

Kontrola depozita u rashladnom sistemu

Rashladni sistemi su veoma važni u funkcionisanju industrijskih i energetskih postrojenja. Osnovni problemi kod otvorenih rashladnih sistema su: korozija, depoziti i biološki rast. U ovom radu obrađeno je: uzroci i posledice u stvaranju depozita kao i zaštita rashladnog sistema od stvaranja depozita. Eksperimentalno je određivano doziranje inhibitorima-agenasa za sprečavanje depozita bez doziranja korozionog inhibitora i sa doziranjem korozionog inhibitora.

Kao inhibitor za sprečavanje depozita korišćen je polimaleat. Rezultati su pokazali da uspešno sprečavanje stvaranja depozita zavisi od stepena ugušćenja, tj. koncentracije soli u sistemu. Drugi važan faktor je korišćenje korozionog i depozitnog inhibitora. U slučaju korišćenja korozionog inhibitora na bazi fosfonata utrošak polimaleata smanjuje se do 30% zbog sinergetskog djelovanja fosfonata i polimaleata.

Ključne riječi: depozit, inhibitori, rashladni sistemi.

1. UVOD

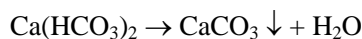
Otvoreni cirkulacioni rashladni sistemi imaju nekoliko problema koji se rješavaju: korozija, stvaranje depozita, stvaranje bioloških depozita. U ovom radu biće obrađena problematika stvaranja depozita i zaštita-kontrola rashladnog sistema od stvaranja depozita, mineralnog porijekla.

Depoziti u rashladnom sistemu smanjuje prolaz toplote, a time povećavaju utrošak energije, stvaraju se uslovi za podnanosnu koroziju, smanjuje se brzina proticanja vode, a time se narušava hidrodinamički režim, što dovodi do smanjenog kapaciteta turbine.

Izborom odgovarajućih agenasa - inhibitora – moguće je kontrolisati depozite u rashladnom sistemu. Ovde će biti obrađeni uzroci i posledice stvaranja depozita, kao i metode za kontrolu depozita [1].

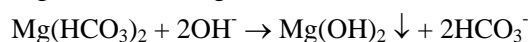
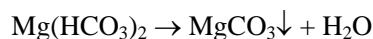
2. UZROCI I POSLEDICE STVARANJA DEPOZITA

Karbonatna tvrdoća. Porijeklo karbonatne inkrustacije na izmjenjivačkoj površini je iz vodenog sastava. Ova inkrustacija može nastati kao CaCO_3 , Mg(OH)_2 ili kao MgCO_3 i zajedno. Osnovno obilježje svih voda sa ukupnom tvrdoćom preko 6 dH je sklono izluživanju kamenca - depozita. Ova pojava se može javiti i u primjerima niže tvrdoće vode sa povećanim prisustvom CO_2 .



Obrazloženje ovoj pojavi nalazimo u promjeni stanja vode u hemijskom sastavu, promjene uzrokovane naglim mijenjanjem pritiska, temperature, a potom isparavanja.

Adresa autora: Univerzitet Istočno Sarajevo, Tehnološki fakultet Zvornik, R. Srpska, BiH
Rad primljen: 24.12.2011.



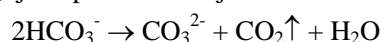
Na ovaj način u sloj inkrustacija prelaze najveće količine CaCO_3 , MgCO_3 , Mg(OH)_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaSO_4 itd. Ove reakcije nastaju kad temperatura pređe 60 °C i pH je u alkalnom području.

Hemizmi ovih reakcija su najčešće hidroliza Mg^{2+} - jona, CO_3^{2-} - jona i Fe^{2+} - jona, a zatim razlaganje HCO_3^- - jona.

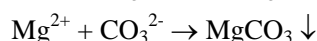
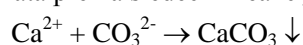
Ove reakcije mogu biti direktni uzročnici stvaranja inkrustacija. Takođe, ove reakcije pokreću i niz reakcija koje su uzrok nastajanja inkrustacija.

Osnovne reakcije stvaranja inkrustacija karbonatnog tipa, odvijaju se između jona Ca^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- i Mg^{2+} . Ostale materije koje dolaze u sastav inkrustacija, kao Fe_2O_3 , SiO_2 itd. igraju sporednu ulogu. Takođe se, inkrustacije sulfatnog tipa razmatraju posebno radi specifičnosti. Inkrustacije CaSO_4 mogu se stvarati paralelno sa karbonatnim inkrustacijama ili potpuno odvojene od njih. U fazi transformacije ova dva procesa postaju zavisni jedan od drugog. Ostale soli kao NaCl ili Na_2SO_4 ne učestvuju direktno u reakcijama inkrustacija. Ove soli indirektno učestvuju u reakcijama, tako što usmjerenjem molekula vode u rastvoru mijenjaju rastvorljivost materija koje grade inkrustacije [2].

Promjena stanja nastaje zbog hemijske promjena HCO_3^- jona prema reakciji:



U prisustvu Ca^{2+} i Mg^{2+} jona dolazi do izoljavanja karbonata prema sledećim reakcijama:



Taloženjem karbonata na izmjenjivačkim površinama dolazi do poremećaja ravnoteže HCO_3^- i Ca^{2+} , a

sama promjena ima za posledicu nastanak inkrustacija [2].

Sulfatna tvrdoća. Kalcijum sulfat je glavni sastojak inkrustacija koje nastaju zbog pregrijavanja rastvora. Rastvorljivost CaSO_4 u vodama je karakterisana vrlo složenom slikom, usled toga što on gradi metastabilne rastvore.

Gips ima pozitivan koeficijent rastvorljivosti između 0 i 45 °C. Prema tome CaSO_4 je do 45 °C pretežno rastvorljiv sa pozitivnim koeficijentom rastvorljivosti, dok je iznad 45 °C pretežno rastvorljiv sa negativnim koeficijentom rastvorljivosti. Transformacijama u rastvoru iz gipsa se uvijek dobija α CaSO_4 ili $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$. Modifikacija β CaSO_4 se dobija prženjem gipsa u suvoj atmosferi.

U prisustvu drugih jona u rastvoru, dolazi do promjene rastvorljivosti CaSO_4 . U prisustvu NaCl rastvorljivost CaSO_4 u velikoj mjeri raste. Do ovoga dolazi zbog smanjenja aktivnosti vode i povećanja jonske sile rastvora.

Rastvorljivost CaSO_4 u rastvorima NaCl- H_2O smanjuje se na temperaturama većim od 40 °C. Praktično na svim temperaturama koje se sreću kod pregrijavanja rastvora, CaSO_4 ima negativan koeficijent rastvorljivosti.

Inkrustacije od CaSO_4 mogu nastati ili direktnom kristalizacijom CaSO_4 na izmjenjivačkim površinama ili taloženjem gotovih kristala koji su nastali u rastvoru.

Ovako nastali kristali rekristališu na izmjenjivačkim površinama dajući tipičan izgled inkrustacije.

Inkrustacija nastala direktnom kristalizacijom je tvrda i kompaktna, a inkrustacija nastala taloženjem je spužvasta. Do stvaranja taložne inkrustacije iz vode dolazi kada se stvore uslovi da se CaSO_4 izdvaja u obliku finih kristala, često koloidne veličine. Ovakvi kristali zapadaju u laminarni granični sloj i služe kao baza za dalju kristalizaciju [3].

Silicijum. Čist silikatni kamenac se ne nalazi često u rashladnoj vodi. Međutim, ako se jednom formira, teško ga je ukloniti. Ograničenje koncentracije silicijuma je 175ppm.

Kalcijum ortofosfat. Proizvod rastvorljivosti kalcijum ortofosfata je vrlo nizak. Kao rezultat, ako je ortofosfat prisutan u vodenoj fazi, on može reagovati sa kalcijumom i stvoriti kalcijum monohidrat fosfat i trikalcijum fosfat. Dakle, kontrola hidrolize polifosfatnih inhibitora korozije je od veoma bitnog značaja. Niske koncentracije ortofosfata nisu štetne po sistem. U stvari, ortofosfati poboljšavaju anodnu inhibiciju stvaranjem filma na anodnim poljima. Ukoliko dođe do rapidne hidrolize, sa visokim koncentracijama fosfata, fosfatni mulj može ozbiljno da ugrozi prenos toplote.

Soli gvožđa. Rastvoreno gvožđe je prisutno u mnogim izvorima snabdevanja dodatnom vodom, posebno u bunarskim vodama. U rashladnom sistemu gvožđe brzo oksidira i depoziti, kao feri hidroksid ili ferioksid, flokulišu. Produkti korozije gvožđa su vjerovatno najveći uzročnici problema u vodo-rashladnim sistemima.

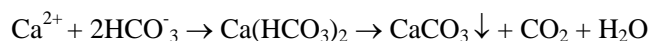
Faulanti porijeklom iz vode. U rashladnu vodu mogu dospjeti različiti materijali kao što su suspendovane materije, pijesak, glina, biološki materijal - kroz dodatnu vodu; ulje, nafta, medijum koji se hladi - iz procesa. Oni se obično akumuliraju u područja niskog protoka, ili na mjestima gdje se promjeni brzina protoka. To znači da se najviše sedimentnog materijala nađe u bazenima rashladnog tornja i na izmjenjivačima toplote. Veličina čestica, njena gustina kao i određene karakteristike vode će uticati na vjerovatnoću da suspendovana materija sedimentira i zaguši sistem. Što je veća čestica suspendovane materije, veća je šansa za sedimentaciju.

Razmjere zagađenosti sistema sedimentima zavise od raspoloživosti vremenom za sedimentaciju. Bazeni rashladnih tornjeva, rezervoari vode i izmjenjivači kod kojih voda prolazi oko cevi imaju značajno vrijeme zadržavanja, a male brzine strujanja pa samim tim sedimentacija navedenih materija raste.

Faulanti porijeklom iz vazduha. Vazduh, koji je u kontaktu sa vodom iz otvorenog rashladnog sistema, sadrži suspendovane materije iste vrste kao i dodatna voda. Pijesak, glina, nečistoće druge vrste i bakterije ulaze sa vazduhom i dodatno prljaju sistem.

Zagađenja gasovima iz vazduha doprinose depoziciji. Kiseonik i ugljen dioksid ubrzavaju koroziju, taloženje depozita i dalje povećavaju koroziju u poddepozitnim mehanizmima. Kontinuiranim kontaktom gas / voda, koncentracija gasova rastvorenih u vodi je približna vrijednosti zasićenja. Najčešće apsorbirani gasovi iz atmosfere, pored kiseonika i ugljendioksida, su sumporni oksidi, vodonik sulfid i amonijak. Sumporni oksidi i vodonik sulfid redukuju oksidirajuće korozione inhibitore (npr. hromate) u nerastvorne faulante. Vodonik sulfid je vrlo korozivan i brzo formira ferosulfid koji dalje podstiče koroziju. Amonijak selektivno korodira bakar i legure, a produkti korozije se talože [3].

Uticaj depozita na koroziju u vodenim rastvorima. Tvrde vode sadrže rastvorene jone kalcijuma i magnezijuma i manje su korozivne zbog zaštitnog sloja kalcijum karbonata koji nastaje na površini. Rastvaranjem ugljen dioksida u vodi nastaje ugljena kiselina H_2CO_3 i snižava pH vrijednost. Disocijacijom na H^+ jon u prisustvu kalcijumovih jona, pri većem pH, nastaje nerastvorljiv kalcijum karbonat:



Nastajanja naslaga kalcijum karbonata moguće je predvidjeti izračunavanjem jonske ravnoteže. Stvaranje naslaga ne mora uvijek imati pozitivnu poslasticu, jer može biti prekomjerno i izazivati začepjenja cijevi i u izmjenjivačima toplote smanjiti njihovu efikasnost.

Osim toga, nagomilavanje produkta korozije dešava se na anodnim mjestima pri čemu se nagomilava mulj poznat kao izrasline. Ispod ovog mulja lokalna korozija nastavlja da se ubrzava.

Uopšte, povećana tvrdoća stvara uslove za povećanje inkrustacija na izmjenjivačkim površinama sa svim posledicama.

Utica j depozita na razmjenu toplote. Nepovoljni slučaj zaprljanja rashladnog sistema je izluženje depozit koji predstavlja konglomerat istaloženih karbonata, sulfata, gvožđe oksida sa obraslinama algi i dr. Depoziti koji su se istaložili na površine rashladnog sistema su većinom konzistentni, drastično smanjuju razmjenu toplote i podstiču korozivne procese ispod naslaga [4].

Tabela 1 - Tipična analiza depozita otvorenog cirkulacionog sistema

Materija	Kondenzator %	Hladnjaci %
Ca, kao CaO	49,79	39,85
Mg, kao MgO	2,42	2,20
Fe, kao Fe ₂ O ₃	0,61	6,98
Al, kao Al ₂ O ₃	0,21	0,52
Karbonat, kao CO ₂	39,00	30,20
Sulfat, kao SO ₃	1,29	0,50
Si, kao SiO ₂	0,15	3,85
Nerastvorno	6,05	15,00

3. KONTROLA RASHLADNOG SISTEMA OD DEPOZITA

Agensi kontrole depozicije. Danas je uobičajena praksa da se pored inhibitora korozije u tretman - program uključuje i upotreba agenasa kontrole depozita (antifoulante). Potrebne doze svakog antifoulanta zavise od prirode problema koji se rješava, kvaliteta dodatne vode, operativnih parametara koji se moraju razmatrati, kao i od istorije depozitnih problema. Efikasna kontrola antifoulant-programa se postiže upotrebom test izmjenjivača.

Disperzanti. Polimer može biti adsorbovan na površinu antifoulanta dajući mu naelektrisanje čime uslovljava da čestica ostane suspendovana zbog odbijanja istih naelektrisanja. Molekulska masa polimera treba da je niska (između 1.000 ÷ 20.000) da se spriječi uvećanje samih čestica.

Kontrola kamenca. Ovaj fenomen je sličan disperziji. Određeni polimeri mogu razgraditi kamenac remećenjem umrežavanja i promjenom oblika i veličine kristala. Ulaskom relativno velikog molekula polimera nepravilnog oblika u strukturu kristalne rešetke kamenca, sprečava se izlučivanje čvrstog kristalnog taloga na metalnu površinu.

Anjonski polimeri kao što su poliakrilati, poli-metakrilati i malein-anhidrid derivati su odlični kontrolni agensi kamenca. Takođe, polifosfati, fosfatni estri i fosfonati mogu kontrolisati kamenac.

Površinski aktivne materije. Nejonogeni polimeri se koriste kao površinski aktivne materije i emulgatori ulja.

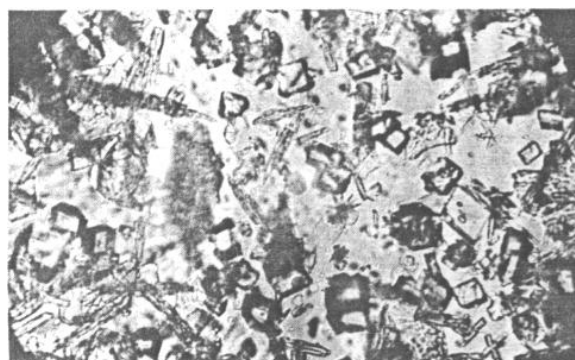
Sekvestranti. Sekvestrant je agens koji sprečava normalno hemijsko ponašanje jona tako što ga veže u kompleks - maskira ga. Neki sekvestranti funkcionišu ispod stehiometrijskih odnosa.

Treshold inhibitori. Treshold inhibitori mogu kontrolisati veliki broj katjona u niskim koncentracijama; jedan dio treshold inhibitora može dispergovati i do 10.000 dijelova katjona. Kristali, formirani od ovih jona, su redukovani u broju, veličini i obično su deformisani. U višim koncentracijama treshold inhibitori se često ponašaju kao sekvestranti.

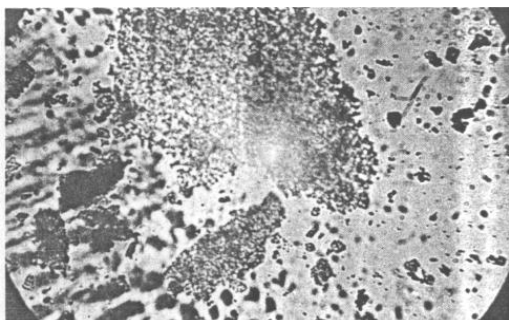
Helanti. Helanti - jedinjenja formiraju rastvorne komplekse sa dvovalentnim i trovalentnim metalima. Najpoznatiji helanti u tretmanu vode su EDTA i NTA. Helanti reaguju u stehiometrijskim odnosima sa katjonima.

Lignosulfonati. Lignosulfonati su odlični disperzanti upotrebljivi u kontroli suspendovanih materija podjednako uspešno kao i kontroli Fe - foulinga. Funkcionišu ograničavanjem sile privlačenja između čestica i na taj način redukuju sedimentaciju.

Polifosfati. Dugi niz godina polifosfati raznih dužina lanca se koriste za kontrolu gvožđa i soli tvrdoće. U poslednje vrijeme su razvijeni bolji i moderniji kontrolori gvožđa i kamenca, što znači da je upotreba polifosfata za ovu namenu drastično opala.



Slika 1 - Mikroskopski snimak kristala neinhibiranog CaCO₃



Slika 2 - Mikroskopski snimak kristala inhibiranog CaCO_3 polifosfatom [4]

Poliakrilati. Polimeri koji sadrže karboksilnu grupu i njihovi derivati postali su široko upotrebljavani kao disperzanti. Poliakrilati se koriste kao kontrolori kamenca i suspendovanih materija sa velikim uspehom. Takođe, mogu biti i kontrolori gvožđa do određenog stepena, ali je dokazana bolja efikasnost drugih antifoulanata za ovu namenu.

Malein-anhidrid kopolimeri. Oba, malein metilvinil etar i stiren malein kopolimer, se upotrebljavaju kao kontrolori kamenca i, u manjoj mjeri, foulinga suspendovanih materija.

Anhidrid polimaleinske kiseline. Ovaj polimer se koristi za kontrolu suspendovanih materija i kamenca, takođe, dugi niz godina. Stepenn kontrole je sličan, ali nešto bolji nego kad su u pitanju derivati poliakrilata i polimetakrilata.

Fosfatni estri. Koriste se kao kontrolni agensi kamenca i kao sekvestranti metalnih oksida. Njihova struktura se karakteriše vezom COP. Koriste se i za

kontrolu korozije, ali su manje efikasni od polifosfata. Kombinacija sa cink- i hromat-baziranih inhibitora ne utiče na djelovanje fosfatnih estara [2].

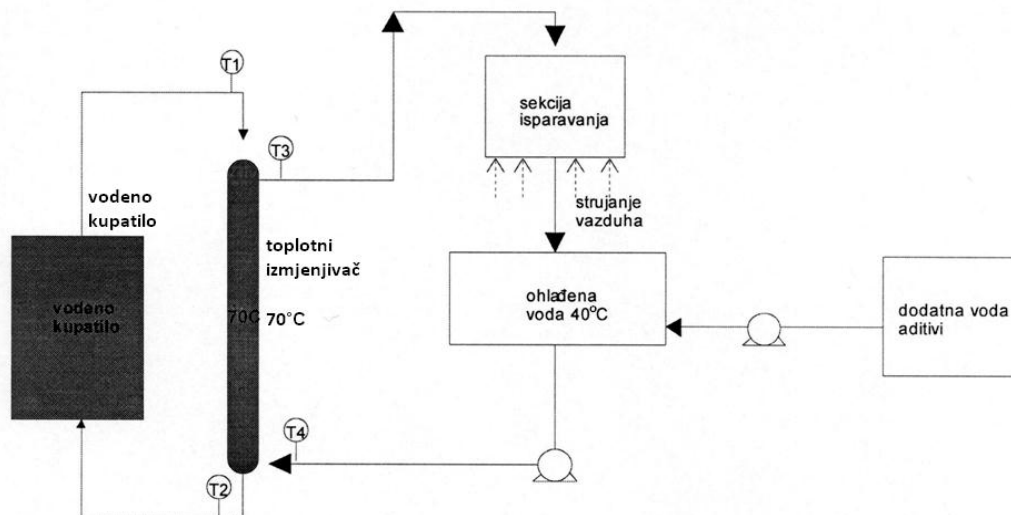
Fosfonati. Veza CPO u ovim molekulima je mnogo otpornija na hidrolizu ili cijepanje od veze COP u fosfatnim estrima. Fosfonati obezbjeđuju odličnu kontrolu hidratisanog ferioksida i to u vrlo niskim koncentracijama. Redukuju kohezionu silu između čestica adsorpcijom fosfonata na površinu čestice. Takođe, odlično kontrolišu soli tvrdoće i imaju bolji treshold efekat od polifosfata ili fosfat estara.

Fosfonati mogu takođe funkcionisati kao helanti ili sekvestranti u kontroli teških metala (gvožđe, bakar i cink). Sveobuhvatna kontrola materijala fosfonatima je bolja čak i od klasičnih helanata, iako su fosfonati na neki način manje efikasni na kalcijum i magnezijum. Kao korozioni inhibitori, oni mogu biti korišćeni sa cinkom, polifosfatima, molibdatima i specijalnim inhibitorima bakra, da obezbjede multi metal-zaštitu sistema [5].

4. EKSPERIMENT

Ekspiriment inhibicije depozita vršen je na poluindustrijskom (PILOT) postrojenju sa polimaleatima kao inhibitorom depozita.

Ispitivana je inhibicija depozita simulirajući otvoreni rashladni sistem sa stepenom ugušćenja od 1÷4 i sa visokim sadržajem rastvorenih soli. Na slici 3 prikazana je šema poluindustrijskog postrojenja.



Slika 3 - Šema poluindustrijskog postrojenja

U sistemu se kontroliše hemijski sastav vode u cirkulaciji, koncentracija inhibitora i prati se pojava taloženja na površinama izmjenjivača od ugljeničnog čelika. Prati se temperatura na ulazu i izlazu iz izmjenjivača kao veličina koja je direktno srazmerna

količini razmjenjene toplote, tj. pojavi dodatnog otpora u vidu depozita.

Određivana je koncentracija inhibitora koja pri datim uslovima kvaliteta vode i temperaturnog režima obezbjeđuje potpunu zaštitu sistema od stvaranja

depozita. Potpunom inhibicijom smatra se slučaj kada se razmjena toplote u odnosu na početne uslove ispitivanja (površina bez depozita) ne smanji više od 2%.

Tabela 2 - Hemijska analiza vode

Osobina	Voda za nadopunu	Voda u rashladnom sistemu
p-alkalitet [mmola]	0,55	0,55
m-alkalitet [mmola]	0,87	2,62
ukupna tvrdoća [dH]	4,21 ^(*)	12,72
Ca-tvrdoća [dH]	2,31	7,20
el. Provodljivost [μ S]	238	687
pH	10,95	8,86
SiO ₂ [mg/dm ³]	2,63	7,58
susp. materije [mg/dm ³]	15,20	21,70
SO ₄ ⁻ [mg/dm ³]	53,40	172

*dH- tvrdoća je u njemačkim stepenima što odgovara rastvoru ili ekvivalentu 10 mg CaO/dm³.

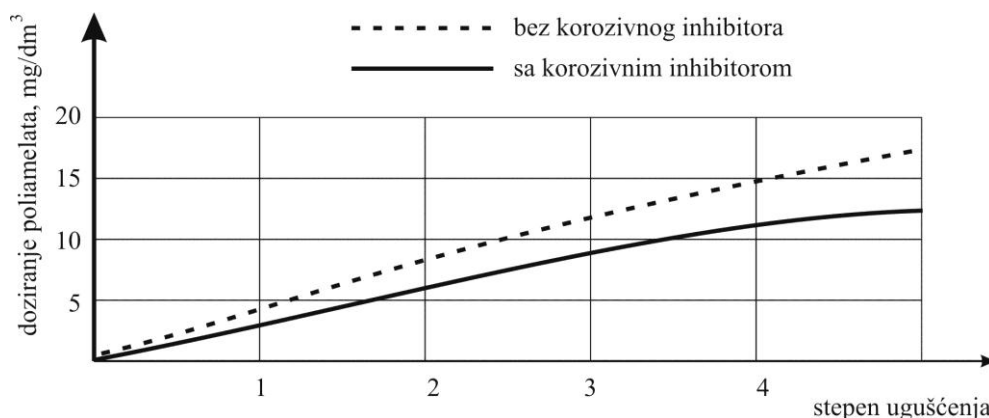
Ispitivano je doziranje inhibitora protiv stvaranja depozita bez drugih dodataka tj. inhibitora i uz tretman sa inhibitorom korozije pri raznim stepenima ugušćenja od 1 do 4. U našim uslovima ova ugušćenja su u praksi prisutni.

U tabeli 2 prikazan je osnovni sastav vode za nadopunu sistema i vode u sistemu sa stepenom ugušćenja 3.

Na dijagramu na slici 4 prikazani su rezultati doziranja inhibitora za kontrolu depozita na bazi poliamaleata bez i u kombinaciji sa antikorozijskim inhibitorom na bazi fosfonata. Tretman je vršen i rezultati su prikazani za razne stepene ugušćenja vode u cirkulaciji.

Temperaturni režim je isti ili približno isti za sve stepene ugušćenja, kao i koncentracije inhibitora. Korozioni inhibitor je doziran 15 mg/dm³ u sistemu a depozitni je variran.

Na dijagramima na slici 4 prikazana je koncentracija inhibitora za stabilizaciju depozita u varijantama sa i bez doziranja korozionog inhibitora na graničnim uslovima tj. kad počinje stvaranje depozita koji su u rastresitom stanju i mogu se skinuti pod mlazom vode ili ručnim brisanjem krpom



Slika 4 - Grafički prikaz doziranja inhibitora protiv stvaranja depozita u rashladnom sistemu

5. DISKUSIJA

Ispitivanja su vršena sa polimaleatima kao inhibitorima-agensima depozita sa i bez korozionog inhibitora na bazi fosfonata. Rezultati pokazuju da je moguće kontrolisati depozite sa doziranjem maleata.

Rezultati su bolji i kombinaciji maleanata i fosfonata. Porastom ugušćenja sistema utrošak inhibitora za stabilizaciju tvrdoće proporcionalno se smanjuje. Naravno podrazumijeva se koncentracija inhibitora u sistemu. Talozi koji se stvaraju imaju rastresitu strukturu i lako se skidaju sa izmjenjivačkih površina. Ispitivanja su vršena pod uslovima koji su približni uslovima u velikim cirkulacionim sistemima, termodinamičkim i hidrodinamičkim.

Rezultati ispitivanja mogu se interpolirati na industrijske uslove.

ZAKLJUČCI

Depoziti u rashladnim sistemima stvaraju probleme: smanjuje se razmjena toplote što uzrokuje povećanje potrošnje energenata, smanjuju se hidrodinamički procesi, postoji mogućnost podnanosne korozije i dr. problemi.

Upotrebom inhibitora moguće je kontrolisati depozite. Korišćenje korozivnih i depozitnih inhibitora koji djeluju sinergetski ne samo da je moguća kontrola korozije i depozita već se postižu i ekonomski efekti, tj. Smanjuje se potrošnja pojedinih inhibitora

po protoku rashladne vode. Upotreba korozivnih i depozitnih inhibitora dovodi do sinergijskih delovanja i smanjene potrošnje depozitnog inhibitora do 30%.

LITERATURA

- [1] NALCO WATER HANDBOOK, Third Edition, McGraw Hill, New York 2009.
- [2] The Nalco Guide to boiler Failure Analysis McGraw-Hill, Inc, New York, 1991.
- [3] M. Jovanović i saradnici XVII jugoslovenski simpozijum o koroziji i zaštiti materijala, Zbornik, Beograd 2000.
- [4] BETZ HANDBOOK OF INDUSTRIAL WATER Conditioning sixth edition, Trevese Pennsylvania 1982.
- [5] B. Stojanović i saradnici: Korozija i zaštita rashladnog sistema, Zaštita materijala, 52 (2012) 1, pp. 51-57.
- [6] B. Đukić i saradnici: Uticaj stepena ugušćenja na rad rashladnog sistema, Zaštita materijala, 50 (2010) 4, pp. 250-255.
- [7] B. Đukić i saradnici: Priprema vode za industriju i energetiku knjiga, Tehnološki fakultet, Zvornik 2011.

ABSTRACT

DEPOSIT CONTROL IN COOLING SYSTEM

Cooling systems are very important for the functioning of industry and energy facilities. The most common problems in open cooling systems are: corrosion, deposits and biological growths. In this work we covered the subjects of: causes and effects of deposit creation and the protection of the cooling system against deposit creation.

The dosage of inhibitors - deposit preventing agents was determined experimentally, with and without dosing corrosion inhibitors. Polymaleate was used as a deposit inhibitor here. The results showed that the success of deposit inhibition depended on the degree of thickening, i.e. the salt concentration in the system. Another important factor is the use of corrosion and deposit inhibitors. In the case of using corrosion inhibitor based on phosphonates, the consumption of polymaleates is decreased by up to 30% due to the synergetic effect of phosphonates and polymaleates.

Key words: deposit, inhibitors, cooling systems

Paper received: 24.12.2011.

Professional paper