



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

PASLANMAZ ÇELİKLERDE BÖLGESEL KOROZYON

HAKAN NAYIR
ARMACELL YALITIM



PASLANMAZ ÇELİKLERDE BÖLGESEL KOROZYON

Localized Corrosion on Stainless Steel

Hakan NAYIR

ÖZET

Paslanmaz Çelikler günümüz endüstrisinde muhtelif elemanlarda ve özellikle agresif ortamlarda korozyona karşı güvenlikleri sebebiyle sıkça kullanılmaktadır. Bununla birlikte özellikle bölgesel korozyon tiplerine karşı hassas olmaları itibarı ile paslanmaz çelik elemanlardan dolayı büyük maliyet kayıpları da yaşanmaktadır. Araştırılması gereken nokta paslanmaz çeliklerin sunduğu güvenirliliğin hangi ortamlarda hangi dereceye kadar olduğunun tespit edilerek, malzeme seçiminin buna göre yapılması ve gerekli önlemlerin planlanmasıdır. Bu noktada tehlike kaynağı olan ve endüstride sıkça görülen, temel bölgesel korozyon tiplerinin (çatlak korozyonu, çukurcuk korozyonu, gerilmeli korozyon/çatlağı) mekanizmalarının ortaya konarak, açıklanması alınacak önlemlerin tespiti için büyük değere haizdir.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelik, Bölgesel Korozyon Tipleri, Çatlak Korozyonu, Çukurcuk Korozyonu, Gerilimli Korozyon

ABSTRACT

Stainless steel is widely used in today's industry in various pipelines and vessels especially in aggressive conditions as they offer extra safety against corrosion. Yet it is also a proven fact that great cost losses are being experienced as stainless steel might also be prone to sinister types of localized corrosion. Thus it is very important to investigate and study the extent of the safety provided by different types of stainless steel alloys against most hazardous and main localized corrosion types (crevice corrosion, pitting corrosion, stress corrosion/cracking) and the mechanism of these localized corrosion types in order to determine the material choice and the measures to be taken to prevent such damages.

Key Words: Stainless Steel, Localized Corrosion, Crevice Corrosion, Pitting Corrosion, Stress Corroison Cracking (SCC)

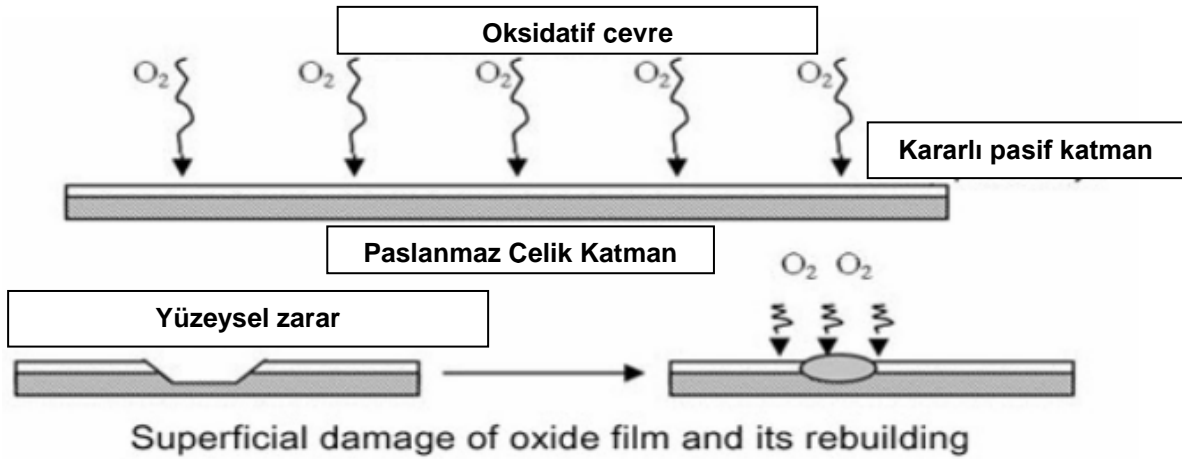
1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler çevresel etmenlere karşı çok çok ince, yüzeysel oksit katmanları tarafından korunmaktadır. Ne yazık ki bu katmanlar mükemmel değildir ve bölgesel yıkıma karşı zayıftırlar. Böyle bir durumun oluşması sonucunda ise çok hızlı bir şekilde korozyona uğrarlar. Güvenlik ve çevresel felaket hususları bir kenara bu durumun ekonomik etkisi bir hayli korkutucudur.

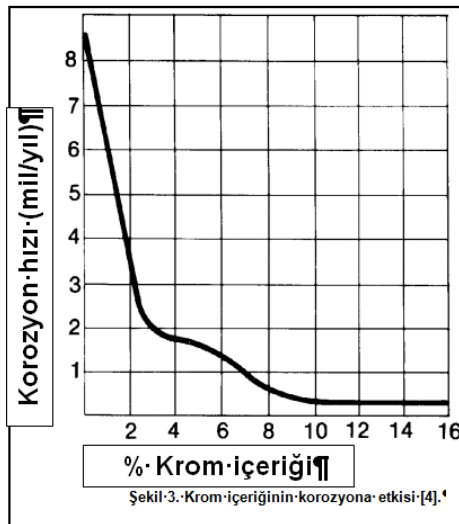
1913 yılında metalürjist Harry Brearly, tüfek namlularını geliştirme amaçlı bir projede çalışırken düşük karbon çeliğine krom katmanının onun lekelenme dayanımını artırdığını bulmuştur. Bu şekilde paslanmaz çeliğin bir bakıma mucidi olmuştur.

Günümüzdeki paslanmaz çelikler ağırlıkça %10,5'ten fazla Krom içeren demir ve karbon alaşımlarıdır. Bu paslanmaz alaşımlar; nikel, molibden, titanyum gibi başka elementler de içerebilir. Nikel, molibden, niobyum ve krom paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını artırırlar.

Bu alaşımlar kirlenmemiş ortamlarda paslanma ve lekelenme (stain) yapmazlar. Paslanmaz (Stainless) adı buradan ileri gelmektedir. Sebebi ise yüzey üzerinde gayet hızla oluşan Krom-Oksit (Cr_2O_3) tabakasıdır. Bu ince film tabaka paslanmaz çeliği atmosfer koşullarında korozyona karşı korur ve pasif film tabaka ya da **pasivasyon tabakası** adını alır (Şekil 1)



Şekil 1. Pasivasyon Tabakası [5].



Şekil 2. Krom içeriğinin korozyona etkisi [4].

Tüm paslanmaz çelikler için Krom içeriği korozyon dayanımı bakımından belirleyici unsurdur. %10,5 veya daha fazla Krom içeriği normal atmosferik şartlarda koruyucu pasivasyon tabakası oluşumunu sağlar. Krom içeriği artırılırsa, pasivasyon tabakası daha da güçlenecek ve kendini iyileştirebilme özelliği (self-healing) artacaktır. Bir başka deyişle korozyon dayanımı da buna bağlı olarak yükselecektir. %17 Krom içeriğine sahip bir paslanmaz çelik yüksek bir korozyon dayanımına sahipken bu oranın %28'e çıkarılması ile korozyona karşı daha da dayanımlı bir paslanmaz çelik alaşımı elde edilir (Şekil 2)

Nikel'in pasivasyon tabakasının oluşum hızına güçlü bir pozitif katkısı vardır.

Molidden ise pasivasyon tabakasının stabilitesine katkıda bulunduğu gibi Çukurcuk (Pitting) Korozyonu ve Gerilimli Korozyon (Çatlağı) gibi bölgesel korozyonlara karşı dayanımı artırır.

Paslanmaz çeliklerde, karbon katkıları sertlik ve dayanımı arttırmaktadır. Modern üretim sistemlerinin gelişimi ile birlikte kaçınılmaz bir kirlilik olarak görülen karbon muhteviyatının azaltılması sıkça görülmektedir. Karbon paslanmaz çeliklerde esas problem kaynak prosesinde olduğu gibi yüksek sıcaklık aralıklarına (450–850°C) maruz kalındığında gözlemlenen sensitizasyon (duyarlılaşma) olayıdır. Bu esnada krom zengin karpitler tane sınırlarında çökelerek, ortamda krom içeriğinin azalmasına sebep olurlar. Bu durumda içeriğin %11-12 sınırından daha düşük değerlere gelmesi ile pasivasyon tabakasının etkinliği zarar görmeye başlar. [1]

2. PASLANMAZ ÇELİK ÇEŞİTLERİ

2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelik:

AISI 403, AISI 410, AISI 414, AISI 416 vb. AISI 420 kalitesi bu tip paslanmaz çelik grubuna dahildir ve %0,2 civarında karbon %13 civarında krom içerirler. Korozyon dirençleri alaşımsız ve düşük alaşımlı paslanmaz çeliklere göre iyi fakat östenitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha kötüdür. Atmosferik korozyona, tatlı su, asit ve farklı kimyasallara dirençlidirler. 650 °C sıcaklığa kadar oksitlenme dirençleri iyidir. [5]

2.2. Ferritik Paslanmaz Çelik

%15-30 Cr içeren kübik hacim merkezli kafes yapısına sahip, faz dönüşümü göstermediği için sertleştirilemeyen paslanmaz çeliktir. Atmosferik korozyona dirençlidirler. Östenitik paslanmaz çeliklere göre paslanmazlık özelliği daha düşük olan bir çelik türüdür ve bu nedenle paslanmazlık özelliğinin çok ciddi boyutlarda istenmediği otomotiv sanayi gibi alanlarda daha çok kullanım alanı bulurlar. [5]

2.3. Dupleks (Çift Fazlı-Östenitik/Ferritik) Paslanmaz Çelik

%28 Cr ve %7-22 Ni , %3 civarlarında molibden ve %0,02 civarlarında karbon içeren kübik yüzey merkezli kafes yapısına sahip östenitik ve ferritik fazların bir arada bulunduğu paslanmaz çelik çeşididir. Korozyon ve mekanik özellikler açısından ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler arasında yer alır. Gerilmeli ve taneler arası korozyona dayanıklıdır. Östenitik çeliklerde bulunan yüksek mukavemet özelliği ve ferritik çeliklerde bulunan manyetiklik özelliğinin ikisini de bir arada bulundurlar ve optimum korozyon direnci sağlarlar. [5]

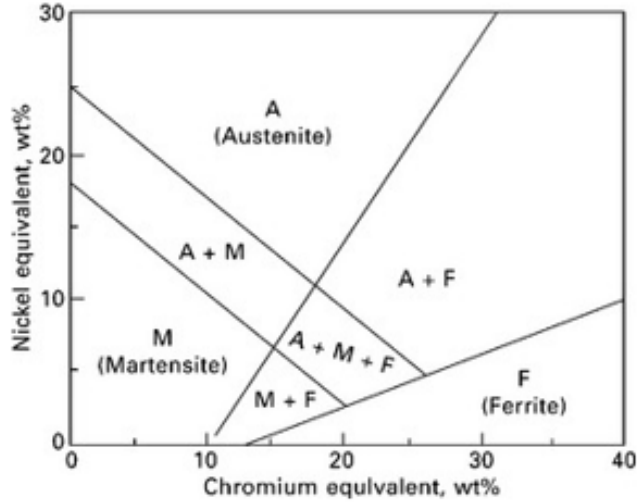
2.4. Çökelme Sertleşmesi Gösteren Paslanmaz Çelikler

Uçak, savunma, uzay sanayinde yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve korozyon direnci gereksinimi ile geliştirilmişlerdir. Martenzitik örn. Croloy 16-6PH, Custom 455 XM-16 vb., Yarı östenitik örn. 17-7 PH, AM-350 vb., Östenitik örn. 17-10 PN, HNM A-286 vb. olmak üzere üç grupta incelenebilirler. [5]

2.5. Östenitik Paslanmaz Çelik

Östenitik Paslanmaz Çelik bu adı birincil fazı olan kübik yüzey merkezli kafes yapısına sahip gama fazındaki demirden yani östenitten alır. Bu bileşiklerin içerisinde %16-26 Cr (Krom) ve %7-22 Ni (Nikel) ve bazen de Molibden (Mo) ve Nitrojen (N) bulunur.

AISI 301, AISI 302, AISI 304, AISI 316, 321, vb. çeşitleri mevcuttur. AISI 304 içerisinde %18 Cr ve %10 Ni muhteva eder ve bu alaşım çok iyi korozyon direnci ile ön plana çıkar. AISI 316 ise %17 Cr, %12 Ni ve %2,2 Mo (Molibden) içeren bir östenitik paslanmaz çelik türüdür ve 304'ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlar gibi çok daha ciddi korozif ortamlarda tercih edilir. [5]



Şekil 3. Schaeffer diagramı: Farklı kompozisyonlardaki paslanmaz çelik alaşımlarının 30 dakika için 1050°C ye ısıtılması ve sonrasında su verilmesi ile oda sıcaklığındaki kararlı fazlarının gösterilmesi [1].

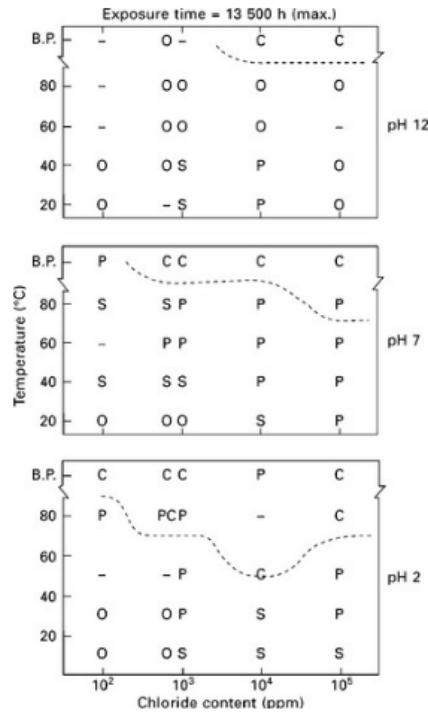
Paslanmaz çelikler özellikle de Östenitik ve Dupleks tipleri; ısı değıştirgeçleri, borulama, tanklar gibi tesisat elemanlarında korozyon dayanımları ile ön plana çıkarak böylelikle; soğutma, havalandırma ve iklimlendirme, güç santralleri, petro-kimya tesisleri, petrol rafinerileri, gıda endüstrisi, kağıt ve kağıt hamuru endüstrisi, krayojenik sistemler, LNG hat ve tesisleri, atık su hatları, temiz su hatları, denizcilik endüstrisi gibi birçok sektörde kullanım alanı bulmuşlardır. (Şekil, 4-5-6)



Şekil 4. Paslanmaz Çeliğin sanayide kullanımı [3]



Şekil 5. Paslanmaz Çelikten mamul mekanik tesisat [3] Şekil 6. Paslanmaz Çelikten mamul Tanklar [3]



Şekil 7. Paslanmaz Çelik korozyonunda ortamın pH, klorür içeriği ve sıcaklığının etkisi [1]

Yukarıda kullanım örneklerini verdiğimiz sistemlerin çoğunda olduğu gibi, paslanmaz çeliklerin su içeren bir ortamla (ya da yüksek bir nem muhteviyatına sahip bir ortamla) temas ediyor olması sonucu krom-oksit pasivasyon tabakası hidrate duruma gelir. Böylelikle pasivasyon tabakasının heterojenlik göstermesi (çökelmeler-duyarlılık) ve yüzey pürüzlerinde **halojen iyonları** birikimi gibi agresif ortam şartları gelişimi sebepleri ile zarar görebilir. Ayrıca bu koruyucu film tabakanın elektriksel iletkenliği iyidir, bu yüzden yüzeyi redüksiyona karşı zayıftır. Tüm bu durumlar sonucunda ise Çatlak (Crevice) Korozyonu, Oyuklanma (Pitting) Korozyonu ve Gerilim Korozyonu tehlikeleri ortaya çıkabilmektedir. Ortak noktaları genelde halojen iyonları varlığında ortaya çıkmalarıdır. Çoğu zaman rastlantısal ve düzensiz bir gidişat izleyen bu korozyon tiplerinin zamansal ve bölgesel olarak tahmin ve tespiti de oldukça zordur. Nihayetinde pasivasyon tabakasında bölgesel yıkıma yol açarak esasen metal elemanlarda çok ciddi maliyet ve yıkımlara sebep olmaktadır. (Şekil 7)

Bu noktada agresif kimyasal ortam konusunda ön plana çıkan halojenleri de etki sıralarına göre şöyle verebiliriz;

- i. Klorin
- ii. Florin
- iii. Bromin
- iv. İyodin
- v. Astatin

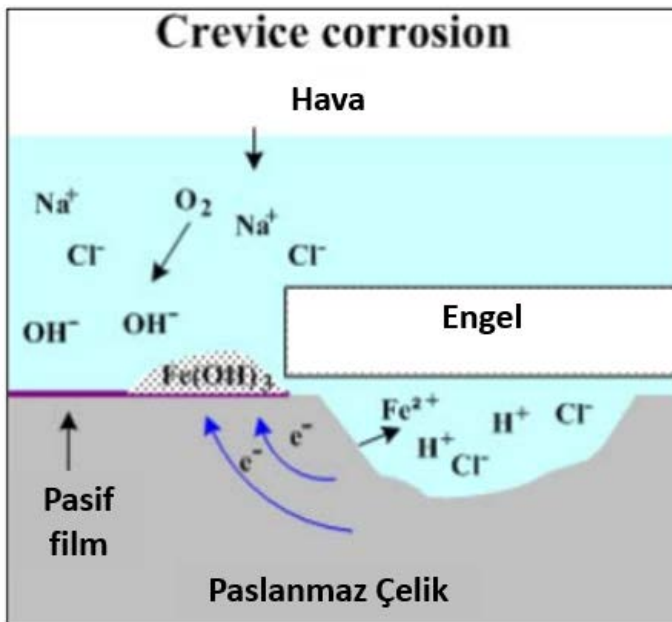
3. BÖLGESEL KOROZYON TİPLERİ

3.1. Çatlak (Crevice) Korozyonu

Paslanmaz çeliklerde genellikle sıkı bağlantıların (vida başlığı gibi) oluşturduğu, oksijenin serbestçe dolaşamadığı giderilemeyen aralıklarda görülür. Diğer bir deyişle; tam öpüşmeyen iki yüzey arası, kaynak hataları, conta aralıkları gibi ana çözeltinin farklılaşmalarının meydana geldiği bölgelerde görülen korozyon çeşididir. [5]

Fisürlerde (kılcal çatlak) en çok görülen redüksiyon reaksiyonu oksijen redüksiyonudur. Bununla birlikte klorür iyonu redüksiyonu da gerçekleşebilir. Katotta oluşan tek redüksiyon reaksiyonu ise proton veya su redüksiyonu reaksiyonudur. Bu durumda mevzu noktada oksijenin tükenmesi durumuna deoksijenasyon denir. Oksijenin tükenmesi ile birlikte katot reaksiyonu oksijenin daha kolay bulunabildiği, dış pasif yüzeye doğru hareket eder. Bu esnada alaşım bileşenlerinin oksidasyonu devam etmektedir. AISI 316 ve 316L paslanmaz çeliklerinde çözünmeye uğrayan bileşenler Cr (krom), Fe (demir), Mo (molibden) ve Ni (nikel)' dir. [8].

Bunun sonucunda ortamda katyon fazlalığı olur ve devamında elektriksel yansızlığın sağlanması için klörür anyonları çatlak içerisine girmeye başlar. Hidrolizasyon ile birlikte ortamın pH'ı düşer ve asidifikasyon meydana gelir, oluşan agresif ortam pasivasyon film tabakasının yıkımına sebep olur. (Şekil 8-9-10)



Şekil 8. Çatlak Korozyonu mekanizması [7]



Şekil 9. Boru ek yerinde Çatlak Korozyonu oluşumu (NACE)



Şekil 10. Kuzey Denizi'nde bulunan bir Petrol Platformunda yalıtımlı borularda gözlemlenen Çatlak Korozyonu [8]

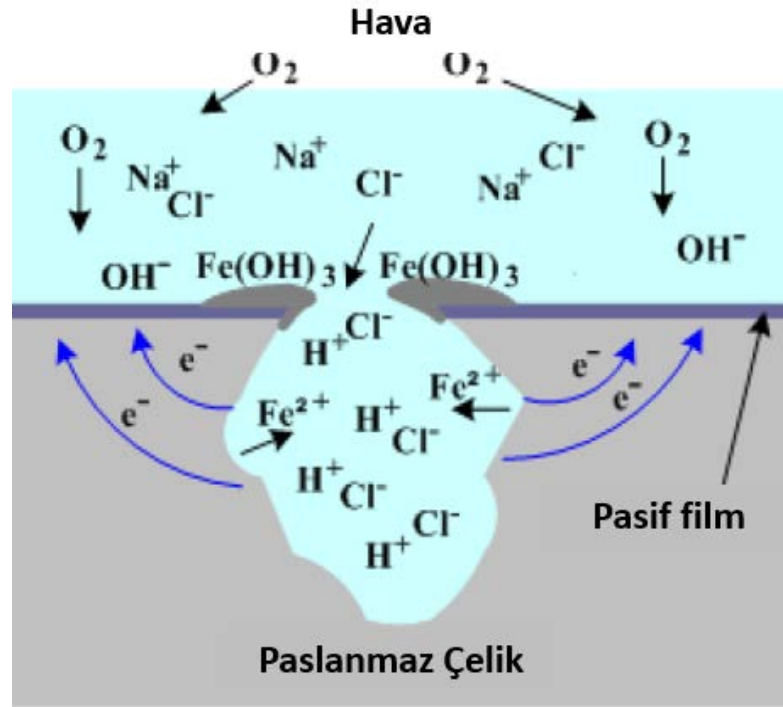
3.2. Çukurcuk (Pitting) Korozyonu

Esasen Çatlak Korozyonu ve Çukurcuk Korozyonu mekanizmaları benzerlik göstermekte ve Çukurcuk Korozyonu çoğu zaman Çatlak Korozyonunun habercisi olarak görülmektedir. Bazı araştırmacılar çatlakları büyük çukurlar olarak düşünürken, diğerleri iki duruma da Çatlak Korozyonu adını vermeyi uygun görmekte ve Çukurcuk Korozyonunu özel bir durum olarak değerlendirmektedirler.

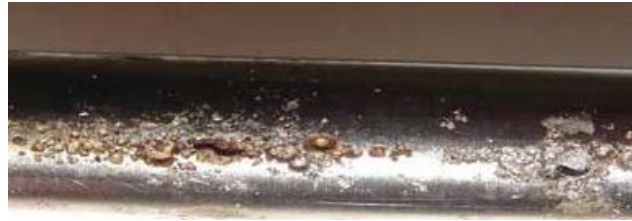
Yüksek sıcaklığa sahip ortamlar ve yüksek halojen (klorür) içeriği paslanmaz çeliklerde Çukurcuk Korozyonu dayanımını düşürmektedir.

Çukurcuk Korozyonu; metal ve alaşımların yüzeyinde, halojenlerin varlığında noktasal derinleşen oyuklar halinde kendini gösteren korozyon çeşididir. Genelde halojenlerin koruyucu oksit tabakasına hızla sızması sonucu başlar. Bu bölgeler Çukurcuk Korozyonu için başlangıç noktaları görevi görür. Bir bileşenin diğerlerinden daha hızlı çözünmesi sonucu ortaya çıkan seçici ayrışma da Çukurcuk Korozyonunu tetikleyen bir başka unsurdur. Film tabakanın yıkımı metal yüzeyin bölgesel noktalarında oksidasyona sebep olur, bu durumda sıklıkla oksijen ana redüksiyon ajanıdır. [8]

Bu bölgesel çözünme devam ederken, bir müddet sonra metal yüzeyde bir çukurcuk oluşur. Bu çukurcuk içerisinde katodik reaksiyondan ötürü oksijen tükenmesi yaşanır. Elektronlar çukurcuktan dış pasif yüzeye geçerek redüksiyon reaksiyonuna katılırlar. Metal çözünmesi ile katyonların ve dolayısı ile elektriksel yansızlığı sağlamak için çukurcuk içerisine giren klorürler sebebi ile de anyonların sayısı artar. Artan proton içeriği ile çukurcuktaki pH seviyesi hızla düşer ve böylece daha agresif bir ortam oluşur. Klorid iyonları varlığında çukurcuklar oto-katalitik ve devamlı bir büyüme gösterir. Kritik çözelti çukurcuk tabanında repasivasyonu engelleyemeye yeterli seviyede kalır ve korozyon hızlanır. (Şekil, 11-12)



Şekil 11. Çukurcuk Korozyonu mekanizması [7]



Şekil 12. Çukurcuk Korozyonuna uğramış paslanmaz çelik boru (NACE)

3.3. Gerilmeli Korozyon

Gerilmeli Korozyon statik çekme yönündeki gerilme ve korozyonun birlikte etkisi sonucu malzemenin akma yükünün altında gerilmelerde gevrek olarak kırılmasına yol açan tehlikeli bir korozyondur. Ani ve gevrek kırılmalara, dolayısıyla kazalara ve hasara sebep olabilir. İlerlemesi yıllar veya aylarla değil günlerle ölçülebilir. Yüksek basınç altında çalışan boru hatlarında, sıvı içinde çalışan millerde ve nükleer reaktörlerde çalışan östenitik paslanmaz çeliklerde gözlenir. Dışarıdan anlaşılması pek mümkün olmayan bir korozyon çeşididir. Aşağıdaki şartlar oluşumu bakımından belirleyici rol oynamaktadırlar;

- 3.3.1. Hattın operasyon şartları: Örn. Hat sıcaklığı, hattın maruz kaldığı çekme gerilmesi
- 3.3.2. Boru malzemesinin metalurjisi
- 3.3.3. Çevresel şartlar: Agresif bir kimyasal ortam (örn: halojenlerin varlığı ve/veya ortamın pH'ı), nem durumu, (hat gömülü ise) toprağın kimyasal durumu
- 3.3.4. İmalat şartları: Örn. Boru metalinin tavlama veya kaynak işlemleri sonucunda yeteri kadar bir süre 500 °C - 800 °C aralığında kalarak, karbürün tane sınırlarında çökmesi sonucu **duyarlı** (sensitize) hale gelmesi [1]

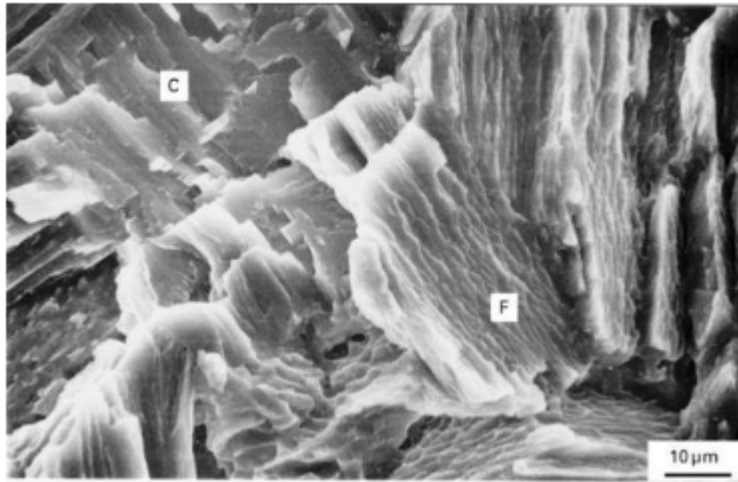


Şekil 13. Klorid Gerilim Korozyon Çatlağına maruz kalmış östenitik paslanmaz çelik boru (NACE)



Şekil 14. 316 paslanmaz çelik kimyasal proses boru sistemi. Östenitik paslanmaz çelikte klorid gerilim korozyonu çatlağı - yıldırım- formunda çatlak oluşumu [5]

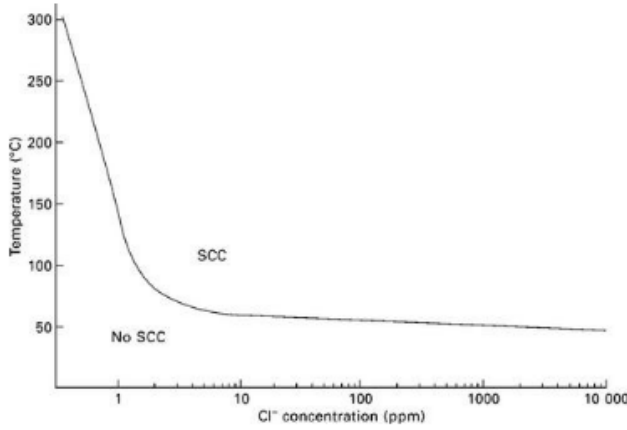
Gerilimli Korozyon mekanizması ilk olarak Çukurcuk Korozyonu oluşumu ile harekete geçer. Gerilim etkisi ile birlikte çukurcuk başlangıç bölgesinde çatlaklar oluşur ve çatlaklar taneler-arası veya tane-içi modunda yayılım gösterir.



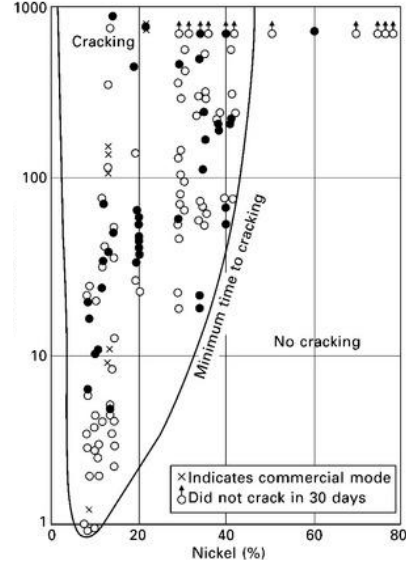
Şekil 15. Elektron mikroskobu ile Klorin-Kromat solüsyonu içindeki metalin yüzey bozunumu [1]

3.4. Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı

Özellikle klorid etkisi altında östenitik paslanmaz çeliklerde görülen Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı özel bir Gerilimli Korozyon çeşididir ve östenitik paslanmaz çeliğin sıkça kullanıldığı tüm sektörlerde (özellikle gıda endüstrisi, boru hatları, açık deniz platformları, gemicilik, vb) yol açtığı mali kayıplarla ön plana çıkmaktadır. (Şekil, 13-14-15)



Şekil 16. Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı eğrisi, Klorid konsantrasyonu ve sıcaklığın fonksiyonu olarak [1]



Şekil 17. Copson Eğrisi, Kaynayan bir magnezyum klorid solüsyonu içerisinde Paslanmaz Çelikteki Nikel içeriğinin Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı oluşumuna etkisi [1]

Tüm östenitik çeliklerin Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı hassasiyeti aynı değildir. Örneğin, östenitik paslanmaz çeliğin Nikel muhtevası ile Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı arasında direk bir bağ olduğu bilinmektedir [16]. Buradan görülmektedir ki Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı oluşumuna en açık paslanmaz çelik Nikel muhtevası %8 olmalıdır ki bu da 304SS için verilen minimum değere tekabül etmektedir. Buradan da anlaşılıyor ki çok düşük ve yüksek Nikel oranlı alaşımlar ile Klorid Gerilim Korozyon Çatlağının önüne geçmek mümkündür. (Örn: Ferritik, Süper Ferritik, Dupleks paslanmaz çelikleri)

4. SONUÇ

Esasen tüm değindiğimiz korozyon çeşitleri için ortam şartları (özellikle sıcaklık) ve ortamın halojen konsantrasyonu önem arz etmektedir. Devamında zayıf bir noktada oluşan redüksiyon reaksiyonları ile ortamın asiditesinin artması, pasivasyon tabakasının kararlılığının bozulmasına ve dolayısı ile ayrışmaya sebep olarak, diğer noktalara atlama ile birlikte kartopu etkisi ile geniş bir yıkıma sebebiyet vermektedir. Dolayısı ile sıcaklık, halojen (klorid) konsantrasyonu ve pH seviyesinin kontrol altında tutulması gereklidir. (Bknz. Şekil 16)

Ayrıca ortam agresifliğinin önceden tetkik edilerek buna göre bir paslanmaz çelik alaşımı seçilmelidir. Örneğin Çukurcuk Korozyonu tehlikesi öngörülen bir ortam için PREN -Pitting Resistance Equivalent Number (Çukurcuk Dayanımı Eşlenik Sayısı- = Cr + 3.3Mo + 16N, Cr = Krom içeriği Mo = Molybdenum içeriği N = Nitrogen içeriği- sayısı üzerinden gidilmesi uygundur. Eğer Gerilimli Korozyon ihtimali yüksek görülüyorsa Dupleks Paslanmaz Çelik veya Nikel ve Molibden içeriği yüksek bir Östenitik Paslanmaz Çelik alaşımı kullanılması uygun olacaktır. Çatlak Korozyonu ise yüksek molibden ve kromlu alaşımlar kullanılarak veya aralık türü hataların tasarım ve imalat sırasında oluşmamasına dikkat edilerek önlenmelidir.

Örneğin gıda sektöründe, Östenitik Paslanmaz Çelik bir hat için, Klorid Gerilim Korozyon Çatlağı problemi, erimiş sıcak çikolata taşıyan borular etrafındaki sıcak su ceketlerinde gözlenebilir. Buradaki çözüm su içerisindeki klorürün iyon değişimi ile uzaklaştırılmasıdır.



Yine Lokalize Korozyon etkilerinin yoğun olarak görüldüğü ve klor yoğun agresif ortam ile ön plana çıkan Petrol Platformlarında tercih edilen paslanmaz çelikten mamül boruların korunması için yüzey düzensizlik ve kirliliklerinin giderilmesi, kaliteli kaynak işlerinin tercih edilmesi, ortam agresifliğini kontrol altında tutulmasında fayda sağlayabilecek (örneğin; halojen içermeyen yalıtım malzemeleri) malzemelerin kullanılması ve sık kontroller yapılması tavsiye edilmektedir. (Bknz. Şekil 10)

Bu ve buna benzer ortam kontrolüne ve doğru malzeme seçimi temelli önlemler ile güvenlik, çevre ve bütçeleri tehdit eden ve beklenmedik ve ani yıkımlara sebep olabilen bu sinsi korozyon tiplerine karşı durabilmek mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] V.S. RAJA, TETSUO SOJI - Stress Corrosion Cracking Theory and Practice (2011)
- [2] R. E. MELCHERS - Pitting Corrosion of Mild Steel under Marine Anaerobic Conditions (National Association of Corrosion Engineers) (2005)
- [3] The Role of Stainless Steel in Industrial Heat Exchangers – Committee of Stainless Steel Producers, American Iron and Steel Institute, 1000 16th Street, N.W Washington D.C 20036
- [4] ALAN HARRISON – Understanding Stainless Steel (British Stainless Steel Association 2013)
- [5] Prof. Dr. AYŞEGÜL AKDOĞAN EKER - Paslanmaz Çelikler ve Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu (2008)
- [6] N. J. LAYCOCK, D. P. KROUSE, S. C. HENDY, and D. E. WILLIAMS - Computer Simulation of Pitting Corrosion of Stainless Steels (2014)
- [7] FONG YUAN MA - Corrosive Effects of Chlorides on Metals Department of Marine Engineering, NTOU Republic of China (Taiwan) (2012)
- [8] SANDRA FINSAS WIKA - Pitting and Crevice Corrosion of Stainless Steel under Offshore Conditions – (Norwegian University of Science and Technology) (2012)

ÖZGEÇMİŞ

Hakan NAYIR

2004'de YTÜ İnşaat Müh. bölümünden mezun olmuştur. On yılı aşkın bir süredir yalıtım sektöründe hizmet vermektedir. Çeşitli dergilerde onu aşkın makalesi yayınlanmıştır. Hâlihazırda Armacell Yalıtım Anonim Şirketi'nde Teknik Pazarlama Müdürü olarak çalışmaktadır.