

Osovinske struje u visokobrzinskim neelektričnim rotacijskim strojevima

Shaft currents in high-speed non-electric rotary machines

Marko Katinić^a, Mario Debeljak^b, Stela Damjanović^c

^a Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Trg I. B. Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod, Hrvatska.

^b Petrokemija d.d. Kutina, Aleja Vukovar 4, 44320 Kutina, Hrvatska.

^c Croatia osiguranje d.d., A. G. Matoša 3, 44320 Kutina, Hrvatska.

corresponding author: marko.katinic@sfsb.hr

INFORMACIJE O ČLANKU

Kategorija:
Stručni članak

Ključne riječi:
Magnetizam
Osovinske struje
Rotacijski stroj
Demagnetizacija

Licenca: CC BY-NC-SA 4.0.

SAŽETAK

Suvremeni visokobrzinski neelektrični rotacijski strojevi, poput parnih turbina i turbokompresora, uobičajeno se koriste u petrokemijskim procesnim postrojenjima. Visoki postotak ovih strojeva izložen je ozbiljnim oštećenjima koja su posljedica djelovanja elektromagnetskih osovinskih struja. Prevelike osovinske struje u visokobrzinskim neelektričnim rotacijskim strojevima dovode čak do katastrofalnih oštećenja strojeva i okolne opreme. U ovom radu objašnjeni su uzroci i način generiranja elektromagnetskih osovinskih struja, postupak njihovog otkrivanja, način prepoznavanja oštećenja koje struje uzrokuju i preporuke za njihovo eliminiranje. U radu su opisani izvori magnetizma, koji je osnovni uzrok pojave osovinskih struja. Objašnjeni su simptomi, mjesta i vrste oštećenja uzrokovana ovim strujama i dani su primjeri iz prakse. Prikazana su osnovna načela mjerenja magnetizma i postupka demagnetizacije. Predstavljene su i osnovne preporuke za održavanje vezane na problematiku osovinskih struja.

ARTICLE INFORMATION

Category:
Professional paper

Keywords:
Magnetism
Shaft currents
Rotary machines
Demagnetization

License: CC BY-NC-SA 4.0.



ABSTRACT

Modern high-speed non-electric rotary machines, such as steam turbines and turbocompressors, are commonly used in petrochemical process plants. A high percentage of these machines are exposed to serious damage resulting from the action of electromagnetic shaft currents. Excessive shaft currents in high-speed non-electric rotary machines even lead to catastrophic damage to machinery and surrounding equipment. This paper explains the causes of electromagnetic shaft currents and how they are generated, the process of detecting them, how to identify the damage that currents cause, and recommendations for eliminating them. The paper describes the sources of magnetism, which is the root cause of the occurrence of shaft currents. Symptoms, locations and types of damage caused by these currents are explained and examples from practice are given. Fundamental principles of magnetism measurement and demagnetization procedure are presented. Basic maintenance recommendations related to shaft current issues are also presented.

1. Uvod

Osovinske struje, koje se pojavljuju u visokobrzinskim neelektričnim rotacijskim strojevima, uzrokuju ozbiljna oštećenja dijelova i sklopova strojeva. Time dovode do neplanskih zastoja vitalnih rotacijskih strojeva procesnih postrojenja, kao što su parne turbine, turbokompresori i multiplikatori (slika 1.). Posljedica neplanskog zastoja vitalnog strojeva je prekid proizvodnog procesa, što naravno predstavlja značajne gospodarske gubitke, a ponekad nažalost može ugroziti zdravlje i život procesnog osoblja. U petrokemijskoj industriji nerijetko su ovi vitalni strojevi smješteni u eksplozivno ugroženim prostorima, što dodatno govori o ozbiljnosti problema osovinskih struja. Naime, razine oštećenja strojeva uzrokovanih djelovanjem osovinskih struja je od srednjeg do vrlo teškog. Osovinske struje oštećuju klizne odrivne i

nosive ležaja, dijelove spojki rotora, brtvene prstenove i ozubljenja zupčanika reduktora i multiplikatora. Ako se potencijalna oštećenja ne detektiraju na vrijeme u njihovoj početnoj fazi, vitalne komponente stroja mogu biti potpuno uništene [1].

U ovom radu objašnjeni su uzroci i način generiranja elektromagnetskih osovinskih struja, postupak njihovog otkrivanja, način prepoznavanja oštećenja koje struje uzrokuju i preporuke za njihovo eliminiranje. U radu su opisani izvori magnetizma, koji je osnovni uzrok pojave osovinskih struja. Objašnjeni su simptomi, mjesta i vrste oštećenja uzrokovana ovim strujama i dani su primjeri iz prakse. Prikazana su osnovna načela mjerenja magnetizma i postupka demagnetizacije. Predstavljene su i osnovne preporuke za održavanje vezane na problematiku osovinskih struja.



Slika 1. Turbokompresor prirodnog plina
Figure 2. Natural gas turbocompressor

2. Elektrostatičke struje (istosmjerna struja)

Ovaj rad se bavi magnetski induciranim osovinskim strujama, ali kratki pregled elektrostatičkih struja je potreban radi definiranja karakterističnih razlika između osnovnih načina generiranja struje u rotacijskom stroju. Kod parnih turbina i kod turbokompresora, mogu se javiti elektrostatički generirane struje iz sljedećih razloga:

- sudaranjem čestica ili atomizacijom kapljica, što je čest slučaj u vlažnim stupnjevima parnih turbina i u kompresorima koji rade s vlažnim medijem
- trenjem sa suhim plinom, što se javlja u visoko temperaturnim cijevima i u vrućim dijelovima turbine (rad s pregrijanom parom), ili u kompresorima koji rade sa suhim plinom.

Električna pražnjenja elektrostatičkih naboja se odvijaju tamo gdje postoje određeni kontakti dijelova (npr. reduktorski pogon RBV-a) ili tamo gdje su zračnosti između rotirajućih i stacionarnih dijelova male (ležajevi, brtve). Naponi uzrokovani elektrostatičkim nabijanjem dostižu vrijednost oko 70 V, s jakostima struja reda veličine nekoliko miliampera. Prema tome, na mjestu gdje se događa električno izbijanje ili međupovršinski prijelaz struje neće se dogoditi generiranje značajne topline. Jednostavne, uzemljene osovinske četkice mogu efikasno odvoditi nastali elektrostatički naboj. Međutim, zbog opasnosti pojave električne iskre, osovinske četkice se ne primjenjuju na strojevima instaliranim u eksplozivno ugroženim prostorima.

Oštećenje kliznih ležajeva i drugih dijelova stroja uslijed djelovanja elektrostatičkih struja dešavat će se tijekom relativno dugog vremena, nikad vrlo rapidno (kao što je moguće u slučaju elektromagnetskih

osovinskih struja) i stoga je ovakav problem jednostavno riješiti. Progresija oštećenja uslijed elektrostatičkih pražnjenja naboja može se pratiti pomoću sustava za kontinuirani nadzor osovinskih vibracija, što znači da je situacija pod određenom kontrolom. Nastalo oštećenje se korektivno popravljaju kroz redovito održavanje. Važna karakteristika djelovanja elektrostatičkih struja je lokacija oštećenja, koja je uvijek u točki najnižeg otpora prema tlu, obično na pogonskom zupčaniku regulatora ili odzivnom ležaju. Elektrostatičke struje se mogu mjeriti elektrostatičkim voltmetrom ili osciloskopom ili „statičkim pištoljem“ s radioaktivnim izvorom, ako je vidljivo vratilo rotora.

3. Elektromagnetski inducirane osovinske struje

3.1. Induciranje elektromagnetskih osovinskih struja

Dok su elektrostatičke struje neugodne, ali se mogu kontrolirati, dotle elektromagnetske struje mogu biti izrazito destruktivnije od elektrostatičkih struja. Problem elektromagnetskih struja zadaje česte probleme velikim i/ili visokobrzinskim rotacijskim strojevima. Posljedice njihovog djelovanja mogu dovesti do katastrofalnih oštećenja stroja, prekida procesa proizvodnje i povećanih ekonomskih gubitaka.

Osnovni mehanizam generiranja elektromagnetskih struja temelji se na načelu rada električnog generatora. Opće poznato je da gibanje vodiča kroz magnetsko polje stvara napon između krajeva tog vodiča. Ako su krajevi vodiča spojeni, poteći će struja. Jakost struje je razmjerna dimenzijama vodiča, jakosti magnetskog polja i brzini gibanja vodiča kroz magnetsko polje. Ako su opisani uvjeti ispunjeni, svaki visokobrzinski

stroj može generirati unutrašnje struje. U električnim strojevima inducirane struje teku unaprijed fizički definiranim putanjom bakrenih vodiča. U neelektričnim strojevima, kao što su parne turbine, turbokompresori i multiplikatori, struje kroz metal protiču na nepredvidiv način, a ovisno o geometriji stroja, o mjestu i jakosti magnetskog polja [1]. Znači, osnovni uvjet za generiranje elektromagnetskih struja u neelektričnom rotacijskom stroju je postojanje magnetskog polja. Magnetsko polje nastaje kao rezultat nastalog zaostalog magnetizma u prethodno magnetiziranoj komponenti stroja. Izvori zaostalog magnetizma su [1]:

1. Ispitivanje magnetskim česticama bez naknadne demagnetizacije ili s nedovoljnom demagnetizacijom;
2. Korištenje jakog magnetskog alata oslonjenog na stator i/ili rotor stroja, u područjima jake interakcije polja za vrijeme rada;
3. Elektrolučno zavarivanje u područjima blizu rotirajućih elemenata (ili čak na komponentama rotora) na takav način da putanja struje od električnog luka do zemlje prolazi kroz područja u kojima će se tijekom rotacije dogoditi interakcija struja-polje;
4. Slučajnom podudarnosti, izvorna polja nekoliko komponenta stroja mogu se posložiti na takav način da pospješe djelovanje snažnih struja.

Ostali kritični uvjeti koji će rezultirati generiranjem značajnih osovinskih struja su [1]:

1. Visoka obodna brzina, bilo zbog velikog promjera ili visoke brzine rotacije rotora
2. Zatvoreni, nisko-otporni magnetski krug
3. Ekstremno mali zazori između rotora i statora (mali magnetski i električni zazori)
4. Iznenadni jaki poremećaji u radu stroja (dodir rotora i brtvi, dodir lopatica rotora o stator, trenutno povećanje odzivne sile uslijed pumpanja kompresora, visoke vibracije, gubitak podmazivanja i slično)

Startajući sa zaostalim magnetizmom, u stroju će se, čim rotor dostigne dovoljnu obodnu brzinu, generirati napon i struja (na isti način kao u električnom generatoru ili u kočnici s vrtložnim strujama). Iznos napona i jakosti struje ovisi o jakosti zaostalih magnetskih polja, te njihovom međusobnom odnosu, magnetiziranim masama, raspoloživim putanjama struja, izolacijskim svojstvima uljnog filma u brtvama i ležajevima i, naročito, o obodnoj brzini rotora, koja je također brzina s kojom međusobno djeluju magnetska polja [1]. Nastale struje mogu teći kroz kontaktne površine dijelova ili kroz uljni film u ležajevima i brtvama. Struje tako nailaze na električni otpor, te nastaje iskra koja oštećuje dijelove stroja, kao što su ležajevi, brtve, zupčanici, spojke i sl.

Nastale struje mogu teći u vanjskoj petlji oko rotora na takav način da pojačavaju postojeći zaostali magnetizam. Struje u rotoru će generirati i magnetska polja oko linija toka struja. Ove struje mogu se formirati oko osi rotora na takav način da nisu paralelne s osi, već stvaraju oblik sličan zavojnici, te kao rezultat nastaje i rotacijsko magnetsko polje. Ako magnetizam dostigne razinu kod koje su magnetska polja dovoljno

jaka da se reorijentiraju, stvorit će se uvjet za pojavu tzv. samouzbude. Do reorijentacije postojećih magnetskih polja i progresivnog i iznenadnog procesa samouzbude mogu dovesti iznenadni poremećaji u radu stroja, kao što su dodir rotor-stator, pumpanje kompresora, visoke vibracije, i slično. U tom slučaju, iznimno veliki broj sićušnih magneta se poravnavaju na takav način da pojačavaju jakost magnetskog polja nekoliko puta. Visoki napon i jake struje se induciraju kao rezultat među-djelovanja rotacijskih magnetskih polja sa stacionarnim magnetskim poljima. Električni otpori uljnih filmova u ležajevima i brtvama praktični su zanemarivi, te kroz ležajeve i brtve poteče struja između statora i rotora. Ovakav kratki spoj elemenata stroja uzrokuje intenziviranje postojećih magnetskih polja, što stvara jače struje, koje opet generiraju jača magnetska polja, i tako u krug, sve dok se ne pojave vrlo visoki naponi i vrlo jake struje. Drugim riječima, stroj se ponaša kao istosmjerni samouzbudni električni generator. Rezultat ovoga je vrlo progresivno i rapidno oštećivanje elemenata stroja, koje može dovesti do havarijskih oštećenja. Unutar nekoliko dana ili doslovno nekoliko sekundi od pojave samouzbude stroj može biti potpuno uništen [2].

3.2. Uobičajene lokacije oštećenja strojeva elektromagnetskim strujama

Najčešća mjesta oštećenja uzrokovana elektromagnetskim osovinskim strujama [1, 3] su:

1. Zupčasti parovi prigona regulatora brzine vrtnje i glavne uljne pumpe
Ako su zupčasti parovi prigona od električni vodljivih materijala, vrlo vjerojatno će se na njima pronaći oštećenja uzrokovana djelovanjem osovinskih struja. U suprotnom, ako zupčasti parovi prigona nisu od vodljivog materijala, oštećenja uzrokovana djelovanjem osovinskih struja će nastati na nekoj drugoj, za to pogodnoj, lokaciji.

2. Zupčaste spojke

Elektroerozijsko odnošenje materijala s bokova zubi većinom je vidljivo na nosivoj strani zubi, a često se krivo interpretira kao obično trošenje materijala uzrokovano trenjem. U ovom slučaju mogu nastati veće količine taloga, što je karakteristično i za slične oblike oštećenja koje su rezultat npr. necentričnosti ili nečistog ulja. Prisutnost karakteristične jamičavosti (eng. pitting) i matiranog otiska (eng. frosting) tipični su za djelovanje osovinskih struja.

3. Klizni odzivni ležaj

Ovaj element stroja, zbog tankog sloja uljnog filma, vrlo je podložan oštećenjima uzrokovanim djelovanjem osovinskih struja. Nastala oštećenja izgledaju poput matiranog otiska (eng. frosting) i vrlo su lako uočljiva. Oštećenje se ne rasprostire po cijeloj površini segmenta ležaja, nego više prelazi u područje izlaznog brida, gdje je uljni film tanji.

4. Brtve kompresora plivajućeg tipa ili brtve kontaktnog ili blizu kontaktnog tipa

Budući da su na ovim mjestima zračnosti izrazito male (manje i od zračnosti u kliznim ležajevima), vrlo

Iako dolazi do stvaranja električne iskre i oštećivanja brtvene površine. Zbog postojanja površinske hrapavosti često puta plivajuća brtva postaje nepokretna (eng. lock-up), što može dovesti do pojave podsinkronih vibracija (eng. oil whirl) ili do vrlo destruktivnog fenomena brtvom inducirane kritične brzine (vrlo visoka razina 1. harmonika spektra vibracija). Ako uslijed visokih vibracija dođe do prekida brtvenog uljnog filma, rapidno će se smanjiti njegov električni otpor i poteći će veće struje. Oštećenje električnom iskrom može biti značajno i može dovesti do spaljene površine brtve, čime se povećava zračnost i posljedično povećava propuštanje medija (amonijak, sintezni plin i slično) na brtvi.

5. Ozubljenja zupčanika multiplikatora/reduktora
Početni matirani otisak vodi trošenju i bučnom radu ozubljenja, i konačno dovodi do oštećenja i loma dijela ozubljenja. Zupčanici, kao i spojke, provode struju od jednog dijela stroja do drugog, i stoga su vrlo podložni oštećivanju djelovanjem osovinskih struja.

6. Nosivi ležajevi
Oštećenja se javljaju na donjem dijelu ležaja, na mjestima gdje je uljni film najtanji. Međutim, oštećenja mogu biti i na drugim dijelovima ležaja, čak i na gornjoj polovici uslijed djelovanja radijalne sile (primjerice kod parcijalnog privoda pare na turbinama, ili bočnog ulaza radnog medija u kompresor, ili zbog djelovanja sile zupčaste spojke uslijed njenog mehaničkog zaglavlivanja).

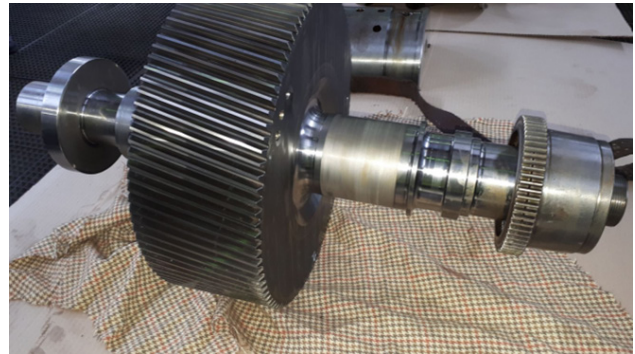
7. Labirintne brtve i ugljeni brtveni prstenovi u turbinama i kompresorima
Na ovim mjestima događa se oštećenje iskrenjem i nastaje matirani otisak na površini vratila, što može dovesti do povećanog propuštanja medija na brtvi. Oštećenje ovih brtvi, u normalnim uvjetima, ne vodi do havarijskih oštećenja stroja (kao u slučaju potpornog i odzivnog ležaja), ali povećava zazor na brtvama i uzrokuje lokalna oštećenja i propuštanje medija.

3.3. Tipovi oštećenja elemenata strojeva elektromagnetskim strujama

U ovom dijelu prikazana su i opisana su oštećenja nastala djelovanjem elektromagnetskih osovinskih struja.

1. Matirani sloj (eng. frosting) [1, 3]

Ovo je najčešći oblik oštećenja uzrokovan djelovanjem lutajućih osovinskih struja. Dijelovi koji su izloženi ovom obliku oštećenja su ležajevi, odzivni diskovi, rukavci vratila i zupčanika. Izgled površine je vrlo sličan pjeskarenoj površini. Ako je cijela raspoloživa površina izvrnuta ovom djelovanju, oštećenje, zbog satenskog izgleda površine, neće biti uočljivo golim okom (slika 2.). Kada se matirana površina gleda kroz mikroskop vidljivi su mali pojedinačni „krateri“ promjera od 0,02 do 0,20 mm. Dno kratera je zaobljeno i sjajno, što ukazuje na to da je nastao taljenjem metala.



Slika 2. Matirani sloj na rukavcu zupčanika
Figure 2. Matted layer on the gear sleeve

Na slici 3. prikazan je primjer matiranog sloja na segmentima odzivnog ležaja.



Slika 3. Matirani sloj na segmentima odzivnog ležaja
Figure 3. Matted layer on the thrust bearing segments

Primjer matiranog sloja na segmentima nosivog ležaja prikazan je na slici 4.



Slika 4. Matirani sloj na donjoj polovici nosivog ležaja
Figure 4. Matte layer on the lower half of the bearing

2. Tragovi iskrenja (eng. spark tracks) [1, 3]

Tragovi nastali iskrenjem mogu biti vrlo tanki, kao da su iglom načinjeni. Dubina tih tragova uobičajeno je od 0,02 do 0,10 mm, no mogu biti i do 3 mm široki i 1,5 mm duboki. Duljina tragova može varirati od 2 mm do nekoliko desetaka milimetra. Ovi tragovi su većinom vijugavi i nepravilnog su oblika po svojoj dužini. Smjer traga obično je u smjeru vrtnje ili koso pod kutom od 45°, pa i više. Dno traga je čisto, sjajno i ravno. U presjeku trag je pravokutnog oblika s relativno oštrim rubovima u kutovima pri dnu. Trag je jednolik i po širini i po dubini po cijeloj svojoj dužini. Primjeri tragova iskrenja dani su na slikama 5 i 6 [4].



Slika 5. Tragovi iskrenja na segmentu nosivog ležaja [4]
Figure 5. Traces of sparking on the bearing bearing segment [4]



Slika 6. Tragovi iskrenja na segmentu nosivog ležaja [4]
Figure 6. Traces of sparking on the bearing bearing segment [4]

3. Jamičavost (eng. pitting) [1, 3]

Ovaj tip oštećenja ne pripada grupi matiranog sloja, jer su krateri u ovom slučaju, zbog ekstremno snažnog napona izvora izbijanja, mnogo veći u svom

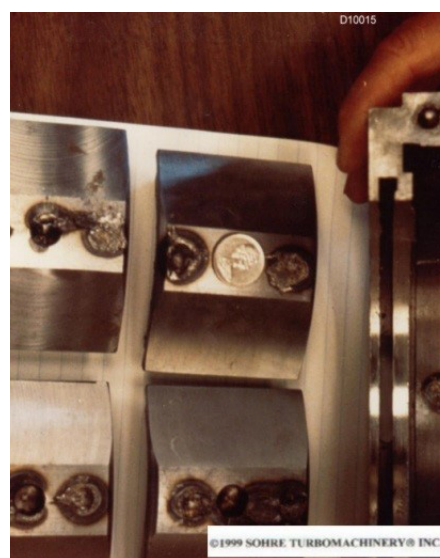
promjeru (od 0,8 mm do 6 mm). Jamičavost se često dešava na ozubljenjima zupčanika ili na stražnjoj strani ležajeva ili brtvi. Suprotno matiranom otisku, gdje cijela površina može biti pod štetnim utjecajem struja, jamičavost se dešava više nasumce, i ponekad je moguće prebrojiti broj izbijanja. Izgled jamica je sličan pojedinačnim kraterima matiranog otiska, i često imaju zaobljeno sjajno dno. Primjer jamičavosti dan je na slici 7 [4].



Slika 7. Jamičavost uložnog pera [4]
Figure 7. Pitting of the insert pen [4]

4. Zavarivanje (eng. welding) [1, 3]

Zavarivanje dijelova, kao što su dodirne površine segmenta ležajeva i nosača, brtvi i nosača, ozubljenja zupčastih spojki, razdjelnih površina kućišta, i sl. dešavaju se zbog prolaza velikih struja (snaga stotine ampera) kroz te dijelove. To se vrlo lako evidentira golim okom kao točkasti zavari, prilično često, moraju ovako zavareni dijelovi biti razdvojeni čekićem ili na neki drugi mehanički način. Na slici 8. prikazan je primjer zavarivanja segmenta nosivog ležaja s pripadajućim kavezom ležaja [4].



Slika 8. Zavarivanje segmenta ležaja s kavezom ležaja [4]
Figure 8. Welding of the bearing segment with the bearing cage [4]

3.4. Načini mjerenja zaostalog magnetizma

3.4.1. Mjerenje zaostalog magnetizma - stroj ne radi

Poznati uređaj za mjerenje zaostalog magnetizma u rotoru i statoru stroja je gaussmetar (slika 9.). Gaussmetar mjeri gustoću magnetskog toka u jedinicama gauss. Većina gaussmetara koristi osjetilo koje radi na tzv. „Hall efektu“, koristeći visokofrekventne struje u poluvodičkom čipu za proizvodnju karakteristike koja je proporcionalna magnetskom polju. Uobičajeno je samo vrh osjetila gaussmetra osjetljiv na djelujuće magnetsko polje.



Slika 9. Digitalni gaussmetar [5]
Figure 9. Digital gauss meter [5]

Gausmetrom se mjere polja koja prolaze okomito na površinu Hall-ovog poluvodiča. Primjenom odgovarajućih osjetila mogu se mjeriti i istosmjerna i izmjenična magnetska polja. Razine magnetskog polja najbolje se mjere kada je stroj u zastoju (slika 10.).



Slika 10. Mjerenje zaostalog magnetizma
Figure 10. Measurement of residual magnetism

Gausmetar se tada koristi u istosmjernom načinu rada s ciljem očitavanja razine statičkih polja. Ako se stroj

rastavi u dijelove, razine magnetskih polja se mogu mijenjati zbog promjene putanja magnetskog toka. Na primjer, nakon rastavljanja i demontaže spojke, razina magnetskog polja susjednog ležaja se može povećati ili smanjiti. Mjerenjem magnetizma nerastavljenog stroja, odnosno minimalno rastavljenog stroja, dobiju se očitavanja razina magnetizma koja su reprezentativna radnim uvjetima prije neposrednog zastoja stroja.

Korisna praksa je voditi izvještaje očitavanja magnetizma na potpuno rastavljenim dijelovima, bilježeći očitavanja uzeta prije i poslije demagnetizacije (slika 11.). Kada se provodi sastavljanje stroja, magnetizam treba biti izmjeren na svim dijelovima, a osobito u kritičnim zonama kao što su ležajna mjesta, brtve, zupčanici, itd.

Redni broj	Kontrolirani dijelovi stroja		Vrijednosti nakon demagnetizacije
	Naziv:	Izmj.zaost.magnet.	
1.	Kučiste multiplikatora	<1G	
2.	Pogonski zupčanik	2-17 G	<1G
3.	Ležajevi pogonskog zupčanika	<1G	
4.	Glavčina zupčaste spojke	<1G	
5.	Kruna zupčaste spojke	<1G	
6.	Gonjeni zupčanik	2-16G	<1G
7.	Ležajevi gonjenog zupčanika	<1G	
8.	Glavčina zupčaste spojke	<1G	
9.	Kruna zupčaste spojke	<1G	
10.	Međukomad zupčaste spojke SM-HP	<1G	

Slika 11. Kontrola zaostalog magnetizma
Figure 11. Residual magnetism control

3.4.2. Mjerenje zaostalog magnetizma - stroj u radu

Najviše informacija o magnetizmu i osovinским strujama rotacijskog stroja u radu dobivaju se mjerenjem napona i struja vratila rotora, koristeći osovinske četkice i monitore (slika 12).



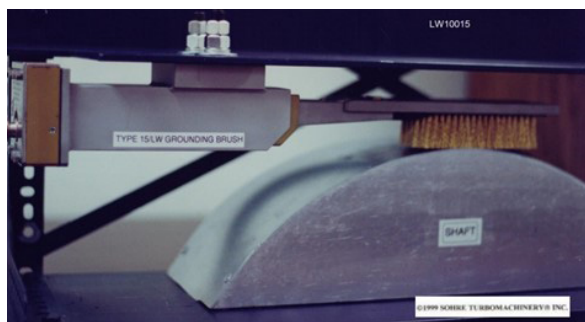
Slika 12. Monitor za nadzor napona i struje rotora [5]
Figure 12. Monitor for monitoring rotor voltage and current [5]

Osovinske četkice predviđene su za uzemljenje vratila, premošćujući osovinske struje i sprečavajući njihovo tečenje i oštećivanje ležajeva, brtvi, zupčanika, itd. (slika 13.). Potrebno je utvrditi pogodna mjesta instaliranja osovinskih četkica, a što se određuje testom osovinskog napona i struje s instrumentom koji je za to namijenjen. Test određuje svojstva i sposobnosti djelovanja osovinskih napona i određuje da li je napon u svojoj prirodi statički ili elektromagnetski. Nakon utvrđivanja pogodnih lokacija za osovinske četkice, ugrađuje se instalacija trajnih četkica s točnim i pouzdanim monitorima napona i struje (slika 12.).



Slika 13. Primjer osovinske četkice [4]
Figure 13. An example of a shaft brush [4]

Na slici 14. prikazan je način instaliranja osovinske četkice.



Slika 14. Instaliranje osovinske četkice [4]
Figure 14. Installing the shaft brush [4]

3.5. Postupak demagnetizacije elemenata stroja

Visoka razina magnetiziranosti elementa strojeva zahtijeva provođenje postupka demagnetizacije s ciljem postizanja prihvatljive razine magnetizma. Slika 15. prikazuje iskustvene granične vrijednosti magnetizma za određene elemente strojeva [3].

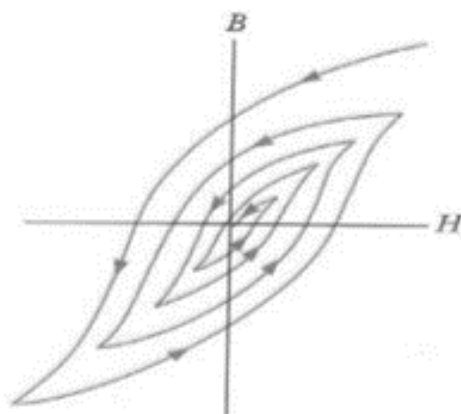
Vrijednost zaostalog magnetizma	Pozicija (mjesto) na stroju
2 gauss	Nosači ležajeva, segmenti odzivnog ležaja, segmenti potpornog ležaja, odzivna ploča, potporni ležaj, brtve, zupčanici, zupčaste spojke
4 gauss	Kućista ležajeva
6 gauss	Protočni dio rotora, kola rotora, razdjelne stijene, unutrašnja kućišta
10 gauss	Dijelovi stroja udaljeni od područja s kritičnim zazorima: kućišta, cijevi, i sl.

Slika 15. Preporučene dozvoljene vrijednosti zaostalog magnetizma [3]

Figure 15. Recommended permissible values of residual magnetism [3]

Za nove dijelove određenih strojeva (turbokompresori, ekspanderi, parne i plinske turbine, itd.) API norme propisuju najveći dozvoljeni magnetizam od 3 gaussa.

Krivuljom magnetiziranja za feromagnetske materijale, odnosno većinu čelika, prikazujemo ovisnost magnetskog polja o jakosti magnetskog polja. Magnetiziranjem čelika do zasićenja u jednom i u drugom smjeru krivulja magnetiziranja opisuje petlju koju zovemo histereza. Postupak demagnetiziranja dijela čelika u cilju uklanjanja zaostalog magnetizma sastoji se od mijenjanja smjera i postepenog smanjivanja magnetskog polja koju stvara izmjenična struja kroz zavojnicu. Efekt demagnetizacije prikazuje slika 16. Proces proizvodi cikličko smanjivanje razina zaostalog magnetizma i, ako se radi ispravno, završava u ishodištu, gdje je točka nultog magnetizma.



Slika 16. Proces demagnetizacije
Figure 16. Demagnetization process

Hardver koji se koristi za demagnetiziranje sastoji se od izvora napajanja (slika 17) i električnih zavojnica kojima se generiraju magnetska polja.



Slika 17. Uređaj za demagnetizaciju [5]
Figure 17. Demagnetization device [5]

4. Zaključak

Visoki postotak visokobrzinskih rotacijskih strojeva izložen je ozbiljnim oštećenjima koja su posljedica djelovanja elektromagnetskih osovinskih struja. Međutim, postoji način kako spriječiti neplanirane zastoje i ozbiljna oštećenja strojeva. Dobra praksa zahtijeva sljedeće aktivnosti održavanja kada su u pitanju osovinske struje [3]:

1. Provoditi vizualnu kontrolu ležajeva, brtvi, spojki i zupčanika za vrijeme redovitog, planiranog zastoja, radi utvrđivanja tragova djelovanja elektromagnetski induciranih struja.
2. Nadzirati radijalni i aksijalni položaj vratila rotora u ležajevima korištenjem osovinskih beskontaktnih osjetila. Nadzor bi trebao biti kontinuiran, budući da oštećenje može dovesti do gubitka bijele kovine ili čelika. Često se pri tome dešava i porast temperature ležaja, te se i temperature ležajeva trebaju stalno nadzirati.
3. Nadzirati osovinske struje instrumentima koji točno i dosljedno prikazuju (ili bilježe) jakost osovinskih struja u kabelu koji je spojen na pouzdane osovinske četkice. Značajne promjene trebaju signalizirati potencijalni problem. Plan aktivnosti treba biti zasnovan na veličini i značajnim promjenama.
4. Provjeriti i održavati uzemljene osovinske četkice tako da se osigura njihov ispravan rad i uzemljenje vratila.
5. Osigurati da sva zavarivanja budu provedena tako da elektroda uzemljenja bude spojena što je moguće bliže površini zavora.
6. Provjeriti magnetizam, s ispravnim i točnim gausmetrom, na svim postojećim dijelovima i novim dijelovima i osigurati njihovu ispravnu demagnetizaciju prije instaliranja.

Zahvala

Ovim putem zahvaljujemo se Petrokemiji d.d. Kutina na suradnji i ustupljenim tehničkim podacima i slikama koje su korištene za izradu ovoga stručnog rada.

Literatura

- [1] Nippes, Paul I. and Sohre John S., "Electromagnetic Shaft Currents and Demagnetization of Rotors of Turbines and Compressors," presented at the 7th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, Houston, Texas, December 1978.
- [2] Sohre, John S., "Electromagnetic currents in turbomachinery; status review and brush development" presented at the 10th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, Houston, Texas, December, 1981.
- [3] Katinić, Marko, „Elektromagnetske osovinske lutajuće struje u visokobrzinskim turbostrojevima ugrađenim u prostorima s eksplozivnom atmosferom“, Ex-bilten (1845-0872) 38 (2009), 1-2; 49-55
- [4] <http://www.sohreturbo.com/>
- [5] <http://www.gaussbusters.com/>