Tubing System Exposed to Corrosion

by

*Vera ŠIJAČKI ŽERAVČIĆ¹, Gordana BAKIĆ¹, Miloš DJUKIĆ¹,
Biljana ANDJELIĆ², Bratislav RAJIČIĆ¹, and Yasmina ASSOUL³*

¹ Faculty of Mechanical Engineering,
University of Belgrade, Belgrade, Serbia

² Technical Faculty Čačak, University of Kragujevac, Čačak, Serbia

³ Faculty of Engineering Sciences, University Saad Dahlab Blida, Blida, Algeria

In the aim of valid assessment of components integrity built-in industrial plants it was necessary to apply methodological approach, which includes: plant service history data acquisition, assortment and analysis, defining a programme for non-destructive and destructive inspection of material, and formulating of acceptance criteria. This paper present an example of integrity assessment of hot-water boiler tubing system exposed to corrosion based on boiler service history, previous test results and comparison of new results to adopted acceptance criteria. Integrity assessment of critical components represent background for defining of boiler tube partial replacement proposal, and also for defining of corrective and preventive maintenance measures.

Key words: *hot-water boiler, boiler tubing system, corrosion, integrity assessment, corrective and preventive measures*

Одговорни аутор / Corresponding author (V. Šijački Žeravčić)
E-mail: vsijacki@mas.bg.ac.rs