Svetislav Marković,
dipl. inž.
Tehnički remontni zavod,
Čačak

ODREĐIVANJE TEHNIČKOG STANJA (DEFEKTACIJA) MAŠINSKIH ELEMENATA

UDC: 62-7.004

Rezime:

Defektacija mašinskih elemenata i sistema izuzetno je značajna remontno-regeneracijska operacija, na osnovu čijih rezultata se preduzimaju odgovarajući postupci regeneracije ili opravke. U radu su prikazani aktuelni metodi defektacije, kako direktni (tehničkim merenjima), tako i indirektni. Ukratko su date njihove najvažnije karakteristike, prednosti i nedostaci.

Ključne reči: mašinski elementi, tehničko stanje, metodi defektacije.

DETERMINATION OF MACHINE PARTS TECHNICAL STATE (DIAGNOSTIC CHECKING)

Summary:

Diagnostic checking of machine parts and systems is a very important overhaul and regeneration operation; based on its results appropriate regeneration or repair procedures are carried out. The up-to-date diagnostic methods are presented, direct (using technical measurements) as well as indirect ones. The brief survey of their most important characteristics, advantages and disadvantages is given as well.

Key words: machine parts, technical state, diagnostic methods.

Uvod

Cilj predremontne defektacije mehanizama i mašina jeste određivanje kategorije remonta, što je neophodno da bi se odredilo vreme izlaska mašine iz eksploatacije, ili tzv. vreme za-
stoja.

U tehničkim uslovima, koje daje proizvođač ili remontno preduzeće, treba navesti eventualna oštećenja, koja se mogu sresti na konkretnom elementu, metode njihovog otkrivanja, kontrolno-merne instrumente, nominalne, dopuštene i granične zazore i preklope, remontne mere, zaključke na osnovu rezultata defektacije i drugo.

U procesu defektacije mašinski elementi se kategorišu na ispravne — vraćaju se u eksploataciju bez remonta, one koji zahtevaju remont (opravku na sredstvu ili regeneraciju) i one koji se odbacuju. Pri kontroli i defektaciji ne preporučuje se odbacivanje elemenata čije habanje ne prelazi dopušteno.

Osnovni uslov pravilne organizacije kontrole i defektacije elemenata jeste brižljivo izučavanje tehničkih uslova defektacije i dodatne mogućnosti ponovnog korišćenja elemenata, uzimajući u obzir uslove rada. Uzroci odbacivanja pohabanih mašinskih elemenata su raznovrsni i određeni osno-

vnim konstrukciono-tehnološkim kvalitativnim i ekonomskim razlozima.

Konstrukcioni faktor karakteriše se time što su granične promene dimenzija elemenata određene njihovom čvrstoćom ili konstrukcionom promenom veze (sprege). Tako, kod nekih kolenastih vratila, smanjenje dimenzija (prečnika) njihovih rukavaca, izvan izvesne granice, može se pokazati nedozvoljenim zbog smanjenja konstrukcione čvrstoće ili nedozvoljenog povećanja debljine polutki ležaja.

Tehnološki faktor dolazi do izražaja kada se granična promena dimenzija mašinskog elementa ograničava nezadovoljavajućim eksploatacionim korišćenjem sklopa ili agregata. Na primer, habanje pumpnih klipova ili zupčanika ne obezbeđuje sabijanje goriva ili ulja do potrebnog pritiska.

Kvalitativni faktor postaje uzrok odbacivanja kada promena geometrijskog oblika elementa, usled habanja, pogoršava rad mehanizma ili mašine, na primer, habanje reznog alata na mašinama alatkama, habanje raonika pluga i slično.

Ekonomski faktor preovlađuje u slučaju kada je dozvoljeno smanjenje dimenzija elemenata ograničeno smanjenjem produktivnosti mašine, povećanjem gubitka snage zbog trenja u mehanizmima, povećanjem rashoda toplote, povećanom potrošnjom sredstava za podmazivanje i slično. Na primer, habanje klipnih prstenova utiče na povećanje potrošnje ulja za podmazivanje motora SUS; habanje raspršivača brizgaljki dovodi do povećanja potrošnje goriva i drugo. Sve to se odražava na cenu izvršenih radova.

Pod pojmom *defektacije* podrazumeva se izvršavanje niza tehnoloških operacija čiji je cilj donošenje odluke o ispravnosti, potrebi opravke i regeneracije ili odbacivanju mašinskih elemenata, sklopova ili agregata, koji pripadaju mašinskom sistemu koji se remontuje.

Mašinski elementi koji se podvrgavaju defektaciji moraju biti dobro oprani i osušeni, očišćeni od masnoća, gareži, kamenca, starih zaštitnih prevlaka i drugih nečistoća. Pre svega, proveravaju se ishabanost i drugi oblici neispravnosti zbog kojih se elementi najčešće odbacuju. Ukoliko se na mašinskom elementu uoče takve neispravnosti ostala oštećenja se ne proveravaju.

Najsloženije je otkrivanje prikrivenih oštećenja (malih pukotina, unutrašnjih šupljina i slično).

Ove probleme je veoma teško rešiti samo na osnovu tehničkog merenja. Zato se primenjuju indirektni metodi defektacije i ocene rada mašina i mehanizama, što predstavlja važnu dopunu metoda tehničkog merenja. Indirektni metodi ocene tehničkog stanja mehanizama i mašina vezani su za korišćenje savremenih pribora i uređaja, koji omogućavaju da se izvrše ispitivanja sa visokom tačnošću i velikom brzinom, bez rasklapanja i povlačenja mašine iz eksploatacije.

Kvalitativno stanje mašinskih elemenata može se utvrditi hidrauličkim, pneumatskim, vibroakustičnim metodima, metodima ispitivanja bez razaranja (fizičkim metodima defektoskopije), merenjem dimenzija i proverom geometrijskih oblika, kao i proverom sprežanja i laboratorijskim ispitivanjima. Često se, na osnovu boje mašinskih elemenata i sklopova, može odrediti njihovo trenutno stanje. Takođe, čulo mirisa se neretko koristi za kvalitativnu ocenu stanja, jer je gotovo nemoguće kvantitativno merenje mirisa.

Defektacija ispitivanjem primenjuje se na mašinskim elementima kod kojih, u eksploatacionim uslovima (usled zamora i dejstva toplotnih, hemijskih, mehaničkih, električnih i drugih uticaja), može doći do strukturalnih i drugih promena materijala. Ocenjena ispravnosti ovih elemenata obavlja se na osnovu rezultata laboratorijskih

ispitivanja, kao što su ispitivanja hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika, metalografska i defektoskopska ispitivanja.

Hidraulički, pneumatski i vibroakustični metodi defektacije

Hidraulički metod primenjuje se za otkrivanje oštećenja u mašinskim elementima tipa kućišta (blok i glava motora, usisne i izduvne cevi i slično). U tom slučaju koriste se univerzalni ili specijalni uređaji za ispitivanje.

Pri postavljanju mašinskog elementa na uređaj za ispitivanje svi otvori na elementu se zatvaraju tehnološkim poklopcima, čepovima i zaptivačima. Pumpom se voda dovodi u unutrašnjost elementa pod određenim pritiskom (oko 0,5 MPa), i zadržava 5 minuta. Pošto je pritisak, koji se kontroliše manometrom, konstantan a voda ne curi potvrđuje se da u elementu nema pukotina.

Pneumatski metod koristi se pri otkrivanju oštećenja na grejnim telima, gorivim kotlovima, pneumaticima i drugim mašinskim elementima. Vazduh pod pritiskom od 0,05 do 0,1 MPa dovodi se u unutrašnjost kontrolisanog elementa, koji je prethodno potopljen u kadu s vodom. Mehurići vazduha koji se pojavljuju pokazuju mesta oštećenja (pukotine). Ukoliko su dimenzije elemenata (na primer, kotao) tolike da ne omogućuju njegovo potapanje u kadu s vodom, primenjuje se sapunski rastvor koji se nanosi na spoljašnje površine kontrolisanog elementa. Ukoliko je hermetičnost narušena, na mestima oštećenja pojavljuju se mehurići sapunskog rastvora.

Vibroakustični metod primenjuje se pri određivanju ispravnosti rada motora, mašina, mehanizama i prenosnika u sklopu. Koliko je stvaranje zvuka pri radu mašinskog sistema neprijatna pojava, toliko ona predstavlja

važan pokazatelj stanja tog sistema. Do akustičkih oscilacija i vibracija često dolazi istovremeno. Zvučne oscilacije mogu se konstatovati uhom, a vibracije dodirom. Intenzitet i frekvencija šuma sigurni su pokazatelji kvaliteta mašina i mehanizama, a naročito prenosnika snage. Ocenjuju se prema zvučnom pritisku i nivou šuma. Ovo ocenjivanje omogućavaju merači intenziteta šuma, analizatori i spektrometri zvučnih frekvencija i drugi uređaji. Da bi se kvalitetno izvršila kontrola ovim metodom, neophodno je ispitivanu mašinu ili mehanizam postaviti u betonsku zvučnoizolacionu komoru i učvrstiti je na gumenim podmetačima. Tako, na primer, pojačana šumnost u radu zupčastog prenosnika siguran je pokazatelj nepravilnosti sprežanja ili oštećenja zupčanika koji se nalaze u sprezi. Ovim metodom često se ocenjuje stanje kliznih ležajeva, zglobnih prenosnika i drugih elemenata. Šumovi su najčešće nečujni za ljudsko uho, po se koriste tzv. tehnički elektronski stetoscopi. Šumovi niskog intenziteta mogu se pojačati radi lakšeg otkrivanja, a neželjeni zvuci mogu se utišati održavanjem zvuka do jedva čujnih tonova.

Vibracije se registruju analognim putem — pretvaranjem mehaničkih pomeranja u analogne električne signale.

Fizički metodi defektoskopije

Niz unutrašnjih oštećenja mašinskih elemenata ne može se otkriti posredstvom tehničkog merenja niti pomoću navedenih indirektnih metoda ocene tehničkog stanja mašina i mehanizama u sklopu. Zbog toga široku primenu imaju vizuelni i fizički metodi defektoskopije. Metodi defektoskopije (kontrole bez razaranja) zasnivaju se na fizičkim karakteristikama materijala koji se ispituje, a uključuju razradu tehnologije defektacije grešaka i procene uticaja grešaka na kva-

litet materijala elemenata mašinskih sistema. Pri korišćenju ovih metoda ne zahteva se potpuno demontiranje mehanizma. To je jedan od razloga što ove metode ne treba prenebreći pri indirektnom ocenjivanju tehničkog stanja mašina i mehanizama. Konstrukcija većine savremenih mehanizama podrazumeva mogućnost vizuelnog ili sličnih metoda defektoskopije njegovih sklopova. Važnu ulogu metodi defektoskopije imaju i pri kontroli remontovanih mehanizama i njihovih elemenata.

Vizuelni metod

Vizuelni metod sastoji se u posmatranju mašinskih elemenata golim okom ili uz pomoć optičkih pribora. Pri tome posebnu pažnju treba posvetiti površinama mašinskih elemenata koje se nalaze u zonama visokih toplotnih i mehaničkih opterećenja, a i u zonama koncentracije napona. Tako se, na primer, kod cementiranih i kaljenih zupčanika (koji poseduju veliku tvrdoću, $HRC \geq 35$) proverava prisustvo pukotina i odloma zubaca, a i nedozvoljeno krunjenje površinskog sloja radnih delova zubaca. Pri defektoskopiji novih mašinskih elemenata treba obratiti posebnu pažnju na mesta koja se nalaze u zoni mogućih lunjera i nekoherentnosti (nehomogenosti) polufabrikata.

Za vizuelno posmatranje nepristupačnih mesta, bez demontaže, koriste se endoskopi (u literaturi se nazivaju još i boroskopi, fibreskopi, beriskopi i slično). Naročito su pogodni za posmatranje ozubljenja u prenosnicima, sudova pod pritiskom i slično. To su tanki, cevasti, optički instrumenti koji omogućavaju kontrolu unutrašnjosti mašinskih sistema i elemenata, naročito kada u njima vlada veliki pritisak. Postoje dve vrste endoskopa:

- kruti, koji se primenjuju kada je lak pristup ispitivanom mestu,
- fleksibilni, koji se koriste kada je prilaz ispitivanom mestu otežan.

Pukotine koje se ne mogu uočiti vizuelnom metodom mogu biti otkrivene pomoću kerozinske probe. Radi sprovođenja ove probe mašinski element, koji se proverava, potapa se u kerozin na 20 do 30 minuta. Nakon toga suši se komprimovanim vazduhom, a pukotine se otkrivaju prema pojavi kerozina iz njih.

Magnetni metodi (fero fluks)

Magnetni metodi zasnovani su na različitoj magnetnoj prodornosti u metalu na neoštećenom i oštećenom mašinskom elementu. Omogućavaju određivanje površinskih oštećenja (otkrivanje površinskih pukotina i nemetalnih uključaka) feromagnetnih materijala veličine do 0,04 mm. Pri ispitivanju mašinski element se namagnetise, posle čega se mesto koje se proverava poliva kerozinom u kome lebdi sitan železni prah (mokri postupak) ili se posipa magnetnim prahom (suvi postupak). Čestice železnog praha uglavnom se koncentrišu po krajevima pukotina, koje usled namagnetisanja elementa postaju polovi stalnog magneta. Nakon sleganja praha na površini elementa biće očigledne tamne linije čija je širina 50 do 100 puta veća od pukotine. Za uspešnu primenu metoda nanošenjem praha neophodno je da proveravani materijal mora biti feromagnetan, a moguća oštećenja se ne smeju prostirati duž magnetnih linija. Nanošenje magnetnog praha, ili kerozinske smeše, može se obavljati u prisustvu magnetnog polja (kontrola u priključenom polju), i posle prekida dejstva magnetnog polja (kontrola na zaostalom namagnetisanju). Prvi način kontrole je primenljiv pri otkrivanju unutrašnjih oštećenja elementa, i obavezan je pri nepoznatim magnetnim karakteristikama materijala elementa. Kontrola na zaostalom namagnetisanju primenjuje se za otkrivanje površinskih pukotina na manjim mašinskim elementima, izra-

đenim od visokougljениčnih i legiranih čelika. U poređenju sa prvim načinom kontrole produktivniji je i podjedniji. Pri korišćenju mokrog postupka moguće je i potapanje elementa na nekoliko sekundi u kadu sa kerozinskom smešom.

Za otkrivanje pukotina (oštećenja) različitog smera (poprečnih, uzdužnih ili pod uglom) primenjuju se različiti metodi namagnetisavanja defektiranog mašinskog elementa. Najčešće se koristi polarno, cirkulaciono i kombinovano namagnetisavanje.

Pri polarnom namagnetisavanju ispitivani element ima ulogu jezgra, koje se postavlja unutar omotača, kroz koji se propušta jednosmerna ili naizmenična električna struja (slika 1 a i 1 b). Linije magnetnih sila usmerene su duž elemenata i omogućavaju otkrivanje poprečnih i kosih pukotina.

Pri cirkulacionom namagnetisavanju jednosmerna ili naizmenična električna struja velike jačine (2000 do 3000 A) propušta se neposredno kroz ispitivani elemenat (slika 1 c i 1 d). Pri tom nastaju kružne, koncentrične linije sila, koje omogućavaju uočavanje svih pukotina, izuzev upravno rasprostranjenih. Pri ovom metodu u ispitivanom elementu ne nastaju jasno izraženi magnetni polovi i ne treba ga razmagnetisati posle defektacije. Pri cirkulacionom namagnetisavanju struja se određuje približno iz sledećih odnosa:

— pri kontroli u magnetnom polju:

$$I = (6 \text{ do } 8) D,$$

— pri kontroli na zaostalom namagnetisanju:

$$I = (17 \text{ do } 20) D,$$

gde je:

I — struja koja stvara odgovarajući intenzitet magnetnog polja (A),

D — prečnik ispitivanog elementa (mm).

Kombinovano namagnetisavanje elemenata postiže se istovremenom primenom polarnog i cirkulacionog postupka. Pri tome, kao rezultat slaganja dva magnetna polja, magnetne linije rezultujućeg polja imaju smer po spirali (slika 1 e i 1 f). Ono omogućava otkrivanje oštećenja bilo kog smera.

Najčešće se koristi elektromagnet sa otvorenim jezgrom, čije bazno rastojanje odgovara konstrukcionim dimenzijama ispitivanog elementa ili ispitivanog dela površine elementa. Posle defektacije elemenat treba obavezno da se razmagnetise da ne bi privlačio male metalne čestice. Razmagnetisavanje se obavlja postepenim smanjenjem parametara magnetnog polja i promenom polariteta jedno-

Sl. 1 — Šema namagnetisavanja elemenata a, b — polarno, c, d — cirkulaciono, e, f — kombinovano, 1 — ispitivani elemenat koji se magnetise, 2 — elektromagnet

smerne struje uz obaveznu proveru feromagnetnim prahom. U remontnim preduzećima za ovaj metod defektoskopije najčešće se koriste univerzalni magnetni defektoskopi.

Magnetni metod može se koristiti pri defektaciji velikih konstrukcija koje se ne moraju demontirati. Prednost ovog metoda je u osetljivosti i jednostavnoj primeni, a nedostatak je što se koristi samo za defektaciju elemenata od feromagnetnih materijala (čelik, liveno gvožđe). Za defektaciju mašinskih elemenata, izrađenih od obojenih metala, primenjuju se drugi metodi.

Metod prosvetljivanja (radioskopije)

Metod prosvetljivanja zasnovan je na karakteristici rendgenskih i γ -zraka da prolaze kroz neprozračno telo. Pri prolasku kroz metal zraci neznatno gube na intenzitetu ako na svom putu nailaze na praznine kontrolisanog elementa u vidu pukotina, lunkera i šupljina, a gube svoj intenzitet ukoliko na svom putu ne nailaze na ta oštećenja. Na slici 2 šematski je prikazan metod rendgenodefektoskopije prosvetljivanjem ispitivanog elementa rendgenskim zracima.

Sl. 2 — Metod prosvetljivanja rendgenskim zracima

Ukoliko se, na primer, kroz zavareni šav propusti snop rendgenskih zraka, a sa druge strane postavi foto-grafska ploča, na njoj će se jasno pokazati sva unutrašnja oštećenja šava u vidu crnih tačaka i mrlja (uključci) i traka (pukotine, nezavarenost). To se objašnjava time što gasni uključci, šljaka, pukotine i nezavareni spojevi slabije apsorbuju rendgenske zrake. Rendgenskim zracima moguće je otkriti oštećenja čije dimenzije u smeru rasprostiranja zračenja čine više od 1,5% debljine prosvetljenog elementa.

Metod radioskopije γ -zracima (gamagrafija) danas ima veliku primenu. Ampula sa radioaktivnim izotopom postavlja se prema šemi rendgeno-prosvetljivanja, a intenzitet zračenja, koji prolazi kroz ispitivani element, fiksira se na fototraci. Za razliku od rendgenskih zraka γ -zraci se odlikuju većom prodornošću. To im omogućava primenu za prosvetljivanje metala znatno veće debljine (preko 300 mm). Gama zračenje, za razliku od rendgenskog, nastaje spontanom radijacionom emisijom posebnih materijala: prirodnih (radijum, radon, mezotorijum) ili veštačkih (veštački radioizotopi). U industrijskoj gamagrafiji najveću primenu su našli sledeći izotopi: iridijum (Ir 192) — za prozračivanje tankih uzoraka, debljine do 20 mm; cezijum (Cz 137) i kobalt (Co 60) — za prozračivanje debelih uzoraka. Ovi elementi emituju γ -zrake stalne talasne dužine, koji su karakteristični za svaki radioelement. Veštački radioizotopi, zbog svoje niske cene, omogućavaju masovnu primenu u defektoskopiji. Radioskopskom metodom γ -zracima mogu se otkriti oštećenja u smeru rasprostiranja zračenja, čije dimenzije čine više od 5% debljine prosvetljenog metala u smeru upravnom na zrake. Najjasnije se, pri tom, otkrivaju oštećenja čije su dimenzije veće od 0,4 mm. Za skraćivanje vremena prosvetljivanja velikih elemenata primenjuju se pojačivački ekrani.

Jonizacioni metod defektoskopije prosvetljivanjem zasnovan je na jonizaciji gasa pri njegovom prolasku kroz rendgenske zrake. Ukoliko se na putu zraka ka jonizacionoj komori postavi kontrolisani elemenat u zavisnosti od gustine materijala, odnosno od postojanja oštećenja u njemu, promeniće se i energija zračenja, a zatim i intenzitet jonizacione struje. Na slici 3 data je šema uređaja za defektaciju jonizacionim metodom. Snop zraka na rendgenske cevi pada na ispiti-vani element kroz otvor u membrani 1 i dalje na jonizacionu komoru 3. Napajanje komore vrši se sa izvora elektroenergije 4, a intenzitet jonizacione struje meri se ampermetrom 5.

Primena ovog metoda daje tačnije rezultate nego korišćenje fotografskog ili vizuelnog metoda. Pored toga, kod ovog metoda ne troše se fotografski materijali i moguća je automatizacija kontrole. Nedostatak metoda je nepreglednost, jer isti električni efekat može biti dobijen od različitih faktora. Osim toga, potrebno je mnogo vremena za »obilazjenje« velikih elemenata malom jonizacionom komorom.

Sl. 3 — Jonizacioni metod defektoskopije

Luminiscentni metod

Luminiscentni metod defektoskopije zasniva se na pojavi kapilarnog prodiranja tečnosti u uske pukotine i procepe (penetracija) i fluorescenciji. Ispitivani elemenat se prvo pota-

pa u kadu sa benzinom radi čišćenja površina, a elementi velikih gabarita se prebrišu benzinom ili acetonom. Zatim se elementi potapaju u luminofor koji se obično zagreva do temperature od 80°C. Na velike delove luminofor nanosi se četkom. Posle toga elemenat se drži na vazduhu 10 do 15 minuta da bi luminofor mogao popuniti oštećenja na površini, uključujući i mikropukotine. Zatim se, trljanjem ili pranjem, uklanja sa površine elementa i svih neravnina (uključujući i ogrebotine), ali ostaje u pukotinama zbog kapilarnih sila. Ako je višak fluorescentnog luminofora opran vodom elemenat se suši na struji vazduha zagrejanog 50 do 60°C. Takvo zagrevanje, pored uklanjanja vode, pogoduje izlasku luminofora iz pukotina na površinu elementa i njegovom delimičnom rasprostiranju po krajevima pukotine. Elementat pripremljen na taj način posmatra se u zatamnjenoj prostoriji, osvetljen ultravioletnim zracima. Jarko žutozeleno ili zelenoplavo svetlo daje jasnu svetlosnu sliku položaja pukotina na tamnoj površini elementa.

Luminiscentni metod omogućava određivanje i dubine oštećenja. Ona se orijentaciono određuje prema širini fluorescentne zone, koja je približno 10 puta veća od dubine. Za otkrivanje prolaznih pukotina, fluorescentnim materijalom se prekriva unutrašnja površina elementa, a on se osvetljava pobudnim svetlom sa spoljne strane. Za spravljanje luminiscentnih materijala mogu se primeniti destilovana voda, kerozin, transformatorsko ulje i drugo. Od njih se zahteva rastvorljivost u tečnosti, velika moć natapanja (sposobnost prodiranja u kapilare), mogućnost ispiranja i jaka luminiscencija. Za dobijanje pobudnog ultravioletnog zračenja najčešće se koriste živino-kvarcne lampe.

Prednost ovog metoda je u mogućnosti kontrole elemenata bilo kog oblika i konfiguracije, izrađenih od bilo kog materijala. Pri tom nije bitan

položaj površinskih oštećenja (nije moguće otkriti unutrašnja oštećenja). Ovim metodom moguće je kontrolisati instrumente čiji su elementi izrađeni od poroznih i plastičnih materijala. Efektivnost luminiscentnog metoda zavisi od vrste primenjenog luminafora, debljine njegovog sloja, sposobnosti prodiranja u šupljinu oštećenja, vrste i snage izvora zračenja.

Ultrazvučni metod

Ultrazvučni talasi javljaju se kao posledica elastičnih oscilacija prouzrokovanih naizmeničnim električnim poljem (piezoelektrični efekat), a zbog malih talasnih dužina prostiru se pravolinijski i podređeni su osnovnim zakonima optike. Oni mogu imati veliku dubinu prodiranja (do 10 metara) i veliku brzinu (do 6000 m/s), a odbijaju se od različitih nehomogenosti. Ultrazvučna defektoskopija može se ostvariti metodom zvučne senke i impulsnim eho-metodom.

Kod metoda zvučne senke izvor zračenja upućuje ultrazvučne oscilacije na ispitivani elemenat (slika 4). Pri nepostojanju oštećenja ultrazvuk prolazi kroz ispitivani elemenat, a registruje ga prijemni uređaj. Ukoliko se na putu ultrazvučnih oscilacija pojave oštećenja (šupljine, lunke, pukotine i slično), to se kod prijemnog uređaja javlja zvučna »senka«. Prema ra-

spostiranju zvučne senke određuje se veličina i položaj defekta. Odsustvo ili znatno slabljenje signala na prijemnom uređaju znak je da u elementu postoji oštećenje. Na mogućnost defektacije ovim metodom znatno utiču veličina oštećenja, dužina ultrazvučnih talasa i raspored oštećenja u odnosu na smer talasa. Ukoliko se prijemnik nalazi u položaju I, talasi padaju na njega i na indikatoru se pojavljuje signal. Međutim, ukoliko je u položaju II (u senci), na indikatoru neće biti signala.

Impulsni eho-metod češće se primenjuje a njegov princip prikazan je na slici 5. Generator visokofrekventnih impulsa 1 kratkovremeno napada predajnu ploču 12, koja emituje ultrazvučne talase. Talasi odbijeni od oštećenja 14 ispitivanog elementa 11, padaju na prijemnu ploču 13, a zatim na pojačivač 2 i na ekran oscilografa 8, gde nastaje signal oštećenja. Na ekranu 8, uz pomoć ispitnog uređaja 10 i otklonskih elektroda 5 i 3 stvara se pogodnost za kontrolu i opisivanje talasa: donjeg 7, početnog 4 i impulsa od oštećenja 6. Defektoskop se napaja iz bloka 9.

Početni signal (A), na ekranu oscilografa impulsnog defektoskopa, obrazuje se pri odbijanju ultrazvučnih talasa od gornje površine ispitivanog elementa. Deo ultrazvučnih talasa, koji prodiru kroz kontrolisani element i odbijaju se od njegove suprotne strane, padaju na prijemnu ploču, izazivajući pojavu donjeg signala (B). Oštećenje izaziva signal (C). U zavisnosti od elementa ili sklopa koji se kontroliše, ultrazvučni talasi mogu se usmeriti upravno na površinu kontrolisanog elementa ili pod ostrim uglom.

Za remontne potrebe koriste se usavršeni ultrazvučni defektoskopi koji omogućavaju kontrolu elemenata metodom impulsnih signala i »prozvučivanja« (zvučne senke). Maksimalna dubina prozvučivanja za čelične elemente je 2600 mm za ravne prijemne ploče, i 1300 mm za prizmatične elemente.

Sl. 4 — Šema metoda senke ultrazvučne defektoskopije

Metod defektoskopije mašinskih elemenata korišćenjem ultrazvuka primenjuje se pri defektaciji vratila, zupčanika, zavarenih spojeva, varova na cevovodima i sudovima pod pritiskom, za merenje debljine zidova podložnih koroziji i drugo.

Ultrazvučna defektoskopija ima sledeće prednosti: ispitivani element se ne razara, ultrazvuk ne utiče na karakteristike materijala, ne zahteva se prethodna priprema elementa koji se kontroliše, jednostavno je otkrivanje i zapisivanje neispravnosti, ne zahteva se strogo pridržavanje složenih mera zaštite kao pri rendgenografiji i γ -zračenju.

Nedostatak ultrazvučnih metoda defektoskopije jeste što površina elementa na mestu postavljanja ispitne glave mora biti visokokvalitetno obrađena. U protivnom neće biti dovoljno akustičnog kontakta između površina ispitne glave i ispitivanog mašinskog elementa.

Sl. 5 — Principijelna šema impulsnog metoda ultrazvučne defektoskopije

Električni metod

Kod električnog metoda, pukotine na elementima otkrivaju se promenom provodljivosti ili električnog otpora pri propuštanju struje (junosmerne ili naizmenične) kroz ispitivani mašinski element. Ovim metodom moguće je otkriti oštećenja ispod površine ele-

menta (naročito primenom jednosmerne struje), a ispitivanja se mogu brže sprovesti nego drugim metodima. To se posebno odnosi na duža vratila, cevi i šine.

Defektacija tehničkim merenjima

Tehnička merenja mašinskih elemenata i sklopova obavljaju se radi određivanja pravilnosti njihovog geometrijskog oblika, odstupanja dimenzija od dozvoljenih, veličine habanja i odstupanja od zahtevanih mehaničkih karakteristika.

Za defektaciju ovim metodom koriste se merni i kontrolni instrumenti, pribori i uređaji. Oni omogućavaju određivanje dimenzija elemenata i odstupanja ili ukazuju na postojanje grešaka u dimenzijama i obliku elementa, ali ne omogućavaju određivanje njihove apsolutne veličine.

Metodi merenja, prema načinu obavljanja merenja i odnosa mernog instrumenta i predmeta merenja mogu biti:

- direktni, kod kojih se dobija vrednost veličine koja se meri bez potrebe dopunskog preračunavanja,
- indirektni, kod kojih se vrednost merene veličine dobija merenjem direktnim metodom drugih veličina, koje su sa veličinom koju treba izmeriti povezane određenom relacijom,
- kombinovani, kod kojih se vrednost merene veličine dobija rešavanjem sistema odgovarajućih jednačina, dobijenog iz rezultata direktnih ili indirektnih merenja različitih konstrukcija,
- komparativni, koji se zasnivaju na upoređenju vrednosti veličine koju treba meriti sa poznatom vrednošću iste veličine,
- diferencijalni, koji se zasnivaju na upoređenju veličine koju treba izmeriti sa veličinom koja je poznata i koja je bliska vrednosti merene veličine. Merenjem se utvrđuje razlika tih dveju veličina. Na ovom principu ra-

de komparatori. Iz diferencijalnog metoda proizašli su metod koincidencije i nulti metod.

Kontrolno-merna sredstva i metodi biraju se uzimajući u obzir tačnost merenja i konstrukcione karakteristike defektiranog elementa, vrednost mernog sredstva i njegovu trajnost do remonta, gubitke vremena za podešavanje pribora (instrumenata) i proces merenja, kao i neophodnu kvalifikaciju defektatora, i drugo. Pravilan izbor mernih sredstava, u zavisnosti od tačnosti elementa koji se kontroliše, ima veliki praktični značaj. Izbor metoda merenja bez uzimanja u obzir ovog faktora često dovodi do neželjenih rezultata. Pri izboru metoda i sredstava merenja neophodno je odrediti dozvoljenu grešku merenja, i grešku koja može biti dobijena primenom odgovarajućih sredstava.

Tehnički zasnovana razrada normativa granično dopuštenog habanja i optimalnog vremena rada mašinskih elemenata i sklopova može biti ostvarena pri velikom broju merenja. Rezultati ovih merenja moraju biti pouzdani i komparativni.

Provera hrapavosti površina može se izvesti pomoću kontrolne pločice — bojenjem kontrolne ploče, kontrolnog lenjira i mernih listića. Pri određivanju hrapavosti pomoću pločice i boje kontrolna pločica se premaže tankim slojem boje, i na nju se postavi kontrolisani element, tako da se površina koja se proverava okrene ka boji i nekoliko puta pomeri po pločici. Prema broju mrlja boje, koje su ostale na ispitivanoj površini elementa, ocenjuje se njena hrapavost; što je više mrlja (tragova boje) kvalitet površine je bolji. Veličina oštećenja u apsolutnim merama na taj način ne može biti određena. Merenje veličine oštećenja obavlja se tako što se na proveravanu površinu postavi kontrolni lenjir, a mernim listićima se meri zazor. Za tačnije merenje veličine zazora kontrola se obavlja pomoću kompleta mernih listića. Ukoliko se primenjuje lenjir

duži od 1 m neophodno je uzeti u obzir ugib lenjira pod dejstvom sopstvene težine. Radi smanjenja ugiba lenjir se postavlja tako da njegovi krajevi prelaze oslonce za veličinu koja iznosi 0,233 od ukupne dužine lenjira. Pri svakom postavljanju lenjira meri se površina u jednom smeru. Pri proveru hrapavosti velike površine operacija se ponavlja nekoliko puta sa postavljanjem lenjira u raznim smerovima.

Pri proveru radnih površina nekih mašinskih elemenata, lenjir se postavlja kao što je prikazano na slici 6a. Strelicama su pokazana mesta merenja zazora između lenjira i površine pomoću mernih listića. U nekim slučajevima takve površine se proveravaju pomoću indikatora (komparatora). Pipak komparatora postavlja se na kontrolisanu površinu elementa, koji se okreće. Prema položaju strelice određuje se odstupanje od zadate veličine (slika 6b).

Sl. 6 — Provera hrapavosti površine
a — lenjirom, b — komparatorom

Paralelnost površine proverava se komparatorom, tako što se jedna površina dovede u paralelan položaj sa površinom kontrolne ploče, a paralelnost druge se proverava pomoću komparatora.

Udaljenost između zidova meri se mikrometrom ili pomičnim merilom pomoću kalibara i specijalnih klino-va. Ovde se, prvenstveno, misli na proveru udaljenosti otvora u materijalu.

Saosnost, odnosno poklapanje osa, proverava se kada se osa jednog elementa mora nastavljati na osu drugog, sa kojim je u funkcionalnoj vezi. Provera saosnosti vrši se postavljanjem elemenata u prizme (čime se za bazu uzimaju spoljni cilindri), dok se komparator oslanja na unutrašnju površinu. Razlika između najvećeg i najmanjeg pokazivanja komparatora, za pun ugao obrtanja elementa, odgovara dvostrukom rastojanju osa spoljnog i unutrašnjeg cilindra.

Upravnost je određena pravim uglom između osa dva elementa. Proverava se normalnim ugaonikom od 90° , ili ubacivanjem posrednih elemenata u defektirane otvore i kontrolom pomoću komparatora.

Kod obrtnih elemenata uglavnom se proveravaju odstupanja od cilindričnosti, kao što su: ovalnost poprečnog preseka, ispupčenost, ugnutost, sedlastost, izvijenost i konusnost u osnim presecima elemenata. Prilikom ove provere obrtni elementi se postavljaju između šiljaka, a na defektiranu površinu oslanja se pipak komparatora.

Za određivanje tačne veličine habanja mašinskih elemenata i raspodele habanja na površinama trenja, koristi se metod veštačkih baza. Prvo se na površinu, čije habanje se kontroliše, urežu udubljenja tačnog geometrijskog oblika i tačnih dimenzija, pa se posle određenog broja radnih časova mere dimenzije tih udubljenja. Najčešće se meri dubina udubljenja. Na osnovu razlika mera određuje se veličina habanja površine na mestu udubljenja.

Pribori, koji se nazivaju makroprofilografima, zasnovani na principu polužnih, optičkih i elektronskih pojačivačkih mehanizama, omogućavaju dobijanje potpunije slike o makrogeometriji površina, a i cilindričnosti površina. Pored defektacije oni se primenjuju i za kontrolu kvaliteta površinske obrade.

Pri defektaciji veoma se često proveravaju mehaničke karakteristike mašinskih elemenata. Najviše se primenjuje merenje tvrdoće, pri čemu se koriste statički (po Rokvelu, Brinelu, Vickersu, Gercu, Auzbahu) i dinamički (udarnog otiska, po mineraloškoj skali i po Martensu) metodi.

Zaključak

Defektacija mašinskih elemenata, sklopova i mehanizama veoma je važna aktivnost u remontu mašinskog sistema. Samo pravilno i potpuno defektirani mašinski elementi i sklopovi, i mere sprovedene na osnovu rezultata defektacije, mogu obezbediti ispravnu i pouzdanu eksploataciju remontovanih mašinskih sistema.

Defektacija obuhvata niz tehnoloških operacija koje se izvode po tačno određenom redosledu i sa potrebnom opremom i mernim sredstvima.

Za otkrivanje curenja usled postojanja pukotina i šupljina koriste se hidraulički i pneumatski metodi. Pomoću vibroakustičnog metoda proverava se pravilnost sprežanja, ispravnost sklapanja i funkcije obrtnih elemenata, ekscentričnost, labavost veza i slično. Procena stanja površina, konstrukcije, izolacije, zadori, rupe, uvijenost, savijenost, narušenost kvaliteta obrade radnih površina, krunjenje zubaca zupčanika, žlebova i navoja obavlja se vizuelnim metodom. Procena unutrašnjeg stanja mašinskih elemenata i sistema obavlja se endoskopskim metodom. Magnetnim metodom otkrivaju se površinska oštećenja, pukotine i nemetalni uključci feromagnetnih materijala. Luminiscentnim metodom (penetracijom boje) otkrivaju se položaj i dubina površinskih pukotina. Za otkrivanje dubinskih pukotina i unutrašnjih šupljina, lunkera, nemetalnih uključaka, korozije, taloga, skrame i proveru kvaliteta zavarenih spojeva ko-

riste se radioskopski (rendgenografija, gamagrafija i jonizacija) i ultrazvučni (impulsni eho i metod zvučne senke) metodi. Električni metod koristi se za otkrivanje pukotina, šupljina i nemetalnih uključaka na elementima većih dimenzija. Za određivanje pravilnosti geometrijskih oblika, odstupanja dimenzija, veličine habanja i sta-

nja mehaničkih karakteristika (merenjem tvrdoće) mašinskih elemenata primenjuje se defektacija tehničkim merenjima.

Na osnovu rezultata defektacije donosi se odluka o tome da li je mašinski element ispravan, da li zahteva opravku ili regeneraciju, ili se odbacuje.

Literatura:

- [1] Adamović, Ž.: Tehnička dijagnostika u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [2] Alatničar, stručno informativni časopis, broj 6, Čačak, 1987.
- [3] Arhangorodskij, L. A., Tartakovskij, M. A., Jacevič, V. A.: Remont i montaž oborudovanja predprijetij po hraneniju i prerabotke zerna, Kolos, Moskva, 1967.
- [4] Ašeko, S. M., Klauz, P. L., Sokolov, K. A.: Remont stroiteljnih, putevih i pogruzočno-razgružočnih mašin, Transport, Moskva, 1968.
- [5] Banatov, P. S.: Iznos i povišenje dugovečnosti gornih mašin, Nedra, Moskva, 1970.
- [6] Elizavetin, M. A.: Povišenje nadežnosti mašin, Mašinostrojenje, Moskva, 1973.
- [7] Elizavetin, M. A., Satelj, E. A.: Tehnologičeskiye sposobi povišenija dugovečnosti mašin, Mašinostrojenje, Moskva, 1969.
- [8] Kamberović, B.: Postupci ispitivanja — kontrole bez razaranja i proveru geometrijske i radne tačnosti, LESI — seminar: Pouzdanost i dijagnostika industrijskih sistema, Čačak, 1991.
- [9] Koh, P. I.: Remont eskavatorov, Nedra, Moskva, 1967.
- [10] Kuzmin, R. V.: Defektacija sudovih mehanizmov, Transport, Moskva, 1967.
- [11] Nantaev, G. G.: Tehničeskoje obsluživanje i remont avtomobiljnih kranov, Transport, Moskva, 1966.
- [12] Nikolić, S.: Tehnička kontrola proizvoda, Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad — Beograd, 1989.
- [13] Paunić, Ž.: Tehnička kontrola, Viša tehnička škola, Novi Sad, 1971.
- [14] Petrov, J. N. i dr.: Osnovi remonta mašin, Kolos, Moskva, 1972.
- [15] Forrest, P. G.: Fatigue of metals, Pergamon press, Oxford-London-New York-Paris, 1962.