

BU ÇALIŞMA
SONER KILIÇ

VE

AHMET AL

‘ A AİTTİR.

HİÇBİR ŞEKİLDE
ÇOĞALTILAMAZ VE
İZİNSİZ

KULLANILAMAZ.

BİRÇELİK PASLANMAZ ÇELİK ‘ E TARAFIMIZDAN
GÖNDERİLMİŞ OLUP SADECE <http://www.bircelik.com>
SİTESİNDE YAYINLANMASINA İZİN VERİLMİŞTİR.



T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MÜHENDİSLİK PROJESİ 1-2
ÖSTENİTİK ÇELİĞİN SOĞUTULMASINDAKİ YAPI
DÖNÜŞÜMLERİ

PROJE DANIŞMANI

Doç. Dr. Hanlar BAĞIROV

HAZIRLAYANLAR

2009120003 Ahmet AL

2009120006 Soner KILIÇ

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 2.ÇELİK NEDİR | 2 |
| 3.ÇELİĞE KATILAN ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİLERİ..... | 4 |
| 3.1.Alaşım Elementleri..... | 4 |
| 3.1.1.Karbon (C)..... | 4 |
| 3.1.2.Mangan (Mn)..... | 5 |
| 3.1.3.Silisyum (Si) | 5 |
| 3.1.4.Kükürt (S) | 6 |
| 3.1.5.Fosfor (P)..... | 6 |
| 3.1.6.Krom (Cr)..... | 6 |
| 3.1.7.Nikel (Ni)..... | 7 |
| 3.1.8.Vanadyum (V)..... | 7 |
| 3.1.9.Tungsten (W)..... | 7 |
| 3.1.10.Molibden (Mo)..... | 8 |
| 3.1.11.Diğer alaşım elementleri..... | 8 |
| 4.PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ..... | 11 |
| 4.1.Östenitik Paslanmaz Çelikler..... | 11 |
| 4.1.1.Yapı ve Genel Özellikler..... | 11 |
| 4.1.2.Östenitin Martensite Dönüşümü..... | 13 |
| 4.1.3.Standart Östenitik Paslanmaz Çelikler..... | 13 |
| 4.1.4.Yüksek Mukavemetli Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Oluşturulmasında Mukavemet Arttırma Yöntemleri..... | 14 |
| 4.1.5.Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Şekillendirme..... | 15 |
| 4.1.6.Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu..... | 16 |
| 4.2.Ferritik Paslanmaz Çelikler..... | 20 |
| 4.3.Martenzitik Paslanmaz Çelikler..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler..... | 20 |
| 4.5.Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler..... | 21 |
| 5.ISIL İŞLEMİN TANIMI VE AMACI | 22 |
| 5.1.Giriş | 22 |
| 5.2.Demir-Karbon Denge Diyagramı..... | 22 |
| 5.2.1.Çeliğin İç Yapısı..... | 25 |
| 6.ÇELİKLERİN YAPI DÖNÜŞÜMLERİ | 27 |
| 6.1.Giriş | 27 |
| 6.2.Östenitin Dönüşümü..... | 27 |
| 6.3.Östenitleştirme Yapılmış Çeliğin Soğutulmasında Yapı Dönüşümleri | 29 |
| 6.4.İzotermik Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm Diyagramları (IZSD Diyagramları)..... | 29 |
| 6.5.Sürekli Soğutmada Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm Diyagramları (SZSD Diyagramları)..... | 31 |
| 7.TAVLAMA YÖNTEMLERİ | 33 |
| 7.1.Giriş | 33 |
| 7.2.Normalleştirme Tavlaması..... | 33 |
| 7.3.Yumuşatma Tavlaması | 33 |
| 7.4.Gerilim Giderme Tavlaması..... | 34 |
| 7.5.Difüzyon Tavlaması | 34 |
| 7.6.Kaba Tane Tavlaması Ya Da Yüksek Sıcaklık Tavlaması | 34 |
| 8.SERTLEŞTİRME..... | 35 |
| 8.1.Giriş | 35 |
| 8.2.Sertleştirme İşleminin Uygulaması | 35 |
| 8.3.Sertleşebilirlik | 36 |
| 8.4.Sertleştirme İçin Isıtma İşlemi | 36 |
| 8.5.Sertleştirme İçin Ani Soğutma İşlemi | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 9.MENEVİŞ VE ISLAH İŞLEMİ | 41 |
| 9.1.Meneviş İşlemi..... | 41 |
| 9.2.Meneviş Kırılmanlığı..... | 41 |
| 10.DENEYSSEL ÇALIŞMALAR..... | 43 |
| 10.1.Giriş..... | 43 |
| 10.2. Deneyde Kullanılan Çelik..... | 43 |
| 10.3. Isıl İşlem..... | 43 |
| 5X..... | 48 |
| 10X..... | 49 |
| 20X..... | 50 |
| 100X..... | 51 |
| 10.4.Sonuçlar..... | 52 |
| KAYNAKLAR..... | 53 |

ŞEKİL DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 2.1 Demir-Karbon denge diyagramının çelik kısmı..... | 3 |
| Şekil 4.1: Ni ve Cr'un % 0,1C'lu çeliğin Yapı Diyagramına Etkisi..... | 12 |
| Şekil 4.2:Ni içeriğinin Fe-Cr-Ni paslanmaz çeliklerinin %42'lik MgCl ₂ çözeltisindegerilmeli korozyon direncine etkisi..... | 17 |
| Şekil 5.1 : Demir-Karbon Diyagramının Çelik Bölümü..... | 23 |
| Şekil 6.1: a) Ötektoid, b) Ötektoid altı ve c) Ötektoid üstü çeliklerde dengeli soğutma koşullarındaki yapısal dönüşümler..... | 28 |
| Şekil 6.2: 42 MnV 7 çeliğinin IZSD (İzotermik-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı..... | 30 |
| Şekil 6.3: 42 MnV 7 çeliğinin SZSD (Sürekli-Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı..... | 32 |

TABLO DİZİNİ

| | |
|--|-----------|
| Tablo 3.1. Alaşım elementlerinin çelik özelliklerine etkisi..... | 10 |
| Tablo 4.1: Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Bazı Mekanik Özellikleri..... | 19 |
| Tablo 10.1: Numunelerin Kimyasal Analizi..... | 43 |
| Tablo 10.2: Numunelerin Sertlikleri..... | 45 |
| Tablo 10.3: Dağlama Çözeltisi..... | 46 |

FOTO RESİM DİZİNİ

| | |
|---|-----------|
| Foto resim 10.1: Isıl İşlem İçin Kullanılan Fırın..... | 43 |
| Foto resim 10.2: Isıtıcı..... | 44 |
| Foto resim 10.3: Isıl işlem sonrası numuneler..... | 44 |
| Foto resim 10.4: Sertlik Ölçme Cihazı..... | 45 |
| Foto resim 10.5: Zımparalama-parlatma cihazı..... | 46 |
| Foto resim 10.6: Mikroskop..... | 47 |

1.GİRİŞ

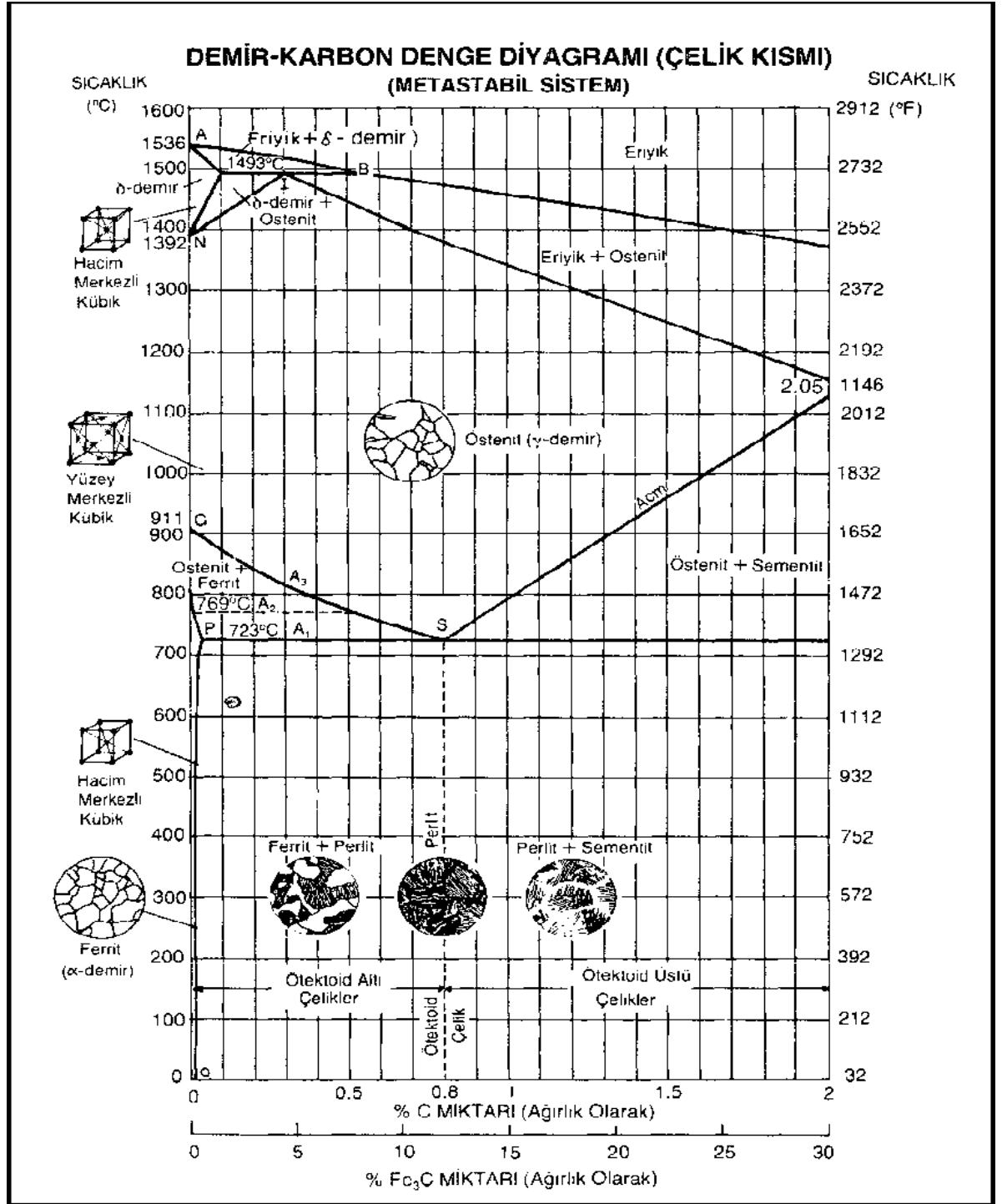
Mühendislik malzemeleri içerisinde en fazla kullanılan çeliklerdir. Öyle ki, kullanılan çelik miktarı diğer bütün mühendislik malzemeleri mertebesinde veya daha fazladır. 18. yüzyılda sanayi devriminin başlamasına hem doğrudan, hem de dolaylı olarak çelik sanayi önder olmuştur. Yaklaşık son iki yüzyıl demir-çelik devri olarak nitelendirilebilir. Bununla beraber, demirin insanlar tarafından kullanımtarihin çok eski dönemlerine kadar gider. Başka bazı metallerinde çok eski tarih dönemlerinde kullanılmış olmasına rağmen, çağdaş teknoloji demir çeliğe bağlı olduğu kadar hiçbir malzemeye bağlı olmamıştır. Günümüzde, yeni geliştirilen diğer bazı metalik, seramik, polimerik veya bunların karışımı olan malzemeler çeşitli özellikleri açısından (yüksek sıcaklığa dayanıklılık, hafiflik, inertlik gibi) çeliklere üstünlük sağlamakla beraber, demir çelik esaslı malzemelerin teknolojik hâkimiyetleri daha uzun yıllar boyunca sürecektir. Çelikler temelde bir demir-karbon alaşımı olduklarından, mekanik özellikleri bileşimlerinde bulunan karbon miktarından önemli derecede etkilenmektedir. Ayrıca, çeşitli alaşım elementleri ilavesi ile ve/veya uygun ısı işlemlerle çeliklere daha üstün mekanik özellikler kazandırılabilir. Çeliklerin mekanik özellikleri genelde, mikro yapılarının bir fonksiyonudur. Gerek bileşimdeki karbon ve diğer alaşım elementleri, gerekse ısı işlemler, çeliğin mikro yapısını etkileyerek mekanik özelliklerin değişmesine neden olmaktadır.

2.ÇELİK NEDİR

Çelik genel olarak bileşiminde % 2 'ye kadar karbon içeren demir- karbon alaşımı olarak tanımlanır [1]. Alman DIN normuna göre ise çelik, herhangi bir işlemde geçmeden dövülebilen ve genellikle %1,7 'den fazla karbon ihtiva etmeyen bir demir-karbon alaşımıdır. İstisna olarak % 2 karbon ihtiva eden yüksek alaşımlı çelikler, yüksek orandaki alaşım elemanları nedeni ile çelik grubuna dâhildir [2]. Saf demir oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar üç farklı kristal yapıda bulunur. Oda sıcaklığından 912°C'ye kadar hacim merkezli kübik (HMK) (α -Fe), 912°C'den 1394 °C'ye kadar yüzey merkezli kübik (YMK) (γ -Fe) ve 1394°C'den ergime sıcaklığına kadar tekrar hacim merkezli kübik (HMK) (δ -Fe ; α -Fe ile aynı) kristal yapıları. Bir malzemenin kimyasal yapısı değişmeden kristal yapısı değişiyorsa, butür malzemeler allotropik ve polimorfik özellik gösteriyor demektir. Demirin ve buna bağlı olarak alaşımlarının da allotropik özellik göstermesi, bu malzemelerin çok geniş bir istek yelpazesine yani sertlik, süneklik, tokluk, aşınma direnci gibi önemli mekanik özelliklere sahip olması sonucu, sayılamayacak kadar çok alandakullanılmasına neden olmaktadır[3].

Demir elementi başka elementlerle de bileşik teşkil eden aktif bir element olmakla beraber, hiçbir başka malzeme ile karşılaştırılmayacak kadar önemli alaşımları karbon ile yaptıklarıdır. Demir ile karbonun oluşturduğu malzeme gruplarından birinin adı çelik, diğerinin adı ise dökme demirdir [3].

Şekil 2,1'de demir ile karbonun meydana getirdiği ikili denge diyagramı görülmektedir[3]. Diyagramın sol tarafında demir, sağ tarafında ise Fe₃C (demir karbürsementit) bulunmaktadır. Diyagram, saf demir içerisinde sürekli artan oranlarda az miktarda karbon elementi katılarak elde edilen alaşımların sıvı halden soğutulması takip edilerek çizilmiştir. Diyagramın alt eksenini demire katılan karbonun ağırlık olarak yüzdesini, dikey eksenini ise sıcaklığı göstermektedir. Diyagramda üç önemli dönüşüm vardır. Bunlardan ilki 1495 °C'de %0.15 karbon bileşiminden "sıvı+delta" dan östenit oluşmaktadır. Bu dönüşüm peritektik olarak isimlendirilir ve teknik açıdan çok da önemli değildir. 1148°C'de %4,3 karbon bileşiminde ise sıvı faz "östenit+sementit" fazlarından oluşan bir yapıya dönüşür. Bu reaksiyon ötektik adını alır ve denge diyagramında sıvının görüldüğü en düşük sıcaklığı gösterir. Ötektik reaksiyon dökme demir teknolojisi için önemli olmakla birlikte bu reaksiyon sonucu oluşan ürün ledeburit adını alır. Diyagramdaki üçüncü reaksiyon ise çelik açısından önemli olan ötektoid reaksiyonudur. Ötektoid reaksiyon 727 °C'de ve ağırlıkça % 0,8 karbon bileşiminde östenitin "ferrit + sementit" e dönüşümü şeklinde olur ve ötektoid dönüşüm ürünü perlit (ferrit + sementit) adını alır[3].



Şekil 2,1 Demir-Karbon denge diyagramının çelik kısmı[4]

3.ÇELİĞE KATILAN ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİLERİ

Karbonlu çeliklerden normal olarak sağlanamayan kendine has özelliklerisağlayabilmek amacıyla, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımlı çeliklerdir. Alaşım elemanlarının etkisi, diğer metallere nazaran en çok çelik yapısında etkili olmaktadır. Ayrıca alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde beklenen özellik değişimleri ancak genel çerçevede ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yaklaşım yapılamaz [2].

Alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahip olan düşük alaşımlı çeliklerin en belirgin özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, sertlik, çekmedayanımı, akma sınırı, elastiklik modülü gibi dayanım özellikleri ile ısıya dayanıklılık, meneviş dayanıklılığı, gibi karakteristikler yükselirken, genellikle kopma uzaması, kesit daralması, çentik darbe dayanımı gibi değerlerde azalma olur. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler kullanılır. Bu tür alaşımlama, normal sıcaklıklardaki mekanik dayanımın artırılması yanı sıra, özellikle ısıya, tufalleşmeye ve korozyona dayanım, sıcaklıkta sertlik ve manyetikleşmeye gibi bazı istenilen özelliklerin elde edilmesini amaçlar [5].

3.1.Alaşım Elementleri

Çelik bir demir-karbon alaşımı olmasına karşın, bileşiminde karbondan başka elementlerde bulunur.

3.1.1.Karbon (C)

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini (%0.25 üzerinde) azaltır [5]. Mukavemet artışının nedeni ise karbon, demirle katı çözümleri yaparak kuvvetli karbürler oluşturur. Ayrıca bu karbürler nedeniyle aşınma direncinde de artış olur [3]. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır. Karbon değeri % 0,8 'den sonra kırılma artar, ısı işlem sonu sertlik kalıntı östenit nedeniyle daha fazla artmaz. Yüksek karbonlu çeliklerin ısı işlemi sırasında çatlama riski de fazladır. Çeliğin alabileceği max sertlik 67 HRC olup bu değer 0,6 karbon miktarıyla elde edilir [6].

Çeliklerde karbon miktarı geniş bir aralıkta değişir, AISI 316L paslanmaz çelikte max. %0.03 karbon bulunurken AISI D3 soğuk iş takım çeliğinde %2.25 karbon bulunmaktadır [3].

Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin şekillendirilmesi sırasında meydana gelebilecek önemli problem mavi gevrekliktir. Bu olay karbon (ve/veya azot) atomlarının küçük çaplı olması nedeniyle kolay yayınmalarından kaynaklanır ve işleme sırasında kırılma yaratır [7].

Mavi Gevreklik; yumuşak çelikler 270-350 °C arasında şekillendirilirse küçük çaplı atomlar hızlı bir şekilde yayılır. Yayınan atomlar dislokasyonları kilitleyerek malzemenin akma sınırı noktasını yükseltir. Dolayısıyla malzeme daha

gevrek davranır. Sözü edilen sıcaklıklar arasında çeliğin aldığı renk mavi olduğu için bu olaya mavi gevreklik denir [7].

3.1.2. Mangan (Mn)

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir. Çeliğe ergitme prosesleri sırasında oksijen tutucu (deoxidizer) olarak katılır ve östenitkararlaştırıcı bir elementtir [3]. Mekanik özellikleri iyileştirmesi dolayısıyla ayrıca da ilave edilir, temel alaşım elementi olarak da kendisini gösterebilir. Genel olarak sünekliği azaltmakla birlikte çeliğin dayanımını artırır özelliğe sahiptir. % 3Mn miktarına kadar, her % 1 Mn için çekme dayanımı yaklaşık 100 Mpa kadar artar. % 3 - 8 arası artış azalır. % 8 den itibaren düşüş görülür. Çeliğin dövülebilirliği ve sertleşebilirliğini iyileştirici özelliktedir. Kaynak kabiliyetini etkilemez ve kaynaklanabilir malzemeler içinde % 1,6 oranına kadar yükseltilebilir. Manganın iyiyöndeki etkisi karbon oranının artmasıyla birlikte artar [7].

Mangan, çeliğin sıcak şekillendirmeprosesleri sırasında meydana gelen sıcak yırtılma (hot shortness-hot tearing) eğilimini azaltır veya önler. Sıcak yırtılma, işlem sıcaklıklarında demir sülfürün sıvılaşması sonucu meydana gelir. Mangan, demirden daha etkili bir kükürt bağlayıcı olduğu için, kükürtle birleşir ve sıcak yırtılmayı önler. Yüksek kükürt içeren çeliklerde, genellikle mangan miktarı da yüksek tutulur (otomat çelikleri) [3].

3.1.3. Silisyum (Si)

Silisyum da, mangan gibi, üretim kademelerinden itibaren çelikte bulunan bir elementtir; cevherden ve/veya ferro silis ya da ferro-siliko-mangan olarak katılan oksijen gidericilerden gelir [3]. Döküm çeliklerde, döküme akıcılık sağlamak için ilave edilebilir. Ferrit içerisinde çözünebilir özelliğine sahip olduğu için malzemenin süneklik ve tokluğunu düşürmeden akma, çekme dayanımını, elastikiyetini ve sertliğini artırır [7]. Silisyumun katı çözelti sertleştirme yaparak mukavemeti artırması, düşük miktardaki silisyum yüzdelinde sorun olmasa da silisyum yüzdesi arttığında çelik gevrekleşmeye başlar [3].

Silisyum miktarı fazla olan filmaşınlar çok küçük çaplara indirilmeleri zordur. Çünkü silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur. Filmaşınlarda bu yüzden düşük silisyum tercih ederler [7].

Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar. Yüksek silisiçeren çeliklerin ısı dayanımı da yüksektir. Genel olarak sertleşebilirliği, aşınma dayanımını ve elastikiyeti yükseltmesine karşın yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler [5].

Silisyum ucuz bir alaşım elementidir, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır [5]. Silisyum, çeliklerin mukavemetini artırmasının yanı sıra özgül ağırlığını artırır ve domain yapısını değiştirerek elektrik akısını kuvvetlendirir. Buradan anlaşılacağı üzere elektrik ve manyetik kayıpları azaltır. Bu sebeple, silisyumlu çelikler silisli sac olarak elektrik trafolarında çekirdek olarak kullanılır [3].

Silisyum diğer alaşım elementlerinin tersine grafit yapıcı bir alaşım elementidir ve genelde silisyum alaşım elementi olarak tek başına kullanılmaz. Mn, Cr, Mo, gibi alaşım elementleri ile beraber kullanılarak derin sertleşebilirlik sağlanması amaçlanır [3].

3.1.4.Kükürt (S)

Akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Fakat malzemeninyüzde uzamasına ve tokluğuna etkisi çok fazladır. Kükürt malzemenin tokluğunu vesünekliğini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca kaynaklanabilirliği kötü yönde etkiler [6].Demir ile birlikte FeS bileşiği oluşturarak, tane sınırlarında birikerek malzemeningevrek olmasına yol açar [7].

- 800° C - 1000° C arasında şekil değiştirme esnasında "kızıl sıcaklık kırılganlığı"
- 1200° C üzerindeki sıcaklıklarda "akkor sıcaklık kırılganlığı" meydana getirir [7].

Bu sebeplerle çelik için zararlı bir element olarak kabul edilerek, giderilmesi yönünde çalışılır. Ancak otomat çeliklerinde iki katı kadar Mn ilave edilerek kullanılmak suretiyle, Talaşlı işlenebilirlik kabiliyetini artırmak amacıyla kullanılır. Genel olarak kaynak kabiliyeti ve sertleşebilirliği olumsuz etkiler. Kaliteli ıslahçeliklerinde maksimum kükürt miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035'dir [7].

3.1.5.Fosfor (P)

Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılganlık yaratır, Talaslı şekillendirme kabiliyetini arttırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır. Çelik içerisinde mümkün olduğunca düşük olmasına çalışılır ve kükürtle birlikte fosforazlığı malzeme kalitesinde birinci kriterdir. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum fosfor miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035'dir [7].

3.1.6.Krom (Cr)

Çeliklerde en yaygın olarak kullanılan alaşım elementi kromdur. %30'lara yakın krom çeliklerde kullanılabilir. Krom çelikte, ferritte çözünerek katı çözelti sertleşmesi yaptığı gibi, aynı zamanda kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Alaşımli çeliklerde Cr_3C_2 (ortorombik), Cr_7C_3 (hekzagonal) ve $Cr_{23}C_6$ (YMK) şeklindeki karbürler oluşturur. Bunlardan son ikisi kararlı karbürlerdir ve özellikle Cr_7C_3 aşınma direncini arttırmada etkilidir. Ayrıca, krom karbürlerin varlığı temperlemedeki sertlik düşüşünü geciktirir ve hatta sertlikte bir artışa dahi neden olur (ikincil sertleşme) [3].

Krom, çeliklerin mukavemetini arttırır; toklukta az da olsa bir düşüşe neden olur. Çeliklerin korozyon direncini, sıcak oksidasyon direncini arttırır; tufallesmeyi azaltır. Bu nedenle, yüksek kromlu çelikler (paslanmaz çelikler ve ısıl direnç alaşımları) korozyon ve oksidasyona karşı dayanım gereken yerlerde kullanılırlar. Çoğu kere yüksek sıcaklıklarda kullanılan metalik malzemeler krom kaplandıktan sonra kullanılırlar [3].

Çelik bünyesindeki krom atmosferdeki oksijen ile birleşerek bir krom oksit filmi oluşturur ($Cr+O \rightarrow Cr_2O_3$). Bu film, is parçasının yüzeyinde altlığa sıkı sıkıyabağıdır ve oksidasyonun daha fazla ilerlemesini engeller [3].

Krom, paslanmaz çeliklerde çok kullanılır; miktarı arttıkça çeliğin kaynak edilme özelliği kötüleşir. Krom ilavesi ile çekme mukavemeti, akma mukavemeti yükselir, darbe özellikleri olumsuz yönde etkilenir [3].

Krom tane büyümesini teşvik eden bir element olduğu için, kromlu çeliklerin yükseköstenitleme sıcaklıklarında uzun süre tutulmasından kaçınılmalıdır. Tane

büyümesietkisini azaltabilmek için, kromlu çeliklere çok az yüzdelerde vanadyum ilavesiyapılır [3].

Östenitik paslanmaz çeliklerde, krom miktarı en az %12 olmalı ve karbon miktarıolabildiğince düşük olmalıdır. Kromla karbon $Cr_{23}C_6$ türü bir karbür oluşturup tanesınırlarına çökeler ve malzemenin taneler arası korozyon ile hasara uğramasına nedenolur [3].

3.1.7.Nikel (Ni)

Çeliklerde kromla birlikte en çok kullanılan alaşım elementi nikeldir. Nikel çelikiyapımı sırasında ilave edilir. Nikel, östenit faz alanını genişletir (östenit yapıcı) veMs sıcaklığını düşürür. Katı çözeltili sertleşmesi yaparak çeliğin mukavemetini artırır, karbür yapmaz. Kromla birlikte bulduklarında, sertleşme derinliğini artırır ve tufalleşme direncini olumlu yönde etkiler. Düşük sıcaklıklarda, çeliğin çentikdirencini artırır [3].

Östenit yapıcı bir element olduğu için A3 (ötektoid)sıcaklığını düşürür. Böylece çeliklerin daha düşük sıcaklıklarda östenitlenmesini sağlar ve tane inceltilmesineyardımcı olur. Nikel sertleştirme sıcaklığını düşürdüğü için, takım çeliklerinin çatlama riski düşmesi nedeni ile hava yerine yağda sertleştirilmesine imkân verir.Nikelli çeliklerin küçük taneli olmaları, bu çeliklerin sementasyon için uygunolmalarının sebebidir. Çünkü sementasyon işlemi 8-10 saat sürdüğü için östenitlemesıcaklığının yüksek olması halinde, bu uzun süre nedeni ile tane büyümesine nedenolabilecektir. Buna bağlı olarak nikelli çeliklerde östenitleme sıcaklığı düşük olduğu için uzun süre beklemenin, tane büyümesine yol açmadığı bilinmektedir. Bu türçelikler az karbonlu ve az nikelli olmalıdır. Nikel çeliklerde % 37 'ye varanoranlarda kullanılmaktadır [3].

3.1.8.Vanadyum (V)

Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır.Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, menevişleme ve ikinci sertleşmede olumlu etkileri vardır. Alaşımli takım çeliklerinde kullanım yeri olan bir alaşım elementidir[5].

Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile mikro alaşımli çeliklerdeniyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir. Mikro alaşımli çeliklerde alaşım elementleri toplamı %0,25 i geçmez. Bu elementler tek, ikili ve üçlü kompozisyonlar halinde mikro yapı içerisinde oluşturduklarıkarbonitrürçökeltileri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanı sıra çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla dayanımı artırır [7].

Vanadyum sertlik derinliğini artırmakla beraber sıcaklık dayanımını da artırır.Özellikle kesmeye çalışan parçalarda, darbe dayanımının artmasını sağlayarak kesicikenarların formunun uzun süre muhafaza edilmesinde etkilidir [5].

3.1.9.Tungsten (W)

Wolfram; çeliğin dayanımını artıran bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinde,kesici kenarın sertliğinin muhafazasını, takım ömrünün uzamasını ve yüksek ısıyadayanımlını sağlar. Bu sebeple özellikle yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak kullanılır. Yüksek çalışma sıcaklıklarında,çeliğin

menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır [5].

3.1.10.Molibden (Mo)

Tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tanesınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılabilirliğe neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayanımına ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımli takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir [8].

Paslanmaz çeliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Bazı mikro alaşımli çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır [5].

3.1.11.Diğer alaşım elementleri

Niobyum (Nb); mikro alaşımli çeliklerde tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde titanyumun yaptığı etkiyi yapar ve titanyumla birlikte veya tek başına kullanılır. Tane inceltici ve karbür yapıcı etkiyesahip olduğundan akma sınırının yükselmesine ve sertliğin artmasına sebep olur [8].

Kobalt (Co); yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini yavaşlatır bu nedenle daha çok kız çeliklerine ve sıcağa dayanıklı çeliklere ilave edilir [5].

Titanyum (Ti); vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Çelik üretimi esnasında deoksidan olarak da kullanılır. Mikro alaşımli çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturuca alaşım elementi olarak kullanılır [5].

Alüminyum (Al); oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbetokluğunu artırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı sürekli dökümlerden ozul tıkanmalarına sebep olur [8]. Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır, nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımli çeliklerde denitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır [5].

Bor (B); düşük ve orta karbonlu çeliklerde sertleşebilme özelliğini artırır. Sakinleştirilen çeliklere 0,0005 - 0.003 kadar düşük oranda katılırlar [5].

Kalay (Sn); akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez, fakat sıcak haddelemelerde sorunlar yaratır. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddeleme sırasında kopmalara neden olur [5].

Bakır (Cu); akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden filmaşınlerde ki bakır oranı olabildiğince düşük olması istenir. Sıcak şekillendirilmede kırılabilirlik yaratan bakır için % 0,5 oranı pek asılmaz. Korozyon direncini ve sertliği yükselten etki gösterir [5].

Kursun (Pb); haddelenebilirliği azaltır. Haddeleme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebebiyet verir. Kursun çeliklerin Talaşlı şekillendirme kabiliyetine artırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır [5].

Azot (N); nitrür teşekkül ettirerek sertliği artırır. Azot kırılğanlığına neden olur,eğme özelliklerini çok kötüleştirir. Mekanik dayanım ve korozyona karşı direnciartırır [5].

Hidrojen(H);hidrojen gevrekliğine neden olur. Azottan daha tehlikelidir.Malzemenin elastikiyetini azaltır [5].

Selenyum (Se); bazı paslanmaz çeliklerde az miktarda kullanılır. Talas kaldırma kabiliyetini iyileştirir. Korozyon direncini kükürde nazaran daha az düşürür [3].

Genel olarak alaşım elementlerinin çeliklerin özelliklerine etkileri tablo 3,1 de verilmiştir.

Tablo 3,1.Alaşım elementlerinin çelik özelliklerine etkisi [4].

| ALAŞIM ELEMENTİ | SERTLİK | MUKAVEMET | AKMA NOKTASI | UZAMA | KESİT BÜZÜLMESİ | DARBE DİRENCİ | ELASTİSİTE | YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIM | SOĞUMA HIZI | AŞINMA DİRENCİ | İŞLENEBİLİRLİK | OKSİTLENME EĞİLİMİ | KOROZYON DİRENCİ |
|--|---------|-----------|--------------|-------|-----------------|---------------|------------|--------------------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|------------------|
| Si | ↑ | ↑ | ↑↑ | ↓ | ~ | ↓ | ↑↑↑ | ↑ | ↓ | ↓↓↓ | ↓ | ↓ | - |
| Mn* | ↑ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ~ | ↑ | ~ | ↓ | ↓↓ | ↓ | ~ | - |
| Mn* | ↓↓↓ | ↑ | ↓ | ↑↑↑ | ~ | - | - | - | ↓↓ | - | ↓↓↓ | ↓↓↓ | - |
| Cr | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑ | ↓ | ↓ | ↓ | ↑ | ↑ | ↓↓ | ↑ | - | ↓↓↓ | ↑↑↑ |
| Ni* | ↑ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ~ | - | ↑ | ↓↓ | ↓↓ | ↓ | ↓ | - |
| Ni** | ↓↓ | ↑ | ↓ | ↑↑↑ | ↑↑ | ↑↑↑ | - | ↑↑↑ | ↓↓ | - | ↓↓↓ | ↓↓ | ↑↑ |
| Al | - | - | - | - | ↓ | ↓ | - | - | - | - | - | ↓↓ | - |
| W | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ~ | - | ↑↑↑ | ↓↓ | ↑↑↑ | ↓↓ | ↓↓ | - |
| V | ↑ | ↑ | ↑ | ~ | ~ | ↑ | ↑ | ↑↑ | ↓↓ | ↑↑ | - | ↓ | ↑ |
| Co | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓ | - | ↑↑ | ↑↑ | ↑↑↑ | ~ | ↓ | - |
| Mo | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↑ | - | ↑↑ | ↓↓ | ↑↑ | ↓ | ↑↑ | - |
| S | - | - | - | ↓ | ↓ | ↓ | - | - | - | - | ↑↑↑ | - | ↓ |
| P | ↑ | ↑ | ↑ | ↓ | ↓ | ↓↓↓ | - | - | - | - | ↓↓↓ | ↓↓↓ | ↑↑ |
| <p>*Perlitik Çeliklerde ↑ ↓ ~ - ** Östenitik Çeliklerde Artırır Azaltır Değiştirmez Önemsiz</p> | | | | | | | | | | | | | |

4.PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ

Paslanmaz çelik, içinde birçok organik ve madeni agresif etkenlerin bulunduğu sulu ortamda korozyona mukavemet arz eden çeliklerdir. Atmosferik etkenlerin korozyonuna mukavemet, bunun özel bir durumudur. Paslanmaz çelik deyimi gazlı veya içinde ateşin bulunduğu ortamda yüksek sıcaklıkta korozyona dayanıklı çelikleri de kapsar.

Paslanmaz çelikler esas itibariyle demir, krom ve çoğu zaman da nikel içeren alaşımlar olup başlıca özelliklerini kroma borçludurlar. Çeliğin içerisindeki kromun koruyucu kabiliyeti, krom ile oksijen arasındaki affiniteden ileri gelmektedir. Kromun miktarı yeter derecede büyük olduğu zaman çeliğin yüzeyinde ince bir oksit tabakası meydana gelir. Bu oksit tabakası yüzeyi aktif olmayan bir hale getirir ve etkilere karşı korur. Korozyona karşı dayanıklılığın gerçekleşebilmesi için, yüzeyin oksijenle temas etmesi şarttır. Yüzeyi koruyan ve tabaka teşekkül eden madde kromoksittir. İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır.

Bunlar sırası ile:

- 1.Östenitik Paslanmaz Çelikler
- 2.Ferritik Paslanmaz Çelikler
- 3.Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- 4.Çift Fazlı (Dupleks) Paslanmaz Çelikler
- 5.Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler'dir.

4.1.Östenitik Paslanmaz Çelikler

4.1.1.Yapı ve Genel Özellikler

Yapılarında kromun yanında % 8-15 Ni ve % 0.08-0.15 C içeren paslanmaz çeliklerdir. Ancak bileşimindeki karbon miktarının yüksekliği karbür çökmesi çok hassas olup hem gevrekleşme hem de istenen korozyon dayanımlarının menfi yönden etki etmesi açısından önemlidir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımları yüksektir. Bu çeliklerin korozyon dayanımlarını artırmak için % 2-3 miktarlarında Mo kullanılır. Fakat östenitik paslanmaz çeliklerin üretiminde Ni ve Mo' in pahalı olması, ekonomik yönden daha uygun alaşımların (Manganez % 5-15 ve Azot % 0,1-0,5) kullanılmasını sağlamıştır. Bu da standart ve standart dışı östenitik paslanmaz çeliklerin üretimini mümkün kılmıştır [10]. Yüksek krom oranının sağladığı korozyon direncinin yanında kübik yüzey merkezli östenitik yapının şekil almasının kolay olması, sünek bir yapıya sahip olması ve soğuk pekleşme özelliği en önemli avantajlarıdır. Magnetik özelliklerin ve ısı iletkenliklerinin düşük olması da belirli uygulamalar için avantaj sayılabilir. [9]

Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal analizleri tablo 2 de verilmiştir.Östenitik paslanmaz çelikler Krom içerikleri yanında (%25-30) yüksek Nikel içeriği (%8-15) olan çeliklerdir. Östenitik Krom-Nikel çelikleri atmosfere, buhar ve suyla, fosforik asit, sirke asidi, meyve asidi ve klorür içeren çözeltilere temas ettiğinde yeterli dayanıma sahiptirler. [9]
%18 Krom içeren çeliklere Nikel ilave edildiğinde y halkası büyük ölçüde genişler.

a) Nikel ilavesi östenitleme sıcaklığında mevcut östenit miktarını artırır; fakat Nikel oranının düşük tutulması halinde mevcut östenit tamamen veya kısmen martensite dönüşebilir. [12]

b) M_s sıcaklığını o denli düşürür ki, Nikel içeriğinin %8 olması durumunda M_s sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altında bir değere iner ve bu durumda östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına yapılan soğutma sonucu östenit mikro yapıda dönüşmemiş olarak kalır. [12]

%18Cr-%8Ni bileşimindeki çeliğin mikro yapısında bir miktar (δ -Fe) bulunur. %18 Cr'lu karbonu serbest halde olan çelikte 1050°C deki östenitleme sıcaklığında tamamen östenitik bir mikro yapı oluşturmak için %12 civarında Nikele ihtiyaç vardır.

Ayrıca Karbonun kuvvetli östenit oluşturucu element olmasından dolayı %0,1 C içeren %18 Cr ve %8 Ni'li çelik 900°C'nin üzerinde tamamen östenitiktir. Bu çeliğin M_s sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altında olup östenitin martensite kısmen dönüşmesi ya 78°C'de soğutma sonucu veya Soğuk deformasyon sürecinde geçerlidir. [12]

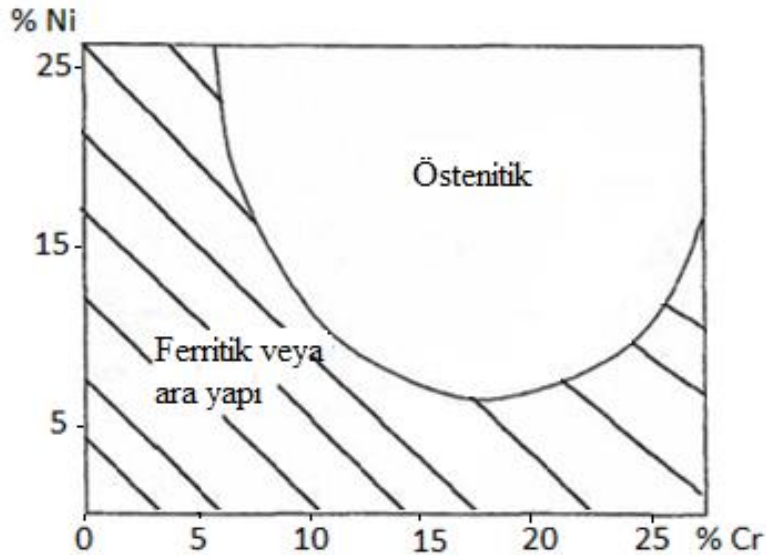
% 0,1 C'lu çeliklerde, tipik östenitleme sıcaklıklarından (1050°C- 1100°C) soğutma sonucu östenitin kararlı olmasının sağlanmasında Cr ve Ni arasındaki etkileşimin çok önemli olduğu görülmektedir. [12]

Bu konudaki bazı ana fikirler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

a) Düşük Cr içeriklerinde Cr, γ -alanını; γ -halkası içinde minimum değerine kadar genişletmek suretiyle östeniti kararlı yapıcı bir eleman olarak davranır. [12]

b) Oda sıcaklığında kararlı olan tamamen östenitik bir mikro yapı sağlamak için %18 Cr'lu çelikteki Ni oranının minimum değerde tutulması istenir. [12]

Ni ve Cr'un % 0,1C'lu çeliğin yapı diyagramına etkisi şekil 4,1'de verilmiştir.



Şekil4,1: Ni ve Cr'un % 0,1C'lu çeliğin Yapı Diyagramına Etkisi [12]

%18'den yüksek Krom içeriklerinde Krom'un ferrit oluşturucu yönü çok kuvvetlidir bu durumda östenitin martensite olan çok fazla kararlılığına karşı (γ -Fe)'den arınmış

tamamen östenitik bir yapının oluşabilmesi için çeliğin Nikel oranının artırılması gerekir.

Diğer alaşım elementlerinin östenit ve ferrit oluşturuçu yönlere hatta östenitleme sıcaklığında mevcut (δ -Fe)'in azaltıp çoğaltma etkilerine bağılı olarak çeliğe ilave edilmeleri oldukça önemlidir. Araştırmacılar alaşım elementlerinin östenitik çeliklerin yapısını olan bu etkilerini Cr ve Ni eşdeğer bileşimlerini kullanarak ve bu sonuçları diyagramlara aktararak incelemiştir. Bu eşdeğerlerin formülize edilmeleri şöyledir:

%12 Cr için;

Cr eşdeğeri = Cr + 2 (Si) + 1,5 (Mo) + 5 (V) + 5,5 (Al) + 1,75 (Nb) + 1,5 (Ti) + 0,75 (W) Ni
Eşdeğeri = Ni + Co + 0,5 (Mn) + 0,3 (Cu) + 30 (C) + 25 N

Bu bağıntılar özellikle Ti ve Nb içeren çeliklerde erimemiş karbürlerin mevcut olması durumunda, uygulanırken çok dikkat ister. Ayrıca böyle erimemiş karbürlerin etkisinin ayarlanması da mümkündür.

4.1.2.Östenitin Martensite Dönüşümü

Östenitin martensite dönüşümü daha az oranlarda alaşımlandırılmış östenitik çeliklerde mümkündür. Bu dönüşüm iki şekilde gerçekleşir. [12]

a) Ms sıcaklığı üzerinde östenitin martensite dönüşümü

b) Ms sıcaklığı oda sıcaklığı altında olan daha kararlı alaşımlarda -78 °C soğutmayla östenitin martensite dönüşümü

Co; hariç tüm alaşım elementleri Ms sıcaklığının çeliğin bileşimiyle ilgili olduğunu gösterir. Aşağıda, östenitik paslanmaz çelikler içindeneyssel bağıntı verilmiştir. [12]

$Ms (°C) = 502 - 810x\%(C) - 1290x\%(N) - 13x\%(Ni) - 12x\%(Cr) - 54x\%(Cu) - 46x\%(Mo)$

Yukarıdaki bağıntı Md sıcaklığını hesaplamakta da kullanılır. Bu nedenle önemlidir. Çünkü Md sıcaklığı östenitik paslanmaz çeliklerin soğuk işlenebilirliğinin tespitinde büyük rol oynar. [12]

4.1.3.Standart Östenitik Paslanmaz Çelikler

Çok düşük "C ve N" içeren paslanmaz çeliklerdir. (% 0,03 max). Bu tür çeliklerde çekme ve akma mukavemeti oluşan ürünün şekline bağılıdır. Genellikle 304 L ve B 16 L olarak simgelenirler.

Buradaki "L" AISI (Amerikan Iron And Steel Institute) normlarında olduğunu ve 304 çeliğin karbon oranının % 0,08'den % 0,02'ye indirilmesi ile elde edilen çelik olduğunu gösterir. [13]

**AISI NUMARALININ HANGİ GRUP ÇELİKLERİ GÖSTERDİĞİ VE
BU ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ**

| BUSERİLER | GRUPLARIN ÖZELLİKLERİ |
|-----------|---|
| 2 XXX | Krom-Nikel -Mangan, Sertleştirilemez, Östenitik, Magnetik Değil |
| 3 XXX | Krom-Nikel, Sertleştirilemez, Östenitik, Magnetik Değil |
| 4 XXX | Krom, Sertleştirilemez, Ferritik, Magnetik |
| 5 XXXX | Krom, Düşük krom, sıcağa dayanıklı |

301 ve 310 türü Cr-Ni çeliklerde 301 yönüne gidildikçe martensit oluşumuna karşı direnç artar. [12]

316 türü çelikler H₂SO₄ ortamlarında korozyon direnci için % 2,3 Mo içerir. Mo ilavesi çeliğin yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirir. Bu tür çelikler sürünmeye karşı dirençlidirler. [12]

321 ve 347 türleri ise Ti ve Nb alaşım elementlerinin ilavesi ile Cr oluşumuna ve çeliğin taneler arası korozyona karşı kararlı hale gelmesinisağlar.348 çelik tüm isesürünmeye karşı dayanıklıdır. Bu çeliklerde Ti, Nb, C, N gibi ferrit oluşturu elementlerin etkisini indirgemek için Ni miktarı artırılır. [12]

200 serisi çeliklerde Li oranı düktür. Çünkü Ni'ninöstenit oluşturu etkisi Nb, N gibi kuvvetli östenit oluşturu ile telafi edilir. Bu nedenle 200 serisi 300 serisine göre Nr den tasarruf yapıldığı için daha ekonomiktir.

200 serisi düşük Li 'i çeliklerin akma ve çekme mukavemetleri 300 serisine göre daha yüksektir. Nedeni ise 200 serisi N içerdiğinden katı eriyik sertleşmesi artar.[12]

Kullanım sıcaklığı aralıkları çok geniştir. (-190 °C + 800 °C) çünkü yüksek süneklik özellikleri, düşük sıcaklıklarda yüksek korozyon ve oksidasyona karşı dirençleri mevcuttur. Çok kolay şekilendirilebilirlikleri ve kaynak yapılabilirlikleri çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. [12]

4.1.4.Yüksek Mukavemetli Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Oluşturulmasında Mukavemet Arttırma Yöntemleri

Standart östenitik paslanmaz çeliklerin en büyük dezavantajı mukavemetlerinin çok düşük olmasıdır. Paslanmaz çeliklerin diğer özelliklerini bozmadan mukavemetini arttırmak gerekir. Bu nedenle de aşağıdaki yöntemler uygulanır.

Soğuk işlem: Östenitik çeliklerde deformasyonla martensite dönüşen kararsız çeliklerde 150 kg/mm² akma değeri elde edilir. Kararlı bir çelikte ise akma değeri ancak 125 kg/mm² Akma gerilmesi için 400°C yapılacak yaşlanma işlemiyle 150 MN/mm² bir artış sağlanır. Bu mukavemet değeri için %60-80 deformasyon gereklidir.

Ayrıca 600°C'den yüksek sıcaklıklarda mukavemetin aniden düşmesi deformasyon ve yaşlanma işleminin en büyük dezavantajı olduğundan östenitik çeliklerde az deformasyon ve az mukavemet artışı istenir. [11]

Katı Eriyik Sertleşmesi:Arayer elementleri en etkin katı eriyik sertleştiricileridir. Bunları ferrit oluşturu takip eder. Ferrit oluşturu elementler ise yüksek oranda

kullanıldıklarından dolayı maliyeti artırırlar. Bu sebeplerden N, taneler arası korozyon açısından en az zararlı olması ve yüksek katı eriyik sertleştirme özelliğinden ötürü tercih edilen bir elementtir. N % 2,5 ile % 0.5 oranlarında katıldığında akma gerilmesini iki katma çıkartmaktadır. Fakat %].21'den yüksek N ilavesi ingotporozitesine neden olmaktadır. [11]

Bu yüksek oranda Azotu katı eriyik içine alabilmek için östenitik paslanmaz çeliklerde Mn kullanımı Ni yerine tercih edilir. Çünkü Ni, N 'un erirliğini zorlaştırır. Ni ferrit oluşumunu etkileyen çok kuvvetli bir östenit oluşturucudur. Artan N oranlarıyla mukavemet yükselir. N 'lu çeliklerde akma değeri 350-400 MN/mm² yükselmekte fakat darbe tokluğunda azalma olmaktadır. [11]

Ilık İşlem veya Kontrollü Haddeme:700-750°C kadar olan sıcaklıklarda haddeme uygulanır. Daha düşük haddeme bitiş sıcaklıklarında yalnız dinamik kendini toplama yer alır. Bu durumda mukavemet artması çok ince alt tane boyutu ile ilişkili olur. Bir miktar daha yüksek haddeme bitiş sıcaklığında ise yeniden kristalleşme oluşabilir. Tane boyutu çok düşük olduğundan sertleşme meydana gelir. Sertleşmeye bileşimin etkisi aşağıda belirtilmiştir.

a)Tüm haddeme bitiş sıcaklıklarında N ilavesi ile oluşan katı eriyik sertleşmesi aynen kalır.

b)Nb ve Ti ilavesi yeniden kristalleşmeyi önler ve ince taneli alt yapı mukavemet artışıyla birlikte korur. Ayrıca NbC ve TiC çökmesi ile dağılım sertleşmesi oluşturulabilir.[12]

Bu işlemlerin en büyük dezavantajı üniform özellikler elde edilememe durumudur. Ilık işlenmiş veya kontrollü haddelenmiş çeliklerde görülen bu durum tekrar ısıtılmayla yok edilebilir. Isıtma yeniden kristalleşme sıcaklığının altında olursa mukavemette bir azalma olmaz ve özelliklerde üniform bir artış sağlanır. Nb ve Ti gibi elementler kullanıldığında yeniden kristalleşmeyi geciktirdiğinden yeniden ısıtma esnasında daha yüksek sıcaklıklara çıkılır ve mukavemette azalma görülmez. [12]

Bu çeliklerin akma mukavemeti değerleri östenitik çeliklerinkinin iki katıdır. Kaynak özelliklerinin iyileştirilmesi de yeniden kristalleşmenin ve tane büyümesinin geciktirilmesi veya önlenmesi ile sağlanır. [12]

4.1.5.Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Şekillendirme:

Derin Sıvama:Östenitik Paslanmaz Çeliklerde derin sıvamanın gerçekleştirilmesi önemli yer tutar. Bir şekillendirme yükünü minimuma indirebilmek için çeliğin minimum akma gerilmesi değerine ve düşük sertleşme hızına sahip olması gerekir. Bu özellikler ancak atomların hatalı istif enerjisini düşüren alaşım elementlerinin düşük oranlarda ilavesiyle ve çeliğin tamamen arınmış bir yapıya sahip olmasıyla gerçekleşir.

Östenitik Paslanmaz çeliklerde tekstürün deformasyon etkisine ilave olarak östenitin hatalı istif enerjisinin ve östenitin deformasyonla oluşan martensite dönüşümü tarafının da göz önünde tutulması gerekir. [11]

Soğuk deforme edilmiş östenitik bir çeliğin tavlama ile deformasyonla oluşan martensitin östenite geri dönüşümüne ve aynı zamanda deforme edilmiş östenit martensitin yeniden kristalleşmesine neden olabilir. Bu yüzden yeniden kristalleşme tekstürü deforme edilen östenitin ilk tekstürüne ve tavlama ile östenite dönüşen herhangi bir erzinal matrisin

tekstürüne bağlı olur. Tekstürde görülen çok büyük değişimler tavlama sıcaklığına; ikincil yeniden kristalleşmenin oluşumuna ve ikincil faz partiküllerinin mevcudiyetine; örneğin karbür ve nitrürlere bağlı olmaktadır.

Derin sıvama sırasında deformasyon kalınlık boyunca yüksek mukavemete sahip bir tekstür yapısıyla derin sıvamanın kolay olduğunu göstermektedir.

Gerekli yeniden kristalleşme tekstürünün pratikte her zaman sağlanması oldukça zordur. Derin sıvamanın gerçekleştirilebilmesi için martensit oluşumunun önlenmesi gerekir.

İkincil Faz Partiküllerinin Süneklige Etkisi:Östenitik paslanmaz çeliklerin bir şekillendirme sırasında kırılmaları sünek kırılma şeklindedir. Bu tür kırılmalarda mekanik olmayan inklüzyonların etkisi büyüktür.Östenitik çelikler genellikle düşük Karbonlu ferrit + perlit yapı dışındaki çeliklere oranla daha düşük toplam süneklige sahiptir. Bunun nedeni; İntermetalik inklüzyonların çok fazla şekil değişimi konsantrasyonu ve daha hızlı boşluk büyümesine bağlanmaktadır. [11]

İntermetalik inklüzyonlar gibi Ti (CN) ve Nb (CN) partikülleri de benzer davranışlar gösterirler.

Germe Şekillendirmesi:Östenitik çeliklerde germeyle şekillendirilmeleri konusunda iki farklı yapıda çelik söz konusudur. Bunlar;

Deformasyon sürecinde martensite dönüşmeyen kararlı östenitik çelikler; Bu tür çeliklerin germe şekillendirilebilme kabiliyeti için aşağıdaki hususlar göz önünde tutulur.[11]

Tane boyutu kaba olmalıdır.

a)Düşük deformasyon sertleşme hızı olmalıdır: Bu durum “N” ve “C” içeriklerini min.Ni” ve “Cu” içeriklerini max. tutmakla sağlanabilir.

b)Katı eriyik sertleşmesi min. olmalıdır.

c)Akma gerilmesi olabildiğince düşük olmalıdır.

Deformasyon sürecinde martensite dönüşen kararsız östenitik çelikler. Bu tür çeliklerde germe şekillendirmesi için aşağıdaki hususları göz önünde bulundurmak gerekir.

a)Deformasyon öncesi yapıda hiç martensitin bulunmaması çünkü martensit deformasyon sertleşme hızına etkin akma gerilmesini artırır ve üniform deformasyon değerini düşürür.

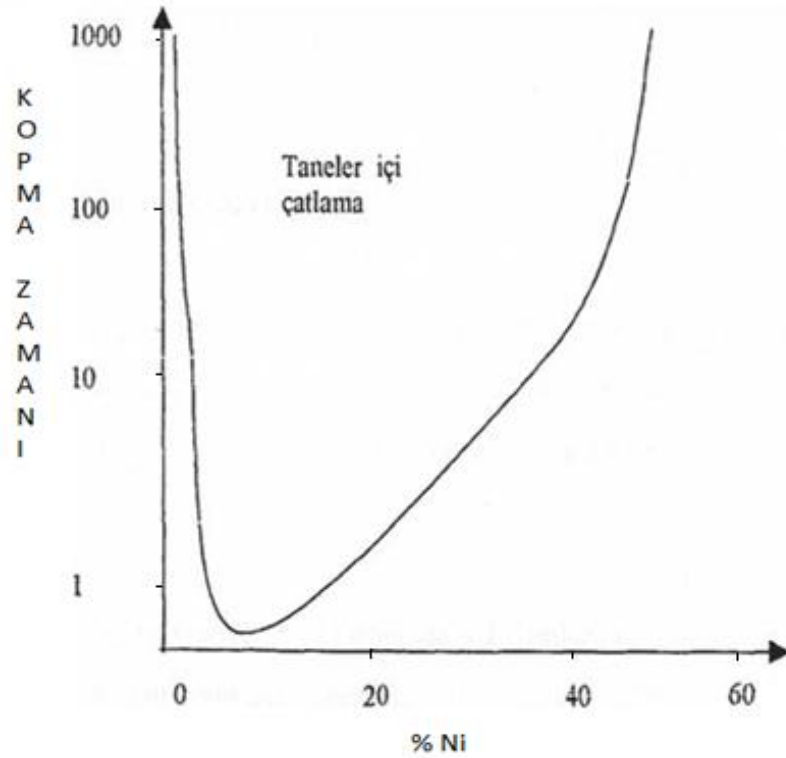
b)Deformasyon prosesinin kritik bir kademesinde bir miktar martensit oluşumunun gerçekleşmesi. Bu durumda deformasyon sertleşme hızı yüksek olduğu için üniform deformasyon değerleri elde edilir.

4.1.6.Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu

Östenitik paslanmaz çeliklerin çok geniş bir korozyon ortamında korozyona karşı dirençleri söz konusudur. Atmosferik korozyona karşı yüksek deniz ve C’lu ortamlarda ise düşük korozyon direncine sahiptirler. Bileşimdeki içeriğinin artırılmasıyla H₂SO₄ ve organik asitlere karşı dirençleri artırılabilir.“Ni”deki artışın HNO₃ gibi oksitleyici ortamlarda pasivasyona neden olması bir dezavantajdır. ”Mo”genel korozyon direncini geliştirirse H₂SO₄ olan direnci artırır.”Cr” oranı ne kadar fazla ise genel korozyon direnci o denli yüksek olur.

Gerilmeli Korozyon Çatlaması:Gerilmeli korozyon; Statik çekme yönündeki gerilmelerin ve korozyonun birlikte etkisi sonucu malzemenin akma yükünün altındaki gerilmelerde gevrek olarak kırılmasına yol açabilen korozyondur. [13]

Östenitik paslanmaz çeliklerde gerilmeli korozyon sıcak C lu çözeltilerde oluşur ve taneler arası çatlak oluşumuna neden olur. Gerilmeli korozyon çatlaması genel olarak Nikel oranına bağlıdır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi düşük "Ni"li çeliklerde gerilmeli korozyon çatlaması görülür. % 30'dan fazla Ni içeriğinde ise korozyon direncinde artış olur [9]. Ni içeriğinin Fe-Cr-Ni paslanmaz çeliklerinin %42'lik MgCl₂ çözeltisindeki gerilmeli korozyon direncine etkisi şekil 3 te verilmiştir.



Şekil 4,2 Ni içeriğinin Fe-Cr-Ni paslanmaz çeliklerinin %42'lik MgCl₂ çözeltisindeki gerilmeli korozyon direncine etkisi.

Östenitik paslanmaz çeliklerde aşağıdaki önlemler alınarak gerilmeli korozyon çatlaması önlenir.

- a) Çeliğin bulunduğu ortamla, çeliğin temasını önlemek (Korozif ortamı değiştirmek)
- b) Si oranını yüksek tutarak korozyon direncini arttırmak. Fakat bu olay çeliğin sıcak işlenebilirliğini düşürür.
- c) Katodik koruma
- d) Gerilmeli korozyon çatlamasına dayanıklı malzeme kullanmak
- e) Çatlama neden olan gerilmeyi azaltmak [14]

Oyuklanma Korozyonu:Oyuklanma; pasifleşebilen metal ve alaşımların yüzeylerinde, ortamda klorür, bromür gibi halojenlerin varlığında, noktasal derinleşen oyuklar halinde kendini gösteren bir korozyondur.Malzemeyi delerek veya mekanik kuvvetini azaltarak kullanılmaz hale getirir. [14]

Oyuklanma korozyonuna; Cl⁻lu ortamda, Cl⁻ iyonlarının pasif film tabakasına işlemesi neden olur. Korozyon oyukları genellikle sülfür ve oksit inklüzyonların gibi tane sınırlarında veya dublex türü östenitik paslanmaz çeliklerde gelişme meyli gösterir.

Aşağıdaki önlemler alınarak oyuklanma korozyonu kontrol altına alınabilir.

- a)Katodik korumayla
- b)Metal dizaynının doğru yapılması
- c)Daha yüksek oranda Cr'lu ve Mo'li alaşımlar kullanılmalı
- d)Asit çözeltileriyle çalışılmaktan kaçınılmalı
- e)Çalışma sıcaklığı yüksek olmalı
- f)Karıştırma ve sık sık yıkama ile klor iyon artışının bölgesel artışına fırsat verilmemeli [13].

Taneler Arası Korozyon:Östenitik paslanmaz çeliklerin taneler arası korozyona uğramasının nedeni ısıtılma işlemi veya kaynak sırasındaki sıcaklık değişimleridir. Kaynak işleminden sonra havada soğutmaya bırakılan parçalar 500-800°C aralığında oluşan Krom karbürler nedeni ile taneler arası korozyona uğrar. Hasar kaynaktan biraz uzakta dar bölgeler şeklindedir.

Aşağıdaki önlemler alınarak kontrol edilebilir.

- Kaynak sonrası yüksek sıcaklıkta çözüme ısıtılmalı yapılmalıdır.
- Karbon miktarı düşük alaşımlar seçilmeli örneğin: 304L (%18Cr-%8Ni-%0,02C)
- Çeliğe karbonla birleşecek yeni alaşım elementleri ilave edilmeli (örneğin; Ti, Nb stabilize Çelikler)
- Kaynak sırasında sıcaklık aralığı hızlı geçilmelidir. [14]

Sigmannın Oluşumu: Sigma fazının silisyumca zengin alaşımlarda 650-925°C ısıtılma işlemleri ile yapıda yer aldığı saptanmıştır. Krom, Silisyum ve Azot yüzdelerinin artması, Karbonun azalması ve bileşime Niyobyum Titan ve Zirkon ilavesi oluşumu kolaylaştırmaktadır. Sigma fazının oluşumu genellikle yavaştır. Bu olay arkasından karbür çökmesini de birlikte getirir. Kırılgan çeliklerde süneklik 1040-1065°C sıcaklıklarda kısa bir ısıtılma ile kısmen giderilebilir. Fakat sigma fazının tamamen kaybolması ancak 1230°C'ye doğru olasılık kazanmaktadır.

Sigma fazı karbürler gibi gren sınırlarında yer aldığından malzeme özellikleri yönünden hiç bir pratik yarar sağlanmaz. 1095 °C'de ısıtılma işlemi ile sigma fazının yok edilmesi (östenit içinde erimesi) bir geçiş fazı olarak ferritdönüşümü ve daha sonra ferritöstenitiçinde yayılması şeklindedir. [15].Östenitik alaşımlarda çift fazlı alaşımlara oranla sigma fazı oluşumu daha yavaştır.

Sigma Fazının Korozyona Etkisi: Yüksek sıcaklık alaşımlarının çoğunda belli sıcaklık aralığında bekletmeden sonra sigma fazı çökmektedir. Alaşımdaki sigma fazı oranı arttıkça alaşımın sünekliği düşer. Ayrıca sigma fazı sıcak işlenebilirliği düşürür ve

derişik Nitrik asit ortamında taneler arasında korozyona neden olur.

Sigma fazı ferritik alaşımlarda östenitik olanlara göre daha hızlı çökeler. Onun için yüksek sıcaklık alaşımlarının seçiminde bu durum göz önüne alınmalıdır. Soğuk şekillendirmenin sigma fazı oluşumunu hızlandırdığı bilindiğine göre soğuk işlenmiş alaşımlar kullanılmadan önce belirli bir sıcaklıkta tutulduktan sonra (1050-1100°C) havada veya suda soğutarak çözündürme ısı işlemi uygulanmalıdır. Bu işlemle çökelen sigma fazı tekrar çözeltiye alınamıyorsa tamir ve bakım sırasında darbeye maruz bırakılmalıdır.

Yüksek Cr'lu ferritik paslanmaz çeliklerde olduğu gibi sigma fazı çökmesi hızlı olan alaşımları üretim sırasında 500-800°C arasında bekletmekten hatta bu aralıkta yavaş soğutmaktan kaçınılmalıdır.

Aşağıda ise östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri tablo 4,1 te görülmektedir.

Tablo 4,1:Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Bazı Mekanik Özellikleri

| AISI Normu | Çekme Kg / mm ² | Akma Kg / mm ² | % Uzama L=5d | % Kesit Daralması |
|------------|----------------------------|---------------------------|--------------|-------------------|
| 301 | 70.97 | 36 | 45 | 50 |
| 303 | 50.70 | 20 | 35 | 60 |
| 304 | 50.70 | 20 | 45 | 60 |
| 304 L | 47.69 | 18 | 45 | 60 |
| 304 NL | 56.78 | 28 | 40 | |
| 305 | 50.70 | 19 | 45 | |
| 308 | 50.70 | 19 | 45 | |
| 309 | 51.77 | 23 | 30 | |
| 309 S | 51.77 | 21 | 26 | |
| 310 | 56.82 | 23 | 30 | |
| 310 S | 51.77 | 21 | 35 | |
| 314 | 56.82 | 23 | 30 | |
| 316 | 52.72 | 21 | 40 | 60 |
| 316 L | 50.70 | 19 | 40 | 60 |
| 316 Cb | 52.75 | 22 | 35 | 50 |
| 317 | 55.75 | 21 | 40 | 50 |
| 317 L | 50,70 | 20 | 35 | — |
| 321 | 51.74 | 20 | 40 | 50 |
| 347 | 52.75 | 21 | 40 | 50 |
| 348 | 52.75 | 21 | 40 | 50 |

4.2.Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %11,5-30,5 Cr (krom), %0,20'ye kadar C (karbon) ve düşük miktarda Al (alüminyum), Nb (niyobyum), Ti (titanyum) ve Mo (molibden) gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısıl işlemle sertleştirilemezler. Bu grupta yer alan ürünlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Bu çeliklerin en karakteristik özelliği; kaynakta ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında seçilen dolgu metalindeki Cr içeriğinin ana metaldeki ile aynı yada ona yakın olmasında yarar vardır. 409 türü kaynak malzemeleri dolu tel olarak, 430 türü kaynak malzemeleri ise her formda üretilirler. Östenitik tip 309 ve 312 türü kaynak malzemeleri özellikle benzemez metallerin kaynaklı bağlantılarında kullanılır. Tane büyümesini en aza indirmek için kaynak dikişindeki ısı girdisi düşük olmalı ve ön ısıtma 300-450 °C arasında sınırlı tutulmalı, hatta sadece yararlı ise uygulanmalıdır. Yüksek alaşımlı ferritik paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu sadece levha ve boru şeklinde üretilir ve genellikle dolgu metali kullanılmadan TIG yöntemi ile kaynak edilirler [16].

4.3.Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler %11-18 Cr, %1,2'ye kadar C ve düşük miktarlarda Mn (mangan) ve Ni (nikel) içerir. Bu çelikler tavlanarak östenit oluştururlar ve oluşan östenitin soğutma sırasında martenzite dönüştürülmesiyle sertleştirilebilirler. Bu grupta 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 türü malzemeler vardır. Soğuma sırasında sert ve kırılğan martenzitik yapı oluştuğunda kaynak dikişinde çatlama eğilimi görülür. Seçilen dolgu metalinin krom ve karbon içeriğinin ana malzemeninkine yakın olmasında yarar vardır. 410 türü dolgu malzemeleri örtülü elektrot, dolu tel ve özlü tel olarak üretilirler ve 402, 410, 414 ve 420 türü çeliklerin kaynağında kullanılabilirler. 420 türü çeliklerin içerdiği karbon oranını yakalamak eğer teknik açıdan yararlı görülüyorsa, dolu tel ve özlü tel olarak 420 kalite dolgu malzemelerinin kullanılmasında yarar vardır. 308, 309 ve 310 türü östenitik dolgu malzemeleri martenzitik paslanmaz çeliklerin birbirleriyle veya diğer çeliklerle olan kaynaklı birleştirmelerinde, dikişin kaynak edildikten sonraki şartlarda yüksek tokluğa sahip olması gereken durumlarda kullanılır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin çoğunda ön tav sıcaklığının ve pasolar arası sıcaklığın 205-315 °C arasında tutulması önerilir. %0,2'nin üzerinde karbon içeren martenzitik tip paslanmaz çeliklere, kaynak dikişinin sünekliğini ve tokluğunu arttırmak amacıyla kaynak sonrasında genellikle ısıl işlem uygulanmalıdır [16].

4.4.Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı paslanmaz çelikler son günlerdeki en hızlı gelişen paslanmaz çelik grubudur ve yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya sahiptir.

Çift fazlı paslanmaz çelikler, daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilmeli korozyon çatlamaına karşı daha fazla direnç sağlamaları nedeniyle, konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstün avantajlar sunar.

Çift fazlı mikro yapı, %21-25 Cr ve %5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050 oC sıcaklıkta tavlama ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu bileşimlere ait kaynak metalinin genellikle ferritik yapıda olma eğilimi vardır. Çünkü dolgu metali ferrit olarak katılacak ve sadece belirli bir miktarda östenit dönüşümü olacaktır. Birçok kaynak dolgusuna tavlama işlemi uygulanması mümkün olmadığından, dolgu metalinin Ni oranı %8-10'a yükseltilerek kimyasal analiz modifiye edilir ve bu sayede kaynak metalinin kaynak edildiği haldeki mikro yapısında daha fazla östenit bulundurması sağlanır [16].

4.5.Çökme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çökme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılır.

Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038 °C olan östenitleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutulmuş ve daha sonra 482-621 °C sıcaklıklar arasında bir yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak sertleştirilebilir. Bu tür çelikler % 0,07'nin altında karbon içerdiği için, oluşan martenzit çok sert değildir ve asıl sertlik yaşlandırma (çökme) reaksiyonu ile elde edilir.

Yarı-östenitik paslanmaz çelikler östenitleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmazlar. Bunun temel nedeni martenzit dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığının altında olmasıdır. Karbonun ve/veya diğer alaşım elementlerinin karbürler ya da metaller arası bileşikler şeklinde çökelebilmelerini sağlayabilmek için bu tür çeliklere 732-954 °C sıcaklıklar arasında kondisyonlama ısıl işlemi uygulanmalıdır. Bu sayede alaşım elementleri çözüldükten ayrılarak östeniti destabilize edecek ve martenzit dönüşüm sıcaklığının yükselmesine neden olacaktır. Böylece çeliğin oda sıcaklığına doğru soğutulması işlemi sırasında martenzitik bir yapının oluşması mümkün olur.

Çökme yoluyla sertleşebilen östenitik tip paslanmaz çelikler çözültüye alma sıcaklığından itibaren hızla soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile östenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısıl işleminden sonra sertleştirilebilirler. Bu işlem, 982-1121 °C sıcaklıklar arasındaki çözültüye alma ısıl işleminden sonra 704-732 °C'ye doğru yağda veya suda kızılı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık Aralığında 24 saat süren bir yaşlandırma işlemini içerir.

Çökme yoluyla sertleşebilen martenzitik ve yarı-östenitik türdeki paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek dayanım şartı aranıyorsa, kaynak işleminde ana malzemeninkine benzer yapıda dolgu metalleri kullanılmalı ve parçalara kaynaktan önce ısıl işlem ya da çözültüye alma ısıl işlemi uygulanmış olmalıdır. Kaynaktan sonra çözme ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmalıdır. Eğer kaynaktan sonra çözme ısıl işleminin uygulanması pratikte bazı zorlukları beraberinde getiriyorsa, parçalara kaynaktan önce çözme tavı uygulanmalı, kaynaktan sonra ise bir yaşlandırma ısıl işlemi yapılmalıdır [16].

Çökme yoluyla sertleşebilen östenitik tipteki paslanmaz çelikler, sıcak çatlak oluşumu nedeniyle zor kaynak edilen çelikler grubuna girerler. Kaynak işlemi tercihen çözme tavı uygulanmış olan parçalar üzerinde yapılmalı ve uygulama düşük gerilmeler altında ve mümkün olan en düşük ısı girdisi sağlanacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

5.ISIL İŞLEMİN TANIMI VE AMACI

5.1.Giriş

Isıl işlem, metal ve alaşımların özelliklerini değiştirmek için çeliğe katı halde uygulanan ısıtma ve soğutma işlemidir.

Çeliğe neden ısıl işlem yapılır?

- Aşınma dayanımını arttırmak için.
- Mekanik özelliklerini iyileştirmek için (tokluk,çekme ve akma dayanımı).
- Sünekliğini geliştirmek ve yumuşatmak için.
- Kaba tane yapısını inceltmek için.

Isıl işlem ne zaman yapılır?

- Çeliğe yapılan ilk işlem olabilir. Örneğin,işlenebilirliği geliştirmek için.
- Bir parçanın imalat sırasında ısıl işlem görmesi gerekebilir. Örneğin soğuk şekillendirme sırasında parçanın tekrar şekil verilebilmesi için yumuşatılması gerekebilir.
- Aşınma dayanımı elde etmek için en son işlem olarak yapılabilir. Örneğin saban demiri (pulluk kulağı).

Çelik ısıl işlemi nasıl yapılır?

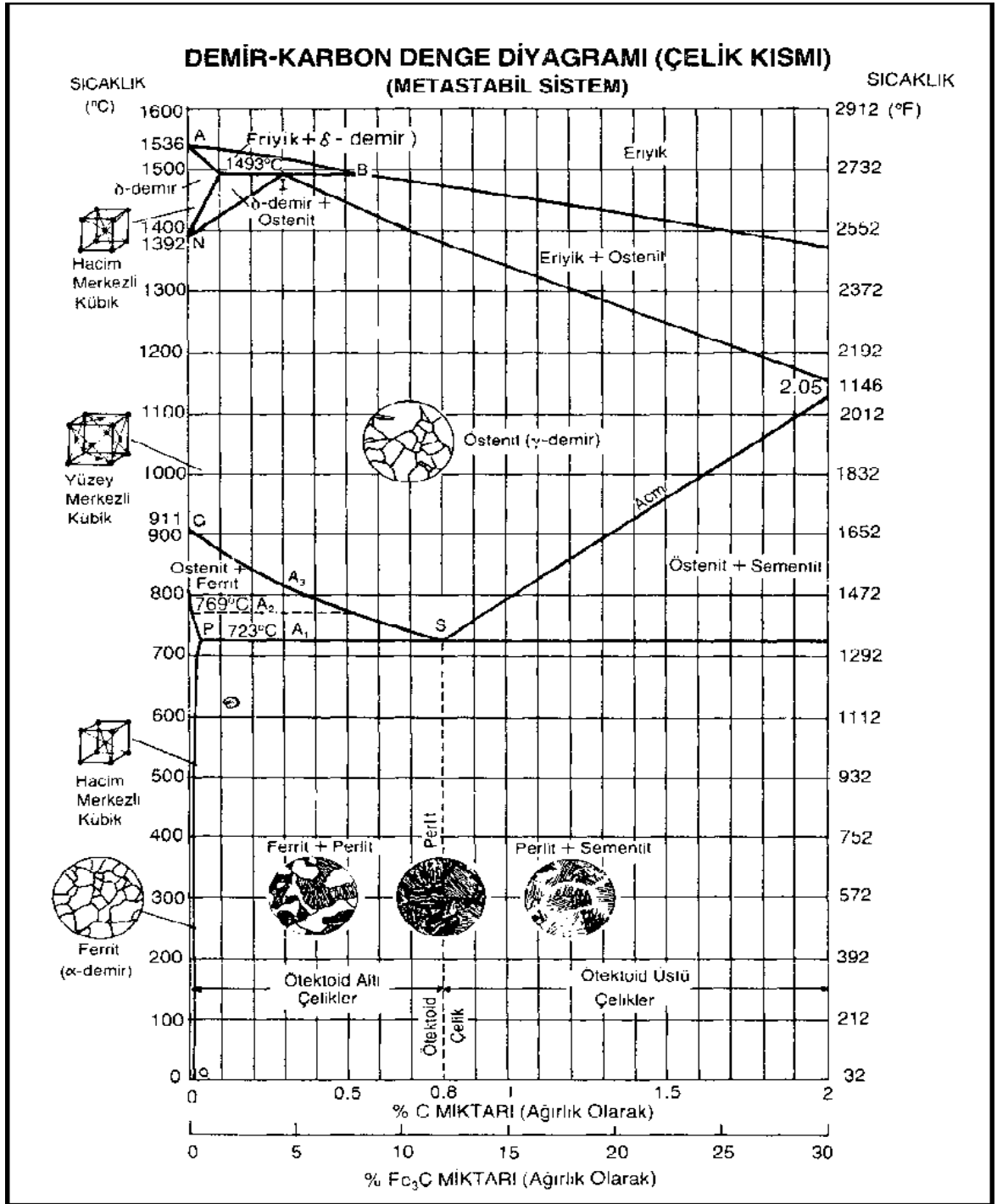
- Değişik mikro yapılar elde etmek amacı ile allotropik dönüşümlerden yararlanılarak.
- Bu mikro yapıların oluşumu öncelikle soğuma hızına, ya da daha teknik bir ifade ile zaman-sıcaklık ilişkisine bağlıdır.
- Soğuk işlem görmüş düşük karbonlu bir çeliğin yapısını yeniden kristalleştirme işlemi, allotropik dönüşüme bağımlı değildir.

Ayrıca ısıl işlemin anlaşılması için demir-karbon denge diyagramının iyi bilinmesi gerekir[17].

5.2.Demir-Karbon Denge Diyagramı

Bu diyagramda izotermal reaksiyonları gösteren üç yatay çizgi vardır:

- Peritektik reaksiyon
- Ötektik reaksiyon
- Ötektoid reaksiyon



Şekil 5.1 : Demir-Karbon Diyagramının Çelik Bölümü

Şimdi diyagramın sol üst köşesindeki kısmı ele alalım: (Şekil 5.1)

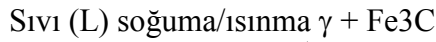
Bu kısım delta bölgesi olarak bilinir. 1493 °C sıcaklıkta bulunan yatay çizgi peritektik reaksiyonu göstermektedir.

Peritektik reaksiyon şöyle yazılabilir:



HMK yapıya sahip δ -demirde karbonun eriyebilirliği en fazla % 0.10 iken YMK yapıya sahip γ -demirde karbon eriyebilirliği daha yüksektir. Isıl işlem prosesi uygulanmadığın-dan delta bölgesinin çok az endüstriyel uygulaması vardır.

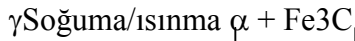
İkinci yatay çizgi, 1147 °C sıcaklıkta bulunan çizgidir. Bu çizgi, aşağıdaki verilen reaksiyonun meydana geldiği ötektik sıcaklığı çizgisidir.



┌──────────┐
Ötektik karışımı

γ fazı oda sıcaklığında var olmadığından mikro yapıda ötektik karışımı görülmez.

En son yatay çizgi 723 °C sıcaklıkta oluşur. Bu çizgiye ötektoid sıcaklığı çizgisi denir. Ötektoid reaksiyon şöyle yazılabilir.



┌──────────┐
ötektoid karışım

Karbon yüzdesine göre demir-karbon denge diyagramını üç kısma ayırmak mümkündür:

- a)Demir: İhmal edilebilecek kadar az karbon içeren veya saf demir.
- b)Çelik: % 2'den az karbon içeren Fe-C alaşımlarıdır.
- c)Dökme demir: % 2'den fazla karbon içeren Fe-C alaşımlarıdır.

Çelik bölgesi ötektoid karbon oranına (% 0.83 C) göre sınıflandırılır; % 0.83 den az karbon içeren çelikler ötektoid altı çeliklere, % 0.83-2.0 arasında karbon içeren çeliklere ötektoidüstü çelikler denir.

Demir-karbon denge diyagramının çelik bölgesindeki önemli olayları şöyle sıralayabiliriz:

a)Sıcaklık yükselirse perlit hızla östenite dönüşür; ferrit ve östenitte birleşerek sadece östenit oluştururlar.

b)Yapıdaki bütün sementitin eriyeceği minimum sıcaklık, bileşimdeki karbon miktarına göre değişir. (% 0-2 C) Karbon % 2'nin üzerinde ise her zaman biraz sementit erimemiş olarak kalacaktır.

c)Çeliği kritik sıcaklığın üzerine çıkarmakla (bu bölgede mümkün olduğunca düşük bir sıcaklık düzeyinde kalmak şartıyla) minimum dane büyüklüğü elde edilebilir.

d)Demir-karbon denge diyagramı sadece bir rehber niteliğindedir. Bu diyagrama dayanılarak, ulaşılabacak özellikler hakkında tahmin yapılamaz. Ayrıca, zaman etkisi de bu diyagramda görünmez [16].

5.2.1.Çeliğin İç Yapısı

Ferrit (α -demir): Ferrit, demirde (HMK) az miktarda karbonun erimesiyle oluşan bir arayer katı eriyiğidir. Demir-karbon denge diyagramında “ α ” işaretiyle gösterilen bölgede oluşur. Ferritte çözünebilen en fazla karbon miktarı % 0.008 karbon çözüdür. Çelikteki en yumuşak fazdır. Ortalama özellikleri şöyle özetlenebilir:

Çekme mukavemeti: 40.000psi
Uzama : % 40
Sertlik : 0-HRC'nin altında

Sementit (Fe_3C): % 6.67 karbon içeren demir karbür bileşiğidir. Çeliğin yapısındaki en sert fazdır. Yapıda iğneli veya ağ şeklinde bulunan sementit, çok sert ve kırılımandır. Çekme dayanımı düşük, buna karşılık basma mukavemeti yüksektir.

Perlit: % 0.83 karbon içeren ötektoid yapıdır. Ferrit ve sementit fazlarının karışımı olan perlit çok yavaş soğuma şartlarında 723 °C sıcaklıkta oluşur. Yapıda yuvarlak taneli veya lamelli olarak görülebilir. Taneli türü, 723 °C sıcaklıkta tavlama ve çok yavaş soğutma ile elde edilebilir. Lamelli türü ise havada soğutma ile oluşur. Ortalama özellikleri şöyle özetlenebilir:

Çekme mukavemeti: 120.000 psi
Uzama : % 20 (2inçte)
Sertlik : 20 HRC

Östenit (γ -demir): YMK şeklinde demir yapıda katı karbon çözeltilisidir. Demir-karbon denge diyagramında “ γ ” işaretiyle gösterilen bölgede oluşan östenit yaklaşık % 2'ye kadar karbon çözüdürebilir. Her cins çelikte 723 °C'nin üzerinde bulunur. Ac_3 ve A_{cm} sıcaklıklarının üzerinde ise çözünme tamdır. Yumuşak ve antimanyetiktir. Ortalama özellikleri şöyle özetlenebilir:

Çekme mukavemeti: 150.000 psi
Uzama : % 10 (2 inçte)
Sertlik : Maksimum 40 HRC

Martensit: Östenitin hızla soğutulması sonucu elde edilen iğneli ve sert bir yapıdır. Yaklaşık 200-250 °C civarında dönüşür.

Östenitin, perlitik dönüşüme izin vermeyecek hızlarda, ancak martensit elde etmeyecek kadar yavaş soğutulması sonucu değişik yapılar ortaya çıkar. Bu yapılar soğuma hızı arttıkça, sorbit, beynit, trostit isimlerini alır:

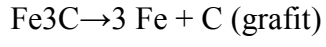
a)Sorbit: Martensitin 400 °C'nin üzerinde tavlama ile de elde edilebilir. Ferrit ve sementitin tanesiz ve çok ince karışımıdır. Mikroskop altında ince perlit olarak da tanımlanır. Bu yapı, özellikle tel çekme işlemlerinde aranır. Sertliği 250 HB civarındadır.

b)Beynit: Özmenevişleme işlemi ile elde edilen bu yapının sertliği perlit ve martensit yapıların arasında olup, 40-60 HRC arasında değişir. Beynitik çelikler, özellikle, yaylar, tarım araçları, segman, çanak, çayır bıçağı gibi aletlerin üretiminde kullanılırlar.

c)Trostit: Martensitin 250 °C sıcaklıkta tavlama ile de elde edilebilir. Ferrit ve sementitin tanesiz ince karışımıdır. Sertliği 400 HB civarındadır.

Ledeburit: Östenit ve sementit fazlarının mekanik karışımıdır. Demir-karbon denge diyagramının ötektik pozisyonudur.

Grafit: Sementit (Fe_3C) her zaman kararlı bir faz değildir. Bazı özel durumlarda ayrışabilir:



Yavaş soğutulmuş dökme demirlerin çoğunda grafit oda sıcaklığında mevcut olan bir yapı elemanıdır. Çeliklerde ise östenit sıcaklığının altında çok uzatılmış tavlama sonucu ortaya çıkabilir. Silis, grafit oluşumunu özendirir [17],[18],[19].

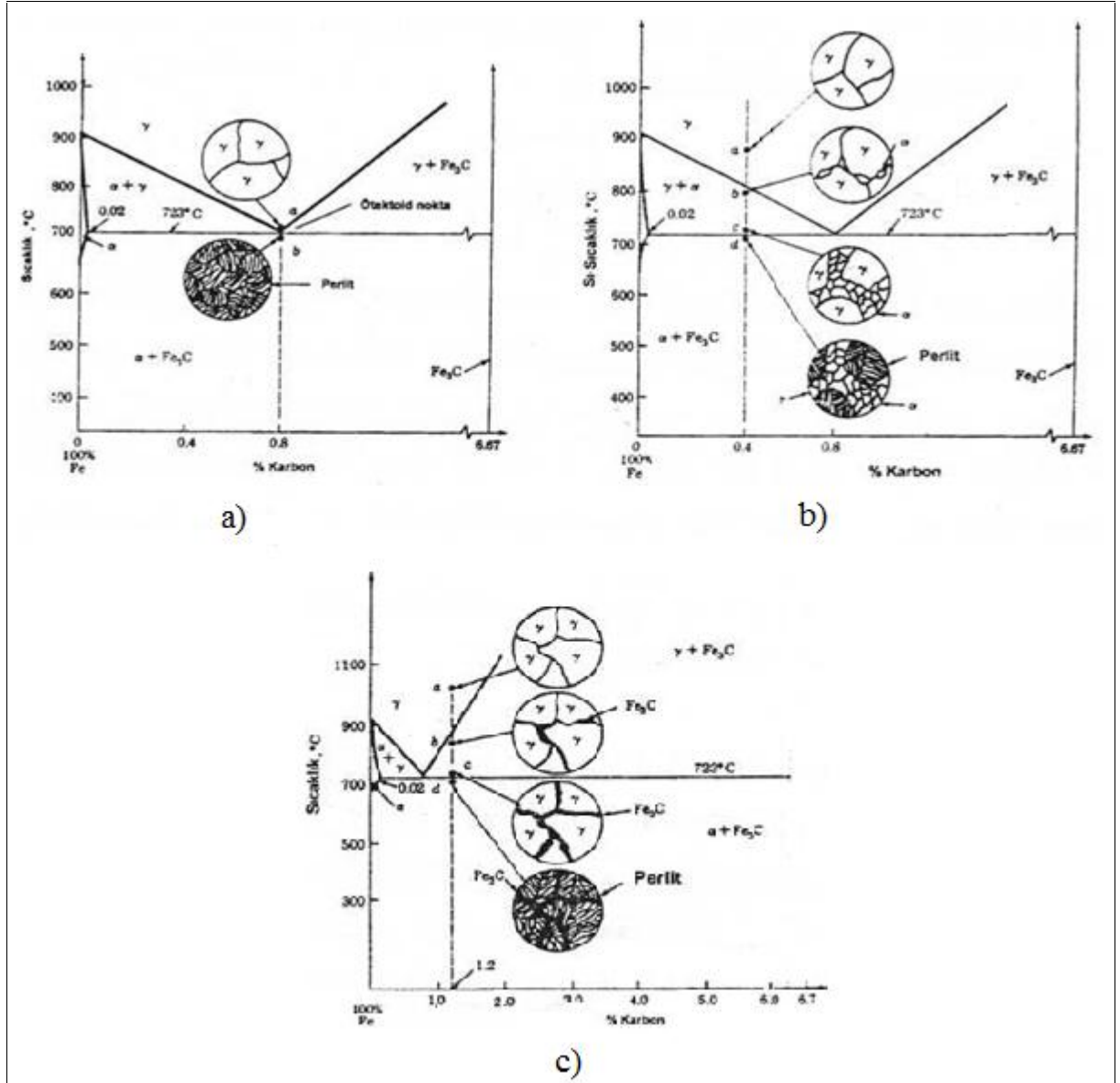
6.ÇELİKLERİN YAPI DÖNÜŞÜMLERİ

6.1.Giriş

Demir esaslı malzemelerin geniş sınırlar içerisindeki değiştirilebilen özellikleri esas olarak yapı tarzına ve yapı durumuna bağlıdır. Bu yapıların düzenlenmesi, östenit sahadan soğutma koşullarında olduğu gibi ısıtma, karbon ve alaşım yapılarının yapı içerisinde dağılmasına bağlıdır.

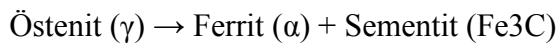
6.2.Östenitin Dönüşümü

Fe-C denge diyagramında ötektoid sıcaklık 723°C ötektoid bileşim ise % 0.8 C oranıdır. % 0.8 oranında karbon içeren bir çeliğin, östenit sahasından karbon yayınmasına müsaade edecek derecede yavaşça soğutulması sırasında, östenit 723°C 'de ferrit ve sementit fazlarının lamelli bir şekilde yan yana dizilmeleri sonucu oluşan perlit yapısına dönüşür (Şekil 6.1a). % 0.8'den daha düşük karbon oranına sahip ötektoid altı bir çeliğin östenit bölgesinden yavaşça soğutulması sırasında, üst kritik sıcaklık geçildiğinde, östenit tane sınırlarında ferrit oluşmaya başlar, 723°C 'ye gelene kadar, östenit karbonca zenginleşir. Bu durum, çelik ötektoid sıcaklığa soğuyana dek devam eder. 723°C 'ye gelindiğinde yapıda bulunan östenit. % 0.8 C bileşimindedir ve bu sıcaklığın hemen altında ötektoid reaksiyon sonucu perlite dönüşür. Oda sıcaklığına gelindiğinde ötektoid altı çeliğin mikroyapısı, ötektoid sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda oluşmuş ferrit (ötektoid öncesi ferrit) ve ötektoid reaksiyon sonucu oluşan perlitten ibarettir (Şekil 6.1b). % 0.8'den daha yüksek orandakarbon içeren ötektoid üstü çeliklerde ise soğutma sırasında ötektoid altı çeliklerdekinden farklı bir durum meydana gelir. Kritik sıcaklık geçildiğinde, östenit tane sınırlarında sementit oluşur, ötektoid sıcaklığa gelene kadar östenit karbonca fakirleşir ve ötektoid sıcaklıkta % 0.8 C bileşimine erişir. Bu sıcaklık geçildiğinde ötektoid reaksiyon sonucu yine perlit oluşur. Ötektoid üstü çeliğin mikroyapısı, ötektoid öncesi oluşmuş sementit (ötektoid öncesi sementit) ve ötektoid reaksiyon sonucu oluşmuş perlitten ibarettir (Şekil 6.1c).

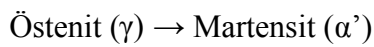


Şekil 6.1 - a) Ötektoid, b) Ötektoid altı ve c) Ötektoid üstü çeliklerde dengeli soğutma koşullarındaki yapısal dönüşümler.

Çeliğin östenit sahasından karbon yayınmasına müsaade edilmeyecek derecedeki hızlı soğutma şanlarında Şekil 6 ile açıklanan:



dönüşümünden farklı bir dönüşüm meydana gelmektedir. Östenit içinde çözülmüş olan karbon atomlarının yayınmasına müsaade etmeyecek derecede yapılan hızlı soğutma çeliğin mikroyapısında HMK kristal yapıdaki ferrit yerine martensit adı verilen ve α' simgesi bir yeni bir faz oluşturur.



Martensit, östenit içinde çözülmüş olan karbon atomlarının buldukları konumdan uzaklaşamamaları neticesinde HMK yerine oluşan ve bir eksenini diğer iki eksenine göre daha fazla uzamış Hacim Merkezli Tetragonal (HMT) kristal yapıya sahip yarı kararlı bir fazdır.

Artan karbon miktarı ile martensitin kristal yapısındaki çarpılma ve buna bağlı olarak sertlik de artmaktadır [19].

Martensitik mikroyapıya sahip olan çelikler çok sert ve kırılğan olduklarından doğrudan kullanılamazlar. Martensitin süneklik ve tokluğunu artırmak amacıyla su verilmiş çeliklerin 723°C altındaki sıcaklıklarda bir süre tutulması işlemi temperleme (menevişleme) olarak bilinir. Temperleme sıcaklığı artıkça bazı yüksek alaşımlı çelikler hariç çoğu çeliklerin sertliği ve mukavemeti azalırken süneklik ve tokluğu artar. Temperleme ile martensitik yapı ferrit taneleri içerisinde küçük ve yuvarlak karbür partiküllerinin yer aldığı iki fazlı yapıya (temperlenmiş martensit) dönüşmektedir.

6.3.Östenitleştirme Yapılmış Çeliğin Soğutulmasında Yapı Dönüşümleri

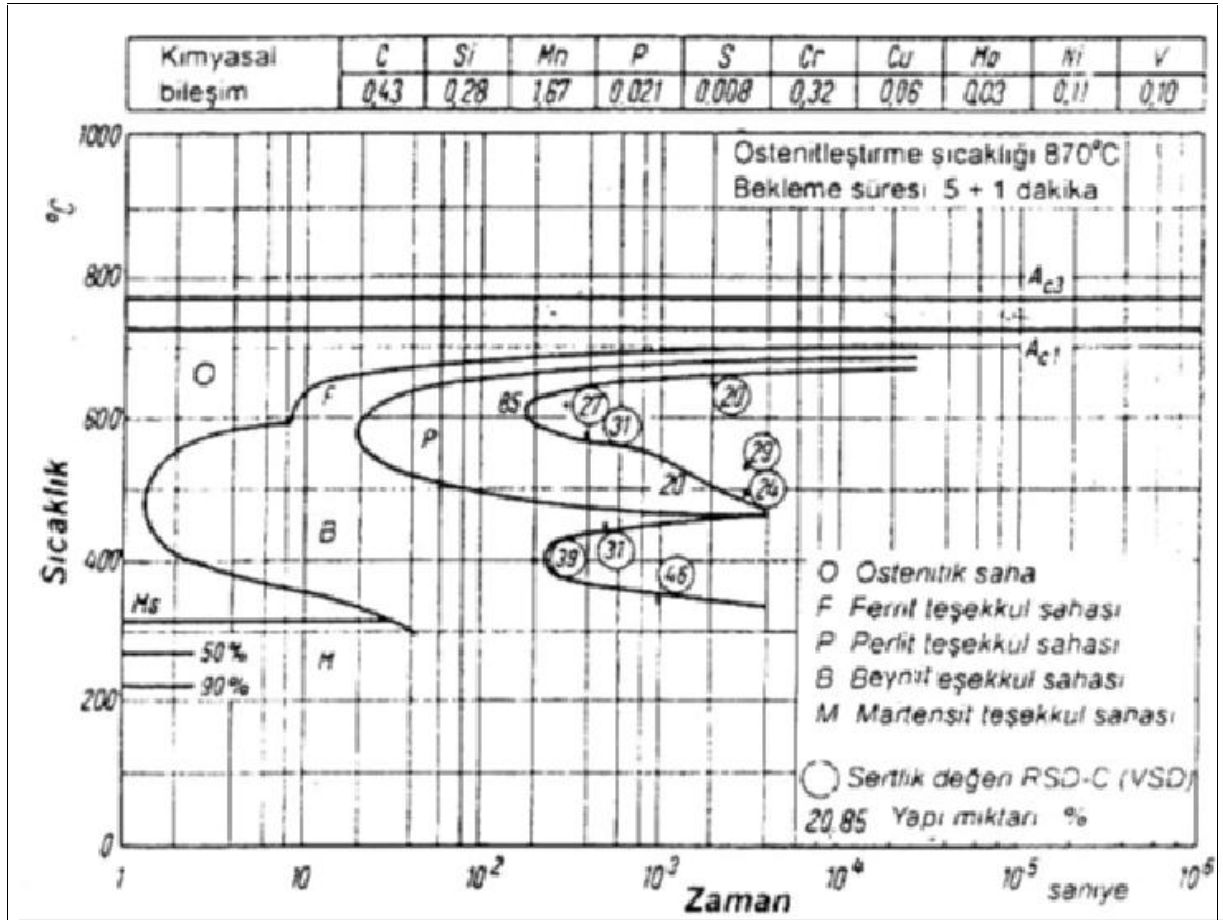
Çeliğin östenitik sahadan soğutulmasından meydana gelebilecek yapılar “Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm” (ZSD) diyagramları (Şekil 6.2 ve 6.3) ile kolaylıkla açıklanabilir. Yaygın olarak kullanılan bu diyagramlarda, hangi dönüşmenin hangi zaman içerisinde olduğu izlenebilir. Soğutma koşulları, sürekli sıcaklık düşmesi veya belirli bir ara sıcaklıkta sabit (İzotermik) tutuktan sonra soğutma tarzlarındadır. Bu diyagramlar, sürekli ZSD (SZSD) ve İzotermik ZSD (IZSD) diyagramlardır [19].

6.4.İzotermik Zaman–Sıcaklık–Dönüşüm Diyagramları (IZSD Diyagramları)

İzotermik dönüşümde çelik östenitleşme sıcaklığından belirli bir sıcaklıktaki sıcak banyoda ani olarak soğutulur. Banyo sıcaklığına kadar olan sürekli soğutmada herhangi bir dönüşüm olmaz. Bu tarz dönüşümler yalnızca sıcak banyoda sertleştirme amacıyla değil, perlit kademesinde de gerçekleştirilebilir.

ZSD diyagramının hazırlanmasında numune boyutları tercihen küçük seçilir. Diyagramlarda sıcaklık ordinatta lineer skala ile, zaman ise absiste logaritmik skala ile belirtilir. Ayrıca, çok yavaş soğutmada elde edilen Ac_3 ve Ac_1 sıcaklıkları da yatay hatlar olarak diyagramda gösterilir. Diyagramda ayrıca, bu diyagramın çıkarılmasında kullanılan çeliğin bileşimi, östenitleşme sıcaklığı ve östenitleştirmede bekleme süresi de mutlaka belirtilir.

42 MnV 7 çeliğinin izotermik dönüşüm durumu, İZSD diyagramı olarak (Şekil 6.1)'de verilmiştir. Bu diyagrama göre çelik östenitleştirme sıcaklığı olan 870°C'den 600°C sıcaklığındaki sıcak banyoda hızlı soğutulursa, 8. saniyeye kadar dönüşüm olmaz; çeliğin yapısı östenitik olarak kalır; 8. saniyede dönüşüm başlar ve ilk olarak ferrit çökmesi meydana gelir. Ferrit dönüşümünde difüzyon etkili olduğundan, dönüşüm miktarı zamanla artar ve toplam 20 saniyede, yani dönüşümün başlangıcından itibaren 12 saniye sonra sona erer; bundan sonra perlit dönüşümü başlar. Perlit dönüşümü 180. saniyede sona erer. Buna göre, 600°C izotermik dönüşüm soğutma sıcaklığında 180 saniyelik bekleme süresinde çelikte %15 kadar ferrit ve %85 kadar perlit teşekkül etmiştir. Daha az bekleme süresinde; örneğin 100. saniyede daha önce dönüşmüş ferrit, bir miktar dönüşmüş perlit, henüz dönüşmemiş östenit vardır. Bu durumdaki çelik sıcak banyodan alınıp suya daldırılırsa, kalan östenit martenzite dönüşür ve nihai yapı ferrit, perlit ve martenzitten oluşur [19].



Şekil 6.2: 42 MnV 7 çeliğinin IZSD (İzotermik-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı

Daha yüksek sıcaklıklarda, örneğin 680°C’de dönüşüm oldukça geç başlamaktadır. Bu durumda ferrit teşekkülü yaklaşık 100. ve perlit teşekkülü 1000.saniyede başlamaktadır.

600°C’den daha düşük sıcaklıklarda, binit kademesi etkin olmaktadır. Beynit teşekkül hızının maksimumu, perlit ve ferrit teşekkül hızından daha büyük olduğundan, 500°C’de dönüşüm 1.saniyede başlar.

500°C’deki dönüşüm çok hızlı olarak başlar ve beynitik yapı oluşur. Ancak, beynitik yapının dönüşmesi tüm dönüşme olayının sonuna kadar devam etmez; beynitik dönüşüm tamamlandıktan sonra geriye kalan östenit perlitte dönüşmeye başlar. Perlit teşekkülü yaklaşık 2000.saniyede sona erer. 500°C’de dönüşüm hızlı başlamasına karşın, dönüşümün tamamlanması 600°C’ye nazaran 10 kat uzun zamanda olmaktadır.

Daha düşük sıcaklıklarda, örneğin 400°C’de yalnızca beynitik yapı oluşmaktadır. Banyo sıcaklığının biraz daha düşürülmesinde, yaklaşık 310°C’de, martenzite rastlanmaktadır. Östenitin martenzite dönüşümü bu sıcaklıkta pek az meydana gelir, önemli miktarda artık östenit dönüşmeden kalır. Bu artık östenit, yaklaşık 30.saniyeden itibaren beynitik yapıya dönüşmeye başlar. Beynitik dönüşme, yaklaşık 10000.saniyede sona erer. Bu durumda yapı, az miktarda martenzit ve büyük miktarda beynitten oluşur. Sıcaklık daha da düşük seçildiğinde, 265°C’de %50 ve 220°C’de %90 martenzit dönüşür. Düşük sıcaklıklarda beynitik yapı dönüşmesinin tamamlanması çok uzun zaman aldığından, nihai yapıda martenzitin yanında daha çok artık östenit bulunur [19].

ZSD diyagramlarında daire içerisinde verilen rakamlar sertlik değerini belirtir. (Şekil 6.2)'de Rockwell C sertlik değerleri (RSD-C) verilmiştir. Değerlerin karşılaştırılmasında 570°C'deki ferritsiz ve pek az beynit teşekkül etmiş perlitik yapının sertliğinin 31(RSD-C); 500°C'de ise sertliğin 24 RSD-C olduğu görülmektedir. Perlit teşekkül etmeyen beynitik dönüşmede ise, daha yüksek dayanım ve sertlik değerleri bulunmaktadır. ZSD diyagramlarında daire içerisinde alınmamış rakamlar, dönüşüm sonunda yapı yüzdeleri verir. Örneğin, bu diyagramda 500°C'de nihai yapıda %20 perlit olduğu belirtilmiştir. Geriye kalan %80 değeri daha önce teşekkül etmiş beynit miktarını verir.

IZSD diyagramlarının kullanıldığı alan daha çok sertleştirme işlemidir. Isıl gerilmelere karşı hassas parçaların, özellikle kalıpların sertleştirilmesinde daha güvenli ve daha az riskli çalışma bu diyagramlardan yararlanılarak, sıcak banyoda sertleşme ile başılır.

Çeliklerdeki alaşım durumuna bağlı olarak, dönüşümlerin başlama ve bitme süreleri, sıcaklıklar, daha doğrusu tüm dönüşüm eğrileri değişik olur [19].

6.5.Sürekli Soğutmada Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm Diyagramları (SZSD Diyagramları)

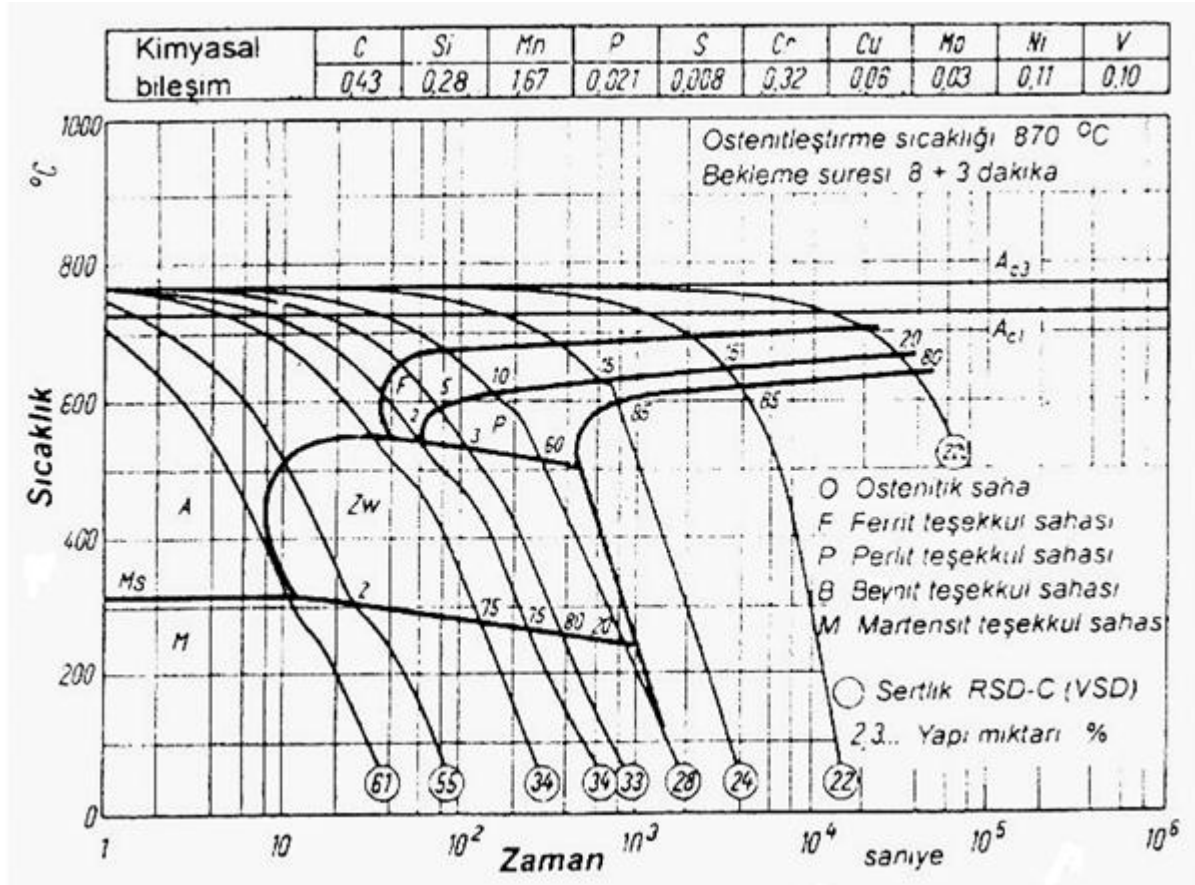
İzotermik dönüşmede dönüşüm olayı değişmez bir sıcaklıkta, sıcak banyoda uygulanmaktaydı. Soğutma ortamı sıcaklığı daha düşük seçilirse, örneğin oda sıcaklığında soğutma yapılırsa, parça sıcaklığı zamana bağlı olarak sürekli azalır. Soğutma esnasında ortamda buharlaşma da olacağından, sıcaklık düşmesinin zamana bağlantısı düzenli değildir. Gaz formundaki soğutma ortamlarında bu tür düzensizlikler kısmen azalmasına karşın, soğutma hızı oldukça düşüktür. Soğutma hızlarının çeliğin dönüşümü üzerine etkileri, SZSD (Sürekli-Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramlarından kolayca takip edilebilir.

(Şekil 6.3)'de, 42 MnV 7 çeliğin sürekli soğutmadaki dönüşüm diyagramı görülmektedir. Dönüşümün başlangıç ve bitişleri, sıcaklık ve zamana bağlı olarak verilmiştir. (Şekil 6.2)'de verilen IZSD diyagramı ile karşılaştırıldığında, sürekli soğutmada ferrit, perlit ve beynitik dönüşümleri daha geç ve daha düşük sıcaklıklarda olmaktadır. Dönüşüm olayları için zaman gereksinimi, sürekli soğutmada sıcaklık düşmesi ile birlikte dönüşüm olduğundan, dönüşüm hatlarında daha uzun zaman ve daha düşük sıcaklıkta kayma olmaktadır.

Diyagramda kalın koyu çizgiler dönüşüm, ince çizgiler ise soğutma seyrini belirtmektedir. İnce çizgilerin sonunda daire içerisinde verilen sayılar, RSD-C ya da VSD olarak sertliği ifade eder. Açıkta yazılmış sayılar, Şekil 6.2'de olduğu gibi, dönüşüm oranlarının yüzde olarak belirtir.

Diyagramda en sağdaki soğutma çizgisi en yavaş soğuma durumunu belirtmektedir; burada 220 VSD sertliğine ulaşılmaktadır. Bu soğutmada ilk dönüşüm 2.104. saniyede ferrit dönüşümüyle başlamaktadır. Ferrit dönüşümü yaklaşık olarak 3.104.saniyede sona ermekte ve perlit dönüşümü başlamaktadır. Bu esnada %20 ferrit dönüşmüştür. Perlit dönüşümü yaklaşık olarak 660°C'de başlamakta ve 640°C'de sona ermektedir. Dönüşümün tamamlanması 4.104.saniyede olmakta ve nihai yapı %20 ferrit ile %80 perlitlen oluşmaktadır. Soğuma hızı yükselirse, şekilde sağdan ikinci çizgide görüldüğü gibi, yaklaşık 2.103.saniyede ferrit ve 3.103.saniyede perlit dönüşümü, en sağdaki eğriye nazaran daha erken olarak başlar ve dönüşüm 4.103.saniyede tamamlanır. Hızlı soğuma nedeniyle, ferrit dönüşmesi %15'e düşmüştür, perlit lehine miktar artması vardır. Ferrit-perlitik yapıda ulaşılan sertlik 22 RSD-C dir. Soğutma hızı daha da arttırılırsa, ferrit ve perlitin yanında

sorbit ve trostik'e rastlanılır. Bu ara kademe yapısının özellikleri izotermik dönüşümde elde edilen beynite çok benzediği için, çoğu literatürde bu yapıya da beynit adı verilmektedir. Beynitik yapının görüldüğü soğutma koşulu sağdan 4. soğutma çizgisinde takip edilebilir. 80.saniyede (8.10¹.saniye) başlayan ferrit dönüşmesi yapıda %10 kadar olmakta ve daha sonra perlit teşekkülü başlamaktadır. Ostenitin %60 kadarı perlite dönüşmekte ve perlit dönüşümü 3.10².saniyede son bulmaktadır. %20 kadar beynitik yapı teşekkül ettikten sonra, kalan %10 östenit martensite dönüşmektedir. Ferrit, perlit, beynit ve martenzitten oluşan yapının sertliği 28 RSD-C kadardır. Artan soğutma hızı ile birlikte, önce perlit dönüşümü (soldan 4. soğutma çizgisi) ve daha sonra ferrit dönüşümü (soldan 3. soğutma çizgisi) engellenmektedir. Son durumda yalnızca beynit ve martensit teşekkül eder. Daha büyük soğutma hızlarında, yaklaşık olarak 10.saniyede 300°C'ye ulaşıldığında (soldan 1.soğutma çizgisi) artık beynitik yapı da meydana gelmez; çelikte soğutmadan sonra martensite dönüşürken, pek az da artık östenit kalır. Martensitin dönüşüme başlama çizgisi Ms, yavaş soğutmada daha düşük sıcaklıklara kaymaktadır. Bunun nedeni, daha önce teşekkül etmiş ferrit, perlit ya da beynit nedeniyle kalan ostenitin karbonca zenginleşmesidir. Yüksek karbon miktarı martensitin dönüşümünü daha düşük sıcaklıklara kaydırır [19].



Şekil 6.3 : 42 MnV 7 çeliğinin SZSD (Sürekli-Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı

ZSD diyagramları ısı işlemlerde, özellikle sertleştirme olaylarında soğutma koşullarına bağlı olarak, nihai yapının ne olacağını detaylı bir şekilde verdiği için, oldukça önemlidir.

7.TAVLAMA YÖNTEMLERİ

7.1.Giriş

Çeliğin iç yapısını düzenlemek, taneleri incelemek ya da kabalaştırmak, tane ve bileşim homojenliği sağlamak, yapıyı yumuşatmak, iç gerilimleri azaltmak gibi özellikleri değiştirmek amacıyla uygulanan ısı işlemlere genel olarak tavlama işlemleri denir.

7.2.Normalleştirme Tavlaması

Normalleştirme tavlama ile yapıdaki homojensizlik giderilir ve daha ince taneli yapıya ulaşılır. Bunun için, ötektoid altı çeliklerde, A_3 sıcaklığının 30...50°C üzerine kadar ısıtmak ve biraz beklemeden sonra, γ α dönüşmesi gecikecek şekilde soğutmak gerekir. Bunun için, parçaların sakin havada soğutulması yeterlidir. İnce parçalarda, yaklaşık 550...600°C sıcaklıklarındaki tuz banyolarında ani soğutmak suretiyle, yüksek dayanımlı ve şekillendirme kabiliyeti olan çok ince lamelli perlitik yapı elde edilir. Ayrıca, çok düşük karbonlu çeliklerde talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için, aynı yöntem perlitleştirme tavlama olarak yararlanır. Normalleştirme tavlaması daha çok, yarı mamullerde ve yüksek sıcaklıkta dövülmüş, haddelenmiş ya da kaynak dikişinin çevresi gibi farklı ısı etkisi altında kalmış parçada, kaba taneli yapıyı ince taneli hale getirmek için ya da çelik döküm gibi malzemelerde uygulanır.

Ötektoid üstü çeliklerde, tam östenitik faza kadar ısıtılma bu çeliklerde nadiren uygulanır. Gerekli olan östenitleştirme sıcaklığı, A_{cm} sıcaklığının üzerinde olduğundan çok fazla tane kabalaşması olur ve soğumada da tane sınırında sekonder sementit ağ yapısı oluşur. Buna karşın, A_1 sıcaklığının üzerinde östenitleştirme ile perlit tanelerinin yeniden düzenlenmesi ve inceltmesi mümkündür. Yüksek alaşımlı çeliklerde normalleştirme tavlaması yaygın olarak kullanılmamaktadır [20].

7.3.Yumuşatma Tavlaması

Yumuşatma tavlaması, ferrit matris yapı içerisinde yerleşmiş sementiti küresel hale getirerek dengeli bir yapı oluşması için uygulanır. Bu işlem, ötektoid altı çeliklerde A_1 sıcaklığının altında ısıtmayla gerçekleştirilir. Çeliğin başlangıç yapısındaki lamelli perlit ne kadar kaba ise, gerekli tav süresi o kadar uzundur ve sementit küreleri de o ölçüde büyüktür. Ötektoid altı çeliklerde, ferritik sahada karbon difüzyonu olmaktadır. Sekonder sementit ağ yapısı içeren ötektoid üstü çeliklerde A_1 tav sıcaklığının altında tav süresinin çok uzun tutulması zorunludur. Bundan dolayı, ötektoid üstü çeliklerde perlit dönüşümünün çevresinde salınım yaptırarak, yani (γ +FeC) iki fazlı sahada perlitik sementitin daha kolay parçalanması sağlanır. Tavlama sonrası yapılacak yavaş soğumada, çözülmüş karbon mevcut karbürlerin çevresinde küresel sementit olarak ayrışır. Sekonder sementit, γ -sahasında karbonun daha fazla çözünebilirliğinden dolayı, hızla küresel forma dönüşmektedir.

Yumuşak tavlama ile sertlik önemli ölçüde düşer ve süneklik artar. Ferrit içerisinde yerleşmiş sementit küreleri, talaşsız şekil vermede ferritle birlikte şekil almazlar ve bundan dolayı şekil almada etkili engelleme yapmaları söz konusu değildir. Aynı olay, talaşlı şekillendirme içinde geçerlidir, dolayısıyla yüksek karbonlu çeliklerde yumuşatma tavlaması ile talaşlı şekillenebilirlik iyileşirken, düşük karbonlu çeliklerde aksine talaşlı şekillenebilirlik kötüleşir. Yumuşatma tavlamasının, özellikle ötektoid üstü çeliklerde yapının sertleştirme için uygun hale getirilmesi için kullanılması da oldukça önemlidir.

ötektoidüstü çelikler sertleştirilebilmek için yumuşatma tavlama yapılmadığında, çelikte mevcut sekonder sementit ağı sertleştirme sonrasında çok kırılğan bir yapı yaratır. Yumuşak tavlama uygulandığında küresel form alan karbürler, A_1 üzerindeki östenitleştirmede mükemmel çözülür ve ani soğutmadan sonra da martenzit içerisinde homojen olarak dağılır. Bu şekilde, takımların aşınma dayanımı yükselir ve talaş kaldırma takımında ilave mikro kesiciler sağlanmış olur.

7.4.Gerilim Giderme Tavlama

Parçalarda mevcut olan iç gerilmeleri azaltarak sorun yaratmayacak seviyeye indirmek ya da tamamen yok etmek için yapılır. İç gerilmeler, cidar ve çekirdek arasındaki sıcaklık farkından dolayı hızlı soğumadan, martenzit dönüşümünde hacim artmasıyla sertleştirmeden, doğrultma ve bükme gibi plastik şekil vermeden, kaynakta veya ince yüzey tabakalarında talaşlı şekillendirmeden sonra çok değişik nedenlerden meydana gelebilir. .

7.5.Difüzyon Tavlama

Difüzyon tavlama ile katılaşmada meydana gelen bileşim farklarının dengelenmesi amaçlanır. Malzemelerin 1000...1200°C gibi katılaşma hattına yakın sıcaklıklarda uzun süre tavlama gerekir. Bu esnada, çok fazla tane kabalaşması olur. Bunun giderilmesi için, malzemelerin difüzyon tavlamasından sonra sıcak şekillendirilmesi ya da normalizasyon tavlama yapılması zorunludur.

Difüzyon tavlama ile ulaşılan yapıdaki çok iyi homojenlik sonucunda, döküm parçalarda daha iyi süneklilik ve haddelenmiş ya da dövülmüş parçalarda da dizesel yapının yok edilmesi sağlanır. Ancak, bu tavlama ile yalnızca katı çözelti segragasyonları yok edilebilir ve blok segragasyonlar için difüzyon yolu çok uzun olduğundan genelde uygulanmaz. Ayrıca, difüzyon tavlama maliyeti yüksektir, tesiste fazla aşınma meydana getirir ve önemli ölçüde tufal ve yanma kayıpları oluşabilir. Bunlardan dolayı, bu tavlamanın kullanılması özellikle yüksek değerli malzemelerle sınırlıdır.

7.6.Kaba Tane Tavlama Ya Da Yüksek Sıcaklık Tavlama

Özellikle %0,2'den daha az karbon içeren sementasyon çeliklerinde talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için yapılır. Bu tavlamanın uygulanması büyük ölçüde normal tavlama benzer, ancak kaba tane elde etmek için östenitleştirme sıcaklığı 950...1100°C arasında seçilir. γ α dönüşüm sahasında soğutma çok yavaş yapılır. Tavlama sonrasında kaba yapılu ferrit-perlit taneleri elde edilir. Tane sınırı bölgesinde yabancı atom bağlantılarının çökmesi nedeniyle çeliğin plastik şekil değişebilirliği çok azalır. Kaba tane tavlama talaşlı şekillendirmede kırılğan talaş elde edilmektedir. Aksi takdirde talaş kaldırma da yırtılmalar meydana gelir ve pürüzlü bir yüzey oluşur [20].

8.SERTLEŞTİRME

8.1.Giriş

Isıl işlemlerle çeliğin sertleőtirilmesi daha çok martensitik bir yapı teőköl ettirerek dönüşüm sertleőtirmesi yöntemiyle, ayrıca partiküllerin okeltilmesi ile yapılır.

Dönüşüm sertleőtirmesi uygulamak için, Ötektoidaltı elikler A_3 ve ötektoidüstü elikler A_1 sıcaklığının üzerinde östenitleştirme yapıldıktan sonra, yalnızca yüzeyinde (cidar sertleőtirmesi) yada tüm kesitinde (tam sertleştirme) st kritik soğutma hızı aőılacak Şekilde soğutma (ani soğutma) yapılır. Özellikle stabil karbür teőköl ettiren alaşım elemanları (Cr, Mo, W, V) stenitleőtirme sıcaklığını yükseltir veya kritik soğutma hızını düőürmektedirler (Mn ve Cr).

Sertleştirme işleminde, mutlaka en azından düşük bir sıcaklıkta meneviş işlemin de yapılması zorunludur.

8.2.Sertleştirme İşleminin Uygulaması

Normal sertleştirmede parçalar havadan dolayı, yüzeyde karbon azalmasından (dekarbürize) veya karbon artmasından (karbürize) sakınmak için koruyucu gaz altında ya da tuz banyosunda sertleştirme sıcaklığına ısıtılırlar. Bu sıcaklığa östenitleştirme sıcaklığı denir. Bu sıcaklıkta, yeterli homojenlikte östenit oluőana ve mevcut özel karbürlerin gereken kadarı zlzene kadar beklenilmelidir. Bu iőlemden sonra martenzit teőkl için gerekli st kritik soğuma hızın aőılacak Şekilde ani soğutma yapılır. Soğutma hızının, östenitin kısmen ya da tamamen perlit ve beynit oluşumuna imkan vermeyecek Şekilde uygun soğutma ortamının sağlanması gerekir.

Alaşımsız eliklerde perlit ve beynitik dönüşümünün tam engellenebilmesi için, soğutma başlangıcından itibaren birkaç saniye içerisinde martensit dönüşümünün baőladıđı M_s sıcaklığına ulaőılması zorunludur. Alaşımlı eliklerde ise bu süre çok daha uzundur. Eğer dönüşüm beynitik kademesinde çok hızlı gerçekleŐirse, daha büyük soğutma hızları gereklidir. Bundan dolayı, soğutma ortamının seçiminde malzemeyle birlikte, parçanın boyutları gibi diğer faktörler de göz önünde tutulmalıdır.

Soğutma ortamı olarak en çok su ve yağ özel durumlarda da hava kullanılır. Perlit teőkl sahasında en yüksek soğutma etkisini gösteren, fakat düşük sıcaklıklarda daha yavaş soğutma hızı sağlayan soğutma ortamı, en uygun ortam sayılır. Alaşımsız eliklerde kritik soğutma hızının yüksek olmasından dolayı, bu tür çelikler için soğutma ortamı olarak daha çok su kullanılır. Fakat kalın kesitlerde su ile soğutmaya çekirdeğe kadar sertleşme olmayabilir. Eğer kesit çok kk ya da karbon miktarı ve empüriteler yüksek olduğunda, örneğin özel kalite alaşımsız takım çeliklerinde yağda ani soğutma yapılabilir. Kritik soğutma hızı daha düşük olan alaşımlı çelikler için, yağ içerisinde daha yavaş ısı çekilmesi yeterlidir. Bu durumlarda ise, hava akımında, hatta sakın havada soğutma yapılması yeterlidir. Artan soğutma hızıyla birlikte, iç gerilmeler ve bunlara büyük lde bağımlı olan l ve form deđiŐtirmeler ve hatta sertleştirme çatlağı riski artacağından, çeliğin sertleştirilmesinde, yüzeyde ve çekirdekte öngörülen sertleőtirmeyi sağlayabilecek en yavaş soğutmayı yapan ortam seçilmelidir.

Deformasyonu az sertleőtirmeyi baőarmak için, değişik özel yöntemler geliőtirmektedir. Sıcak banyoda sertleştirme bu yöntemlerden en yaygın kullanılanıdır. Bu

yöntemde parçalar, martensit sıcaklığına yakın sıcaklık olan ergimiş tuz banyosuna daldırılır. Ostenitin dönüşümü, bu sahada çok uzun kuluçka süresinden sonra olur. Ayrıca, küçük boyutlarda tuz banyosunda cidar ile çekirdek arasında sıcaklık dengesi sağlanıncaya kadar bekletme yapılarak, iç gerilmelerin azaltılması mümkündür. Daha sonra oda sıcaklığına kadar yapılan soğutma ile ostenit martensite dönüştürülür.

Malzemenin çekirdeğindeki sertlik, cidarla ise, bu tarz sertleşme tam sertleştirme ya da normal sertleştirme olarak belirtilir. Buna karşılık, martensit teşekkülü yalnızca parçanın cidar bölgesinde belirli bir derinliğe kadar sınırlı kalıyorsa, yüzey sertleşmesi ya da cidar sertleşmesi olarak belirtilmektedir.

8.3.Sertleşebilirlik

Sertleşebilen çeliklerde tüm kesit sertleştirildiğinde, çeliğin yüzeyinde ulaşılabilecek sertlik değerini ve yüzeyden itibaren malzemenin çekirdeğine doğru dağılımının ne olacağını bilmek istenir. Bu iki kavrama birlikte, yani yüzeyde ulaşılabilecek sertlik değeri ve sertliğin kesitte dağılımına, “sertleşebilirlik” denmektedir.

Çeliğin yüzeyinde ulaşılabilecek sertlik değeri, çeliğin içerdiği karbon miktarına ve östenitleştirme sonrası soğutma hızına bağlı olarak teşekkül eden martensit miktarına bağlıdır. Eğer çeliğin yüzeyindeki soğutma hızı, bu çelik için geçerli olan üst kritik soğuma hızından daha büyük değerde ise tam martensitik yapıya ulaşılabileceğinden dolayı, çeliğin yüzeyinde ulaşılabilecek sertlik değeri yalnızca çeliğin karbon miktarına bağlı kalır. Çelikte sertleştirme öncesinde, yani yumuşak tavlı ya da normal tavlı halde iken, çeliğin karbon miktarı arttığandan sertlikte ve dayanımda bir miktar artma görülür.

Çeliğin ostenit halden ani soğutulmasında, soğutma hızı üst kritik soğutma hızının altında kaldığında, hızın büyüklüğüne bağlı olarak dönüşme sonucunda martensitin yanında beynit, perlit ya da ferrit teşekkül edebilir ya da bir miktar ostenit dönüşmeden kalabilir. Martensite nazaran yumuşak olan bu yapıların miktarına bağımlı olarak da malzemenin sertliğinde azalma olur.

Yüzeyden itibaren çekirdeğe doğru gidildiğinde, ani soğutma işleminde söz konusu noktalarda soğutma hızı üst kritik soğutma hızından daha düşük değere inildiğinde, bu noktalarda tam martensitik yapıya ulaşılmaz. Çekirdeğe doğru gidildikçe soğutma hızı daha da düşeceğinden, sertlikte de giderek azalma olur. Çekirdeğin tüm kesiti sertleştirmek istenildiğinde bu duruma göre çeliğin çekirdeğinde de soğutma hızının üst kritik soğutma hızından büyük olması zorunludur. Soğutma gücü çok yüksek soğutma ortamları kullanılsa bile, alaşımsız çeliklerde kalın kesitli parçalarda çekirdekte üst kritik soğutma hızının aşılması çoğu zaman mümkün olmaz. Buna karşılık, uygun cins ve miktarda alaşım elementi içeren çeliklerde kritik soğuma hızı azalacağından, daha az güçlü soğutma ortamları kullanıldığında da kritik soğuma hızı kolaylıkla aşılabılır.

8.4.Sertleştirme İçin Isıtma İşlemi

Bir çeliğin dönüşümüyle sertleştirilmesinde ilk aşama, çeliğin östenitleştirme sıcaklığına ısıtılması ve arzu edilen yapı değişikliğine erişinceye kadar bekletilmesidir. Isıtma işlemi, bünneyi karbürize ya da okside etmeyecek şekilde ayarlı bir hidrokarbon atmosferde ya da tuz banyosu içerisinde yapılmaktadır. Isıtma sıcaklığının yeterli homojenlikte bir östenitik yapı elde etmeli ve mevcut özel karbürlerin gereken kadarının çözülmesini sağlanmalıdır. Ayrıca ısıtma sıcaklığının tane büyümesine imkân verecek düzeyde olması zorunludur.

Çeliğin ısıtılması çeliğin değişik sıcaklıklardaki tane büyümesi eğilimini, içerisinde hangi karbürlerin var olduğunu, bunların ne şekilde çözünüp dağıldığını ve sonuç olarak bu karbürlerin ne derece dağılıma uğradığını bilmek gereklidir. Tüm çeliklerde ostenit dönüşüm sıcaklığı aynı değildir ve başta karbon olmak üzere alaşım elementlerinin cins ve miktarına bağlıdır...

Ötektoidaltı çeliklerde, ani soğutma sonrası yapıda ferrit olmasıyla sertlik değeri daha düşük olur. Çelik, demir-karbon denge diyagramında $\alpha+\gamma$ çift fazlı sahasından ani soğutulursa yapıda martensitin yanında ferrit de içerir. Metalografik olarak inceleme yapılırsa, yapıda sert yapı olarak koyu renkli dağlanmış iğnesel martensit yumuşak yapı olarak açık renkli ferritik yapı görülür.

Ac_1 sıcaklığının 30 ilâ 50°C üzerinden sertleştirilen ötektoidüstü çeliklerde, bu sıcaklıkta sementit henüz tam çözülmeyeceğinden, ostenitin yanında ayrıca karbür de bulunur. Martensitten daha sert olan bu karbürler ani soğutmadan sonra martensitik ana yapı içerisine yerleşirler ve çeliğin aşınma dayanımı yükseltirler. Bu tür çeliklerde sertleştirme öncesinde yumuşak tavlama uygulanarak, kusursuz küresel sementit elde edilmelidir. Ötektoidüstü çeliklere önceden yumuşatma tavlama ya da normalleştirme tavlama yapılmadan sertleştirilirse tane sınırlarında bant formunda ya da tane içlerinde çubuk formunda olan sekonder sementit çelikte çok fazla kırılmalık yaratır. Ostenit tane sınırında yerleşmiş olan sementit bantları, kolaylıkla çatlak oluşturur. Bunun dışında, kırılmış kesitinde kaba tane açıkça görülür ve çatlak ilerlemesi tane sınırlarında olur. Bu tür kırılmalar, taş kırılması görüntüsüne benzer.

Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde oda sıcaklığına ani soğutma yapıldığında, dönüşme sonucu tam martensitik yapıya ulaşılmaz ve yapıda bir miktar dönüşmeden kalan ostenit bulunabilir. Bu artık ostenitin katılımıyla da gerçekleşen, menevişlenmede ikincil sertlik artması meydana geleceğinden, sertleştirmede ani soğutma sonrası martensitik yapının teşekkülü ostenitleştirme sıcaklığının belirlenmesinde tek başına bir kriter olmayabilir. Bu nedenle, çeliğin ısıtma işlemi sonrası kullanılacağı yer göz önünde tutularak, tablolarla verilen ısıtma işlemi için öneriler ile birlikte, deneysel olarak bulunan değerler büyük önem taşır.

Sertleştirme için tavlama işlemi, genellikle ya ısıtmanın radyasyon yoluyla meydana geldiği elektrik, gaz ya da sıvı yakıt fırınlarında veya ısıtmanın konveksiyon yoluyla meydana geldiği tuz ya da metal banyolarında yapılır. Ayrıca, ısının direkt olarak parçada üretildiği elektrik direnç ısıtma ve indüksiyon ısıtma da mümkündür. Çok sayıda olduğu görülen bu yöntemlerde ısıtma hızları da çok farklıdır. Sertleştirilecek parçaların gaz atmosferi içerisinde bulunduğu, elektrik, sıvı yakıt ya da gaz yakıtla ısıtılan fırınlarda gaz ortamdan dolayı ısınma hızı oldukça düşüktür. Yanma sonucu oluşan duman gazlarının parça yüzeyine temas etmesi sorun yarattığından, bu tür fırınlar hücre tipi ve atmosfer koruyucu olarak yapılırlar. Gazdan parçaya ısı geçişini arttırmak için, atmosfer gazlarının durgun olmaması, türbülans yaratacak şekilde dolaşım yaptırılması yararlıdır. Ayrıca, akışkan yataklı fırınlarda da homojen ve hızlı ısıtma yapılabilir. Tuz banyolarında ısıtmada, daldırmayla birlikte parça yüzeyi hemen ısınacağından ısıtma hızı daha yüksektir. Metal banyoları daha hızlı yüzey ısınması sağlarlar, ancak bu amaçla kullanılacak kurşun banyolarında, hem buharı zehirli olduğundan sağlık açısından ve hem de parçaların banyo yüzeyinde yüzme tehlikesi açısından sorun vardır. Bu nedenle de daha az tercih edilirler. Pratikte en hızlı ısınma işlemi, indüksiyon ısıtma ile sağlanabilir. Ancak, frekansa da bağlı olarak kesitte homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanamaması nedeniyle, bu yöntem

yalnızca yüzey sertleştirilme işlemleriyle sınırlı kalır. Alevle ısıtma işlemi de benzer şekilde, yalnızca yüzey sertleştirilmelerinde kullanılabilir.

Sertleştirme için gaz ortamda ısıtılan çelik, içerisinde önemli miktarda oksijen, karbon monoksit, karbondioksit, su buharı ve ayrıca diğer reaktif gazlar bulunan bir atmosferle çevrilidir. Gerekli önlemler alınmadığında bu gazlar metalle reaksiyona girerek oksidasyona (tufal teşekkülü), yüzeyde karbon miktarının artmasına (karbürize), yüzeyde karbon miktarının azalmasına (dekarbürizasyon) ya da yüzeyin bozulmasına yol açabilir. Bu reaksiyonlar bitmiş parçanın boyutlarına, görünüşüne ve sertliğine etki yaptığından, metalin yüzeyini korumak ya da reaksiyona meydan vermeyecek şekilde fırın atmosferini kontrol etmek gereklidir. Ancak düşük sıcaklıklarda (menevişleme) ve çok kısa süreli ısıtmalarda, özel atmosfer önlemi alınmaksızın, normal atmosferde ısınma mümkündür.

Isıtma ve ısıl işlemin diğer aşamalar için ergimiş tuz ya da metal banyolarının kullanılması, parçanın atmosferi ortadan kaldıran bir ergiyik içerisine batırılması nedeniyle, metal yüzeylerinin korunmasında uygulanan yollardan biridir. Bununla birlikte, tuzların seçiminde dikkatli davranılmadığı takdirde, tuzun oksitleyici, redükleyici ya da reaktif oluşu nedeniyle metal yüzeyi gene de bozulabilir. Sertleştirme için genellikle nötr banyolar kullanılır. Fakat bunların kullanıldıkları sıcaklık alanlarına göre bileşimlerinde farklılık vardır. Menevişleme ve 150-540°C arasında yapılan sıcak banyoda soğutmada kullanılan tuzlar, genellikle nitratlar ya da sodyum veya potasyumnitürlerdir. Bu banyolarda çalışılırken, parça daha önce siyanür banyolarında işlem görmüş ise çok dikkat etmek gerekir. Çünkü kalıntı siyanürler, nitrat ve nitür banyolarındaki kimyasal maddelerle süratle, hatta patlama ile reaksiyona girebilirler.

Çatlama ve çarpılmadan (deformasyon) sakınmak amacıyla, sertleştirme için yapılacak ısıtmanın yavaş olması gerekir. Genel olarak, sertleştirme sonrası meydana gelebilecek bu tür ısıl işlem hatalarının, ani soğutma aşamasından çok ısıtma esnasında meydana gelmektedir.

Hızlı ısıtma, yalnızca basit formda olan parçalarda, küçük kesitli parçalarda ve yüzey sertleştirme işleminde kullanılabilir. Isıtma işlemi hızlı yapılacaksa, çatlama ve kötü sertleşme sonuçlarının önlenmesi için, çeliğin seçimine de daha büyük dikkat göstermek ve sertleştirme öncesi çeliğin mümkün olduğunca ince taneli olmasını sağlamak gerekir. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerde ısı iletme kabiliyeti çok düşük olduğundan, normal ısıtmada ya da oda sıcaklığındaki parçanın östenitleştirme sıcaklığına daha önce ayarlanmış tuz banyolarına ani daldırılmasında, cidar ile çekirdek arasında meydana gelen büyük ısıl gerilmelerden parça çatlayabilir.

Kusursuz olarak maksimum sertliğe ulaşılabilmesi için ani soğutma öncesi ısıtmada uygun östenitik yapıya ulaşmakta önemlidir. Dönüşüm, ortam sıcaklığı ne kadar yüksek ve çekirdek rolü oynayan noktalar ne kadar çoksa o kadar hızlı gelişir. Dönüşüm hızı, yapının %90'ı dönüşene kadar, yeni kristallerin oluşmasıyla hızlanarak artar. Daha sonra, dönüşüm hızı tekrar düşer. Kötü sertlik elde etmemek için, gerekli olandan biraz yüksek sıcaklık seçilir. Ancak, kaçınılmaz olarak biraz tane büyümesi olur. Bekleme süresi, östenitik dönüşümün tamamlanma bilmesi için biraz uzun seçilir. Çoğu kez, çelikte beklenen sertlik değeri elde edilemediğinde, o çelik için belirtilen sertleştirme sıcaklığının 20°C kadar üzerine çıkmak, olumlu sonuç verir. Sertleştirme sıcaklığının biraz yükselmesi yada bekleme süresinin artırılması, sertleşme derinliğini artırır. Bunun nedeni, çekirdeğin çözülmesidir. Çekirdekleri yok etmekle, daha doğrusu perlit teşekkülü çekirdek etkisini azaltmakta, perlit teşekkülü daha düşük sıcaklıklara kaydırılabilir. Düşük sıcaklıklarda

azalan difüzyon hızı, perlit teşekkülünü engeller ve bununla birlikte düşük sıcaklıklarda soğutma ortamının gücü fazla olduğundan, daha fazla sertleştirme derinliğine ulaşılır.

İyi sertlik değeri, yalnızca ısıtılmış çelik ve soğutma ortamı arasındaki sıcaklık farkının büyüklüğünden değil, aynı zamanda yüksek parça sıcaklığının ısı birikiminden dolayı buharlaşmanın engellenmesi ve sıcaklığına kadar yavaş olarak yapılması gerekir. soğutma ortamının soğutma gücünün yeterli olmasıyla sağlanır. Parçadaki ısı gerilmeleri azaltmak için, ısıtmanın da özellikle A_{r1} sıcaklığına kadar yavaş olarak yapılması gerekir.

Östenitleştirme sıcaklığının yükseltilmesi ve özellikle ostenitleştirme süresinin arttırılması, dayanım özelliklerini olumsuz olarak etkileyebilirler. Ostenit sahada uzun bekleme süresi sertliği fazla etkilemez, ancak dayanım özelliklerini, özellikle elastik sınırını düşürür. Elastik sınırı ve diğer dayanım özelliklerindeki azalma, kaba martenzit yapı oluşmasındadır ve çatlak doğurabilecek noktalara neden olur. Çatlak çekirdekleri ne kadar çoksa, dıştan gelen zorlamalara karşı dayanıklılık o kadar azalır, elastiklik modülü düşüktür, plastik şekil değişebilirlik düşüktür. Kaba martensit, çeliğin özelliklerinin dışında, uzun ostenitleştirme süresinden ya da yüksek ostenitleştirme sıcaklığından meydana gelir.

Çelikler, aşırı ısıtmaya ya da aşırı beklemeye karşı çok farklı tutum gösterirler. Etkiler, çekirdek etkisi gösteren, arzu edilen ya da edilmeyen elemanlar ve alaşım elemanları üzerindedir. Bu durum, çelik üretim yöntemlerinde özel bir anlam taşır. Çekirdekler, yüksek sıcaklıklarda çözülebilen, ağır metal karbürleri gibi metalik bağlantılar olabilir. Sertleşme sıcaklığına ısıtmada da, uzun sürede çözülmemiş demirkarbürler bulunabilir. Örneğin, pek az vanadyum çeliğe katılmasında, oldukça yüksek sıcaklıklarda çözülebilen vanadyumkarbürler oluşur. Bundan başka, çelik üretiminden gelen silisyumdioksit alüminyumoksit gibi oksitler, perlit teşekkülü için çekirdek rolü oynarlar ve sertleşme derinliğini azaltılır. Diğer taraftan, bu elemanlar tane büyümesini engellerler ve azaltırlar. Düşük miktarda empürite içeren çelikler, aşırı ısınmaya karşı hassastırlar.

Sertleştirme sıcaklığına ısıtmada bekleme süresine oksit, nitrür ve karbürlerin yanında, bu elemanların büyüklüğü ve tane büyüklüğü de etki eder. Karbürler, örneğin sementit lamelleri ne kadar kaba ise, bunları çözebilmek ve yapıda homojen dağılımlarını sağlamak için, o kadar uzun süre beklemek gerekir. Tane büyüklüğü de, homojen östenite ulaşmasını etki eder. Artan tane büyüklüğü ile ferrit ve sementit arasındaki difüzyon miktarı ve dengeleme için yol büyür ve tane sınırı çekirdekleri, büyüyen taneyle azalır. Bu nedenle, sertleştirme öncesi normal tavlama uygulayarak tanelerin inceltilmesi yada yumuşak tavlama ile özellikle karbürlerin düzenlemesi, homojen östenitik yapıya daha kısa zamanda ulaşılmasına büyük katkı sağlar [21].

8.5.Sertleştirme İçin Ani Soğutma İşlemi

Östenit yapıya ısıtılmış çeliğin soğutma hızının büyüklüğü için ölçü, östenitin perlite dönüşüm hızıdır. Bu dönüşüm hızı, soğutmanın her anında eşit büyüklükte değildir ve sıcaklık değeriyle alakalıdır. Martensit teşekkülünün sağlanması ve perlit teşekkülünün engellenmesi için, en düşük soğuma hızı A_{r1} 'in altındaki sıcaklık değerine bağlıdır. Mutlak değer, karbon miktarıyla ve alaşım durumuyla ilgilidir. Yüksek karbon miktarında, perlit kademesinde dönüşüm hızı yükselir. Bu hız fazlalığı, karbonu zengin östenitin, karbonun büyük bir kısmının difüzyon yoluyla ayrılmasıyla meydana gelir. Perlit kademesindeki dönüşüm hızı, düşen karbon miktarıyla azalırken, ara kademe yapısı artar.

Östenitleştirme sıcaklığına kadar ısıtılmış çeliğin ani soğutulmasında, perlit teşekkülünün engellenmesi ile martensit teşekkülü oluşur. Cidar ve çekirdek arasında büyük

mesafe bulunan çeliğin soğutulmasında, soğutucu ortamın soğutucu etkisi yanında, çeliğin ısı iletme kabiliyetinin de önemi vardır. Çeliğin su içerisinde soğutulmasında, cidar bölgesinde perlit teşekkülünün engellenmesi için, 550°C'deki maksimum soğutma hızı aşıldığından, perlit oluşmaz. Fakat parçanın çekirdeği için ısı, parçanın cidarından çekildiği için oldukça yavaş soğur. Çekirdekte, perlit teşekkülünü engellemeyecek büyüklükte soğuma hızına ulaşılamadığı için, perlit teşekkül eder.

Tam sertleşmenin anlamı olarak, parçanın çekirdeğine kadar bir sertlik değerine ulaşması anlaşılır. Yani sertleşme derinliği, parçanın çekirdeğine kadar devam etmelidir.

Belirli bir çubuk içerisindeki ani soğuma derecesi, onun yüzeyinin soğutma banyosu sıcaklığına indirilmesinin hızına bağlıdır. Isıl geçirgenliğe bağlı sınırlardan ve ısının yalnızca parçanın yüzeyinden dışarı çekilmesinden dolayı, çubuğun çekirdeği ile yüzeyi arasında değişik noktalarda, soğuma seyirleri görülür. Yüzeydeki soğuma gücü ne kadar yüksek olursa, düşüş o derecede daha dik olur. Sertleştirme için yaygın kullanılan ortamlardan en hızlı soğuma ortamı su, orta hızlı soğutma ortamı yağ ve en yavaş soğuma ortamı hava ve sıcak banyodur

Çeliğin sertleştirmek amacıyla ani soğutulmasında yüzey ve çekirdek arasında ΔT sıcaklık farkı meydana gelir. Sıcaklık farkı büyük ısıl gerilmelerin meydana gelmesine sebep olur. Soğutmanın başlangıcında, yüzey hızla soğuduğu için, cidar büzülmeğe isteyecek, fakat henüz sıcak ve genişlemiş olan çekirdek buna mani olmaya çalışacaktır. Cidar bir kılıf gibi çekirdeğe baskı yapar ve böylece elastiklik sınırını aşabilen gerilmeler oluşur. Bu anda, cidarda olan gerilmeler çekme, çekirdekte olan gerilmeler ise basma tarzındadır. Soğutmanın devamında çekirdek de soğuyunca büzülmeğe çalışır, fakat daha önce soğumuş ve çekirdeğe bağlı bulunan cidar buna mani olur. Bu durumda, çekirdekdeki basma gerilmeleri ile cidardaki çekme gerilmeleri yön değiştirir. Çeliğin elastik sınırı yeterli büyüklükte ise, gerilmeler fazla bir form ve boyut değişmesi meydana getirmez. Ancak, oluşan gerilmeler elastiklik sınırının üzerinde olursa, büyük ölçüde form ve boyut değişmesi meydana gelir. Daha büyük gerilmelerde mikro çatlaklar, çatlama ve kırılmalar olabilir.

9.MENEVİŞ VE ISLAH İŞLEMİ

9.1.Meneviş İşlemi

Sürekli soğutma ile sertleştirilmiş çelik parçalarda, martensitik oluşumdan dolayı büyük gerilmeler mevcuttur. Sertleştirilmiş parçaları 100 ilâ 670°C arasında ısıtılarak, gerilmeler giderilir ya da tehlikeli olmayacak seviyeye indirilir. Ancak, bu esnada martensitin sertliğinde de önemli miktarda düşme olur.

Sertleştirme esnasında olduğu gibi, menevişleme esnasında da atom kafesinde önemli değişimler olur. Östenitte çözülmüş karbon, ani soğutma sonucunda kafesi terk edemez ve martensitik yapı içerisinde sıkışmış olarak kalır. Menevişleme esnasında, martensit içerisindeki karbona hareketlilik kazandırılır ve martensitin aşırı doymuş yapısından karbür olarak ayrışır. Ayrıca, sertleştirme işleminde teşekkül eden artık ostenit de matris yapıda çözülmüş alaşım elementleriyle birlikte karbür ayrışmasına katkıda bulunur ve martensit parçalanır.

Bir çeliğin menevişlenmesi esnasında mekanik özelliklerdeki değişimler temel olarak menevişleme sıcaklığına bağlıdır. Aynı zamanda karbon ve alaşım miktarı, meneviş sıcaklığında bekleme süresi ve başlangıçtaki yapının karakteri gibi birçok faktör etki eder. Değişimler genel olarak, meneviş sıcaklığına gelindiğinde daha hızlı, bekleme esnasında ise oldukça yavaş seyreder.

Menevişleme işleminde, sertlik ve çekme dayanımına nazaran akma sınırının düşmesi daha azdır. Çökelerek dağılmış ince karbürler, kayma düzlemlerinin hareketini engellediğinden, bu durum özellikle yüksek meneviş sıcaklıklarında meydana gelir. Düşük meneviş sıcaklıklarında düşme, sertlik ve çekme dayanımı ile aynı oranda olur. Artan meneviş sıcaklığı ile akma sınırında düşme devam ederken, artan şekil değişebilirlikle birlikte elastiklik sınırında iyileşme görülür.

Menevişleme, sertleştirilmenin hemen ardından yapılır. Sertleştirilmiş parçalar çok büyük gerilmelere sahiptirler. Küçük darbelerde, sertleştirilmiş halde plastik şekil değiştirme kabiliyeti çok küçük olduğundan, kolayca çatlama olabilir. Bunun için parçalar elde tutulabilecek sıcaklığa (40 ilâ 50°C) ulaştığında, meneviş fırınına ya da banyosuna alınmalıdır. Çatlamaya karşı hassas olan parçalar, soğuk fırına konulmalı ve fırın, parçalarla birlikte ısıtılmalıdır. Böylece daha homojen ısıtma sağlanabilir.

Meneviş süresi çok kısa seçilmemelidir. Menevişleme işlemi difüzyon olayları ile gerçekleştiğinden, belirli bir süreye gereksinim vardır. Meneviş süresi, sertleştirilmedeki bekleme süresinden daha kısa olmamalıdır. Genellikle, çeliklerde en uygun mekanik özelliklere, sertleştirmedeki bekleme süresinin 4-5 katı olan uzun meneviş sürelerinde erişilmektedir. Homojen kesitli küçük parçalarda, daha yüksek sıcaklıklarda, kısa süreli meneviş uygulanabilir. Şok meneviş adı verilen bu uygulamada, daha iyi dayanıklılık sağlanabilir [21].

9.2.Meneviş Kırılgenlığı

Meneviş sıcaklığı 723°C'nin altında olduğundan, meneviş işleminden yapılan soğutmada yapı dönüşmesi olmaz, oluşan yapı soğutma hızına bağlı değildir. Parçalarda büyük kalıcı gerilme oluşmasını önlemek için, yavaş soğutma yapmak daha uygundur. Bazı durumlarda meneviş sıcaklığından yapılan yavaş soğutmanın, çentik darbe dayanımını ve titreşim dayanımını azaldığı görüldüğünden, suda ani soğutma yapılır. Hızlı soğutulan çeliklerde de, eğer belirli bir sıcaklıkta (örneğin 500°C) menevişleme yapılırsa,

dayanıklılığın azalacağı görülebilir. Menevişten sonra yavaş soğutmada ya da belirli bir meneviş sıcaklığında, dayanıklılığı azalan çeliklere, menevişte kırılğan çelikler ve bu olaya meneviş kırılğanlığı adı verilir.

Meneviş kırılğanlığı olan çeliklerde, meneviş işleminden sonra yavaş soğutmada dayanıklılığın ani düşmesi, pozitif sıcaklıklara kayar ve genellikle oda sıcaklığında son bulur. Alışılmış çelik darbe testleri daha çok oda sıcaklığında yapıldığından, çok düşük dayanım değerleri elde edilir. Bu durumda çelik kırılğan hale gelir. Çeliğin alaşım durumu, üretim tarzı ve menevişleme koşulları seçiminde, çentik darbe dayanımı geçiş sıcaklığının -40°C 'nin altında olması arzu edilir. Çeliğin kırılğanlığı, kışın açık havada kullanımda sorun yaratmaktadır [21].

10.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1.Giriş

Bu çalışmamızda BİRÇELİK PASLANMAZ ÇELİK TİC. LTD. ŞTİ 'den alınmış 14x14x15 mm boyutlarında 10 adet ASTM 304L östenitik paslanmaz çeliğin, farklı soğutma ortamları altında ısıl işlemi uygulanmıştır. Aynı kimyasal bileşime sahip numunelere sertlik deneyi uygulanmış ve ayrıca mikroyapılar incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı farklı soğutma ortamlarında meydana gelen yapı dönüşümlerinin incelenmesidir.

10.2. Deneyde Kullanılan Çelik

Deneyde kullanılan numunenin Estaş Eksantrik San. ve Tic. A.Ş 'de kimyasal analizi alınmış ve aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 10.1: Numunelerin Kimyasal Analizi

| C% | Si% | Mn% | P% | S% | Mg% | Cr% | Ni% | Mo% | Cu% |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| 0,024 | 0,603 | 1,646 | 0,030 | 0,036 | <0,001 | 18,86 | 8,12 | 0,464 | 0,431 |
| Al% | Ti% | V% | Nb% | W% | Co% | B% | Sn% | Pb% | Ce% |
| 0,005 | 0,004 | 0,066 | 0,025 | <0,01 | 0,086 | 0,0010 | 0,011 | 0,004 | 0,022 |

10.3. Isıl İşlem

Bu çalışmada 4 farklı soğutma ortamı kullanılmıştır. Bunlar havada soğutma, suda soğutma, iki zamanlı motor yağında soğutma ve kullanılmış motor yağında soğutmadır. Çalışma sıcaklığı östenit fazı bulunduran 870 °C yapılmıştır. Oda sıcaklığından itibaren 6,30 °C / dk hızında yapılan çalışma 135 dakikada 870 °C ye ulaşmış ve 28 dakika fırında bekletilmiştir. Deneyde kullanılan fırın foto resim 10.1'de görülmektedir.



Foto resim 10.1: Isıl İşlem İçin Kullanılan Fırın

Su 30 °C ve yağlar 50 °C sıcaklığına ısıtılmıştır. Isıtma işlemi foto resim 10.2’de görülen ısıtıcı yardımıyla yapılmıştır.



Foto resim 10.2: Isıtıcı

870 °C de bulunan numuneler fırından alınıp ısıtılmış suda, farklı iki yağda ve hava ortamında soğutulma işlemine tabi tutulmuştur. Foto resim 10.3 ’te ısıl işlemi tamamlanmış numuneler görülmektedir.

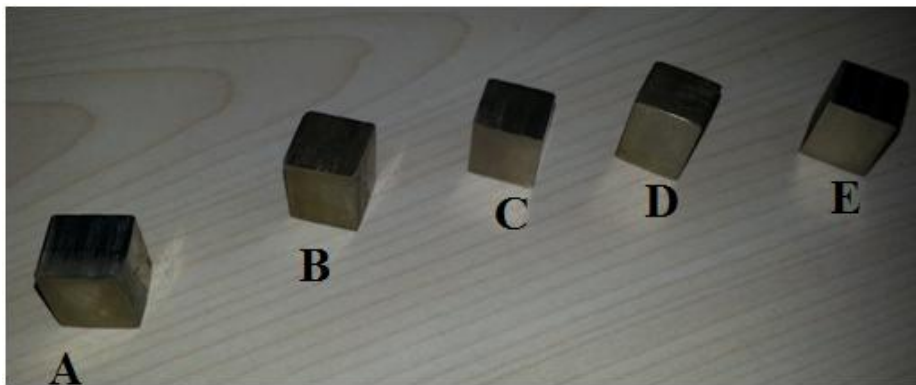


Foto resim 10.3: Isıl işlem sonrası numuneler

Soğuyan numunelere sertlik deneyi, foto resim 10.4 ’te görülen cihaz yardımıyla 187,5 kgf altında rockwell HRB olarak yapılmış ve sertlik değerleri tablo 10.2’ de verilmiştir.

Tablo 10.2: Numunelerin Sertlikleri

| Numuneler | A | B | C | D | E |
|-------------|------|-------|------|-------|------|
| Sertlik HRB | 74,3 | 77,40 | 80,1 | 78,15 | 78,9 |

A Numunesi: Isıl işlem görmemiş ilk numune

B Numunesi: Isıl işlem sonrası havada soğutulmuş numune

C Numunesi: Isıl işlem sonrası suda soğutulmuş numune

D Numunesi: Isıl işlem sonrası 2 zamanlı motor yağında soğutulmuş numune

E Numunesi: Isıl işlem sonrası kullanılmış motor yağında soğutulmuş numune



Foto resim 10.4: Sertlik Ölçme Cihazı

Mikro yapı incelemesi yapmak için numuneler metalografik işlemlerden geçmiştir. Numuneler öncelikle 600, 800, 1000 ve 1200 gridlik zımparalar ile foto resim 10.5 'te görülen cihazda zımparalanmış ve parlatma çuhasında parlatılmıştır.



Foto resim 10.5: Zımparalama-parlatma cihazı

Parlatılmış numuneleri mikroskop altında görebilmek için tablo 10,3'te verilen çözelti kullanılmıştır. Numuneler 8 saniye boyunca çözeltiye daldırılmış ve sonrasında ise etil alkol ile temizlenip kurutulmuştur.

Tablo 10.3: Dağlama Çözeltisi

| |
|---------------------|
| 5 g CuCl_2 |
| 100 ml HCl |
| 100 ml etil alkol |
| 100 ml saf su |

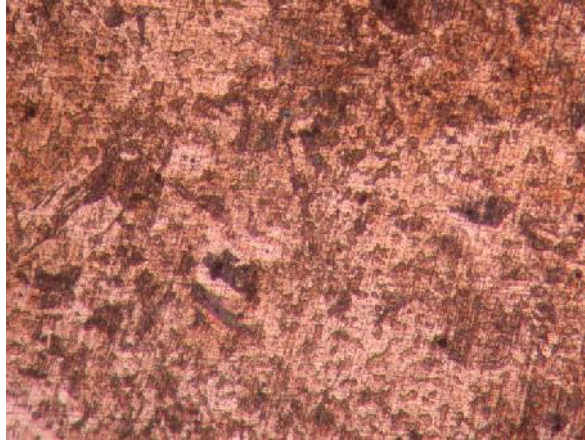
Mikroskop altında net görüntüler elde edilip 5x, 10x, 20x ve 100x büyütmede görüntüler alınmıştır. Çalışmada kullanılan mikroskop cihazı foto resim 10.6 'da görülmektedir.



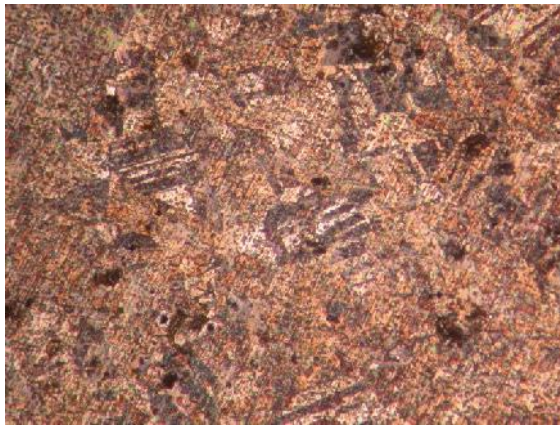
Foto resim 10.6: Mikroskop

Alınan görüntüler, aynı büyütmadaki görüntüler aynı sayfada olacak şekilde aşağıda verilmiştir.

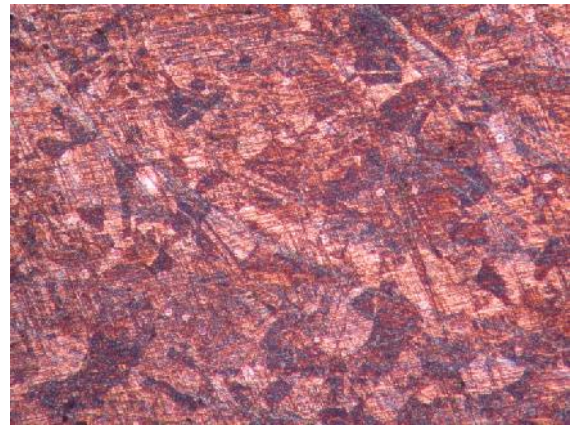
5X



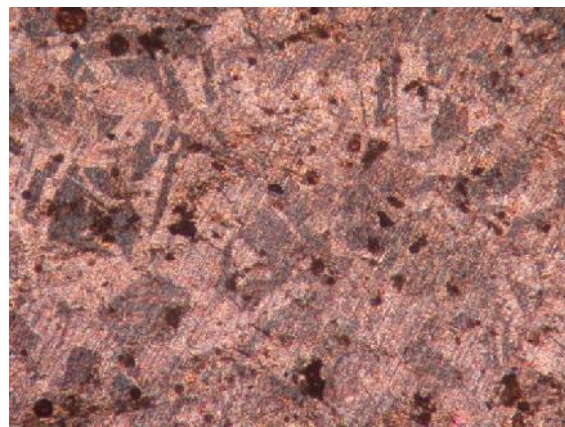
A Numunesi



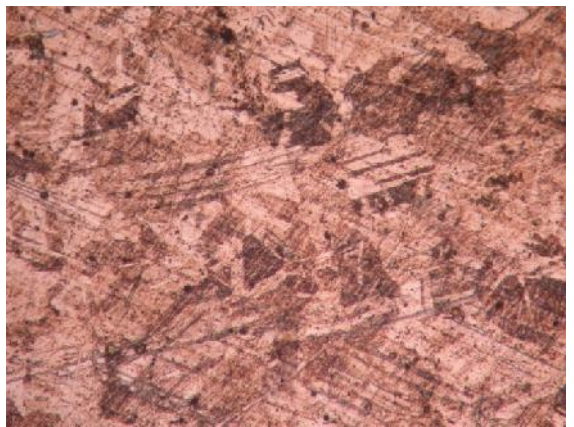
B Numunesi



C Numunesi

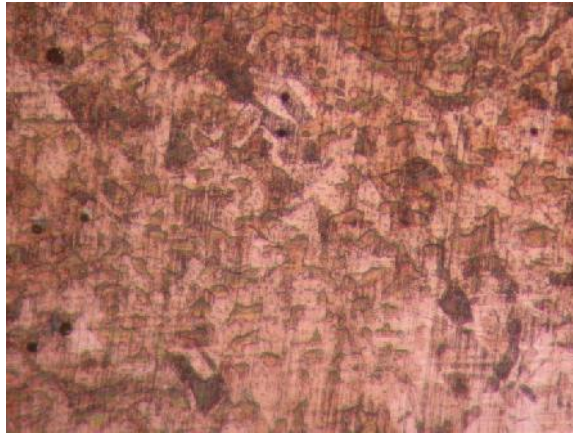


D Numunesi

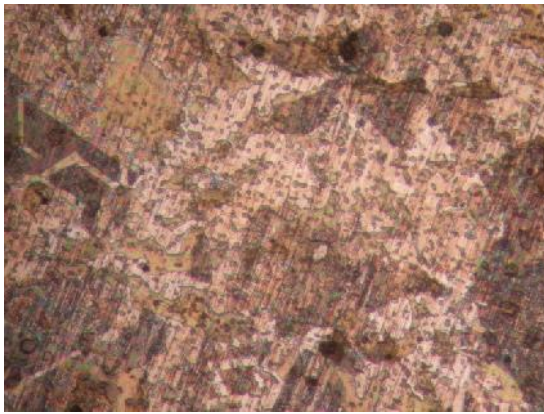


E Numunesi

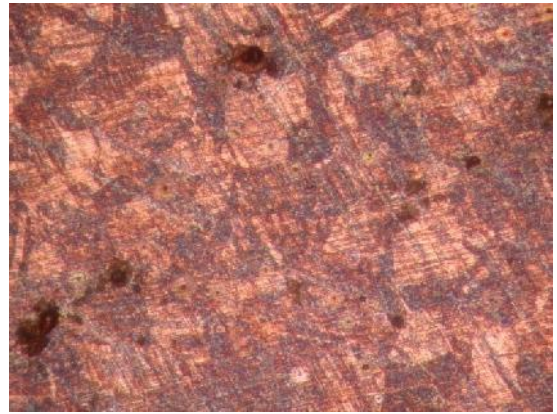
10X



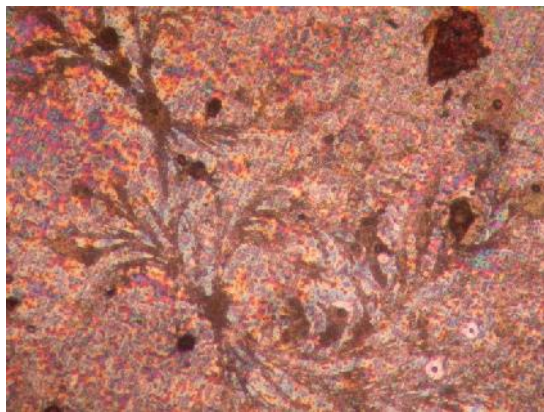
A Numunesi



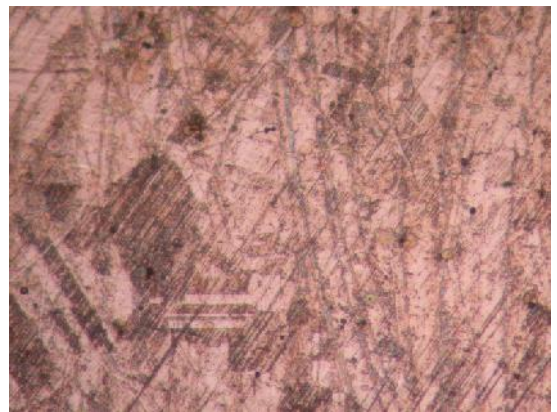
B Numunesi



C Numunesi

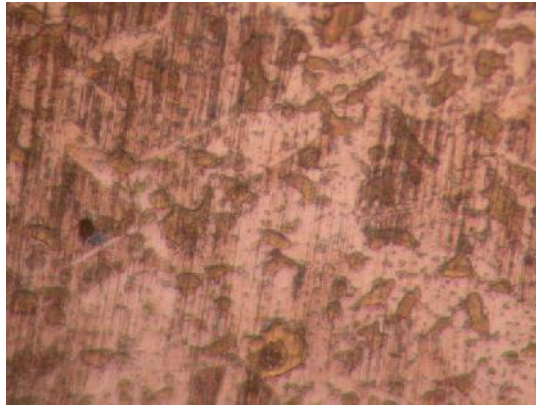


D Numunesi

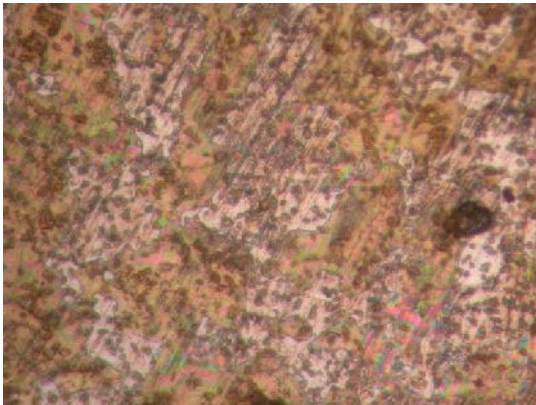


E Numunesi

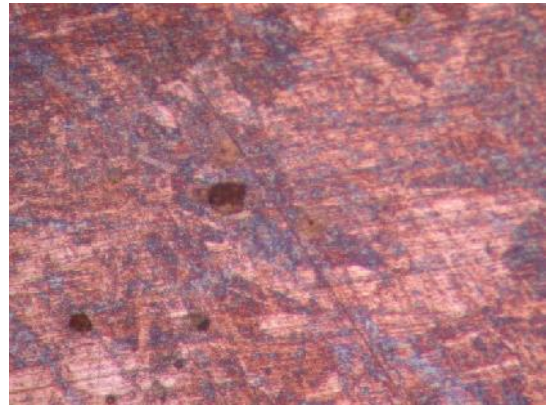
20X



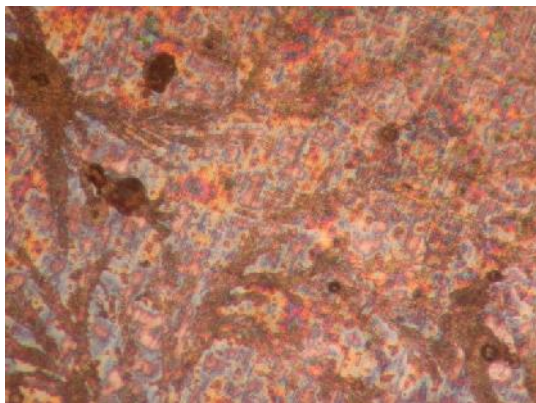
A Numunesi



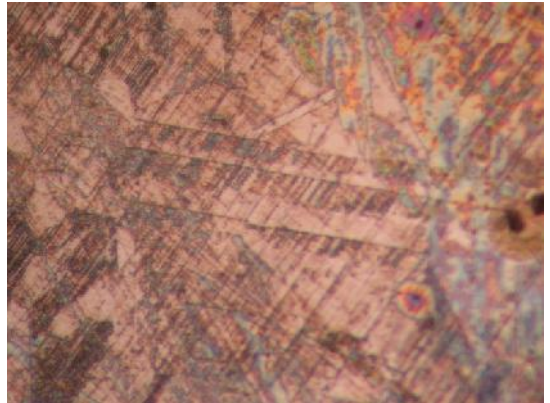
B Numunesi



C Numunesi

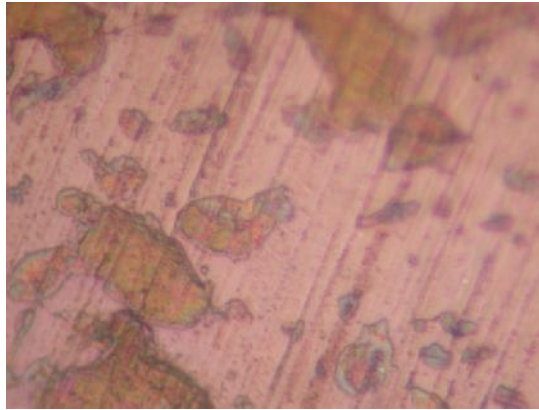


D Numunesi

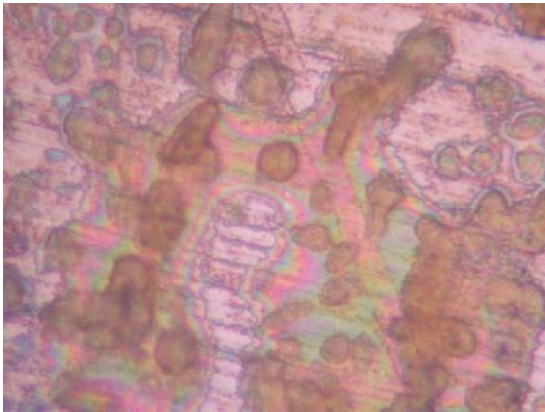


E Numunesi

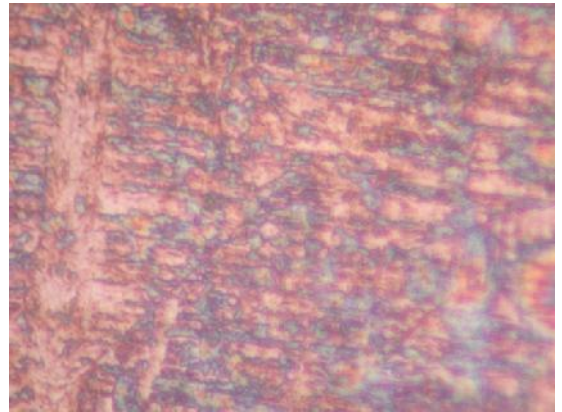
100X



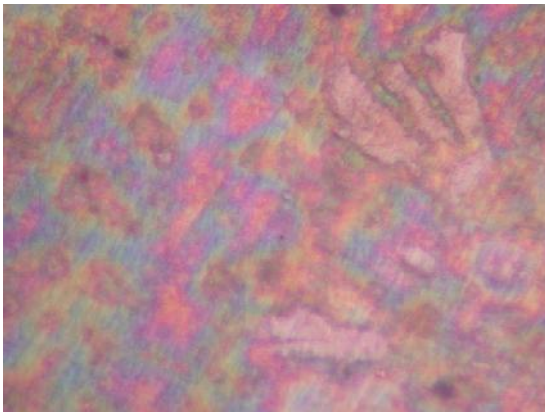
A Numunesi



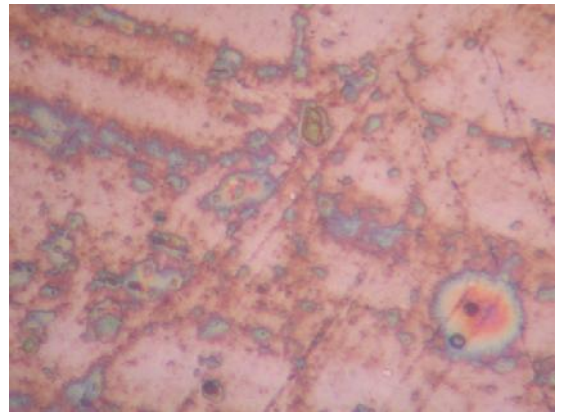
B Numunesi



C Numunesi



D Numunesi



E Numunesi

10.4.Sonuçlar

Bu çalışmada östenitik paslanmaz çelik sınıfında yer alan ve ASTM 304L kalite östenitik paslanmaz çeliğin, farklı soğuma ortamlarında uygulanan ısıtma işlemi sonucu meydana gelen değişimler incelenmiştir.

A numunesinin sertliğinin en düşük olduğu, ısıtma işlem sonrası hızlı soğutmalarla sertlik arttığı ve en çok sertlik artışının ise suda soğutulmuş olan C numunesine ait olduğu görülmüştür.

Soğuma hızının da mikro yapıya bazı etkileri vardır. A numunesinde bolca bulunan östenit fazı soğutma hızı ile farklı yapılara dönüştüğü gözlenmiştir. A numunesi, yapısında östenit ve perlit bulundururken, B numunesi perlit ve biraz ferrit, C numunesi %100 martenzit, D ve E numuneleri de martenzit ve sıkı lamelli perlit bulundurmaktadır.

C numunesinin en sert oluşunun nedeni ise yapısında %100 martenzit olmasıdır. Çünkü martenzit fazı çok serttir.

Farklı çeşit yağ ortamında soğutulan D ve E numunelerinden E numunesinin diğerlerinden sert olmasının nedeni yapısındaki martenzitin fazla olmasıdır.

Isıtma işlem sonrası soğutma ortamının soğutma kabiliyeti ile sertlik arasında bir bağlantı olduğu görülmüştür. Soğutma ortamlarından olan yağların, suya göre yaklaşık üç kat daha az olan soğutma etkisi vardır. Hava ortamında soğutmada ise soğuma kabiliyeti çok daha düşüktür. Sertliği en yüksek olan C numunesinin soğutma ortamı olan suyun da soğutma kabiliyeti en yüksek iken, ısıtma işlem sonrası hava ortamında soğutulan B numunesinin hem sertliği düşüktür hem de havanın soğutma kabiliyeti diğerlerinden düşüktür. Sonuç olarak soğutma kabiliyeti arttıkça sertlik de artmaktadır[22].

KAYNAKLAR

- [1] ASM Metals Handbook, Casting, 9 th Edition, Vol. 15, Ohio, 1988.
- [2] ANIK, S. , DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M., Imal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [3] KRAUSS, GEORGE.,Stells: HeatTreatment andProcessingPrinciple,ASM International, Ohio, 1990.
- [4] İslah Çelikleri , Asil Çelik Teknik Yayınları, İstanbul, 1987.
- [5] GÜVENTÜRK, F., Çelik El Kitabı, Güvençelik Yayınları, İzmir, 1990.
- [6] TEKİN, A., Çeliklerin Metalurjik Dizaynı pp.40, İstanbul, 1981.
- [7] DİKEÇ, F., Demir Çelik Ders Notları.
- [8] TOPBAŞ, M. A., Endüstri Malzemeleri Cilt 2, Prestij Yayınevi, 1993.
- [9]KANIŞIKDEMİR, S.; Paslanmaz Çelikler projesi, YTÜ Kimya-Metalurji Fak. Metalürji Müh. 1996 AKMAN, T.; “Paslanmaz Çelik “, 1991
- [10]AYTEKİN, V.; ITÜ Kimya-Metalurji Fak. Metalürji Müh. “Ders Notları”
- [11]TEKİN, A.;“ Çeliklerin Metalurjik Dizaynı “, 1981
- [12]GÖKKAYA, M.Ş.; “ Paslanmaz Çeliklerde Hassaslaşma Isıl İşlemi ve Oyuklanma Korozyonu “, 1996 YTÜ Kimya-Metalurji Fak.
- [13]CANSEVER, N.;” Korozyon Ders Notları İTÜ Kimya Metalürji Fak.
- [14]Ahad Sabbag Denkhar Gani ;“Paslanmaz Çelikler”,Bitirme Ödevi, ITÜ Kimya-Metalurji Fak. Metalürji Müh.
- [15]ANIK, S.;”ÖrtülüElektrod ile Elektrik Ark Kaynağı”, Gedik Holding A.Ş. Yayını 1991
- [16] TEKİN E.,1992. Mühendisler İçin Çelik Seçimi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: 119, Ankara.
- [17]ÇİĞDEMOĞLU M.,1972. Çelik Alaşımlarının Isıl İşlemleri, M.M.O. Yayın No:73, Şenyuva Matbaası, Ankara.
- [18]THELNİNG K., (Çeviren: TEKİN, A.) 1984. Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı, Hakan Ofset, İstanbul.
- [19]TEKİN A.,1984, Çelik ve Isıl İşlem, Hakan Ofset, İstanbul.
- [20]TOPAŞ A.,1998. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı,Birsen Yayınevi, İstanbul,
- [21]TOPAŞ A.,1993. Isıl İşlemler,Prestij Basın-Yayın, İstanbul.
- [22]“MühendislikMalzemeleri”Prof.Dr.A.HalimDEMİRCİAlfa-2004

BU ÇALIŞMA
SONER KILIÇ

VE

AHMET AL

‘ A AİTTİR.

HİÇBİR ŞEKİLDE
ÇOĞALTILAMAZ VE
İZİNSİZ

KULLANILAMAZ.

BİRÇELİK PASLANMAZ ÇELİK ‘ E TARAFIMIZDAN
GÖNDERİLMİŞ OLUP SADECE <http://www.bircelik.com>
SİTESİNDE YAYINLANMASINA İZİN VERİLMİŞTİR.