

3. КАРАСТОЈКОВИЋ^а, З. КОВАЧЕВИЋ^б
3. ЈАЊУШЕВИЋ^в, С. ЈАКОВЉЕВИЋ^г

Оригинални научни рад
UDC: 620.193.92:669.131.6-462=861

Графитна корозија по ободу цеви од сивог лива за водоснабдевање потпомогнута утицајем тла

Сиви лив поседује добру корозиону отпорност и то му омогућује прилично велику употребу. Осим уобичајеног типа оксидације и грађења хидроксида железа, у сивом ливу је могућ још један облик корозије – у питању је тзв. графитна корозија. Још је специфичније када такав облик корозије настаје под утицајем тла. У питању је насута земља преко водоводних цеви. Графитна корозија обично се јавља после више година експлоатације, овде је забележена после око 15 година рада водоводних цеви од сивог лива у једном великом граду.

Компактан графит се јавио местимично у слојевима по ободу водоводних цеви, и такви слојеви никако не потичу из стадијума ливења. Графитизација као корозиони процес ће изазвати крти лом, а то даље за последицу има хаварију целог водовода. Почетне вредности тврдоће су биле у распону од 220-390 HV док су те вредности у кородираним деловима биле чак испод 40 HV, што је типична вредност тврдоће за овакав тип графитног слоја. Микроструктурна испитивања су, такође, потврдила да је графитна корозија настала и то након не тако дугог периода у експлоатацији, што је објашњиво утицајем тла.

Појава графитизације још увек није довољно третирана у нашој литератури и захтева даље разјашњење, како не би настале још веће забуне и/или заблуде код произвођача, корисника или оних који пројектују овакве системе.

Кључне речи: графитна корозија, сиви лив, водоводне цеви, насута земља

1. УВОД

Сив лив је један од најјефтинијих металних индустријских материјала. Осим ниске цене, одливци од сивог лива поседују још неке друге вредне карактеристике. Механичке особине сивог лива, свакако, да нису на високом нивоу али је нпр. њихова апсорпција механичких вибрационих оптерећења на завидном нивоу [1-3].

Корозиона отпорност сивог лива је много боља у односу на већину конструкционих нисколегираних челика, наравно изузев нерђајућих челика [4-6]. Још једна добра технолошка особина сивог лива се огледа у доброј ливкости. Ово својство је искоришћено на израду танкозидних водоводних цеви. Водоводне цеви за снабдевање великих насеља се, уопште када су у питању метални материјали, израђују од сивог или нодуларног лива [5-7].

Адреса аутора: а – Виша техничка школа, бул. Др З. Бинђића 152а, Нови Београд, б – Институт за испитивање материјала, Бул. војводе Мишића 43, Београд, в – Институт за нуклеарне и друге минералне сировине, Франше д'Епера 86, Београд, Србија, г - Институт за рударство и металургију, Зелени булевар 47, Бор, Србија

У ливачкој пракси, приликом израде сивог лива а нарочито при изради нодуларног лива, присутна је, између осталог, и контрола механичко-структурних особина [8]. Одатле, облик и распоред графита је већ добро дефинисан многим националним стандардима из ове области, наравно и нашим стандардом – мисли се на стадијум производње лива. Основу било сивог или нодуларног лива обично карактерише феритна, перлитна, односно феритно-перлитна структура. Уколико је наступило тзв. бело очвршћавање лива (у металуршком смислу то значи да је угљеник у ливу присутан искључиво у везаном облику као цементит Fe₃C), онда у таквом материјалу неће наступити графитна корозија. Из конструкционих разлога, лив са бело очврслем структуром обично није пожељан јер је такав лив изузетно крт, самим тим често и неупотребљив. Из свега тога следи да је најпожељнија она полазна структура која обезбеђује добру чврстоћу али и живавост – а то је обично феритно-перлитна структура.

Међутим, док је сегмент производње лива прилично добро обрађен и дефинисан, дотле

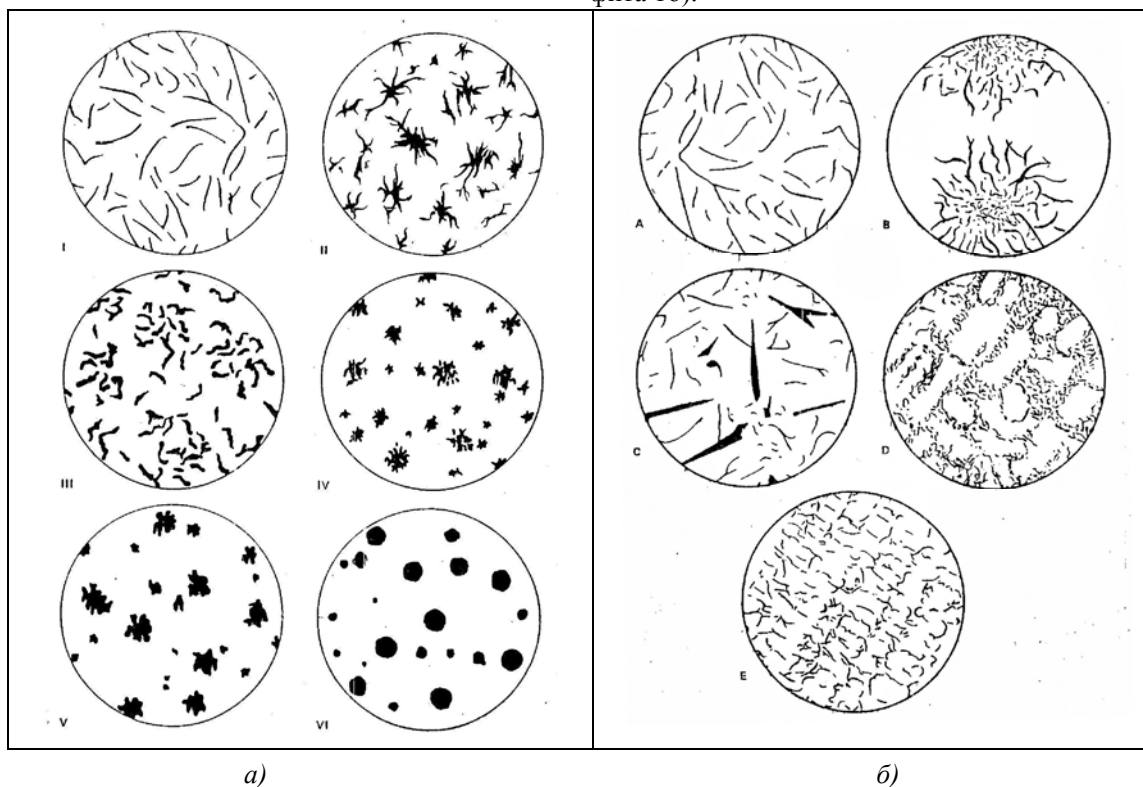
настанак тзв. графитне корозије у току експлоатације [9-12] није тако добро изучен, самим тим није ни довољно познат.

Због свега тога, потребно је извршити детаљнија металографска испитивања како би се утврдиле промене како по површини тако и у унутрашњости предметних цеви (по дебљини зида) након периода експлоатације ових цеви од око 15-ак година.

2. ПОЧЕТНИ ОБЛИК ГРАФИТА

У легурама из система Fe-C слободан угљеник, као један од најважнијих легирајућих елемената, може да има различите облике, не рачунајући интерметално једињење Fe₃C.

Облици графита дефинисани су многим националним стандардима, што је случај и са нашим стандардом, сл. 1а), односно распоред графита 1б).



Слика 1 - Облик графита а) и распоред графита у легурама Fe-C сагласно ASTM, ISO 945/1975, и СРПС Ц.А3.020/1987

Најпожељнији облици графита су I и VI, сл. 1а), док је пожељнија равномерна расподела графита, нпр. А и Е, са сл. 1б). Из овог прегледа је видљиво да неки дебљи слој графита нигде није предвиђен, а то значи да није ни пожељан у почетној структури одливка.

3. ГРАФИТИЗАЦИЈА КАО КОРОЗИОНИ ПРОЦЕС У СИВОМ ЛИВУ

Графитизација у сивом ливу представља процес формирања накупина, тј. слоја, графита, иако је у почетку био другачији облик графита, неки од облика са сл. 1. Овакав графит се сматра продуктом корозионог разлагања у структури сивог лива и није директна последица

ливачких процеса. Графитна корозија је, дакле, настала као последица одвијања корозионог процеса, али у току експлоатације. Графитизација у очврслим гвожђима или челицима је процес разлагања цементита (Fe₃C) на железо (ферит) и графит:



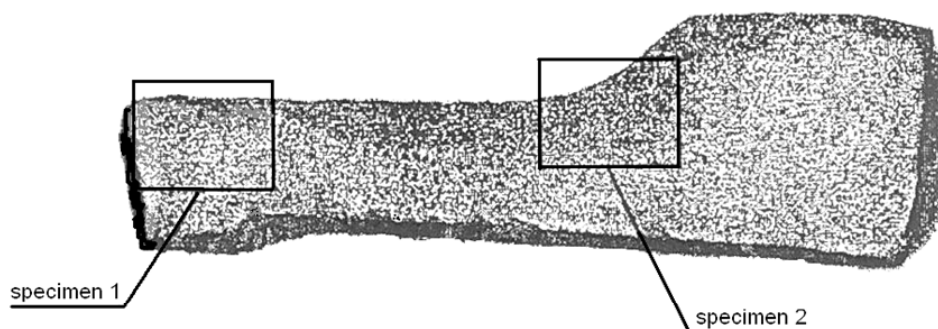
Овако образовани ферит и графит су прилично мале чврстоће и меки су, тако да ће цела конструкција постати слаба. Проблем додатно постаје још већи јер су овако створене накупине графита изузетно крте. Крост се, наравно, преноси и на целу конструкцију, а тиме се угрожава и рад целог система.

Добро је познато да сиви лив обично поседује бољу корозиону постојаност у поређењу са већином обичних конструкционих челика, не рачунајућу наравно нерђајуће челике. Даље, отказ конструкције може наступити из много разлога, од којих су најчешћи: конструкција, ливачке грешке, ливачки напони, неправилна израда, неправилна монтажа али и услови рада, који се увек и унапред не могу ваљано сагледати.

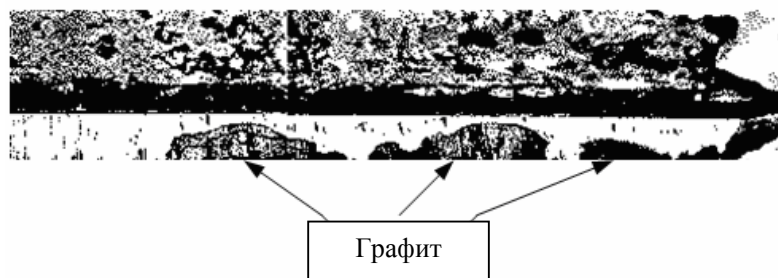
Графитна корозија је, нема сумње, један од облика корозионих процеса: она се јавља када се стабилнији графит издваја из структуре уз помоћ "галванског утицаја" радне средине, овде је у питању земља (тло) насута преко ових цеви. Овај вид корозије се, такође, може

означити као врста селективне корозије. Након одвијања графитне корозије остаје порозан слој графита. За графитну корозију је још карактеристично да практично нема промене у дебљини полазног одливка, и та чињеница само компликује рано откривање овог вида корозије.

У изучаваном случају цеви од сивог лива су израђене у квалитету СЛ 180 (укупан С = 2,95%; Si = 0,67; Mn = 0,42; P = 0,14% и Мо = 0,13%) и биле су у експлоатацији нешто више од једне деценије. Начин узорковања за испитивање промене тврдоће и макро, односно микроструктуре, је показан на слици 2.



Слика 2 - Места узорковања за испитивање тврдоће и структуре из поломљене водоводне цеви од сивог лива, $\times 10$, прелом цеви није нагринжен



ТЛО

Слика 3 - Графитна корозија по ободу цеви од сивог лива, $\times 2$, ненагринжено стање

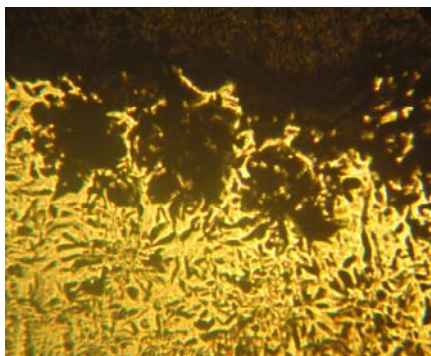
Како детаљније изгледа графитизирани слој у цеви (спољашњег пречника $\varnothing 150$ mm) показано је на сл. 3.

Полазне особине материјала су биле у прописаним границама али је након одвијања графитне корозије настала деградација особина. Полазна затезна чврстоћа лива била је око 180 daN/mm^2 и више, док су након 15-то годишњег рада вредности чврстоће на новоу од око $160\text{--}140 \text{ daN/mm}^2$. Овакво мало опадање чврстоће не би довело до лома (хаварије водовода).

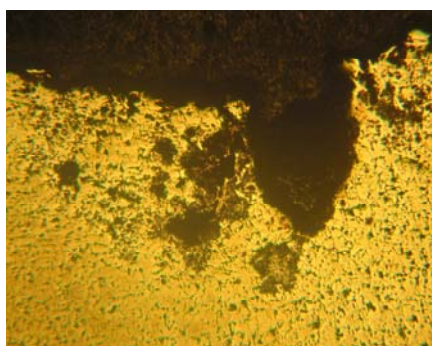
Драстично опадање чврстоће настаје појавом изражене графитизације. Створен графит је врло мек али и изузетно крт. Тиме цела конструкција, овде цевовод, постаје крт и лако ломљив. Тврдоћа је од почетних $220\text{--}390 \text{ HV}$ у графитизованом слоју опала на око 40 HV . Описана појава Издвајање графита је у суштини корозиони процес: из почетне феритно-перлитне структуре под утицајем тла, издваја се графит. Влага у земљи само поспешује овај вид корозије.

4. МИКРОСТРУКТУРНИ ПРЕГЛЕД ЦЕВИ

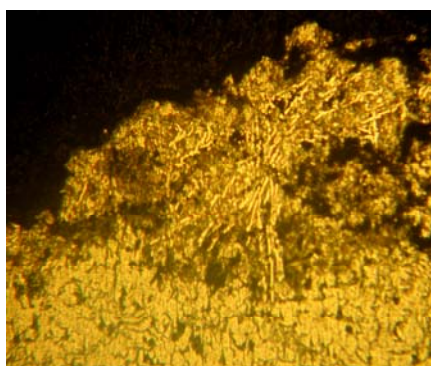
Микроструктура предметних цеви је испитивана како на површини тако и у унутрашњости зида цеви, детаљно је показано на слици 4.



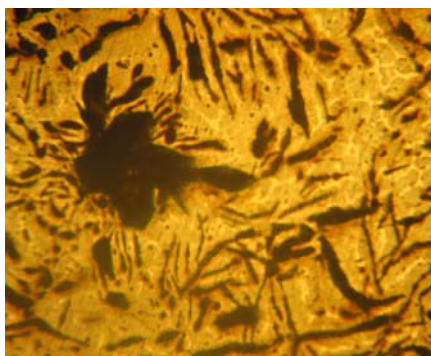
а)



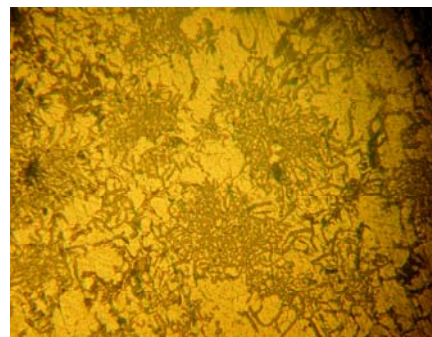
б)



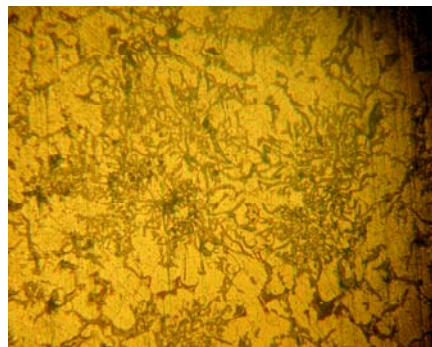
в)



з)



д)



е)

Слика 4 - Микроструктурне промене у водоводним цевима од сивога лива: а), б) и в), по површини и з), д), и е) у средини зида цеви, $\times 100$; нагрижено 2% ниталом

У приповршинским слојевима је уочено разугљеничење. Ова појава је сасвим очекивана у процесу одвијања графитизације. Према овде извршеним металографским прегледима структуре хаварисаних цеви, графитна корозија је увек настајала на површини и онда се, током времена, постепено преносила у унутрашњост зида цеви. Прегледи микроструктуре указују и на порозност кородираних слојева, детаљније загледати сл. 4 а), б) и в). У унутрашњости (по дебљини зида цеви) започети су корозиони процеси, сл. 4 г), д) и е).

5. ДИСКУСИЈА

Графитизација је уочена већ и при макроскопском прегледу, сл. 1, док је у току сечења узорака и припреме за металографски преглед тај површински слој графита отпао. У свим узорцима за металографски преглед, у површинским слојевима било је видљиво раслојавање, корозионо распуцавање, одношење материјала и друге грешке [1-4], види сл. 2. Графит по површини, као последица графитизације, не утиче на промену дебљине материјала, и та чињеница, ипак, отежава раније откривање процеса графитизације. Промена тврдоће од почетних вредности из интервала 220-390 HV сма-

њила се на свега око 40 HV јединица, што је карактеристично за графитизирани слојеви.

У површинским слојевима је уочена појава разугљеничења, посебно видљиво на сл. 2 б). Створени ферит јесте мек али је он, ипак, непоредиво жилавији у односу на графит. Унутар зида цеви, местимично је присутно повећање ламела графита, као на сл. 2 г). Остале приказане микроструктуре, сл. 2 д) и е) спадају у домен ливачких карактеристика, које се, ипак, не везују за настали тип корозије [4-6]. Графитизација цеви од сивог лива се може приписати кородивном деловању тла, тј. земље насуте преко овог ценовода. Све то упућује да се заштити цеви мора приступити озбиљније и тај проблем адекватно решити, јер сиви лив иако отпоран на корозију у овим условима није довољно корозионо постојан.

ЗАКЉУЧАК

Сиви лив, од којег су направљене предметне водоводне цеви, кородирао је по механизму графитне корозије након 15 година. Макро и микроструктурна испитивања су показала да је графитна корозија започета на спољашњој површини, на местима контакта тла са материјалом цеви.

Графитну корозију није увек лако открити [13-14] јер по њеном настанку нема промене дебљине. Хаварије водоводних цеви су последица озбиљног смањења жилавости. Оба створена конституента су мека, с тим што графит има непоредиво мању жилавост у односу на графит. Тврдоћа насталог графита је свега око 40 HV, што је значајно смањење у односу на почетне вредности тврдоће од 220-390 HV јединица.

ЛИТЕРАТУРА

1. R.E. Reed-Hill: Physical Metallurgy Principles, New York 1973, D. Van Nostrand Co, 661-698.
2. Ју. Н. Таран: Строение сплавов железо-углерод, у књизи: Металловедение и термичес-каја обработка, Москва 1983, Металлургија, стр. 76-83.
3. Х. Шуман: Металографија, Београд 1968, Завод за издавање уџбеника Србије, стр. 452-466.
4. R. Smallman: Modern Physical Metallurgy, London 1970, Butterworths, pp. 456-461.
5. E.C. Rollason: Metallurgy for Engineers, London 1973, Edward Arnold, pp. 270-285.
6. Б. Кочовски: Теорија ливарства, Београд 1972, БИГЗ, стр. 58-90.
7. S. Karsay: Production de la fonte GS I, Point de la technique a ce jour, Montreal 1976, QIT - Fer et Titane Inc., pp. 20-41.
8. Yu.M. Lakhtin: Engineering physical metallurgy and heat-treatment, Moscow 1977, MIR Publishers, pp.171-183.
9. З. Карастојковић, З. Ковачевић: Металографско испитивање деловања котловске воде и водене паре на корозију котловских цеви, Међународно саветовање "Индустријске воде", Панчево 1995, Зборник радова, стр. 173-178.
10. SRPS С.А7.091 Metode ispitivanja površine pomoću metalografskih replika
11. L. Engel, H. Klingele: An Atlas of Metal Damage, Munich 1981, Wolf Science Books, pp. 40-85.
12. Б. Кочовски: Ливена гвожђа, Бор 2006, Технички факултет, стр. 30-81.
13. З. Карастојковић, З. Јањушевић, З. Ковачевић, и др.: Корозија топловода, Интегритет и век конструкција, 7/2007/2, стр. 129-132.
14. Z. Karastojković, Z. Janjušević, Z. Kovačević: Investigation of graphite coarsening during graphitization in steel from boiler pipes by replica method, 39th International October Conference on Mining and Metallurgy, Soko Banja-Serbia 2007, Book of Proceedings, pp. 443-448.

ABSTRACT**GRAPHITE CORROSION AROUND OF THE WATER-SUPPLYING PIPES MADE FROM GRAY IRON ASSISTED BY OF SOIL ATTACK**

Gray iron castings usually possess a better corrosion resistance than almost low alloyed steels, and this is one reason for their wide application. Besides an ordinary type of oxidation an iron-hydroxide formation, in gray iron is possible to find out another type of corrosion - it's graphitic corrosion. The more specific is fact that such type of corrosion is related to soil attack on metal surface. That soil is dumped over these water pipes. The graphitic corrosion is discovered only after a years in service, here is registered after about 15 years in service in one great water supplying system.

The compact graphite has appeared partially in layers around the outer diameter of these pipes, but their appearance could not be related to the casting periode into the foundry. the hardness values in regions without graphitization were in range of 220-390 HV while in graphitized layer only about 40 HV, or less- which are typical values for such kind of layer. Microstructural investigations have proved that that graphitic corrosion is made after not so long periode of service time, which could be explained by additional soil attack.

The graphitization phenomenon is not still well treated in our literature and it needs further explanations, for preventing the more confusions and mistakes, both to producer and users, or projectants.

Key words: *graphite corrosion, gray cast iron, water-pipes, soil damped*