

T.C

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

14NiCr10 – 14NiCr14 ÇELİKLERİNİN UYGULANACAK SEMENTASYON
İŞLEMİNE BAĞLI OLARAK YORULMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ERKAN KILIÇ

ŞUBAT 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

Tarih

11/02/2008

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Ortak Danışman

Doç. Dr. Necip CAMUŞCU

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof.Dr.Veli ÇELİK

Doç.Dr.Necip CAMUŞCU

Doç.Dr.M.Hüsnü DİRİKOLU

ÖZET

14NiCr10 – 14NiCr14 ÇELİKLERİNİN UYGULANACAK SEMENTASYON İŞLEMİNE BAĞLI OLARAK YORULMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

KILIÇ, Erkan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Necip CAMUŞCU

Ortak Danışman: Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Şubat 2008, 78 sayfa

14NiCr10 ve 14NiCr14 çeliklerinin uygulanacak sementasyon işlemine bağlı olarak yorulma üzerine etkileri incelenmek istenmiştir. 14NiCr10 ve 14NiCr14 çeliklerinin her birinden 6 adet olmak üzere toplam 12 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin 3 adet grubuna 0.3 mm, diğer 3 adet grubuna 0.6 mm semente yapılarak yağda sertleştirme yapılmıştır. Numunelerdeki sertlik değerleri 14NiCr10'da 59 RSD-C, 14NiCr14'de ise 53 RSD-C olarak elde edilmiştir.

Yapılan yorulma deneyinde test cihazının 240 N yük kapasitesinde ve buna karşılık gelen 563.43 MPa gerilme altında malzemenin 1000120 devire kadar yorulmadığı tespit edilmiş ve tezgahın maksimum uygulayacağı 300 N

yük kapasitesinde ve buna karşılık gelen 704.3 MPa gerilme altında 819710 devir daha yaptırılarak malzemenin yorulmadığı tespit edilmiştir. Toplamda 1819830 devire kadar malzemenin yorulmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: 14NiCr10 – 14NiCr14 Çelikleri, Yorulma, Yorulma Ömrü, Sementite, Sementasyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARBURIZING ON THE FATIGUE PROPERTIES OF 14NiCr10 – 14NiCr14 STEELS

KILIÇ, Erkan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Necip CAMUŞCU

Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

February 2008, 78 pages

The effect of carburizing process on fatigue in 14NiCr10 and 14NiCr14 steels have been investigated 6 specimens of 14NiCr10, 6 specimens of 14NiCr14 totally 12 specimens were prepared "3 pieces group" of these specimens were carburized with the depth of 0.3 mm, the other "3 pieces group" these specimens were carburized with the depth of 0.6 mm and they were quenched in oil. The hardness values of specimens were found as 59 HRC for 14NiCr10, 53 HRC for 14NiCr14.

During the fatigue test under 240 N loading capacity of machine and 563.45 MPa stress, any fatigue was not determined on the material until 1000120 cycles and after, more 819710 cycles were carried out with 300 N

max. loading capacity of machine and 704.3 MPa stress, any fatigue was not determined on the material. There was no fatigue on the material after totally 1819830 cycles.

Key Words: 14NiCr10 –14NiCr14 Steels, Fatigue, Fatigue Life, Carburized, Carburization.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında bilgisini, tecrübelerini ve yardımlarını esirgemeyen tez yöneticisi hocalarım, Sayın Doç. Dr. Necip CAMUŞCU ve Doç. Dr. M. Hüsnu DİRİKOLU 'na ve Makine Mühendisliği Bölümündeki diğer değerli hocalarıma teşekkür ediyorum.

Araştırma ve deneysel çalışmalarım da bana makinelerini, tesislerini, malzemelerini ve laboratuvar imkânlarını veren K.Ü Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarı, MKEK Ağır Silah ve Çelik Fabrikası ve MKEK Silah Fabrikası olmak üzere emeği geçen tüm teknik ekibe, Metalürji Mühendisi Turgay Ünal, Talat Akkaya ve Makine Mühendisi Adil Açıkgöz'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca en içten ilgi, alaka ve bilgilerini esirgemeyen meslektaşım babama ve hayatımda her zaman yanımda olan anneme ve kardeşime şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Çelik Üretimi.....	5
2.3. Çelik Seçiminde Temel Etmenler.....	6
2.3.1. Özellikler.....	7
2.3.2. Bulunabilirlik - Sağlanabilirlik.....	8
2.3.3. Maliyet – Ekonomi.....	9
2.4. Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler.....	11
2.4.1. Yumuşatma Tavlama.....	12
2.4.2. Normalizasyon (Normalleştirme) Tavlama.....	13
2.4.3. Küreselleştirme Tavlama.....	14
2.4.4. Gerilim Giderme Tavlama ve Ara Tavlama.....	15
2.4.5. Su Verme Sertleştirme.....	16
2.5. Alaşım Elementleri.....	17
2.6. Çeliklerin Sınıflandırılması.....	20

2.7. Çelik Türleri.....	20
2.8. Yüzey Sertleştirme İşlemleri.....	39
2.8.1. Alevle ve Endüksiyonla Sertleştirme.....	40
2.8.2. Karbonlama.....	42
2.8.3. Nitrürleme.....	44
2.8.4. Siyanürleme ve Karbonitrürleme.....	46
2.9. Yorulma.....	47
2.9.1. Giriş.....	47
2.9.2. Yorulma Deney Türleri.....	54
2.9.3. Yorulma Deneyi ile İlgili Terimler.....	56
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	61
3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	61
3.2. 14NiCr10 – 14NiCr14 Çeliklerinin Kimyasal Analiz Değerleri.....	61
3.3. 14NiCr10 – 14NiCr14 Çeliklerinin Sementasyon İşlemi.....	62
3.4. 14NiCr10 – 14NiCr14 Çeliklerinin Yorulma Deneyi.....	64
4. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	75
KAYNAK.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. Bazı Çeliklerin Yumuşatma Tavı ve Normalize Edilmiş Durumdaki Mekanik Özellikleri.....	15
2.2. %0.25 C İçeren Soğuk Haddelenmiş Çelik İçin Sertlik ve Çekme Kuvvetleri.....	21
2.3. Ç 4140 Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	26
2.4. Ç 4140 Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	27
2.5. Alaşımsız Soğuk İş Çeliklerinin Mekanik Özellikleri.....	30
2.6. Alaşımlı Soğuk İş Çeliklerinin Mekanik Özellikleri.....	31
2.7. Alaşımlı Sıcak İş Çeliklerinin Mekanik Özellikleri.....	32
2.8. Bazı Martenzitik Paslanmaz Çeliklerinin Kullanım Alanı.....	36
2.9. Bazı Ferritik Paslanmaz Çeliklerinin Kullanım Alanı.....	37
2.10. Bazı Östenitik Paslanmaz Çeliklerinin Kullanım Alanı.....	38
3.1. 14NiCr10 ve 14NiCr14 Çeliklerinin Kimyasal Analiz Değerleri.....	62
3.2. 14NiCr10 Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	67
3.3. 14NiCr14 Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Yorulma Deney Numunesinin Geometrisi.....	48
2.2. Bir Malzemenin Yorulma Eğrileri.....	49
2.3. Wöhler Diyagramı ve Gerilme – Zaman Diyagramı.....	58
2.4. Smith Diyagramı.....	60
3.1. Yorulma Deney Numunesi.....	61
3.2. Gaz Sementasyon Fırınları ve Isıl İşlem Ocakları.....	64
3.3. Yorulma Cihazı.....	66
3.4. Test Numunesinin Bağlantı Şekli ve Kuvvet Uygulama Yönü.....	66
3.5. Test Numuneleri.....	69
3.6. 14NiCr10 ve 14NiCr14 Test Numuneleri Serisi.....	71
3.7. Çekme Operasyonu.....	71
3.8. Çekme Cihazı.....	72
3.9. Çekme İşlemi.....	72
3.10. Çekme Testi Çubuğu.....	72
3.11. Çekme Testi Çubuğu.....	73
3.12. Yorulma Cihazından Bir Görünüm.....	73
3.13. Sertlik Ölçüm Cihazı.....	73
3.14. Yorulma Cihazının Devrini Gösteren Bir Görüntü.....	74

SİMGELER DİZİNİ

α	Ferrit
γ	Östenit
HMK	Hacim Merkezli Kübik Yapı
Fe_3C	Sementit
HMT	Hacim Merkezli Tetragonal Yapı
HB	Brinell Sertliği
HRC	Rockwell Sertliği
VSD	Vickers Sertliği
RSD-C	Rockwell Sertlik Değerinde C

1.GİRİŞ

Sementasyon çelikleri günümüzde yaygın olarak kullanılan bir çelik türüdür. Ayrıca önemli bir mühendislik çeliğidir.

Sementasyon çeliklerinin içinde bulunan elementler bu çeliğin yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Mukavemetin, sünekliğin, sertliğin ve aşınma dayanımının istendiği yerlerde rahatça kullanılabilir. Sementasyon çeliklerinin içinde bulunan elementler bu çeliğin yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Mukavemetin, sünekliğin, sertliğin ve aşınma dayanımının istendiği yerlerde rahatça kullanılabilir.

Tez konusu olan 14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çelikleriyle, Sementasyon işlemine bağlı olarak yorulma konusunda herhangi bir bilimsel çalışmalara ve literatür araştırmalarına rastlanmamıştır. Ancak diğer Sementasyon çeliklerine uygulanan, Sementasyon işlemine bağlı olarak yorulma üzerine çalışmalar aşağıda özet olarak verilmiştir.

Dalenda Jeedi ve arkadaşları ⁽¹⁾ 14 NiCr11 sementasyon çeliği kullanılarak gerekli sementasyon işlemi yapılmış ve yorulma incelenmiştir. Homojen olarak çelik yüzeyine yapılmış sementasyonun yorulma ömrünü arttırdığını ispatlamışlardır. 2 farklı 14NiCr11 sementasyon çeliği hazırlanarak farklı oranlarda sementasyon yapılmış ve yorulma üzerine etkilerini incelemişlerdir.

Yu-kui Gao ve arkadaşları ⁽²⁾ 20CrMnTi sementasyon çeliğinin yorulma özelliklerini incelemişlerdir. 3 adet 10*15*60 mm boyutlarında test numuneleri yapılmış, 940 °C' de gaz sementasyonu ve 180 °C' de 2 saat bekletme yapılarak sementasyon işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak yüzeyde oluşan martenzit yapının yorulma ömrünü önemli ölçüde uzattığını ispatlamışlardır.

By Toru Hayama ve arkadaşları ⁽³⁾ Bu çalışmalarında karbon çeliklerinin yüzeyde arta kalan gerilmelerin yorulma direncini iyi yönde etkilediğini incelemişlerdir. Temperleme sıcaklığının artırılmasının karbon çeliklerinde yorulma direncini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. X – ray cihazı ile deneylerini yapmışlardır.

Jason J. Spice ve David K. Matlock ⁽⁴⁾ Bu çalışmalarında Ç 8620 sementasyon çeliğinin yorulmasını incelemişler ve pinyon dişlileri ile ticari amaç olarak kullanılan dişlilerin yorulma performanslarını ele almışlardır. Gaz sementasyon işlemi yaparak farklı oranlarda semente yapmışlar, endurans limitleri için mukavemetleri bulmuşlar ve karşılaştırma yapmışlardır.

R. S. Hyde ve arkadaşları ⁽⁵⁾ Bu çalışmalarında Ç 4320 çeliğini 930 °C'de gaz sementasyonunda karbonlama yaparak 850 °C'de bir süre bekleterek 65 °C'deki yağ ortamında soğutmuşlar ve 150 °C'de Temperleme işlemi yapmışlardır. Buna bağlı olarak endurans limitlerini belirlemişlerdir.

Takeshi Naito ve arkadaşları ⁽⁶⁾ Bu çalışmalarında JIS SCM 415 sementasyon çeliğini kullanarak 930 °C'de 6 saat karbonlama yapıp 850 °C'de 30 dakika bekletip 70 °C'de yağ ortamında soğutmuşlardır. Daha sonra 180 °C'de 2 saat Temperleme yapmışlardır. 10⁸ devirde 620 MPa, 10⁶ devirde ise 910 MPa yorulma limitlerini belirlemişlerdir.

Masao Kikuchi ve arkadaşları ⁽⁷⁾ Bu çalışmalarında JIS SCM 415 sementasyon çeliğini kullanmışlar, 0.3 mm, 0.6 mm ve 0.8 mm semente kalınlığı elde ederek yorulma özelliklerine bakmışlardır. Semente kalınlığının arttıkça yorulma ömrünün arttığını ispatlamışlardır.

Sadaoki Hisamatsu ve arkadaşları ⁽⁸⁾ JIS SCM 420H ve SCM 822H sementasyon çeliklerini kullanarak sementasyon işlemi yapmışlar ve 2 çelik grubunu yorulma ömürleri açısından karşılaştırmışlardır.

Yorulma genel olarak malzemenin sürekli yükleme altında göstereceği davranış olarak ifade edilebileceği gibi malzemenin hangi devirde ne kadar süre içerisinde yorulacağını da ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca malzemeye uygulanan ısı işlem yorulmaya olumlu etkide bulunmaktadır. Uygulanan ısı işlem malzeme yüzeyinde martenzit yapının oluşmasını sağlar. Oluşan martenzit yapı sonucunda malzemenin dış yüzeyinde sert yapı oluşmaktadır. Martenzit yapı malzemenin yumuşak iç yapısına yastıklama görevi görerek artı basma kuvveti sağlar bu yüzden yorulma ömrünü artırır. Bu tez çalışmasında gaz sementasyonu sonucu yapılan deneylerde uygulanan kuvvete bağlı olarak yorulma özellikleri incelenmek istenmiştir.

Tez çalışmasında iki grup sementasyon çeliği olan 14NiCr10 ve 14NiCr14 çelikleri seçilerek yorulma özelliklerine bakılmıştır. Tez çalışmasındaki amaç seçilen sementasyon çeliklerinin 0,3 mm ve 0,6 mm kalınlığında sementasyon yapılarak yorulma özelliklerine etkisi incelenmek istenmiştir. Toplam 14NiCr10 çeliğinden 6 adet 14NiCr14 çeliğinden 6 adet olmak üzere 12 adet test numunesi hazırlanmıştır. 14NiCr10 çeliklerinin 3 adet test numunelerine 0,3 mm diğer 3 adet test numunelerine 0,6 mm ve 14NiCr14 çeliklerinin 3 adet test numunelerine 0,3 mm diğer 3 adet test numunelerine 0,6 mm gaz sementasyon yapılarak yorulma özelliklerine bakılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çelik ve çelik türleri, çeliğe uygulanan ısıtma işlemleri ve yorulma olayları Detaylı olarak aşağıdaki alt bölümlerde anlatılacaktır.

2.1. Giriş

Çelik, bir Demir (Fe) Karbon (C) alaşımıdır. C' dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri de bulunur. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. Kullanım amaçlarına göre değişik oranlarda çelik yapılarına alaşım elementleri katılarak veya ısıtma işlemleri yapılarak istenen özelliklerde çelikler elde edilir.

Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve Silisyum (Si) çelik bünyesinde bulunan ana elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunur. Diğer elementler ise (Cr, Ni, Ti, Co vs.) istenilen miktarlarda çelik bünyesine ilave edilir.⁽⁹⁾

Çelik demir cevherinden veya hurdadan geri dönüşüm ile iki şekilde üretilmektedir. Sıvı çelik üretildikten sonra döküm ile ingot olarak veya sürekli döküm yöntemi ile kütük veya blum olarak şekillendirilir.

Vasıflı Çelikler alaşımsız, düşük alaşımlı ve alaşımlı çelikler olup, kitlesel olarak üretilen çeliklerden bazı noktalarda ayrılmaktadır.

Çelikler uygulanan ısıtma işlemlere karşı duyarlıdır. Kimyasal içeriklerinin yanı sıra uygulanan ısıtma işlemleri sonucunda istenen sertlik, mekanik ve

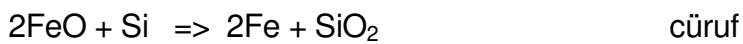
fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerine tam olarak kavuşturulabilirler.

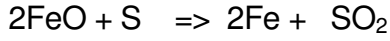
Çelikler belirli sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine kavuşurlar (Haddeme, Presleme, Dövme). Ayrıca çelikler haddeme, presleme gibi yöntemlerle soğuk olarak da şekillendirilebilirler. Birçok talaşlı tezgahlarda da işlenebilirler.

2.2. Çelik Üretimi

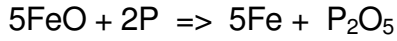
Çelik, herhangi bir işleme tabi tutulmadan dövülebilen, yani şekil değişimine elverişli ve en çok % 2,06 C içeren demir - sementit alaşımıdır.⁽¹⁰⁾ Yüksek fırından çıkan ham demirin içerisinde %3,0 – 4,5 oranında karbon, %0,7 – 3,5 oranında silisyum ve %0,8'den fazla olmamak koşulu ile mangan, fosfor ve kükürt gibi refakat elementleri bulunur. Ancak, çelik içerisinde bulunan kükürt ve fosfor oldukça zararlıdır.

Ham demirde bulunan karbon dâhil bütün katkıların oksijene karşı ilgileri fazladır. Bu nedenle, sıvı durumdaki ham demire çeşitli yollardan hava veya oksijen verilip bu katkıları yakılarak azaltılabilir. Bu işleme "üfleme" adı verilir. Oksijen, önce miktarca en fazla olan demir ile reaksiyona girerek FeO oluşturur. FeO sıvı durumdaki ham demir içerisinde çözünerek refakat elementleri ile reaksiyona girer. Bu şekilde meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.⁽¹¹⁾





baca gazı, cüruf



banyo içinde çözünür

Yukarıdaki reaksiyonlar, çelik oluşumu sırasında oksijenin elementlerle reaksiyona girdiğinde sonuçta cüruf ve baca gazı oluştuğunu göstermektedir. Üfleme usulünde, üflenen hava sıvı metali karıştırma görevi de yaptığından reaksiyonlar hızlı olur.

Yukarıdaki reaksiyonlar sonucunda oksitlenen refakat elementlerinin büyük bir kısmı cürufa veya baca gazlarına karışır. Yalnız fosfor çelik içerisinde kalır. Fosfor, metal olmayan bir element olduğu için bazik bir madde ile bağlanabilir. Bu nedenle, sıvı metale sönmemiş kireç (CaO) katılarak fosforu kalsiyum trifosfat halinde bağlayan bazik bir cüruf oluşturulur

2.3. Çelik Seçiminde Temel Etmenler

Bir parça imalatına kara verildiği zaman tasarım aşamasının sonunda çelik seçimi için önemli etmenlerde belirlenmiş olmalıdır. Belli bir parçanın çelik seçiminde, o parçanın göreceği işleri yerine getirmede en önemli olan özellikler sıralanmalıdır. Özelliklerin yanında bulunabilirlik ve maliyet etmenleri de değerlendirilir. Temel etmenler üç ana bölümde toplanabilir.⁽¹²⁾

— Özellikler

— Bulunabilirlik, sağlanabilirlik

— Maliyet ve ekonomi

Parça imalatına karar verildikten sonra parçanın kullanılacağı yere göre çelik seçimi yapılmalıdır. Seçilen çelik her bakımdan kullanılacak yerde tüm istenilen işlevleri yerine getirmelidir.

2.3.1. Özellikler

Bir parça imalatına karar verildiği zaman çelik seçiminde en önemli olan mekanik özellikler belirlenmelidir. Aşağıda bazı istenilen mekanik özelliklere örnekler gösterilmiştir.

- Eğer parça bir destek görevi göreceyse en önemli özellik basma gerilimi olabilir;
- Eğer, çarpmalı bir çalışma söz konusu ise çarpma dayanımı çok önemlidir;
- Titreşimli ya da çevrimsel yük uygulamalarında yorulma dayanımı en önemli özelliktir;
- Gerekli torku karşılayabilmek için şaft için seçilen çeliklerde kesme dayanımı önemlidir;
- Yay için seçilecek çeliklerde esneklik katsayısı çok önemlidir;
- Bazı kalıp ve takımlar için seçilen çeliklerde ise aşınma direnci çok önemlidir;
- Isıl işlem uygulanacak çeliklerde sertleşebilirlik çok önemlidir;

Ayrıca kimyasal özelliklerde mekanik özellikler kadar önemlidir. Kimyasal özellikler arasında en önemlisi yenim direncidir: Gerek oksitlenmeye karşı gerekse kimyasal ya da elektro-kimyasal ortamlarda yenime karşı çeliğin göstereceği direnç ilk düşünülmesi gereken özellik olabilir. Paslanma olursa çelik parçanın çalışması etkilenir mi? Besinleri korumak amacıyla bir kullanım söz konusu ise yenim, sağlığı etkileyici

sonuçlar doğrur mu? Yenim olayı kabul edilebilirse bile, yenim hızı kabul edilebilir mi? Bu ve benzeri sorulara verilecek yanıtlar en uygun elik seçiminin yapılmasında etkindir.

2.3.2. Bulunabilirlik - Sağlanabilirlik

Bulunabilirlik – Sağlanabilirlik etmeni elik seçiminde değerlendirilmesi gereken temel etmendir. Bir parça tasarımında elik seçimine geçildiğinde, kullanılacak çeliğin bulunup bulunmaması çok önemlidir. Üretilen parçanın çeliği stokta veyahut başka bir fabrikada bulunabiliyorsa sorun olmaz. Her Őeye karşın, eğer elik el altındaki stoklardan karŐılanamıyorsa, sorulması gereken ikinci soru Şudur: İstenen elik piyasadan ya da toptancılardan sağlanabilir mi? Bunun yanıtı olumsuz olduğunda çeliğin, yurt içindeki bir elik üreticisinden sağlanıp sağlanamayacağı saptanmalıdır. İstenilen eliğin yurt içinden sağlanması teknik olanaklar bakımından olası bulunsa da, bununla i içe iki soru daha yanıtlanmak zorundadır: Bunların ilki, istenilen çeliğin miktarı en az üretim kısıntısının altında mıdır? Yani ekonomik açıdan üretilebilir mi? Diyelim ki gereken elik 3 tondur. Bunu teknik açıdan üretebilecek bir elik kuruluşunun elindeki en küçük elektrik Ark Ocağı 15 ton kapasiteli ise ve istenilen elik için başka hiçbir sipariş yok ise, elik Őirketi 12 ton çeliği stoklarına geçirmeyi göze almayıp sipariŐi geri çevirebilir. İkinci soru ise teslim süresi ile ilgilidir. Tasarımı yapılan parçanın bir "bitirme programı"na (termin programı) göre bitirilmesi gerekecektir. Bu bakımdan, yurt içinde teknik yönden üretilebilecek olan çeliğin sipariŐi kabul edilirse bile teslim süresinin tasarımı yapılan makine ya da parçanın bitirme programına

uyması gerekir. Buna güzel bir örnek dövme parçalardan verilebilir. Olağan çalışması içinde bir fabrikanın "üretim programı" vardır. Yeni alınacak siparişler, bu üretim programını aksatmayacak biçimde onun içine yerleştirilir; ya da parça iş yapan bir küçük kuruluşta belli bir sıralamaya sokulacaktır. Hangi durumda olursa olsun kendi çalışma koşullarına göre bir teslim süresi vereceklerdir. Dövme parçalarda büyüklüğe ve diğer işlere bağlı olarak bu süre 5 ay ile 12 ay arasında değişebilir. Eğer bu teslim süresi kendi bitirme programımıza uymuyorsa, çelik seçiminde bu da bir kısıtlayıcı etmen olacaktır.

Görüldüğü gibi çelik seçimi, tasarım işinin bir yanı olduğu gibi, bulunabilirlik – sağlanabilirlik de çelik seçiminin önemli bir yanını oluşturmaktadır.

Ayrıca tasarımı yapılacak olan parçanın çeliği bulunamıyorsa yine aynı nitelikleri taşıyan benzer çelik malzeme grupları da kullanılabilir.

2.3.3. Maliyet - Ekonomi

Çelik için Bulunabilirlik – Sağlanabilirlik etmeni belirlendikten sonra Maliyet – Ekonomi etmeni ön plana çıkar.

Maliyet – Ekonomi etmeni çelik seçimi için önemli olan etmendir. Parça üretimi için gerekli olan çeliğin en uygun şartlarda en iyi fiyatlarla temin etmek gerekir. Ayrıca kullanacağımız yere bağlı olarak çelik seçimi yapmak Maliyet – Ekonomi etmeni açısından çok önemlidir. Düşük alaşımli bir çeliğin kullanılacağı yerde yüksek alaşımli bir çelik kullanırsak maliyet ve ekonomiyi

artırılmış oluruz. Çelik seçimi, teknik açıdan ve bulunabilirlik bakımından belli seçeneklere indirgenebiliyorsa bunlar arasında, yapılacak bir fiyat karşılaştırması en ucuzunu belirleyecektir. Karşılaştırmalı fiyatları tüm zamanlar için vermek olası değildir. Bilindiği gibi ülkelerin ekonomik düzeylerine, savaş ya da barış durumuna, alaşım elementlerinin o an için bulunabilirlik ve geçerli fiyatlarına, stokların azlığına çokluğuna göre çelik fiyatları da yüksek ya da düşük olabilmektedir, örneğin eskiden bir oranda kabul edilebilir düzeylerde olan molibden (Fe - Mo) fiyatları, son üç -beş yılda çok yüksek düzeylere erişmiş ve bileşiminde molibden bulunan 86XX ve 43XX türü çeliklerin fiyatlarını da oldukça yükseltmişlerdir.

Molibden, çeliklerde kullanılan alaşım elementleri içinde en pahalılarından biridir. Kilosunun fiyatı bir kilo yapı çeliğinin fiyatının yaklaşık 400 katına erişmektedir. Ne var ki çelik bileşimlerinde katımı genellikle % 0.15 – 0.25 Mo düzeyindedir. Yüksek hız çeliklerinin bileşimine giren kobalt da fiyatı çok yüksek olan metallere dendir: Kobaltın kilosu da yalın karbonlu yapı çeliklerinin 80-100 katına erişmektedir.

Sertleşebilirlik özelliğini olağanüstü artıran bor ise yapı çeliklerinin fiyatının 1000 katından yüksektir. Yapıdaki miktarının yüz binde düzeylerinde bile olması etkisi için yeterlidir.

Çelik fiyatları yukarıda değinilen genel etmenler ile zaman ve yere bağımlı olarak değişmekte ise de göreceli olarak bir fiyat karşılaştırması, yalnızca genel bir fikir verebilmek amacıyla, şöylece yapılabilir: En çok ve yaygın olarak kullanılan yalın karbonlu yapı çeliklerinin belli bir zamandaki

ortalama fiyatına 1 birim dersek diğer çeliklerin ortalama fiyatları aşağıdaki gibi bir karşılaştırmada sıralanabilir.

— Yalın karbonlu yapı çelikleri	1.00
— YDDA çelikleri	1.25 – 1.40
— Düşük alaşımlı makine yapı çelikleri	1,8
— Paslanmaz çelikler	7,5 – 10
— Takım çelikleri	8–12
— Yüksek alaşımlı takım çelikleri	20

2.4. Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler

Isıl işlem metal ve çeliklere istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla yapılan belirli ısıtma ve soğutma işlemidir.

Çeliğe uygulanan ısıl işlemler, çeliğin östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Isıl işlemler çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler.

Isıl işleme, çeliğin Östenitleştirilmesi ile başlanır. Çelik malzeme, alt kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_1) üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Isıtma hızı çok önemli bir faktör olup ısıtmaya bağlı olarak çarpılma söz konusu olabilir. Bundan dolayı çelik yapısında hasar riskini azaltmak için çelikler yavaş ısıtılır.⁽¹³⁾

Östenitleştirme, çeliğin Ac_1 sıcaklık çizgisi üzerindeki optimum sıcaklığa kadar ısıtılıp, yapısının tamamen östenite dönüştürülmesi işlemidir. Ötektoid altı çelikler üst kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_3) 40–60 °C üzerindeki sıcaklıklarda östenitleştirme işlemine tabi tutulurlar. Ac_3 çizgisinin altındaki sıcaklıklarda ise çelik içerisinde Ötektoid dışı ferrit bulunur. Bu ferrit oranı karbon oranına

bağlıdır. Ötektoid dışı ferrit, su verme işleminden sonra da yapıda aynen kalarak çeliğin sertleşmesini engeller.

Ötektoid üstü çelikler ise, Ac_1 ile bu çeliklere ait üst kritik sıcaklık çizgisi (Ac_m) arasındaki sıcaklıklarda östenitleştirilirler. Östenitleştirme işleminin çok yüksek sıcaklıklarda yapılması durumunda çelik yapıda çarpılma, çatlama, tane büyümesi gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir. Bundan dolayı çelikler olabildiğince düşük sıcaklıklarda östenitleştirilir. Çeliğe uygulanan ısı işlemler aşağıda açıklanmaktadır.

2.4.1. Yumuşatma Tavı

İstenilen çelik yapısını mekanik ve fiziksel özellik bakımından ayrıca talaşlı ve talaşsız imalat bakımından kolaylaştırmak için yapılan ısıtma ve yavaş soğutma işlemine tavlama denir.

Yumuşatma tavı çeliğin sertliğini azaltmak, talaşlı ve talaşsız imalatı kolaylaştırmak ayrıca çelik malzemedeki oluşabilecek iç gerilmeleri azaltmak için ötektoid altı çelikleri Ac_3 , ötektoid üstü çelikleri ise Ac_1 sıcaklığı üzerine kadar ısıtıp, östenitleştirme sağlanıp daha sonra fırın içinde tutarak yavaş soğutma işlemidir. Yumuşatma tavı tane küçültmek için yapılır. Östenitleştirme işleminden sonra yumuşatma tavı için demir – Sementit (Fe- Fe_3C) diyagramı kullanılabilir.⁽¹⁴⁾

Demir – Sementit diyagramı kullanılarak yumuşatma tavında %0,2 C içeren ötektoid altı bir çelik uygun sıcaklıklara kadar ısıtılarak uygun yapılar elde edilir (perlit, ferrit gibi). Daha sonra uygun sıcaklıkta fırın içerisinde

soğutularak yumuşatma tavlama yapılmış olur. Bu bağlamda çelik için istenilen fiziksel, mekaniksel özellikler sağlanmış olur.

Çelik içerisinde bulunan alaşım elementleri genelde östenitin oluşum hızını azaltır. Bu da yumuşatma tavlama sıcaklıklarını etkiler. Ötektoid altı çelikler yumuşatma tavlama tabii tutulduklarında ötektoid dışı ferrit ile kaba lamelli perlit yapı oluşturur. Genel olarak yumuşatma tavlama tane küçültmek ve mekanik özellikleri arttırmak için kullanılan bir ısıtma işlem türüdür.

2.4.2. Normalizasyon (Normalleştirme) Tavlama

Normalizasyon tavlama çelik yapısında tane küçültmek, mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri A_{c3} , ötektoid üstü çelikleri A_{cm} sıcaklığının 45 – 55 °C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, fırın dışında sakin atmosfer ortamında soğutma işlemidir. Normalizasyon tavlama ile homojen bir yapı elde edilir, tane küçültülür, çelik yapısının mekanik özellikleri iyileştirilir. Ayrıca yumuşatma tavlama sonrasında bu ısıtma işlemi yapılsa sertlik ve mukavemette artış sağlanır. Bu bağlamda çeliklere uygulanan son ısıtma işlemi olarak da bilinir.

Normalizasyon tavlama sonrasında atmosfer ortamında soğutma işlemi yapıldığından ötektoid altı çeliklerde yumuşatma tavlama tabii tutulan çeliklere göre daha düşük oranda ötektoid dışı ferrit, ötektoid üstü çeliklerde ise ötektoid dışı sementit oluşur.⁽¹⁴⁾

Ötektoid üstü çeliklerde ötektoid dışı sementit çelik mukavemetine büyük etkide bulunur. Yumuşatma tavında mukavemetin düşmesine, normalizasyon tavında ise mukavemetin artmasına neden olur.⁽¹⁵⁾

Normalizasyon tavında yumuşatma tavına göre daha ince ve yüksek oranda perlit oluşur. Yumuşatma tavında perlitin sertlik değeri 10 RSD-C iken, normalizasyon tavında 20 RSD-C değerine ulaşır. Bu sertlik artışı malzemenin mukavemetini ve sertliğini artırır.

2.4.3. Küreselleştirme Tavı

Küreselleştirme tavı, genel olarak çeliklerin A_{c1} sıcaklık çizgisi civarında uzun süre periyodik olarak tavlınması sonrasında yavaş soğutma yapılarak karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Küreselleştirme tavı ile çelik yapısında sertlik azalır, süneklik artar. Bu bağlamda çeliklerin talaşlı imalat işlemlerini kolaylaştırır. Küreselleştirme tavında malzeme A_{c1} çizgisinin hemen altındaki sıcaklıkta 680 °C' de uzun süre (15 – 30 saat) tavlınır. Ya da salınımlı olarak A_{c1} sıcaklık çizgisinin üstünde veya altındaki sıcaklıklarda ısıtılıp soğutularak küreselleştirme tavı yapılır.

Küreselleştirme tavı daha çok yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. Düşük karbonlu çelikler nadiren küreselleştirme tavına tabi tutulurlar. Çünkü bu tür çelikler Küreselleştirme tavı sonunda çok yumuşarlar ve bu aşırı yumuşama talaşlı işlem sırasında bazı zorluklar doğurur. Küreselleştirme tavı orta karbonlu çeliklere de süneklik kazanmaları için bazen uygulanabilir. Küreselleştirme tavı yapılırken tavlama süresi iyi belirlenmelidir. Eğer

gereğinden fazla tavlama yapılırsa çeliğin işlenme kabiliyetini azaltır. Uygulanacak ısı işlemler çeliğin karbon oranına göre seçilir.

Bazı çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulmuş ve normalize edilmiş durumdaki mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı Çeliklerin Yumuşatma Tavı ve Normalize Edilmiş Durumdaki Mekanik Özellikleri

İşlem	Karbon oranı (%)	Akma mukavemeti (N/mm ²)	Çekme mukavemeti (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)	Sertlik (BSD)
Yumuşatma tavı	0,01	124	283	47	90
	0,20	148	407	37	115
	0,40	303	517	30	145
	0,60	338	667	23	190
	0,80	359	793	15	220
	1,00	359	745	22	195
	1,20	352	703	24	200
	1,40	345	683	19	215
Normalizasyon tavı	0,01	179	310	45	90
	0,20	310	441	35	120
	0,40	352	586	27	165
	0,60	414	752	19	220
	0,80	483	924	13	260
	1,00	690	1048	7	295
	1,20	690	1055	3	315
	1,40	662	1021	1	300

2.4.4. Gerilme Giderme Tavı ve Ara Tavı

Gerilme giderme tavı soğuk şekil verilmiş veyahut kaynak edilmiş malzemelerin iç gerilmelerini azaltmak için yapılan ısı işlemidir. Bu ısı işlem malzemenin dönüşüm sıcaklıklarının altındaki uygun sıcaklığa kadar ısıtıp

ve sonra yavaş soğutma şeklinde yapılır. Çelik malzemeler 540°C ile 630°C arasındaki sıcaklıklarda gerilme giderme tavına tabi tutulurlar.

Ara tavlama ise, gerilme giderme tavına çok benzeyen bir işlem olup, ötektoid altı çelikleri A_{c1} dönüşüm sıcaklığının hemen altındaki bir sıcaklığa (550–680°C) kadar ısıtılıp yeniden kristalleşme sağlandıktan sonra yavaş soğutulması işlemidir.

2.4.5. Su Verme Sertleştirilmesi

Çeliklere uygulanan tavlama işlemi tamamlandıktan sonra çelik malzeme soğumaya bağlı olarak yapısal değişiklik gösterir. Östenit içerisinde çözülmüş durumda bulunan karbon atomları difüzyon ile östenit yapıdan ayrılırlar. Demir atomlarının konumları biraz değişerek hacim merkezli kübik (HMK) kafes yapısı oluştururlar. Soğuma hızı arttırıldığında belli bir değerin üzerine çıkarıldığında karbon atomları difüzyon ile katı çözültiden ayrılmak için yeterli zaman bulamazlar. Sonuçta HMK yapıya dönüşüm olmaz ve farklı bir yapı oluşur. Hızlı soğuma sonucu oluşan bu yapıya “martenzit” adı verilir. Martenzit, karbon ile aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal (HMT) yapıya sahip bir katı çözültidir.

Martenzit yüksek sertliğe sahiptir. Martenzitin sertliğinin yüksek olmasının en önemli nedeni, kafes yapısının aşırı ölçüde dislokasyona uğraması, yani çarpıtılmış olmasıdır. Kafes yapısının çarpılması da dislokasyon hareketinin zorlaşmasına veya engellenmesine neden olduğundan, su verilen çeliklerin sertlik ve mukavemetleri artar.

Su verilen çeliklerde martenzit yapı mikroskop altında diken veya iğne biçiminde gözükür. Bazen de saman demetini andıran bir görünüm olarak da görülebilir.

2.5. Alaşım Elementleri

2.5.1. Karbon (C): Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen etmendir. Karbon, eliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır.

2.5.2. Mangan (Mn): Mangan eliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Çeliğin sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt FeS bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılganlığa neden olur.

2.5.3. Silisyum (Si): Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır.

2.5.4. Fosfor (P): Fosfor eliğin akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini kötü yönde etkiler. Çeliğin talaşlı imalat yöntemini kolaylaştırır. İstenmeyen bir element olarak elik bünyesinde bulunduğundan mümkün mertebe elik yapısından uzak tutulmalıdır.

2.5.5. Kükürt (S): Çelik yapılarda kükürt akma ve çekme mukavemetine pek etki yapmaz. Süneklığı ve tokluğu büyük ölçüde azaltır. Sadece otomat çeliklerinde kükürt miktarı yüksek tutulur. Yüksek tutulmasındaki amaç talaş kırılmasını arttırmaktır. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum kükürt miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035 dir.

2.5.6. Krom (Cr): Krom, korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir.

2.5.7. Nikel (Ni): Çelik yapısında Nikel, darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı %7–20 arasındadır.

2.5.8. Molibden (Mo): Molibden çeliklerin sürünme dayanımını ve aşınma direncini yükseltir, tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır, Meneviş gevrekliğini giderir. Alaşımli takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır.

2.5.9. Kobalt (Co): Alaşımli takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinin sıcakta sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır.

2.5.10. Tungsten (W): Aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir

2.5.11. 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 kullanılır.

2.5.12. Titanyum (Ti): Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturuçu alaşım elementi olarak kullanılır.

2.5.13. Niyobyum (Nb): Mikro alaşımli çeliklerde tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde titanyumla birlikte veya tek başına kullanılır.

2.5.14. Alüminyum (Al): Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir. Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır, nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir.

2.5.15. Kalay (Sn): Akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez, fakat sıcak haddemelerde sorunlar yaratır. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddeme sırasında kopmalara neden olur.

2.5.16. Bakır (Cu): Akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Korozyon direncini yükselten etki gösterir.

2.5.17. Kurşun (Pb): Haddenebilirliği azaltır, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Kurşun çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine arttırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır.

2.5.18. Azot (N): İstenmeyen bir elementtir. Azot kırılganlığa neden olur, eğme özelliklerini çok kötüleştirir.

2.5.19. Hidrojen (H): Hidrojen gevrekliğe neden olur. Azottan daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır.

2.6. Çeliklerin Sınıflandırılması

Çelikler alaşımlı ve alaşımsız çelikler olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Alaşımsız çelikler, bileşimlerinde demir ve karbondan başka yaklaşık olarak %0,5 Si, %1,0 Mn, %0,1 Al, %0,25 Cu, %0,09 P ve %0,06 S içerirler. Karbon oranı %0,8'den az olanlara ötektoid altı, % 0,8 olanlara ötektoid ve % 0,8'den daha fazla olanlara da ötektoid üstü çelikler denir. Alaşımlı çelikler de az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Alaşım elementi oranlarının toplamı %5'den az olan çeliklere az alaşımlı çelikler, alaşım elementi oranlarının toplamı %5'den daha fazla olan çeliklere de yüksek alaşımlı çelikler denir.

Çelikler, genel yapım çelikleri, sementasyon çelikleri, nitrürasyon çelikleri, otomat çelikleri, makine yapım çelikleri, yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler, paslanmaz çelikler ve takım çelikleri gibi pek çok sınıfa ayrılırlar.

2.7. Çelik Türleri

2.7.1. Karbonlu Çelikler

Karbon oranı % 0.30 ya da yukarı olan çelikler su verilip sertleştirilebilir. AISI/SAE karbonlu çeliklerinden en çok kullanılan su verilme ile sertleştirilen çelikler 1040, 1045, 1050, 1060 ve 1080'dir.

Sıcak ve soğuk olarak şekillenmiş karbon çelikleri günümüzde yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Kullanım alanlarına göre ve istenilen görevleri yerine getirmekte bu çelikler kullanılır. Sıcak ve soğuk olarak haddeme işlemleri bu çeliklere uygulanır.

AISI/SAE ve ASTM standartlarına göre, soğuk bitirilmiş çelik çubuk ve saclar çeyrek sert, yarı sert, tam sert ve yüzey haddelenmiş diye ayrılabilirler. Örneğin, en çok % 0.25 C içeren soğuk haddelenmiş çelik şeritler için geçerli değerler şunlardır.

Çizelge 2.2. %0.25 C İçeren Soğuk Haddelenmiş Çelik İçin Sertlik ve Çekme Kuvvetleri

İşlem Durumu	Rockwell B -Sertliği	ÇekmeDayanımı MPa
No. 1 tam sert.....	B-85 en az	620
No. 2 yarı sert.....	B - 70-- B - 85	450
No. 3 çeyrek sert.....	B - 60--B - 75	380
No. 4 yüzey haddelenmiş.....	B - 65 en çok	350
No. 5 tam yumuşak.....	B - 55 en çok	350

Sac ve şeritler yüksek sertlik değerlerinde üretilmezler. Saclara, hem yüzey düzgünlüğünü kazandırmak ve hem de çekme gerinimlerini gidermek için genellikle yüzeyleri haddelenir.

2.7.2. Düşük Alaşımli Çelikler

Düşük alaşımli çelikler, bünyesinde %5'den az toplam alaşım elementi bulunduran çeliklerdir. AISI/SAE çelik bölümlenmesinde 13XX, 4XXX, 5XXX, 6XXX, 8XXX ve 9XXX simgeli çelikler düşük alaşımli çelikleri oluşturur. Bunların kimisi tek alaşım elementli, kimileri iki ve bazıları da üç alaşım elementlidir. Alaşım elementi oranı arttıkça, toplam etkileri de artar.

Çelik bünyesinde bulunan alaşım elementleri çeliğin evre dönüşümleri ve dönüşüm sıcaklıklarını etkiler. Bu bağlamda alaşım oranı arttıkça daha yavaş soğuma hızlarında çeliğin sertleştirilmesi gerçekleştirilebilir.

Alaşımmanın en önemli etkisi sertleşebilirliği artırmaktır; eş ısı dönüşüm eğrileri bu etkiyi gösteren bir ölçüdür. Konumları sıcaklık ekseninden ne denli uzak olursa çelik o denli kolay sertleştirilebilir. Alaşım oranı yüksek olanların sertleşme derinlikleri daha yüksek, düşük olanların ise daha azdır. Alaşımlama ile sertlik arttırılacağı gibi diğer yenim direnci, talaşlı işlenebilirlik, kesme dayanımı gibi fiziksel özelliklerde arttırılabilir.

2.7.3. Karbonlama Çelikleri (Sementasyon Çelikleri)

Karbonlama, su verilen çeliklerde çelik yapısının içerisinde bulunan toplam alaşım miktarına, karbon miktarına, kabuk derinliğine ve kabuğun içyapısı ile iç gerilmelerin dağılımına bağlıdır. Çeliğin ilk karbon yüzdesi kabuğun karbon yüzdesini pek etkilemez. Kabuğun sertleşebilirliği doğrudan alaşım yüzdesine ve karbonlama sonucu oluşturulan kabuğun karbon yüzdesine bağlıdır.

Karbonlama işleminin yapılmasının nedeni alaşımlı çeliklerin ısı işlem sonrasında yağ veya su ortamında soğutulmuş yüksek yüzey sertlik değerlerine ulaşmasıdır. Düşük alaşımlı Karbonlama çelikleri su verildiklerinde çarpılma ve çatlama olasılıkları daha azdır. Bunların çelik seçimlerinde genel yaklaşım şudur: Karbonlanmış çelikler yağda su verildiklerinde yüzey sertliği en az 58 RSD-C değerine ulaşabilmelidir. Kesit alanı büyüdükçe daha yüksek alaşımlı çelik kullanılmalıdır; böylece gerekli olan daha yüksek sertleşebilirlik sağlanmış olur.

Kabuk sertleşebilirliklerine göre Karbonlama çelikleri 3 bölüme ayrılabilir; Düşük sertleşebilirlikli, 40XX, 50XX, 51XX, 61XX ve 81XX; orta sertleşebilirlikli, 43XX, 47XX, 86XX, 88XX ve 94XX; yüksek sertleşebilirlikli, 48XX ve 93XX.

Düşük sertleşebilirlikli karbonlama çelikleri küçük çaplı ve küçük kesit alanlı parçalar örneğin mil, pim için seçilirken yüksek sertleşebilirlikli karbonlama çelikleri büyük çaplı ve büyük kesit alanlı parçalar örneğin krank milleri ve büyük dişliler için seçilebilir.

Orta sertleşebilirlikli karbonlama çelikleri ise otomotiv ve traktör sanayinde dişliler, piston pimleri, rulmanlı yataklar v.b. uygulamalarda geniş biçimde kullanılırlar.⁽¹⁵⁾

Karbonlama çeliklerinin karbon oranları % 0.10–0.20 C arasındadır. Bunların çelik seçimi uygulama ve tasarım etmenlerine bağlıdır. Genel olarak, yüksek basma yüklerinin olduğu uygulamalarda, örneğin millerde kabuğa destek sağlamak için, yüksek gövde sertliği ve bunun için de %

0.20 civarında karbon içeren çeliklerin seçilmesi gerekir. Düşük gövde sertlikleri ise tokluğun önemli olduğu örneğin dişlilerdeki uygulamalar için yararlıdır; bu nedenle de düşük karbon yüzdeli çelikler tokluk özeliğinin önemli olduğu uygulamalar için seçilirler. Bu çeliklerin hemen tümü, küçük taneli olarak üretilir ve bu nedenle karbonlama işlemi sonrası doğrudan su verilebilir.

Düşük alaşımlı karbonlama çeliklerine karbonlama öncesi normalleştirme ısı işlemi uygulanır. 40XX-88XX arasındaki tüm karbonlama çelikleri genellikle 900 -925°C sıcaklıklarda ve 93XX çelikleri ise 875 -925°C arasında karbonlanır. Bunlara doğrudan yağda su verilebilir. 4320 çeliği 830 – 850°C sıcaklıklarda, 4620 ve 4720 çelikleri 815 – 850°C sıcaklıklarda; 4820 çeliği 800 – 830°C sıcaklıklarda, 8620 ve 8720 çelikleri 850 – 875°C sıcaklıklarda ikinci kez östenitleşip yağda su verilebilir. Su verme sonucu bu çeliklerin tümüne 125–175°C arasında menevişleme uygulanır.

2.7.4. Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşımlı (YDDA) Çelikler

Bu çelikler ilk ABD’ de geliştirilmiş olup, karbonlu yapı çeliklerinden daha yüksek mukavemete sahip çeliklerdir. Sadece mukavemet yönünden üstünlüğü olmamakla birlikte birçok sanayi, taşıma araçları ve gemi yapım sanayisinde kullanılır. Bu sayede ağırlık ve enerjiden kazanç sağlanmıştır.

Yüksek Dayanımlı Çelikler 4 temel bölüme ayrılırlar:

— Sıcak Haddelenmiş Perlitli Yapı Çelikleri: Bunlar hem yüksek dayanımlı çelikler ve hem de yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (YDDA) çelikler diye anılırlar. En az akma dayanımları 275 – 345 MPa aralığındadır; bileşimleri

üreticilere bırakılmıştır ve ASTM A 242, A 568 ve SAE J 410 C standartlarına uyarlar.

— Çok Az Alaşımli YDDA Çelikleri: Bu çeliklerin mekanik özellikleri, çok düşük oranlarda özel alaşım elementi katımları ve denetimli haddeleme ile sağlanır.

— Karbonlu Çelikler: Bu bölümdekilere, genellikle, ya normalleşme ya da su verilip menevişleme uygulanır. En az akma dayanımları 290–690 MPa arasındadır; istenildiğinde en az tokluk değeri kısıtları da belirtilir.

— Su verilip Menevişlenmiş Düşük Alaşımli Çelikler: Bu bölümdeki çeliklerin en az akma dayanımları 552 – 758 MPa arasındadır; ASTM A 514 standardına uyarlar.

YDDA çeliklerini kapsayan ve en çok kullanılan standart SAE J 410 C standardıdır. Bu standartta verilen çelikler üç rakamlı bir sayı ve bunu izleyen bir harf ile simgelenirler:945X, 950D gibi. Bu simgelerin çeliklerin bileşim ya da dayanım düzeyleri ile doğrudan bir bağlantısı yoktur. Fakat sayılar büyüdükçe dayanım da artar. Anılan standarda uygun üretilen çeliklerin tümünde kükürt en çok % 0.050 S ve silis en çok % 0.90 Si düzeyinde tutulur.

2.7.5. Çok Yüksek Dayanımlı Çelikler

Çok yüksek dayanımlı çelikler, diğer çeliklerin dayanım düzeylerinden oldukça yüksek olan yapısal çeliklerdir. Bunların tanımına giren çeliklerin en az akma dayanımları 1380 MPa (200 ksi) olarak kabul edilir. Bu çelikler her

bakımdan mukavimli çeliklerdir ve mekanik özellikleri oldukça yüksektir. Bu bölüm içerisinde yer alan bazı çelikler ve genel özellikleri şöyle özetlenebilir.

2.7.6. Düşük Alaşımli Çelikler

Bu başlık altında çok yüksek dayanımlı çeliklerin birçoğu % 0.30 - % 0.50 C içeren standart AISI/SAE düşük alaşımli çeliklerdir. Bazıları su verilip menevişleme işlemi yapıldıktan sonra akma dayanımları 1700 MPa ve çekme dayanımları 2000 MPa üzerine çıkabilmektedir. En yaygın olarak kullanılanları 4130, 4140, 4330, 4340, 6150 ve 8640 çelikleridir. Bunlardan bir örnek olarak, 4140 çeliğinin mekanik özellikleri aşağıya çıkarılmıştır.

Çizelge 2.3. Ç 4140 Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Meneviş Sıcaklığı (°C)	Çekme Dayancı (MPa)	Akma Dayancı (MPa)	50mm'de %Uzaması	% Alan Küçülmesi	Sertlik (HB)	İzod Çarpma Erki
205	1965	1740	11.0	42	578	15
315	1720	1570	11.5	46	495	9
425	1450	1340	15.0	50	429	28
540	1150	1050	17.5	55	341	65
595	1020	910	19.0	58	311	93
650	900	790	21.0	61	1277	112
705	810	690	23.0	65	235	136

Yalnız, bu verilen değerler standart çekme deneylerinden elde edilen sonuçları yansıtmakta ve büyüklük etmeninin etkisini göstermemektedir. Parça büyüdükçe mekanik özelliklerin nasıl değiştiği 540 °C sıcaklıkta menevişlenmiş 4140 çeliği için şu örnekten görülebilir.

Çizelge 2.4. Ç 4140 Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Çap (mm)	Çekme Dayancı (MPa)	Akma Dayancı (MPa)	50mm'de % Uzama	%Alan Küçülmesi
25	1140	820	15	50
50	920	750	18	55
75	860	655	19	55

Standart çeliklerin dışında, bileşim değişiklikleri içeren bir dizi özel çelikler de geliştirilmiştir. Örneğin, düşük meneviş sıcaklıklarında görülen gevrekleşmeyi azaltmak amacıyla geliştirilen 400 M çeliği silis oranı % 0.30 Si değerinden % 1.6 Si değerine çıkarılmış bir 4340 çeliği gibidir. Bunun gibi, özellikle uçak ve füze sanayi için geliştirilmiş olan ve 1800–2000 MPa dayanım düzeylerine sahip Ladish D-6a ve D-6ac diye bilinen çelikler de krom oranı (1.50 Cr), molibden oranı (% 1 Mo) ve vanadyum oranı (% 0.07) artırılmış, nikel oranı (% 0.55 Ni) düşürülmüş 4340 çelikleri gibidir. Düşük alaşımlı çeliklerin fiyatları diğerlerine göre en düşük olanlarıdır. Bunların sertleşebilirlikleri yüksektir; kaynaklanabilirler. Yüksek dayanım, düzeylerinde de toklukları birçok uygulama için yeterlidir. En çok ve yaygın olarak kullanılanlar bu bölüm çelikleridir. Bu çeliklerin tümü ya vakum altında eritilip

dökülür ya da havada eritilip dökülür ve vakum altında ikinci bir eritme işlemi uygulanır. Amaç, katışık ve kalıntılardan arındırılmış çelik üretmektir. Vakum altında eritilmiş çeliklerde süneklik ve yorulma özellikleri büyük ölçüde artış göstermektedir.

2.7.7. Orta Alaşım Hava Çelikleri

Bu çelikler çoğunlukla % 5 Cr ve % 0.5 -1.5 Mo içeren çeliklerdir. H11 ve H13 en güzel örnekleri oluşturmaktadır. Bileşimi değiştirilmiş H11 sıcak iş çeliği olan H11Mod çeliğinin bileşimi standart H11 çeliğinkinden çok az farklılık gösterir.

2.7.8. Yüksek Alaşım Çelikler

Bu çeliklerin tümü de bileşimlerinde toplam olarak en az % 15 alaşım elementi içeren çeliklerdir; genellikle, 9 Ni — 4 Co çelikleri, paslanmaz çelikler ve maryaşlanır çeliklerden oluşurlar.

2.7.9. Takım Çelikleri (İş Çelikleri)

Takım çelikleri, genel olarak çeşitli takımların ve ölçü aletlerinin imalatında kullanılan çeliklerdir. Takım çeliklerinde fiziksel özellikler olarak sertlik, tokluk ve ısı iletkenliği ön plana çıkmaktadır. Alaşimsız takım çelikleri öncelikle aşınmaya karşı dayanımlarından ve yeterli tokluklarından dolayı talaşlı işlemlerde kullanılan takımlarda kullanılırken, alaşım soğuk iş çelikleri alaşimsızlara oranla daha sünek, daha tok çelikler olmalarından dolayı zımba ve kesme bıçakları gibi talaşlı işlemlerin yanında el aletlerinin

yapımında, dövme ve diğer plastik şekillendirme kalıplarının yapımında, plastik malzeme kalıplarının yapımında ve çeşitli teçhizatların imalatında kullanılırlar.

Sıcak iş çelikleri genel olarak kalıp imalatında kullanılır. Bunlar istisnalar dışında kesici takımlarda kullanılmazlar. Çalışma sıcaklığı 200 °C'nin üstünde olan dövme kalıplarında, metal enjeksiyon döküm (basıncılı veya pres döküm) vs. kalıplarında bu çelikler kullanılır. Avrupa standartlarında takım çelikleri, 1997 yılında standart taslağı olarak hazırlanmış olan prEN ISO 4957' de yeniden düzenlenmiştir. Bu taslak, daha önceki Türk ve Alman Standartlarına oranla bazı değişiklikler içermektedir. prEN ISO 4957' ye alınmış olan çeliklerin sayısında da azalma görülmektedir. Bazı çeliklerin kimyasal bileşimlerinde de DIN ve TSE'lere oranla farklılıklar olmuştur.

Takım çelikleri EN ISO 4957: Şubat 2001'e göre dört gruba ayrılmaktadır:

- Alaşimsız soğuk iş çelikleri,
- Alaşımlı soğuk iş çelikleri
- Alaşımlı sıcak iş çelikleri

Buradaki iş çeliği kavramı, takım çeliği ile eş anlamlıdır.

2.7.10. Alaşimsız Soğuk İş Çelikleri

Soğuk iş çelikleri, genel olarak ister alaşımli ister alaşimsız olsun parçanın 200 °C altında kaldığı yerlerde kullanılır. Aşağıdaki çizelgede daha yüksek sıcaklıklarda çeliğin martenzitik olan sertliği azalır. Bu durumda martenzitik içyapı, daha yumuşak olan ıslah içyapıya dönüşmeye başlar.

Çalışma esnasında soğutma yapıldığında istenilen düşük sıcaklıklarda kalınabilir. Alaşımsız soğuk iş çelikleri bütün takım çelikleri gibi soy çeliklerdir. Metalik olmayan kalıntılar bakımından temiz çeliklerdir. Gazları alınmıştır, yani döküm öncesinde argonla yıkanmışlardır veya vakumda dökülmüşlerdir. Fosfor ve kükürt oranları % 0,030' un altına düşürülmüştür. Silisyum oranları % 0,10 ile 0,30; mangan oranları ise % 0,10 ile 0,40 arasında tutulmaktadır. Sadece C45U çeliğinde Si oranı % 0,15–0,40 ve Mn oranı ise %0,60–0,80 arasında olması istenmektedir. Bu gruptaki diğer çelikler freze çakısı, torna kalemi, matkap ucu, planya kalemi, eğ ve hızar testerelerinin yapımında kullanılır.

Çizelge 2.5. Alaşımsız Soğuk İş Çeliklerinin Mekanik Özellikleri⁽¹⁵⁾

Çeliklerin Kısa Gösterilişi	Yumuşak Tavlanmış Sertliği(HBS) (En çok)	Sertleştirme		Menevişleme Sıcaklığı	Sertlik HRc (En az)
		Sıcaklık °C)	Ortamı		
C60U	207	810	Su	180	54
C70U	183	800	Su	180	57
C80U	192	790	Su	180	58
C90U	207	780	Su(Yağ)	180	60
C105U	212	780	Su (Yağ)	180	61
C120U	217	770	Su (Yağ)	180	62

2.7.11. Alaşımlı Soğuk İş Çelikleri

Alaşımlı Soğuk İş Çelikleri genel olarak civata, somun, tornavida, çekiç, anahtar, bıçak, çakı neşter, iğne gibi günlük hayatta kullanılan

eşyaların yapımında kullanılır. Bu çeliklerin de bütün takım çelikleri gibi ısıtma işlemlere, özellikle martenzit sertleştirmesine son derece uygun olmaları gerekir. Alaşımlı veya alaşımsız soğuk iş çeliklerinde malzemenin değerlendirilen sertliği, martenzit sertliğidir. Bu yüzden bunların menevişleme sıcaklıkları sadece 180 °C olarak belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda martenzit sertliğinde düşmeler olur.

Çizelge 2.6. Alaşımlı Soğuk İş Çeliklerinin Mekanik Özellikleri⁽¹⁵⁾

Çeliklerin Kısa Gösterilişi	Yumuşak Tavllanmış Sertliği Sertliği(HBS) (En çok)	Sertleştirme		Meneviş. Sıcaklık °C	Sertlik HRC (En az)
		Sıcaklık (°C)	Ortamı		
105V	212	790	Su	180	61
50WCrV8	229	920	Yağ	180	56
60WCrV8	229	910	Yağ	180	58
99Cr6	223	840	Yağ	180	60
21MnCr5	217	Sementasyon sonunda: 60HRC			
70MnMoCr8	248	835	Hava	180	58
90MnCrV8	229	790	Yağ	180	60
95MnWCr5	229	800	Yağ	180	61
X100CrMoV5	241	970	Hava	180	62
X153CrMoV1	255	1020	Hava	180	61
X210Cr12	248	970	Yağ	180	62
X210CrW12	255	970	Yağ	180	62
53CrMo7	Teslim Şekli: 300HBS sertliğe ıslah edilmiş				
40CrMnNiMo8	Teslim Şekli: 300HBS sertliğe ıslah edilmiş				
45NiCrMo16	285	850	Yağ	180	52
X40Cr14	241	1010	Yağ	180	52
X38CrMo16	255	1010	Yağ	180	46

2.7.12. Alaşımli Sıcak İş Çelikleri

Sıcak iş çelikleri aşağıdaki çizelgede, çalışma esnasında takımların yüzey sıcaklığının 200 °C üzerine çıktığı yerlerde kullanım alanı bulurlar.

Alaşımli Sıcak İş Çelikleri sıcaklığın yüksek olduğu yerlerde örneğin dövme ve pres döküm kalıplarında kullanılır. Sertlikleri yanında tokluk ve ısı iletim kabiliyetleri de önemlidir. 200 °C üzerine martenzit sertliğinin yanında karbür sertliği de gerektiğinden bu çeliklerin alaşım elementleri Cr, Ti, Mo, V ve W gibi özel karbür yapıcılarıdır. Ni ve Co çeliğe tokluk kazandırır. 500 °C civarındaki menevişleme sıcaklıklarında bu özel karbürler ayrışır ve martenzit sertliğinin bile üzerinde olabilen sertlikler kazandırır.

Çizelge 2.7. Alaşımli Sıcak İş Çeliklerinin Mekanik Özellikleri⁽¹⁵⁾

Çeliklerin Gösterilişi	Yumuşak Tavlama Sertliği HBS (en çok)	Sertleştirme		Menevişleme Sıcaklığı, (°C)	Sertlik HRC (En az)
		Sıcaklık (°C)	Ortam		
55NiCrMoV7	248	850	Yağ	500	40
32CrMoV 12–28	229	1040	Yağ	550	46
X37CrMoV5-1	229	1020	Yağ	550	50
X38CrMoV5-3	229	1040	Yağ	550	48
X40CrMoV5-1	229	1030	Yağ	550	50
50CrMoV13–15	248	1010	Yağ	510	46
X30WCrV9–3	241	1150	Yağ	600	46
X35CrWMoV5	229	1020	Yağ	550	48
38CrCoWV18–17	260	1120	Yağ	600	46

2.7.13. Paslanmaz Çelikler

Basit karbon yapılı çeliklerin karbon oranları arttırıldıkça sertlik ve mukavemeti artar. Ancak karbon miktarına bağlı olarak süneklikte azalma ve gevrekleşme ortaya çıkar. Sünekliği koruyarak mukavemeti artırmak için çelik içine alaşım elementleri katılır. Özellikle krom ve nikel katılarak çeliğe paslanmazlık özelliği kazandırılır. Bu şekilde elde edilen alaşımlı çeliklerin türü 200'e yaklaşmıştır. Çeliğe katılan her elementin metal özellikleri üzerine etkisi değişiktir. En çok kullanılan alaşım elementleri Cr, Ni, Mo, Mn, Si, Co, W, V, N dur.

2.7.13.1. Paslanmaz Çeliklerin Oluşumu

Malzeme yüzeyinde oksit sonucu oluşan tabaka malzeme yüzeyinde birikerek koruyucu bir film oluşturuyorsa korozyon hızında azalma meydana gelir. Bu koruyucu filmin etkili olması korozyon ürünlerinin çözünürlüğüne, ürünlerin metal yüzeyine yapışabilme yeteneğine, oluşan filmin geçirgenliğine, elektriksel direncine ve mekanik sağlamlığına bağlıdır. Çözünebilen veya yüzeye sağlam yapışmayan korozyon ürünlerinin korozyon özelliği yoktur.

Oksit filminin malzeme yüzeyi ile en sağlam bağı ikisinin de birbiriyle uyuşabilen kristal yapıda olması ile mümkün olur. Metaller genellikle kübik sistemde kristalleştiği için kübik sistemde kristal veren oksit filmleri metal yüzeyine daha iyi yapışır. En önemli koruyucu oksit filmleri olarak Al_2O_3 , Cr_2O_3 ve Fe_3O_4 gösterilebilir. Bu açıdan bakıldığında kazanlarda manyetit

filminin oluşması korozyon açısından faydalı bir olaydır. Tek bir metalin oksidi de iyi koruyucu özellik gösterebilir. Bunlardan Al_2O_3 ve BeO mükemmel özellikte koruyucu filmler oluşturur. Bakır gümüş gibi metallere az miktarda alüminyum katılması ile korozyona dayanıklılık artırabilir. Örneğin gümüş, önceden otoklav içinde buhar ile temas etmesi sağlanarak yüzeyde sağlam bir koruyucu film oluşması sağlanabilir. Böylece paslanmaz gümüş elde edilerek sonradan parlatılmasına gerek kalmaz. Koruyucu korozyon ürünlerinin başka bir uygulama şekli de, düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyinde korucu oksit filmi oluşması için, fazla korozif olmayan bir atmosferde bir süre bekletmektir. Örneğin, bir yıl atmosferde bekletilmiş olan çelik yüzeyinde dayanıklı ve hoş renkli bir film oluşur. Çelik içinde yüzeyi tam olarak krom oksit tabakası ile örtmeye yetecek oranda krom bulunuyorsa, bu çelikler paslanmaz çelik adını alır ve yüzeyden bu oksit tabakası kaldırılrsa bile yeniden krom sayesinde krom oksit tabakası oluşur. Paslanmaz çelikler atmosfer ve diğer oksitleyici ortamlara karşı çok dayanıklıdır. Ancak oksijensiz ortamlarda, örneğin sıcak su ve buhar kazanlarında paslanmaz çelik kullanılması tehlike yaratabilir. Çünkü bu ortamlarda oksit filminde bozulmalar meydana gelebileceğinden sorun çıkarır.

2.7.13.2. Paslanmaz Çelik Çeşitleri

Paslanmaz çelikler genel olarak demir alaşımlarından oluşmaktadır ve pasifleşme özelliği gösterirler. Bu çeliklerde pasifleşmeyi sağlayan element kromdur. Alaşımı oluşturan diğer bileşenler paslanmaz çeliğin diğer yapısal özelliklerini geliştirmek içindir. İlk paslanmaz çelikler çelik içine %10 - %18

krom katılarak elde edilmiştir. Krom elementinin paslanmaya dayanımı çok yüksektir. Paslanmaz çelikler kristal yapıları göz önüne alınarak beş grup altında toplanabilir.

1. Martenzitik paslanmaz çelikler,
2. Ferritik paslanmaz çelikler,
3. Östenitik paslanmaz çelikler,
4. Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler,
5. Çökeltme ile sertleşen paslanmaz çelikler

Yukarıda ilk beş başlık altında toplanan paslanmaz çelikleri kısaca açıklarsak;

2.7.14. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

%12–20 oranında krom ve % 0.1–1.2 oranında karbon içeren demir karbon alaşımlarıdır. Martenzitik paslanmaz çelikleri, diğer paslanmaz çelik türlerinden ayıran en önemli özellikleri, bunların karbon yüzdesi yüksek olduğundan, ısı işlemler ile sertleşebilmelerinin mümkün olmasıdır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımları, yumuşak çeliklere oranla çok yüksek olmasına rağmen, östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. Şiddetli korozif olmayan ortamlarda, örneğin atmosfer içinde korozyona karşı daha dayanıklıdır. Martenzitik paslanmaz çelikler 650°C'ye kadar sıcak ortamlara da dayanıklı bir alaşımdır. Çok kullanılan bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin özellikleri ve kullanım yerleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 2.8. Bazı Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanı

Tip(AISI)	Karakteristik özellikleri	Tipik kullanım alanları
403 ve 410	Mekanik mukavemeti yüksek ve korozyona dayanıklı	Türbinler, mutfak eşyaları, yaylar, somun ve perçinler
414	Çok iyi tokluk	Ütü tabanı gibi 750°C civarı sıcaklıkta çalışan cihazlarda
416	Kolay işlenebilir	Perçinler, vidalar ve somunlar
420	Aşınma direnci yüksek ve çok iyi tokluk	Kesici aletler, dişçilik ve tıbbi aletler, supab yatakları
431	Korozyon direnci yüksek	Pompa parçaları, pervane şaftları
440	Çok yüksek sertlik	Kesici aletler

2.7.15. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler Martenzitik paslanmaz çeliklerden daha fazla krom içerirler. Krom yüzdesi % 18–32, karbon yüzdesi %0.07 - 0.18 arasında değişir. Bu tür çeliklerin krom içeriklerinin yüksek oluşu korozyona karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar. Bu nedenle normal atmosferik koşullardan ve oksitleyici kimyasal bileşiklerden etkilenmezler. Endüstride daha çok kimyasal ekipmanlar, depolama tankları ve özellikle fırın yapımında kullanılırlar. Çok kullanılan bazı ferritik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve tipik kullanma yerleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 2.9. Bazı Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanı

Tip (AISI)	Karakteristik özellikleri	Tipik kullanım alanları
405	Kaynak yapılabilir, korozyon dayanıklı	Türbin kanatları, ısı değıştirciler, kazan boruları, petrol tankları
430	Korozyona dayanıklı ve ucuz	Kuleler, destilasyon rafları, tanklar, depolar, elektrikli ev eşyaları
446	Çok iyi oksidasyon direnci	Fırın parçaları ve ısı değıştirciler gibi sıcaklığa dayanıklı cihazlarda

2.7.16. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Bu çeliklerin yapısını demir, nikel, krom alaşımları oluşturmaktadır. Bu çelikler kolay şekillendirilebilir ve kaynak yapılabilir. Bunun yanında korozyona dayanıklılıkları da çok yüksektir. Çok kullanılan AISI 304 18-8 paslanmaz çeliği bu grupta bulunur. Çok kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin karakteristik özellikleri ve kullanım yerleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir

Çizelge 2.10. Bazı Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanı

Tip (AISI)	Karakteristik özellikleri	Tipik kullanım alanları
301	Çok yüksek mukavemet	Uçak endüstrisi, motor parçaları
302	İşlenebilme özelliği yüksek	Kimya endüstrisi, paneller, raylar
304	Çok iyi korozyon direnci	Gıda endüstrisi, mutfak eşyaları, ilaç, tekstil ve otomotiv endüstrisi
305	Maksimum şekillenebilirlik	Tel çekme ve benzeri soğuk işlemi gerektiren yerlerde
309	1100°C'ye kadar dayanıklı	Fırın parçaları, rotorlar, kimyasal proses kapları
316	Çukur korozyonuna dayanıklı	Kuleler, borular ve depolama tankları, asit kapları
321	Kaynaklama özelliği yüksek	304 çeliği ile aynı fakat kaynak özelliği daha iyi

2.7.17. Dupleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin yapısında %6 civarında nikel, %28 oranında krom bulunur. Çift faz içerirler. Fazlardan biri östenit, diğeri ferrit yapıdadır. Korozyon ve mekanik özellikler açısından, faz yapıları gereği ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler arasında yer alırlar.

2.7.18. Çökellemeyle Sertleşen Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çeliklerin mukavemet/ağırlık oranı yüksek olup korozyona karşı dirençleri yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle uçak, füze ve uzay endüstrisinde tercih edilirler.

2.8. Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Yüzey sertleştirme işlemleri, günlük hayatta ve mühendislik uygulamalarında kullanılacak olan parçaları, istenilen yüzeyleri sert ve aşınmaya dayanıklı, ayrıca darbeli çalışmalarda gerekli tokluğun istendiği durumlarda yapılan işlemlerdir. Bu işlemler ile gerekli darbe dayanımını sağlayacak toklukta yumuşak çelik parçaların yüzeyinde aşınma dayanımını sağlayan ince, sert bir tabaka oluşturulur. Yüzey sertleştirme işlemleri sonucunda parçanın aşınma dayanımı yanında yorulma dayanımı da önemli ölçüde artar. Başlıca yüzey sertleştirme işlemleri şunlardır:

Alevle sertleştirme, endüksiyonla sertleştirme, karbonlama, nitrürleme, siyanürleme, karbonitrürleme. Alevle veya endüksiyonla sertleştirme işlemlerinde parçanın yüzeyi yerel bir su verme işlemiyle sertleştirilir. Diğer işlemlerde ise sertleştirme parça yüzeyinin bileşimi değiştirilerek(karbon ve/veya azot içeriği arttırılarak)sağlanır. Tasarımlarında yüzeyi sertleştirilmiş parçalara yer veren bir mühendis, bu parçaların üretimine doğrudan katılmasa da gereçlere ve yüzey sertleştirme işlemlerine ilişkin olanak ve sınırlamaları bilmeli, isteklerini ısıl işlemeye aktarabilmeli ve olası işlem aksaklıklarının bilincinde olmalıdır.

2.8.1.Alevle ve Endüksiyonla Sertleştirme

Bu ısıtma işlemde çelik parça yüzeyinin istenen yeri Demir – Sementit diyagramında belli olan kritik sıcaklığın üstüne kadar hızlı bir şekilde ısıtılır ardından su verilerek sertleştirilir. Metallerde ısı iletimi çok hızlı olduğundan, kabuk kalınlığını istenildiği kadar ince tutabilmek için ısıtma gücü son derece yoğun, ısıtma süresi 5–10 saniye gibi kısa olmalıdır.⁽¹⁶⁾ Gerekli yoğun ısıtma gücü, alevle sertleştirmede, metan, propan veya asetilen gibi bir yanıcı gaz bir üfleçte oksijen ile yakılarak; endüksiyonla sertleştirmede ise, yüksek frekanslı bir alternatif akım kaynağına bağlı bakır sargılar yardımıyla parça yüzeyinde oluşturulan endüksiyon akımları ile sağlanır.

Yapılacak olan ısıtma sisteminde çok çeşitli şekil ve boyutlarda üfleç veya bakır sargılar kullanılabilir. Soğutma ortamı olarak, su, yağ, hava veya çeşitli sıvı karışımlar kullanılabilir. Uygun yöntem, araç ve gereç seçildiğinde, alevle veya endüksiyonla yüzey sertleştirme işlemleri sonucunda elde edilebilecek kabuk kalınlığının maksimum değeri çeliğin sertleştirilebilirliği tarafından belirlenir ve genellikle bir sorun oluşturmaz. Kabuk kalınlığının minimum değeri ise, yaklaşık olarak alevle sertleştirmede 0,75 mm, endüksiyonla sertleştirmede 0,25 mm' dir, fakat bu değerlere her zaman ulaşamayabilir.

Bu ısıtma işleminden elde edilecek yüzey sertliği, çeliğin karbon miktarıyla doğru orantılıdır. %0,3 karbon içeren çeliklerde en çok 50 RSD-C olan yüzey sertliği karbon miktarıyla artarak %0,6–0,7 karbon içeren çeliklerde 63 RSD-C' ye ulaşır. Çeliğin karbon miktarının %0,8' in üzerine çıkması durumunda

sertlikte düşme gözlenir. Bu düşüşe kalıntı östenit neden olur. Bu ısıl işlemde yüzey sertliği 50 RSD-C' nin üzerine çıktığından karbon oranına bağlı olarak çelikte çatlama ve çarpılma söz konusu olabileceğinden karbon içeriği %0,3 ile %0,6 arasında olmalıdır.

Darbeli ve titreşimli çalışacak parçalar alevle veya endüksiyonla sertleştirildiğinde 150 – 200°C sıcaklıklarda menevişlenmesi gerekir. Menevişleme yüzey sertliğinde belirli bir düşüşe neden olmasına karşın, genellikle, aşınma ve yorulma dayanımını artırır.

Alevle veya endüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi doğru yapıldığında yüzeyde basma iç gerilmeleri, sertleştirilmiş tabakanın hemen altında ise çekme iç gerilmeleri oluşur. Genelde burma veya bükme yükleri altında çalışan parçalarda yük en yüksek değerine yüzeyde ulaştığı için yorulma çatlakları yüzeyden başlar. Alevle veya endüksiyonla sertleştirilmiş parçaların yüzeyinde oluşan basma iç gerilmeleri ve yüksek yüzey sertliği, çatlak başlangıcını zorlaştırarak yorulma dayanımını artırır. Bu parçalarda yorulma çatlakları, genellikle sertleştirilmiş tabakanın altındaki çekme iç gerilmelerin bulunduğu bölgede oluşur. Sertleştirilmiş tabaka incelidikçe, yüzeydeki basınç iç gerilmeleri artarken, çekme iç gerilmelerinin olduğu bölge yüzeye yaklaştığından, burada çatlak oluşma olasılığı artar.

Kalın kabukların altındaki çekme iç gerilmeleri daha yüksek olduğundan kalın kabukta yorulma dayanımını olumsuz etkileyebilir. Sonuçta parçanın şekline ve boyutlarına, uygulanan yüke ve gereç özelliklerine bağlı olarak yorulma dayanımının en yüksek olduğu bir optimum sertlik derinliği

vardır ve bunu genellikle hızlandırılmış yorulma deneyleri ile bulmak gerekir. Kabuk ile çekirdek arasındaki geçiş bölgesi daraldıkça, kabuğun altındaki çekme iç gerilmeleri azalacağından endüksiyonla sertleştirilmiş parçalar alevle sertleştirilmiş parçalara oranla daha yüksek yorulma dayanımı gösterirler. Parça kesitindeki değişimler veya hatalı işlem nedeniyle çekme iç gerilmeleri yüzeye çıkar ise bu noktalardan başlayan yorulma çatlakları beklenmedik kırılmalara neden olabilir.

2.8.2. Karbonlama

Bu ısıl işlemde düşük karbonlu çelik parçalarının yüzeyinin, karbon verici bir ortamda, yaklaşık 900 °C sıcaklıkta, saatlerce tutularak karbonca zenginleştirilip, daha sonra su verilerek sertleştirildiği bir yüzey sertleştirme işlemidir. Su verilme olayından sonra kazanılan sertlik çelik yapının karbon oranıyla orantılıdır. Yaklaşık %1 karbon içeren çeliğin yüzey tabakası 60–65 RSD-C sertliğe ulaşırken yaklaşık %0,2 karbon içeren çeliğin iç kısımları 40–45 RSD-C sertliğe çıkar⁽¹⁶⁾. Basma iç gerilmeleri içeren sert kabuk, Parçanın aşınma ve yorulma dayanımını artırırken, içyapıdaki yumuşak çekirdek gerekli tokluğu sağlar.

Bir başka tarif olarak da karbonlama (sementasyon); mil ve dişli çark gibi yüksek zorlamalara maruz kalan makine parçalarının yüzey özellikleri iyileştirilerek, yüksek yüzey sertliği, yorulma dayanımı ve aşınma dayanımı elde etmek için kullanılan yaygın bir yöntem olarak da tarif edilir. Karbonlama işleminde yüzeyde ve kabuk bölgesinde basma, çekirdek bölgesinde ise çekme kalıntı gerilmeleri meydana gelir. Yüzeyde oluşan basma kalıntı

gerilmeleri eğme ve burma zorlamalarında faydalı olmaktadır. Sementasyon işlemi, aşınma, eğilme ve burulma yorulma dayanımı ile temas yorulma dayanımlarının yüksek olmasını sağlar. Sementasyon işlemi yapılmış çeliklerin yüzey kısmında özelliklerini ciddi olarak etkileyen diğer mikro yapılar da meydana gelebilir⁽¹⁷⁾. Bunlar; kalıntı östenit, kaba karbürler, tane sınırı karbürleri ve yüzey oksitleri olabilir. Bu mikro yapı ve çelik malzeme yüzeyinde oluşan kabuk malzemenin yorulma dayanımını, temas yorulma dayanımını, sertlik ve aşınma dayanımını etkiler.⁽¹⁷⁾

Karbonlama işleminden sonra, karbon miktarı genellikle yüzeyde en yüksek olacak şekilde çekirdeğe doğru bir azalma gösterir. Etkili sementasyon derinliği, Vickers sertliği 550 VSD olan karbonlanmış ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklık olarak tarif edilmektedir. Etkili sementasyon derinliğine etki eden faktörler; sementasyon sıcaklığı, sementasyon süresi, karbonlama ortamının karbon potansiyeli, çeliğin kimyasal bileşimi, parçanın şekli ve büyüklüğü ve suverme esnasındaki soğutma hızıdır. Soğutma hızına bağlı olarak sementasyon işleminden sonra malzeme yüzeyinde meydana gelen martenzit yapı yorulma ömrüne olumlu yönde etki eder.

Karbonlama işlemi çeşitli karbon verici ortamlarda yapılabilir:

Kutu (veya katı ortamda) karbonlama: parçalar kapalı çelik kutular içinde odun kömürü ve hızlandırıcı kimyasallardan oluşan bir karışımın içine gömülür. Karbon kaynağı kömürden oluşan CO gazıdır. Gaz karbonlama: parçalar kapalı fırınlarda, CO-CO₂ esaslı, metan veya propan içeren gaz

karışımlarında karbonlanır. Karbon kaynağı CO gazı veya çeşitli hidrokarbon radikalleridir.

Sıvı(veya tuz banyosunda) karbonlama: parçalar ergimiş siyanür banyolarına(Na, CN, KCN,NaCO₃,NaCl) daldırılarak karbonlanır. Karbon kaynağı işlem sırasında oluşan CO gazıdır. Bunlara ilave olarak yüksek sıcaklıkta karbonlama, endüksiyon karbonlama, vakumda karbonlama ve akışkan yatakta karbonlama gibi daha az yaygın karbonlama yöntemleri de vardır. Kutu karbonlama, genellikle kabuk kalınlığının 1 mm den fazla, kabul edilebilir kabuk kalınlığı sapmalarının en az 0,2 mm olduğu uygulamalarda kullanılır. Karmaşık araçlar gerektirmediğinden yatırım maliyeti düşük olduğundan özellikle seri üretim yapmayan düşük kapasiteli işletmeler için uygun bir yöntemdir. Sıvı karbonlama genellikle istenen kabuk kalınlığı 1-2 mm den fazla olmayan görece küçük ve fazla girintili çıkıntılı olmayan parçalara uygulanır. Gaz karbonlama seri üretimde yaygın olarak kullanılan kabuk kalınlığının dar sınırlar içinde kontrol edilebilirliği otomasyona ve doğrudan su vermeye elverişli bir yöntemdir.

Hassas parçaların sementasyon işlemlerine bağlı olarak şekil ve boyutlarında değişiklikler olabilir. Bu değişiklikleri en aza indirmek için birçok deney çalışması yapmak gerekir.

2.8.3. Nitrüleme

Bu ısıl işlem parçanın azot verici bir ortamda, 480–590 °C sıcaklık aralığında, onlarca saat tutularak parça yüzeyinin azotça zenginleştirildiği bir

yüzey sertleştirme işlemidir. Ferrit bölgede yapılan bu işlemden sonra parçaya su verilmesi gerekmez. Nitrürlemenin diğer yüzey sertleştirme işlemlerine üstünlükleri şöyle sıralanabilir; Düşük işlem sıcaklığı ve yavaş soğutma nedeniyle parçanın şekil ve boyut değişim miktarı ve çatlama olasılığı çok küçüktür. Yaklaşık 400–500 °C kullanım sıcaklıklarında bile sertlikte önemli bir düşüş olmaz. 70–72 RSD-C gibi çok yüksek yüzey sertlikleri elde etmek olasıdır. Aşınma ve yorulma dayanımı genellikle daha yüksektir. Korozyon dayanımı çok daha yüksektir. Bu üstünlüklerine karşın nitrürleme süreleri uzun olduğundan ve özel çelikler gerektirdiğinden maliyeti diğer yüzey sertleştirme işlemlerine oranla daha yüksektir. Nitrürleme işlemi genellikle gaz(amonyak) veya sıvı(siyanür banyoları) ortamlarda yapılırsa da iyon nitrürleme, basınçlı nitrürleme, akışkan yatakta nitrürleme, katı nitrürleme gibi yöntemler de kullanılmaktadır. İyon nitrürleme modern sertleştirme yöntemlerinden birisidir. Nitrürleme süresi kısadır, nitrürleme sonrası elde edilen içyapıların sertliği ve kalınlığı ayarlanabilir, çok karışık parçalar homojen olarak nitrürlenebilir.

Nitrürleme, Al, Cr, Mo gibi nitrür yapıcı katkıları içeren alaşımlı çeliklere uygulanır. Nitrürlenmiş yüzey sertliği ve nitrürleme hızı bu alaşım katkılarının türü ve miktarına bağlıdır. Çeliğin içerdiği alaşım elementlerinin miktarı ve azotun atomsal olarak çelik yüzeyinden içeri yayınıp nitrür oluşturma oranı arttıkça yüzey sertliği artar. Başlıca nitrür yapıcı elementler şunlardır: Al, Ti, Cr, Mo, V.

2.8.4. Siyanürleme ve Karbonitrürleme

Bu yüzey ısıtılmasında siyanür banyolarında ve amonyak eklenmiş gaz karbonlama ortamında, 800 – 850 °C sıcaklıklarda yapılan bu işlemlerle çelik yüzeyine yaklaşık eşit miktarlarda karbon ve azot birlikte emdirilir ve izleyen su verme işlemiyle yüzey sertleştirilir. Uygulamada kullanılan işlem süreleri birkaç saat, kabuk kalınlıkları ise en çok birkaç yüz mikron ile sınırlıdır. 100 mikron üzerinde kalınlıklar için karbonitrürleme daha uygundur. İşlem sıcaklıkları düşük, kabuk kalınlıkları az olduğundan, bu işlemler karbonlamadan daha ekonomiktir.

Yapıdaki azot sertleşebilirliği önemli ölçüde artırarak su verilmesini kolaylaştırırken, martenzit başlangıç sıcaklığını düşürdüğünden yüzeyde önemli miktarda kalıntı östenite neden olur. Yük taşıyıcı hassas parçalarda, gerilmeler nedeniyle martenzite dönüşen kalıntı östenit boyutsal sorunlara neden olabilir.

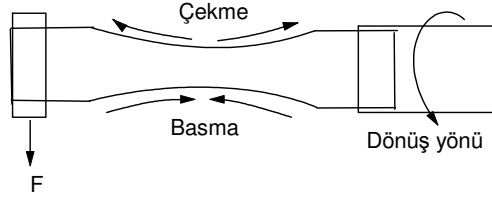
Siyanürlenmiş veya karbonitrürlenmiş kabuğun darbe dayancı karbonlanmış kabuğa oranla çok düşük olduğundan, darbeleri çalışan parçalarda karbonlama tercih edilmelidir. Kabuk kalınlığının sınırlı olması da birçok uygulamada karbonlamayı gerektirir. Siyanürleme ve karbonitrürleme de işlem sıcaklıkları daha düşük soğutma şartları daha ılımlı olduğundan, çatlama olasılığı ve şekil ve boyut değişimi özellikle siyanürlemede karbonlamadakine oranla çok daha azdır.

Karbonlamaya uygun çeliklerin yanı sıra ıslah çelikleri de aşınma dayanımını artırmak üzere siyanürlenebilir veya karbonitrürlenebilir.

2.9. Yorulma

2.9.1. Giriş

Malzemeler veya makine parçaları çalıştıkları yerlerde uzun ömürlü olarak deforme olmadan çalışmalarını isterler. Bu nedenle malzeme ve makine parçaları akma gerilmesinin altında kullanılmak zorundadır. Ancak bazı makine parçalarında olduğu gibi akma gerilmesinin altında bir gerilmede çalıştırılabilir bile sürekli olarak tekrarlı gerilmelere maruz kalabilir. Örneğin krank milleri, dikiş makinesi masura ve iğnesi ya da bir uçağın kanadı sürekli bir tekrarlı gerilme altında çalışır. Sürekli tekrarlanan gerilmeler altında çalışan malzeme ve parçalarda meydana gelen hasar malzeme ve parçanın yorulmasını ortaya çıkarır.⁽¹⁸⁾ Bu yorulma olayı belirtildiği gibi o malzemede her hangi bir plastik deformasyon olmadan tamamen elastik deformasyon şartlarında meydana gelir. Bu elastik deformasyon sürekli olarak tekrarlandığında zamanla malzemenin atomları arası bağların zayıflamasına neden olmaktadır. Bu durumda o malzeme belli bir süre sonra plastik deformasyon olmaksızın hasara uğraması kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle kritik malzemelerin laboratuvar şartlarında hızlandırılmış yorulma ömürleri ve yorulma dayanımları belirlenmeye çalışılır. Yorulma deneyi için de yine diğer mekanik testlerde olduğu gibi standartlara göre hazırlanan yorulma deney numuneleri kullanılır. Şekil 2.1 'de yorulma deney numunesinin şematik resmi verilmiştir.



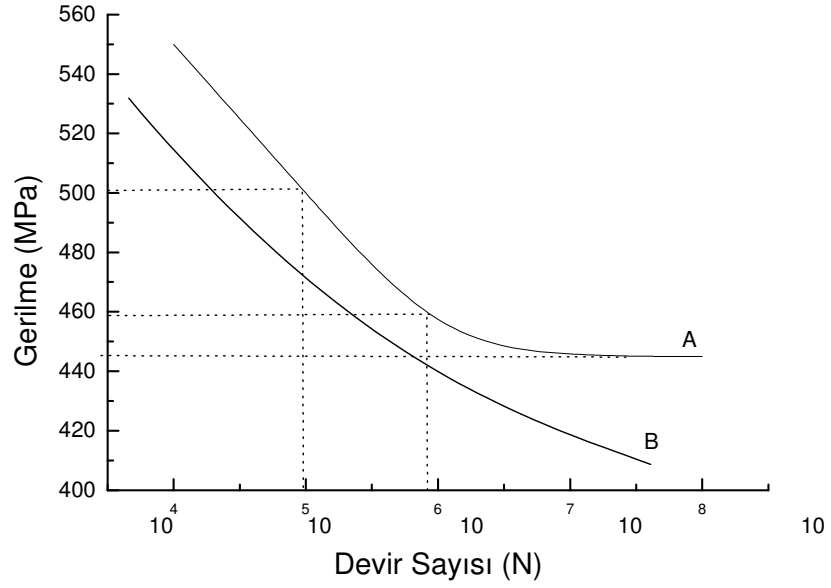
Şekil 2.1. Yorulma Deney Numunesinin Geometrisi⁽¹⁸⁾

Şekildeki numunenin bir ucu motora bağlanır. Diğer ucuna bir F yükü uygulanır. Numunenin üstü çekme alt yüzeyi basma gerilmesi altında kalır. Numune 90 ° döndürüldüğünde ise bu gerilmeler yer değiştirecektir. Numunenin ortasında sürekli çekme basma gerilmesi olacaktır. Uygulanan F kuvvetine bağlı olarak numuneye etki eden gerilme

$$\sigma = 10,18 \frac{F.l}{d^3}$$

dir. Burada F, numuneye uygulanan kuvvet, l: numune boyu, d: numuneni çapı.

Malzemenin yorulma ömrünü ve yorulma sınırını tespit etmek için birkaç seri numune hazırlanmalıdır. Uygulanan gerilmeye bağlı olarak numune kopuncaya kadar geçen dönme devir sayısı grafiği elde edilir. Şekil 6.2'deki gibi grafik elde edilir.



Şekil 2.2. Bir Malzemenin Yorulma Eğrileri⁽¹⁸⁾

Şekilde herhangi iki malzemeye ait tipik bir yorulma eğrileri verilmiştir. Şekildeki A malzemesinin yorulma sınırının ~ 445 MPa olduğunu görebilirsiniz. Bunun anlamı bu malzeme bu gerilme ve bunun altındaki gerilme değerlerinde sonsuz süre yorulmadan çalışabilir demektir. Ancak bazı malzemelerde (demir dışı malzemelerde) özellikle Al alaşımlarında yorulma sınırının olmadığı görülür. Numune üzerine uygulanan gerilme ne kadar azaltılırsa azaltılsın malzeme belli bir gerilme devrinden sonra hasara uğramaktadır. Yorulma eğrisi B malzemesindeki gibi elde edilir. A malzemesine 500 MPa yorulma gerilmesi uygulandığında bu malzemenin yorulma ömrü $\sim 10^5$ (100000) devirdir. 460 MPa gerilme uygulanırsa yorulma ömrü 1000 000 devirdir. 450 MPa gerilme uygulanırsa yorulma ömrü sonsuz devirdir. Yani bu malzeme kritik yerde kullanılacaksa 450 MPa gerilme değerinin altında çalıştırılmalıdır.

Yorulma bütün malzemelerde gevrek türde kırılma meydana getirir. Statik şartlar altında gerçekleştirilen çekme deneyinde, büyük ölçüde plastik şekil değiştirerek ve büzülerek kopan bir metal test numunesi, tekrarlı zorlanmalar altında, belirgin bir plastik şekil değiştirmeksizin çatlak ve bu çatlak zamanla yayılır, numune içinde hızla ilerler, sonuç olarak test numunesi aniden kırılır. Yorulma kırılması yüzeyinin ilginç bir görünüşü vardır. Yorulma kırılması gösteren kırık yüzeyin belirli bir bölgesi, yinelenen yük uygulaması sonucu düzgünleşmiştir; geri kalan bölgelerin pürüzlü görünümünden ayırt edilebilir duruma gelmiştir. Bunların her biri çevrimsel yük uygulamasından doğmuştur. Yorulma kırılması gevrek kırılmadır. Yorulma sırasında açılan yüzey bu düzgün görünümlü bölgedir. Geri kalan bölüm yükü kaldıramaz duruma gelince, ani kırılma meydana gelir ve çelik kopar. İşte bu son kopan bölgenin kopuk yüzey üzerindeki görünümü kaba ve pütürlüdür. Bu son kopma, çoğunlukla, sünek kırılma özelliği gösterir. Yorulma gösteren bölgenin diğer bölgeye oranı dayanım yüzeyine uygulanan yükün uygulama hızına ve çelik parçanın biçimine göre değişir. Dönen millerin yorulma kırılmasına uğrayan yüzeyleri genellikle 2/3 oranında düzgün bölge içerirler. Yorulma ya yüzey düzgünlüğünü bozan çentik, keskin köşe, girinti, çıkıntı ve de benzeri gibi yüzey kusurlarından ya da içyapı içinde eş dağılımlılığı bozan katışkı, kalıntı, kılcal çatlak, keskin uçlu çökelti ve parçacıklardan kaynaklanabilir. Önce bir kılcal çatlak oluşur. Kılcal çatlak hemen kırılmaya yol açmaz; uygulanan çevrimsel gerilimin her çevrimiyle birlikte çelik içinde çok yavaş olarak ilerler. Gerilim ne denli yüksek ise, çatlak ilerlemesi o denli büyük ve hızlı olacaktır. Çatlağın bu tür ilerlemesi bir sürtünme de yarattığından, yorulma kırılması gösteren yüzeyin bu bölümü

düzdür. Sonunda çatlak öyle bir yere dek ilerler ki çeliğin kesit alanının geri kalan çatlama bölgesi uygulanan gerilimi taşıyamaz duruma gelir ve olağan çekme dayancı aşıldığında da çelik kırılır.

Birçok makine parçaları ve yapı elemanları kullanılmaya esnasında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadırlar. Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metalik parçalarda, gerilmeler parçanın statik dayanımından küçük olmalarına rağmen, belirli bir tekrarlanma sayısı sonunda genellikle yüzeyde bir çatlama ve bunu takip eden kopma olayına neden olurlar. Yorulma adı verilen bu olay ilk defa 1850–1860 yılları arasında Wöhler tarafından incelenmiş ve teknoloji ilerledikçe mühendislik uygulamalarında daha fazla önem kazanmıştır. Otomotiv ve uçak endüstrisindeki parçalar ile kompresör, pompa, türbin gibi makinaların parçalarında görülen mekanik hasarların yaklaşık %90'ı yorulma sonucunda olmaktadır.

Yorulma olayına, parçaya sadece dışardan uygulanan mekanik kuvvetler değil, ısıl genleşme ve büzölmelerden doğan ısıl gerilmeler de neden olabilmektedir.

Yorulma olayında çatlama genellikle yüzeydeki bir pürüzde, bir çentikte, bir çizikte, bir kılcal çatlakta veya ani kesit değişimlerinin olduğu yerde başlar. Çatlak teşekkülü için genellikle şu üç ana faktör gereklidir:

1. Yeteri derecede yüksek bir max. Çekme gerilmesi,
2. Uygulanan gerilmenin oldukça geniş değişimi veya dalgalanması,
3. Uygulanan gerilmenin yeteri kadar büyük tekrarlanma sayısı,

Bu ana faktörlerin yanında çok sayıda yan faktörler de sayılabilir; örneğin yüzey kalitesi, korozyon, sıcaklık, aşırı yükleme, kalıcı iç gerilmeler, bileşik gerilmeler, gerilim konsantrasyonu, frekans, mikro yapı gibi.

Yukarıda sayılan faktörlere bağlı olarak, metalik parçanın yorulma dayanımını ve yorulma ömrünü arttırmak için etkili faktörleri en zararsız halde bulunduracak çok iyi bir dizayna gerek vardır. Ancak küçük bir yorulma deneyi numunesi üzerinde yapılan deney sonuçlarını karmaşık bir parça veya konstrüksiyon dizaynında kullanmak oldukça güçtür. Laboratuarda, standart boyut ve belirli yüzey özelliğindeki numuneye, belirli türde sabit gerilmeler uygulanarak deney yapılır. Endüstride kullanılan parçada ise koşulların hepsi değişiklik gösterirler. Karmaşık olmalarından dolayı bu koşulların analizi de güçtür. Bu nedenlerle yorulma deneyi sonuçları, mühendislik uygulamalarında çekme deneyi sonuçları gibi kesin ve tam güvenilir şekilde kullanılamazlar. Yorulma deneyi sonuçları belirli koşullar için fikir verir ve benzer koşulların bulunabileceği parça dizaynında gerekli önlemlerin alınmasında yardımcı olur.

Faktörlerin çok sayıda olmaları ve karmaşık etkilerde bulunmaları, uzun yıllar yorulma deneyi ile ilgili standartların hazırlanamamasına neden olmuştur. Değişik araştırmacı ve araştırma merkezleri özel cihazlar ve özel numuneler kullanarak konuyla ilgili çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Son yıllarda bazı ülkelerde hazırlanan standartlar da yine belirli koşullar için sınırlandırılmışlardır.

Yorulma deneyi sonuçlarının bir anlam verebilmesi için aşağıdaki bilgilerin belirtilmesi gerekir;

1. Malzeme özellikleri:

- a)** Malzeme Cinsi,
- b)** Malzemenin piyasaya sunulmuş durumu(örneğin levha, çubuk, döküm gibi),
- c)** Ergitme ve döküm koşulları,
- d)** Son mekanik işlemler ve ısı işlemler,
- e)** Kimyasal bileşim,
- f)** Yüzey durumu ve kalitesi(örneğin haddelenmiş durumda, dekape edilmiş durumda, yüzeyi taşlanmış, yüzeyi parlatılmış gibi).

2. Deney numunesinin şekil ve boyutları.

3. Deney cihazının tipi, çalışma prensibi ve deneyin yapılışı esnasında uygulanan gerilme ile frekans.

4. Deneyin yapıldığı ortamın koşulları ve sıcaklığı.

5. Bazı hallerde malzemenin diğer mekanik özellikleri ile metalografik yapısı.

Son yıllarda özellikle önemli parçaların yorulma özelliklerini elde edebilmek için, standart bir deney numunesi yerine, parçanın kendisi özel cihazlarda çalışma koşullarına benzer koşullarda deneye tabi tutulmaktadır. Böylece daha güvenilir sonuçlara varılmaktadır.

2.9.2. Yorulma Deney Türleri

Çalışma esnasında bir parçaya gelecek gerilme değişik tür ve şiddetle olabilir. Ancak yorulma deneylerinde, malzemelerin tekrarlanan dinamik zorlamalar karşısında göstereceği direnç hakkında kantitatif bilgiler edinebilmek için, uygulamada en sık rastlanan belirli gerilme türleri ele alınmıştır. Bu tür gerilmelerin düzgün periyotlarla uygulanması halinde elde edilen sonuçlar kriter kabul edilerek teknik yorumlar yapılabilmektedir.

Deneyde kullanılan gerilme türü, yorulma deneyine de adını vermektedir. Gerilme türüne göre başlıca yorulma deneyi türleri şunlardır:

1. Aksenal Gerilmeli Yorulma Deneyi: En basit sistem olan bu sistemde numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri uygulanır. Uygulanan gerilme numune enince de üniform olarak dağılır.

Aksenal gerilmelerin söz konusu olduğu bir örnek, içten yanmalı motorların bağlantı rotlarıdır. Ancak burada aksenal gerilme yanında eğme kuvvetleri de oldukça etkilidir.

2. Eğme Gerilmeli Yorulma Deneyi: Bu deney türü kendi arasında ikiye ayrılır;

- a) Düzlemsel eğme gerilmeli yorulma deneyi,
- b) Dönen eğme gerilmeli yorulma deneyi.

Birinci deney türünde, numune nötr (tarafsız) bir düzleme(veya eksene) göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelerin olduğu en güzel örnek taşıtların yaprak yaylarıdır.(makas yayları)

İkinci deney türünde numune devamlı dönen bir nötr (tarafsız) eksene göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Bu tür gerilmelere örnek olarak, hareket halindeki taşıtların akslarında meydana gelen gerilmeler gösterilebilir. Aks başlarına(yatakları içinde kalan kısım) gelen yükün etkisi ve tekerleklerdeki tepkiden dolayı aksta eğme gerilmeleri oluşur. Ancak aks devamlı döndüğünden, aksın herhangi bir ekseni her turda bir çekme bir basma gerilmesine uğrar. Bu olay bir demiryolu mühendisi olan Wöhler'i yorulma üzerindeki çalışmalara yönelten olaydır.

3. Burma Gerilmeli Yorulma Deneyi: Burada deney numunesine sabit bir eksene göre tekrarlanan burma(dönme) işlemi uygulanmaktadır. Araçların süspansiyon yaylarında ve çekme-basma kuvvetlerinin uygulandığı tüm helisel yaylarda bu tür burma gerilmeleri oluşur.

4. Bileşik Gerilmeli Yorulma Deneyi: Yukarıda sayılan farklı gerilme türünden ikisinin veya daha fazlasının bir arada bulunabileceği durumlarda bileşik gerilmeler söz konusu olur. Uygulamada en çok rastlanan bileşik gerilme durumu eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durum ile aksel ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu durumdur. Motorların krank mili başlıklarındaki gerilme, eğme ve burma gerilmelerinin bir arada bulunduğu gerilme türüne ait en güzel örnektir.

2.9.3. Yorulma Deneyi İle İlgili Terimler

Yorulma konusunun incelenmesinde özel terimler kullanılmaktadır. Yorulma konusunun rahatlıkla incelenebilmesi için bu terimlerin açıklanması yararlı olacaktır.

Çevrim: Birçok deney cihazında zamanla sinüzoidal bir değişme gösteren yük(gerilme) uygulanır. Şekil 2.3'te görülebileceği gibi(gerilme-zaman) eğrisinin periyodik olarak tekrarlanan en küçük parçasına bir çevrim denmektedir.

Max. Gerilme: Uygulanan gerilmeler arasında en büyük cebirsel değeri olan gerilmedir. Diğerlerinde olduğu gibi çekme gerilmeleri pozitif(+), basma gerilmeleri negatif(-) işaretlerle gösterilmektedir.

Min. Gerilme: Uygulanan gerilmeler arasında en küçük cebirsel değeri olan gerilmedir.

Ortalama Gerilme: Max. ve Min. Gerilmelerin cebirsel ortalamasıdır.
Ortalama Gerilme= (Max. Gerilme + Min. Gerilme)/2

Gerilme Aralığı: Max. Gerilme ile Min. Gerilme arasındaki farktır.

Gerilme Genliği: Max. veya Min. Gerilme ile ortalama gerilme arasındaki farktır.

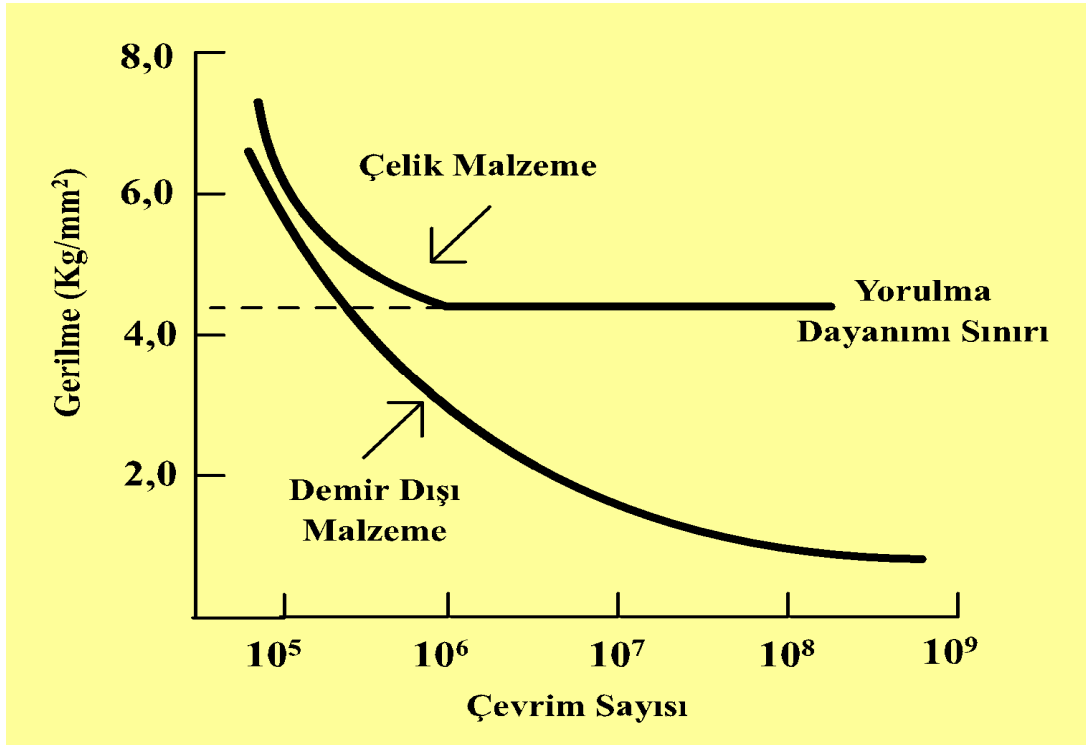
Gerilme Genliği=Gerilme Aralığı/2=(Max. Gerilme - Min. Gerilme)/2

Gerilme Oranı: Genellikle iki türlü gerilme oranı tanımlanır. En çok kullanılanı R ile gösterilip min. Gerilmenin max. gerilmeye oranıdır.

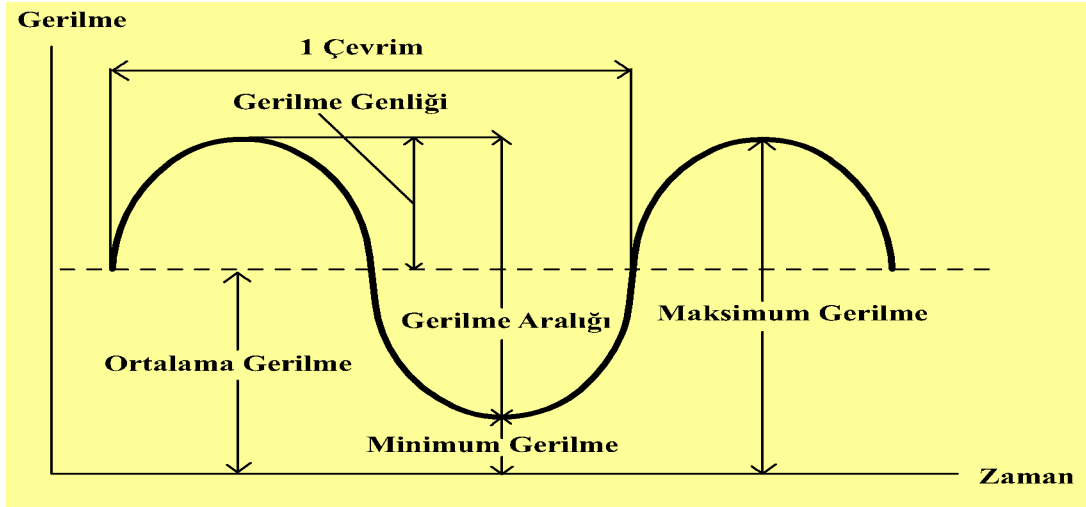
S-N Diyagramı (Wöhler Diyagramı): Bu diyagram, farklı sabit gerilmeler altında malzemenin kaç çevrim sonunda çatlayacağını veya kırılacağını gösteren bağıntıyı verir. S-N eğrisinin çizilmesi için genellikle 8 ile 12 benzer numune kullanılır. Ortalama gerilme tüm deneylerde sabit kalmak üzere numunelerin her birine farklı periyodik gerilmeler uygulanarak numunenin çatlamasına(veya kırılmasına) kadar geçen çevrim sayısı(N) tespit edilir. Küçük gerilmeler için çatlamanın görüleceği çevrim sayısı çok büyük olacağından, önceden belirlenen çevrim sayısına kadar deney devam ettirilerek malzemenin davranışı izlenir. Deneylerin tümünde gerilme genliği deney süresince sabit tutulur.

Gerilme eksenini olan ordinata genellikle doğrusal, bazı hallerde ise logaritmik skala kullanılır ve bu ekseninde ya max. gerilme, ya min. Gerilme veya gerilme genliğinden biri kaydedilir. Çevrim sayısı eksenini olan apsiste ise genellikle logaritmik skala kullanılır.

S-N eğrileri 1000000 çevrimden sonra genellikle apsis eksenine asimptotik bir durum gösterirler.



Wöhler Diyagramı



Şekil 2.3. Gerilme - Zaman Diyagramı⁽¹⁸⁾

Yorulma Dayanımı: Malzemenin tam N çevrim sonunda çatlama(veya kopma) gösterdiği gerilme olarak tanımlanır. Bu değer bazı hallerde benzer numunelerin N çevrime dayanabileceği gerilmelerin mediyen ortalaması olarak alınır, bazı hallerde ise ortalama gerilme sıfır iken N çevrimde benzer numunelerin %50'sinin dayanabileceği gerilme olarak alınır.

Yorulma Sınırı: S-N diyagramında, eğrinin asimptotik durum aldığı gerilmeye yorulma sınırı veya yorulma dayanımı sınırı denir. Bu gerilmenin altındaki periyodik gerilmelerde parçanın sonsuz çevrime dayanabileceği kabul edilir.

Yorulma Ömrü: Benzer numunelerin sabit koşullarda belirli bir gerilme altında çatlama(veya kopma) gösterdikleri(N) çevrim sayılarının medyan ortalaması şeklinde tanımlanır.

Yorulma deneylerinde genellikle medyan ortalamalar, aritmetik ortalamaya tercih edilirler. Bunun nedeni medyan ortalamasının daha sağlıklı sonuç vermesidir.

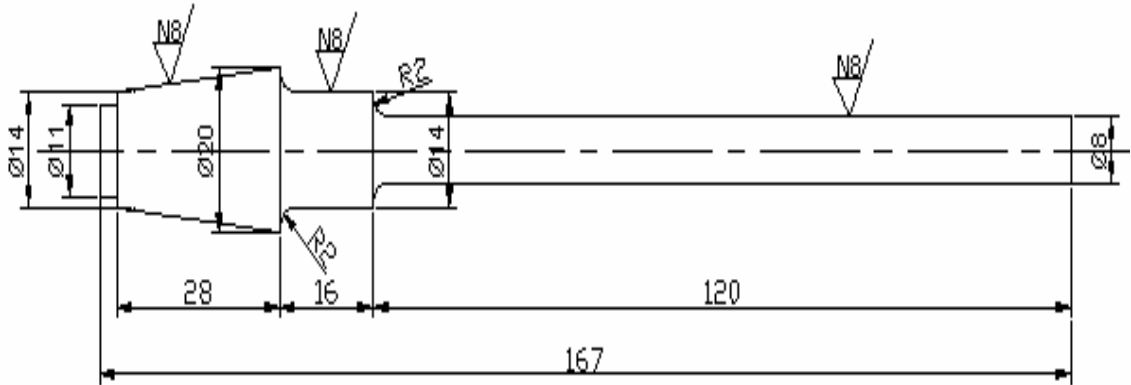
Bazı keyfi hallerde, uygulanan gerilme altında, numunelerin belirli bir yüzdesinin(örneğin %90, %95 v.s) çatlamadan dayandığı çevrim sayısı yorulma ömrü olarak alınmaktadır.

Sabit Yorulma Ömrü Diyagramı (Smith Diyagramı): Bu diyagramlarda belirli bir N yorulma ömrü için max. Gerilme, min. Gerilme veya gerilme genliğinin ortalama gerilmeye göre değişimi verilmektedir. Bu diyagramlar (R) gerilme oranının farklı olduğu S-N eğrileri ailesinden faydalanılarak çizilir. Ortalama gerilme, gerilme genliği, gerilme aralığı ve gerilme oranı gibi faktörlerin yorulmaya büyük etkileri olduğundan, bu faktörlerin tümünün incelenebileceği sabit yorulma ömrü diyagramları(Smith Diyagramları) mühendislik uygulamalarında çok daha faydalı olmaktadır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında çelik grubu olarak 14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çelikleri seçilmiştir. Bu malzemeler özel sipariş olarak MKEK kurumundan temin edilerek yorulma cihazında kullanılacak test numuneleri hazırlanmıştır. Malzemeler Ufki Torna Tezgâhında işlenerek yapılmıştır. 14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çelikleri $\text{Ø}25 \times 175$ mm boyutlarında kesilerek teknik resime göre imalatı yapılmış ve toplam 12 adet yorulma parçası torna tezgâhında yapılan operasyonlar sonucu hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Yorulma Deney Numunesi

3.2. 14NiCr10 – 14NiCr14 Çeliklerinin Kimyasal Analiz Değerleri

14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çeliklerinin kimyasal analizleri MKEK Ağır Silah ve Çelik fabrikasındaki Çelik Şubesine bağlı kimya laboratuvarında spektrum cihazında ölçümleri yapılarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 3.1. 14NiCr10 ve 14NiCr14 Çeliklerinin Kimyasal Analiz Değerleri

14NiCr10 Kimyasal Analiz Değerleri

C	MN1	Si	P	S	CR1	V	MO
0.1849	0.4434	0.2230	0.0213	0.0334	0.7676	0.0041	0.0460
CU	W1	Ti	CO	Ni1	SN	PB	SB
0.2093	0.0231	0.0030	0.0196	2,8625	0.0118	0.0040	0.0188
AS	AL	B					
0.0264	0.0071	0.0007					

14NiCr14 Kimyasal Analiz Değerleri

C	MN1	Si	P	S	CR1	V	MO
0.1563	0.4313	0.1873	0.0167	0.0286	0.8735	0.0036	0.0014
CU	W1	Ti	CO	Ni1	SN	PB	SB
0.0831	0.0203	0.0023	0.0171	3,4714	0.0043	0.0036	0.0202
AS	AL	B					
0.0241	0.0257	0.0006					

3.3. 14NiCr10 – 14NiCr14 Çeliklerinin Sementasyon İşlemi

Hazırlanan numunelerden 14NiCr10 ve 14NiCr14 çeliklerinin ilk 3 grubuna 0.3 mm, diğer 3 grubuna 0.6 mm gaz semente yapılmıştır. Gaz semente işlemi MKEK Silah Fabrikasında yapılmıştır. 14NiCr10 ve 14NiCr14 malzemelere IVA RM300 adlı atmosfer kontrollü gaz sementasyon tezgâhında ısıl işlem yapılmıştır. Operasyonda kullanılan gazlar metanol, aseton, azot ve amonyaktır.

IVA RM300 atmosfer kontrollü fırın Alman yapımı bir fırındır. Maksimum şarj ağırlığı 300 kg'dır. Nominal fırın sıcaklığı 2050 °C, yağ banyosu hacmi 2 metreküp, maksimum yağ sıcaklığı 180 °C, fırın ağırlığı 5000 kg'dır.

Parçalar fırına şarj edilmeden program girilir ve fırın otomatiğe alınır. Aparata konan parçalar asansöre itici yardımı ile konur, start verilir. Asansör

fırının cehennemlik bölgesine çıkar ve operasyon başlar. İlk etapta fırın 780 °C'ye kadar yükselir. Bu esnada hem iş parçasının ön ısıtması yapılır ve parça tavlınmış olur. Daha sonra sıcaklık sementasyon sıcaklığına 890 °C'ye yükselir. Bu esnada fırın metanol, aseton ve azot gazlarını programda yazıldığı talimat gereğince alır.0.6 mm karbon derinliği için 5 saat 40 dakika bu sıcaklıkta kalır. Daha sonra fırın sertleştirme sıcaklığı 840 °C'ye iner ve parçanın ölçülerine göre ayarlanmış zaman kadar kalır. Sertleştirme sıcaklığında yeteri kadar kalan parça asansör yardımı ile yağ banyosuna indirilir ve ani soğutma yaparak martenzit sert bir yapı elde edilir, parça sertleşmiş olur. Fırından alınan parça meneviş yapılarak tok bir yapı elde edilir ve istenen sertlik değeri ayarlanır.





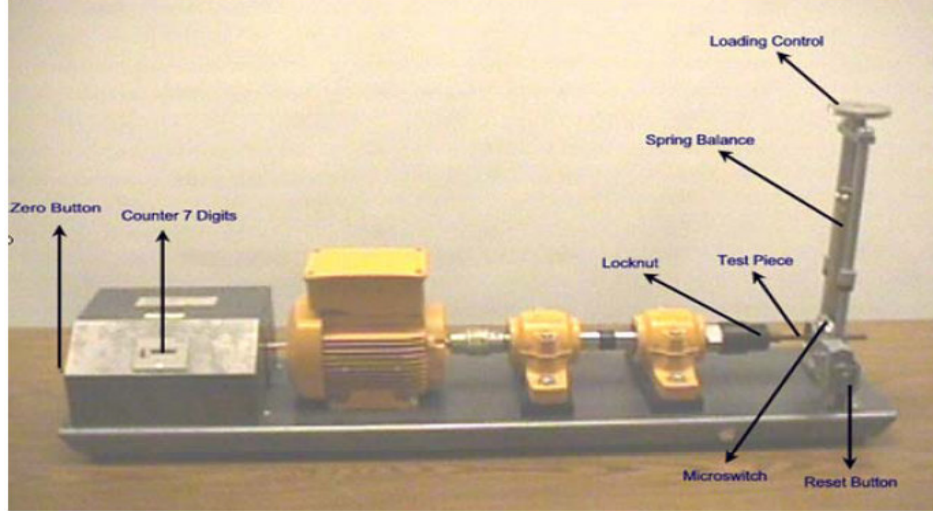
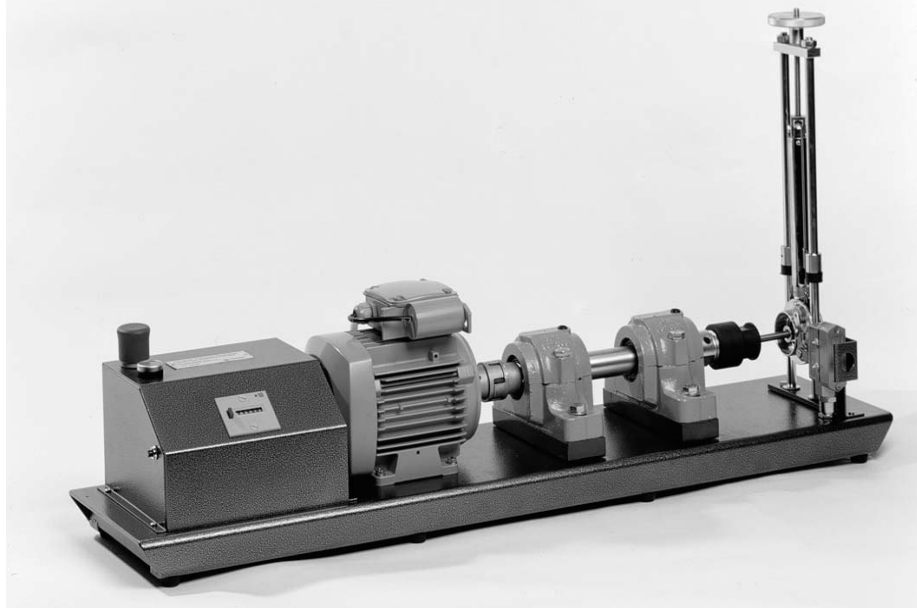
Şekil 3.2. Gaz Sementasyon Fırınları ve Isıl İşlem Ocakları

3.4. 14NiCr10 – 14NiCr14 Çeliklerinin Yorulma Deneyi

Yapılan ısıl işleme bağlı olarak 14NiCr10 59 RSD-C, 14NiCr14 53 RSD-C sertliğe ulaşmıştır. Elde edilen numuneler yorulma cihazında test edilmek üzere deneylere başlanmıştır.

Yorulma deneyleri K.Ü Mühendislik Fakültesi Mekanik Laboratuvarında yapılmıştır. Terco MT 3012 yorulma cihazında deneyler uygulanmıştır. Bu cihaz 300N kuvvet uygulayabilme kapasitesine sahiptir. 24 kg ağırlığında ve

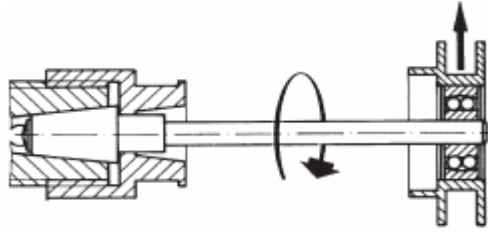
3000 rpm devire sahip olan cihaz 230V elektrik motoru ile çalışmaktadır.
Yorulma cihazı aşağıdaki resimde gösterilmiştir.





Şekil 3.3. Yorulma Cihazı

Yorulma cihazında bağlama şekli ve kuvvet uygulama yönü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

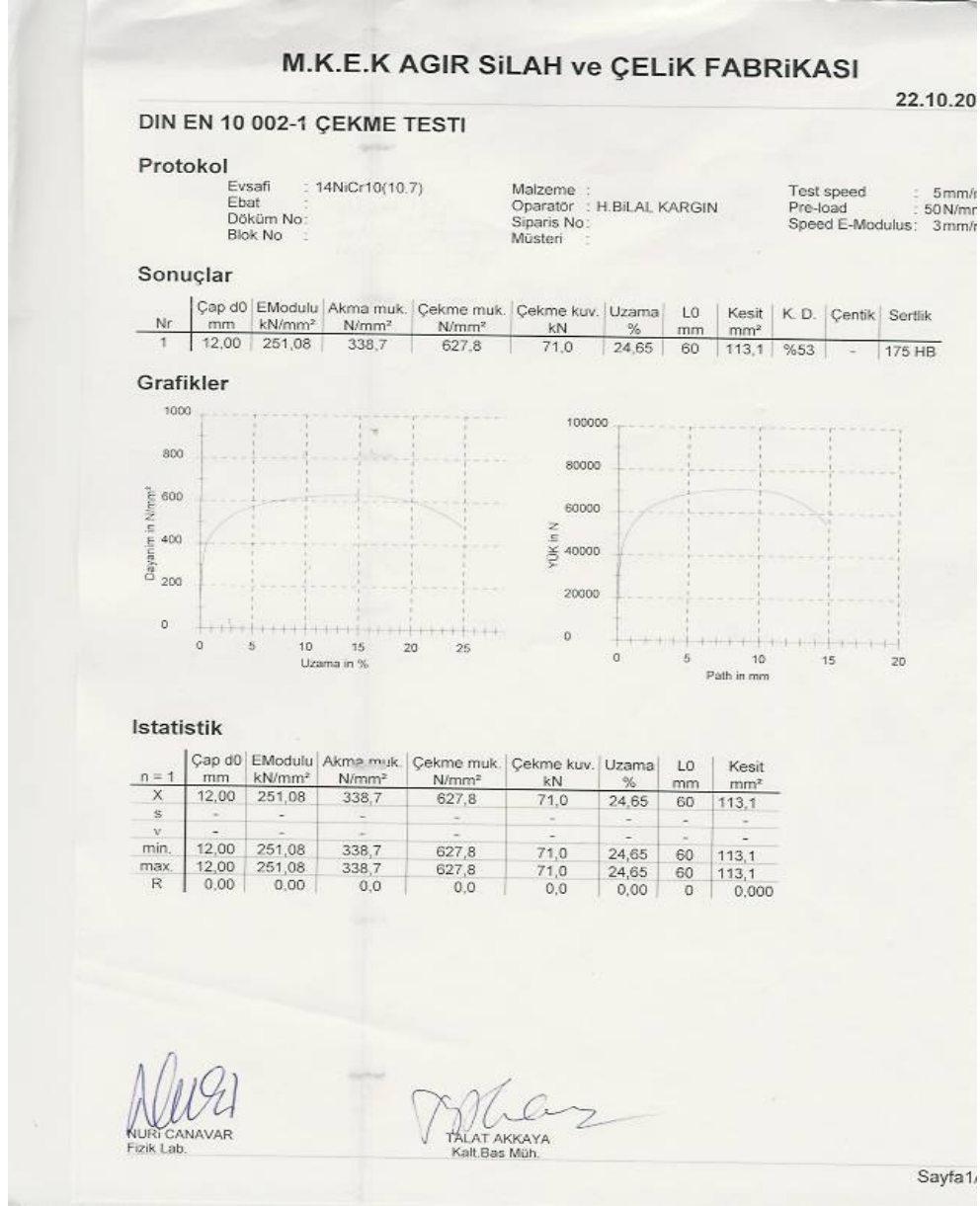


Şekil 3.4. Test Numunesinin Bağlantı Şekli ve Kuvvet Uygulama Yönü

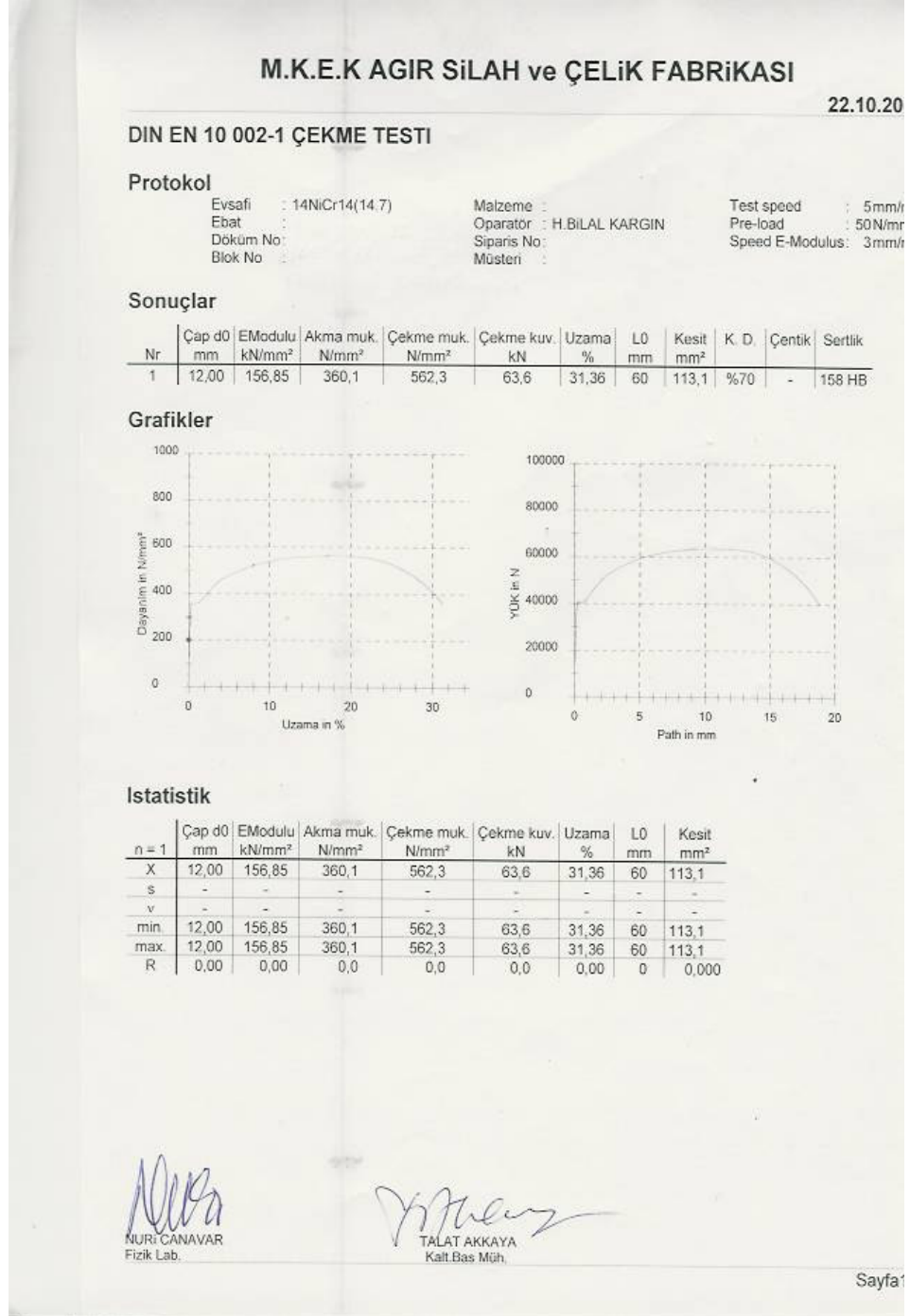
14NiCr10 ve 14NiCr14 çeliklerinin MKEK Ağır Silah ve Çelik fabrikasında yapılan çekme deney raporları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

Bu tablolar yorulma deneyinin yapılmasında olması gereken tablolardır.

Çizelge 3.2. 14NiCr10 Çeliğinin Mekanik Özellikleri



Çizelge 3.3. 14NiCr14 Çeliğinin Mekanik Özellikleri

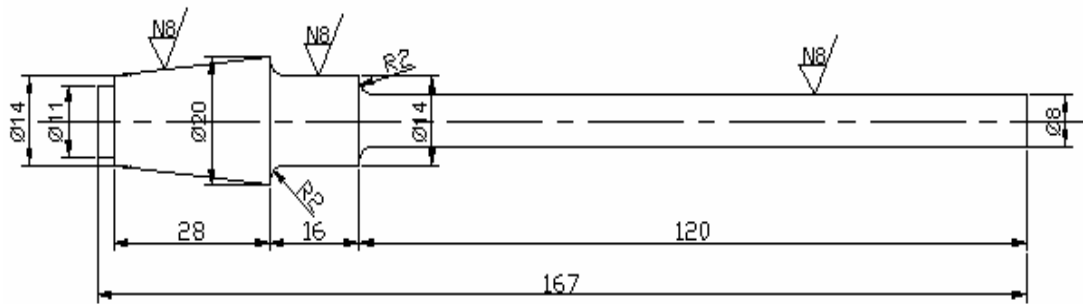


14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çelikleri orta derecede dayanım gerektiren parçalar, dişliler, bilyalı yataklar, piston yatakları ve mil tasarımlarında kullanılan çelik türleridir.

Bu iki malzeme grubunu ele almamızdaki neden Ni ve Cr oranlarının çelikte farklı miktarda bulunması ve yapılacak olan sementeye bağlı olarak yorulmaya etkisi incelenmek istenmiştir.

Toplam 6 adet 14NiCr10 ve 6 adet 14NiCr14 olmak üzere 12 adet yorulma testi için numune hazırlanmıştır. Şekilsel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Parça No	Semente Derinliği (mm)	Sertlik HRc
10.1 - 14.1	0.30	14NiCr10 59 HRc
10.2 - 14.2		14NiCr14 53 HRc
10.3 - 14.3		
10.4 - 14.4	0.60	14NiCr10 59 HRc
10.5 - 14.5		14NiCr14 53 HRc
10.6 - 14.6		



Şekil 3.5. Test Numuneleri

14NiCr10 ve 14NiCr14 için çekme kuvvetleri baz alınarak numuneler için yorulma kuvvetleri hesaplanmıştır ve uygulanacak yüklerde aşağıdaki

gibi ifade edilmiştir. Çekme kuvvetlerinin %90, %70 ve %50 'si alınarak yaklaşık kuvvetler bulunmuştur.

14NiCr10 Sementasyon Çeliği:

$$10.1 F=240 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(627.8*0.9) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$10.2 F=185 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(627.8*0.7) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$10.3 F=130 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(627.8*0.5) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$10.4 F=240 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(627.8*0.9) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$10.5 F=185 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(627.8*0.7) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$10.6 F=130 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(627.8*0.5) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

14NiCr14 Sementasyon Çeliği:

$$14.1 F=195 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(562.3*0.9) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$14.2 F=150 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(562.3*0.7) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$14.3 F=115 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(562.3*0.5) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$14.4 F=220 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(562.3*0.9) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

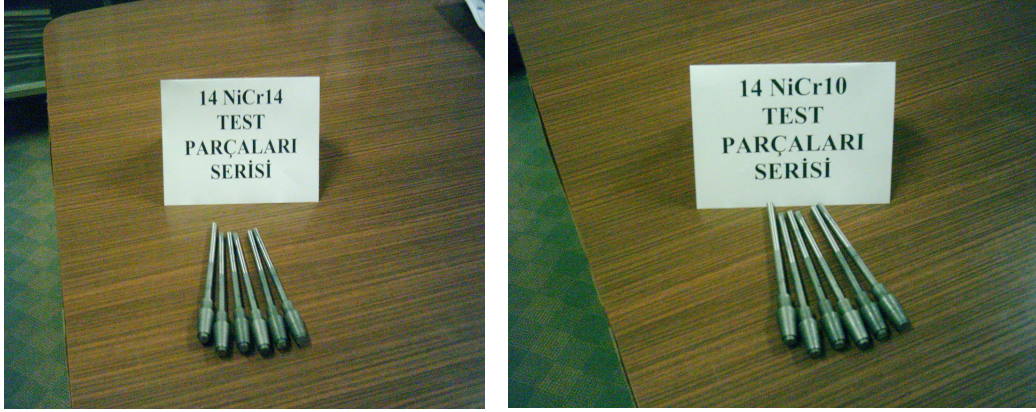
$$14.5 F=180 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(562.3*0.7) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

$$14.6 F=140 \text{ N}, \sigma=(M^*c)/I,(562.3*0.5) = ((F*118) * (8)/2) / ((\pi/64) * (8^2)^2)$$

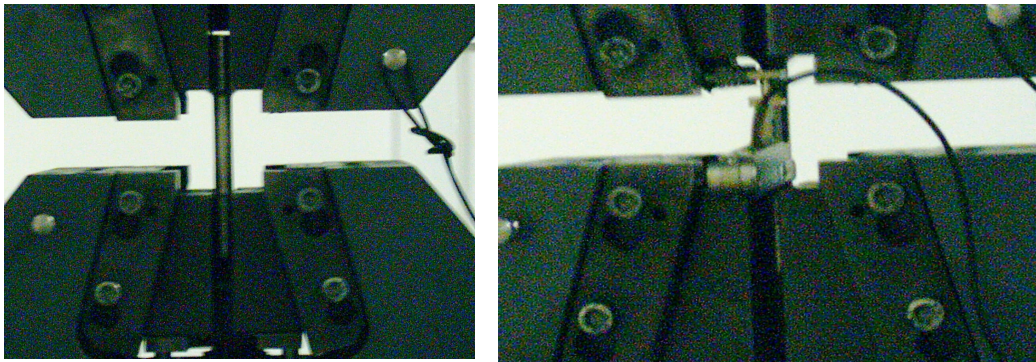
14NiCr10'nun 10.1 numuneli parçasına 240 N'luk (yaklaşık 563.43 MPa) bir yük uygulanmış ve 1000120 devir uygulanarak yorulmasına bakılmış ve daha sonra tezgahın uygulayacağı max. 300 N yük (yaklaşık 704.3 MPa) uygulanarak 819710 devir daha yaptırılarak malzemenin

yorulmadığı görülmüş ve malzemenin bu gerilme altında sonsuz ömürlü olduğu tespit edilmiştir.

14NiCr10 ve 14NiCr14 malzemeler 3 – 4 RSD-C sertliğe sahip oldukları sertlik ölçme cihazında tespit edilmiştir. Sementasyon işlemi sonucunda 14NiCr10 59 RSD-C' ye, 14NiCr14 53 RSD-C sertliğe ulaştığı görülmüştür. Aşağıda kullanılan numunelerin ve cihazların resimleri gösterilmektedir.



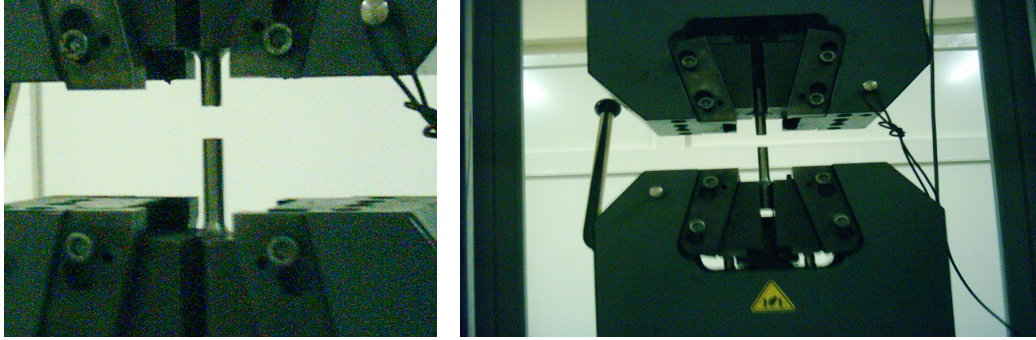
Şekil 3.6. 14NiCr10 ve 14NiCr14 Test Numuneleri Serisi



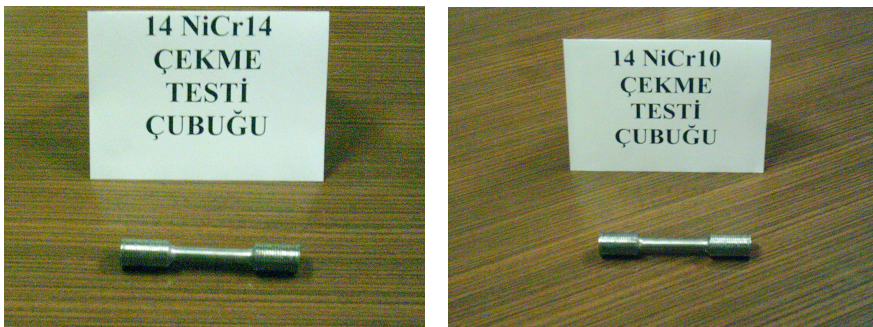
Şekil 3.7. Çekme Operasyonu



Şekil 3.8. Çekme Cihazı



Şekil 3.9. Çekme İşlemi



Şekil 3.10. Çekme Testi Çubuğu



Şekil 3.11. Çekme Testi Çubuğu



Şekil 3.12. Yorulma Cihazından Bir Görünüm



Şekil 3.13. Sertlik Ölçüm Cihazı



Şekil 3.14. Yorulma Cihazının Devrini Gösteren Bir Görüntü

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapmış olduğumuz tez çalışmasında 14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çeliklerinin yapılacak semente işleme bağlı olarak yorulma özellikleri incelenmek istenmiş ve yapmış olduğumuz 0.3 mm, 0.6 mm semente kalınlıklarına bağlı olarak Wöhler diyagramları oluşturulmak hedeflenmiştir.

14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çelikleri orta derecede dayanım gerektiren piston yatakları, dişliler ve mil tasarımında kullanılan çelik türleri olup, gerekli fiziksel ve mekaniksel özelliklere sahip sementasyon çelikleridir.

Sementasyon çeliklerine yapılan sementenin yorulma ömrüne artı bir değer sağladığı günümüzde yapılan çalışmalarda ispatlanmıştır. 14NiCr10 ve 14NiCr14 sementasyon çeliklerine ait yapılmış sementeye bağlı olarak yorulma özelliklerinin karşılaştırılmasına dair herhangi bir bilimsel araştırma yapılmamıştır.

Bizim ana amacımız bu çelik grubunu ele alarak yorulma özelliklerini karşılaştırmak, sementenin etkisini ve Ni, Cr elementlerinin yorulmaya ne yönde etkidiğine bakmaktır.

Wöhler diyagramlarını oluşturabilmek için deney numunelerine uygulanacak olan kuvvetleri malzemelerin çekme kuvvetlerinden yararlanılarak (%90, %70 ve %50 ' si alınarak) hesaplamalar yapılmış ve deneylere başlanmıştır.

14NiCr10 sementasyon çeliğine ait 10.1 no'lu numuneye 240 N 'luk yük uyguladık (563.43 MPa) ve 1000120 devire kadar yorulmadığını gördük. Hesaplamalara göre bu malzemenin 1000000 devire kadar yorulacağını tahmin ettik. Daha sonra yorulma cihazının maksimum yük kapasitesi olan 300 N (yaklaşık 704.3 MPa) kuvveti uyguladık ancak 819710 devire kadar yine yorulmadığını gördük.

Yapmış olduğumuz bu deneyden anlaşılıyordur ki bu yükler altında semente yapılmış bu çeliklerin yorulma yönünden çok mukavemetli olduğu ve sementenin yorulma ömrünü arttırdığı anlaşılmıştır.

Ayrıca test numunelerinin ısıll işlem görmemiş halde sertlikleri 3 – 4 RSD-C iken ısıll işlem görmüş halde sertlikleri 59 – 53 RSD-C değerine sahip oldukları sertlik ölçüm yöntemleri ile belirlenmiş, 3 – 4 RSD-C sertliği brinell sertlik yöntemi ile 53 – 59 RSD-C sertliği ise Rockwell sertlik yöntemi ile belirlenmiştir. Yorulma olayında da uygulanan kuvvet altında sertliğin yorulmaya büyük etki yaptđı görülmüştür.

Sonuç olarak bu elik gruplarının kullanılacak olan makine sistemlerinde belirlemiş olduğumuz kuvvetler altında rahatça ve uzun ömürlü bir şekilde çalışacağı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Dalenda Jaddi, Habib Sidhom, Dominique Ghiglione and Henri – Paul Lieurade “ Role of the Cyclic Stability of Retained Austenite in Fatigue Performance of Carburized 14NiCr11 Steel ” Journal of Materials Engineering and Performance V.14(1).2005, P.P.37 - 49
2. Yu-kui Gao, Qing-Xiang Yang, Yan-hui Zhao, Feng Lu and Xue-ren Wu “ Influence of Carburization Followed by Shot Peening on Fatigue Property of 20CrMnTi Steel ” Journal of Materials Engineering and Performance V.14(5).2005, P.P 591 - 595
3. By Toru HAYAMA and Hiroyuki YOSHITAKE “ Effect of Mean Stres on Fatigue Strength of Carburized Steel ” The Japan Society of Mechanical Engineers V.14.No:78.1971, P.P.1272 - 1280
4. Jason J.Spice and David K.Matlock “ Optimized Carburized Steel Fatigue Performance as Assessed with Gear and Modified Bruggen Fatigue Tests ” Society of Automotive Engineers,Inc 2002-01-1003
5. R.S.HYDE, G.KRAUSS and D.K.MATLOCK “ Phosphorus and Carbon Segregation: Effects on Fatigue and Fracture of Gas-Carburized Modified 4320Steel”Metallurgical and Materials Transactions A V.25A.1994. P.P.1229-1240
6. TAKESHI NAITO,HIDEO UEDA and MASAO KIKUCHI “ Fatigue Behavior of Carburized Steel with Internal Oxides and Nonmartensitic Microstructure near the Surface ” Metallurgical Transactions A.V.15A.1984. P.P.1431-1436
7. Masao Kikuchi,Hideo Ueda,Keisuke Hanai and Takeshi Naito “ The Improvement of Fatigue Durability of Carburized Steels with Surface Structure Anomalies by Shot Peening ” Japan Dep.of Engineering Science and Mechanics. P.P.208-214

8. Sadaoki Hisamatsu, Takashi Kanazawa " Size Effect on Fatigue Strength of Shot Peened Carburized Steel " Isuzu Motors Limited Kawasakishi.210 Japan. P.P.517-524
9. Doç.Dr.Tekin.E " Mühendisler için Çelik Seçimi " Makine Mühendisleri Odası Ankara 2000
10. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları " Metal Mesleğinde Tablolar " Milli Eğitim Basımevi, İstanbul.2000
11. Prof.Dr. Yüksel.M. " Malzeme Bilgisi " Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.2002
12. Prof.Dr.Şahin Y " Talaş Kaldırma Prensipleri " Gazi Kitapevi Ankara.2001
13. Prof.Dr.ASKELAND D. " Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri " İngiltere - Londra
14. Prof.Dr. Temel Savaşkan " Malzeme Bilgisi ve Muayenesi ", 4.Baskı, Trabzon 2007
15. Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu Çelik Türleri Kataloğu. Ankara,MKE Basımevi 1978
16. Dr.Şakir Bor " Çelikler ve Yüzey Sertleştirme İşlemleri " Odtü Metallurji Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi,Makine Mühendisleri Odası Cilt 25,Sayı 292,1984 Ankara
17. Osman Asi " Sementasyon Yapılan SAE 8620 Çeliğinde Meydana Gelen Kalıntı Östenit Miktarlarının İncelenmesi "G.Ü.Journal of Science V.17(4),2004.P.P.103 - 113
18. Doç.Dr.Eyüp Sabri Kayalı, Doç.Dr.Cahit Ensari,Doç.Dr.Feridun Dikeç " Metalik Malzemenin Mekanik Deneyleri " İstanbul Teknik Üniversite Matbaası Gümüşsuyu -1983