Dr Vladimir Vujičić,
pukovnik, dipl. inž.

ODVLAŽIVANJE KAO POSTUPAK ZAŠTITE OD ATMOSFERSKE KOROZIJE

U radu je opisana atmosferska korozija metala i najnoviji postupci koji se primenjuju za sprečavanje njenog delovanja. Za zaštitu od atmosferske korozije sve više se primenjuju postupci pomoću kojih se vrši sušenje vazduha unutar hermetičkog pakovanja ili prostora. Time se eliminiše vlaga koja predstavlja osnovni faktor atmosferske korozije.

Uvod

U mirnodopskim uslovima vojna oprema se nalazi pretežni deo svog veka trajanja van upotrebe, uskladištena u različitim skladišnim uslovima. Za to vreme ona mora biti zaštićena od štetnog delovanja uzročnika korozije. Pri tome se, prvenstveno, misli na opremu koja je izrađena od metala, gde oštećenja od korozije mogu prouzrokovati smetnje u funkciji opreme.

Zaštita opreme za vreme skladištenja vrši se postukom koji se naziva privremena zaštita ili konzervacija. Pri zaštiti je potrebno zadovoljiti tehnički i taktički zahtev konzervacije. Tehničkim zahtevom osigurava se zaštita od korozije, a taktičkim sposobnost konzervisanog sredstva za momentalnu upotrebu. Kod klasičnog načina zaštite zaštitnim uljima, mastima i solventima zadovoljen je prvi uslov, iako ne uvek u potpunosti. Drugi zahtev, takođe, u većini slučajeva nije u potpunosti ispunjen, jer je potrebno određeno vreme da se konzervisana oprema dovede u stanje za upotrebu.

Napredak u usavršavanju konzervacije postignut je primenom isparljivih inhibitora i odvlaživača, koji omogućuju dugotrajniju konzervaciju i trenutnu dekonzervaciju (1). Međutim, osnovni nedostatak primene isparljivih inhibitora jeste što se ne mogu prime-

niti za zaštitu raznovrsnih metala i materijala uopšte. Nadalje, inhibitori korozije ne eliminišu vlagu koja je glavni uzročnik korozije metala i destrukcije nekih organskih materijala.

Uklanjanje vlage postiže se pomoću odvlaživača, koji se postavljaju unutar nekog hermetičnog prostora gde stvaraju mikroklimu koja usporava ili potpuno zaustavlja koroziju metala i destrukciju organskih materijala. Odvlaživači ne tretiraju opremu, već okolinu atmosferu. Oprema se može držati konzervisana u eksploatacionom stanju, čime su usklađeni navedeni kontradiktorni zahtevi konzervacije.

Atmosferska korozija

Pri transportu i skladištenju metalni predmeti izloženi su koroziji u većoj ili manjoj meri, što zavisi od metala od kojeg je predmet izrađen, njegove primarne zaštite, njegove sklonosti prema elektrohemijskoj koroziji i agresivnosti sredine u kojoj se predmet nalazi. Atmosferski uslovi pri tom imaju važnu ulogu, a naročito vlažnost i zagađenost atmosfere. Vlaga se iz vazduha adsorbuje na površini metala, te tako stvara elektrolit koji omogućuje rad mikro i makrokorozionih spregova. Debljina sloja vlage zavisi od velikog broja faktora, od kojih su najvažniji

relativna vlažnost, temperatura i stanje površine metala. Pri manjim vlažnostima slojevi vode su tanji i čvrsto vezani za površinu metala. Ta veza slabi sa povećanjem debljine sloja vlage. Vлага se može uočiti jedino pri orošavanju, kada se na površini nalazi preko 90 monomolekularnih slojeva vode.

Uticaj relativne vlažnosti na brzinu korozije gvožđa prikazan je na slici 1. Vidljivo je da korozije nema u uslovima kada je vrednost relativne vlažnosti ispod 30%. Iznad te vrednosti dolazi do neznatnog, a zatim naglog povećanja brzine korozije sa povećanjem vlažnosti. Vrednost relativne vlažnosti kod koje dolazi do naglog porasta brzine korozije naziva se kritična vlažnost (2, 3, 4).

Veličina kritične vlažnosti u prvom redu zavisi od prirode metala, stanja površine, prisutnih produkata ko-

$$P_u = p_s + p_v \quad (1)$$

gde je:

p_s — parcijalni pritisak suvog vazduha,

p_v — parcijalni pritisak vodene pare.

Prema opštem zakonu o gasnom stanju:

$$pV = nRT \quad (2)$$

proizilazi da je:

$$\frac{pV}{T} = \text{konst.} \quad (3)$$

odnosno:

$$p = \frac{T}{V} \text{ konst.} \quad (4)$$

Prema tome, pri konstantnoj zapremini pritisak, odnosno količina vode-

Sl. 1 — Uticaj relativne vlažnosti vazduhu na brzinu korozije

rozije, temperature vazduha, prirode i koncentracije agensa korozije, itd. U nezagađenoj atmosferi kritična vlažnost za gvožđe iznosi oko 60% relativne vlažnosti, dok je u industrijskim sredinama i primorskom pojasu znatno niža.

U vazduhu se vodena para nalazi pod određenim pritiskom. Zbor svih parcijalnih pritisaka daje ukupan pritisak (p_u) smeše:

ne pare, jedino zavisi od temperature, što se može videti iz dijagrama koji pokazuje zavisnost količine vodene pare od temperature, slika 2.

Temperatura, odnosno temperaturne promene, važan je faktor atmosferske korozije. Sa povećanjem temperature vazduha povećava se brzina korozije. Temperaturne promene prouzrokuju kondenzaciju vodene pare ili su-

šenje površine metala. Sve dok je temperatura metala niža od temperature vazduha odvijae se kondenzacija vode-

U prvom slučaju vlažnost vazduha može se smanjiti hlađenjem do temperature ispod tačke rose vazduha (linija

Sl. 2 — Zavisnost količine vodene pare od temperature vazduha

ne pare. U protivnom, kada je temperatura metala veća od temperature vazduha, doći će do smanjenja debljine sloja vlage.

Odvlaživanje

Radi zaštite od atmosferske korozije tehnička materijalna sredstva se postavljaju u hermetičnu ambalažu (navlake od plastičnih folija, metalne i plastične kutije, kontejneri, itd.) ili u zidane i druge objekte koji se određenom doradom mogu učiniti hermetičnim. U takvim prostorima vlaga se može smanjiti:

- hlađenjem,
- zagrevanjem,
- odvlaživanjem.

AC, slika 2). Pri tome se višak vlage kondenzuje u obliku tečnosti, inja ili leda. Radi održavanja određene vlažnosti višak vlage se mora stalno odvoditi, a suvi vazduh ubacivati u prostorije u kojima se skladišti oprema. U većini slučajeva rashlađeni vazduh se ponovo zagreva do postizanja željene temperature i relativne vlažnosti.

Ovaj postupak je starijeg datuma i veoma neekonomičan za primenu pri temperaturama nižim od 18°C. Postupak je našao primenu jedino u sistemima komforne klimatizacije.

U drugom slučaju smanjena relativna vlažnost u nekom sistemu može se postići zagrevanjem vazduha do određene temperature, prava AB, slika 2. To se postiže propuštanjem kroz sistem zagrejanog suvog vazduha. Pri to-

me, mora se paziti da svi delovi sistema budu zagrejani na temperaturu iznad rosišta isisnog vazduha, čime se izbegava lokalna kondenzacija vodene pare iz vazduha. Zbog velike potrošnje električne energije i ova metoda ima ograničenu primenu.

Za smanjenje vlažnosti u zatvorenim sistemima najveću primenu imaju sušaći koji rade sa čvrstim apsorben-tima. Oni mogu vršiti statičko i dinamičko odvlaživanje.

Statičko odvlaživanje

Čvrsti apsorberi su poznati pod nazivom odvlaživači. To su materije koje se odlikuju visokom higroskopnošću, tj. visokom sposobnošću upijanja vode, odnosno vodene pare. Upijajući vlagu iz hermetične sredine, odvlaživači smanjuju relativnu vlažnost te sredine na vrednost pri kojoj ne dolazi do korozije.

Odvlaživači su zrnaste materije, pravilnog ili nepravilnog oblika. Karakteriše ih veoma velika poroznost, tako da njihova aktivna površina može da iznosi i preko 400 m²/g.

Odvlaživači imaju veliku sposobnost upijanja vlage i veoma povoljne fizičko-hemijske karakteristike koje omogućuju da se više puta mogu regenerisati i primeniti (4). U uslovima 100%-tne relativne vlažnosti odvlaživači mogu upiti preko 40% vlage od svoje mase, dok je pri nižim relativnim vlažnostima sposobnost upijanja manja.

Sposobnost odvlaživača da upija vlagu određuje se merenjem mase suvog odvlaživača i njegove mase nakon nekoliko (najmanje četiri) dana izlaganja vlažnoj atmosferi. Sposobnost upijanja (SU) izračunava se prema formuli:

$$SU = \frac{A - B}{B} 100 \quad (4)$$

gde je:

A — masa vlažnog odvlaživača,

B — masa suvog odvlaživača.

Regeneracija odvlaživača vrši se u etažnim električnim pećima, koje su obezbeđene termostatom za regulisanje temperature sušenja. Temperaturu i način sušenja odvlaživača propisuje proizvođač. Temperatura sušenja ne sme biti veća od propisane, jer tada odvlaživač trpi promene zbog kojih postaje neupotrebljiv.

Nakon sušenja odvlaživači se hlade i do upotrebe čuvaju u hermetički zatvorenim posudama.

Odvlaživači se mogu regenerisati nekoliko puta. Broj mogućih regeneracija zavisi od kvaliteta konkretnog odvlaživača. Radi sigurnosti primene potrebno je povremeno izvršiti proveru sposobnosti upijanja. Odvlaživač je neupotrebljiv ako je njegova sposobnost upijanja manja od 22% u uslovima 100%-tne vlažnosti.

Za upotrebu odvlaživači se pakuju u platnene vrećice takvih dimenzija da u njih može stati 50, 100, 250, 500 grama ili nekoliko kilograma osušenog odvlaživača. Ovako pakovani odvlaživač predstavlja jedinično pakovanje koje se naziva patrona za sušenje.

Platno za izradu patrona za sušenje je takvih karakteristika da omogućuje regeneraciju odvlaživača i u obliku patrona. Pakovanje odvlaživača u vrećice vrši se pri relativnoj vlažnosti manjoj od 50%.

Svrha odvlaživača je da za unapred određeno vreme održava relativnu vlažnost ispod vrednosti kod koje ne dolazi do korozije. Da bi to bilo ispunjeno, odvlaživač treba da adsorbuje vlagu koja će se nalaziti u pakovanju u trenutku zatvaranja, vlagu koja prolazi kroz materijal kojim je izvršena hermetizacija i vlagu iz materijala za jastučenje ili ispunu.

Količina odvlaživača koju je potrebno staviti u neki hermetički prostor radi zaštite tehničkih materijalnih sredstava određuje se na osnovu:

— koeficijenta za propustljivost vodene pare materijala za hermetizaciju;

— površine materijala za hermetizaciju;

— ukupne zapremine hermetičnog prostora;

— higroskopnosti materijala za ispunu;

— vremena trajanja zaštite;

— količine materijala za ispunu;

— sposobnosti odvlaživača da upija vlagu.

Različiti odvlaživači imaju različitu sposobnost upijanja vlage. Zbog toga nije praktično razvijati posebne formule za proračunavanje potrebne količine silikagela. Da bi se to izbeglo, date su dve formule koje u sebi sadrže koeficijent sigurnosti.

Za pakovanja koja ne propuštaju vodenu paru (metalna i plastična ambalaža) potrebna količina silikagela izračunava se prema izrazu:

$$G = 10gV + 0,1D \quad (5)$$

gde je:

G — masa silikagela u kilogramima,

g — količina vodene pare u kg/m^3 , koja je zarobljena unutar hermetičnog pakovanja, a koja se može dobiti iz tabele : količina vodene pare pri različitim temperaturama i relativnim vlažnostima,

V — zapremina pakovanja u m^3 ,

D — masa (u kilogramima) materijala za oblaganje i popunu prostora unutar pakovanja, a koji sadrži izvesnu količinu vlage (drvo, papir, karton, i sl.).

Ako se za hermetizaciju koriste folije od plastične mase, količina odvlaživača određuje se na sledeći način:

$$G = 10KSt + 0,1D \quad (6)$$

gde je:

K — koeficijent propustljivosti folije u kg/m^2 dan,

S — površina materijala za pakovanje u m^2 ,

t — trajanje zaštite u danima.

Za praćenje stanja vlažnosti unutar hermetičnog pakovanja primenjuje se indikator vlažnosti na bazi kobalthlorida, CoCl_2 . Za ovu materiju je karakteristično da menja boju od intenzivno plave kada je suva, do crvene kada je vlažna. Prelaz od svetloplave do ružičaste boje odvija se pri 40%-tnoj relativnoj vlažnosti sredine u kojoj se indikator nalazi.

Kobalthloridom se, najčešće, impregnira bela pamučna tkanina ili beli karton. Od impregnirane tkanine — kartona izrezuju se trake veličine 30×50 mm, koje se nakon sušenja na 60°C do upotrebe čuvaju u hermetičkim posudama.

U hermetičko pakovanje indikator vlažnosti se postavlja na vidljivo mesto koje je najudaljenije od mesta gde se nalaze vrećice sa odvlaživačem. Unutar jednog pakovanja može se postaviti više indikatora vlažnosti.

Odvlaživači se upotrebljavaju za konzervaciju svih metala i materijala uopšte. Pored sprečavanja korozije, odvlaživači smanjuju mogućnost nastanka plesni, održavaju prehrambene proizvode stalno suvim, itd.

Rad sa odvlaživačima je jednostavan. Velika je prednost u tome da se lako mogu zameniti, a da se pri tom ne poremeti ili ošteti osnovna konzervacija. Zamena odvlaživača vrši se kada indikator vlažnosti pokaže crvenkastu boju.

Vreme trajanja zaštite iznosi nekoliko godina i zavisi, prvenstveno, od količine odvlaživača, uslova čuvanja i karakteristika materijala kojima je izvršena hermetizacija.

Dekonzervacija konzervisane opreme je veoma jednostavna i brza. Sa-

stoji se u otvaranju hermetičnog pakovanja i uklanjanju patrona za sušenje, indikatora vlažnosti i materijala kojim je izvršena hermetizacija.

Dinamičko odvlaživanje

Pored opisanog statičkog načina odvlaživanja, odvlaživači se mogu upotrebiti i za dinamičko odvlaživanje koje može biti kontinuirano i diskontinuirano. Prvobitna kontinuirana odvlaživanja vršena su sa dva apsorbera: dok je jedan vršio odvlaživanje, drugi je regenerisan vrućim vazduhom.

Najnovija rešenja sa područja odvlaživanja vazduha su Munters agregati, nastali kao rezultat istraživanja švedskog inženjera Carl Muntersa (5).

nom, tako da ima površinu od $3000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ mase. Vatrootporni materijal je impregniran odgovarajućim odvlaživačem. Cevasti oblik saća omogućava laminarno strujanje vazduha sa minimalnim trenjem i padom pritiska. Kod standardnih Munters agregata vazduh se kroz rotor propušta brzinom od $2,5 \text{ m/s}$.

Rotor vrši oko 7 okretaja na sat. Okretanjem »prolazi« kroz sekciju za odvlaživanje usisnog vazduha i kroz sekciju za regeneraciju odvlaživača, slika 3.

U sekciji za odvlaživanje dolazi do adsorpcije vlage, a u sekciji za regeneraciju do oslobađanja vlage iz odvlaživača. Pri tom se adsorpcioni sloj regeneriše, a vlaga se u obliku kondenzata odstranjuje u lokalnu atmosferu.

Sl. 3 — Šematski prikaz rada agregata za dinamičko odvlaživanje

Munters agregati rade sa čvrstim apsorberom. Izmena vlage vrši se u lagano rotirajućem apsorpcionom kolu koji se skraćeno naziva rotor. Rotor je napravljen od mehanički nosećeg vatrootpornog materijala koji je u obliku saća, jer se sastoji od mnoštva kanalića, koaksijalnih sa glavnom osovi-

Nakon regeneracije apsorpciona masa može ponovo preuzeti vlagu. Oba procesa — apsorpcija vlage i regeneracija odvijaju se istovremeno, čime je ostvareno kontinuirano odvlaživanje vazduha. Na taj način se u skladištu stvara odgovarajuća mikroklima, koja ima nisku relativnu vlažnost i koja onemo-

gućava odvijanje elektrohemijske korozije.

Rad agregata može se po volji automatizovati, najčešće higrostatskom metodom. Vrednost vlažnosti koja se želi održati u skladištu namesti se na posebnom higrometru, a relej automatski uključuje agregat kada vlažnost naraste iznad te vrednosti, odnosno isključuje kada vlažnost padne ispod zadane vrednosti.

Zbog ovakvih svojstava Munters agregati su našli primenu:

- u farmaceutskoj industriji, gde se zahtevaju mali postoci relativne vlage;

- u prehrambenoj industriji za skladištenje gotovih proizvoda;

- u sistemima podzemnih prostorija, galerija i skloništa radi smanjenja visoke vlažnosti;

- u armijama za održavanje TMS.

Na tržištu se mogu naći agregati različitih kapaciteta. U praksi se istovremeno može primeniti nekoliko agregata. Time se omogućuje održavanje željene relativne vlažnosti u prostorima i prostorijama od nekoliko m³ do nekoliko hiljada m³. U takvim uslovima omogućena je istovremena zaštita različite opreme. Oprema se čuva u sta-

nju za eksploataciju. Prema potrebi, oprema se može uzimati na korišćenje, nakon čega se dovodi u stanje za konzervaciju i ponovo postavlja u skladišni prostor. Zbog tih prednosti agregati su našli najveću primenu za zaštitu naoružanja i ostale vojne opreme.

Zaključak

U toku transporta i skladištenja metalni proizvodi mogu biti zaštićeni od atmosferske korozije smanjenjem relativne vlažnosti na vrednost ispod koje ne dolazi do korozije. To se postiže pomoću higroskopskih materija koje mogu vršiti statičko ili dinamičko odvlaživanje. U oba slučaja potrebno je ograničiti prostor oko tehničkog sredstva koje se zaštićuje.

Rad sa odvlaživačima je jednostavan. Oni omogućavaju jednostavno izvođenje konzervacije, dugotrajnu zaštitu i brzu dekonzervaciju.

Munters agregati omogućavaju istovremenu zaštitu raznovrsnih tehničkih materijalnih sredstava. Efikasnost zaštite je izuzetno visoka, jer nije potrebna dekonzervacija konzervisane opreme, a samim tim se borbena gotovost jedinice podiže na kvalitativno viši nivo.

Literatura:

- [1] V. Vujičić, Privremena zaštita metalnih proizvoda, VTG, 1993, 000.
- [2] K. Barton, Protection Against Atmospheric Corrosion, John Wiley and Sons, London, 1976.
- [3] P. D. Donovan, Protection of Metals from Corrosion in Storage and Transit, John Wiley and Sons, New York, 1986.

- [4] S. Mladenović, Korozija materijala, Tehnološko — metalurski fakultet, Beograd, 1978.
- [5] D. Zorović, R. Radeka, V. Vujičić, Zbirka referata sa savetovanja, Antikorozijska, Zagreb, 1976.