



Enco Tireli*

Dragan Martinović**

ISSN (0469-6255)

(13-16)

OŠTEĆENJE LOPATICA PLINSKIH TURBINA VISOKOTEMPERATURNOM KOROZIJOM

THE DAMAGE OF GAS TURBINES BLADES CAUSED BY HIGH-TEMPERATURE CORROSION

UDK 629.5

Pregledni članak

Review

Sažetak

Oštećenje visokopterećenih lopatica plinskih turbina izazvano je i visokotemperaturnom korozijom. Visoka temperatura plina, njegov sadržaj kao i onečišćeni usisni zrak za izgaranje redovito izazivaju koroziju lopatica plinskih turbina. Pojavu visokotemperaturne korozije može se protumačiti na osnovi već poznatih teorija o nastanku visokotemperaturne korozije. Sprječavanje takvog utjecaja značajno je s gledišta povećanja roka trajnosti lopatica odnosno općenito povećanja sigurnosti u radu plinske turbine.

Ključne riječi: visokotemperaturna korozija, lopatice plinskih turbina.

Summary

The damage of heavily loaded gas turbines blades is caused by high-temperature corrosion. Corrosion of gas turbines blades is normally caused by high gas temperature, the content of gas and contaminated suction air for combustion. This corrosion may be explained on the basis of preciously known theories of high-temperature corrosion. It is important to prevent that influence in terms of the blades' life extension, i.e. increasing general safety of gas turbine operation.

Key words: high-temperature corrosion, gas turbine blades

Uvod

Introduction

Izbor plinske turbine kao pogonskog stroja ovisi o njezinoj namjeni. Pri izboru je odlučujuća brzina upućivanja u rad i raspoloživost snage.

U osnovi plinske se turbine upućuju u rad do nominalne snage unutar nekoliko minuta. Uvjeti koji se uspostavljaju pri upućivanju u rad imaju odlučujući utjecaj na rok trajnosti turbine, pogotovo najopterećenijih dijelova - lopatica.

Plinovi za pogon plinskih turbina redovito su produkt izgaranja tekućeg goriva ili plinovitog goriva čija se temperatura kreće oko 1000°C.

Sadržaj plinova izgaranja i njihova temperatura pogoduju pojavi visokotemperaturne korozije koja izaziva oštećenje lopatica plinskih turbina.

Nastanak visokotemperaturne korozije

The occurrence of high-temperature corrosion

U korištenom zraku za izgaranje goriva u pravilu ima oko 0,005 ppm težinskih udjela natrija (Na), kalija (K), vanadija (V) i olova (Pb) što se smatra odlučujućim za pojavu visokotemperaturne korozije.

U korištenom goriva u pravilu, osim spomenutih elemenata, ima i sumpora koji se smatra glavnim uzročnikom nastanka visokotemperaturne korozije.

*Dr. sci. Enco Tireli, Visoka pomorska škola, Rijeka

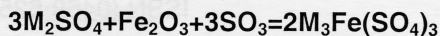
**Mr. sci. Dragan Martinović, Visoka pomorska škola, Rijeka

Do sada je potvrđeno pet (5) teorija nastanka visokotemperaturne korozije i to:

I. teorija

objavljena 1945. (autor Corey)

mehanizam nastanka:



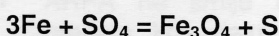
gdje je $M=K/Na$

Pri tome je značajno da udio SO_3 u količini 0,5 do 3% od ukupnog udjela SO_2 igra odlučujuću ulogu u stvaranju visokotemperaturne korozije. Stoga je poželjno da pretičak zraka bude što manji pri izgaranju, što je kod turbina zapravo obrnuto.

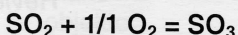
II. teorija

objavljena 1945. (autor Nelson)

mehanizam nastanka:



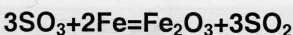
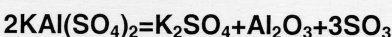
Zbog katalitičkog djelovanja FeO_3 dolazi do mjestimične pojačane koncentracije stvaranja SO_3 u području od $538^\circ C$ do $704^\circ C$ kroz reakciju



III. teorija

objavljena 1963. (autor Adams i Raask)

mehanizam nastanka:



Analizama i termogravimetrijskim mjerenjima potvrđeno je kako alkalijski dvostruki sulfat i slobodni sumporni trioksid izazivaju odnošenje materijala, što u ovom slučaju nazivamo visokotemperaturnom korozijom.

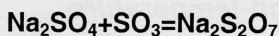
Tako je utvrđeno npr. da kod $750^\circ C$ i rada s plinovima izgaranja lož ulja visokotemperaturnom se korozijom odnosi oko 150 mg čelika lopatica po cm^2 površine. Pod istim uvjetima ali sa sastavom plinova koji sadrže K_2SO_4 , $KAl(SO_4)_2$ visokotemperaturnom se korozijom odnosi čak 550 mg čelika lopatica po cm^2 površine.

IV. teorija

objavljena: 1964. (autor Wickert)

mehanizam nastanka:

udio SO_3 aktivira u kontaktu s Na_2SO_4 "koroziju".

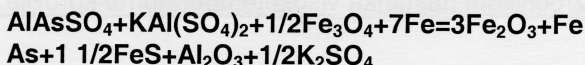


Kako kod temperatura preko $600^\circ C$ nije moguće stvaranje piro-sulfata, zapravo Na_2SO_4 "aktivira" SO_3 molekule, najpogodnije je područje oko $590^\circ C$ za stvaranje spoja s materijalom lopatica.

V. teorija

objavljena: 1968. (autor Kirsch)

mehanizam nastanka:



Prema novijoj teoriji visokotemperaturna korozija na lopaticama plinske turbine nastaje reagiranjem sumpornih i vanadijevih spojeva s $NaCl$ i taloži se kao Na_2SO_4 ili kao miješani sulgat Na_2SO_4/K_2SO_4 .

Ovo se taloženje događa u temperaturnom području od 800 do $1200^\circ C$ u tekućem stanju. Nastali talog vrlo je agresivan a nastali kromati i sulfiti osiromašuju materijal lopatice u kromu.

Točan proces i mehanizam nastanka visokotemperaturne korozije (prema ovoj teoriji) do danas nije u svim pojedinostima razjašnjen iako se kemijska reakcija prepoznaje.

Vanadijum tvori tekuće spojeve, npr. vanadijev pentoksid. Već na 691° i kod svih lopatica plinskih turbina vanadijev-pentoksid izaziva jaku koroziju. Dodavanjem silicijevih aditiva kao npr. SiO_2 , može se izazvati vanadijev-magnezijev spoj koji tek kod viših temperatura dopušta tekuće spojeve. Na taj se način značajno smanjuje štetno djelovanje visokotemperaturne korozije.

Kod plinskih turbina s ulaznim temperaturama ispod $650^\circ C$ može se uz dodatak aditiva na silikonskoj bazi u potpunosti umanjiti utjecaj visokotemperaturne korozije.

Natrij i kalij mogu s vanadijem tvoriti eutektične spojeve koji su tekući već kod $566^\circ C$. Kod spojeva sa sumporom oni tvore sulfate s točkom taljenja baš u području rada plinskih turbina. Nastali sulfati su vrlo agresivni i ni jedan aditiv nije uspješan iznad $650^\circ C$.

Olovo izaziva koroziju i može dodatno umanjiti zaštitni efekt magnezijevih aditiva, pa time zapravo ne reducira štetno djelovanje visokotemperaturne korozije.

Kalcij je nepoželjan element u procesu jer tvori tvrde i debele naslage na lopaticama plinske turbine. Dodatno, kod promjene uvjeta rada turbine te naslage mogu i otpasti te prouzročiti mehanička oštećenja.

U usporedbi sa svim spomenutim elementima sumpor je najnepoželjniji u procesu, jer on predstavlja osnovni uzrok pojave visokotemperaturne korozije.

Većina autora teorijâ o visokotemperaturnoj koroziji potvrdila je ovisnost gubitka materijala o vremenu izloženosti materijala plinovima izgaranja i tipičnom sadržaju plinova. tako se može pisati da je:

$$\log g_{vt} = (-2851/T) - 0,5232 + 0,9124 \log t$$

gdje je

g_{vt} - gubitak materijala u mm

T - temperatura plinova u K

t -vrijeme izloženosti u h

Usporedbom svih rezultata iz naznačenih radova u literaturi kao i istraživanja koja su provedena, odstupanje iznosi najviše do 20%.

Sprječavanje štetnih posljedica

Prevention of damaging effects

Kako bi se donekle spriječio utjecaj visokotemperaturne korozije poduzimaju se sljedeće radnje:

- potpuno čišćenje goriva i zraka za izgaranje od nepoželjnih elemenata
- dodavanje aditiva gorivu
- nanošenje na lopatice zaštitnih premaza ili metala za zaštitu.

Proizvođači plinskih turbina drže se preporuka da zrak za izgaranje ne smije imati težinski preko 0,005 ppm zbrojeno natrija, kalija, vanadija i olova.

Pojedini proizvođači daju preporuke za maksimalni sadržaj u ppm za korišteno gorivo i to.

	V	Na+K	Ca	Pb	S
BBC	1	2	1	1	0,8
KWU	2	2	12	5	1,0
GE	0,5	-	2	-	1,0
RR	1	1	-	-	1,3
WH	2	5	10	5	0,5

Kako bi se spriječilo onečišćenje goriva nepoželjnim elementima mora se voditi računa da se:

- spremnici i cjevovodi očiste kod svake promjene goriva
- da se ne ispire vodom koja sadrži nepoželjne elemente.

Spomenutom mjerom može se značajno umanjiti djelovanje Na (kroz natrijev klorid), K (kroz kalijev klorid), Ca (kroz kalcijev karbonat).

Zahtjevi za čišćenjem goriva kod plinskih turbina znatno su stroži od onih za diesel motore. Diesel motori mogu bez poteškoća raditi i sa 100 ppm onečišćenja metalnim zagađivačima, dok za plinske turbine ono mora biti u okviru 0,005 ppm. Stoga proizlazi da se čišćenju goriva mora posvetiti najveća pozornost.

Za rezidualna goriva koriste se aditivi deemulgatori do sadržaja 250 ppm. Tako se aditivirana goriva dobro miješaju i centrifugiraju uz separiranje vode i eventualnih krutina uz zagrijanost do 97°C.

Nakon takvog pranja goriva dodaju se aditivi za odvajanje vanadija i to najčešće magnezijev sulfat $MgSO_4$ ili gorka sol $MgSO_4 \cdot 7H_2O$.

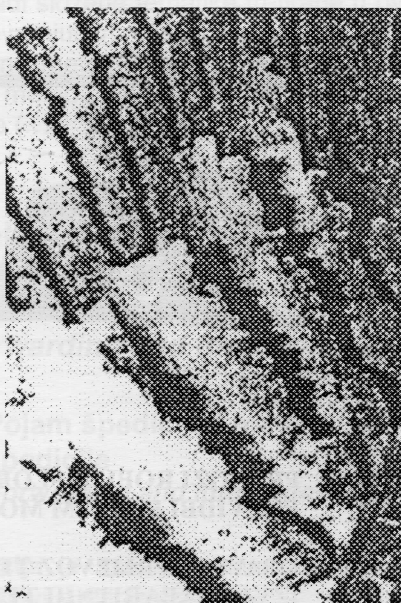
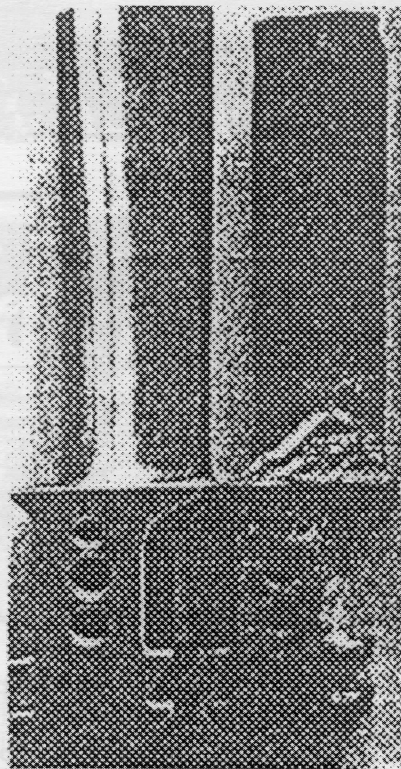
Onečišćenja goriva vanadijem i olovom uslijedi većinom ako se prethodno u spremnicima i cjevovodima nalazilo teško gorivo ili benzin.

Kontakt s nepoželjnim elementima kroz usisani zrak za izgaranje može se spriječiti ako se vodi računa da se:

- sprječava usis čestica kapi sa NaCl (posebno nepogodno za brodske plinske turbine)

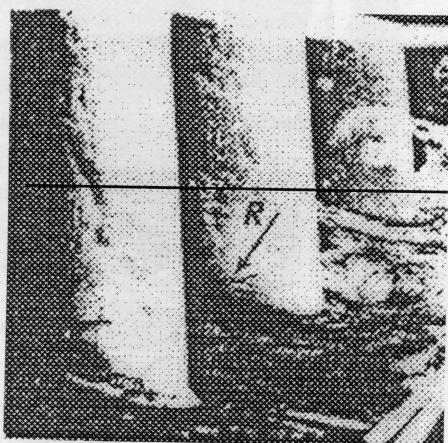
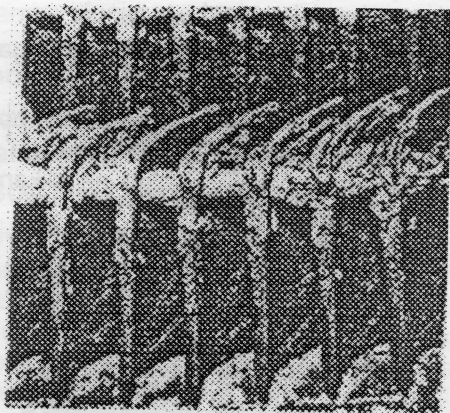
- ne dopušta rad motora s unutarnjim izgaranjem u blizini usisa zraka za plinsku turbinu.

Kolika je opasnost od visokotemperaturne korozije za lopatice plinske turbine pokazuju primjeri oštećenja lopatica plinskih turbina na slikama koje slijede.



Slika 1. Oštećenje lopatice zbog visokotemperaturne korozije (usporedba s novom)

Figure 1. Damaged blade due to high-temperature corrosion (compared with a new one)



Slika 2. Naslage kao posljedica visokotemperaturne korozije na lopaticama

Figure 2. Deposits as a result of high temperature corrosion

Zaključak

Conclusion

Rok trajnosti plinske turbine ovisi prije svega o brzi koju joj posvećujemo u toku njezinog rada. Dva gore prikazana primjera slikovito pokazuju tu razliku koja vremenski iznosi 15.000 radnih sati.

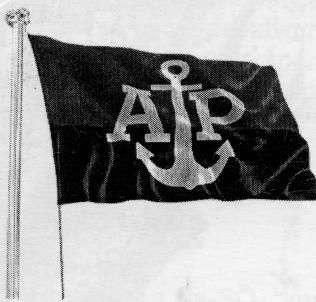
Kako bi se umanjile štetne posljedice visokotemperaturne korozije, koje se u kratkom prekidu rada i ne mogu uočiti, mora se osigurati stvarno i kontinuirano praćenje parametara koji utječu na njezinu pojavu. To je u prvom redu usisavanje pročišćenog zraka potrebnog za izgaranje, korištenje goriva bez štetnih primjesa ili pak čišćenje goriva.

Posebna pozornost mora se posvetiti i čišćenju spremnika i cjevovoda kojima se dobavlja gorivo.

Literatura/References

- [1] Allianz Versicherung - AG, Muenchen und Berlin 1979., 1999.
- [2] Effertz und Wieme, VGB Kraftwerkstechnik 1979., Berlin
- [3] Nelson, Cain: Corrosion of Superheaters and Reheaters, ASME, July 1960.
- [4] Harada, Tanaka, Tokunda: High Temperature Corrosion of Coal and Oil Mixed Firing Boilers and its Prevention. Technical Review, May 1968, Mitsubishi Heavy Industries, Tokyo
- [5] Lorenz, Kranz: Alkalisulfatkorrosion in Stahlrekuperatoren, Korrosion 18, 1966.
- [6] Rahmel, A.: Kinetic Conditions for the Simultaneous Formation of Oxid and Sulphide in Reactions of Iron with gases Containing Sulphur and Oxygen or their Compounds, Corrosion Science 1973., Vol. 13

Rukopis primljen: 8.5.2000.



ATLANTSKA PLOVIDBA d.d.
Dubrovnik, Hrvatska - Croatia

<p>PREVOZI ROBU U SLOBODNOJ PLOVIDBI PO SVIM MORIMA SVIJETA.</p> <p>OBAVLJA PRIJEVOZ TEŠKIH I IZVANGABARITNIH TERETA SPECIJALIZIRANIM BRODOVIMA.</p> <p>PREVOZI ROBU U MALOJ OBALNOJ PLOVIDBI.</p>	<p>OD SV. MIHAJLA 1 POŠT. PRET. 192</p> <p>TEL: (020) 352 - 333 FAX: (020) 356 - 148 TLX: 27584 ATLANT RH 27684 ATLANT RH</p>
---	---