

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK DEFORMASYONUN AISI 304 VE AISI 204Cu KALİTE
PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKRO YAPILARINA, MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OZAN PALABIYIK**

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

Üretim Metalürjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

NİSAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK DEFORMASYONUN AISI 304 VE AISI 204Cu KALİTE
PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKRO YAPILARINA, MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OZAN PALABIYIK
(506101223)**

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalürjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN

NİSAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101223 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ozan PALABIYIK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SOĞUK DEFORMASYONUN AISI 304 VE AISI 204Cu KALİTE ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPILARINA, MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. M. Ercan AÇMA İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. A. Nihat GÜLLÜOĞLU Marmara Üniversitesi	

Teslim Tarihi : 12 Mart 2013
Savunma Tarihi : 04 Nisan 2013

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca her zaman desteğini gördüğüm, çok değerli bilgi ve deneyimlerini her zaman benimle paylaşan ve çalışmalarına ışık tutan, lisans sonrası iş hayatına atılmamda beni yüreklendiren, akademik hayatta ve profesyonel iş hayatında hayat görüşü ve olaylara bakış açısını örnek aldığım çok değerli hocam Prof.Dr. M.Kelami ŞEŞEN'e saygılarımla teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda hiç tereddüt etmeden kapısını çalabildiğim, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Fahri ARISOY ve deneysel çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında yardımlarından dolayı doktora öğrencisi Yük. Müh. F.Erdem ŞEŞEN'e saygılarımla teşekkür ederim

Üniversite yıllarında içten ve yakın arkadaşlığı ve yüksek lisans yıllarında da en iyi ve en kötü zamanlarımda en büyük destekçim, neşe kaynağım, hayatının ısıldayan parlak renklerini fark etmemi sağlayan varlığı ile, hayatıma ayrı bir anlam katan sevgili arkadaşım, dostum, meslektaşım Yük. Müh. Tülay IRMAK'a en derin sevgilerimle teşekkür ederim.

Hayatın her zaman toz pembe olmadığını ve böyle zamanlarda beraberliğin, saygı ve sevginin çok önemli olduğunu gösteren ve aynı zamanda öğrenim hayatımın her anında ne olursa olsun bana destek veren, bu hayatta bana verdikleri sonsuz sevgi ve emek sayesinde bu mutluluğu yaşamamda, en büyük pay sahibi olan çok değerli ve canım aileme sonsuz teşekkürü minnet bilirim.

Nisan 2013

Ozan PALABIYIK
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİ	5
2.1 Paslanmaz Çeliklerde Alaşım Elementleri	8
2.1.1 Östenit yapıcı alaşım elementleri	9
2.1.2 Ferrit yapıcı alaşım elementleri.....	10
2.2 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması	11
2.2.1 Östenitik paslanmaz çelikler	11
2.2.2 Ferritik paslanmaz çelikler	14
2.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler	16
2.2.4 Dupleks paslanmaz çelikler	17
2.2.5 Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler	18
2.3 Paslanmaz Çeliklerde Korozyon Türleri	19
2.3.1 Paslanmaz çeliklerde oyuk korozyonu.....	20
2.3.2 Paslanmaz çeliklerde aralık korozyonu.....	21
2.4 Konu ile İlgili Çalışmalar	22
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI	25
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar.....	25
3.2 Deneylerin Yapılışı	29
3.2.1 Mikro yapı incelemeleri	30
3.2.2 Çekme testi.....	30
3.2.3 Mikro sertlik ölçümleri	31
3.2.4 Korozyon testi	31
3.2.5 SEM ve EDS analizi	31
3.3 Deneylerin Sonuçları.....	32
3.3.1 Mikro yapı incelemesi sonuçları	32
3.3.2 Çekme testi sonuçları	34
3.3.3 Mikro sertlik testi sonuçları	40
3.3.4 Korozyon testi sonuçları	41
3.3.5 SEM ve EDS analizi sonuçları.....	45
4. GENEL SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

A	: Amper
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
EN	: Avrupa Normu
HV	: Vickers Sertlik Değeri
MPa	: Mega paskal basınç birimi
PREN	: Oyuk Korozyonu Direnci Eşdeğeri
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işınları Difraktometresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Paslanmaz çelik standartları.	7
Çizelge 2.2 : Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	11
Çizelge 2.3 : Östenitik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri.	13
Çizelge 2.4 : Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri.	13
Çizelge 2.5 : Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.	14
Çizelge 2.6 : Ferritik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 2.7 : Ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri.....	15
Çizelge 2.8 : Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	16
Çizelge 2.9 : Martenzitik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri.	17
Çizelge 2.10 : Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	17
Çizelge 2.11 : Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.	18
Çizelge 2.12 : Dupleks paslanmaz çeliklerin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	18
Çizelge 2.13 : Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	19
Çizelge 3.1 : AISI 304 ve AISI 204Cu paslanmaz çeliklerin kimyasal analizleri.....	25
Çizelge 3.2 : Çekme testleri genel sonuçları	38
Çizelge 3.3 : Vickers mikro sertlik değerleri.....	40
Çizelge 3.4 : Daldırma korozyonu sonucu ağırlık kayıpları.....	41
Çizelge 3.5 : AISI 304 ve AISI 204Cu kalite çeliklerin korozyon hızları.....	44
Çizelge 3.6 : Deforme edilmemiş AISI 204Cu EDS analizi sonuçları.....	46
Çizelge 3.7 : 4 ve 5 numaralı noktalara ait AISI 204Cu EDS analizi sonuçları.....	47
Çizelge 3.8 : Soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu EDS analizi sonuçları	48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Schaeffler diagramı	6
Şekil 2.2 : Çelik fazlarının nikel ve sıcaklıkla ilişkisi	9
Şekil 2.3 : Oyuk korozyonunun şematik çizimi.....	20
Şekil 2.4 : Aralık korozyonu şematik çizimi	21
Şekil 3.1 : Metkon Metacut 250 Kesme Cihazı.....	26
Şekil 3.2 : Yüksek sıcaklık fırını	26
Şekil 3.3 : METAMOUNT-3 marka sıcak bakalite alma cihazı	27
Şekil 3.4 : Metkon FORCIPOL-2V marka otomatik parlatma cihazı	27
Şekil 3.5 : Elektrolitik dağlama güç kaynağı.....	28
Şekil 3.6 : Olympus marka metalürjik ışık mikroskopu.....	28
Şekil 3.7 : Future-Tech FM700 marka mikro sertlik ölçüm cihazı	28
Şekil 3.8 : 50 ton kapasiteli çekme cihazı	29
Şekil 3.9 : Normalleştirme ısıtma işlemli mikroyapı görüntüleri.....	32
Şekil 3.10 : %34 oranında deforme edilmiş mikro yapılar.....	33
Şekil 3.11 : %76 oranında deforme edilmiş mikro yapılar.....	33
Şekil 3.12 : %76 oranında deforme edilmiş mikro yapılar.....	34
Şekil 3.13 : Ticari haldeki çeliklerin çekme grafikleri	35
Şekil 3.14 : Isıl işlemli çeliklerin çekme grafikleri.....	36
Şekil 3.15 : %22 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerin çekme grafikleri .	37
Şekil 3.16 : %45 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerin çekme grafikleri .	38
Şekil 3.17 : Deformasyon oranına bağlı çekme testi sonuçları	39
Şekil 3.18 : Deformasyona bağlı sertlik değişimi grafiği	40
Şekil 3.19 : Ağırlık Kaybı (g/cm^2) - Süre(saat) grafiği	42
Şekil 3.20 : Korozyon hızının deformasyon ve zamana bağlı değişimi	43
Şekil 3.21 : Korozyon hızı ($mg/cm^2.sa$) – Süre (saat) grafikleri	43
Şekil 3.22 : Korozyon testi sonrası makro görüntüler	44
Şekil 3.23 : AISI 204Cu paslanmaz çelikte oyuk bölgesi ve korozyon ürünleri.....	46
Şekil 3.24 : 1 numaralı bölgeye ait EDS grafiği.....	47
Şekil 3.25 : AISI 204Cu yüzeyindeki korozyon ürünleri	47
Şekil 3.26 : %34 deforme edilmiş AISI 204Cu çeliğin SEM görüntüsü.....	48

SOĞUK DEFORMASYONUN AISI 304 VE AISI 204Cu KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPILARINA, MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ

ÖZET

Östenitik paslanmaz çelikler krom, nikel, manganez, molibden gibi alaşım elementleri içeren yüksek alaşımlı bir çelik türüdür. Östenitik paslanmaz çelikler bileşimlerinde bulunan nikel veya manganez alaşım elementleri ile oda sıcaklığında kararlı östenit yapıda bulunmaktadır ve manyetik özellik göstermemektedir. Östenitik paslanmaz çelikler krom elementinin yüzeyde oluşturduğu krom oksit (Cr_2O_3) tabakası ile atmosferik koşullarda ve asidik ortamlarda yüksek oksitlenme direnci göstermektedir. Şeffaf ve yenilenebilir özellikteki pasif krom oksit (Cr_2O_3) tabakası östenitik paslanmaz çeliklere parlak metalik görünüm kazandırır. Östenitik paslanmaz çelikler dekoratif görünümleri ile dış cephe kaplamalarında, mutfak araç gereçlerinde, evye imalatında, ameliyat malzemelerinde, kesici aletlerde, kimyasal depolama tanklarında ve gıda depolama tanklarında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Nikel ve manganez alaşım elementleri, östenitik paslanmaz çeliklerin bileşiminde bulunan başlıca östenit yapıcı alaşım elementleridir. Östenitik paslanmaz çelikler bileşimlerinde %6-20 arası nikel, %2-10 arası manganez alaşım elementi bulundurmaktadır. Nikel ve manganez alaşım elementleri Schaeffler diyagramında nikel eşdeğerini arttırarak östenit alanını genişletmekte ve oda sıcaklığında östenit yapının kararlılığını arttırmaktadır. Manganez alaşım elementi ile üretilen östenitik paslanmaz çeliklerde östenit kararlılığının arttırılması ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi için bakır ve azot gibi östenit yapıcı alaşım elementleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bileşiminde nikel alaşım elementi bulunan AISI 304 kalite ve bileşiminde manganez ve bakır alaşım elementi bulunan AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin çeşitli özellikleri karşılıklı olarak incelenmiştir. İlk olarak ticari halleri ve normalleştirme ısı işlemi uygulanmış hallerinin mikro yapıları incelenmiş, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş ve sertlik ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklerin normalleştirme ısı işlemi uygulanmış halleri ile ısı işlem sonrasında çeşitli oranlarda deforme edilmiş hallerinin, mikro yapı incelemeleri yapılmış, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş, sertlik değerleri ölçülmüş ve klorürlü ortamdaki korozyon davranışları incelenmiştir.

Deneyisel çalışmalar kapsamında AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler 1100°C 'ye ısıtılan fırında 1 saat bekletilerek, suda soğutulmuştur. Ticari haldeki ve normalleştirme ısı işlemi uygulanmış haldeki paslanmaz çeliklerin mikro yapıları, mekanik özellikleri ve sertlik değerleri incelenmiştir. Normalleştirme ısı işlemi yapılmış çeliklere, çekme testi cihazında homojen şekil değiştirme bölgesinde,

çeşitli oranlarda soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır. Çeşitli oranlarda soğuk deforme edilmiş haldeki ve normalleştirme ısı işlemi uygulanmış haldeki AISI 304 ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapı incelemesi yapılmış, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş, deformasyon ile sertlik değişimleri ölçülmüş ve son olarak klorürlü ortamda daldırma korozyonu uygulanarak korozyon davranışları incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari hali, normalleştirme ısı işlemli hali ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş hallerinin mikro yapı incelemeleri, mekanik özellikleri ve sertlikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin deformasyon oranına bağlı klorürlü ortamdaki korozyon davranışları incelenmiş ve ASTM G48 standardına göre ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

Mikro yapı incelemesinde, normalleştirme ısı işlemi sonrasında yapının östenit tanelerden oluştuğu görülmüş, %34 ve %76 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerde, soğuk deformasyon ile, yapıda martenzit fazlarının arttığı ve anizotropik tane yapısının oluştuğu görülmüştür. Çekme testlerinde AISI 204Cu kalite ve AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerde artan deformasyon oranı ile akma mukavemeti ve çekme mukavemetinin arttığı, sünekliğin azaldığı belirlenmiştir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin soğuk deformasyon ile mekanik özelliklerindeki artış, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerden yüksektir. Mikro yapı incelemesinde gözlenen, soğuk deformasyon ile oluşan martenzit fazları, AISI 204Cu kalite ve AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerin sertliğini 2 kat arttırmıştır. %10'luk $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ +%1 HCl çözeltisinde 72 saat boyunca daldırma korozyonu uygulanmıştır. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin, normalleştirme ısı işlemi görmüş hali ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş hallerinde oyuk oluşmuş ve buna bağlı olarak ağırlık kayıpları gerçekleşmiştir. AISI 304 kalite paslanmaz çelikler, klorürlü ortamda AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerden daha az ağırlık kaybetmiştir.

THE EFFECT OF COLD DEFORMATION ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION BEHAVIOUR OF AISI 304 AND AISI 204Cu GRADES AUSTENITIC STAINLESS STEEL

SUMMARY

Austenitic stainless steel is a type of high alloy steel including such as chromium, nickel, manganese, nitrogen and molybdenum alloy elements.

The austenitic stainless steels are known promising materials for a wide range of applications. Austenitic stainless steels have important mechanical and corrosion resistant properties.

It is well known that, austenitic stainless steels are obtained their corrosion resistance by forming the passive film. Passive film occurred from chromium content.

Austenitic stainless steel including nickel or manganese alloy element has a stable austenitic and nonmagnetic structure at room temperature. The presence of manganese contributes to improve tensile strength, yield strength and hardness. As an alloying element, nitrogen dissolves in the steel matrix and improves the resistance of the austenitic stainless steel to pitting, stress corrosion cracking and intergranular corrosion. Similarly, copper stabilizes austenite forming, making it possible to reduce the expensive nickel content in alloy. Moreover, copper is a good austenite stabilizer and improves alloy conformability. Therefore, the alloying elements of stainless steels are playing very important role in controlling corrosion resistance and mechanical strength.

Austenitic stainless steel has a passive chromium oxide layer, caused by chromium elements, on the surface, which its show high oxidation resistance at atmospheric and acidic condition. The austenitic stainless steels usually have excellent corrosion resistance and good formability. Passive, renewable and transparent layer on the austenitic stainless steel surface gives metallic glossy appearance to stainless steel.

Nickel and manganese alloying elements in the composition of austenitic stainless steel are the main of austenite forming elements. Austenitic stainless steels include in 6%-20% nickel and 2%-10% manganese alloying element their compositions. Nickel and manganese alloying elements, which effects to increasing of nickel equivalent in the chart of Schaeffler to expand austenitic area and increase stability of austenitic structure at the room temperature. Austenitic stainless steel within manganese alloy, also, include in copper and nitrogen alloy elements for increase austenitic stability and improve mechanical properties.

At room temperature, the deformation behavior of austenitic stainless steel is complicated. The complication is attributed to the degree of austenite stability with respect to martensitic transformation. When austenite is unstable, it transforms partially to martensitic. Austenite-martensitic transformation is increased by mechanical strength. Also, induced martensitic in unstable austenitic structure at room temperature, directly impairs the corrosion resistance of stainless steels in acidic solution.

Austenitic stainless steels have found a wide usage area due to their decorative appearance such as kitchen appliances, sink manufacturing, surgical materials, cutting tool, chemical tanks and food storage tanks.

Austenitic stainless steels (200 and 300 series) contain chromium and nickel or manganese (7% or more) as major alloying elements. The steels from this group (200 and 300 series) have the highest corrosion resistance, weldability and ductility. Austenitic stainless steels retain their properties at elevated temperatures. These steel are not heat treatable because of the presence of chromium alloying element is good carbide forming element its compound with carbon easily at elevated temperatures. Austenitic stainless steel may be hardened only by cold work. Cold working on austenitic stainless steel is forming austenite grains to martensitic plate and increase hardness of stainless steel.

In this study, two types of austenitic stainless steels were chosen AISI 204Cu and AISI 304. Commercial state and annealed state AISI 304, include in nickel alloy, and AISI 204Cu, include in manganese alloy, grades stainless steel were etched by electrolytic etching method in 10% oxalic acid solution. After etching, AISI 304 and AISI 204Cu grade stainless steels microstructures investigated by light microscopy.

AISI 304 and AISI 204Cu grades stainless steel's mechanical properties examined by tensile test device according to DIN EN 10002 part1 standard. Their yield strength, tensile strength and elongation found by tensile test. Then their hardness was measured with Vickers Hardness Value by micro hardness device. Etched stainless steel samples were used to micro hardness test.

Then, annealed state and various proportion deformed state AISI 304 and AISI 204Cu grades stainless steel were etched by 10% oxalic acid solution in electrolytic etching method. Electrolytic etching method in stainless steel was increased visibility of microstructure. Their microstructures investigated by light microscope.

After microstructure investigation, AISI 304 and AISI 204Cu grade stainless steel mechanical properties investigated by tensile test device, and their hardness measured by micro hardness device. Finally pitting corrosion behavior of AISI 204Cu grade stainless steel observed with immersed pitting corrosion test in chlorinated media.

AISI 304 grade and AISI 204Cu grade stainless steels were hold on preheated furnace for 1 hour, at 1100°C and cooled in water. Commercial state and annealed state stainless steel microstructure, mechanical properties and hardness values investigated.

Annealed state stainless steels cold deformed in homogenous deformation area, in various proportions by tensile test device. In various proportions, deformed state stainless steel and annealed state stainless steels were investigated microstructure. Their mechanical properties were examined by tensile test and their hardness measured by micro hardness device. After that, corrosion behavior of AISI 304 grade

and AISI 204Cu grade stainless steels observed by immersed pitting corrosion test in chlorinated media.

Because of experimental studies, commercial state, annealed state and deformed state of AISI 304 grade and AISI 204Cu grade stainless steels are comparative analysis in microstructure, mechanical properties, hardness and corrosion behavior. Corrosion behavior of stainless steel observed according to ASTM G48 pitting corrosion standard.

In microstructure analysis, annealed state AISI 304 grade and AISI 204Cu grade stainless steels have an austenitic structure and austenite grains clearly seen by light microscope. 34% and 76% cold deformed stainless steels have anisotropic structure, because of cold deformation some of austenitic structure transforms to martensitic structure in austenitic grade. Transformation of austenitic grain to martensitic grain increased with the ratio of cold deformation.

In tensile test, yield strength and tensile strength of AISI 304 grade and AISI 204Cu grade stainless steels raised by increasing rate of deformation. However, ductility of AISI 304 grade and AISI 204Cu grade stainless steels decreased by increasing rate of deformation. Mechanical strength of AISI 204Cu grade stainless steels is higher than AISI 304 grade stainless steel in the same deformation rate. Influence of austenitic-martensitic phase transformation makes hardness of stainless steel twice higher than annealed stainless steel hardness.

In addition to microstructure, mechanical test and hardness value investigation, immersion test carried out in 10%FeCl₃.6H₂O at 22°C for a period of 72h, according to standard ASTM G48 test. Gravimetric measurements performed for 24, 48 and 72 h to AISI 304 grade and AISI 204Cu grade stainless steel. Pitting corrosion resistance of AISI 304 grade stainless steel is higher than AISI 204Cu grade stainless steel.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çelik, demir metali ve en fazla %2'ye kadar karbon alaşım elementi içeren demir karbon alaşımlarının genel adıdır. %2'den yüksek karbon alaşım elementi içeren demir karbon alaşımları dökme demir olarak adlandırılmaktadır. Çeliğin temel alaşım elementi karbondur. Karbon bilinen en eski alaşım elementidir.

Çelik insanlık tarihinde çok önemli bir yere sahiptir. Çeliğin şekillendirilmesi ve alaşımlanması ile günümüze kadar birçok teknolojik gelişme meydana gelmiştir. Çelikte alaşımlama teknolojisi yeni elementlerin ve alaşımlama tekniklerinin bulunması ile gelişme göstermiştir. Alaşım elementlerinin çeşitliliği arttıkça, çeliklerin kalitesi ve özellikleri artmıştır. Alaşım elementleri ilavesi ile daha yüksek mekanik özellikler ve korozyon direnci elde edilmiştir (Thelning, 1984).

Çelikler kimyasal bileşimlerinde içerdikleri alaşım elementlerine göre düşük alaşımlı çelikler ve yüksek alaşımlı çelikler olarak ikiye ayrılmıştır. Bileşimlerinde %5 ve altında alaşım elementi bulunan çelikler düşük alaşımlı çelikler, %5 ve üzerinde alaşım elementi bulunan çelikler yüksek alaşımlı çelikler grubuna girmektedir. Paslanmaz çelikler ve takım çelikleri yüksek alaşımlı çelik grubunda bulunan çelik türleridir. Az alaşımlı çelik türleri ise manganezli, kromlu ve krom molibdenli çelikler olarak bilinmektedir (Şeşen, 2009).

Paslanmaz çelikler, çelik alaşımları arasında yeni sayılabilecek kısa bir tarihe sahiptir. 1800'lü yılların başlarında krom metalinin bulunması ile paslanmaz çeliğin keşfedilmesi mümkün olmuştur. 1838 yılında demir krom alaşımlarının su içerisindeki davranışları incelenmiş, 1870'li yıllarda krom alaşımının demirin korozyon direncini arttırdığı keşfedilmiştir. Ancak, paslanmaz çeliklerin kitlesel üretimi ilk olarak 1912 yılında Krupp şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir. Krupp şirketi günümüzde AISI 304 kalite olarak bilinen östenit paslanmaz çelik kalitesinin, patentli ilk üreticisi olmuştur. Kısa süre içerisinde ferritik ve martenzitik paslanmaz çelik gruplarının üretimi başlamıştır (Url-1,2013).

Paslanmaz elikler 150 yıl gibi kısa bir tarihe sahip olmasına rağmen günlük hayatımızda çok önemli alanlarda kullanılmaktadır. Paslanmaz elikleri, diğerk elik gruplarından ayıran en önemli özelliği atmosfer koşullarındaki yüksek korozyon direncidir. Paslanmaz elikler yüksek korozyon direnci ve parlak dış görünümleri ile çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Paslanmaz eliklerin artan kullanım miktarı ile ihtiyaçlar doğrultusunda kalite ve ürün çeşitliliği artış göstermektedir. Paslanmaz eliklerde farklı özelliklerde elik imalatı için belirleyici unsur bileşimde bulunan alaşım elementleri miktarıdır.

Paslanmaz elik imalatında birçok alaşım elementi kullanılmaktadır. Alaşım elementleri içerisinde en önemlisi atmosferik koşullarda korozyon direncini arttıran krom alaşım elementidir. Krom alaşım elementi elik alaşımında %11 ve üzerinde kullanıldığında çeliklerde korozyon direncini arttırmaktadır (Askeland ve diğ., 2009). Krom alaşım elementi ilavesi ile çeliklerin yüzeyinde yenilenebilir, şeffaf ve çok ince bir krom oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşmaktadır. Krom oksit tabakası atmosferik şartlar altında elik yüzeyinde pasif bir tabaka oluşturarak çeliğin korozyon direncini arttırmaktadır.

Paslanmaz eliklerde krom alaşım elementi yanı sıra en çok kullanılan alaşım elementi nikeldir. Nikel alaşım elementi paslanmaz çeliklerde östenit yapıcı olarak kullanılmaktadır ve oda sıcaklığında östenit kararlılığını artırmaktadır. AISI 300 serisi olarak bilinen östenitik paslanmaz çeliklerde %8 ile %20 arası nikel alaşım elementi bulunmaktadır. Nikel aynı zamanda paslanmaz elik alaşım elementleri arasında en pahalı alaşım elementidir. En çok kullanılan paslanmaz elik grubu olan östenitik paslanmaz çelikler nikel alaşım elementine bağlı olarak yüksek üretim maliyetine sahiptir (Cutler ve diğ., t.y.).

1980’li yıllarda dünyadaki nikel krizi sırasında östenitik paslanmaz çeliklerde nikel kullanımının azaltılması için birçok çalışma yapılmış ve alternatif östenitik paslanmaz elik kaliteleri üretilmiştir. Uzakdoğu lkelerinde yürütülen çalışmalar sonucunda östenit oluşturucu bir diğerk alaşım elementi olan mangan ilavesi ile oda sıcaklığında östenitik paslanmaz elik üretimi gerçekleşmiştir. Bileşiminde %2-%5 arası nikel ve %6-%10 arası manganez içeren östenitik paslanmaz elikler AISI 200 serisi olarak adlandırılmıştır. AISI 200 serisi paslanmaz elikler, AISI 300 serisine göre daha düşük alaşım maliyeti ile üretilmiş ve uzak doğuda birçok alanda AISI 300 serisi yerine kullanılmıştır. AISI 200 serisi östenit paslanmaz çelikler de korozyon

direnci ve mekanik özelliklerin geliştirilmesi için bakır, azot, molibden gibi ilave alaşım elementleri kullanılmıştır. Yapılan birçok uluslararası çalışmada AISI 200 serisi paslanmaz çelikler ve AISI 300 serisi paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve korozyon davranışları incelenmiştir. Günümüzde üretilen AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çelik, bakır ilavesi ile AISI 304 kalite paslanmaz çeliğe yakın mekanik özellikler göstermektedir (ISSF, 2005).

Paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımları ve mekanik özellikleri alaşım elementleri miktarına bağlıdır. Paslanmaz çeliklerin en önemli özelliği olan korozyon direnci ortam koşullarına ve alaşım elementleri miktarına göre değişmektedir. Yalnızca krom alaşım elementi içeren paslanmaz çeliklerin atmosferik korozyon direnci yüksek iken, asidik ortamlarda korozyon direnci zayıftır. Krom ve nikel yada manganez alaşım elementi içeren östenitik kalite paslanmaz çelikler asidik ortamlarda yüksek korozyon direnci göstermektedir (ISSF, 2005).

Bu çalışmada ilk olarak alternatif kaliteler olarak dünya piyasasına sunulan AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklerin ticari halleri ve normalleştirme ısı işlemleri uygulanmış hallerinin mikro yapıları incelenmiş, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Daha sonra normalleştirme ısı işlemleri görmüş ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapıları incelenmiş, çekme testi ile mekanik özellikleri belirlenmiş, sertlik ölçümü yapılmış ve son olarak klorürlü ortamdaki korozyon davranışları incelenmiştir.

2. PASLANMAZ ÇELİKLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİ

Paslanmaz çelik yüksek alaşımlı bir çelik türüdür. Paslanmaz çelik imalatı için gerekli temel alaşım elementi kromdur. Düşük karbonlu çeliklere %11 ve üzerinde krom alaşım elementi ilave edilerek atmosfer koşullarında korozyon direnci sağlanmaktadır. Krom metali çelik yüzeyinde pasif özellikte ve yenilenebilir krom oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşturmaktadır. Krom oksit tabakası çeliğin korozyon ortamlara karşı oksitlenme direncini arttırmaktadır (ASM Handbook Desk Edition Vol.1, 2001).

Paslanmaz çeliklerde krom elementi yanı sıra nikel, manganez, molibden, bakır, azot gibi alaşım elementleri de kullanılmaktadır. Alaşım elementi ilavesi ile paslanmaz çeliklerin fiziksel yapısı, mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı değişmektedir. Paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde bulunan alaşım elementlerinin etkilerine bağlı olarak beş gruba ayrılmaktadır.

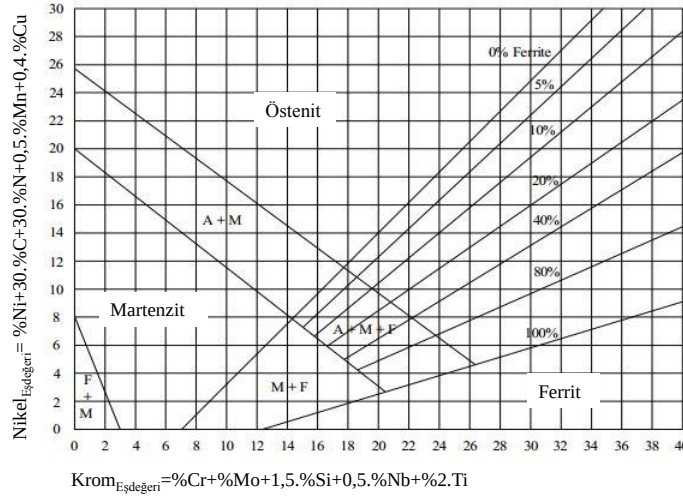
- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik-Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
- Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler (Askeland ve diğ., 2010).

Paslanmaz çeliklerde alaşım elementlerine bağlı olarak kararlı fazlar değişim göstermektedir. Paslanmaz çeliklerdeki alaşım elementleri miktarının paslanmaz çelik fazlarına etkisi Şekil 2.1'de Schaeffler diyagramı ile açıklanmaktadır. Schaeffler diyagramı, alaşım elementlerinin paslanmaz çelik mikro yapısına etkilerine göre hazırlanmış nikel eşdeğeri (1) ve krom eşdeğeri (2) bağlı grafiklerdir (Covert ve Tuthill, 2000).

$$\text{Ni}_{\text{Eş değeri}} = \% \text{Ni} + 30.\% \text{C} + 30.\% \text{N} + 0,5.\% \text{Mn} + 0,4.\% \text{Cu} \quad (2.1)$$

$$\text{Cr}_{\text{Eş değeri}} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1,5.\% \text{Si} + 0,5.\% \text{Nb} \quad (2.2)$$

Nikel elementi önemli bir östenit yapıcı alaşım elementidir ve östenit yapının kararlılığını arttırmaktadır. Paslanmaz çelik alaşımlama da kullanılan diğer elementlerin östenit kararlılığına katkıları nikel eş değeri formülünde açıklanmaktadır. Krom elementi ise güçlü bir ferrit yapıcı alaşım elementidir. Krom eşdeğerinde bulunan alaşım elementleri yapıdaki ferrit kararlılığını arttırmaktadır.



Şekil 2.1 : Schaeffler diyagramı (ASM Handbook Desk Edition Vol.1, 2001).

Schaeffler diyagramı ile alaşım elementlerinin paslanmaz çelik üzerine etkileri açıklanmaktadır. Schaeffler diyagramı nikel eşdeğeri ve krom eşdeğerine göre kararlı fazı göstermektedir. İstenen kalite ve fazın belirlenmesinde gerekli alaşım elementleri miktarı Schaeffler diyagramı ile belirlenmektedir (ASM Handbook Desk Edition Vol.1, 2001).

Paslanmaz çelikler yapılarının bulunduğu fazlara göre Schaeffler diyagramında olduğu gibi östenitik, ferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler olarak sınıflandırılmaktadır. Bunun dışında birçok uluslararası kuruluş tarafından paslanmaz çeliklere ait alaşım standartları belirlenmiştir. Ülkemizde en çok geçerliliği olan standartlar Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (AISI - American Iron and Steel Institute) ve Avrupa Paslanmaz Çelik Birliğinin (EN – European Stainless Steel Association) hazırlamış olduğu standartlardır. Çelik kalitelerine göre AISI ve EN standartları Çizelge 2.1’de verilmiştir (ASM Handbook Desk Edition Vol.1, 2001).

Çizelge 2.1 : Paslanmaz çelik standartları (ASM Handbook Desk Ed., Vol.1, 2001).

	AISI	EN
Östenitik Paslanmaz Çelikler	201	1.4372
	202	1.4373
	204	1.4597
	301	1.4310
	304	1.4301
	310	1.4845
	316	1.4436
	316Ti	1.4571
Ferritik Paslanmaz Çelikler	409	1.4749
	430	1.4016
	446	1.4749
Martenzitik Paslanmaz Çelikler	410	1.4006
	420	1.4021
	420	1.4028
	420	1.4034
Dubleks Paslanmaz Çelikler	2205	1.4462
	2304	1.4362
	255	1.4507
Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	630	1.4542
	631	1.4568

Paslanmaz çelikler diğer çeliklerden farklı birçok özellik ile geniş bir kullanım alanına sahiptir. Paslanmaz çelikleri diğer çelik kalitelerinden ayıran en önemli özellikler aşağıda verilmiştir.

- Atmosferik şartlarda yüksek korozyon dayanımı
- Asidik ve yüksek basınçlı alanlarda kullanımı
- Deformasyon sertleşmesi kabiliyeti
- Deformasyon ile artan akma ve çekme mukavemeti
- Yüksek süneklik kabiliyeti
- Yüksek sürünme kabiliyeti
- Parlak ve dekoratif desenli dış yüzeyi
- Geniş ürün ve kalite çeşitliliği (The Atlas Steel Technical Handbook of Stainless Steel, 2010)

Paslanmaz eliklerde korozyon dayanımı ortam şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Paslanmaz elik kalitesi tercihi yapılırken mutlaka kullanım alanındaki koroziyon etmenler belirlenmeli ve uygun alaşım elementleri içeren paslanmaz elik kalitesi tercih edilmelidir.

Paslanmaz elikler yapılarında düşük miktarda karbon alaşım elementi ve yüksek miktarda karbür yapıcı krom alaşım elementi içermektedir. Isıl işlem uygulamalarında krom karbür oluşumu ile paslanmaz elik yapısı bozulmakta ve korozyon direnci azalmaktadır. Paslanmaz eliklerde sertlik artışı soğuk deformasyon işlemi ile gerçekleşmektedir.

Paslanmaz eliklerde süneklik değerleri yüksektir. Çekme testinde sürekli akma göstermektedir. Soğuk deforme edilmiş paslanmaz çeliklerde soğuk deformasyon oranı arttıkça, akma dayanımı ve çekme dayanımı değerleri artmakta ve kopma uzaması azalmaktadır.

Paslanmaz eliklerin yassı, yuvarlak, köşebent, profil, boru gibi çok geniş ürün çeşitliliği bulunmaktadır. Paslanmaz elik ürünler yüzey kalitesi ve desenlerine bağlı olarak da çeşitlilik göstermektedir. Üretim son aşamasında yüzey parlaklığı sağlanarak dekoratif desenler ile paslanmaz elik yüzeyi şekillendirilmektedir (Aran ve Temel, 2004).

Paslanmaz eliklerin öncelikli kullanım alanı korozyon dayanımı ve dekoratif görünümü sebebi ile dış yüzey kaplamaları, korkuluklar gibi görselliğin ön planda olduğu alanlardır. Bunun yanı sıra korozyon dayanımı ve insan sağlığına belirgin yan etkisi bulunmayan paslanmaz çeliklerin gıda sektörü ve tıbbi alanlarda kullanılması zorunludur. Ayrıca gıda sektörü ve medikal malzemelerin yanı sıra, mutfak araç-gereçlerinde, kimyasal depolama tanklarında, asit depolama tanklarında, yüksek basınç tanklarında, otomatik sektöründe, soğutma sistemlerinde ve uzay endüstrisinde paslanmaz elik kullanımı yaygındır (The Atlas Steel Technical Handbook of Stainless Steel, 2010).

2.1 Paslanmaz eliklerde Alaşım Elementleri

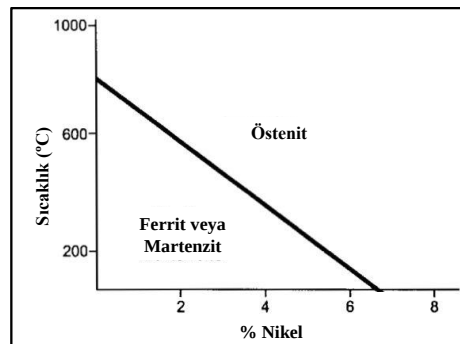
Alaşım elementleri paslanmaz çeliklerin özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile ilave edilmektedir. Paslanmaz elik üretiminde kullanılan alaşım elementleri yapıda oluşan

östenitik ve ferritik fazlara bağılı olarak, östenit yapıcı ve ferrit yapıcı alaşıım elementleri olarak ayrılmaktadır.

2.1.1 Östenit yapıcı alaşıım elementleri

Karbon: Çeliklerin en temel alaşıım elementidir. Ferritik, östenitik ve çökelme sertleşmesi ile sertleştirilmiş paslanmaz çeliklerde en fazla %0,03 karbon alaşıım elementi bulunurken, martenzitik paslanmaz çeliklerde karbon alaşıım elementi miktarı %1,20'ye kadar artmaktadır. Karbon alaşıım elementi çok güçlü bir östenit yapıcıdır. Karbon miktarına bağılı olarak ısıı işleme sertleşme kabiliyeti artmaktadır. Alaşıım elementleri ile metal karbür oluşturmaı istenmemektedir. Paslanmaz çeliklerde ısıı işleme sırasında krom alaşıım elementi ile yapıda fazla bulunan karbon alaşıım elementi krom karbür oluşturmaı ve tane sınırlarında çökelir. Katı eriyik içerisinde azalan krom alaşıım elementi sebebi ile paslanmaz çeliklerde korozyon dayanımı azalmaktadır. Metal karbür oluşturmaı paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon artış göstermektedir. Karbon miktarı yüksek paslanmaz çeliklerde soğuk şekil verme sırasında mutlaka ara tavlama yapılması gerekmektedir (Cunat, 2004).

Nikel: Periyodik tabloda geçiş grubu elementleri arasında yer almaktadır. Yüzey merkezli kübik kristal yapıdadır. Östenit alanını genişletici etki yaratmaktadır ve oda sıcaklığında östenit yapının korunmasını sağlamaktadır. Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde oluşturmaı koruyucu pasif tabakaya direk etkisi yoktur, ancak paslanmaz çelikte sülfürlü ve klorürlü ortamlarda korozyona karşı direnci arttırmaktadır. Nikel alaşıım elementi paslanmaz çeliklerde yüksek tokluk ve süneklik sağlamaktadır ve talaşlı işleme kabiliyetini arttırmaktadır (Cutler ve diğ., 2004).



Şekil 2.2 : Çelik fazlarının nikel ve sıcaklıkla ilişkisi(Covert ve Tuthill, 2000).

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi %6 ve üzeri miktarlarda nikel içeren çeliklerde oda sıcaklığında östenit yapının kararlılığı yüksektir. Nikel miktarı azaldıkça östenitik yapı için gerekli sıcaklık miktarı artış göstermektedir.

Mangan: Alaşım elementleri arasında en iyi deoksidasyon metalidir. Paslanmaz çeliklerde östenit yapıcı metal olarak kullanılmaktadır. %4-%15 arası mangan içeren paslanmaz çeliklerde oda sıcaklığında östenit yapısı korumaktadır. Nikel alaşım elementine alternatif olarak AISI 200 serisi paslanmaz çeliklerde östenit yapıcı alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti ve aşınma direnci mangan alaşımı ile artmaktadır (Lee ve Lee, t.y.).

Azot: Östenit yapıcı bir alaşım elementidir. Östenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerde krom nitrür (CrN) oluşturarak, taneler arası korozyonu ve oyuk korozyonunu önlemektedir. Azot östenitik paslanmaz çeliklerde katı eriyik içerisinde çözünmekte ve akma dayanımını arttırmaktadır (Cunat, 2004).

2.1.2 Ferrit yapıcı alaşım elementleri

Krom: Periyodik tablonun geçiş elementleri kısmında yer almaktadır. Ferrit ile aynı kristal formda hacim merkez kübik yapıda bulunmaktadır. Alaşım içerisinde %11 ve üzerinde kullanıldığında çeliklerde korozyon direncini arttırmaktadır. Çelik yüzeyinde pasif özellikte krom oksit tabakası oluşturmaktadır. Krom alaşım elementi düşük karbonlu çeliklerde akma dayanımını ve sertliği arttırmaktadır. Aktif bir karbon yapıcı metaldir, yüksek karbonlu çeliklerde kullanımında ara tavlama yapılması gerekmektedir (Cunat, 2004).

Molibden: Çok yüksek ergime noktasına sahiptir. Paslanmaz çeliklerde krom ve nikel ile birlikte %2-%4 arasında alaşımlama da kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerde klorürlü ortamda oyuk korozyonunu ve aralık korozyonunu önlemektedir. Pasif krom oksit tabakasının yenilenmesi sırasında oksidasyon direncini azaltır (Cunat, 2004).

Niobyum: Kristal yapısı hacim merkez kübiktir. Mikro alaşımlı çeliklerde kullanımı yaygındır. Paslanmaz çeliklerde kaynak sonrası taneler arası korozyonun oluşmasını önlemektedir. Önemli bir karbür yapıcı metaldir ve krom karbür oluşumunu önler. Ferritik paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıklarda sürünme direncini arttırmaktadır (Cunat, 2004).

Titanyum: Niyobyum ile birlikte karbür ve nitrür bileşikleri oluşturmaktadır. Titanyum karbür katı eriyik içinde çökelir ve çeliğin sertliğini artırır. Titanyum sülfür bileşiği oluşturma durumunda oyuk korozyonu direncini arttırmaktadır (Cunat, 2004).

Silisyum: Ferritik paslanmaz çeliklerde oksitlenmeyi azaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda karbür oluşumunu önler ve çelik içerisine oksit giderici olarak ilave edilmektedir (Cunat, 2004).

2.2 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

2.2.1 Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelik, paslanmaz çelik kaliteleri arasında en geniş kullanım alanına sahip gruptur. Atomik yapısı yüzey merkezli kübiktir. Genellikle %16-26 krom, %10-24 Nikel ile Mangan ve %0,40'ın altında karbon içermektedir. Ayrıca, östenit paslanmaz çelikleri alaşımlama da molibden, bakır, azot, titanyum ve niyobyum alaşım elementleri kullanılmaktadır (European Patent Application, 2006). Östenit paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (Jindal Steel Euroinox Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1965).

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%Si	%S	%P	Diğer
201	0,15	16,0-18,0	3,50-5,50	5,5-7,5	-	1,0	0,03	0,06	0,25 N
202	0,15	17,0-19,0	4,0-6,0	7,5-10,0	1,0	1,0	0,03	0,06	0,25 N
204Cu	0,15	15,5-17,5	1,5-3,5	6,5-9,0	-	0,75	0,03	0,06	2,0-4,0 Cu
301	0,15	16,0-18,0	6,0-8,0	2,0	-	-	0,03	0,045	-
304	0,08	18,0-20,0	8,0-12,0	2,0	-	-	0,03	0,045	-
304L	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	2,0	-	-	0,03	0,045	-
310	0,25	24,0-26,0	19,0-22,0	2,0	-	1,5	0,03	0,045	-
316	0,08	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0	2,0-3,0	1,0	0,03	0,045	-
316 Ti	0,08	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0	2,0-3,0	1,0	0,03	0,045	0,50 Ti

Piyasada en çok bulunan ve en çok tercih edilen östenit paslanmaz çelik kaliteleri AISI 304 ve AISI 304L kalite paslanmaz çeliklerdir. AISI 304 kalite paslanmaz çelik bileşiminde %0,05-0,08 arası karbon alaşım elementi bulundurmaktadır. Östenit paslanmaz çelikler düşük karbon alaşımı sebebi ile ara tavlama uygulanmaksızın

derin sıvama yapılabilir. Derin sıvama kabiliyeti ile mutfak evyesi imalatında ve tencere üretiminde kullanılmaktadır. AISI 304L kalite paslanmaz çelik düşük karbonlu AISI 304 kalite paslanmaz çeliği tarif etmektedir. AISI 304L kalite paslanmaz çelik %0,03-0,05 karbon içermektedir. Düşük karbon alaşımı miktarı ile taneler arası korozyon direnci AISI 304 kaliteye göre daha yüksektir (European Patent Application, 2006).

Östenitik paslanmaz çeliklerde şekil alma kabiliyeti yüksektir. Deformasyon sertleşmesi ile mukavemet değerleri artış göstermektedir. Isıl işlem ile sertlik alma kabiliyeti yoktur. Östenit paslanmaz çelikler manyetik özellik göstermemektedir. Atmosferik ortamda ve asidik ortamda korozyona karşı dayanımları yüksektir. Klorlu ortamlarda sıcaklığa bağlı olarak korozyon kabiliyetleri değişmektedir. 60°C üzerinde sıcaklıklarda kloru karşı korozyon direnci düşmektedir. Tıbbi aletlerde, kesici takımlarda, implant malzemelerinde, gıda sektöründe makine imalatları ve depolama tesislerinde, mutfak gereçlerinde, mutfak evyesi ve sanayi tipi mutfak ekipmanlarında kullanılmaktadır (Aran ve Temel, 2004; Thelning, 1984).

Diğer östenit paslanmaz çelik kalitesi AISI 316 kalitedir. Bileşiminde bulunan %10-14 arası nikel ve %2-3 arası molibden alaşım elementleri ile asidik ortamdaki korozyona karşı mukavemetleri yüksektir. Molibden alaşımı ile kaynak özellikleri artış göstermektedir. Oda sıcaklığında östenit yapı kararlılığı yüksektir ve manyetik özellik göstermemektedir. Basınçlı tank imalatlarında, kimyasal taşıma ve depolama tanklarında, tıbbi cihazlar ile laboratuvar ekipmanlarında kullanılmaktadır (Aran ve Temel, 2004; Thelning, 1984).

Manganez alaşım elementi östenitik paslanmaz çelikte oda sıcaklığında östenitik yapının kararlılığını sağlamaktadır. AISI 200 serisi olarak tanımlanan manganez alaşımlı östenitik paslanmaz çelikte %2-5 arası nikel ve %6-10 arası manganez alaşım elementi bulunmaktadır. Azot ve bakır gibi alaşım elementleri ile AISI 200 serisi manganez içeren östenit paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri ve korozyon direnci artmaktadır. AISI 200 serisi paslanmaz çeliklerde akma ve çekme mukavemetleri AISI 300 serisi paslanmaz çelikler seviyesindedir. Kaynak kabiliyeti nikelli östenit paslanmaz çeliklerden yüksektir. Klorürlü ortamlarda korozyon direnci zayıftır ve oyuk korozyonu ile aralık korozyonu görülmektedir. Normal şartlar altında manyetik özellik göstermemektedir. AISI 200 serisi östenit paslanmaz çeliklerin mutfak gereçlerinde, mutfak evyesi imalatında, sanayi tipi mutfak

ekipmanlarında ve inşaat sektöründe dekoratif amaçlı kullanımı yaygındır (Charles, 2008; Charles ve diğ., 2012; Jindal Steel-Euroinox Technical Data Sheet, t.y.).

Östenitik paslanmaz çelikler farklı kalitelere üretilmelerinin yanında yaklaşık olarak benzer fiziksel özellikler göstermektedir. Yoğunlukları $7,80 \text{ kg/dm}^3$ ile 8 kg/dm^3 arası değişmektedir. Östenit paslanmaz çeliklere ait tüm fiziksel özellikler Çizelge 2.3’de verilmiştir. (Charles ve diğ., 2006)

Çizelge 2.3 : Östenitik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri (ASM Handbook Desk Edition, Vol.1, 2001; Jindal Steel-Euroinox Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1963).

Kalite	Yoğunluk (kg/dm^3) (20°C)	Elastisite Modülü (GPa) (20°)	Termal Genleşme Katsayısı ($10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$)	Termal İletkenlik (20°) [W/(m.K)]	Elektrik Direnci [($\Omega \cdot \text{mm}^2$)/m] (20°C)
201	7,80	200	15,70	15	0,70
202	7,80	200	17,50	15	0,70
204Cu	7,85	200	17,10	15	0,70
301	7,90	200	17,00	15	0,73
304	7,90	200	16,50	15	0,73
304L	7,90	200	16,50	15	0,73
310	7,90	200	15,50	15	0,85
316	8,00	200	16,50	15	0,75
316 Ti	8,00	200	16,50	15	0,75

Östenitik paslanmaz çelikler alaşım elementlerine bağlı olarak farklı mekanik mukavemetler göstermektedir. Genel olarak östenit paslanmaz çelikler sürekli akma dayanımı göstermektedir. Çekme testinde uzama miktarı yüksektir ve sünek kırılma göstermektedir.

Çizelge 2.4 : Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri (ASM Handbook Desk Edition, Vol.1, 2001; Jindal Steel-Euroinox Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1963; Norman ve Ashby, 1991).

Kalite	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama	Sertlik (Plaka) HB
201	750	350	45	90
202	680	340	45	90
204Cu	655	310	60	90
301	540	250	40	85
304	510	230	35	80
304L	490	220	45	79
310	540	215	30	205
316	540	210	40	195
316 Ti	540	240	40	195

Östenitik paslanmaz çeliklerde düşük karbon miktarları sebebi ile ısıtıl işlem sonucu sertlik kabiliyetleri düşüktür. Östenit paslanmaz çelikler deformasyon ile sertleşmektedir. Deformasyon sonucu östenit tanelerde martenzit fazı oluşumu gerçekleşmektedir. Östenit paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti, sıcaklık dayanımı yüksektir. Çizelge 2.4'te östenit paslanmaz çeliklere ait mekanik özellikler verilmiştir.

2.2.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Dünyada en çok kullanılan ikinci paslanmaz çelik grubudur. Atomik yapısı hacim merkezli kübiktir. Bileşiminde %10-30 arası krom alaşım elementi bulundurmaktadır. Ferritik paslanmaz çeliklerin başlıca alaşım elementi krom alaşım metalidir. Korozyon dayanımını arttırmak için molibden, kaynak kabiliyetini artırmak içinde titanyum, niyobyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri kullanılmaktadır (ASM Handbook, Vol 1, 2001). Ferritik paslanmaz çelikler AISI 400 serisi olarak adlandırılmaktadır. En çok tercih edilen ferritik paslanmaz çelik kalitesi %16-18 krom içeren AISI 430 kalitedir. Başlıca ferritik paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri Şekil 2.5'te verilmektedir.

Çizelge 2.5 : Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (ASM Handbook Desk Edition, Vol.1, 2001; Jindal Steel-Euroinox Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1963; Norman ve Ashby, 1991).

Kalite	%C	%Cr	%Mn	%Mo	%Si	%S	%P	Diğer
405	0,08	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
409	0,03	10,5-12,5	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,65 Ti
410	0,08	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
430	0,08	16,0-18,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
434	0,08	16,0-18,0	<1,0	0,9-1,40	<1,0	0,015	0,04	
439	0,05	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,8 Ti
444	0,025	17,0-20,0	<1,0	1,8-2,5	<1,0	0,015	0,04	0,8 Ti
446	0,02	26,0-29,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,5-1,0 Al

Ferritik paslanmaz çelikler düşük karbon alaşımlı çeliklerdir ve ısıtıl işlem ile sertleşme göstermemektedir. Korozyon dayanımları kimyasal bileşiminde bulunan krom alaşım elementi miktarına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklarda mukavemet özellikleri azalmaktadır. Ferritik paslanmaz çelikler manyetik özellik göstermektedir.

Yoğunlukları $7,70 \text{ kg/dm}^3$, elastisite modülleri 220GPa 'dır. Genel olarak ferritik paslanmaz çeliklere ait fiziksel özellikler Şekil 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6 : Ferritik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri (ASM Handbook Desk Ed., Vol.1, 2001; Jindal Steel-Euroinox Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1963; Norman ve Ashby, 1991).

Kalite	Yoğunluk (kg/dm^3) (20°C)	Elastisite Modülü (GPa) (20°)	Termal Genleşme KS ($10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$)	Termal İletkenlik (20°) [W/(m.K)]	Elektrik Direnci [(Ωmm^2)/m] (20°C)
405	7,7	220	11	30	0,6
409	7,7	220	11	25	0,6
410	7,7	220	11	30	0,6
430	7,7	220	10	25	0,6
434	7,7	220	10,5	25	0,7
439	7,7	220	10,5	25	0,6
444	7,7	220	11,6	30	0,8
446	7,7	200	11	17	0,7

Ferritik paslanmaz çelikler östenitik paslanmaz çeliklere göre daha mat yüzey parlaklığına sahiptir. Akma ve çekme dayanımı değerleri östenitik paslanmaz çeliklerden düşüktür. Yüksek krom miktarı sebebi ile kaynak kabiliyetleri azdır. Ferritik paslanmaz çeliklere ait mekanik özellikler Şekil 2.7'de verilmektedir.

Çizelge 2.7 : Ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri (ASM Handbook Desk Ed., Vol.1, 2001; Jindal Steel-Euroinox Technical Data Sheet, t.y.; Parr ve Hanson, 1963; Norman ve Ashby, 1991;).

Kalite	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Plaka) (HB)
405	400	250	17	89
409	380	220	25	75
410	400	250	19	89
430	450	280	20	80
434	450	280	18	83
439	420	240	23	89
444	420	320	23	96
446	500	280	16	-

Ferritik paslanmaz çeliklerin akma ve çekme dayanımı ile sünekliği östenitik paslanmaz çeliklerden düşüktür. Ferritik paslanmaz çelikler derin sıvama

gerektirmeyen mutfak gereçlerinde, otomobil egzoz elemanlarında ve şasi parçalarında kullanımları yaygındır (Aran ve Temel, 2004).

2.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler düşük karbonlu veya yüksek karbonlu olarak üretilmektedir. Düşük karbonlu martenzitik çelikler, östenit bölgesinden havada soğuma ile elde edilmektedir. Oluşan martenzit yapının sertlik ve mukavemet değerleri yüksektir, temperleme ısı işlemi ile tokluk ve süneklik özellikleri artırılmaktadır. Yüksek karbonlu martenzit çeliklerde karbon miktarı %1,2'ye kadar yükselmektedir. Martenzitik çelikler sert manyetik malzemelerdir. Korozyon dayanımları krom miktarına bağlı değişkenlik göstermektedir. Seyreltik nitrik asitlerde, nötr tuzlarda, temiz atmosfer şartlarında korozyon dayanımı göstermektedir. 600°C ve üzeri meneviş işlemlerinde krom karbür çökmesi gerçekleşir ve korozyon dayanımı azalmaktadır (Şeşen, 2009; Thelning, 1984). Başlıca martenzit çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.8'de verilmektedir.

Çizelge 2.8 : Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (ASM Handbook, Vol.1, 2001; Euroinox Technical Data Sheet, t.y.).

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Si	%S	%P
410	0,08-0,15	11,5-13,5	<0,75	<1,5	<1,0	0,015	0,04
420 (X20Cr13)	0,16-0,25	12,0-14,0	-	<1,5	<1,0	0,015	0,04
420 (X30Cr13)	0,26-0,35	12,0-14,0	-	<1,5	<1,0	0,015	0,04
420 (X39Cr13)	0,36-0,42	12,5-14,5	-	<1,0	<1,0	0,015	0,04
420 (X46Cr13)	0,43-0,50	12,5-14,5	-	<1,0	<1,0	0,015	0,04

Martenzit paslanmaz çelikler fiziksel özellikleri bakımından ferritik paslanmaz çeliklerle benzerlik göstermektedir. Martenzit paslanmaz çeliklerin yoğunlukları 7,70 kg/dm³, elastisite modülleri 215 GPa seviyesindedir. Martenzitik paslanmaz çeliklere ait fiziksel özellikler Çizelge 2.9'da verilmektedir.

Çizelge 2.9 : Martenzitik paslanmaz çeliklerin fiziksel özellikleri (ASM Handbook Desk Ed., Vol.1., 2001; Euroinox Technical Data Sheet, t.y.).

Kalite	Yoğunluk (kg/dm ³) (20 ⁰ C)	Elastisite Modülü (GPa) (20 ⁰)	Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁶ ×K ⁻¹)	Termal İletkenlik (20 ⁰) [W/(m.K)]	Elektrik Direnci [(Ω×mm ²)/m] (20 ⁰ C)
410	7,70	215	11	30	0,60
420 (X20Cr13)	7,70	215	11	30	0,60
420 (X30Cr13)	7,70	215	11	30	0,65
420 (X39Cr13)	7,70	215	11	30	0,55
420 (X46Cr13)	7,70	215	11	30	0,55

Martenzitik paslanmaz çeliklerde mekanik özellikler karbon bileşimine bağlı artış göstermektedir. Çizelge 2.10’da görüldüğü gibi çekme mukavemeti ile sertlik değerleri ferritik ve östenit paslanmaz çeliklerden yüksektir. Karbon miktarı arttıkça süneklik ve tokluk kabiliyeti azalmaktadır.

Çizelge 2.10 : Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri (ASM Handbook Desk Ed., Vol.1, 2001; Euroinox Technical Data Sheet, t.y.).

Kalite (AISI)	Çekme Dayanımı (MPa)	0,2 Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (Plaka) (HRB)
410	600	200	20	90
420 (X20Cr13)	700	345	15	95
420 (X30Cr13)	740	345	15	97
420 (X39Cr13)	760	345	12	97
420 (X46Cr13)	780	345	12	99

Martenzitik paslanmaz çelikler en çok bıçak, neşter, jilet ve diğer kesici takımların imalatında kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra martenzitik paslanmaz çelikler karıştırıcı ve mikserlerde, basınçlı valf ve pompalarda kullanılmaktadır (Aran ve Temel, 2004).

2.2.4 Dupleks paslanmaz çelikler

Dupleks paslanmaz çelikler yapılarında ferritik ve östenitik yapıyı birlikte bulundurmaktadır. Kimyasal bileşiminde %22-26 krom, %4-7 nikel, %1-6 molibden, bakır, volfram ve azot gibi elementler içerirler. (Çizelge 2.11) Yapısında bulunan östenit yapıcı elementler sebebi ile oda sıcaklığına soğutulmaları esnasında yapıdaki östenitin %50’si ferritik fazına dönüşür. Çift fazlı yapısı sebebi ile östenitik

paslanmaz çeliklerin ve ferritik paslanmaz çeliklerin özelliklerini göstermektedir. - 80°C ile 300°C arasından kullanımları uygundur (Şeşen, K. 2009; IMO, 2009).

Çizelge 2.11 : Dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi (IMO, 2009).

Kalite (EN)	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%N	%Cu	%W
1.4460	0,08	23,0-28,0	2,5-5,0	1,0	1,0-2,0	1,0	0,03	0,06
1.4482	0,03	19,5-21,5	1,0-3,0	0,6	6,0	0,05-0,17	1,0	-
1.4362	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,0	2,5-3,5	0,08-0,20	-	-
1.4507	0,04	24,0-27,0	4,5-6,5	1,5	2,9-3,9	0,10-0,25	1,5-2,5	-
1.4501	0,03	24,0-26,0	6,0-8,0	1,0	3,0-4,0	0,20-0,30	0,5-1,0	0,5-1,0
1.4462	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,0	2,5-3,5	0,08-0,20	-	-
1.4410	0,03	24,0-26,0	6,0-8,0	1,2	3,0-5,0	0,24-0,32	0,5	-

Dupleks paslanmaz çelikler negatif sıcaklıklarda, oda sıcaklığındaki tokluk ve süneklik değerlerini korumaktadır. Gerilim korozyonu dayanımı östenit paslanmaz çeliklerden yüksektir. Tokluk ve süneklik değerleri ferritik paslanmaz çeliklerden yüksek, östenit paslanmaz çeliklerden düşüktür. Şekil alma kabiliyetleri düşüktür. Çekme dayanımı östenit ve ferritlerden 2 kat kadar daha yüksektir. Dupleks paslanmaz çeliklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.12 : Dupleks paslanmaz çeliklerin mekanik ve fiziksel özellikleri (IMO, 2009).

Kalite (EN)	Yoğunluk (kg/dm ³) (20°C)	Elastisite Modülü (GPa) (20°C)	Elektrik Direnci [(Ωxmm ²)/m] (20°C)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
1.4362	7,75	200	0,80	400	630	25
1.4462	7,80	200	0,80	460	640	25
1.4410	7,79	200	0,80	530	730	20

Dupleks paslanmaz çelikler özel kullanım alanlarına sahiptir. Genel olarak denizcilik uygulamaları, petrokimyasal endüstrisi, ısı dönüştürücüler, sıcak su tankları ve kimyasal tanklarda kullanımları yaygındır (IMO, 2009).

2.2.5 Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler alaşım elementi olarak alüminyum veya titanyum metali içermektedir. Çökelme sertleşmesi yaşlandırma olarak adlandırılan bir ısıtma işlem uygulamasıdır. Alaşım elementi parçacıkları 980°C ile 1040°C civarı

sıcaklıkta ergiyen çözelti içinde çözünür. Elde edilen aşırı doymuş çözeltinin soğutma hızına bağlı olarak çeliğin tane yapısında değişmektedir. Soğuma tercihe bağlı olarak havada, suda ya da yağda tercih edilmektedir. Soğuma hızlı gerçekleşirse ince taneli, soğuma yavaş gerçekleşirse kaba taneli bir yapı oluşmaktadır. Soğuma sırasında partikül olarak çökelen parçacıklar yapının dayanım özelliklerini arttırmaktadır (Zubek, 2006). Alaşım miktarlarına bağlı olarak oluşan matriks malzemelerine göre östenit, yarı östenit ve martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler olarak gruplandırılmaktadır. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.13’te verilmektedir.

Çizelge 2.13 : Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (ASM Metal Handbook Desk Ed., Vol.1, 2001).

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	% Diğer
PH 13-8 Mo	0,05	12,25-13,25	7,5-8,5	0,2	1,0-2,0	2,0-2,5 Mo / 0,9-1,35 Al / 0,01 N
PH 15-5	0,07	14,0-15,50	3,5-5,5	1,0	6,0	2,5-4,5 Cu / 0,15-0,45 Nb
PH 17-4	0,07	15,5-17,5	3,0-5,0	1,0	2,5-3,5	3,0-5,0 Cu / 0,15-0,45 Nb
PH 17-7	0,09	16,0-18,0	6,5-7,75	1,0	2,9-3,9	0,75-1,0 Al

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler çoğunlukla yüksek teknolojik ürünlerde tercih edilmektedir. Uzay endüstrisinde, nükleer atık depolama tesislerinde, yüksek mukavemetli şaftlarda, pervane bıçaklarında ve patlayıcı sistemlerde kullanımları yaygındır (Zubek, 2006).

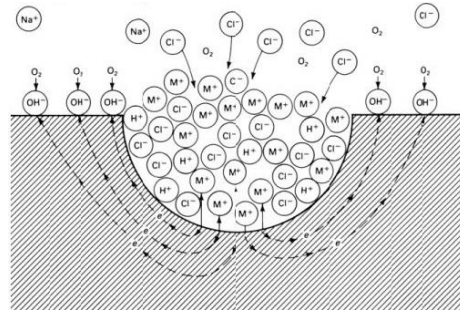
2.3 Paslanmaz Çeliklerde Korozyon Türleri

Korozyon, herhangi bir metalin başka bir metal ile ya da bulunduğu ortam ile arasında kimyasal veya elektrokimyasal etkileşim göstererek oksitlenmesidir. Kimyasal korozyonda metal ile ortam arasında elektron alışverişi sonucu yüzeyde farklı özelliklerde bir oksit tabakası oluşmaktadır. Elektrokimyasal korozyon ise potansiyel farkı bulunan iki yüzey arasında veya bir yüzeyde potansiyel farkı bulunan farklı bölgeler arasında gerçekleşmektedir. Genel olarak paslanmaz çeliklerde elektrokimyasal korozyon meydana gelmektedir (Streicher, 1956). Paslanmaz çeliklerde ortam korozyonuna karşı koruyucu bir oksit film tabakası bulunmaktadır. Bu oksit film tabakası aynı zamanda bir korozyon ürünüdür ve kendi kendini yenileme özelliğine sahiptir. Paslanmaz çeliklerde korozyon, ancak bu

tabakanın ortadan kaldırılması veya hasar alması ile mümkün olmaktadır. Ortam koşulları sonucu yüzeyde oluşan korozyonun şekline göre paslanmaz çeliklerde en çok görülen korozyon türleri; oyuk korozyonu ve çatlak korozyonudur.

2.3.1 Paslanmaz çeliklerde oyuk korozyonu

Paslanmaz çeliklerin yüzeyinde bulunan koruyucu pasif tabaka üzerinde meydana gelen yerel bir korozyon sonucu aktif ve pasif bölgeler oluşarak korozyonun gerçekleşmesi sonucu oyuk korozyonu oluşur. Oyuk korozyonunda oyuk içerisi anot, yüzey katot gibi davranarak elektrokimyasal bir reaksiyon oluşturmaktadır. Oyuk korozyonunun oluşumu Şekil 2.3'te şematik olarak verilmiştir. Oyuk korozyonu metalin içerisine doğru devam etmektedir. Özellikle klorlu ortamlarda oyuk korozyonu hızı çok yüksektir. (ASM Metal Handbook Vol.13, 2001; Correria ve diğ., 2008).



Şekil 2.3 : Oyuk korozyonu şematik çizimi (ASM Metal Handbook Vol.13, 2001).

Oyuk korozyonunda, oyuk bölgesi anodik çözünmeye maruz kalır. Oyuk içerisinde artan pozitif katyonlar ortamda bulunan negatif iyonların oyuk içerisinde toplanmasına sebep olur ve oluşan bu asidik ortam oyukun büyümesine neden olmaktadır. Molibden alaşım elementi paslanmaz çeliklerin oyuk korozyonu direncini arttırmaktadır. Alaşım elementlerini oyuk korozyonu davranışına etkisi oyuk korozyonu eş değeri (Pitting Corrosion Resistance Equivalent Number-PREN) denklemi ile açıklanmaktadır (ASM Metal Handbook Vol.13, 2001).

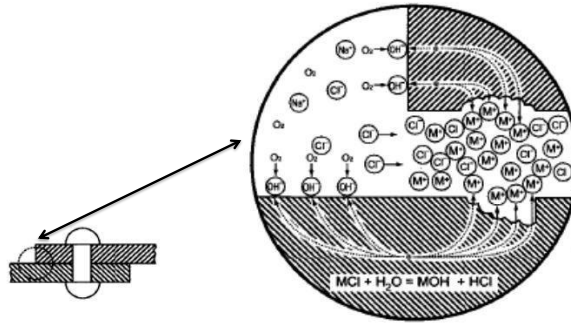
$$PREN = \%Cr + 3,3\%Mo + 16\%N + 1,65\%W \quad (2.3)$$

Ancak, alaşım elementleri kadar, ortam koşulları da çok önemlidir. Oyuk korozyonu dayanımları yüksek olan AISI 304 kalite ve AISI 316 kalite paslanmaz çelikler, akış hızı 1,5m/s'nin altında olan ve kirlilik seviyesi yüksek durgun sularda oyuk korozyonu direncini kaybetmektedir (Aran ve Temel, 2004).

Oyuk korozyonundan tam korunma, ancak ortam koşullarına bağlı en uygun paslanmaz çelik kalitesinin kullanımı ile mümkün olmaktadır. Ortam koşullarının belirlenmesi için ortamdaki aktif iyon miktarı, pH değeri, potansiyel farklılıklar, ortam sıcaklığı ve yüzeydeki pürüzlülük incelenmelidir (Aran ve Temel, 2004; ASM Metal Handbook Vol.13, 2001; Correire ve diğ., 2008).

2.3.2 Paslanmaz çeliklerde aralık korozyonu

Aralık korozyonu oyuk korozyonu ile benzer bir mekanizma ile gerçekleşmektedir. İki farklı yüzey arasında elektrolit özellikte çözelti bulunması durumunda gerçekleşmektedir. Metal yüzeyleri ile elektrolit ortam arasında potansiyel farkı oluşur ve azalan oksijen miktarı sebebiyle pasif tabaka yenilenemez. Aralık korozyonu korozyon ürünlerini korozyonun başladığı aralıktan uzaklaşmadığı sürece etkili olmaktadır. Aralık bölgesinde çözünmeye uğrayan metal ortamdaki pozitif katyon miktarını artırarak aralık bölgesi dışında negatif iyonları ve korozyon miktarını arttırmaktadır. Aralık korozyonu, oyuk korozyonuna oranla yavaş ilerlemektedir. Akışkan ortamlarda korozyon ürünlerinin ortamdaki uzaklaşması ile aralık korozyonunun hızı azalmaktadır. Şekil 2.4’de aralık korozyonun şematik şekli verilmiştir (Correire ve diğ., 2008).



Şekil 2.4 : Aralık korozyonu şematik çizimi (Correire ve diğ., 2008).

Aralık korozyonunun gerçekleşmesi için her iki yüzeyinde metal olması zorunluluğu yoktur. Yüzeylerden biri cam, polimer veya lastik olabilir. Bu sebeple aralık korozyonu en çok makine bağlantı elemanlarında, kimyasal depolama tanklarında, koruyucu kaplama içeren metal yüzeylerinde ve yüzeylerde oluşan kılcal çatlaklarda gerçekleşmektedir. Kapalı yüzeylerde gerçekleşmesi sonucu geç fark edilmektedir.

2.4 Konu ile İlgili Çalışmalar

Östenitik paslanmaz çeliklerle alakalı literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte farklı alaşımlama teknikleri ve alaşım elementleri kullanımı östenitik paslanmaz çeliklerin kalite çeşitliliğini arttırılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar korozyon direncinin arttırılması ve alternatif alaşım elementlerinin kullanılması üzerine yoğunlaşmaktadır. Bunun yanı sıra, alternatif kalitelerden biri olan AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik ile AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerin karşılaştırıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Deneysel çalışmalar öncesinde AISI 304 kalite paslanmaz çelik, AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik ve östenit paslanmaz çeliklerin korozyon davranışları ile ilgili makaleler incelenmiştir.

2007 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada ısıtılma işlemi ile sertleşme kabiliyeti olmayan AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğe farklı oranlarda soğuk deformasyon işlemi uygulanmış ve soğuk deformasyon işlem sonrası fiziksel ve mekanik incelemeler yapılmıştır. Artan deformasyon miktarı ile çeliğin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve sertliği artmıştır. Sertlik değeri %40 oranında soğuk deformasyona kadar artış göstermiştir. %45 ile %50 oranında soğuk deformasyon sonucunda sertlikte artış olmamıştır. AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin östenit yapısını, %25 deformasyon miktarına kadar koruduğu, deformasyon miktarı arttıkça martenzit dönüşümü gerçekleştiği belirtilmiştir (Milad ve diğ, 2007).

Paslanmaz çeliklerdeki soğuk deformasyonun etkilerinin incelenmesi amacıyla, 2010 yılında Hedayeti ve diğ. tarafından AISI 304L kalite paslanmaz çeliğe soğuk deformasyon uygulanmış, fiziksel özellikleri ile mikro yapısı incelenmiştir. Soğuk deformasyon sonucu mikro yapıdaki değişimin incelenmesi için optik inceleme yapılmış ve XRD ile faz analizi gerçekleştirilmiştir. Faz analizi sonuçlarına göre soğuk deformasyon miktarı arttıkça östenit fazı pikleri azalırken, alfa martenzit fazı piklerinde artış görülmüştür. Deformasyon oranı arttıkça martenzit piklerinin miktarı artmış ve %50 deformasyon oranında tek bir martenzit piki görülmüştür (Hedayeti ve diğ, 2010).

300 serisi paslanmaz çeliklere alternatif oluşturmak için üretilen 200 serisi mangan içeren östenitik paslanmaz çelikler ile ilgili 2009 yılında yapılan bir çalışmada, AISI 201 kalite östenitik paslanmaz çeliğin deformasyon davranışı incelenmiştir.

Deformasyon sonucu mikro sertlik, çekme dayanımı, akma dayanımı yanı sıra, manyetik doygunluk testi ile martenzit yüzdesi hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, 304 kaliteye ait değerler ile karşılaştırmalı tablo ve grafikler ile açıklanmıştır (Tavares ve diğ., 2009).

AISI 202 ve AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerin şekil alma kabiliyetlerinin M. Du Toit ve H.G. Steyn tarafından incelendiği çalışmada, AISI 202 kalite paslanmaz çeliklerin deformasyon sonucunda tanelerde anizotropi oluştuğu ve çekme testinde yüksek uzama oranına ulaştığı görülmektedir. Sertlik ölçümleri sonucunda AISI 202 kalite paslanmaz çeliklerin deformasyon ile sertleşme kabiliyetinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Toit ve diğ., 2011).

Soğuk deformasyon sonucu östenit yapıdaki değişimler 2005 yılında Meszaros ve diğ. tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada AISI 304 kalite paslanmaz çelikte soğuk deformasyon sonucu martenzit oluşumu manyetiklik özellik değişimi ile incelemiştir. Paramanyetik östenitik yapının yine paramanyetik ϵ -martenzit ve ferromanyetik α -martenzit yapısına dönüşümü takip edilmiştir. Uygulanan soğuk işlem numune sertliğini 2-3 kat artırmıştır. Manyetik yapının düzelmesi için ısıtma işlemi uygulanmış ve manyetik yapının ters dönüşümü 800°C'nin üzerinde gerçekleşmiştir (Meszaros ve Prohaskza, 2005).

Ferreira ve diğerleri çalışmalarında 2000li yıllarda üretilen AISI 204Cu kalite östenit paslanmaz çelik ile AISI 434 ferritik paslanmaz çelik ve AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin, alkali klorür çözeltisi içerisindeki korozyon dayanımı incelenmiştir. Korozyon testleri 0,1M NaOH+ 0,5M NaCl içeren çözeltide gerçekleştirilmiştir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik numunelerin AISI 434 kalite paslanmaz çelikten yüksek korozyon dayanımı gösterdiği, ancak AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerden daha düşük korozyon dayanımı olduğu tespit edilmiştir (Freira ve diğ., 2008).

Bakır alaşım elementinin AISI 304 kalite paslanmaz çeliğe etkilerini incelemek için 2002 yılında yapılan çalışmada; AISI 304 kalite çeliğe %1,79 Cu ilave edilerek, yığılma enerjisi, martenzit dönüşümü, çekme dayanımı incelenmiştir. Bakır ilavesi ile deformasyon sertleşmesi özelliği azalmıştır. Martenzit oluşumu bakır ilavesi ile azalmaktadır. Bakır ilavesi ile uzama miktarı artmış ve şekil alma kabiliyeti gelişmiştir (Gonzalez ve diğ., 2002).

Nakada, N. ve diğerlerinin AISI 316 kalite östenit çelik üzerinde gerçekleştirmiş oldukları, soğuk çekme ve soğuk haddeleme araştırmaları sonucu deformasyon ile sertleşmenin soğuk çekme yöntemi ile daha yüksek oranlarda gerçekleştiği görülmüştür. Soğuk deformasyon işleminin tane yapısında ikizlenme gerçekleştirdiği ve ilk olarak oluşan martenzit yapıların ikizlenmiş tanelerde ya da östenitik taneler ile ikizlenmiş taneler arasında olduğu tespit edilmiştir (Nakado ve diğ., 2009).

2009 yılında İranlı bir bilim adamı E. Jafari'nin gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, AISI 304 kalite ve %2 Cu içeren AISI 304 paslanmaz çeliklerin uygulanan çekme testi öncesi ve sonrası martenzit oluşumu ve korozyon dayanımları incelenmiştir. Bakır içeren paslanmaz çelik numunede martenzit oluşumunun daha az olduğu tespit edilmiştir. Bakırlı östenit yapının daha kararlı östenit oluşturduğu ve korozyona karşı dayanımının daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. (Jafari, 2009)

A. Pardo ve diğerlerinin İspanya'da 2006 yılında gerçekleştirdikleri araştırmada, elektrokimyasal korozyon ölçümleri yanı sıra ASTM G48 standardına uygun olarak daldırma ve kilogram kaybı esasına dayalı korozyon testi uygulanmıştır. Değişik miktarlarda Cu ve Sn katkısı gerçekleştirilen AISI 304 ve AISI 316 kalite paslanmaz çeliklerde korozyon dayanımları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Oyuk korozyonu dayanımının bakır ilavesi ile artış gösterdiği tespit edilmiştir (Pardo ve diğ., 2006).

Uluslararası Korozyon Enstitüsünün (NACE) yapmış olduğu çalışmada, ASTM G48 standardı olarak bilinen daldırma korozyon testi için optimum koşullar belirlenmiştir. ASTM 48 korozyon deneyi uygulaması gerçekleştirilmiş koşullardaki değişimlerin etkileri incelenmiştir. Çözeltinin hazırlanması, numunelerin belirlenmesi ve ağırlık hesaplaması ile ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur (Corbett, t.y.).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

Deneysel çalışmalarda, önce ticari AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapıları, çekme testi ile mekanik özellikleri ve sertlikleri incelenmiştir. Daha sonra normalleştirme ısı işlemi yapılan AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin deforme edilmemiş ve deforme edilmiş hallerinin mikro yapısı, çekme testi ile mekanik özellikleri, sertlik değerleri ve klorlu ortamdaki korozyon davranışları incelenmiştir.

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Deneysel çalışmalarda ticari ürün olarak temin edilmiş, 10 mm çapında, parlak yüzeyli, AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite östenit paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. Paslanmaz çelik çubukların ilk önce kimyasal analizle bileşimi belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan paslanmaz çeliklerin bileşimi Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çeliklerin kimyasal bileşimi AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler için standartlarda istenen bileşim değerlerini karşılamaktadır.

Çizelge 3.1 : AISI 304 ve AISI 204Cu paslanmaz çeliklerin kimyasal analizleri.

Element	% Ağırlık	
	AISI 304	AISI 204Cu
C	0,045	0,046
Cr	18,301	16,319
Ni	7,695	2,107
Mn	1,764	8,072
Cu	0,521	1,981
S	0,027	0,005
Si	0,555	0,437
P	0,040	0,031
Mo	0,291	0,106
Fe	70,425	70,590

Paslanmaz çelik çubuklar ısıtıl işlem fırının boyutuna ve çekme testi numunesi boyutlarına uygun olması için 25 cm uzunluğunda kesilmiştir. Kesme işlemleri silisyum karbür diskler ile soğutucu bor yağı altında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan Metkon METACUT 250 Marka kesme cihazı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Metkon Metacut 250 Kesme Cihazı.

Normalleştirme ısıtıl işlemi, elektrik dirençli 1300°C sıcaklığa çıkabilen fırında yapılmıştır. 1100°C sıcaklıkta 1 saat bekletilen çelik çubuklar suda soğutulmuştur. Normalleştirme ısıtıl işleminde kullanılan fırın Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Yüksek sıcaklık fırını (max. 1300°C).

Normalleştirme ısıtıl işlemi yapılmış çeliklerin soğuk deformasyon işlemi çekme cihazında çeliklerin homojen deformasyon bölgesinde kalacak şekilde çekilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Normalleştirme ısıtıl işlemi uygulanmış ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerden metalografik incelemeler için numuneler kesilmiş ve kesilen numuneler METAMOUNT-3 marka sıcak bakalit alma cihazında bakalite alınmıştır. Metamount-3 marka sıcak bakalite alma cihazı Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 : METAMOUNT-3 marka sıcak bakalite alma cihazı.

Sıcak bakalite alınmış paslanmaz çelikler, SiC zımparalar kullanılarak 2500 gride kadar kaba parlatılmış ve ardından keçe üzerinde 1 mikronluk elmas parlatıcı ile nihai parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemlerinde kullanılan otomatik parlatma cihazı Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Metkon FORCIPOL-2V marka otomatik parlatma cihazı.

Nihai parlatılmış paslanmaz çelikler %10 okzalit asit çözeltisinde elektrolitik dağlama tekniği ile dağlanmıştır. Elektrolitik dağlama tekniğinde katot malzemesi olarak östenit paslanmaz çelik kullanılmış ve elektrik kaynağı olarak AC/DC dönüşümlü akım kaynağı kullanılmıştır. Dağlayıcı çözeltinin homojenizasyonu için manyetik balık karıştırıcı kullanılmıştır. Elektrolitik dağlama sonrasında çelikler etil alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur. Elektrolitik dağlama yöntemi için kullanılan güç kaynağı Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 : Elektrolitik dağlama güç kaynağı.

Elektrolitik dağlama sonrasında Olympus marka metalürjik ışık mikroskopi ile AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapısı incelenmiştir. Metalografi çalışmalarında kullanılan Olympus marka metalürjik ışık mikroskopi Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Olympus marka metalürjik ışık mikroskopi.

Çeşitli oranlarda soğuk deforme edilmiş ve metalografik olarak hazırlanmış paslanmaz çeliklerin mikro sertlik değerleri Future Tech FM700 marka sertlik cihazı ile Vickers Sertlik Değeri cinsinden ölçülmüştür. Mikro sertlik ölçümlerde elmas uç kullanılmış ve 500 kg yük uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro sertlik cihazı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 : Future-Tech FM700 marka mikro sertlik ölçüm cihazı.

Deneysel çalışmalarda çekme testleri DIN EN10002 part1 normuna uygun olarak yapılmıştır. Çekme testlerinde 25 cm uzunlukta kesilmiş çelikler kullanılmıştır. Çekme testlerinde kullanılan 50 ton kapasiteli çekme cihazı Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 : 50 ton kapasiteli çekme cihazı.

Deneysel çalışmalar kapsamındaki korozyon testi ASTM G-48 standardına uygun olarak yapılmıştır. Korozyon çözeltisinde asılı olarak belirli sürelerde bekletilen numuneler hassas terazide tartılarak ağırlık değişimi izlenmiştir. Korozyon testi sonunda numunelerdeki korozyon ürünlerinin SEM incelemesi Jeol JSM 7000F marka taramalı elektron mikroskobunda, EDS incelemesi INCA Oxford analiz cihazında yapılmıştır.

3.2 Deneylerin Yapılışı

Ticari bir firmadan temin edilen AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere normalleştirme ısı işlemi uygulanmıştır. Normalleştirme ısı işlemi ile paslanmaz çeliklerdeki üretim aşamasında uygulanan işlemlerin etkisi kaldırılmış ve tamamı östenit taneler içeren bir yapı elde edilmiştir. Normalleştirme ısı işlemi yapının tamamen östenit fazına dönüşmesi için 1100°C’de yapılmıştır. 1100°C’ye ısıtılan fırın içerisinde 60 dakika tutulan çelikler suda soğutulmuştur. Normalleştirme ısı işlemi ile AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin eş koşullara sahip olması sağlanmıştır.

Normalleştirme ısı işlemi sonrasında AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere %22, %34, %45 ve %76 oranlarında soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır. Soğuk deformasyon işlemi çekme testi cihazında, homojen deformasyon bölgesinde kalınarak, çeliklerin çekilmesi ile gerçekleştirilmiştir. %34 ve %76 deformasyon oranındaki çeliklerin mikro yapı incelemesi ve sertlik ölçümleri

yapılmıştır. %22 ve %45 deformasyon oranındaki çeliklerin çekme testi ile mekanik özellikleri incelenmiştir. Deforme edilmemiş, %34 deforme edilmiş ve %76 deforme edilmiş haldeki paslanmaz çeliklerin klorlu ortamda daldırma korozyonu davranışları incelenmiştir.

3.2.1 Mikro yapı incelemeleri

AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari halleri, normalleştirme ısı işlemli halleri ile %34 ve %76 oranında deformasyon uygulanmış hallerinin ışık mikroskobu ile mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Bakalite alınan numuneler 2500 gride kadar SiC zımpara ile kaba parlatılmış ve 1 mikronluk elmas çözeltisi ile keçe üzerinde nihai parlatma işlemi tamamlanmıştır.

Parlatma işlemleri sonrasında, mikro yapı incelemesinde tanelerin ve fazların ayırt edilebilmesi için elektrolitik dağlama işlemi uygulanmıştır (Bramfitt, 2002). Elektrolitik dağlama işlemi %10'luk okzalit asit çözeltisinde, 0,05A ile 0,25A arası akımda, 2 dakika ile 15 dakika arası sürede tamamlanmıştır. Dağlama süresi ve akım miktarı dağlama yapılan çelik kalitesine ve deformasyon miktarına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Dağlama sırasında dağlama çözeltisinin homojenizasyonu için çözelti manyetik balık ile karıştırılmıştır.

Dağlanmış AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ışık mikroskobu ile mikro yapı incelemeleri yapılmıştır.

3.2.2 Çekme testi

Çekme testlerinde AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari hali, normalleştirme ısı işlemi uygulanmış hali ile %22 ve %45 deforme edilmiş hallerine çekme testi uygulanmıştır. Çekme testlerinde 25 cm uzunluğunda kesilmiş çelik çubuklar kullanılmıştır. Çelikler için ilk boy uzunluğu kesit alanının 5 katı olarak alınmıştır. Çekme testinde 5 N/mm² ön yük uygulanmıştır. Tüm çekme testlerinde çekme hızı 20 mm/dk, akma hızı 20 mm/dk olarak belirlenmiştir. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere uygulanan çekme testleri ile akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama miktarı gibi mekanik özellikler belirlenmiştir.

3.2.3 Mikro sertlik ölçümleri

Mikro sertlik ölçümlerinde AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari hali, normalleştirme ısı işlemi görmüş hali ile %34 ve %76 deforme edilmiş hallerinin sertlikleri Vickers Sertlik Değeri cinsinden ölçülmüştür. Vickers sertlik ölçümlerinde 136° açılı dörtgen piramit şeklinde elmas uç kullanılmıştır (Thelning, 1984). Vickers sertlikleri değeri piramit elmas ucun malzeme yüzeyinde oluşturduğu izin köşegen uzunlukları ölçülerek cihaz tarafından hesaplanmıştır. Mikro sertlik ölçümlerinde dağlanmış numuneler kullanılmıştır. Sertlik değerleri yüzeyden merkeze doğru ölçülmüş ve elde edilen ölçümlerin ortalaması alınarak ortalama sertlik değeri belirlenmiştir.

3.2.4 Korozyon testi

AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin klorlu ortamdaki oyuk korozyonu davranışları, daldırmalı korozyon deneyi ile incelenmiştir. Daldırmalı korozyon deneyi ASTM G48 oyuk korozyonu standardına uygun olarak yapılmıştır. Korozyon testinde AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin deforme edilmemiş, %34 oranında deforme edilmiş ve %76 oranında deforme edilmiş halleri ASTM G48 standardına göre %10'luk $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ +%1 HCl çözeltisinde 72 saat boyunca asılı kalacak şekilde bekletilerek ağırlıklarındaki azalmalar hesaplanmıştır. Korozyon testi öncesinde çelikler SiC zımpara ile parlatılmış ve hassas terazi ile ağırlıkları ölçülmüştür. ASTM G48 standardında belirtildiği gibi 24 saatlik periyotlarda numuneler çözeltiden çıkarılarak ağırlık kontrolü yapılmıştır. Çözeltiden çıkarılan numuneler saf su ve etil alkol içerisinde fırça ile korozyon ürünlerinden temizlenmiştir. Numuneler ısıtıcı ile kurutularak ağırlık kontrolü yapılmış ve tekrar çözelti içerisine bırakılmıştır.

Korozyon ürünlerine SEM ve EDS analizi yapılabilmesi için deforme edilmemiş ve %34 oranında deforme edilmiş AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler 5 gün boyunca çözelti içerisinde bırakılmıştır. (ASTM G48-00, 2000)

3.2.5 SEM ve EDS analizi

SEM ve EDS incelemesi yalnızca AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik için yapılmıştır. 5 gün boyunca korozyon çözeltisi içerisinde bırakılan AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler korozyon ürünleri temizlenmeden, etüvde kurutularak SEM

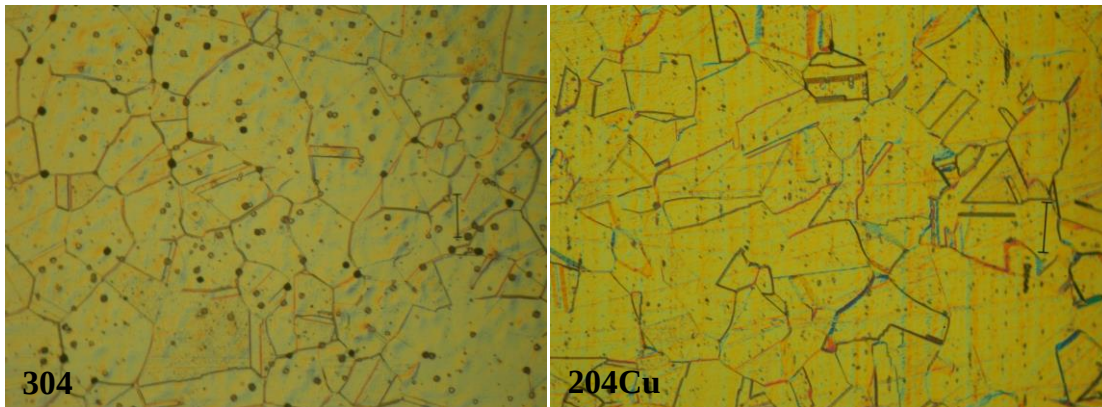
incelemesi yapılmıştır. SEM incelemesinde gerekli görülen bölgelerden fotoğraflar alınmış ve EDS analizleri yapılmıştır.

3.3 Deneylerin Sonuçları

Deneyisel çalışmalarda AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari, normalleştirme ısısal işlemi uygulanmış ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş hallerinin mikro yapıları, çekme testi ile mekanik özellikleri, sertlikleri ve son olarak klorlu ortamdaki korozyon davranışları incelenmiştir. Yapılan deneyisel çalışmalarda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

3.3.1 Mikro yapı incelemesi sonuçları

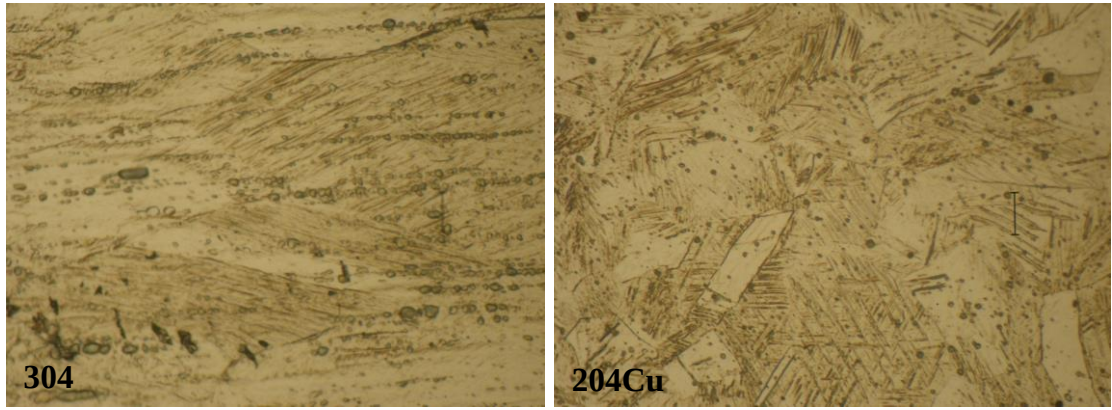
Mikro yapı incelemelerinde ilk olarak ticari haldeki, normalleştirme ısısal işlemi uygulanmış haldeki ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş haldeki AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Normalleştirme ısısal işlemi sonrasında AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerde östenit tanelerin eş boyutlarda ve yuvarlak olduğu görülmüştür. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte ise normalleştirme ısısal işlemi sonrasında östenit taneleri farklı büyüklükte ve keskin köşelidir. Genel olarak yapılan incelemelerde mikro yapılarda ikizlenme ve martenzit oluşumu görülmemiştir. Mikro yapı incelemesinde görünen siyah oyukların dağlama sırasında oluşan korozyon sebebiyle olduğu düşünülmüştür. Normalleştirme ısısal işlemi uygulanmış çeliklerin mikro yapı görüntüleri Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 : Normalleştirme ısısal işlemli mikro yapı görüntüleri (Ölçek Boyu: 20µm).

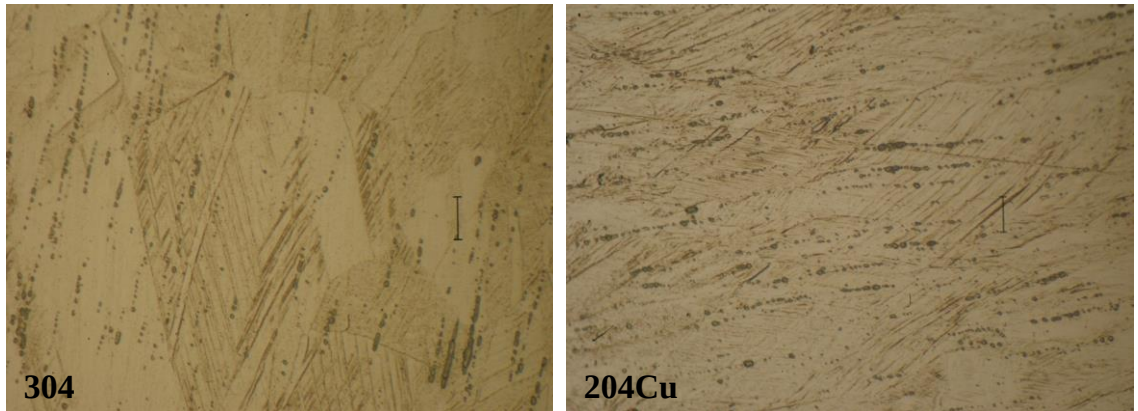
%34 deforme edilmiş haldeki AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde karmaşık bir mikro yapı görülmüştür. %34 deforme edilmiş AISI 304 kalite

paslanmaz çeliklerde martenzit fazları belirli bir yönelme göstermektedir ve östenit tane sınırları belirgin değildir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte ise östenit tanelerin içerisinde oluşan martenzit plakaları yönelme göstermemektedir ve östenit tane sınırları belirgin şekilde görülmektedir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte bakır ilavesi ile östenit kararlılığının arttığı ve manganezli çelik yapısı sebebi ile martenzit plakalarında eş yönelim göstermediği düşünülmüştür. Şekil 3.10'da %34 deforme edilmiş AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite çeliklerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



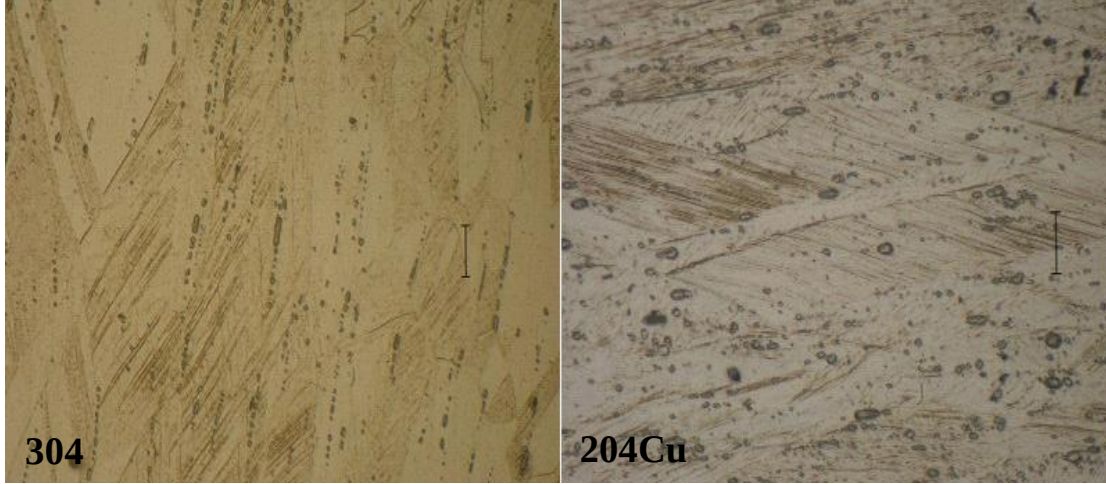
Şekil 3.10 : %34 oranında deforme edilmiş mikro yapılar (Ölçek boyu 20µm).

Mikro yapı incelemesi yapılan en yüksek deformasyon bölgesi %76 oranında deforme edilmiş boyun bölgesidir. %76 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerde mikro yapı karmaşık bir halde bulunmaktadır. Deformasyon oranına bağlı olarak östenit taneleri martenzit fazına dönüşmektedir ve martenzit plakalar yapıda düzensiz şekilde yer almaktadır. Şekil 3.11'de %76 deforme edilmiş çeliklerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.11 : %76 oranında deforme edilmiş mikro yapılar (Ölçek boyu: 20µm).

Deformasyon oranı arttıkça AISI 304 kalite paslanmaz çelikte %34 oranında deforme edilmiş çelikte görülen yönelmeler bozulmuştur ve martenzit plakaları ters açılı olarak östenit matrisine yerleşmiştir. Artan deformasyon oranı ve boyun verme sebebi ile martenzit plakalarının kesiştiği bölgelerde sertlik değerinde artmıştır. Martenzit plakaların oluşturduğu kesişimler Şekil 3.12’de büyük büyütmede verilmiştir.

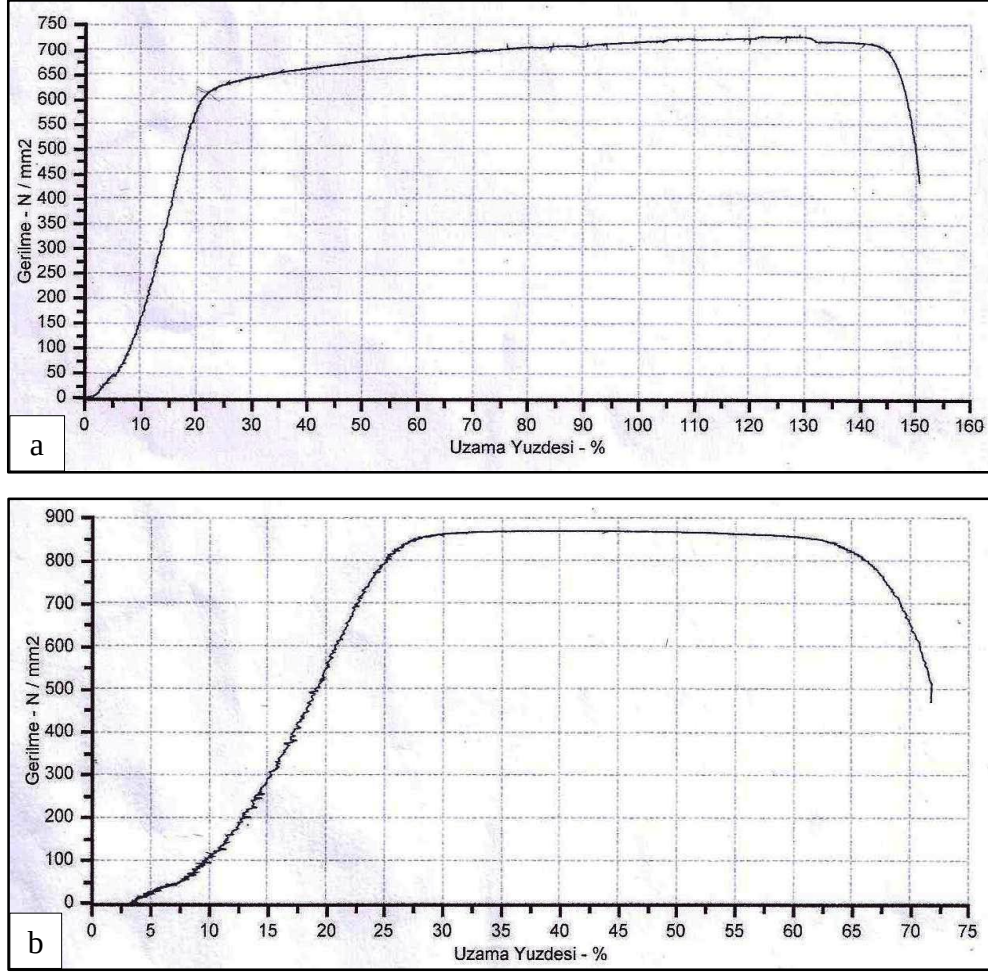


Şekil 3.12 : %76 oranında deforme edilmiş mikro yapılar (Ölçek boyu: 10µm).

Mikro yapı incelemeleri sonucunda artan deformasyon oranı ile birlikte AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde östenit-martenzit faz dönüşümü görülmüştür. Deformasyon oranı arttıkça martenzit faza dönüşen östenit tanesi artmaktadır.

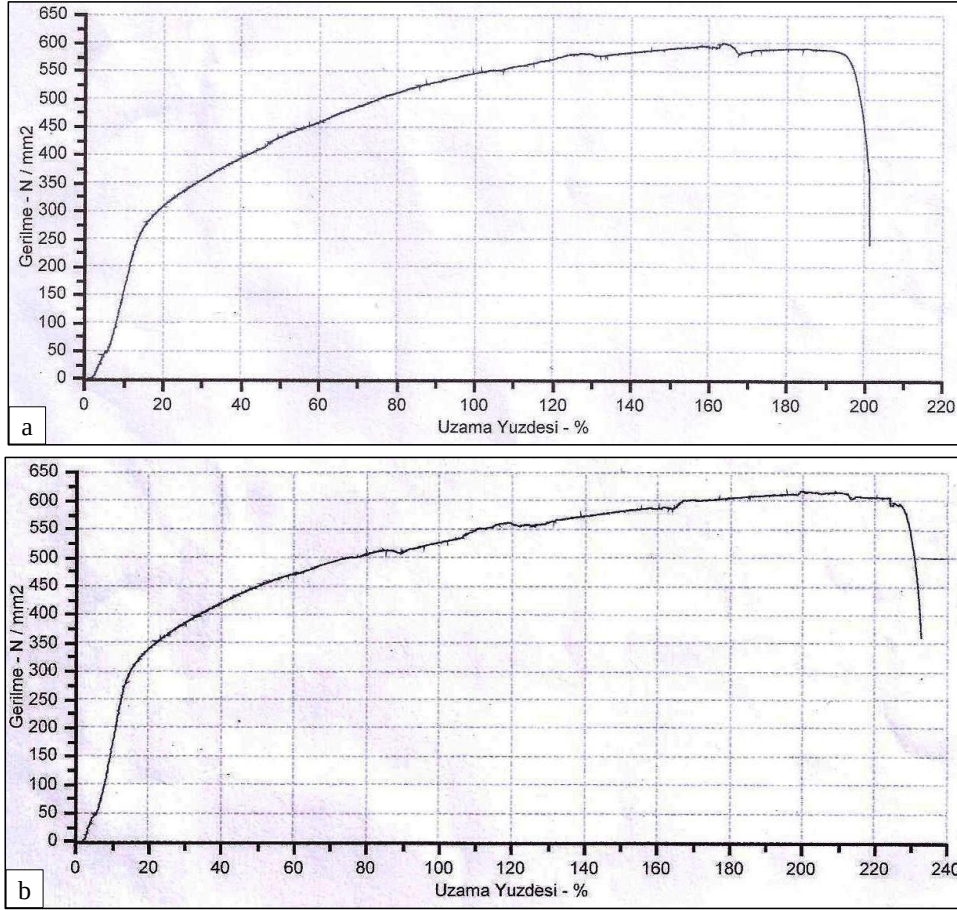
3.3.2 Çekme testi sonuçları

DeneySEL çalışmalarda kullanılan numunelere DIN EN 10002 part1 standardına uygun olarak çekme testleri yapılmıştır. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklere uygulanan çekme testlerinde sürekli akma görülmüştür. Çekme testinde ilk olarak AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari halleri kullanılmıştır. Ticari haldeki AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere ait çekme testi grafikleri Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.13 : Ticari haldeki çeliklerin çekme grafikler a) AISI 304 b) AISI 204Cu.

Deneysel çalışmalarda kullanılan ticari ürün olarak temin edilen AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin yüksek akma ve çekme dayanımı değerleri nedeniyle üretim sırasında soğuk işlem gördüğü anlaşılmıştır. Normalleştirme ısı işlemi sonrasında AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin çekme testi grafiklerinde akma dayanımı ve çekme dayanımı değerlerinde azalma görülmüştür. Normalleştirme ısı işlemi öncesi AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin akma mukavemeti 810 MPa iken normalleştirme ısı işlemi ile akma mukavemeti %75 azalarak 210 MPa olmuştur. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin normalleştirme ısı işlemi öncesinde 619MPa olan akma mukavemeti ısı işlem sonrasında 315 MPa değerine düşmüş ve yaklaşık %50 azalmıştır. Normalleştirme ısı işlemi uygulanmış AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin çekme testi grafikleri Şekil 3.14’te verilmiştir.

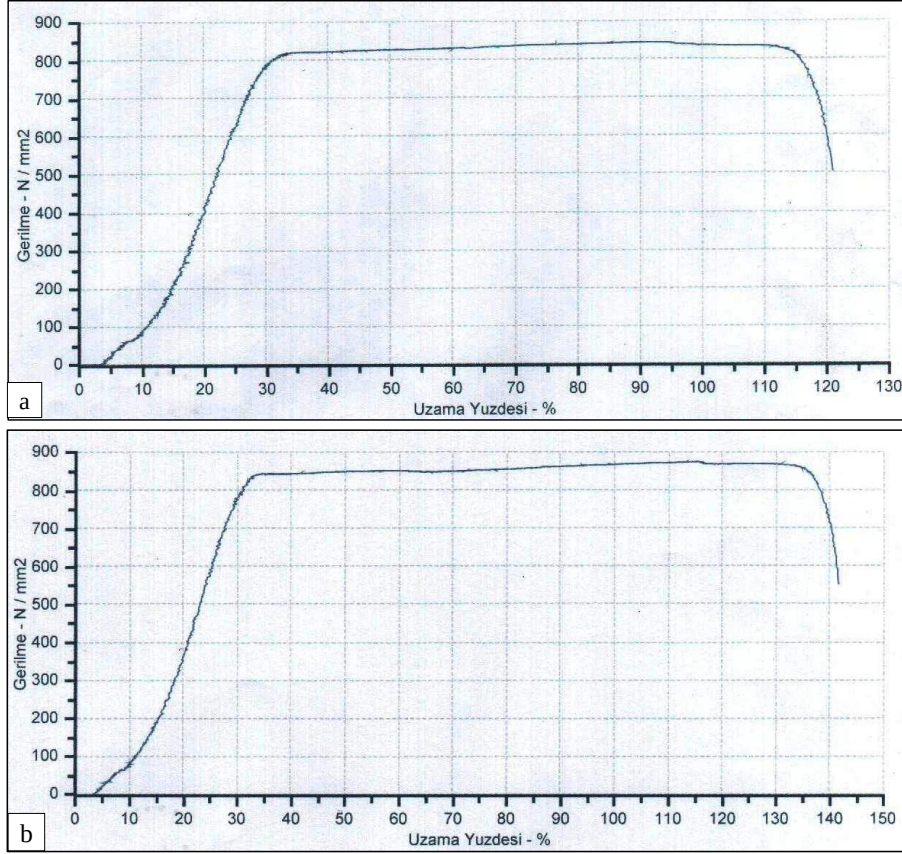


Şekil 3.14 : Isıl işlemlili çeliklerin çekme grafikleri a) AISI 304 b) AISI 204Cu.

Normalleştirme ısı işlemlili sonrası yapılan çekme testlerinde AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin kopma uzaması oranı artmıştır. Normalleştirme ısı işlemlili sonrasında AISI 304 kalite paslanmaz çelikte %68, AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte %74 uzama gerçekleşmiştir. Normalleştirme ısı işlemlili ile paslanmaz çeliklerde süneklikte artış görülmüştür. Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi Normalleştirme ısı işlemlili sonrasında AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama miktarının AISI 304 kalite paslanmaz çelikten daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 3.2).

Paslanmaz çeliklerde deformasyon oranının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amacıyla %22 ve %45 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 304 ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklere çekme testi uygulanmıştır. %22 oranında deforme edilmiş AISI 304 kalite paslanmaz çelikte yapılan çekme testinde akma dayanımı 810MPa, çekme dayanımı ise 850MPa bulunmuştur. AISI 204Cu kalite %22 oranında soğuk deforme edilmiş paslanmaz çelikte akma dayanımı 839MPa, çekme dayanımı 875MPa bulunmuştur. Eş oranda soğuk deforme edilmiş

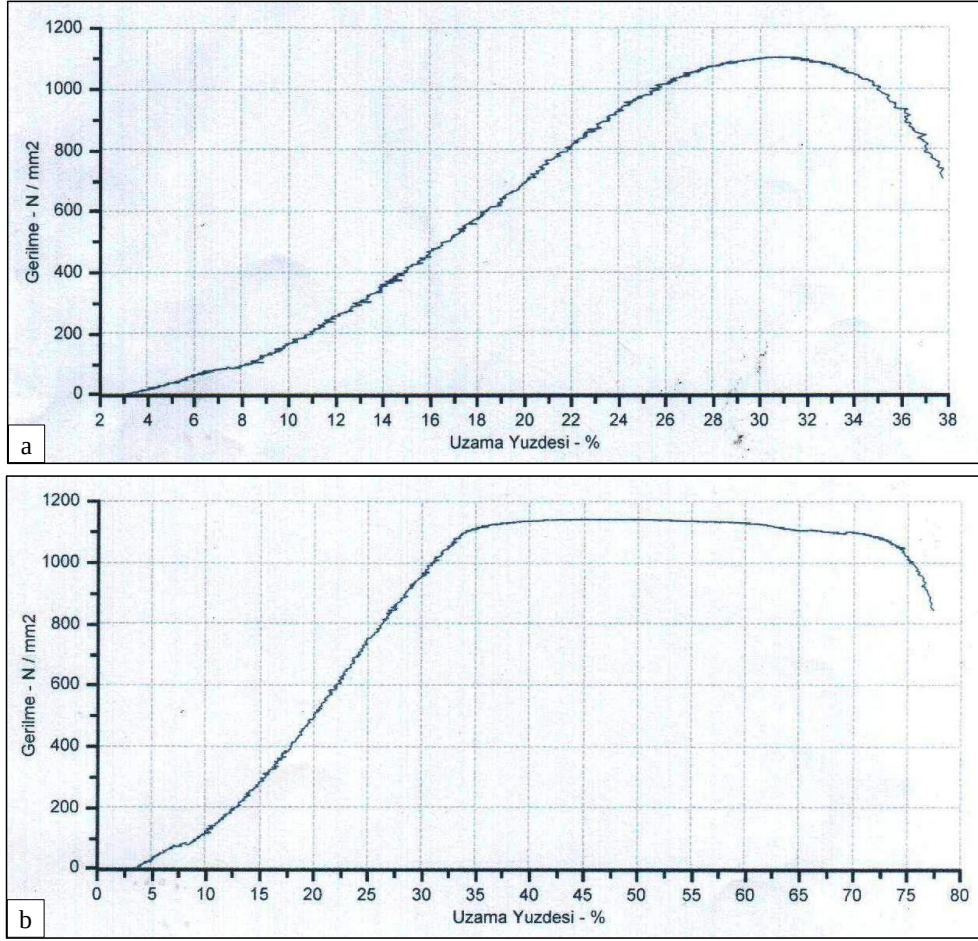
AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve uzama miktarı AISI 304 kalite paslanmaz çelikten yüksektir. %22 oranında deforme edilmiş AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere ait çekme grafikleri Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15 : %22 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerin çekme grafikleri
a) AISI 304, b) AISI 204Cu.

AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere %45 oranında deformasyon uygulandığında, sünekliğin azaldığı ve akma mukavemetinin arttığı görülmüştür. AISI 304 kalite %45 oranında deforme edilmiş östenit paslanmaz çeliğin akma dayanımı 1018 MPa, çekme dayanımı 1102 MPa ölçülmüş ve %5 uzama gerçekleşmiştir. %45 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte çekme testi sonucunda akma dayanımı 1114 MPa, çekme dayanımı 1142 MPa ölçülmüş ve %15 uzama ölçülmüştür. Deformasyon miktarı arttıkça AISI 304 kalite paslanmaz çelikte süneklik, akma ve çekme dayanımı arası fark ve uzama miktarı azalmıştır. %45 oranında deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin mekanik değerlerinin AISI 304 kalite paslanmaz çelikten daha

yüksek olduğu anlaşılmıştır. %45 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerin çekme testi grafikleri Şekil 3.16’da verilmiştir.



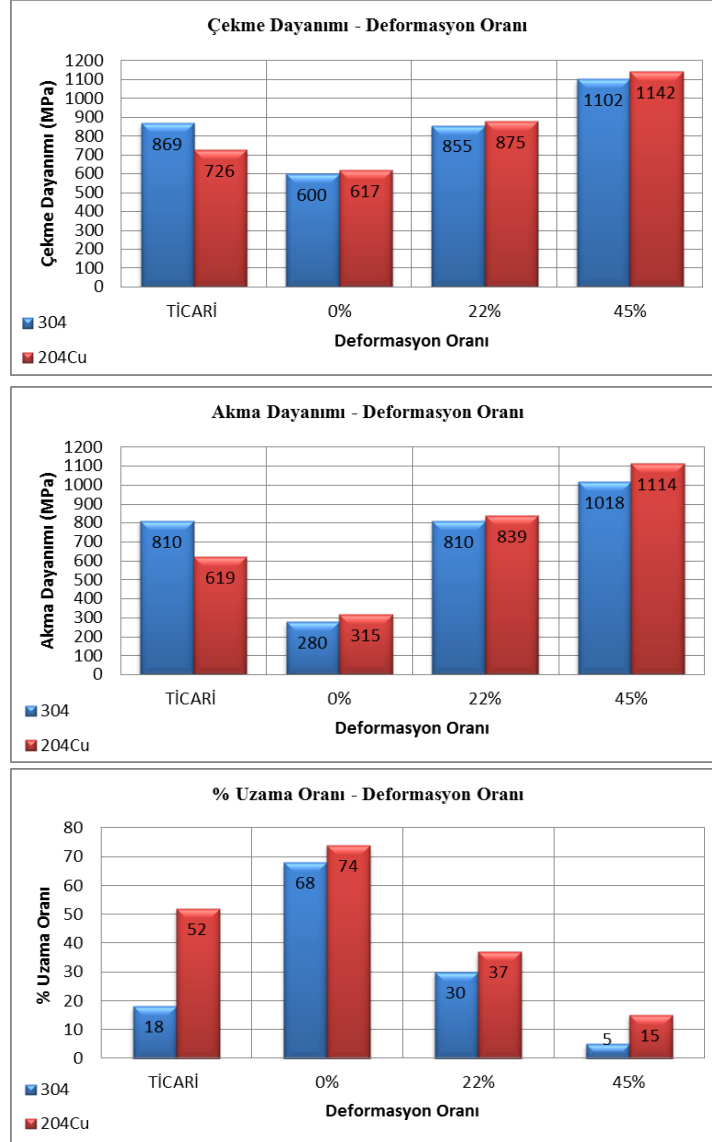
Şekil 3.16 : %45 oranında deforme edilmiş paslanmaz çeliklerin çekme grafikleri a) AISI 304 b) AISI 204Cu.

Şekil 3.16’da görüldüğü gibi %45 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerde akma noktası ile çekme noktası arası fark çok azdır. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik %45 oranında deforme edilmiş halde süneklik özelliğini korumuş ve kopma öncesi boyun vermiştir.

Çizelge 3.2 : Çekme testleri genel sonuçları.

Kalite	AISI 304				AISI 204Cu			
% deformasyon oranı	Ticari	0	22	45	Ticari	0	22	45
Çekme Mukavemeti (MPa)	869	600	855	1102	726	617	875	1142
Akma Mukavemeti (MPa)	810	280	810	1018	619	315	839	1114
Kopma uzaması (%)	18	68	30	5	52	74	37	15

Çizelge 3.2’de deneysel çalışmalarda yapılan çekme testlerinin sonuçları verilmektedir. Çekme testi sonuçlarında görüldüğü üzere, eş deformasyon miktarlarında AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin akma dayanımı ve çekme dayanımı daha yüksektir. Deformasyon oranına bağlı olarak AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerde artan akma dayanımına bağlı olarak uzama miktarı azalmıştır.

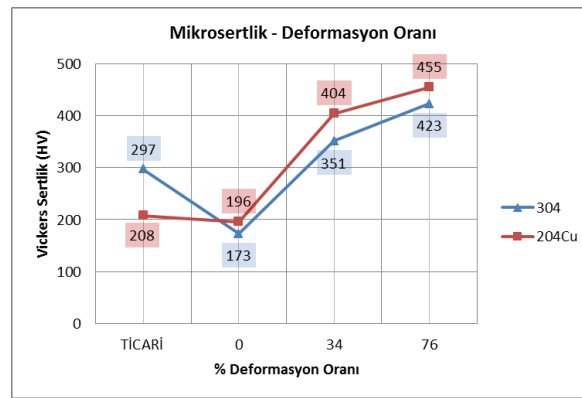


Şekil 3.17 : Deformasyon oranına bağlı çekme testi sonuçları.

Şekil 3.17’de görüldüğü gibi artan deformasyon oranı ile AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin, çekme testi sonucu mekanik özellikleri AISI 304 kalite paslanmaz çeliklere göre daha yüksektir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin deformasyon ile yüksek mukavemet kazandığı anlaşılmıştır.

3.3.3 Mikro sertlik testi sonuçları

AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ticari hali, deforme edilmemiş hali, %34 oranında deforme edilmiş ve %76 oranında deforme edilmiş halinin mikro sertlik ölçümleri, tüm enkesiti temsil eden dağlanmış metalografik numunelerde yapılmıştır. Sertlik ölçümü yüzeyden merkeze doğru yapılmış ve hem yüzey hem merkez için ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir. Vickers sertlik değerlerinin yapıdaki östenit fazı ve martenzit fazı miktarına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere ait sertlik değişimi grafiği Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18 : Deformasyona bağlı sertlik değişimi grafiği.

%34 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte sertlik 2 katına ulaşmıştır ve %76 oranında soğuk deforme edilmiş paslanmaz çelikte sertlik 2,32 kat artış göstermiştir. Sırasıyla sertlik değerleri 404 HV ve 455 HV ölçülmüştür.

AISI 304 kalite paslanmaz çelikte %34 oranında soğuk deforme edilmiş paslanmaz çeliğin sertliği 2 kat artarak 351 HV ölçülmüş ve %76 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki çelikte sertlik 2,45 kat artarak 423 HV ölçülmüştür. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere uygulanan mikro sertlik ölçümü sonuçları Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Vickers Sertlik Değeri (HV)				
Kalite	% deformasyon oranı			
	Ticari	0	34	76
304	297	173	351	423
204Cu	208	196	404	455

Çizelge 3.3 : Vickers mikro sertlik değerleri (ortalama).

Mikro sertlik ölçüm sonuçları; soğuk deformasyon işlemi ile AISI 304 kalite paslanmaz çelikten daha yüksek akma dayanımına sahip olan AISI 204Cu kalite

paslanmaz çeliğin sertliği de AISI 304 kalite paslanmaz çelikten yüksek olduğunu göstermektedir. Normalleştirme ısı işlemi uygulanmış haldeki ve %34, %76 oranında soğuk deforme edilmiş haldeki AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerden daha yüksektir.

3.3.4 Korozyon testi sonuçları

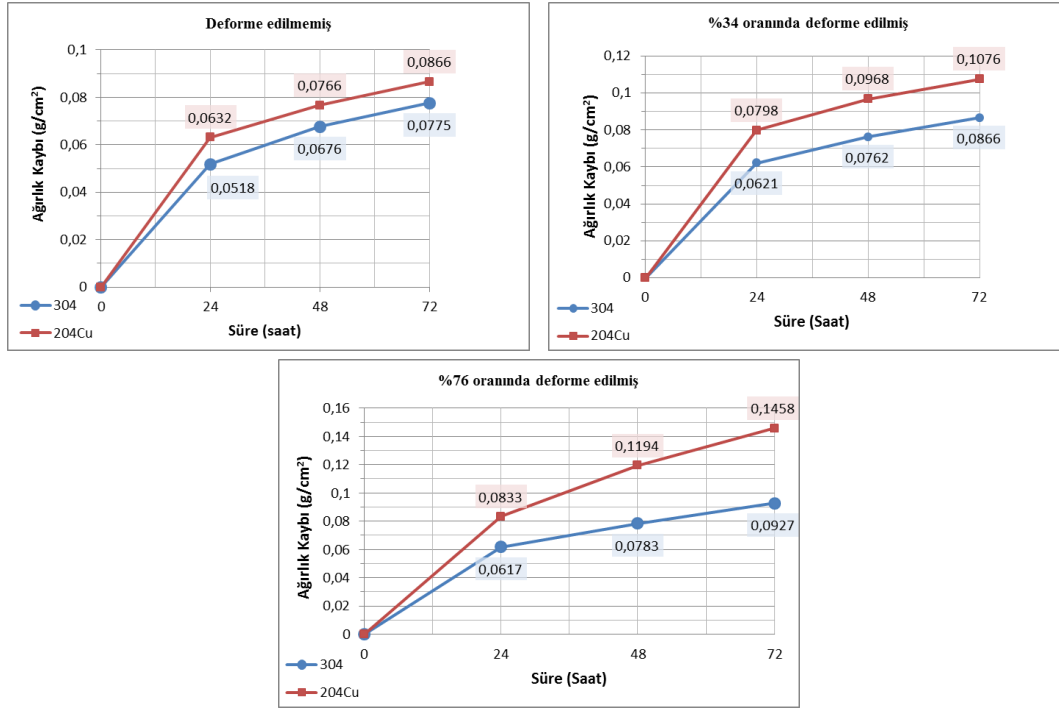
AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde normalleştirme ısı işlemi yapılmış ve çeşitli oranlarda deforme edilmiş çeliklerin klorlu ortamdaki korozyon davranışları, daldırma korozyonu testi ile incelenmiştir. Daldırma korozyonu testi ASTM G48 oyuk korozyonu standardına uygun olarak yapılmıştır. Korozyon çözeltisi %10'luk $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ +%1 HCl ile hazırlanmıştır. AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler çözelti içerisine asılarak yerleştirilmiş ve 24 saatlik aralıklarla çözülden çıkarılarak ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Yüzey alanlarından kaynaklı farklılıkların önlenmesi için 1cm^2 başına düşen ağırlık miktarına göre ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Çizelge 3.4'te AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde klorürlü ortamda daldırma korozyonu sonucu birim alan başına düşen ağırlık kayıpları verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Daldırma korozyonu sonucu ağırlık kayıpları (g/cm^2).

Süre (saat)	Ağırlık Kaybı, g/cm^2					
	% Deformasyon Oranı					
	0		34		76	
	304	204Cu	304	204Cu	304	204Cu
24	0,0518	0,0632	0,0621	0,0798	0,0617	0,0833
48	0,0676	0,0766	0,0762	0,0968	0,0783	0,1194
72	0,0775	0,0866	0,0866	0,1076	0,0927	0,1458

Korozyon testi sırasında AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde meydana gelen ağırlık kaybının, AISI 304 kalite paslanmaz çelikte meydana gelen ağırlık kaybından daha fazla olduğu görülmüştür. Normalleştirme ısı işlemi uygulanmış ve deforme edilmemiş paslanmaz çelikte ağırlık kaybı, AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler için yakın değerdedir. Ancak, deformasyon oranı arttıkça AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte ağırlık kaybı artmıştır. AISI 304 kalite paslanmaz çelik hem deforme edilmemiş halde, hem de %34 ve %76 oranlarında deforme edilmiş halde AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğe göre, klorürlü ortamda daha yüksek korozyon direnci göstermiştir. Şekil 3.19'da AISI 304 kalite ve AISI 204Cu

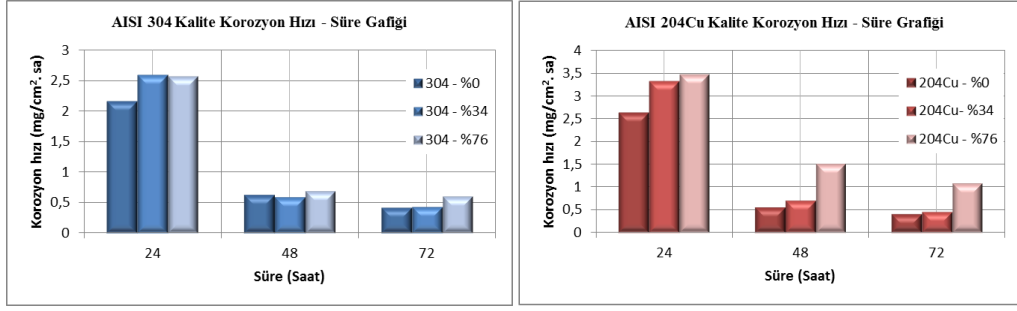
kalite paslanmaz çeliklerde klorürlü ortamdaki korozyon sonucu, süreye bağlı ağırlık kayıpları grafik olarak verilmiştir.



Şekil 3.19 : Ağırlık Kaybı (g/cm²) – Süre (saat) grafiği.

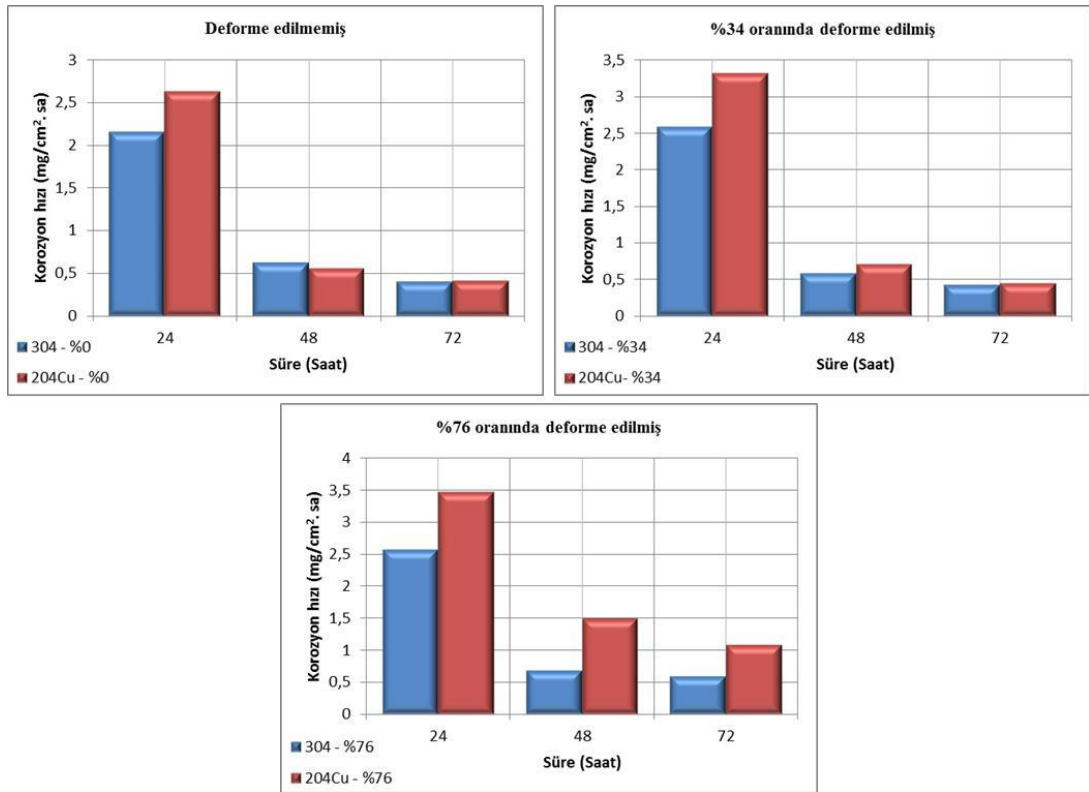
Korozyon testi sonucunda AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin korozyon hızları hesaplanmıştır. Korozyon hızları 24 saat boyunca meydana gelen ağırlık kaybının 1 saat dilimi içerisindeki ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Korozyon çözeltisi içerisinde bekletilen paslanmaz çeliklerde 72 saat süren incelemelerde korozyon hızının her numune için ilk 24 saatte çok yüksek olduğu anlaşılmıştır. İkinci ve üçüncü 24 saatlik sürelerde korozyon hızı hem AISI 304 kalite, hem de AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde azalma göstermektedir.

Şekil 3.20 incelendiğinde AISI 304 kalite paslanmaz çelikte meydana gelen korozyonun tüm deformasyon oranlarında aynı hızda olduğu görülmüştür. AISI 304 kalite paslanmaz çeliklerde deformasyon miktarına bağlı olarak korozyon hızında artış görülmemiştir. Ancak, AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte deformasyon oranı arttıkça korozyon hızı artmış ve %76 deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte %14 ağırlık kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 3.20 : Korozyon hızının deformasyon ve zamana bağlı değişimi.

AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin deforme edilmemiş, %34 oranında deforme edilmiş ve %76 oranında deforme edilmiş haldeki korozyon hızları, AISI 304 kalite paslanmaz çelikten daha yüksektir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin ağırlık kayıplarının ve korozyon hızının AISI 304 kalite paslanmaz çelikten yüksek olması oyuk korozyonu direncinin artan deformasyon oranı ile azaldığını göstermiştir. Şekil 3.21’de AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde zamana bağlı olarak korozyon değişimi grafiği verilmiştir.



Şekil 3.21 : Korozyon hızı (mg/cm².sa) – Süre (saat) grafikleri.

Deforme edilmemiş AISI 304 kalite paslanmaz çelikte ilk 24 saatteki korozyon hızı 2,183 mg/cm².sa, AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik için ilk 24 saatteki korozyon hızı 2,6333 mg/cm².sa hesaplanmıştır. %76 oranında deforme edilmiş AISI 304

kalite paslanmaz çelikte korozyon hızı 2,5708 mg/cm².sa iken aynı deformasyon oranında AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte korozyon hızı 3,4708 mg/cm².sa olarak gerçekleşmiştir. Korozyon hızlarından görüldüğü üzere AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin klorürlü ortamdaki korozyon direnci, AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin korozyon direncinden daha yüksektir. AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin korozyon hızları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : AISI 304 ve AISI 204Cu kalite çeliklerin korozyon hızları.

Süre	Korozyon Hızı, mg/cm ² .saat					
	Deforme Edilmemiş		%34 oranında deforme edilmiş		%76 oranında deforme edilmiş	
	304	204Cu	304	204Cu	304	204Cu
24	2,1583	2,6333	2,5876	3,3250	2,5708	3,4708
48	0,6283	0,5583	0,5875	0,7083	0,6916	1,5041
72	0,4125	0,4166	0,4333	0,4500	0,6000	1,0833

Korozyon testi boyunca AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerdeki ağırlık kaybının yanı sıra fiziksel değişimler gözlenmiştir. Korozyon testi sonucunda paslanmaz çeliklerin silindir numunelerinin yuvarlak yüzeylerinde ciddi bir oyuk oluşumu görülmemiştir. Daldırma korozyonunda oluşan oyuklar, deforme edilmemiş ve %34 deforme edilmiş çeliklerin silindir numunelerinin yuvarlak yüzeylerinin tabana yakın bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Daldırma korozyonu uygulanan AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklere ait makro görüntüler Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22 : Korozyon testi sonrası makro görüntüler a) AISI 304 b) AISI 204Cu.

AISI 304 kalite deforme edilmemiş haldeki paslanmaz çelikte daldırma korozyonu testinde, silindir numunelerin yuvarlak yüzeylerinin tabana yakın bölgelerinde ve silindir numunenin taban bölgelerinde oyukların başladığı görülmüştür. %34 oranında deforme edilmiş ve %76 oranında deforme edilmiş AISI 304 kalite paslanmaz çelik numunelerde aynı şekilde oyuk meydana gelmiştir. %76 deforme

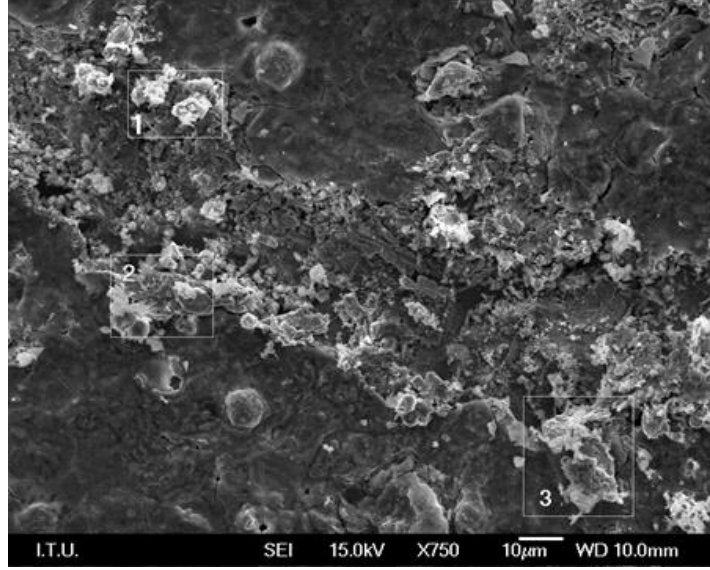
edilmiş AISI 304 kalite paslanmaz çelik numunelerde ise boyun bölgesinde 48 saat sonrasında boyuna çatlak şeklinde oyuklar meydana gelmiştir. AISI 304 kalite paslanmaz çelikte deforme edilmemiş ve deforme edilmiş tüm numunelerde korozyon süresi boyunca yüzeylerin renginde ve parlaklığında değişiklik olmamıştır.

AISI 204Cu kalite deforme edilmemiş paslanmaz çelikte silindir numunenin yuvarlak yüzeyinde tabana yakın bölgelerde ve tabanlarında oyuk meydana gelmiştir. İlk 24 saat sırasında yüzey parlaklığı kaybolmuş ve yüzeyde bakır rengi bir görünüm oluşmuştur. %34 deforme edilmiş haldeki AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte silindir numunenin yuvarlak yüzeyinde tabana yakın bölgelerde ve tabanlarında çok sayıda oyuklar oluşmuştur. İlk 24 saat sonunda bakır rengi alan yüzeyin deney sonunda karardığı ve aşırı korozyona maruz kaldığı tespit edilmiştir. %76 deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte ise oyuklar taban bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Silindir numunenin yuvarlak yüzeyinde ve boyun bölgesinde oyuk oluşmamıştır. İlk 24 saat sonunda bakır rengi alan yüzeyin deney süresi arttıkça karardığı ve oyukların genişlediği tespit edilmiştir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin deforme edilmemiş, %34 oranında deforme edilmiş ve %76 oranında deforme edilmiş numunelerin tamamı korozyon testi ile parlak renklerini kaybetmiş ve bakır rengi bir görünüm kazanmıştır.

AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde oluşan oyuk sayısı ve renk değişimine bağlı olarak deformasyon oranı arttıkça klorürlü ortamlardaki korozyon direncinin azaldığı belirlenmiştir. AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin klorürlü ortamdaki korozyon direnci AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğe göre daha yüksektir.

3.3.5 SEM ve EDS analizi sonuçları

Korozyon testi sonrasında deforme edilmemiş ve %34 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğe SEM analizi yapılmış, yüzeyde meydana gelen oyukların dış bölgelerinde biriken korozyon ürünleri incelenmiştir. Seçilen bir oyukun dış bölgesinden EDS analizi yapılarak korozyon ürünlerinin bileşimindeki elementlerin oranları belirlenmiştir. Şekil 3.23’de deforme edilmemiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte meydana gelen oyuk ve oyuk dışında bulunan korozyon ürünlerini gösteren fotoğraf verilmiştir.



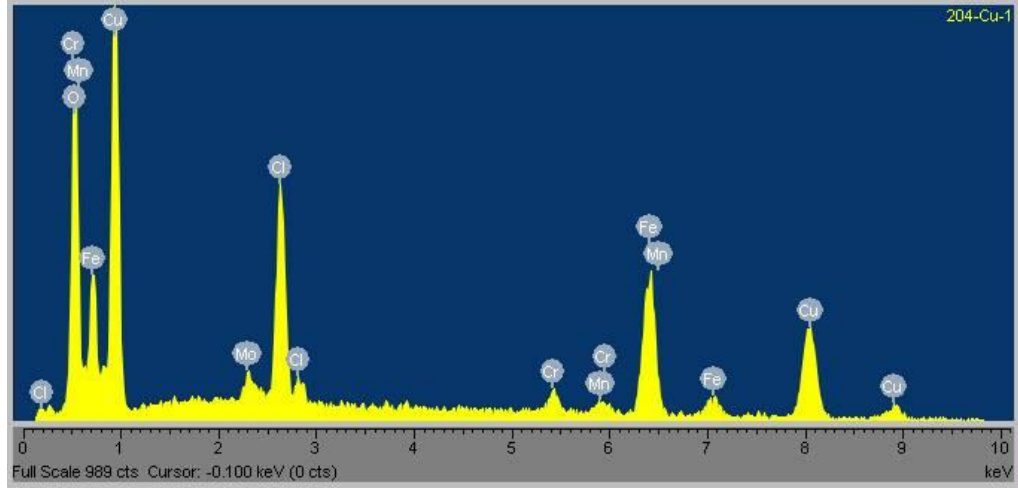
Şekil 3.23 : AISI 204Cu paslanmaz çelikte oyuk bölgesi ve korozyon ürünleri.

Şekil 3.23’de verilen SEM görüntüsünde AISI 204Cu kalite deforme edilmemiş paslanmaz çelikte daldırma korozyonu ile oluşmuş oyuk ve bu oyuk bölgesinin dışında birikmiş korozyon ürünleri görülmektedir. Bu SEM görüntüsünde belirlenen üç ayrı bölgede EDS analizi yapılarak korozyon ürünlerinin genel bileşimi belirlenmiştir. SEM görüntüsünde gösterilen üç noktanın EDS analizinin sonuçları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Deforme edilmemiş AISI 204Cu EDS analizinin sonuçları.

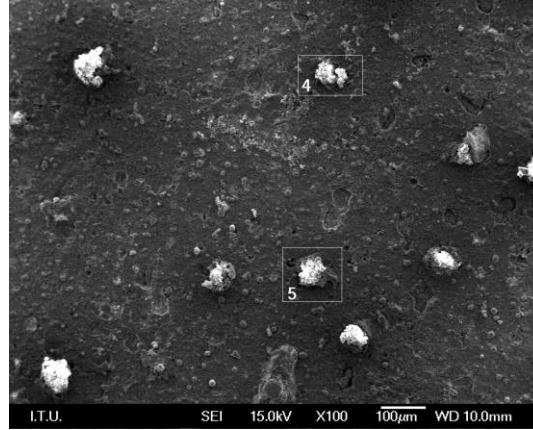
	% Atomik						
	O	Cl	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo
1	44,87	9,93	1,73	1,05	17,4	23,96	1,06
2	47,85	2,01	2,39	2,25	15,3	27,25	2,71
3	51,85	5,64	1,87	0,93	13,78	24,57	1,36

EDS analizinin sonuçları, oyuk bölgesinin dışında bulunan korozyon ürünlerinin oksijen, bakır ve demir elementlerinden oluştuğunu göstermektedir. Diğer bölgelere göre daha beyaz görünen bir numaralı bölgede klor oranı, iki ve üç numaralı bölgelerden fazladır. 1 numaralı bölgeye ait korozyon ürünlerinin EDS analizinin grafiği Şekil 3.24’te verilmiştir.



Şekil 3.24 : 1 numaralı bölgeye ait EDS grafiği.

AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte yapılan SEM incelemesinde oyuk bölgeleri dışında birçok bölgede birikintiler görülmüştür. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik yüzeyinde oluşan birikintilerin görüntüleri Şekil 3.25'te verilmiştir.



Şekil 3.25 : AISI 204Cu yüzeyindeki korozyon ürünleri.

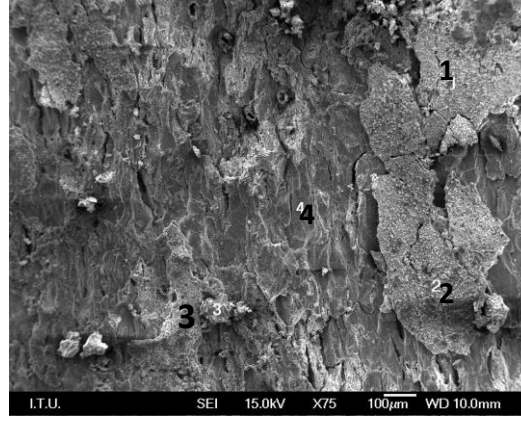
Şekil 3.25'te görülen beyaz birikintilere EDS analizi yapılmıştır. 4 ve 5 numaralı noktaların EDS analizinin sonuçları Çizelge 3.7'de verilmiştir. Bu sonuçlardan beyaz birikintilerin oksijen, klor ve demir elementince yoğun olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.7 : 4 ve 5 numaralı noktalara ait AISI 204Cu EDS analizinin sonuçları.

	% Atomik					
	O	Cl	Cr	Mn	Fe	Cu
4	49,75	27,93	1,02	1,24	16,12	3,94
5	43,14	34,08	4,07	1,62	15,04	2,04

%34 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelik numunesinde yapılan SEM incelemesinde, korozyon ürünlerinin tüm yüzeyi

kapladığı, ancak yüzeyde oyuk oluşmadığı görülmüştür. Şekil 3.26’da korozyona uğratılmış AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir. Bu SEM görüntüsünde seçilen noktaların EDS analizinin sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.26 : %34 deforme edilmiş AISI 204Cu çeliğin SEM görüntüsü.

EDS analizinin sonuçları, bölgenin tamamında oksijen elementinin yoğun olduğunu göstermektedir. Bunun dışında, bir ve iki numaralı bölgelerde bakır elementi, üç ve dört numaralı bölgelerde demir elementi fazladır. Bu sonuçlardan, korozyona uğratılan AISI 204Cu östenitik çeliğin yüzeylerinde, bazı bölgelerde, Cu açısından zengin korozyon ürünlerinin biriktiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.8 : Soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu EDS analizinin sonuçları.

	Atomik %						
	O	Cl	Cr	Mn	Fe	Cu	Mo
Genel	47,61	5,65	5,36	2,16	26,37	11,77	1,08
1	56,24	4,63	1,13	0,98	7,69	24,92	3,39
2	55,65	5,6	1,23	0,95	10,61	22,58	3,39
3	58,56	6,7	3,02	2,27	27,55	1,89	-
4	59,69	4,04	3,77	1,37	24,3	6,83	-

SEM ve EDS incelemelerinin sonuçlarına göre, AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin klorürlü ortamda korozyona uğraması sonucunda, çeliğin yüzeyinde, klor, bakır ve oksijen elementlerini içeren korozyon ürünleri oluşmaktadır. Bu ürünlerin XRD faz analizleri, silindir numunelerin yüzeylerinin yuvarlaklığı nedeniyle yapılamamıştır. Çelik yüzeylerindeki korozyon ürünlerinde bakır miktarının fazla olması, korozyon sürecinde bakır elementinin çözündüğünü göstermektedir.

4. GENEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmalarda ticari AISI 304 ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklere önce normalleştirme ısı işlemi yapılmış, ardından çeşitli oranlarda soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır. Çeliklerin normalleştirme ısı işlemi yapılmış ve çeşitli oranlarda soğuk deformasyon işlemi uygulanmış hallerinin, mikro yapıları, çekme testi ile mekanik özellikleri, sertlik değerleri ve klorürlü ortamda oyuk korozyonu davranışları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Ticari ürün olarak çalışmalarda kullanılan AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri, çeliklere soğuk deformasyon işlemi uygulandığını göstermektedir.
- Normalleştirme ısı işlemi yapılmış haldeki her iki kalite paslanmaz çelik östenit fazına sahiptir. AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin eş tane boyutunda ve oval tane yapısına sahip olduğu, AISI 204Cu paslanmaz çeliğin östenit tanelerinin büyük ve köşeli olduğu görülmüştür.
- %34 ve %76 oranlarında soğuk deforme edilmiş paslanmaz çeliklerin östenit tanelerinde soğuk deformasyon ile martenzit fazları oluşmuştur. AISI 304 kalite paslanmaz çelikte soğuk deformasyon işlemi ile oluşan martenzit fazlar eş yönelim göstermektedir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte ise östenit taneleri içinde soğuk deformasyon ile oluşan martenzit fazları dağınık bir dizilim (anizotropi) göstermektedir. AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin mikroyapısında martenzit levhalarında kesişmelerin olduğu görülmüştür.
- AISI 204Cu kalite %34 oranında soğuk deforme edilmiş paslanmaz çelikte, AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin aksine, östenit taneleri belirgindir. Bu sonuç AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin yapısında bulunan bakır alaşım elementinin östenit tanelerinin belirginleşmesinde etkili olduğunu göstermektedir.

- Normalleştirme ısııl işlemleri yapılmış AISI 304 kalite ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikler çekme testinde sürekli akma göstermiş ve boyun verme sonrasında sünek kırılma gerçekleşmiştir.
- AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte çekme testi ile elde edilen akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması AISI304 kalite paslanmaz çelikten daha yüksektir.
- AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin akma dayanımı %22 oranında soğuk deformasyon işlemi ile 3 katına, %45 oranında soğuk deformasyon işlemi ile 3,6 katına artmıştır. Belirtilen oranlardaki soğuk deformasyonlar çekme dayanımlarını sırası ile 1,4 ve 1,8 kat arttırmıştır. Buna karşılık bu soğuk deformasyon oranlarında kopma uzamaları sırasıyla 2,25 ve 13,5 kat azalmıştır.
- AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin akma dayanımı %22 oranında soğuk deformasyon işlemi ile 2,7 katına, %45 oranında soğuk deformasyon işlemi ile 3,5 katına yükselmiştir. Belirtilen oranlardaki soğuk deformasyonlar çekme dayanımlarını sırası ile 1,4 ve 1,8 katına ulaştırmıştır. Buna karşılık bu soğuk deformasyon oranları kopma uzaması oranlarını sırasıyla 2 ve 4,9 kat azaltmıştır.
- Uygulanan soğuk deformasyon işlemleri, AISI 304 ve AISI 204Cu kalite östenitik paslanmaz çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını birbirlerine yakın oranlarda arttırmıştır. Buna karşılık kopma uzaması oranları birbirlerine yakın değildir. Soğuk deformasyon işlemi AISI 204Cu paslanmaz çeliğin kopma uzaması oranını ve dolayısıyla sünekliği daha az düşürmektedir.
- AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikten soğuk deformasyon işlemi ile AISI 304 kalite paslanmaz çelikten daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin normalleştirme ısııl işlemi uygulanmış haldeki sertlik değerleri, deformasyon oranı arttıkça, AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikten daha yüksek oranda artış göstermektedir.
- AISI 304 kalite paslanmaz çelikte soğuk deformasyon işlemi ile sertlik artışı meydana gelmiştir. Normalleştirme ısııl işlemi uygulanmış çeliğin sertliğini, %34 oranında soğuk deformasyon işlemi 2 kat, %76 oranında soğuk deformasyon işlemi 2,45 kat yükseltmiştir.

- AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte soğuk deformasyon işlemi ile sertlik artışı meydana gelmiştir. Normalleştirme ısı işlemi uygulanmış çeliğin sertliğini, %34 oranında soğuk deformasyon işlemi 2 kat, %76 oranında soğuk deformasyon işlemi 2,32 kat yükseltmiştir.
- ASTM G48 standardında yapılan korozyon deneyi sonuçlarına göre AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin oyuk korozyonu direnci AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikten yüksektir. Soğuk deformasyon işlemi oranındaki artış AISI 204Cu paslanmaz çeliğin korozyon hızını arttırırken, AISI 304 kalite paslanmaz çelikteki korozyon hızını etkilememektedir.
- AISI 304 kalite soğuk deforme edilmemiş haldeki çeliğin 72 saat sonunda korozyon ile ağırlığı %5 azalmıştır. %34 ve %76 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 304 paslanmaz çeliğin korozyonla ağırlığı sırasıyla %7,2 ve %8,6 oranında azalmıştır.
- AISI 204Cu kalite soğuk deforme edilmemiş haldeki çeliğin 72 saat sonunda korozyon ile ağırlığı %5 azalmıştır. %34 ve %76 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 304 paslanmaz çeliğin korozyonla ağırlığı sırasıyla %9 ve %13,8 oranında azalmıştır.
- Korozyon testinde ilk 24 saat içinde çeliklerin ağırlık kaybı oranları ve korozyon hızları yüksektir. İlk 24 saat içerisinde, deforme edilmemiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin korozyon hızı, AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin korozyon hızının 1,22 katıdır. Aynı zaman diliminde paslanmaz çeliklerin %34 ve %76 oranında soğuk deforme edilmiş hallerinde, AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerde sırasıyla 1,28 ve 1,35 kat daha hızlı korozyon gerçekleşmiştir. Artan soğuk deformasyon işlemi oranı ile AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin klorürlü ortamdaki korozyon direnci azalmıştır.
- Deforme edilmemiş AISI 304 kalite paslanmaz çelikte ilk 24 saat sonunda silindir numunenin yuvarlak yüzeyinin tabana yakın bölgelerinde oyuk meydana gelmiştir. Korozyon süresi arttıkça oyuk sayısı artmamış, ancak oyuklar genişlemiş ve derinleşmiştir. AISI 204Cu kalite deforme edilmemiş paslanmaz çeliklerde ilk 24 saatte meydana gelen oyuklar sayıca çoktur ve artan korozyon süresi ile çeliğin dış yüzeyi bakır rengine dönüşmüştür.

- AISI 304 kalite %34 oranında soğuk deforme edilmiş paslanmaz çelikte oyukların silindirik numunenin yuvarlak yüzeyinde tabanlara yakın bölgelerde yoğunlaşmış ve metalik görünümde bir değişim olmamıştır. %76 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 304 kalite paslanmaz çelikte silindir numunenin yuvarlak yüzeyinde boyuna uzayan çatlaklar oluşmuştur.
- AISI 204Cu kalite %34 oranında deforme edilmiş paslanmaz çelikte ilk 24 saatte silindir numunenin yuvarlak yüzeyinde tabana yakın bölgelerde ve tabanlarda oyuklar oluşmuştur. Korozyon süresi ilerledikçe paslanmaz çelik yüzeyi bakır rengine dönüşmüştür ve korozyon testi sonunda paslanmaz çelik yüzeyi tamamen korozyona uğramıştır. %76 oranında soğuk deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çelikte silindir numunenin tabanlarında oyuklar oluşmuştur. Ancak silindir numunenin yuvarlak yüzeyinde ve boyun bölgesinde oyuk meydana gelmemiştir.
- AISI 204Cu kalite soğuk deforme edilmemiş paslanmaz çelik numunelerin oyuk bölgesindeki ve oyukları çevreleyen bölgelerdeki korozyon ürünlerinin SEM incelemesine göre, korozyon ürünlerinde oksijen, bakır ve demir elementleri vardır. Oyuk bölgesi dışındaki korozyon birikintilerinde oksijen, klor ve demir elementi zengindir.
- %34 oranında deforme edilmiş AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliğin yüzeyi aşırı oranda korozyona uğramıştır, ancak oyuk gözlenmemiştir. Korozyon ürünleri oksijen, bakır ve demir elementleri içermektedir.

KAYNAKLAR

- Aran, A. ve Temel, M.A.** (2004). Paslanmaz Çelik Yassı Mamül Üretimi, Kullanımı, Standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, 2.Baskı, İstanbul.
- Askeland, D.R. ve Fulay, P.P.** (2009). The Science and Engineering of Materials, **Second Edition**, USA.
- ASM Handbook Desk Edition.** (2001) **Vol.1**, Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys
- ASM Handbook Desk Edition.** (2001) **Vol.13**, Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys
- ASTM G48-00.** (2000). Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution, United States.
- Bramfitt, B.L.** (2002). Metallographer's Guide, ASM International, USA
- Charles, J.** (2008). The new 200-series : an alternative answer to ni.surcharge dream or nightmare?, U&A, ARCELOR.
- Charles, J., Kosmac, A., KrautSchick, J., Simon, J.A., Suutala, N. ve Taulavuori, T.** (2012). Austenitic Chromium Manganese Stainless Steel- A European Approach, Materials and Application Series, Vol.12, 2.Edition.
- Charles, J., Mithieux, J.D., Krautschick, J., Suutala, N., Antonio Simón., J., Van Hecke, B. ve Pauly, T.** (2006). A new european 200 series standard to substitute 304 austenitics?, Belgium.
- Correia, M., Nóvoa X.R. ve Salta, M.** (2008). Smart and green structural and repair materials: Structural and repair materials technical report, Stainless steel rebars, DURATINET.
- Covert A.R. ve Tuthill, A.H.** (2000). Stainless Steels: An introduction to their metallurgy and corrosion resistance, *Dairy, Food and Enviromental Sanitation*, **20**, 506-517.
- Corbett, R.A.** (t.y.). Problems in utilizing ASTM G 48 to evalute high alloy stainless steels, Corrosion Testing Laboratories, NACE international.
- Cunat, P.J.,** (2004) Alloying Elements in Stainless Steel and Other Chromium-Containing Alloys, Alloying Elements Stainless Steel, Euro Inox.
- Cutler, C.P. , Coates, G.E. ve Jenkinson, D.C.** (t.y.). Nickel in stainless steels, Nickel Institute,United Kingdom, Consultant to Nickel Institute, United Kingdom.

- EuroInox -The European Stainless Steel Development Association**, (2009). Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution, *Stainless Steel in contact with Other Metallic Materials*, Materials and Applications Series, **10**, Belgium.
- European Patent Application**, (2006). Austenitic Stainless Steel, *European Patent Office*
- Freire, L., Novoa, X.R., Pena, G. ve Vivier, V.** (2008). On the corrosion mechanism of AISI 204Cu stainless steel in chlorinated alkaline media, *Corrosion Science*, **50**, 3205–3212.
- Gonzalez, B.M., Castro, C.S.B., Buono, V.T.L., Vilela, J.M.C., Andrade, M.S., Moraes, J.M.D. ve Mantel, M.J.** (2003). The influence of copper addition on the formability of AISI 304 stainless steel, *Materials Science and Engineering*, **A343**, 51-56.
- Hedayati, A., Najafizadeh, A., Kermanpur, A. ve Forouzan, F.,** (2010) The effect of cold rolling regime on microstructure and mechanical properties of AISI 304L stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **210**, 1017–1022.
- IMOA**, (2009). Practical Guidelines for Fabrication of Duplex Stainless Steel, *International Molybdenum Association*, London.
- ISSF- International Stainless Steel Forum**, (2005). New 200-series” steels: An opportunity or a threat to the image of stainless steel, “A technical guide to chrome-manganese austenitic stainless steels and advice for potential users”, Belgium.
- Jafari, E.,** (2009) Corrosion behaviors of two types of commercial stainless steel after plastic deformation, *J. Material Science Technology*, **26**, 833-838
- Jindal Steel**, (t.y.). Technical Data Sheet, Stainless Steel Grade J 204Cu, New Delhi.
- John C. Tverberg, P.E.** (t.y.). The Role of Alloying Elements on the Fabricability of Austenitic Stainless Steel, *Metals and Materials Consulting Engineers*, Mukwonago, Wisconsin.
- Leffler, B.,** (t.y.). Introduction to Stainless Steels and their properties, <http://www.hazmetal.com/f/kutu/1236776229.pdf>
- Lee, J.S. ve Lee, Y.D** (t.y.) Effect of Cu and Mn on the mechanical properties and hot ductility of Cr-Mn Austenitic SS, Korea Stainless Steel Research group.
- Meszáros, I. ve Prohászka, J.** (2005). Magnetic investigation of the effect of martensite on the properties of austenitic stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **161**, 162–168.
- Milada, M., Zreiba, N., Elhalouani, F. ve Baradaib, C.,** (2008). The effect of cold work on structure and properties of AISI 304 stainless steel, *Journal Of Materials Processing Technology*, **203**, 80–85.

- Nakada, N., Ito, H., Matsuoka, Y., Tsuchiyama, T. ve Takaki S.** (2010). Deformation-induced martensitic transformation behavior in cold-rolled and cold-drawn type 316 stainless steels, *Acta Materialia* **58** 895–903.
- Norman A., Ashby W.,** (1991). Elsevier Materials Selector, **Vol.2**, Oxford .
- Pardo, A., Merino, M.C., Carboneras, M., Coy, A.E., Arrabal, R.** (2006). Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steel with Cu and Sn additions, *Corrosion Science* **49**, 510-525
- Parr, J.G. ve Hanson A.,** (1965). An introduction to Stainless Steel, USA.
- Streicher, M.A.,** (1956). Pitting corrosion of 18Cr-8Ni stainless steel, *J. Electrochem. Soc.* Vol.103, Issue 7, 375-390.
- Şeşen, K.,** (2009) Çelikler ve Dökme Demirler Ders notları, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Departmanı, Kimya ve Metalurji Fakültesi, İTÜ.
- Tavaresa, S.S.M., Pardala, J.M., Gomes da Silva M.J., Abreub, H.F.G., ve Silvac, M.R.** (2009). Deformation induced martensitic transformation in a 201 modified austenitic stainless steel, *Materials Characterization*, **60**, 907-911
- The Atlas Steel Technical Handbook of Stainless Steel,** (2010). Atlas Steels Technical Department, Australia.
- Thelning, K-E.** (1984). Bofors El Kitabı, Çev. Adnan Tekin, Çelikler ve Isıl İşlem, İstanbul.
- Toit, M.,ve Steyn, H.G.** (2012). Comparing the Formability of AISI 304 and AISI 202 Stainless Steels, *Journal of Materials Engineering and Performance*, **21(7)**, 1491-1495.
- Zubek, L.** (2006). A technical review of precipitation hardening stainless steel grades, Spring Manufacturer Institute, **14-16**
- Url-1** <www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php>, alındığı tarih: 18.02.2013>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ozan PALABIYIK

Doğum Yeri ve Tarihi: Çorlu / 01.03.1987

E-posta: ozanpalabiyik@gmail.com

Lisans Öğrenimi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2005-2010)

Mesleki Deneyimler:

- Cömert Çelik İç ve Dış Tic. Ltd. Şti, Satış Mühendisi, (Temmuz 2011-Ocak 2013)
- Özmetal Paslanmaz Sanayi ve Tic. Ltd. Şti., İthalat-İhracat Sorumlusu, (Haziran 2010, Temmuz 2011)