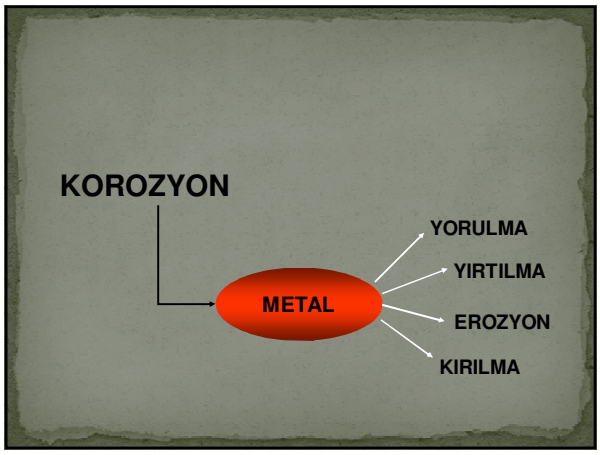
Korozyondan Korunma Yöntemleri

- *Dr. Hüsnü GERENGİ*
- *Duzce University, Kaynasli Vocational College, Corrosion Research Laboratory 81900 Kaynasli, Turkey Tel: (+90)(380)5442811 Fax: (+90)(380)5442812 E-Mail: husnugerengi@duzce.edu.tr*



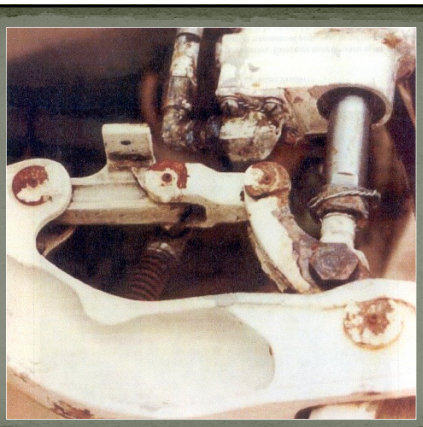
- GÖRÜNÜM
- DAYANIKLILIK
- MALZEME ÖMRÜ
- İNSAN GÜVENLİĞİ
- EMNİYET
- MALİYET

ALAŞIMLARIN KOROZYON ÖZELLİKLERİ

ALAŞIM TÜRÜ	ALAŞIMLARIN DUYARLI OLDUĞU KOROZYON TÜRÜ	ALAŞIMIN KOROZYON ÜRÜNLERİNİN GÖRÜNÜMÜ
Alüminyum alaşımlar	Oyuklaşma korozyonu Taneler arası korozyon Pullanma korozyonu Aşınma korozyonu Gerilmeli ve Yorulmalı çatlaması	Beyazdan griye değişen renkte tozlar
Düşük alaşımlı (4000/8000 serisi) çelikler	Yüzey oksitlenmesi Oyuklaşma korozyonu Taneler arası korozyon	Kırmızı-kahverengi oksit (pas)
Paslanmaz Çelikler (300-400 serisi)	Çatlama ve konsantrasyon hücresi Taneler arası korozyon (300 serisi) Tekdüze yüzey korozyonu (400 serisi)	Pürüzlü yüzey Bazen kırmızı, kahverengi veya siyah leke
Titanyum alaşımlar	Korozyona karşı oldukça dayanıklı olmakla beraber, klorlu solventlerle sürekli ve tekrar eden teması metalin yapısal özelliklerinde bozunmalara neden olur.	Düşük ısılarda korozyon ürünü görünmez, ancak 370 C 'nin üzerinde farklı renklerde oksitler oluşur.
Magnezyum alaşımlar	Oyuklaşma korozyonu	Yüzeyde beyaz toz şeklinde kara benzer kümecikler ve noktalar

ALAŞIMLARIN KOROZYON ÖZELLİKLERİ (Devamı)

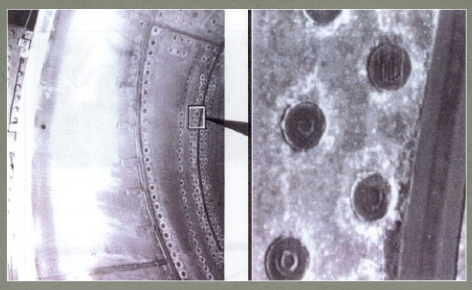
ALAŞIM TÜRÜ	ALAŞIMLARIN DUYARLI OLDUĞU KOROZYON TÜRÜ	ALAŞIMIN KOROZYON ÜRÜNLERİNİN GÖRÜNÜMÜ
Nikel Esaslı alaşımlar (Inconel/Monel)	Genellikle çok iyi korozyon direncine sahip olmalarına rağmen, deniz ikliminde oyuklaşmaya karşı duyarlıdırlar.	Yeşil toz şeklinde birikintiler
Bakır Esaslı alaşımlar (Pirinç, Bronz)	Tekdüze yüzey korozyonu Tanecikler arası korozyon	Mavi veya mavimsi yeşil toz çökelti
Krom Kaplamalar	Oyuklaşma korozyonu	Görünür korozyon ürünü yoktur; paslanma veya kalkmadan dolayı kaplamanın kabarması görülebilir.
Kadmiyum Kaplamalar (Çelik üzerinde)	Tekdüze yüzey korozyonu	Yüzeyde beyazdan kahverengi veya donuk siyah renge değişen toz çökelti



KOROZYON BÖLGELERİ

BATARYA KOMPARTIMANI

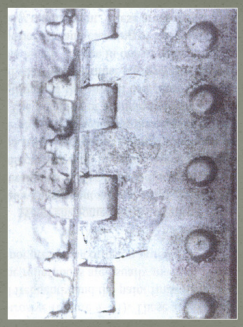
KOROZYON BÖLGELERİ



HAVA ALIKLARI

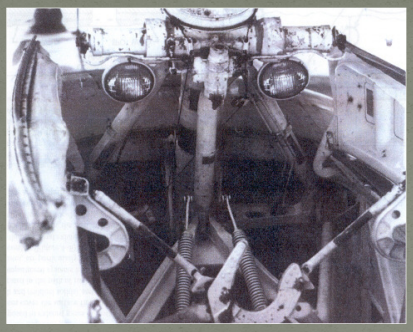
Dr.Hüsnü GERENGİ

KOROZYON BÖLGELERİ



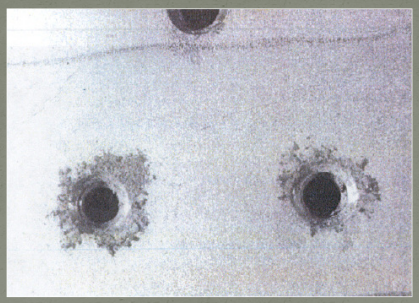
MENTEŞELER

KOROZYON BÖLGELERİ



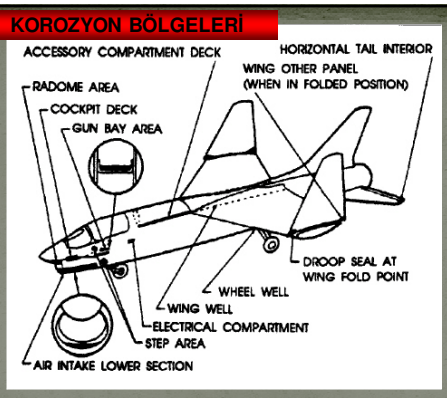
İNİŞ TAKIMLARI

KOROZYON BÖLGELERİ



GEVŞEK PERÇİN / CIVATALAR

KOROZYON BÖLGELERİ



SU TOPLANMA BÖLGELERİ

KOROZYON ÖNLEME METODLARI

- TERMODİNAMİK KORUMA
- KİNETİK KORUMA
- KİMYASAL KORUMA (METAL KAPLAMA)
- YAPISAL TASARIM
- ÇEVRESEL KONTROL
- METALURJİK TASARIM

Dr.Hüsnü GERENGİ

KOROZYON ÖNLEME METODLARI

- Rutin Bakımlar
- Kontroller
- Parçaların teknik yayınlara uygun temizlenmesi
- Yağlama
- Koruyucu Bakım

MAGNEZYUM
ÇİNKO
CLAD 7075
CLAD 2024
2024-T4
ALÜMİNYUM
ÇELİK VEYA DEMİR
DÖKME DEMİR
18-8 PASLANMAZ (A)
KURŞUN
KALAY
NİKEL (A)
INKONEL (A)
PİRİNÇ
BAKIR
BRONZ
TİTANYUM
MONEL
GÜMÜŞ
GRAFİT
ALTIN
PLATİN

- AKTİF METALLE PASİF METAL YAN YANA KULLANILDIĞINDA PASİF OLANIN YÜZEYİNDE İNDİRGENME MEYDANA GELİR VE AKTİF OLAN KOROZYONA UĞRAR.

Korozyon Ortamları

- Toprak altı, su altı, atmosferik ortam ve özel kimyasal ortamlardır.

- Endüstride ve güncel yaşamımızda korozyonun etkilediği yapıtlar.

- Toprak altında : Boru hatları, tanklar, temel kazık ayakları vb...

- Atmosferik ortam : Bütün metal ve metal alaşımlardır.

- Kimyasal ortamlar : Kimya fabrikalarındaki tanklar, Özel kimyasal malzemelerin kullanıldığı metalik yapıtlar.

Sınıflandırma:

1) Korozyona neden olan ortam açısından
- Kuru korozyon
- Islak korozyon

2) Korozyon mekanizması açısından
- Kimyasal korozyon
- Elektrokimyasal korozyon

3) Korozyona uğrayan metalin görünüşü açısından
- Üniform korozyon
- Yerel korozyon

Önemli Açıklama:

Koşullar göz önüne alınırsa en korozif ortamın çeşitli maddeler içeren sulu ortamlar olduğu görülür. Metalin bulunduğu ortamda su, yoğunlaşmış kalın yada ince nem tabakası bulunuyorsa bu ortamdaki korozyona "sulu ortam korozyonu" denir. Ortam;

- -Oksijen
- -Karbondioksit
- -H_2S
- -Amonyak
- -Asitler, bazlar ve asit tuzları
- -Oksitleyici maddeler

içerdiği zaman korozif etki artar.

Korozyondan Korunma Yöntemleri

1) Metali ortama daha dayanaklı kılmak, uygun malzeme seçimi
2) Ortamın metal üzerindeki korozif etkisini azaltmak veya değiştirmek
3) Ara yüzeye müdahale ederek "metal-ortam ilişkisini" kesmek
4) Metali başka metallerle kaplayarak veya yüzey özelliğini değiştirerek (Nikelaj, kromaj kaplamacılığı gibi)
5) Ara yüzeyin elektrokimyasal özelliğini değiştirmek, katodik veya anodik koruma

Dr.Hüsnü GERENGİ

Saf Metal Kullanımı

Çoğu uygulamalarda saf metal kullanılarak, homojen olmayan kısımlar en aza indirilir ve böylece çukurcuk (pitting) korozyonu büyük ölçüde engellenir. Dolayısıyla parçanın veya elemanın korozyona karşı direnci artırılır.

Alaşım Elementi Katma

Alaşım elementi katmak suretiyle bazı metallerin korozyon direnci artırılabilir. Örneğin, östenitik paslanmaz çelikler 88° ile 138° °C arasındaki sıcaklıklardan soğutulduğunda tane sınırlarında krom karbürler çökelir. Bu çökelme, çeliği taneler arası korozyona duyarlı hale getirir. Bu tür korozyonu önlemek için ya karbon oranını düşürmek, ya da karbürleri daha kararlı bir şekle dönüştürmek gerekir. Karbürleri daha kararlı bir duruma dönüştürmek için çeliğe titanyum ve kolombiyum katılır. Karbona karşı ilgileri yüksek olan bu elementler, yüksek sıcaklıkta ostenit fazı içinde çözünmeyen daha kararlı karbürler oluştururlar.

Bunun sonucunda, krom ile birleşmesi için çok az karbon kalır ve çelik stabilize edilmiş olur. Bazı alaşım elementleri malzemenin yüzeyinde gözeneksiz oksit filmleri oluşturarak veya oluşmasına yardım ederek malzemenin korozyon direncini arttırırlar. **Örneğin; bakır alaşımlarına katılan mangan ve alüminyum, paslanmaz çeliğe katılan molibden ve alüminyuma katılan magnezyum bu malzemelerin korozyon dirençlerini artırır.**

Isıl İşlem

Döküm parçalarının çoğunda segregasyon meydana gelir. Bu parçalara homojenizasyon, çözündürme veya stabilizasyon gibi ısıl işlemler uygulamak suretiyle iç yapıları homojen hale getirilir ve böylece korozyon dirençleri artırılır. Gerilmeli korozyona duyarlı olan metal ve alaşımların korozyon dirençlerini artırmak için de soğuk şekillendirmeden sonra gerilme giderme işlemleri yaygın olarak uygulanır.

Segregasyon: ?

Uygun Tasarım

Parçanın korozyon ortamıyla temasını en aza indirmek için uygun tasarım yapılmalıdır. Elektromotif seride birbirine uzak olan elementler arasında temastan kaçınılmalıdır. Eğer bu başarılamazsa, galvanik korozyonu önlemek için plastik veya kauçuk kullanılarak metal malzemelerin teması önlenmelidir. Alüminyum, çeliğe göre daha anot olduğundan çelik levhaları birleştirmek için kullanılan alüminyum perçinlerin korozyona uğramaları beklenebilir.

Eğer alüminyum levhaları birleştirmek için çelik perçinler kullanılırsa, alüminyum levhada oluşan galvanik korozyon perçinlerin gevşemesine veya işlevini yapamaz hale gelmesine neden olabilir. Metal levhalarla perçin ve cıvatanın temas ta olduğu bölgeyi, yumuşak ve yalıtkan bir malzeme ile ayırarak teması önlemek veya temas eden yüzeylere önce çinko kromat daha sonra alüminyum boya sürmek suretiyle bu tür korozyon önlenebilir. Cıvata gibi birleştiricilerin temas noktaları plastik veya metal olmayan manşon (bilezik), pul ve sızdırmazlık rondelaları gibi parçalar ile yalıtılabilir.

KATODİK KORUMA

Dr.Hüsnü GERENGİ

Korozyon Önleyicisi (İnhibitör) Kullanımı

Korozyon önleyicileri, korozif etkiyi azaltmak veya önlemek için korozyon ortamına katılan maddelerdir. Bu maddeler çoğu durumlarda metal yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak korozyonu önlerler. Otomobil radyatörlerinde kullanılan antifiriz karışımının içine veya ısıtma sisteminde kullanılan suyun içerisine inhibitör katılır. Örneğin; korozyon ortamına oksit yapıcı maddeler katılarak alüminyum, krom ve mangan gibi metallerin yüzeylerinde oksit filmleri oluşturulur ve böylece bu metallerin korozyondan korunması sağlanır.

Yüzey kaplamaları; metal kaplamalar ve metal olmayan kaplamalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Yüzey Kaplama

Metal Kaplamalar

Metal kaplamalar sıcak daldırma, elektrokaplama, difüzyon ve mekanik kaplama gibi yöntemlerle yapılır. Pratikte korozyona karşı en çok çinko ya da alüminyum kaplama kullanılır. Sıvı metale daldırma yöntemi, esas olarak çeliğin çinko, kalay, kadmiyum, alüminyum veya kurşun ile kaplanması için uygulanır ve bu yöntemin çok geniş uygulama alanı vardır.

Galvanizasyon olarak bilinen çinko kaplama, daha çok çelik malzemelere uygulanır. Atmosfere açık ortamda kullanılan çatı malzemeleri, levhalar, tel ve tel ürünleri, çelik sacdan üretilen malzemeler, borular, buhar kazanları ve yapı çelikleri genelde çinko kaplanır. Çeliğin ısıya ve korozyona karşı dayanımını artırmak için de alüminyum kaplama kullanılır. Çinko kaplama yerine bazen kadmiyum kaplama kullanılır, ancak bu kaplama atmosfere açık ortamlarda çinko kaplama kadar iyi sonuç vermez. Bazı makine parçalarının veya çeşitli aletlerin korozyon ve aşınma dirençlerini artırmak ve görünümünü iyileştirmek için de krom kaplama yapılır. Krom kaplama daha çok otomobil parçalarına, su tesisatlarına, metal eşyalara ve çeşitli aletlere uygulanır. Nikel kaplamalar esas olarak krom, gümüş, altın ve rodyum kaplamaların altında bir tabaka olarak kullanılır. Nikel korozyona karşı dayanıklıdır, ancak atmosferden etkilenerek matlaşır. Bakır kaplama, özellikle çinko esaslı dökümlerde, nikel ve krom kaplamaların altında kullanılır.

Dr.Hüsnü GERENGİ

Metal Olmayan Kaplamalar

Boya ve organik maddeler içeren metal olmayan diğer kaplamalar, esas olarak parça yüzeylerinin korunması ve görünümlerinin iyileştirilmesi için kullanılır. Boya, malzeme yüzeyinde koruyucu bir film oluşturur ve bu film çatlamadığı veya soyulmadığı sürece metal malzemeyi korozyondan korur.

Metal malzemelerin içerisinde bulundukları ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda da yüzeylerinde toz veya oksit filmi oluşur. Bu tür filmler de koruyucu kaplama görevi yaparlar.

Katodik Koruma

Katodik koruma normal olarak, elektriksel temas durumunda korozyona uğrayan metalin galvanik seride kendisinden daha yukarıda yer alan metal ile birleştirilmesi sonucunda sağlanır. Katodik korumada, korozyondan korunmak istenen metal katot yapılarak galvanik bir pil oluşturulur. Bu tür koruma sağlamak için, genelde çinko ve magnezyum kullanılır.

Bazı durumlarda bir gerilim kaynağı aracılığı ile koruyucu akım elde edilir. Bu durumda anot karbon, grafit veya platin gibi koruyucu malzemelerden oluşur. Yer altındaki borular, gemi gövdeleri ve buhar kazanları gibi yapılar bu yöntemle korunurlar. Yer altındaki boruların korunması için anotlar borudan 2,4-3,0 m uzağa gömülür.

Anotların her biri kollektör kabloya bağlanır ve bu da boru hattına lehimlenir. Akım anotdan toprağa gönderilerek, boru hattında toplanır ve kollektör kablo vasıtasıyla anoda geri döner.

Gemilerin katodik yöntemle korunması için dümen veya pervane bölgesinde tekneye çinko ve magnezyum anotlar bağlanır. Ev ve endüstriyel su ısıtıcılarında ve yüksek su tanklarında katodik koruma için yaygın olarak magnezyum anotları kullanılır.

KATODİK KORUMA NEDİR ?

Su , su altı ve toprak altı sistemlerine uygulanır. Korozyon bir elektro kimyasal bir olay olduğu için , sistemde elektron alış verisi olur. Doğada bulunan elementlerin birbirlerine Gore kimyasal olarak zayıf ve kuvvetli olanları vardır. Kuvvetli elementler zayıf olan elementlerden elektron koparırlar ve böylece zayıf olan elementleri korozyona uğratırlar.

Zayıf olan elementleri korozyondan korumak için kuvvetli olan elementlere dışarıdan elektron verilerek bu denge sağlanır veya elektron alış verisin olduğu ortam ile yapı arası polarizasyon sağlanılarak bağlantısı kesilir. Bu olaya KATODİK KORUMA denir.

iki turlu uygulanışı vardır ;

Dış akimli sistem : Alternatif akim doğru akıma çevrilerek verilir.

Galvanik Usul : Elementler arasındaki EMK (Elektro Motor Kuvvet) den yararlanılır.

KATODİK KORUMANIN UYGULAMA ALANLARI

Boru hatları : içme Suyu Boru Hatları, Doğalgaz Boru Hatları, Petrol Boru Hatları, Yangın Hidrant Boru hatları, Deniz altı Boruları, Atik Su boruları..

Deniz yapıtları : Yük Gemileri, Feribotlar, Deniz Otobüsleri, Denizaltı Gemisi, Yatlar, Liman – iskele ve Platform, Kazık Ayakları, Palplanslar, Dubalar ..

Tanklar : Yer altı LPG, Akaryakıt Tankları, Atik su tankları, Yer ustu Akar yakıt tankları (içleri ve taban kısımları)..

Su Sistemleri : Boyler Tankları, Esanjor soğutma ve ısıtma sistemleri, Elektrikli termosifonlar ..

BORU HATLARININ KATODİK KORUMASI

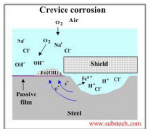
Tüm toprak altında ve su altında bulunan Petrol, Doğal gaz, içme Suyu, Yangın Hidrant, Soğutma suyu .... boru hatlarına uygulanır . Boruların izole edilmesine rağmen montaj esansında, imalat sırasında, toprak altında kalma suresine bağlı olarak ve diğer (yüksek gerilim, enterferans ...) nedenlerle borularda hasar meydana gelmektedir. Özellikle bu kısımlarda süratle korozyon (pas, cürüme, delinme) oluşmaktadır.

Dr.Hüsnü GERENGİ

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Galvani pili türleri

c) Konsantrasyon pilleri



5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etki

Korozyondan Korunma Yöntemleri

KOROZYON DENETİMİ VE ÖNLENMESİ

Malzeme seçimi:
- Metalik malzemeler
- Metalik olmayan malzemeler

Kaplama:
- Metalik kaplamalar
- İnorganik kaplamalar
- Organik kaplamalar

Tasarım:
- Aşırı gerilmelerden kaçınmak
- Farklı metallerin temasından kaçınmak
- Girintilerden kaçınmak
- Havayı uzaklaştırmak

Elektriksel koruma:
- Katodik koruma
- Anodik koruma

Ortam şartlarını düzeltme:
- Sıcaklığı düşürmek
- Ortamdaki sıvının hızını azaltmak
- Oksijeni ortamdan uzaklaştırmak
- Çözeltinin konsantrasyonunu düşürmek
- Korozyon önleyiciler kullanmak

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

Malzeme Seçimi

- Korozyona karşı dayanıklı bir malzeme, daha uzun süreli olarak ve daha az bakım gerektirerek kullanılacağından, satış fiyatı fazla olmasına karşın, sonuçta ucuz bir malzemeye kıyasla daha ekonomik bir malzeme olabilir.

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

1. Metalik malzemeler

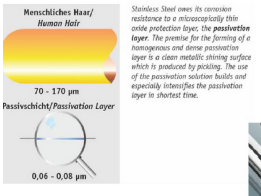
- Saf metaller yerine alaşımlarının kullanılması bir çok halde korozyona karşı dayanıklılığı arttırmaktadır.
- Benzer şekilde bir alaşım olan çeliğe az miktarlarda krom, nikel, bakır, fosfor gibi elementlerin katılması korozyona karşı dayanıklılığı büyük ölçüde yükseltmektedir.

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

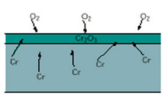
Korozyondan Korunma Yöntemleri

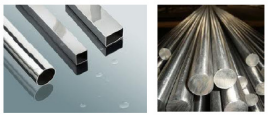
1. Metalik malzemeler

Paslanmaz çelik



Stainless Steel owes its corrosion resistance to a microscopically thin oxide protection layer, the **passivation layer**. The premise for the forming of a homogeneous and dense passivation layer is a clean metallic shining surface which is produced by pickling. The use of the passivation solution builds and especially intensifies the passivation layer in shortest time.





5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

2. Metalik olmayan malzemeler

- Polimer malzemelerin, metal ve alaşımlara kıyasla daha düşük dayanımda olmaları nedeniyle, korozyona dayanıklılık için tercih edildikleri yerler sınırlıdır.

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

Kaplamalar

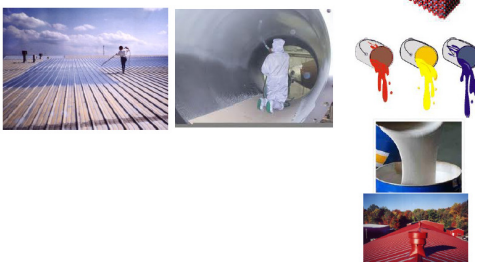
- **Organik Kaplamalar**
- **En çok kullanılan korozyona karşı korunma yöntemidir. En önemli organik kaplamalar; boyalar, cilalar, zift, yağ ve plastik kökenli malzemelerdir. Bazılarında (boya gibi) inorganik maddeler bulunmasına karşın, organik kökenli bileşenleri daha fazla olduğundan organik kaplama olarak sınıflandırılırlar. Organik kaplamalar yüksek sıcaklıklarda eriyebilmeleri nedeniyle dikkatle kullanılmalıdır.**

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

Kaplamalar

Organik Kaplamalar



5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

Kaplamalar

Organik Kaplamalar
Epoksi reçineleri

55

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

Kaplamalar

İnorganik Kaplamalar

- Genellikle seramik, çinko (galvanize etmek), kalay, emaye ve çimento gibi maddeler ile kaplanan malzemelerin korozyona dayanıklılıkları büyük ölçüde artar. Isıya ve aşınmaya karşı organik kaplamalardan çok daha fazla dayanıklıdır. Ancak sert olmalarına karşın darbeye dayanıklı olmadıklarından kırılgandırlar.

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Korozyondan Korunma Yöntemleri

Kaplamalar

İnorganik Kaplamalar

Bakır kalaylama

Emaye kaplama (camsı SiO_2 ile metal kaplama)

57

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

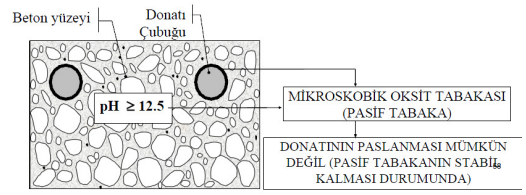
BETONUN ÇELİĞİ KOROZYONDAN KORUMASI

- FİZİKSEL KORUMA

BETONUN GEÇİRİMSİZLİĞİ ve PAS PAYI TABAKASI KALINLIĞI

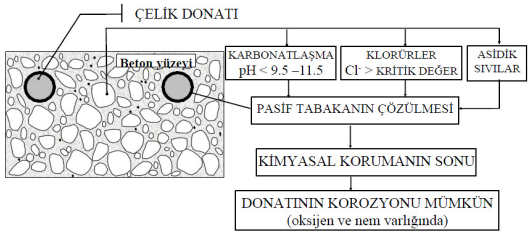
- KİMYASAL KORUMA

ALKALİ BİR ORTAM (**pH ≅ 12.6 - 13.5**) (PASSİVİZASYON)



5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

BETONUN ÇELİĞİ KOROZYONDAN KORUMASI



GEÇİRİMLİ, YETERSİZ KALINLIKTA PAS PAYI TABAKASI

FİZİKSEL ve KİMYASAL KORUMA YETERSİZ
KOROZYONUN KISA SÜREDE GÖRÜLMESİ MUHTEMEL

59

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

DENİZ SUYU ETKİSİ

TUZLA İSKELESİ

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

İzmir'de korozyon hasarına uğramış elektrik direkleri

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

15 YILDA

ϕ16 DONATI

ϕ11-12

ÇEŞMEALTI'NDA
YAZLIK KONUT
DENİZE ~15m

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Metalik Kaplamalar

- Bu tip kaplamalar, korozyona karşı dayanıklılığı arttırmak için ve/veya güzel görünüm sağlamak amacıyla kullanılır.
- Kaplamalar ısısal, mekanik ve elektrokimyasal yöntemlerle korunması istenen yüzeyin üzerine uygulanır.

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

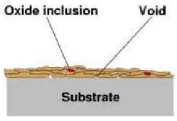
Metalik Kaplamalar

- Kaplama malzemesi korunması istenen yüzeye kıyasla anodik olmalıdır.
- Örneğin, demire kalay kaplama yapılmak istenirse, kalay demire kıyasla daha asal olduğundan, kaplama tabakasının gözeneksiz olması gerekir. Aksi takdirde iğne deliği gibi bir gözenekten korozyon hızla gelişebilir. Bu nedenle açılan konserve kutuları hava ile temas edince hızla kararır ve paslanır. Ancak, demirden daha az asal olan, 1 mm kalınlığında çinko ile kaplanan çeliğin endüstri bölgesi olmayan yerlerde 250 yıl dayandığı görülmüştür.

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Metalik Kaplamalar

- Yapılarda en çok kullanılan metalik kaplama türleri, çelik üzerinde çinko, alüminyum, nikel ve krom kaplamalardır. Metalik kaplama genellikle sıcak daldırma veya püskürtme yöntemleriyle yapılır. Kaplama, yöntem ne olursa olsun, yeterince kalın, üniform ve gözeneksiz olmalıdır ve alt tabakaya yeterince yapışmalıdır.

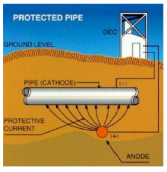


5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

1. Katodik Koruma

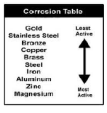
- **Normal olarak korozyona uğrayacak metale ters akım verilerek katodik hale dönüştürülebilir. Örneğin yeraltı çelik kablolarına bir bataryanın eksi kutbu bağlanacak olursa elektron kaybı önlenir, katoda dönüşen çelik hat en alt düzeyde paslanır.**



5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

1. Katodik Koruma

- Malzeme kendisinden daha az asal olan bir metale bağlanarak da korunabilir. Örneğin, yeraltı kablo boruları paralel çinko çubuk veya tele bağlanarak korunabilir.
- Gemi gövdelerine, su tankerlerine korozyondan korumak için çinko veya magnezyum çubukları bağlanır.
- Çubuklar daha az asal olduğundan anot, gövde ise katot olur. Böylece gövde yerine çubuklar korozyona uğrarlar. Bu çubuklar belirli sürelerde değiştirilerek korunması istenen yüzeyin sağlam kalması temin edilir.



5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

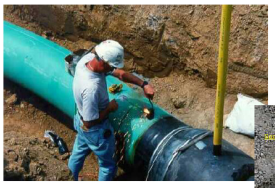
1. Katodik Koruma

70

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

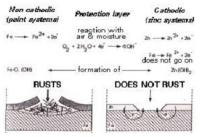
1. Katodik Koruma



5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

1. Katodik Koruma



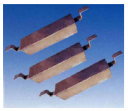
72

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

1. Katodik Koruma

- Gemi gövdeleri ve su tanklarında genelde çinko veya alüminyum anot kullanılır, belli sürelerde değiştirilir.

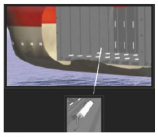


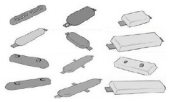
73

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

1. Katodik Koruma





5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

1. Katodik Koruma

- Çinko veya alüminyum halka anotlar boru hatlarında kullanılır.

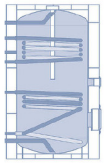
75

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

1. Katodik Koruma

Sıcak su tankları ve buhar borularında katodik koruma

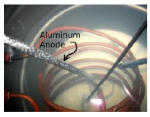


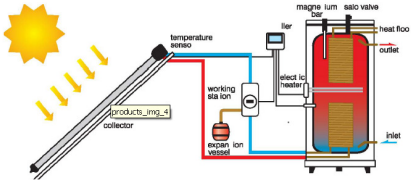
76

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

Elektriksel Koruma

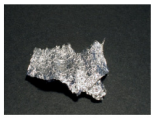
1. Katodik Koruma





5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

1. Katodik Koruma



Alüminyum folyo

Tuzlu su

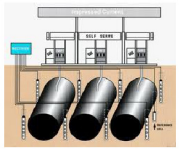
2 gün tuzlu suda bekleyen çiviler (soldaki boşta, sağdaki alüminyum ile kabloyla bağlı çivi)

78

5. Çevre ve kullanım koşullarının malzeme üzerindeki etkileri

2. Anodik Koruma

- Nispeten yeni bir yöntem olup dıştan verilen bir anodik akımın etkisiyle metal veya alaşımın yüzeyinde koruyucu bir film oluşturarak korozyon ortamındaki reaksiyon hızını düşürme esasına dayanır. Ancak bu koruma için karmaşık bir donanıma ve yüksek donanım maliyetine ihtiyaç vardır.



79

KATODİK KORUMA

KATODİK KORUMA

- Katodik koruma, korunacak metali oluşturulacak bir elektrokimyasal hücrenin katodu haline getirerek metal yüzeyindeki anodik akımların giderilmesi işlemidir. Örnek olarak nötr sulu çözeltideki demir elektrotuna bakalım:

A.R: $Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e^-$

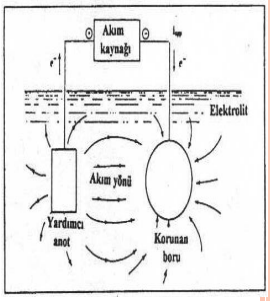
K.R: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

Korozyon olayı bu iki reaksiyonun bir arada yürümesi ile gerçekleşir. Elektronlar anottan katoda doğru metal üzerinden akar ve katot reaksiyonu anottan gelen bu elektronları kullanarak yürür.

- Katot reaksiyonu için gerekli elektronlar dış kaynaktan verilecek olursa, anot reaksiyonu ile elektron üretilemez. Bu durumda anottaki korozyon olayı durmuş olur.
- Metale dıştan uygulanan akım ile verilen elektronlar, metal yüzeyinde yürümekte olana anodik reaksiyonları tam olarak durdururken, katodik reaksiyonun hızını da arttırır. Anot reaksiyonu artık korunmakta olan metalin yüzeyinde değil, katodik koruma devresinde bulunan anotta yürür. Korunmakta olan metal yüzeyi artık tam olarak katot olur.

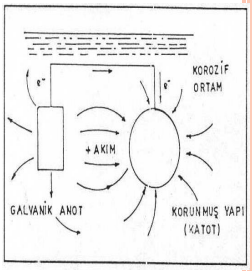
DIŞ AKIM KAYNAKLI KATODİK KORUMA

- Dıştan, bir trafo redresör aracılığı ile doğru akım uygulanır.
- (-) uç metale, (+) uç anoda bağlanır.
- Akım şiddeti korunacak metalin yüzey alanına ve metalin içinde bulunduğu ortamın koroziflik derecesine bağlıdır.



GALVANİK ANOTLU KATODİK KORUMA

- Korunacak metal yapıya kendinden daha aktif bir metal bağlanarak galvanik hücre oluşturulur.
- Katodik koruma devresinden akım geçebilmesi için anot ve katot arasında devre direncini yenebilecek kadar bir potansiyel farkının olması gerekir.
- Galvanik anottan çekilen akım, galvanik anodun açık devre potansiyeli ile devre direncinin büyüklüğüne bağlıdır.



Galvanik Anotlu Katodik Koruma

1. Dış akım kaynağına gerek yoktur. Gerekli akım galvanik anotlardan karşılanır. Elektrik enerjisinin olmadığı yerde tek seçenektir.
2. Akım maliyeti yüksektir. Bu nedenle akım ihtiyacı yüksek olan boru hatlarında tercih edilmez.
3. Devre potansiyeli düşük olduğundan yüksek resistiviteli zemin uygulanmaz. Direnci 5000 ohm.cm'ye kadar olan zeminlerde uygundur.
4. Uygulanması çok kolaydır. Akım ihtiyacında artış olursa sisteme sonradan anot ilave edilebilir.
5. Anottan çekilen akımı ayarlamak mümkün değildir. Galvanik anotlar katodik koruma için gerekli olan akımı kendiliğinden ayarlar. Yapının akım ihtiyacında artış olursa, potansiyeli düşer, böylece anot-katot arasındaki potansiyel farkında artış olur ve anottan daha fazla akım çekilir.
6. Anoda yakın olan boru yüzeyinde aşırı voltaj nedeni ile soyulma olmaz.
7. Anot/zemin pot.düşük olduğundan enterferans etkisi önemsizdir.

Dış Akım Kaynaklı Katodik Koruma

1. Elektrik akımı bulunmayan yerlerde uygulanamaz.
2. Elektrik akımının maliyeti daha ucuzdur. Akım ihtiyacı için sınır yoktur. İlk tesis masrafları fazladır.
3. Resistivitenin yüksek oluşu engel oluşturmaz. Anot yatağı direnci düşürülerek ve T/R sayısı arttırılarak istenilen miktarda akım uygulanabilir.
4. Trafo ünitesinin akım kapasitesi dışına çıkılamaz. Anot yatağı direnci işletme sırasında düşürülemez.
5. Akım ihtiyacında değişiklik olması durumunda, T/R ünitesinde akım ve potansiyel manuel veya otomatik olarak ayarlaması gerekir. Aksi halde yapının akım ihtiyacı arttığında potansiyeli koruma kriteri altına düşebilir.
6. Anot yatağına yakın olan bölgede aşırı voltaj nedeniyle boru kaplamasında soyulma olabilir.
7. Anot yatağı civarında ve katodik korunmuş boru hattı ile kesişen yabancı boru hatlarında enterferans söz konusu olabilir.

KATODİK KORUMA KRİTERLERİ

- **-850 mV Kriteri**

  Korunmakta olan çelik yapının doygun bakır/bakır sülfat elektrotuna göre akım altında ölçülen potansiyeli -850 mV veya daha negatif bir değerde olmalıdır. Boru/zemin potansiyeli yapıya yeterli bir süre (en az dört saat) akım uyguladıktan sonra ve yapı akım altında iken ölçülür. Bu nedenle ölçüm devresinde oluşan IR omik potansiyel düşüşünün de gözönüne alınarak düzeltme yapılması gerekir. (Özellikle yüksek dirençli zeminlerde 200-300 mV fark)

- **300 mV Potansiyel Kayması**

  Çelik yapının potansiyelinde katodik koruma akımı uygulanırken, statik potansiyelinden (akım uygulamadan önce ölçülen denge potansiyeli) negatif yönde 300 mV bir kayma sağlanmalıdır.

- **100 mV Polarizasyon Kayması**

  Bu değer yapıya en az 4 saat katodik yönde bir akım uygulandıktan sonra ölçülen "off" potansiyel değeri ile yapının akım uygulanmadan önceki denge potansiyeli arasındaki fark bulunur. Ölmede IR omik düşüşü dahil değildir.

KATODİK KORUMA AKIM İHTİYACI

ORTAM KOŞULLARI	Yaklaşık akım ihtiyacı (mA/m^2)
Hareketli deniz suyu içinde çıplak çelik	100-160
Durgun deniz suyu içinde çıplak çelik	55-85
Deniz gibi çamuru içinde çıplak çelik	20-30
Rutubetli zemin içinde çıplak çelik	10-20
Zemin veya su içinde zayıf kaplamalı çelik	1-2
Zemin veya su içinde iyi kaplanmış çelik	0,05
Zemin veya su içinde polietilen kaplı çelik	0,005

ZEMİNLERİN KOROZİFLİK ÖZELLİKLERİ

Zemin pH Derecesi

- Zeminin asitlik derecesi
- pH<5 asidik zemin Korozyon hızı yüksek
- pH>8 alkali zemin (kalkerli zemin)

Redoks Potansiyeli

<100	Şiddetli Korozif
100-200	Korozif
200-400	Orta Korozif
>400	Az Korozif

Ered = Ep + Eref + 60 (pH-7)

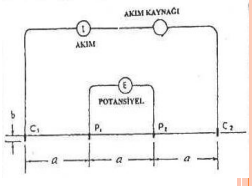
Ered=Zemin redoks potansiyeli (mV)

Ep=Platin elektrot ile ref.elektrot arasında ölçülen pot

Eref=Kullanılan ref elektrotun hidrojen elektrotuna göre potansiyeli ($Cu/CuSO_4$ için 316 mV)

Zemin Resistivitesi

<1000	Çok korozif
1000-3000	Korozif
3000-100000	Ora Korozif
>10000	Korozif Değil



$\rho = 2\pi aR$ (ohm.cm)

GALVANİK ANOTLAR

Anot Potansiyeli

- Korunması istenilen metali katodik olarak polarize edecek kadar negatif olmalı.
- Anot ile katot arasındaki potansiyel farkı katodik koruma akımının geçmesini sağlayan yürütücü kuvvettir. Bu potansiyel farkının katodik koruma direncini yenecek büyüklükte olması gerekir.
- Düşük potansiyelli anotların yüksek resistiviteli zeminlerde kullanılması mümkün değildir.

Anot Akım Kapasitesi ve Verimi

1 kg anot metalinin üretebildiği A.saat olarak akım miktarına akım kapasitesi denir. (A.saat/kg)

AAK= Anot Akım Çıkışı (A.saat)
Anot Kütlesi (kg)

Anot Akım Verimi

Gerçek akım kapasitesinin, teorik akım kapasitesine oranıdır.

AAV= Gerçek akım kapasitesi x 100
Teorik akım kapasitesi

Verim Mg anot: %50-60
Verim Al anot: %90

GALVANİK ANOTLAR

ANOT ÖMRÜ

- Anot kapasitesi kullanılarak belli kütlede bir anodun akım üretebilme süresi yani ömrü hesaplanabilir.
- Pratikte anot kütlesinin tamamını kullanabilmek mümkün olmaz. Bir galvanik anodun ancak belli bir yüzdesi akım üretmekte kullanılabilir. Kalan kısımdan istenilen şiddette akım çekilemez.
- Anotların akım üretebilen yüzdesine "kullanma faktörü" denir.
- Anot Ömrü = Anot ağırlığı, kg x Kullanma Faktörü x Anot Verimi / Akım şiddeti, A x Akım Kapasitesi, kg/A.yıl

GALVANIK ANOT YATAKLARı

- Galvanik anotlar doğrudan zemin içine değil, bir anot yatağı dolgusu içine konulur. Böylece:
- Anot yatağı içinde anot üniform olarak çözünür. Bunun sonucu olarak anodun kullanılabilme yüzdesi artar.
- Anodun çevresi sürekli olarak rutubetli kalır. Böylece anot direnci düşürülerek akım çıkışı artırılmış olur.
- Galvanik anotları yüksek resistiviteli zeminler içinde de kullanılabilir.

Dolgu malzemeleri	Tip - A	Tip -B
Jibs ($CaSO_4.2H_2O$) , %	70 -75	25-30
Bentonit , %	20-25	40-50
Sodyum sülfat , %	5 -6	25 -30
Anot yatağı rezistivitesi, Ohm.cm	50-100	25-50

Not:Tip-A dolgusu mağnezyum anotlar, Tip-B dolgusu çinko anotlar için uygundur

Anot yatağı dolgu malzemesi

ANOT YATAĞI DİRENCİ

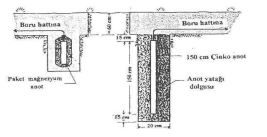
Anot yatağı direnci (Dwight formülü)

Dikey: $Rd = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{8L}{d} - 1\right)$

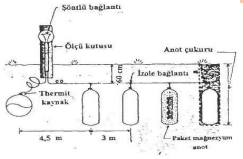
Yatay: $Ry = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{4L}{d} - 1\right)$

Rd: Dik olarak yerleştirilen tek anot direnci, ohm
Ry: Yatay olarak yerleştirilen tek anot direnci, ohm
ρ: Anot yatağı resistivitesi, ohm.cm
L: Anot boyu. Cm (anot yatağı dahil)
d: Anot çapı, cm (anot yatağı dahil)

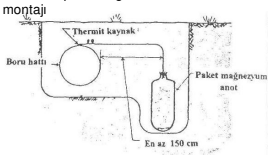
GALVANİK ANOT YATAK ÖRNEKLERİ



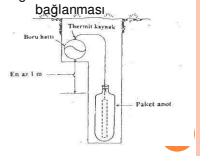
Paketli ve paketsiz galvanik anot montajı



Çok sayıda galvanik anodun bir noktadan bağlanması



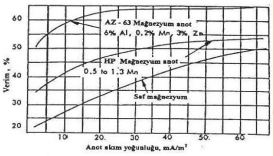
Paket halindeki magnezyum anodun bağlanması



Galvanik anotların boru seviyesi altına yerleştirilmesi

MAGNEZYUM ANOTLAR

- Elektrot potansiyeli serisinde üst sırada olup, son derece aktiftir.
- Yüksek potansiyelli magnezyum anodun potansiyeli -1,75 Volt. Yüksek resistiviteli zeminler ve tatlı sular içinde de kullanılabilirler.
- Magnezyum anotların akım verimi %50-60 arasındadır. Anottan çekilen akım şiddeti arttıkça akım verimi artar. AZ63 (%6Al-%3Zn) anotların akım verimi yüksek potansiyelli anotlara oranla daha yüksektir. Teorik akım kapasitesi 2200 A.saat/kg, gerçek akım kapasitesi 1100 A.saat/kg' dır.



Magnezyum anot akım veriminin akım yoğunluğuna göre değişimi

Element %	AZ-63 Mağnezyum anot	Yüksek potansiyelli mağnezyum anot (HP)(*)
Alüminyum	5,3 -6,7	0,05 en çok
Çinko	2,5 -3,5	0,03 en çok
Mangan	0,25 - 40	0,5 - 1,5(1)
Demir	0,03 en çok	0,03 en çok
Nikel	0,003 en çok	0,002 en çok
Bakır	0,08 en çok	0,02 en çok
Silisyum	0,3 en çok	0,05 en çok

*Yüksek pot.Mg anotlarda mangan yüzdesi Al yüzdesine bağlıdır.

Mağnezyum anotların kimyasal bileşimleri

ÇINKO ANOTLAR

- Düşük resistiviteli zeminler içinde ve deniz yapıların korunmasında kullanılır. Ancak 2000 ohm.cm den yüksek resistiviteli zeminlerde akım çekilmesi güçleşir.
- Akım verimi %90'dır. Ancak sıcaklık artışı anotların elektrot potansiyeli ve akım kapasitenin düşmesine neden olur. (Özellikle >60^{0}C)
- Saf çinkolarla korunan demir metali arasında 250 mV'luk potansiyel farkı oluşur. Ancak demir bu potansiyel farkını azaltır. Demirin %0,0014'den az olması gerekir. İçine alüminyum (%0,1) katılarak demir ile alaşım oluşur ve demir bağlanır. Kadmiyum ise kurşunun zararlı etkisini yok eder.

Anot elektrokimyasal özellikleri	Çinko anotlar
Teorik akım kapasitesi	820 A.saat /kg
Anot akım verimi	% 90
Gerçek akım kapasitesi (*)	738 A.saat / kg 11,84 kg /A.yıl
Elektrot potansiyeli (Deniz suyu içinde doygun Cu/$CuSO_4$ referans elektrodun'a göre)	- 1,10 Volt
Yoğunluk , g /cm^3	7,1
Çeliğe karşı devre potansiyeli	250 mV
Akım maliyeti, US$ /A.yıl	18 (1998 fiatı)

*) Anot akım kapasitesi anottan çekilen akım şiddetine ve sıcaklığa göre değişir.Tabloda verilen değer 300 mA/m^2 akım yoğunluğu içindir.

Çinko anotların elektrokimyasal özellikleri

Element	Zemin içinde kullanılan çinko anotlar, %	Deniz suyu içinde kullanılan MIL-A 18001 anot , %
Alüminyum	0	En çok 0,3
Kadmiyum	En az 0,004	En çok 0,06
Demir	En çok 0,0015	En çok 0,003(*)
Kurşun	En çok 0,006	En çok 0,006
Bakır	En çok 0,005	En çok 0,005
Çinko	Kalan	Kalan

(*) Demirin % 0,003 oranında bulunmasına müsade edebilmek için, anot içinde en az % 0,1 alüminyum ve % 0,025 oranında kadmiyum bulunması gerekir.

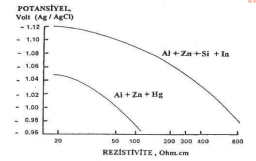
Çinko anotların kimyasal bileşimleri

ALÜMINYUM ANOTLAR

- Çinkodan daha aktiftir. Deniz suyu içinde veya resistivitesi düşük tuzlu sularda kullanılmaktadır.
- Bakır ve nikel Al potansiyelini pozitif yöne doğru kaydırır. Çinko, magnezyum ve kadmiyum ise pasifleşmeyi azaltır. Civa, kalay ve indiyum metalleri Al anotların sürekli aktif halde kalmasını sağlar. Civa çevre kirliliği yarattığı için aynı etkiyi sağlayan indiyum alaşımlı anot kullanılmaktadır. Pasifleşme önlenir ve deniz suyu içinde üniform olarak çözünür.
- Akım kapasitesi Mg anotlardan 2,4 ve çinko anotlardan 3,6 kat büyüktür.

Elektrokimyasal özellikler	Indium alaşımlı alüminyum anot
Teorik akım kapasitesi	2960 A.saat / kg
Anot akım verimi	%80
Gerçek akım kapasitesi	2670 A.saat / kg 3,5 kg / A.yıl
Elektrot potansiyeli (*) (Deniz suyu içinde doygun Cu/$CuSO_4$ referans elektroduna göre)	-1,10 Volt
Yoğunluk , gr/cm^3	2,7
Çeliğe karşı devre potansiyeli	250 mV
Akım maliyeti, US$ / A.yıl	8 (1998 fiatı)

Alüminyum anotların elektrokimyasal özellikleri



Alüminyum anotların potansiyelinin resistiviteye göre değişimi

Dış Akım Kaynaklı Anotlar

- Katodik koruma sistemlerinde ilk tesis maliyetinin yaklaşık yarısı anotlara harcanır. Bu nedenle anot metalinin ucuz olması ekonomik açıdan önemlidir.
- Anot birim yüzeyinden çekilebilen akım mümkün olduğunca yüksek olmalı ve anot direnci zamanla fazla artış göstermemelidir.
- Anottan çekilen birim akım (A.yıl) başına anot kütle kaybı mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Anotlar kendilerinden beklenen süre ve miktarda akım üretebilmelidir.

Metal Oksit Kaplı Titanyum Anotlar

- Titanyum üzerine iletken özellikte metal oksitler kaplanarak hiç pasifleşme göstermeyen anotlar elde edilmiştir. En önemlisi nikel-ferrit ($NiO+Fe_2O_3$) kaplı anotlardır. Bu tip anotlar, anot reaksiyonu sonucu klor veya oksijen çıkışından etkilenmemekte ve pH=1 değerine kadar asitlere dayanmaktadır.
- Kütle kaybı çok azdır. Deniz suyu içinde 600 A/m^2, zemin içinde kok tozu anot yatağı kullanılarak 100 A/m^2 çekilebilir.

DIŞ AKIM KAYNAKLI ANOT YATAKLARI

Anot Yatağı Dolgusu

Dış akım kaynaklı katodik koruma sistemlerinde kullanılan yardımcı anotlar bir anot yatağı içine konur. Anotlar yatak içine yerleştirilirken anot çevresi kok tozu ile doldurulur. Anot yatağı içine konulan kok tozu dolgusu, anot etkin boyutlarını artırarak anot yatağı direncini düşürür ve anot kütle kaybını azaltıcı rol oynar. Dolgu maddesi olarak grafit, petrol koku veya kok kömürü kullanılır.

Kok tozunun özellikleri	Limit değerler
100 Nolu elekten geçen	En çok % 5
Maksimum tane çapı	10 mm
Rutubet	% 10 - % 15
Uçucu organik maddeler	En çok % 3
Kül	En çok %20
Özgül elektrik direnci	50 - 100 Ohm.cm
Yoğunluk	0,7 - 0,8 kg /litre
Kütle kaybı	En çok 0,1 kg/A.yıl

Anot yatağı dolgu malzemesi-Kok Tozu