
4.1.3.8 Korrózióvédelem

4.1.3.8.1 A korrózió természete és formái

Szinte minden fém természetes tulajdonsága, hogy reakcióba lép a környezetével. Ennek eredménye a *korróziós termék* létrejötte, amely általában olyan anyag, amelynek vegyi összetétele közel áll ahhoz az eredeti ásványéhoz, amelyből a fémot előállították.

Atmoszférikus korrózió

A hajó építése során nagyon fontos az *atmoszférikus korrózió* elleni védelem, mind a műhelycsarnokokban, mind a sólyán. Komoly rozsdásodás indulhat meg, ahol a *levegő relatív nedvességtartalma* 70% felett van; a többnyire víz mellett levő hajógyárakban a levegő elég nedves ahhoz, hogy szinte az egész év során elősegítse az atmoszférikus korróziót. De még a nedves légkörben is komolyan befolyásolja a rozsdásodás előrehaladását a levegőben levő szennyeződések mennyisége, amelyek a füstgázokból és a tengeri sós levegőből származnak.

Korrózió a vízbemerült felületen

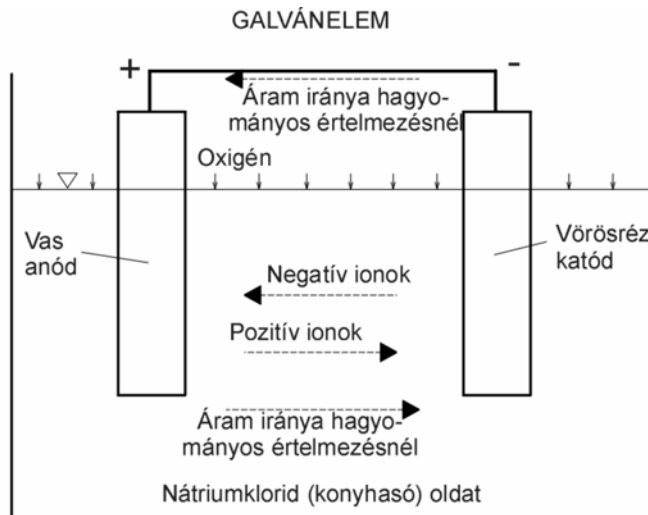
Amikor a hajó üzemben van, a fenék felülete teljesen víz alatt van, a vízvonal környéke pedig időszakosan merül be a vízbe. Normál üzemi körülmények között a hajótestnek ezt a zónáját csak úgy lehet megvédeni a túlzott mértékű korróziótól, ha a szükséges *korrózióvédelmi intézkedéseket* megteszik. Acél hajótesteknél az ilyen környezet ideális feltételeket biztosít az *elektrokémiai korrózió* kialakulásához.

A korrózió elektrokémiai természete

A fémek eredeti ásványi állapotuk visszanyerése során általában energiát szabadítanak fel. Normál szobahőmérsékleten vizes oldatokban a fématom beépülése az ásvány molekulájába úgy történik, hogy a fém oldatba megy. A folyamat során az atom egy vagy több elektront lead, ettől *ionná* válik, azaz elektromosan feltöltött atommá, miközben elektromos áramot termel (ez a leadott energia). Ez a reakció csak akkor zajlik le, ha jelen vagy egy elektronfelvő is a vizes oldatban. Ez tehát azt jelenti, hogy bármilyen *korróziós reakció* mindig elektromos árammal jár együtt, amely az egyik fémes területről folyik egy másikra egy oldaton keresztül, ahol az elektromos áramot az ionok mozgása jelenti. Az ilyen oldatot *elektrolit oldat* néven emlegetik; a tengervíz pedig nagy sótartalma miatt igen jó elektrolit oldat.

Az egyszerű korróziós elemet két különböző fém alkotja elektrolit oldatban (galvánelem) a 4.1.3.8.1.1 ábrán bemutatott módon. Később látni fogjuk, hogy nem kell feltétlenül két különböző fémnek jelen lennie. Az ábra szerint egy tiszta vaslemez és egy hasonlóan tiszta rézlemez van nátrium-klorid oldatba bemerítve, amely a felületen érintkezik az oxigénnel. Érintkezés hiányában mindegyik lemezen kicsi lesz a korrózió. Amint azonban a két lemezt kívül is összekötjük, hogy elektromos vezetőt hozunk létre, akkor már a *korrózió sebessége* a vason jelentősen megnő, a rézen azonban meg fog szűnni a korrózió teljesen. A vas *elektróda*, ahonnan az elektronok elvándorolnak, és amely így a hagyományos értelemben vett áramirányt jelenti, az *anód*. Ezen az elektródán zajlik le normális esetben az *oxidáció* illetve korrózió. A rézelektróda, amelyre az elektronok odavándorolnak, és ahonnan a hagyományos értelemben vett

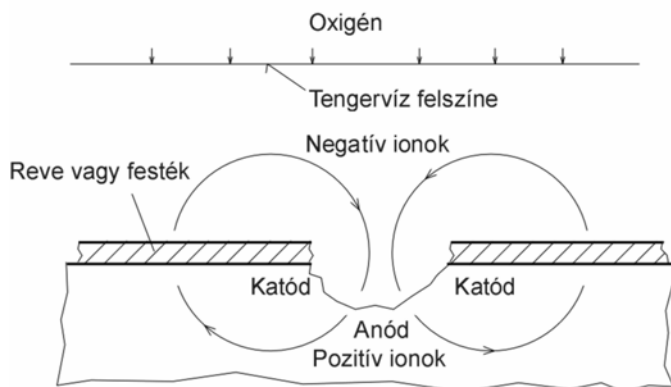
áram elindul, a *katód*, ahol semmilyen korrózió nem történik. Az elektrolit oldaton át az áram útja a *negatív ionok áramlása az anódra és pozitív ionok áramlása a katódra*. Elektrokémiai korrózió vizes oldatokban bármilyen anód-katód területen előfordul, ahol oldat van jelen, akár különböző *potenciállal* rendelkező fémek vannak a környezetben, akár azért eltérő a potenciáljuk, mert a fémfelületen fizikai különbségek vannak. Az utóbbira jó példa a töredezett hengerlési revével borított acéllemez tengervízben (4.1.3.8.1.1 ábra), illetve a *korróziós áram*, amely egy megfelelően lefestett lemez és a hibásan festett lemez között folyik.



4.1.3.8.1.1 ábra Korróziós elem

Az atmoszférikus korrózióval és az oldatba merült felület korróziójánál egyaránt fontos szerepe van az oxigénnek és az elektrolitnak. A levegőnek szabadon kitett lemezek rengeteg oxigénnel érintkeznek, de nincs nedvesség, így emiatt a nedvesség jelenléte lesz a döntő tényező. A teljes bemeztetés viszonyai között a döntő tényező az oxigén jelenléte.

HENGERLÉSI REVE VAGY FESTÉKFILM REPEDÉSEINÉL LÉTREJÖVŐ KORRÓZIÓS ELEM LEMEZFELÜLETEN



Bimetálos (galvanikus) korrózió

Bár minden korrózió alapvetően galvanikus folyamat, a 'galvanikus korrózió' elnevezést általában akkor használják, amikor két különböző fém alkotja a *korróziós elemet*. Számos korróziós probléma a hajókon abból ered, hogy különböző potenciállal rendelkező fém-alkatrészeket építenek össze, amelyek az

üzemi körülmények között korróziós elemet alakítanak ki. A fémek és ötvözetek tengervízben tapasztalható korróziós hajlama nagyon sok kiterjedt vizsgálat tárgya volt, aminek eredményeként a tengervízbe merített fémekre és ötvözetekre *galvanikus sorozatokat* nyertek. A tengervízben érvényes tipikus galvanikus sorozatok a 4.1.3.8.1.1 táblázatban vannak összefoglalva. A fémek helye a táblázatban kizárólag tengervíz-környezetben érvényes; amikor pedig a fémek csoportosítva vannak, azoknak nincs erős hajlamuk arra, hogy egymással párt alkossanak. Egyes fémek azért jelennek meg kétszer, mivel rendelkezhetnek *passzív és aktív állapottal* is. A fémre akkor mondjuk, hogy passzív, amikor felülete elektrolit oldatnak van kitéve, és a várt reakció nem

következik be, a fém nem mutatja a korrózió jeleit. Abban általános az egyetértés, hogy a passzíválódás oka a fém felületén kialakuló elektromos védelem, általában *fémoxid film* alakjában. Ez a vékony védőfilm akkor jön létre, amely együtt jár a fém általános potenciáljának megváltozásával, amikor az átfolyó áram erőssége túllép egy adott kritikus áramerősséget a helyi korróziós elem anódjának fémfelületén.

A leggyakoribb bimetál korróziós probléma hajótestek esetében az, amelyet a lágyacél héjlemez és a bronzból vagy nikkeltötvözetből készült hajócsavar okoz. A vízvonaltól feletti előforduló problémák oka olyan szerelvények beépítése, amelyek anyaga bronz vagy alumínium ötvözet. Ahol alumínium felépítményeket alakítanak ki, annak csatlakoztatása az acél hajótesthez, illetve az acél szerelvények felszerelése a felépítményre érdemel külön figyelmet. Ez az utóbbi probléma megoldható, ha a két fém egymástól el van szigetelve és a víz bejutása meg van akadályozva, amint azt a 4.1.3.8.1.2 ábra mutatja. További fejlesztés ezen a téren a robbantott kötésű alumínium/acél csatlakozások alkalmazása, amely szintén az ábrán látható. Ezek a csatlakozások semmilyen apró rést sem tartalmaznak, a szabadon maradó alumínium és acél felületet a festék megfelelően védi.

4.1.3.8.1.1 táblázat

Galvanikus sorrend tengervízbe merített fémekre és ötvözetekre

Nemes (katódos vagy védett) végpont

Platina, arany

Ezüst

Titán

Rozsdamentes acél, passzív

Nikkel, passzív

Nagy szilárdságú bronzok

Vörösréz

Nikkel, aktív

Hengerlési reve

Csapágyfém (sárgaréz)

Ólom, ón

Rozsdamentes acél, aktív

Vas, acél, öntöttvas

Alumínium ötvözetek

Alumínium

Horgany

Magnézium

Közönséges (anódos vagy korrodáló) végpont

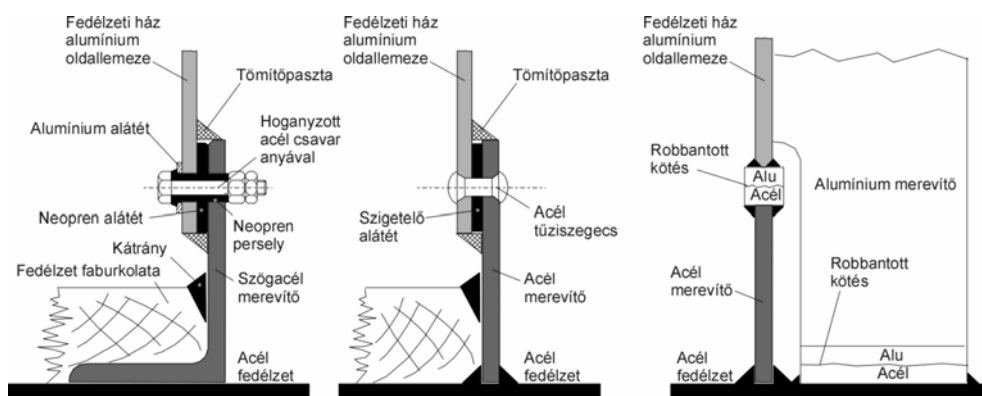
Belső feszültségekből adódó korrózió

A hajószerkezetek esetében nem ismeretlen az olyan korrózió és abból eredő szerkezeti károsodás, amely a szerkezetet terhelő feszültségekkel függ össze.

A belső feszültségek, amelyeket a *nem homogén hidegalakítás* okoz, gyakran még veszélyesebbek, mint a terhelésből eredő feszültségek. Például gyakran jelentkezik a

BBBZ-kódex

helyi korrózió a *hidegen peremezett csomólemezeknél*. Különleges esete volt a belső feszültség okozta korrózióknak a hajószerkezetekben az a korróziótípus, amely az alumínium-magnézium ötvözetű *hidegen bevert szegecs*eknél fordult elő az eljárás bevezetésekor, ahol a magnézium tartalom meghaladta a hozzávetőleg 5% értéket. Itt a korróziós folyamat azzal a *szemcseszerkezet átalakulással* függ össze, amelyet a túlzott hidegalakítás idézett elő, és amely anódos tulajdonságú az ötvözet szilárd szemcseszerkezetéhez képest. A korrózió a szemcseszerkezet-tartományok határán indul el. Ma már az alumínium/magnézium ötvözetű szegecs specifikációja korlátozza a magnéziumtartalmat.



4.1.3.8.1.2 ábra Alumínium csatlakoztatása acélhoz

Korrózió/erózió

Az *erózió* lényegében mechanikai folyamat, de előfordulhat együtt az elektrokémiai korrózióval, és a fémekben ilyenkor kétféle romlás mutatkozik. Leginkább azért, mivel amit 'kavitációs károsodás' néven ismerünk, főként elektrokémiai jelenség, de erózió indítja el. A vízben levő buborékok nekiütődnek a fémfelületnek, és ezek lokálisan eltávolítanak minden védőfilmet, ami ott lehet. Az erodált felület a körülötte levőhöz képes anódossá válik, és elindul a korrózió. Ez a fajta károsító hatás a legtöbb olyan helyen előfordulhat, ahol áramló víz van, a leginkább azonban azokon a helyeken, ahol adott paraméterek miatt turbulens áramlás képződik. Ennek különleges esetét képezik a hajótestből történő tengervíz-kifolyások, a hatást még súlyosbítja, ha melegvíz távozik. A kavitációs károsodások az olyan környezettel is összefüggésben vannak, ahol gyorsan áramló folyadék van. Az áramlásban bizonyos helyeken (ami gyakran a sebesség növekedésével függ össze, amit az áramlási keresztmetszet szűkülése idéz elő) a helyi nyomásérték az abszolút gőznyomás értéke alá csökken. Gőzbuborékok jönnek létre helyileg, vagyis olyan térfogatelemek, ahol részleges vákuum van, amikor azonban a nyomás megnövekszik ezeken a helyeken kívül, a gőzbuborékok összeesnek, vagyis 'berobbannak'. Ez az összeesés jelentős energia felszabadításával jár együtt, és ahol ez a fémfelület közelében történik, a felület károsodik. A károsodás *kipattogzás* jeleit mutatja, amelyről eredetileg azt hitték, hogy főként mechanikus hatás eredménye. Azt is tekintetbe kell azonban venni, hogy elektrokémiai hatás is szerepet játszik a károsodásban a kezdeti eróziót követően.

4.1.3.8.2 Korrózióvédelem

A korrózió elleni védelem két formáját vehetjük figyelembe, a katódos védelmet és védőbevonatok alkalmazását.

4.1.3.8.2.1 Katódos védelem

A korróziót csak ott lehet *katódos védelemmel* megakadályozni, ahol fémek merülnek be elektrolit oldatba. A katódos védelem alapelve az, hogy az anódos korróziós folyamatokat egy ellenkező irányú áram elnyomja. Ez a hozzáadott közvetlen elektromos áram a fémbe annak minden pontján belép, és így a helyi korróziós elemek belül az anódos fém potenciálját csökkenti, amitől az katódossá válik.

A katódos védelemnek két változata létezik, a fogyóanódos rendszer és az alkalmazott áramos rendszer.

Fogyóanódos rendszerek

A *fogyóanódok* olyan fémek vagy ötvözetek, amelyeket a hajótestre erősítenek, és amelyek anódosabbak, vagyis kevésbé nemesek potenciál szempontjából, mint az acél, ha tengervízbe vannak merítve. Ezek az anódok szolgáltatják a katódos védőáramot, eközben azonban elhasználódnak, és így ki kell őket cserélni a védelem fenntartása érdekében.

Ezt a rendszert már sok éve alkalmazzák, általános gyakorlat a horganylemezek elhelyezése bronz hajócsavarok és egyéb víz alatti szerelvények közelében. Kezdetben a horgany anódok nem hoztak mindig jó eredményt, mivel nem a megfelelő horganyötvözeteket használták. A korszerű anódok ötvözetének alapját a horgany, alumínium vagy magnézium képezi, ezek már sok teszten estek át a használhatóságot illetően; nagy tisztaságú horgany anódokat is alkalmaznak. Több gyakorlati szempont mellett a költség dönti el, melyik típust helyezik el.

Fogyóanódokat a hajótesten belül is el lehet helyezni, gyakran használják a ballaszttankokban. Ugyanakkor azonban magnézium anódokat az olajszállító tankhajók rakomány és ballaszt szállítására egyaránt használt tankjaiban nem használnak az úgy nevezett 'szikraveszély' miatt. Ha véletlenül valamelyik anód leesik és beleütközik a tank szerkezetébe, amikor a teret gyúlékony gáz tölti ki, robbanás következhet be.

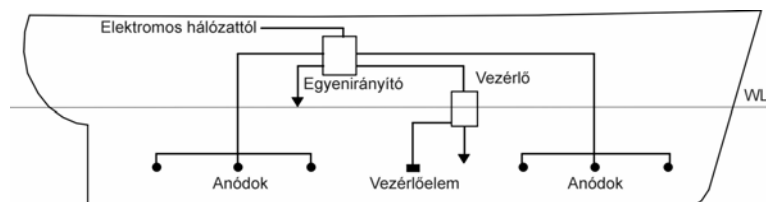
Alumínium anódrendszereket lehet alkalmazni tankhajókon, feltéve, hogy csak olyan helyekre kerülnek, ahol a potenciális energia kisebb, mint 280 J.

Alkalmazott áramos rendszerek

Ezeket a rendszereket kizárólag a vízbemerült külső héj védelmére lehet használni. A rendszerek elve az, hogy feszültségkülönbséget tartanak fenn a héjlemez és a felszerelt anódok között, amely védi a héjlemezt a korrózió ellen, azonban az áramtakarékosság miatt nem védi túlzott mértékben. Megszokott üzemi körülmények között a potenciálkülönbség fenntartását egy külsőleg felszerelt ezüst/ezüstklorid vezérlőelem biztosítja, amely állandóan méri a feszültségkülönbséget saját maga és a héjlemez között. A mikro-voltokban mérhető feszültséget erősítő segítségével felerősítik, amelyet

BBBZ-kódex

az összevet az előre beállított védőpotenciál értékével, és azt tartja fenn. A vezérlő elemtől jövő erősített egyenáramú jel alapján egy készülék a hajó elektromos rendszerének felhasználásával nagyobb áramerősséget biztosít, amelyet a héjlemezen levő anódokhoz táplál. Az elektromos hálózatról nyert váltakozó áramú feszültséget egyenirányítják az anódokhoz való hozzávezetés előtt. A 4.1.3.8.2.1.1 ábra ilyen rendszert mutat.



4.1.3.8.2.1.1 ábra
Alkalmazott áramos
katódos védőrendszer

Eredetileg az alkalmazott
katódok fogyó jellegűek

voltak, de a korszerű rendszerekben nem-fogyókat használnak viszonylag nemesebb fémekből; ezek között vannak ólom/ezüst és platina/palládium ötvözetek, illetőleg találhatunk platina és titán anódokat is.

Az egyik hasonló alkalmazott áramos rendszer olyan fogyóanódot használ, ami egy 45 m hosszú sima alumínium huzal, amelyet a hajó a tengeren maga után húz. A kikötőben ez nem ad védelmet.

Annak ellenére, hogy a beruházás költsége magasabb, ezek a rendszerek a tapasztalatok szerint rugalmasabbak, hosszabb élettartamúak, jelentősen csökkentik a hajótest karbantartási igényét és sokkal könnyebbek, mint a fogyóanódos rendszerek.

Gondoskodni kell a védelműkről a kikötőkben más hajók és egyéb nem védett acélszerkezetek közelében.

4.1.3.8.2.2 Festékek

A festék *pigment-anyagot* tartalmaz, amelyet folyadékban oldanak fel, amelyet általában 'hordozó' néven említenek. Amikor vékony rétegben el van terítve, a hordozó idővel megváltozik és tartós filmet képez. A száradási folyamat a következő eljárások valamelyikével érhető el.

- Amikor a hordozó *illékony oldószerben oldott szilárd gyantás anyagot* tartalmaz, az oldószer a festék felhordása után elpárolog, és száraz filmet hagy hátra.
- Az olyan folyadékok, mint pl. a lenolaj, amennyiben az van a hordozóban, úgy képes száraz festékfilmet létrehozni, hogy a környező *levegővel kémiai reakcióba lép*.
- Az is előfordul, hogy vegyi folyamat játszódik le a hordozó alkotóelemei között a felhordás után, és így jön létre a száraz festékfilm. *Az egymással reakcióra képes alkotókat* esetleg két külön edényben tárolják (kétalkotós festékek), és felhordás előtt keverik össze. A másik megoldás olyan alkotóelemek alkalmazása, amelyek csak magasabb hőmérsékleten lépnek reakcióba, illetve a reagáló alkotóelemek oldószerrel vannak hígítva, és így a dobozban a reakció csak nagyon lassan tud végbemenni.

Az acélhoz használatos korrózió-gátló festékek a következő típusúak lehetnek:

-
- (a) *Bitumen vagy kátrány.* A kereskedelemben kaphatóak a lakkbenzinben oldott bitumen vagy kátrány oldatok. A bitument vagy kátrányt felmelegítve szintén össze lehet keverni más anyagokkal, hogy hordozó jöjjön létre.
- (b) *Olaj-alapúak.* Ezek leginkább száradó növényi olajokat tartalmaznak, mint pl. lenolaj és tungfaolaj. Az oxigénnel való természetes reakció gyorsítása szárítók hozzáadásával érhető el.
- (c) *Olajos-gyantásak.* Ezeknél a hordozó száradó olajba belekevert természetes vagy műgyantákat tartalmaz. A gyanták egy része reagálhat az olajjal, ami a hordozó gyorsabb száradását eredményezi. Más gyanták az olajjal nem lépnek reakcióba, de hőhatásra a gyanta szétterül és az olajjal filmet alkot.
- (d) *Alkid-gyantásak.* Ezek a hordozók további javulást eredményeznek a száradási időben és a száradó-olajok filmképző tulajdonságaiban. Az alkid név az alkotóelemekből adódik, az alkoholokból és a savakból. Az alkidokat nem feltétlenül olajból kell előállítani, mivel alkalmazhatóak az olajos-zsíros savak és az olajmentes savak is.
- (Megjegyzés. A (b) és (d) típusú hordozók nem használhatóak víz alatti helyre, az ilyen helyeken csak a (c) típus bizonyos fajtái megfelelőek.)
- (e) *Vegyileg ellenállóak.* Az ilyen típusú hordozók különösen ellenállóak a nehéz körülményeknek kitett helyeken. Ezekkel külön kell foglalkozni, mivel sok fontos hordozó tartozik ebbe a csoportba.
- (i) *Epoxigyanták.* Az epoxigyanták alapanyagai kőolajból és földgázból előállítható vegyszerek. Ezek a festékek igen jó adhéziós tulajdonságúak amellet, hogy önmagukban is kiválóan ellenállnak a vegyszereknek. Rugalmasságuk és szívósságuk is növelhető más gyanták hozzákeverésével. Az epoxigyanták költségesek a nem kívánt melléktermékek eltávolításának szükségessége miatt gyártásuk során, fényes felületük pedig hajlamos mattra változni, ami sok külső dekoratív felületnél alkalmatlanná teszi őket. Ezek a festékek gyakran 'kétalkotós' csomagolásban kaphatóak, ezek egyike az epoxigyanta oldat, a másik a hidegedző oldat amin vagy amid gyanta formájában, ezeket kell felhordás előtt összekeverni. Az így kapott festék viszonylag lassan szilárdul meg 10°C alatt. Az epoxigyanta festékeket nem szabad összetéveszteni az epoxiészter festékekkel, amelyek víz alatti használatra alkalmatlanok. Az epoxiészter festékeket alkid egyenértékesnek kell tekinteni, mivel a leggyakrabban epoxigyantákból és olajos-zsíros savakból készülnek.
- (ii) *Kőszénkátrány/epoxigyanta.* Ez a hordozótípus hasonló az epoxigyanta hordozóhoz azzal a kivétellel, hogy, mivel kétalkotós termék, a gyantához kőszénkátrányt is kevernek. Az ilyen típusú formula bizonyos mértékig kombinálja az epoxigyanta vegyszerállóságát a kőszénkátrány vízmentességével.
- (iii) *Klórozott gumi és izomerizált gumi.* A hordozó ebben az esetben szintetikus klórozott gumi oldatából áll, esetleg izomerizált gumiból. Az izomerizált gumit vegyi úton gyártják a természetes gumiból, ezért vegyi összetétele azzal egyezik meg, de molekuláris szerkezete különböző. Mindkét természetes gumiszármazék jól oldható számos szerves oldószerben, és így olyan hordozó

hozható létre, amelynek szilárdanyag tartalma magas. Száradásnál a film vastagsága nagyobb, mintha természetes gumit alkalmaznának. Az ilyen bevonatokkal jelentős vastagságot lehet elérni, ehhez vastagító vagy viszkozitás növelő adalékokat kell hozzáadni, hogy olyan festék jöjjön létre, amelyet sokkal vastagabb rétegekben lehet felhordani. Az ilyen típusú bevonatok különösen a savak és lúgok behatása ellen védenek.

- (iv) *Poliuretán gyanták.* Az izocianátok és a hidroxil-tartalmú vegyületek között fellépő reakció 'uretánt' termel, és ezt a reakciót arra használják, hogy polimer vegyületeket hozzanak létre, amelyekből festékréteg, szál és ragasztóanyag nyerhető. Az így kapott festékfilmek elég nagy figyelmet kaptak az utóbbi években, és mivel elég sokféle izocianát reakció létezik, egy- és kétalkotós poliuretán festékek állíthatóak elő. Ezeknek a festékeknek sok előnyös tulajdonságuk van: szívósság, keménység, fényes felület, csiszoló hatású anyagokkal szembeni ellenállás, valamint ellenállóak a vegyszerekkel és az időjárással szemben. A poliuretánokat az acéltestű hajóknál víz alatti részen nem használják, csak a felépítményeknél, stb., nagyon kedveltek azonban a jachtoknál, ahol fényes felületüket értékelik.
- (v) *PVC-gyanták.* A PVC-gyantákat olyan szerves vegyületek polimerizációjával nyerik, amelyek a vinil gyököt tartalmazzák. Ezekben a festékekben kicsi a szilárd anyag részaránya; emiatt a száraz film vékony, és több rétegben kell felhordani őket, mint a legtöbb festéket. Mivel a PVC-gyantás festékek gyenge adhézióval rendelkeznek a csupasz acél felületen, alkalmazásuk előzetesen felhordott alapozóval együtt történik. A PVC-gyantás festékek a víz alatti acél felületek védelmének a leghatékonyabb festékrendszerek közé tartoznak.
- (f) *Nagy cinktartalmú festékek.* Az olyan festékek, amelyek fémes cinket tartalmaznak pigmentként elegendő mennyiségben ahhoz, hogy biztosíthassák az elektromos vezetőképességet a megszáradt festékfilmen át az acél felülethez, képesek az acél katódos védelmére. A száraz festékfilm pigment tartalmának 90% felett kell lennie, a hordozó lehet epoxigyanta, klórozott gumi vagy hasonló oldószer.

Algásodás elleni festékek

Az *algásodás elleni festékek* olyan hordozókat tartalmaznak a pigmenteken kívül, amelyek a védelem és a szín mellett olyan anyagokkal is rendelkeznek, amelyek mérgező hatásukkal gátolják a tengeri növényi és állati élőlények elszaporodását. Az algásodás elleni hagyományos festékekben használt legismertebb mérgeanyag a réz. Ahhoz, hogy a festék hatását minél tartósabbá tegyék, a mérgező vegyületeknek lassan ki kell oldódniuk a tengervízbe. Amint tehát a kibocsátás sebessége lecsökken az alá a küszöb alá, amely még szükséges a tengeri organizmusok felrakódásának megakadályozásához, az algásodás elleni védelem már nem hatásos. A kereskedelmi hajóknál a hagyományos anyagok hatásos periódusa 12 hónap volt. Az az igény azonban, főként a nagy tankhajók tulajdonosai oldaláról, hogy csökkentsék a magas dokkolási költségeket, különleges összetételű algásodás elleni anyagok kifejlesztéséhez vezetett az 1970-es évek elején, amelyek hatásos élettartama már elérte a 24 hónapot. Ezt követően tovább folytak a fejlesztések, amelyek célja olyan szerves mérgeanyagokat tartalmazó *algagátló bevonatok* létrehozása volt, amelyek egyrészt

állandó kibocsátási sebességgel rendelkeznek, másrészt a kibocsátás sebessége függ az algásodásnak kitett időszaktól, és a festékfejlesztőknek sikerült olyan bevonatokat feltalálniuk, amelyek emellett a hajó ellenállását csökkenteni tudták sima felületükkel. Ezeket *önpolírozó algásodás elleni anyagoknak* nevezik (SPC, self polishing copolymer), amelyek élettartama arányos az alkalmazott vastagsággal, és emiatt elméletileg korlátlan, az idő folyamán pedig simábbá válnak, nem durvábbá, ezzel pedig a súrlódási ellenállást csökkentik. Bár drágábbak a hagyományos megfelelőkhöz képest, ha figyelembe vesszük azt az állítást, hogy 10 mikron (10^{-2} mm) növekedés a hajótest érdességében az üzemanyag fogyasztást 1%-kal növeli, akkor önpolírozó tulajdonságuk illetve hosszabb hatásos élettartamuk, amely akár ötéves védelmet is képes nyújtani két szárazdokkolás között, vonzóvá teszi őket a hajótulajdonosok számára.

Az első széles körben alkalmazott SPC algásodás elleni festékek előnyeit fő alkotóelemük – a tributilén vagy TBT vegyületek – tulajdonságainak lehet tulajdonítani. A TBT-k különlegesen aktívak az algásodást okozó organizmusok széles skálája ellen, emellett alkalmasak arra is, hogy vegyileg kapcsolódjanak a festérendszer akril vázához. Amikor tengervízbe merülnek, különleges vegyi reakció játszódik le, amely leválasztja a TBT-t a festék vázáról, amelynek eredménye nemcsak a TBT kontrollált kibocsátása, hanem a festékfilm kontrollált eltűnése vagy polírozása is. Sajnos kiderült, hogy a kibocsátott TBT még kis koncentrációban is, különösen zárt parti vizek esetében, káros hatással van bizonyos tengeri organizmusokra. Ez oda vezetett, hogy a TBT algásodás elleni festékek használatát betiltották szabadidő hajóknál és kisebb kereskedelmi hajóknál több fejlett országban, illetve olyan rendelkezéseket vezettek be, amelyek nagyobb hajóknál korlátozzák a TBT kibocsátását algásodás elleni festékként. 2000 márciusában az IMO Marine Environmental Protection Committee határozattervezetet nyújtott be, amely az új hajóknál a TBT algásodás elleni festékeket megtiltana 2003. január 1-től, és teljes tilalmat vezetne be 2008. január 1-től. A tervezet azóta határozattá vált. Az utóbbi évek során hatékony TBT-mentes algásodás elleni festékeket fejlesztettek ki, és ezek már a cinkalapú bevonatokkal egyenértékű teljesítményűek. Sok ezek közül az újabb festékek közül rézvegyületeket használ aktív algásodás elleni hatóanyagként, de kifejlesztettek biocidmentes termékeket is. Az utóbbi algásodás elleni festékek különösen jók az alumíniumötvözetből készült nagy sebességű hajók védelmére.

Festékekkel való védelem

Gyakran úgy gondolják, hogy minden festékréteg megelőzi az azzal bevont fémet érő korróziós hatásokat egyszerűen azért, mert kizárja a korróziós közeget, vagyis a levegőt vagy a vizet. Ez gyakran a fő, esetenként pedig az egyetlen védelem; vannak azonban olyan festékek is, amelyek annak ellenére biztosítani tudják a védelmet, hogy porózus felületet alkotnak vagy nem folyamatosak.

Például bizonyos pigmentek a festékekben akkor is védelmet nyújtanak az acélnek, ha az ki van téve egyes helyein az elemeknek. Ha gátolva vannak a reakciók a korróziós cella anódja és katódja között, amelyek a pozitív és a negatív ionokat alkotják, a védelem biztosítva van. Az ilyen típusú pigmentekre jó példa a vörös ólomoxid (mínium) és a cinksárga (cinkkromát), ahol az ólomoxid az anódos, a cinkkromát a katódos inhibitor. A másodlagos védelmi mód azoknál a lyukaknál jön létre, ahol a

festék gazdagon pigmentálódott olyan fémmel, amely az alapfémhez képes anódos. A cinkpor a kereskedelemben kapható pigment, amely ezt a feltételt kielégíti a sósvizes környezetbe kerülő acél bevonásánál. Az acél szempontjából a cinkpor a fogyóanyag. Az algásodás elleni festékek a növényi és állatok organizmusok felrakódása elleni védelmet nyújtanak, amely ellenkező esetben megnövelné a hajótest ellenállását, amely viszont nagyobb teljesítményt, ezzel együtt üzemanyagot igényel ugyanakkora sebességhez. Minél több időt tölt a hajó a tengeren, annál kevesebb a ráakodott alga; emellett azonban a működési terület és az évszakok változása is meghatározza az algásodás mértékét, és a modern algásodás elleni vegyületekkel ez a probléma ma már veszít fontosságából.

Felület előkészítés. A felület jó előkészítése lényeges a sikeres festéshez, számos esetben a festés kudarcának fő oka az anyag előzetes előkészítésének nem kellő módja. Új acél festése előtt különösen fontos, hogy minden hengerlési reve el legyen távolítva. A hengerlési reve vékony réteg vasoxid, amely az acélfelületen a lemezek és profilok meleghengerlése során alakul ki. Nemcsak a már ismertetett módon korróziós cellákat hoz létre a nem-egyenletes hengerlési reve, hanem a felületről le is tud válni, és magával viszi a felhordott festékképletet.

Az acélfelületek előkészítésének leggyakoribb módszerei festéshez az alábbiak:

- szórással történő tisztítás,
- savazás,
- lánggal történő tisztítás,
- kézzel történő előkészítés.

(a) A *szórással* történő tisztítás a felület előkészítésének leghatékonyabb módszere. A szóró-tisztítás után érdemes a felületet kefével megtisztítani és amint lehet, egy réteg alapozó festéket felhordani, mivel a fém különben nagyon gyorsan ismét rozsdásodni kezd.

A szóró-berendezések közül kettő van, amely gyakran előfordul, az egyik járókerekes berendezés, ahol a csiszolóhatású anyagot nagy sebességgel szórják a fémfelületre, a másik pedig fúvókával működik, ahol a csiszolóanyag-sugár ütközik a fémfelületnek. Az utóbbit el kell látni visszaszívó berendezéssel, különben a kiszórt csiszolóanyag és a por a légkörbe kerül, amint az gyakran előfordul a hajójavító ágazatban. A hajóépítő műhelyekben általában a járókerekes berendezéseket alkalmazzák, amelyek zárt önellátó rendszerek, és összegyűjtik a port, a tiszta csiszolóanyagot pedig újra felhasználják.

Csiszolóanyagként öntöttvas és acél őrleményt vagy acélsörétet használnak leginkább, de nem-fémes csiszolóanyagok is előfordulnak. Sok országban a homok alkalmazása tilos, mert a keletkező finom por szilikózist okozhat.

(b) A *savazás* azt jelenti, hogy a fémet savas oldatba mártják, amely általában sósavat vagy kénsavat tartalmaz, amely eltávolítja a hengerlési revét és a rozsdát a felületről. A fémet a bemeztetés után alaposan le kell öblíteni forró vízzel. Itt is fontos, hogy a kezelést alapozó réteg felhordása kövesse.

-
- (c) *Oxigén-acetilén láng alkalmazásával* a hengerlési reve és a rozsdá eltávolítható a felületről. Az eljárás teljesen nem távolítja el a revét és a rozsdát, de rossz időjárási viszonyok között hasznos, hogy a láng a lemezt megszáritja.
 - (d) A *kézi tisztítás* különféle formái drótkéfével nem túlzottan kielégítőek, és csak olyan helyen használják őket, ahol a hengerlési revét az időjárási viszonyok már fellazították, vagyis a lemez már régóta ki van téve az elemeknek.

A szóró-tisztítás a hajóépítésben a legkedvezőbb, mind a kapott eredmény, mind a gazdaságosság miatt; a savazás is jó eredményeket ad, de drága lehet és a gyártási folyamatba nem illeszkedik; a lángtisztítás nem túl eredményes; a kézi tisztítás pedig a legrosszabba eredményeket produkálja.

Ideiglenes védőfestés építés közben. Az acél, miután szóró-tisztítást kapott, még több hónapig nem kerül beépítésre a hajóba, ahol majd véglegese védelmet kap a felhordott festéktől. Célszerű az anyagot ebben az időszakban is megvédeni a rozsdásodástól, mivel a végső festékréteg akkor adja a legjobb védelmet, ha tökéletesen tiszta acélfelületre kerül.

A szórás után azonnal felhordásra kerülő előgyártási alapozó összetételének számos követelményt kell kielégítenie. Gyorsan kell száradnia, hogy néhány percen belül a lemezeket már kezelni lehessen, nem lehet mérgező, és nem okozhat a hegesztés során káros porozitást illetve hegesztés vagy vágás során nem bocsáthat ki egészségre ártalmas gázokat. Emellett kompatibilisnek kell lennie a későbbiekben felhordásra kerülő bármilyen festékekkel. Vannak ilyen összetételű festékek, pl. az epoxigyantában oldott cinkpor.

A hajók festékrendszere

A hajó bármely részén az alkalmazott festékrendszernek meg kell felelnie annak a környezetnek, amelynek a szerkezet ki lesz téve. A külső hajószerkezetek festékeit hagyományosan három zónában használhatóra osztották fel.

- (a) A vízvonal alattiak, ahol a lemezek állandóan tengervízbe vannak merülve.
- (b) A hajótest vízvonal feletti része, ahol a bemerülés átmeneti, és nagy a súrlódó igénybevétel.
- (c) A legmagasabban levő rész a hajótestből illetve a felépítmény, amely olyan atmoszférának van kitéve, amely sósvíz-permetet tartalmaz, és sérüléseket szenvedhet az áru ki- és berakodása során.

Mostanában azonban, amikor a hajófenék védelmére szívósabb festékeket használnak, a zónák közötti elkülönítés nem annyira egyértelmű, a fenék és a vízvonal körüli rész védelmére ugyanazt a rendszert alkalmazzák.

A hajótest belső felületén a legkomolyabb feladat megfelelő bevonatokat biztosítani a különféle folyékony rakomány és sós ballasztvíz tárolására szolgáló tankokban.

- (a) *Vízvonal alatti külső felület.* A hajófenék korrózió-gátló alapozó bevonatokat kap, majd ezt követi az algásodás elleni festék. Azoknál a festékeknél, amelyeket tengervízbe merült acélhoz használnak, követelmény a lúgos körülmények közötti ellenálló képesség. Ennek oka az, hogy a nátrium-klorid oldatba merített vasötvözetek, amennyiben van elegendő oxigén utánpótlásuk, korróziós cellát hoznak létre, a katódon pedig mosószóda keletkezik. Emellett a festéknek nagy

elektromos ellenállásának kell lennie, hogy korlátot tudjon szabni az acél és a tengervíz között létrejövő korróziós áram erősségének. Ezek miatt a követelmények miatt a hajóknál a vízvonal alatti zónában a nem-hajóépítő használatban acélszerkezetek alapozásához széles körben alkalmazott lenolajban oldott vörös ólomoxid nem ad kielégítő eredményeket. A hajók fenékrészéhez való korróziógátló festékek a következők: kátrányos vagy bitumenes típusok, klórozott gumi, kőszénkátrány/epoxigyanta vagy PVC-epoxigyanta. Az algásodás elleni festékeket csak a korrózió-gátló bevonatok felhordása után lehet alkalmazni, és nem szabad, hogy közvetlen kapcsolatba kerüljenek az acél hajótesttel, mivel a bennük levő mérgező alkotóelemek korróziót okozhatnak.

- (b) *Vízvonal környéke és a hajótest felső része.* A korszerű gyakorlat általában megköveteli a komplett festékrendszert a hajótest vízvonal feletti részén. Ennek alapja lehet PVC és alkid gyanta, vagy esetleg poliuretán gyanta.
- (c) *Felépítmények.* Nagyon gyakran alkalmaznak vörös ólomoxidot vagy cinksárgát tartalmazó alapozókat. Ezt követően fehér fedőfestékeket használnak zömében a felépítményekhez. Ezek rendszerint olajos-gyantás vagy alkidos festékek, amelyek alapjául 'nem-sárguló' olajok szolgálnak, a korszerű hajókon a lenolaj-alapú festékeket, amelyek a levegőnek kitéve sárgulnak, lehetőleg elkerülik.

Ahol a felépítmények anyaga alumínium, ólmot tartalmazó festékeket semmi körülmények között nem szabad használni; az alumíniumhoz általában a cinksárga festékek a megfelelőek.

Rakomány- és ballaszttankok

A hajók rakománytankjaiban komoly korrózió jöhet létre, ha mind rakomány, mind tengervíz ballaszt tárolására használják őket, illetve, ha a két út közötti időszakban hideg vagy meleg tengervízzel mossák ki őket. Ez különösen az olajszállító tankhajókra vonatkozik. Azok a tankhajók, amelyek 'fehér olajat' szállítanak, erősebben ki vannak téve az általános korrózióknak, mint a kőolajszállítók, mivel az utóbbi a tank felületére lerakja azt a védőfilmet, amely bizonyos védelmet nyújt a korrózió ellen. Viszont a hátránya ennek a folyamatnak az, hogy a kagylós (pitting) korrózió sokkal nagyobb mértékben jelentkezik amiatt, hogy a felrakódó film nem egyenletes, a tengervíz ballaszttól pedig a csupasz lemez utólag korrodálódik. Az epoxigyantás festékek alkalmazása széles körben elterjedt az ilyen tankokban, de használhatóak a PVC-gyantás és cinkben gazdag bevonatok is. A leggyakoribb festékrendszerek tengeri hajóknál a 4.1.3.8.2.2.1 táblázatban láthatóak.

4.1.3.8.2.2.1 táblázat

Tipikus festékrendszerek új tengeri hajókhoz

<i>A festék típusa</i>	<i>Rétegek száma</i>	<i>Száraz film vastagsága</i>
<i>1. Hajófenék</i>		
(a) Szórás utáni vagy állandó alapozó	1	25 mikron
(b) (i) Klórozott gumi korrózió-gátló rendszer	3	75 mikron/réteg

vagy		
(ii) PVC-kátrány korrózió-gátló rendszer	3	75 mikron/réteg
vagy		
(iii) Kátrány-epoxigyanta	2	125 mikron/réteg
(c) (i) Gazdaságos algásodás elleni	2 hajóoldal 1 lapos-fenék	50 mikron/réteg
vagy		
(ii) Átlagos algásodás elleni	2 hajóoldal 1 lapos-fenék	75 mikron/réteg
vagy		
(iii) Minőségi önpolírozó algásodás elleni	3	Függ az alábbiól: sebesség fordulóidő idő dokkolások között
<i>2. Vízvonal feletti hajótest</i>		
(a) Szokásos rendszer, alapja:		
(i) Vizálló hordozó korrózió-gátló pigment tartalommal plusz	3	50 mikron/réteg
(ii) Olajos-gyantás hordozó fényes bevonat jó mechanikai szilárdsággal	1	40 mikron
(b) Nagy teherbírású rendszer, alapja:		
(i) Kétalkotós epoxigyantás vörös oxidos alapozó plusz	1	25 mikron
(ii) Kétalkotós epoxigyantás vastag bevonat plusz	1	125 mikron
(iii) Kétalkotós epoxigyanta alapú fényes fedőfesték bevonat	2	50 mikron/réteg
<i>3. Felépítmény – külső felületek</i>		
(a) Szokásos rendszer, alapja:		
(i) Vizálló hordozó korrózió-gátló pigment tartalommal plusz	2	50 mikron/réteg
(ii) Alkidos gyanta hordozó alvázvédő plusz	1	40 mikron
(iii) Alkidos gyanta hordozó fedőréteg, fényes és szintartó	1	40 mikron
(b) Nagy teherbírású rendszer, alapja:		
(i) Kétalkotós epoxigyantás vörös oxidos alapozó plusz	1	25 mikron
(ii) Kétalkotós epoxigyantás vastag bevonat plusz	1	125 mikron
(iii) Kétalkotós poliuretán fedőfesték bevonat, mészálló, fényes és szintartó	1	40 mikron
<i>4. Száraz rakterek</i>		
(i) Vizálló hordozó korrózió-gátló pigment tartalommal plusz	2	50 mikron/réteg

BBBZ-kódex

(ii) Olajos-gyantás hordozó alumíniumpehely pigmenttel	1	25 mikron
5. <i>Tankok – kőolaj</i>		
Minőségi kétalkotós kátrány/epoxigyanta	2	125 mikron/réteg
6. <i>Tankok – termékek és vegyszerek</i>		
(i) Kétalkotós epoxigyantás oxid alapozó	1	25 mikron
(ii) Kétalkotós epoxigyantás vastag bevonat	2	125 mikron/réteg