

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞ MAKİNELERİ TIRNAKLARI ÜRETİMİNDE
KULLANILAN AZ ALAŞIMLI ÇELİKLERİN ISIL
İŞLEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. İsmail Serkan GÜLGEN

Enstitü Anabilim Dalı : MET. ve MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sakin ZEYTİN

Mayıs 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

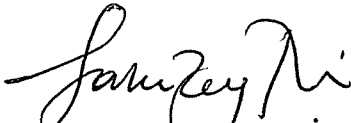
İŞ MAKİNELERİ TIRNAKLARI ÜRETİMİNDE
KULLANILAN AZ ALAŞIMLI ÇELİKLERİN ISIL
İŞLEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Met. ve Malz. Müh. İsmail Serkan GÜLGEN

Enstitü Anabilim Dalı : MET. ve MALZ. MÜH.

Bu tez 05 / 05 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Sakin ZEYTİN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Şaduman ŞEN
Üye


Yrd. Doç Dr. Ahmet ÖZEL
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmada iş makineleri tırnaklarının üretiminde ısıl işlemin önemi incelenmiştir.

Bu çalışmanın yürütülmesinde verdiği destekten ve yaptığı öncülükten dolayı, değerli danışmanım Prof. Dr. Sakin ZEYTİN 'e teşekkürlerimi sunuyorum. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Cuma BİNDAL' a teşekkür ederim. Deneyle yapmamda yardımlarını esirgemeyen laboratuvar görevlisi Ersan DEMİR' e teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımın büyük bir bölümünü gerçekleştirdiğim TAM ÇELİK firmasının sorumlu mühendisi sevgili meslektaşım Utku İNAN 'a , deney parçalarının işlenmesinde yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım boyunca benden desteğini esirgemeyen biricik eşim Av. Öznur GÜLGEN' e teşekkür ediyorum. Ayrıca bu çalışma süresi içinde dünyaya gelen, dünyalar tatlısı oğluma bana gülümseyişi ile destek olduğu için çok teşekkür ederim. Ve son olarak beni bugünlere yetiştiren aile büyüklerime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ÇELİĞİN TANIMI VE ÇELİK TÜRLERİ.....	2
2.1. Çelik Nedir.....	3
2.2. Uluslar Arası Çelik Standartları.....	5
2.2.1. Türk standartları.....	5
2.2.2. Alman standartları.....	5
2.2.2.1. Malzeme numarası.....	5
2.2.2.2. Çeliğin çekme dayanımına göre kısa işareti.....	6
2.2.2.3. Çeliğin kimyasal analizine göre kısa işareti.....	6
2.2.3. Amerikan standartları.....	7
2.2.4. Fransız standartları.....	7
2.2.5. İngiliz standartları.....	8
2.3. Çelik Türleri ve Kullanım Yerleri.....	9
2.3.1. Çeliklerin karbon oranına göre sınıflandırılması.....	9
2.3.1.1. Düşük karbonlu çelikler.....	9
2.3.1.2. Orta karbonlu çelikler.....	10

2.3.1.3. Yüksek karbonlu çelikler.....	10
2.3.2. Çeliklerin kimyasal bileşim esas alınarak sınıflandırılması...	11
2.3.2.1. Alaşimsız çelikler.....	11
2.3.2.2. Alaşımli çelikler.....	11

BÖLÜM 3.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİLERİ.....	23
3.1. Alaşım Elementleri.....	23
3.1.1. Karbon.....	24
3.1.2. Mangan.....	25
3.1.3. Silisyum.....	25
3.1.4. Kükürt.....	26
3.1.5. Fosfor.....	27
3.1.6. Krom.....	27
3.1.7. Nikel.....	28
3.1.8. Vanadyum.....	29
3.1.9. Tungsten.....	29
3.1.10. Molibden.....	30
3.1.11. Diğer alaşım elementleri.....	30
3.2. Alaşım Elementlerinin Fe-C Denge Diyagramına Etkileri.....	33
3.3. Alaşım Elementlerinin Karbür Oluşturma Eğilimleri.....	36
3.4. Alaşım Elementlerinin Ferrite Etkileri.....	37
3.5. Alaşım Elementlerinin Temperlemeye Etkisi.....	37
3.6. Alaşım Elementlerinin Sertleşme Kabiliyetine Etkisi.....	38
3.7. Alaşım Elementlerinin TTT Diyagramına Etkileri.....	38
3.8. Alaşım Elementlerinin Martenzitik Dönüşüme Etkileri.....	38

BÖLÜM 4.

ISLAH ÇELİKLERİ.....	40
4.1. Islah Çeliği Nedir.....	40
4.2. Islah İşlemi.....	41
4.2.1. Sertleştirme.....	41
4.2.1.1. Sertleştirme ortamının cinsi.....	46

4.2.1.2. Sertleştirme ortamının sıcaklığı.....	49
4.2.1.3. Parça yüzey şartları.....	51
4.2.1.4. Parça ebadı.....	52
4.2.2. Sertleşebilirlik.....	56
4.2.3. Temperleme.....	61
4.3. AISI 4340 Çeliği.....	71
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	
5.1. Giriş.....	78
5.2. Deneylede Kullanılan Çelikler.....	78
5.3. Isıl İşlem Deneyleleri.....	79
5.4. Metalografik İncelemeler.....	82
5.5. Sertlik Ölçümleri.....	82
5.6. Çekme Deneyleleri.....	82
5.7. Çentik Darbe Deneyleleri.....	83
5.8. Aşınma Deneyleleri.....	84
BÖLÜM 6.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	
6.1. Metalografik İncelemeler.....	86
6.2. Sertlik Ölçümleri.....	89
6.3. Çekme Deneyle Sonuçları.....	90
6.4. Çentik Darbe Deneyle Sonuçları.....	92
6.5. Aşınma Deneyle Sonuçları.....	94
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR.....	
KAYNAKLAR.....	
ÖZGEÇMİŞ.....	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Demir-karbon denge diyagramının çelik kısmı	4
Şekil 2.2.	Alman standartlarında malzeme numarasına göre çelik kodlama .	5
Şekil 3.1.	Alaşım elementlerinin a)ötektoidin karbon miktarına, b)ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkisi	34
Şekil 3.2.	Ostenit faz alanının şeklinin değişimi	35
Şekil 3.3.	Ostenit faz alanının krom miktarına bağlı olarak daralması.....	36
Şekil 4.1.	Martenzitin ve ostenitin sertliğine karbonun etkisi	43
Şekil 4.2.	Karbonun, 200°C’de temperlenmiş martenzitik çeliklerin çekme mukavemetine etkisi.....	44
Şekil 4.3.	%0.8 Karbonlu çeliğin şematik olarak çizilmiş ZSD diyagramı üzerindeki çeşitli soğuma eğrileri	45
Şekil 4.4.	Su verme sırasında meydana gelen soğuma safhaları	47
Şekil 4.5.	12 mm çapında, 60 mm boyundaki paslanmaz çelik çubukların merkezleri içi, çeşitli soğutma ortamlarında elde edilmiş soğuma eğrileri.....	49
Şekil 4.6.	12 mm çapında, 60 mm boyundaki paslanmaz çelik çubukların merkezleri için, 25 ve 50°C sıcaklıklardaki soğuma ortamlarında elde edilen soğuma eğrileri.....	50
Şekil 4.7.	Soğutma ortamı içinde parça hareketinin soğuma hızına etkisi.....	50
Şekil 4.8.	Parça ebadının soğuma hızına etkisi.....	52
Şekil 4.9.	%0.45 karbonlu çeliğin ZSD diyagramı üzerinde çeşitli ebatlar için elde edilmiş soğuma eğrileri ile soğutma sonunda elde edilen mikro yapı ve sertlik değerleri.....	54
Şekil 4.10.	25 mm çapındaki bir çelik çubuğun, suda hızla soğutulduğunda kesitin çeşitli noktalarında elde edilen soğuma eğrileri	55
Şekil 4.11.	Çeşitli ebatlardaki SAE 1045 ve 6140 çeliklerinin suda	

	sertleştirildiklerinde elde edilen sertlik ilerleme eğrileri.....	56
Şekil 4.12.	Çeşitli ebatlardaki SAE 1045 ve 6140 çeliklerinin yağda sertleştirildiklerinde elde edilen sertlik ilerleme eğrileri	57
Şekil 4.13.	Jominy deney parçası ve sertleşebilirlik	58
Şekil 4.14.	SAE 4140 çeliğinin ZSD diyagramı ve jominy deney parçasının çeşitli noktalarında elde edilen soğuma eğrileri	59
Şekil 4.15.	Üç değişik kalite için Jominy deneyinden elde edilen sertleşebilirlik eğrileri	61
Şekil 4.16.	%1.5Ni , %1Cr, % 0.25Mo ve %0.4C içeren malzemenin mekanik özelliklerinin temperleme sıcaklığı ile değişimi	62
Şekil 4.17.	Çeşitli sıcaklıklarda 1 saat menevişlenmiş SAE 4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe değeri eğrileri	63
Şekil 4.18.	Menevişleme sıcaklığının SAE 4140 çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi	64
Şekil 4.19.	Çeşitli meneviş sıcaklığı aralıklarında meydana gelen dönüşüm yapıları	66
Şekil 4.20.	Artan temperleme sıcaklığı ile temperlenen, su verilmiş, %0.35 karbonlu çeliğin yumuşamasına molibdenin etkisi.....	67
Şekil 4.21.	482°C' de 1 saat menevişlenmiş martenzitin sertliğine alaşım elementlerinin etkisi	68
Şekil 4.22.	Su verilmiş bir çeliğin temperleme sıcaklığı ile sertlik ve oda sıcaklığındaki darbe enerjisi.....	68
Şekil 4.23.	300-350°C veya temperlenmiş martenzit gevrekliği.....	69
Şekil 4.24.	Su verilerek martenzite dönüştürülmüş bazı alaşımlı çeliklerin temperleme sıcaklıkları ile darbe dirençlerinin değişimi.....	69
Şekil 4.25.	İki kademeli temper gevrekliği.....	70
Şekil 4.26.	Kimyasal kompozisyonu 0.42C, 0.78Mn, 1.79Ni, 0.80Cr, 0.33Mo olan ve ostenitleme sıcaklığı 845°C olan çeliğin izotermal dönüşüm diyagramı.....	72
Şekil 4.27.	Kompozisyonu; 0.41C, 0.87Mn, 0.28Si, 1.83Ni, 0.72Cr, 0.20Mo olan ve 845°C'de ostenitlenmiş ve Ac ₃ sıcaklığı 755°C , Ac ₁ sıcaklığı 720°C olan çeliğin izotermal dönüşüm diyagramı.....	72
Şekil 4.28.	Kompozisyonu; 0.42C, 0.83Mn, 1.50Si, 1.85Ni, 0.90Cr, 0.41Mo	

	olan ve 845°C’de ostenitlenmiş çeliğin sertleşebilirlik eğrisi.....	73
Şekil 4.29.	Temperleme sıcaklığı ile sertlik değişimi.....	74
Şekil 4.30.	Asil çelik firmasının ürettiği 4340 çeliği.....	75
Şekil 4.31.	Kullanılmakta olan iş makinesi tırnak görüntüsü.....	76
Şekil 4.32.	İş makinesi kovası ve tırnakların bağlantı şekli.....	76
Şekil 4.33.	Bekoloder tipi iş makinelerine takılan uç tipleri.....	77
Şekil 4.34.	Kova ve tırnaklar yerine monte edilmiş.....	77
Şekil 4.35.	İş makinesi tırnakları (a) ara bağlantı olmadan kovaya bağlanır (b) adaptör kullanılarak kovaya bağlanır.....	77
Şekil 5.1.	Numune dökümler.....	79
Şekil 5.2.	Codere gaz atmosfer fırını.....	80
Şekil 5.3.	Tuz banyoları.....	81
Şekil 5.4.	Çekme deneyi numunesi.....	82
Şekil 5.5.	Çentik darbe deneyi numunesi.....	83
Şekil 5.6.	Deney düzeneğine numune yerleşimi.....	83
Şekil 5.7.	Aşınma deneyi için hazırlanan numune tutucu.....	84
Şekil 5.8.	Aşınma deneyi düzeneği.....	85
Şekil 6.1.	Döküm sonrası tavlanmış yapı X100 büyütme.....	86
Şekil 6.2.	Döküm sonrası normalize yapı X50 büyütme.....	87
Şekil 6.3.	200°C’de meneviş martenzit X100 büyütme	87
Şekil 6.4.	450°C’de ½ saat temperlenmiş martenzit X500 büyütme.....	87
Şekil 6.5.	450°C’de 1 saat temperlenmiş martenzit X500 büyütme.....	88
Şekil 6.6.	550°C’de ½ saat temperlenmiş martenzit X200 büyütme.....	88
Şekil 6.7.	550°C’de 1½ saat temperlenmiş martenzit X200 büyütme.....	88
Şekil 6.8.	Isıl işlem şartlarının meydana getirdiği sertlik değişim grafiği.....	90
Şekil 6.9.	Farklı ısıl işlem uygulanan numunelerin çekme gerilmeleri değişim grafiği.....	91
Şekil 6.10.	Çekme deneyi sonucunda numunelerin göstermiş olduğu % uzama grafiği.....	92
Şekil 6.11.	Çentik darbe deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	93
Şekil 6.12.	Numunelerin aşınma deneyi sonucunda kayıp yüzdelерinin grafiksel gösterimi.....	95

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Karbon çelikleri kısaltmaları.....	6
Tablo 2.2.	İngiliz standartlarına göre çelik türü ve ana grupları.....	8
Tablo 2.3.	İngiliz standartlarına göre çeliğin özelliğini belirten harfler.....	8
Tablo 2.4.	Az alaşımlı çeliklerin katsayıları.....	12
Tablo 3.1.	Alaşım elementlerinin çelik özelliklerine etkisi.....	32
Tablo 4.1.	Durgun su için sertleştirme şiddeti değeri 1.0 olarak baz alındığında, çeşitli soğutma metodları için değişik ortamlara ait sertleştirme şiddet değerleri.....	51
Tablo 4.2.	%0.45 C'lu çeşitli ebatlardaki parçaların su verme sonrası sertlik ölçümleri.....	53
Tablo 4.3.	%0.40 karbonlu bazı alaşımlı çeliklerin kimyasal kompozisyonları.....	60
Tablo 4.4.	Şekil 4.24'deki alaşımlı çeliklerin bileşimleri.....	70
Tablo 4.5.	4340 çeliğinden hazırlanmış üç farklı kesitteki (mm) deney parçalarına üç farklı ostenitleme sıcaklığı ve beş farklı temperleme sıcaklığı uygulanmış (temperleme süresi 2 saat) ve şu sertlik değerleri (HRC) alınmıştır (yağda su verilmiştir).....	73
Tablo 5.1.	Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi.....	78
Tablo 5.2.	Çentik darbe deneyi numuneleri ısıl işlem durumları.....	80
Tablo 5.3.	Çekme deneyi numuneleri ısıl işlem durumları.....	81
Tablo 5.4.	Aşındırıcı ortam içeriği.....	84
Tablo 6.1.	Numunelerin sertlik değerleri.....	89
Tablo 6.2.	Çekme deneyi sonuçları.....	90
Tablo 6.3.	Çentik darbe deneyi sonucu ortaya çıkan kopma enerjisi.....	93
Tablo 6.4.	Aşınma deneyi sonucunda numunelerdeki % kayıp.....	94

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik, ısıl işlem, mukavemet, tokluk

İş makineleri tırnakları üretiminde kullanılan SAE/AISI 4340 çeliklerinin, yüksek sertleşebilirlikleri ve kazandıkları sertlikle beraber tokluklarında önemli bir düşüş olmaması, bu sektör için 4340 çeliğinin kullanılmasının en önemli sebebidir. Döküm, dövme yada herhangi bir üretim yöntemi ile imal edilen tırnaklar, gerekli mekanik özellikleri, ısıl işlem ile kazanırlar. Kullanım yerindeki ömrünü uygulanacak ısıl işlem belirleyecektir.

Bu çalışmada SAE/AISI 4340 çeliği, aynı tipteki numunelere farklı ısıl işlem şartları uygulanarak mekanik özelliklerdeki farklılıklar incelenmiştir.

PRODUCT OF WORK MACHINES NAILS USE LITTLE STEEL OF HEAT TREATMENT

SUMMARY

Key Words: Steel, heat treatment, toughness, strenght

Products of work machines nails use SAE/AISI 4340 steels. Steels have high hardenability and it gets to hardness. So these steels can obtain toughness. These toughness hasn't important dropping. We use these steels because this is important event for sector. Manufacture of casting, forcing or another methods at nails have some characteristic. Nails have characteristic with heat treatment and heat treatment define of using existence.

In this study, steel of SAE/AISI 4340 was used different heat treatment on same type specimen. Then we show when it can be different mechanic characteristic.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Mühendislik malzemeleri içerisinde en fazla kullanılan çeliklerdir. Öyle ki, kullanılan çelik miktarı diğer bütün mühendislik malzemeleri mertebesinde veya daha fazladır. 18. yüzyılda sanayi devriminin başlamasına hem doğrudan, hem de dolaylı olarak çelik sanayi önder olmuştur. Yaklaşık son iki yüzyıl demir-çelik devri olarak nitelendirilebilir. Bununla beraber, demirin insanlar tarafından kullanımı tarihin çok eski dönemlerine kadar gider. Başka bazı metallerinde çok eski tarih dönemlerinde kullanılmış olmasına rağmen, çağdaş teknoloji demir çeliğe bağlı olduğu kadar hiçbir malzemeye bağlı olmamıştır. Günümüzde, yeni geliştirilen diğer bazı metalik, seramik, polimerik veya bunların karışımı olan malzemeler çeşitli özellikleri açısından (yüksek sıcaklığa dayanıklılık, hafiflik, inertlik gibi) çeliklere üstünlük sağlamakla beraber, demir çelik esaslı malzemelerin teknolojik hakimiyetleri daha uzun yıllar boyunca sürecektir.

Çelikler temelde bir demir-karbon alaşımı olduklarından, mekanik özellikleri bileşimlerinde bulunan karbon miktarından önemli derecede etkilenmektedir. Ayrıca, çeşitli alaşım elementleri ilavesi ile ve/veya uygun ısı işlemlerle çeliklere daha üstün mekanik özellikler kazandırılmaktadır. Çeliklerin mekanik özellikleri genelde, mikro yapılarının bir fonksiyonudur. Gerek bileşimdeki karbon ve diğer alaşım elementleri, gerekse ısı işlemler, çeliğin mikro yapısını etkileyerek mekanik özelliklerin değişmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada çelikler sınıflandırılarak tanıtılmış ve uygulanan ısı işlemlerin (su verme ve menevişleme) mekanik özellikler üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

BÖLÜM 2. ÇELİĞİN TANIMI VE ÇELİK TÜRLERİ

2.1. Çelik Nedir?

Çelik genel olarak bileşiminde % 2 ' ye kadar karbon içeren demir- karbon alaşımı olarak tanımlanır [1]. Alman DIN normuna göre ise çelik, herhangi bir işlemde geçmeden dövülebilen ve genellikle %1.7 ' den fazla karbon ihtiva etmeyen bir demir-karbon alaşımıdır. İstisna olarak % 2 karbon ihtiva eden yüksek alaşımlı çelikler, yüksek orandaki alaşım elemanları nedeni ile çelik grubuna dahildir [2].

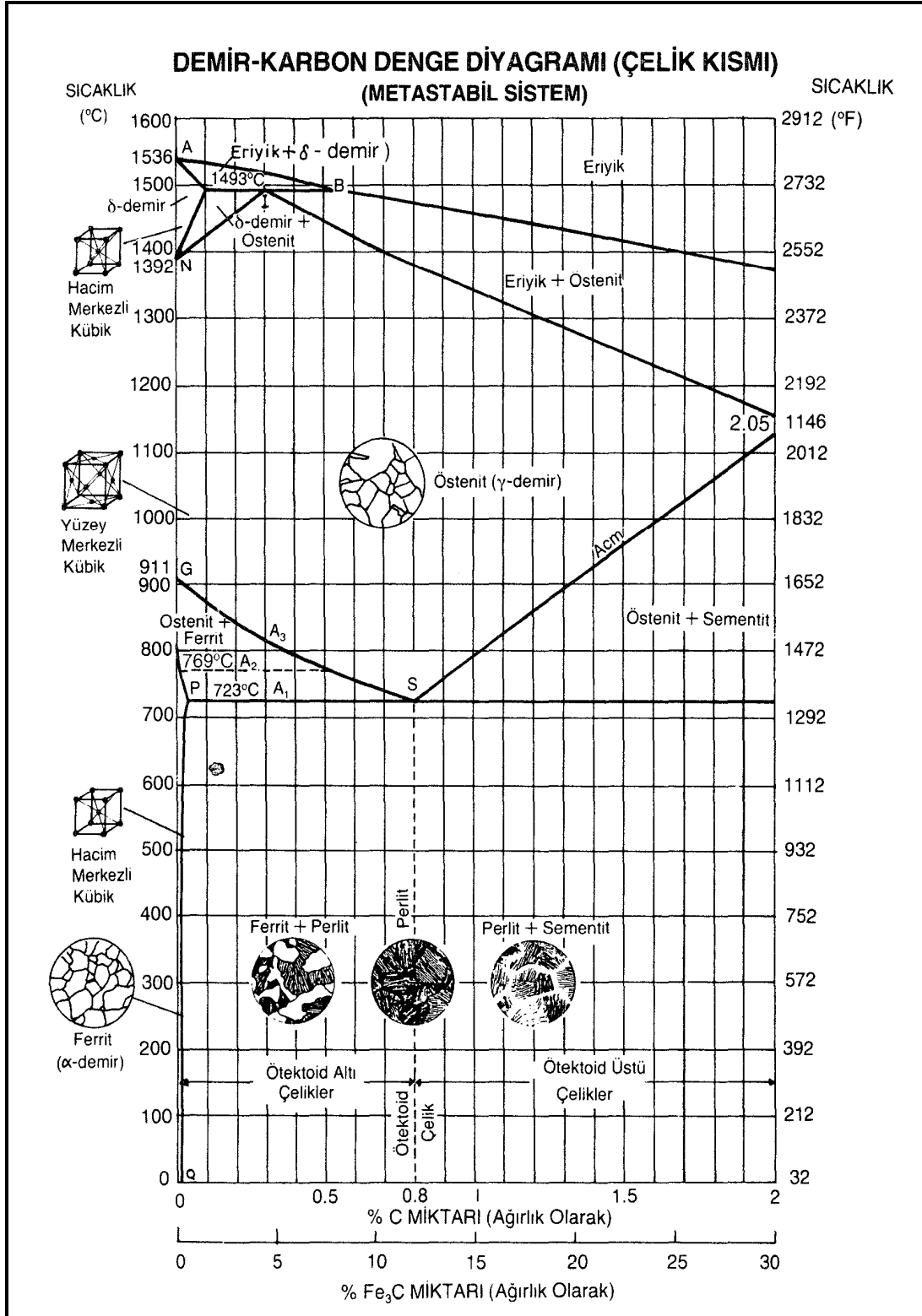
Saf demir oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar üç farklı kristal yapıda bulunur. Oda sıcaklığından 912°C'ye kadar hacim merkezli kübik (HMK) (α -Fe), 912°C'den 1394 °C'ye kadar yüzey merkezli kübik (YMK) (γ -Fe) ve 1394°C'den ergime sıcaklığına kadar tekrar hacim merkezli kübik (HMK) (δ -Fe ; α -Fe ile aynı) kristal yapıları. Bir malzemenin kimyasal yapısı değişmeden kristal yapısı değişiyorsa , bu tür malzemeler allotropik ve polimorfik özellik gösteriyor demektir. Demirin ve buna bağlı olarak alaşımlarının da allotropik özellik göstermesi, bu malzemelerin çok geniş bir istek yelpazesine yani sertlik, süneklik, tokluk, aşınma direnci gibi önemli mekanik özelliklere sahip olması sonucu, sayılamayacak kadar çok alanda kullanılmasına neden olmaktadır [3].

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

Şekil 2.1'de demir ile karbonun meydana getirdiği ikili denge diyagramı görülmektedir. Diyagramın sol tarafında demir, sağ tarafında ise Fe₃C (demir karbür- sementit) bulunmaktadır. Diyagram, saf demir içerisinde sürekli artan oranlarda az

miktarda karbon elementi katılarak elde edilen alaşımların sıvı halden soğutulması takip edilerek çizilmiştir. Diyagramın alt eksenine demire katılan karbonun ağırlık olarak yüzdesini, dikey eksenine ise sıcaklığı göstermektedir [3].

Diyagramda üç önemli dönüşüm vardır. Bunlardan ilki 1495 °C'de %0.15 karbon bileşiminden "sıvı+delta" dan ostenit oluşmaktadır. Bu dönüşüm peritektik olarak isimlendirilir ve teknik açıdan çok da önemli değildir. 1148°C'de %4.3 karbon bileşiminde ise sıvı faz "ostenit+sementit" fazlarından oluşan bir yapıya dönüşür. Bu reaksiyon ötektik adını alır ve denge diyagramında sıvının görüldüğü en düşük sıcaklığı gösterir. Ötektik reaksiyon dökme demir teknolojisi için önemli olmakla birlikte bu reaksiyon sonucu oluşan ürün ledeburit adını alır. Diyagramdaki üçüncü reaksiyon ise çelik açısından önemli olan ötektoid reaksiyonudur. Ötektoid reaksiyon 727 °C'de ve ağırlıkça % 0.8 karbon bileşiminde ostenitin "ferrit + sementit" e dönüşümü şeklinde olur ve ötektoid dönüşüm ürünü perlit (ferrit + sementit) adını alır [3].



Şekil 2.1. Demir-Karbon denge diyagramının çelik kısmı (metastabil sistem) [4]

2.2. Uluslar Arası Çelik Standartları

2.2.1. Türk standartları (TS)

Çeliklerle ilgili Türk Standartları'nın hazırlanmasında DIN-Alman Standartları esas alınmış olup, Alman Standartları bölümünde yer alan açıklama ve örnekler Türk Standartları için de geçerlidir [5].

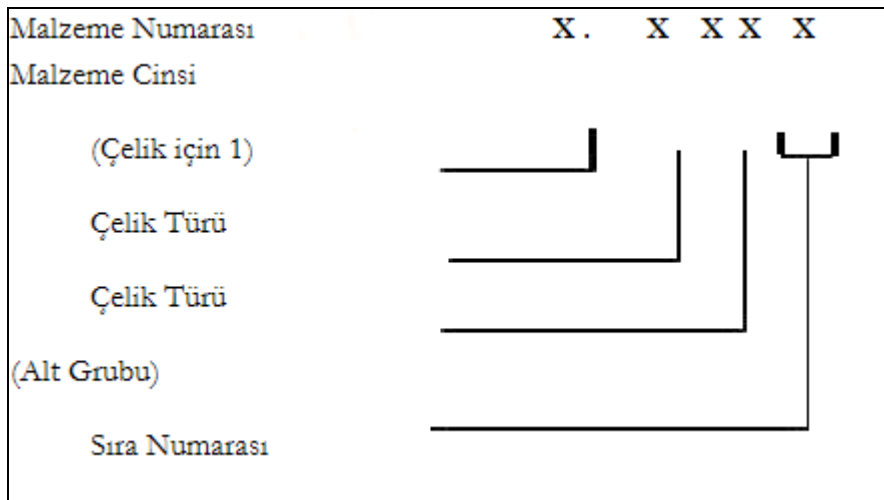
2.2.2. Alman standartları (DIN)

Alman Standartlarında malzeme tanımlaması için 3 değişik sistem kullanılmaktadır.

- 1) Malzeme numarası
- 2) Çeliğin çekme dayanımına göre kısa işareti
- 3) Çeliğin kimyasal analizine göre kısa işareti

- i) Karbon çelikleri
- ii) Düşük alaşımlı çelikler
- iii) Yüksek alaşımlı çelikler [5]

2.2.2.1. Malzeme numarası



Şekil 2.2. Alman standartlarında malzeme numarasına göre çelik kodlama [5]

2.2.2.2. Çeliğin çekme dayanımına göre kısa işareti

Çeliğin minimum çekme dayanımı (Kgf/mm^2) esas alınarak gösterilir. Örneğin St 37 için düşünersek, en az 37 Kgf/mm^2 veya 370 N/mm^2 çekme dayanımına sahip olan çeliği tanımlar [5].

2.2.2.3. Çeliğin kimyasal analizine göre kısa işareti

1- Karbon çelikleri : “C” ön harfi ile tanımlanır ve “C” harfinden sonra gelen sayı yüzde C miktarının 100 katını gösterir. Ayrıca diğer özellikler “C” harfinden sonra k, m, q ve f harfleri konularak tanımlanmaktadır [5].

Tablo 2.1. Karbon çelikleri kısaltmaları [5]

HARFLER	TANIM
Ck	Genel amaçlı vasıflı karbon çelikleri(Düşük P ve S)
Cm	Kükürt miktarı belli sınırlar içerisinde olan ıslah edilebilir karbon çelikleri
Cq	Soğuk şekillendirilebilir karbon çelikleri
Cf	Alevle ve indüksiyonla yüzeyi sertleşebilir karbon çelikleri

2- Düşük alaşımlı çelikler : Alaşım elemanlarının ağırlık olarak toplam miktarı %5 veya %5’ ten az çeliklerdir. Bu çeliklerin kısa işaretindeki ilk rakam karbon miktarının 100 katı olup, bu sayıdan sonra alaşım elementi veya elementlerinin sembolleri ile daha sonraki sayı ve sayılarla da alaşım elementinin yüzde olarak ağırlıkları verilmektedir. Bu sayılar aşağıdaki alaşım elementi çarpanına bölünerek o elementin yüzde ağırlığı bulunur [5].

Cr, Mn, Si, Ni, Co, W için “4”

Al, Cu, Pb, Mo, V, Ti, Zr, Ti, T için “10”

C, S, P, N için “100”

B için “1000”

Örneğin 41Cr4 için;

41 sayısı; $41/100 = 0,41$ ortalama % C miktarını,

4 sayısı; $4/4 = 1$ ortalama % Cr miktarını ifade eder [5].

3- Yüksek alaşımlı çelikler : Alaşım elementlerinin ağırlık olarak toplam miktarı %5'ten fazla olan çeliklerdir. Yüksek alaşımı belirlemek için tüm ifadenin başına bir "X" işareti konulmuştur. "X" harfinden sonra gelen sayı ortalama C miktarının 100 katıdır. Bu sayıdan sonra alaşım elementlerinin sembolleri ile bunların yüzde olarak ağırlıklarının miktarları verilir. Tüm alaşım elementlerinin çarpanları "1" olarak kabul edilir [5].

Örneğin X20Cr13 için;

20 sayısı; $20/100 = 0,20$ ortalama % C miktarını,

13 sayısı; $13/1 = 13$ ortalama % Cr miktarını ifade eder [5].

2.2.3. Amerikan standartları (SAE / AISI)

SAE ve AISI sistemlerinde malzemenin kısa işareti 4 veya 5 haneli sayı sistemi kullanılarak yapılır. 5 haneli sayı sistemi %C miktarı 1'in üzerinde olduğu zaman yapılır. İlk 2 rakam çelik türünü, diğer 2 veya 3 rakam ise %C miktarının 100 katıdır [5].

2.2.4. Fransız standartları (AFNOR)

İki türlü gösterim vardır. Bunlar ;

Çeliğin çekme dayanımına göre, gösterimi, örneğin A35 gibi kısa işaret kullanılarak ifade edilir. Çeliğin kimyasal analizine göre gösteriminde ise iki seçenek vardır [5].

- Isıl işlem uygulanabilen C çelikleri (CC işareti ile ifade edilir).
- Isıl işlem uygulanması gereken C çelikleri (XC işareti ile ifade edilir).

Düşük alaşımlı çeliklerin ifade şekli DIN normundaki gibidir. Alaşım elementlerini ifade eden harflerden bazıları değişir fakat alaşım elementi çarpanları DIN

normundaki gibidir. Yüksek alaşımli çeliklerde DIN normundaki “X” ibaresinin yerini “Z” harfi alır. Alaşım elementleri çarpanları ise DIN normundaki gibi “1” dir [5].

2.2.5. İngiliz standartları (BS)

BS standartlarında çeliklerin kısa işaretleri, kimyasal analizlerine göre altı (6) haneli sayı sembol sistemi kullanılarak verilir. İlk üç hane Çelik türü ve ana grubunu, ortadaki hane çeliğin özelliğini belirten harf ve son iki hanede %C miktarının 100 katını ifade eder [5].

Tablo 2.2. İngiliz standartlarına göre çelik türü ve ana grupları [5]

ÇELİK TÜRÜ ANA GRUPLARI	TANIMI
000 – 199	KARBON ÇELİKLERİ, KARBON VE MANGANLI ÇELİKLER
200 – 240	OTOMAT ÇELİKLERİ
250 – 299	SİLİSYUM VE MANGANLI YAY ÇELİKLERİ
300 – 499	PASLANMAZ Ç., ISIYA DAYANIMLI ÇELİKLER
500 – 999	ALAŞIMLI ÇELİKLER

Tablo 2.3. İngiliz standartlarına göre çeliğin özelliğini belirten harfler [5]

HARFLER	TANIMI
“A”	Kimyasal analizi istenilen aralıklarda
“H”	Sertleşebilirlik eğrisi istenilen sınırlar arasında
“M”	Mekanik özelliklere ait değerler istenilen sınırlar arasında
“S”	Paslanmaz çelikler

2.3. Çelik Türleri ve Kullanım Yerleri

2.3.1. Çeliklerin karbon oranına göre sınıflandırılması

Karbon çelikleri olarak da isimlendirilen sade karbonlu çeliklerde, ana alaşım elementi olarak sadece karbon bulunur. Bu çeliklerin bileşimine deoksidasyon amacı ile katılanlar dahil diğer alaşım elementleri az miktarda yer almaktadır. Sade karbonlu çeliklerde %0.25-0.8 oranında silisyum, %0.5-1 oranında mangan bulunur. Sade karbon çeliklerini içerdikleri karbon oranına göre üç grupta toplamamız mümkündür [1].

2.3.1.1. Düşük karbonlu çelikler

Bu gruba giren çeliklerde %0-0.2 oranında karbon bulunur. Bunun yanı sıra %0.5-1 mangan, %0.25-0.8 silisyum , max % 0.05 kükürt ve max 0.05 fosfor bulunur [1]. Düşük karbonlu çelikler genellikle sac veya levha halinde imal edilirler. Düşük oranlarda karbon içermelerinden dolayı kolayca şekillendirilebilirler [6]. Bu özellikleri, haddeleme, dövme ve preste şekil verme işlemlerinde büyük yarar sağlamaktadır. Isıl işlem ile yeterince sertleştirme yapmak mümkün değildir. Yüzey sertleştirme işlemleri (sementasyon, nitrüleme v.s) ile iç bölgeleri yumuşak, yüzeyleri ise sert parçaların üretiminde kullanılırlar [7]. Düşük karbonlu çelikler; demiryolu ve otomobil endüstrisinde, manyetik özellikleri nedeni ile de elektrik aletleri yapımında kullanılırlar [1].

Bu çelikler, çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Çok Yumuşak Çelikler, % 0.07 ile % 0.15 arasında karbon içerirler ve soğuk şekillendirmeye elverişlidirler [7].

Yumuşak Çelikler, % 0.15 ile % 0.25 oranında karbon içerirler Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilirler ancak su verme yöntemiyle iyi sertleştirilemezler [7].

2.3.1.2. Orta karbonlu çelikler

Bu çelikler, % 0.25 ile % 0.55 oranları arasında karbon içerirler. Bunun yanı sıra %0.15-0.3 silisyum, %0.6-0.9 mangan, max %0.04 kükürt ve max. %0.04 fosfor içerirler. Isıl işlem için çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemle büyük ölçüde değiştirilebilir. Kaynak özellikleri ise, düşük karbonlu çelikler kadar iyi değildir [7]. Orta karbonlu çelikler, demiryolu ve diğer ulaşım endüstrilerinde, makine ve aletlerde, ayrıca inşaat malzemelerinde tercih edilirler[1]. Bu çelikler, karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılır.

- a. Genel dövme çelikleri; % 0.25 ile % 0.35 arasında karbon içerirler.
- b. Mil çelikleri; % 0.35 ile % 0.45 oranları arasında karbon içerirler. Mil, tel ve dingil yapımında kullanılırlar.
- c. Aşınmaya dayanıklı çelikler; % 0.45 ile % 0.55 arasında karbon içerirler. Ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıplarının yapımında kullanılırlar [7].

2.3.1.3. Yüksek karbonlu çelikler

Bu çelikler; % 0.5 ile % 0.9 arasında karbon içerirler ve ayrıca %0.5-1 mangan, % 0.3-0.8 silisyum, max. %0.05 kükürt ve max. %0.05 fosfor ihtiva ederler [1]. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar [8]. İşlenme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşüktür. Bu çelikler diğer gruplara oranla daha iyi sertleşebilme özellikleri vardır. Bu nedenle yüksek mukavemet istenen yerlerde kullanılırlar. Ayrıca metal kesme, işleme, delme gibi takımların yapımında kullanılırlar [7]. Kullanım alanına başka bir örnek de pres kalıp blokları gösterilebilir [8].

2.3.2. Çeliklerin kimyasal bileşim esas alınarak sınıflandırılması

Kullanılan alaşım elementlerinin miktarına göre çelikler iki ana başlık altında incelenir.

2.3.2.1. Alaşimsız çelikler

Bunlar alaşım katkısı sayılabilecek hiçbir alaşım elementi içermezler. Bu tür çelikler esasen demir-karbon alaşımları olup karbon çeliği adını alırlar [3].

C harfi ile sembolize edilir ve ortalama yüzde karbon oranının yüz katı ile gösterilirler. Örneğin, bileşiminde % 0.35 karbon bulunan alaşimsız ve sakınleştirilmiş oksijen konverter çeliği, OS C 35 şeklinde gösterilir. Ortalama karbon oranı % 0.45 olan alaşimsız çelik C 45 şeklinde gösterilir. Karbon (C) işaretinden sonra gelen küçük harfler ise alaşimsız çeliğin türünü gösterir. Örneğin, ortalama karbon oranı % 0.45 olan alaşimsız asal çelik Ck 45 şeklinde, % 0.53 oranında karbon içeren ve yüzeyi sertleştirilebilen alaşimsız çelik ise Cf 53 şeklinde gösterilir [5].

2.3.2.2. Alaşımlı çelikler

Alaşımlı çelikler alaşım miktarına göre veya esas alaşım elementine göre sınıflandırılabilir.

A-Alaşım miktarına göre

1- Az alaşımlı çelikler : Bu tip çeliklerin gösteriminde C işareti kullanılmaz. Ortalama yüzde karbon oranının yüz katı yazıldıktan sonra, oran sırasına göre alaşım elementlerinin simgeleri ve bu elementlerin Tablo 2.4'deki katsayılarla çarpılarak tam sayıya yuvarlatılmış ortalama yüzde oranları belirtilir [8].

Tablo 2.4. Az alaşımlı çeliklerin katsayıları [8]

Alaşım Elementi	Katsayısı
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Pb, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10
P, S, N, Ce, C	100
B	1000

Örneğin bileşiminde % 0.20 C ve % 1.25 Mn bulunan az alaşımlı çelik 20 Mn 5, bileşiminde % 0.15 C ve % 0.75 Cr bulunan az alaşımlı asal çelik 15Cr3 ve bileşiminde % 0.15 C, % 1 Cr ve % 0.40 Mo bulunan az alaşımlı çelik ise 15 Cr Mo 44 şeklinde gösterilir [8].

2- Otomat çelikleri : Karbon oranı az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi yazılır. Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri varsa bu sırayla gösterilir ve yalnız kükürdün ortalama yüzde oranı yüz ile çarpılarak belirtilir [8].

Örneğin; bileşiminde % 0.45 C, % 0.20 S ve % 0.15 - % 0.30 Pb bulunan otomat çeliği 45SPb20, bileşiminde % 0.09 C, % 0.15 - % 0.30 S, % 0.90 - % 1.30 Mn ve % 0.15 - % 0.30 Pb bulunan otomat çeliği ise 9SMnPb23 şeklinde gösterilir [8].

3- Yüksek alaşımlı çelikler : Yüksek alaşımlı çeliklerin gösterimi için en başta X harfi kullanılır. Karbon oranı, az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi yazılır ve alaşım elementlerinin her birinin gerçek yüzde oranı kendi simgesinden sonra belirtilir. İkinci derecede önemli olan alaşım elementlerinin oranları gösterilmeyebilir. Örneğin; bileşiminde % 0.08 C, % 18Cr ve % 8 Ni bulunan yüksek alaşımlı çelik X 8Cr18Ni 8 şeklinde gösterilir [8].

Yüksek alaşımlı çeliklerde, alaşım elementlerinin toplamı % 5' den fazladır. Bu çelikler, korozyona dirençli olduklarından korozif ortamlarda ve 650°C'nin üzerindeki sıvı ve sıcak gaz ortamlarında rahatlıkla kullanılırlar. Yüksek alaşımlı çeliklerde, korozyona dayanıklı ve ısıya dayanıklı çelikler olarak incebilir [1].

i- Korozyona dayanıklı yüksek alaşımlı çelikler : Bu çelikler, geçmiş yıllardan bu yana paslanmaz çelik olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. 650°C ve daha yüksek sıcaklıklardaki servis koşullarında kullanılırlar [1].

%12' den fazla krom içeren paslanmaz çelikler , oksidasyona ve korozyona karşı dayanıklıdırlar. Ana alaşım elementi olan krom dışında, bir yada iki alaşım elementi içerirler. Bu elementler, özel yapı, korozyon direnci ve belirli mekanik özellikler sağlamak amacı ile, nikel, bakır, molibden ve azot olabilir. Bu çelikler krom (%11.5-30 Cr, % 0.15-0.5 C), nikel-krom (%19-22 Cr, %27.5-30.5 Ni, %0.07 C) ve krom-nikel (%11.5-30 Cr, %3.5-13 Ni, %0.03-0.3 C) çelikleri olarak genelde üç gruba ayrılır [1].

ii- Isıya dayanıklı yüksek alaşımlı çelikler : Isıya dayanıklı yüksek alaşımlı çelikler, 650 °C gibi yüksek sıcaklıkları kapsayan servis koşullarında kullanılırlar. Yüksek sıcaklıklardaki mukavemet, malzeme seçimi kriterlerinden sadece biridir. Çünkü çelik, uygulamada aşındırıcı ortamlara maruz kalacağından, aşınmaya dayanıklı olmalıdır [1].

Sade karbon ve düşük alaşımlı çelikler, nadir olarak yüksek sıcaklıklarda uygun mukavemet ve korozyon direnci gösterirler. Oysa ısıya dayanıklı bu çelikler, uzun süre sonunda dahi istenen mekanik özelliklerde ve korozyon direncinde aşırı bir azalma olmadan kullanılabilirler [1].

Değişik servis sıcaklıklarında kullanılmak üzere geliştirilen ısıya dayanıklı çelikleri üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar; demir-krom (%8-30 Cr, %0.2-0.5 C) demir-krom-nikel (%18-32 Cr, %8-22 Ni, %0.2-0.6 C) demir-nikel-krom (%10-28 Cr, %23-68 Ni, %0.2-0.75 C) alaşımlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda üstün bir

mukavemet sağlayan bu çelikler, yüksek karbon içerdikleri hariç, korozyona dayanıklı çeliklere benzerler [1].

B-Esas alaşım elementine göre

1-Manganlı elikler (1300 serisi) : Mangan bütün ticari çeliklerin, oksijeni gidermek ve kükürtle karıştırılarak küresel MnS oluşturmak için % 0.25'den - % 1'e kadar bir dizi şeklinde eklenir [5]. Manganez, metalin sıcak şekillendirilmesi sırasında meydana gelebilen ve kükürt varlığından kaynaklanan sıcak yırtılmaya olan eğilimi azaltır da denilebilir. Çelikte manganez olmadığı yada çok az olduğu zaman, hakim sülfür FeS'dr ve FeS ile Fe bir ötektik oluştururlar. Bu tektik, çeliğin katılaşması sırasında primer kristaller etrafında sürekli bir film oluşurmaya yatkındır. Bu filmler, çeliğin sıcak haddeleme sıcaklıklarında sıvı halde bulunur ve işlem sırasında tane sınırları boyunca çatlama eğilimi olan bir sıcak yırtılma olayı meydana getirir. Manganez kükürde karşı afinitesi yüksek olan bir elementtir ve manganez sülfür demir sülfürden çok daha yüksek bir ergime noktasına sahiptir. Bu nedenle, manganez sülfür haddeleme sıcaklığında katı halde kalır ve çeliğin sıcak- işlem özelliklerine ters bir etki yapmaz [3].

Manganın maliyet üzerindeki artış etkisi ile bağlantılı olarak mukavemetteki artış göz önünde tutulursa diğer alaşım elementlerine göre en etkili olan mangandır. Ayrıca mangan mukavemet artışı yanı sıra sneklige de katkısı vardır. Fakat hem mukavemet hem de sneklikteki artış değer karbonun ki kadar etkin değildir ve manganın etkisi yüksek karbonlu çeliklerde daha belirgindir [7]. Mangan zayıf bir karbür yapıcı elementtir ve sertleşebilirliğe orta düzeyde etkisi vardır. Mangan, kritik sıcaklığı düşürür ve ötektoidin karbon içeriğini daha düşük karbon değerine taşır [3]. elikten daha yüksek dayanım ve kaynaklanabilirlik gerektiğinde, % 1.6 - % 1.9 arasında Mn içeren çelikler kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı manganlı eliklerin AISI 13xx serisi % 0.30'dan % 0.45'e varan karbon ve % 1.75 mangan nominal düzeyine sahiptir. Bu 13xx çelikleri, sade karbonlu elik karşılıklarında daha yüksek dayanıma ve sertleştirilebilme özelliğine sahiptir ve dingiller, şaftlar, vitesler ve otomobiller için hareket kolları, dişliler, tarım aletleri ve tüfek namlularında kullanılırlar [7].

13xx alaşımlı çeliklerin sertleşebilme özelliği , sade karbon çeliklerden biraz daha yüksektir. Bu da 13xx alaşımlarında mangan içeriğinin nominal % 1.75'e çıkmasının bir sonucudur [7]. İnce taneli mangan çelikleri müstesna tokluk ve mukavemet özelliklerine sahiptir. Bu çelikler içine yapılacak az bir vanadyum ilavesi ile havada soğutulmuş olarak büyük dövme parçalar imalinde de kullanılır. Normalizasyondan sonra, bu çelikler sade karbonlu çeliğin tam sertleştirme ve temperleme işleminden sonra elde ettiği özelliklere eş değer özellikler kazanır [3]. 1340 alaşımlarının IT diyagramları birbirleri ile karşılaştırıldığında 1340 alaşımında dönüşüm sınırları biraz sağa doğru taşınmıştır. Mangan difüzyon hızını azaltarak, östenitin, ferrite – perlitte dönüşümünü yavaşlatır. Bu nedenle, karbonlu çeliklerin sertleştirilebilme özelliğinde artış olur. Aynı zamanda mangan karbonlu çeliklerdeki perlitli inceltmek dayanımlarını da yükseltir [7].

Karbonlu çeliklerin mangan miktarı yaklaşık % 2'yi aştığında çelik kırılğanlaşır. Buna karşın mangan içeriği yaklaşık % 12'ye ve karbon içeriği yaklaşık % 1.1'e yükseldiğinde çelik östenitik durumdan hızlı soğutulursa östenitik yapı oda sıcaklığında dönüşmeden kalır. Hadfield manganlı çeliği olarak bilinen bu alaşım 1982'de geliştirilmiş ve ilk yüksek alaşımlı çelik olmuştur. Östenitik şartlardaki bu çelik yüksek bir hızda pekleştiği için özellikle yüksek darbe gerilimleri altında aşınmaya karşı dirençlidir [5]. Abrasyon ve aşınmanın birlikte olduğu şiddetli servis koşullarında rahatlıkla kullanılır. Buna bağlı olarak, kazıcı kepçe ve dişler, kırma ve öğütme makineleri ve demiryolu elemanları bu çeliklerden imal edilirler. Bu malzemelere , 1010 °C de su verilirse, yapı tamamen östenitik olacaktır. Bu yapının çekme mukavemeti yaklaşık 85 kg/mm², uzaması % 45 ve sertlik değeri 180 Brinell olur. Kullanım şartlarında maruz kaldığı darbeler sonucu sertlik 500 Brinell civarına yükselir. Bunun sebebi; hızlı deformasyon sertleşmesi kabiliyeti ve östenitin darbe etkisi altında martenzite dönüşmesidir [3].

Sade karbonlu çeliklerin mukavemetlendirilmesinde manganın etkisi üç kısma ayrılabilir. Bunlar, katı eriyik mukavemetlenmesi, tane boyutu inceltme ve perlit

oranını arttırma etkileridir. Mangan östenit ve ferrit içinde eriyebilir ve katı eriyik mukavemetlenmesiyle karbonlu çeliklerde ferriti mukavemetlendirebilir. Manganın perlitli inceltme ve perlit oranını arttırma etkisi olduğu gibi düşük karbonlu çeliklerin mukavemetini oldukça arttırır [7].

2- Molibdenli çelikler (4000 serisi) : Molibden nispeten pahalı bir alaşım elementidir. Ayrıca γ ve α demirde sınırlı miktarda çözünmektedir. Kuvvetli bir karbür yapıcı ve sertleşebilirlik özelliğini arttırıcı bir etkisi vardır. Krom gibi, çeliğin yüksek sıcaklık mukavemetini ve sertliğini arttırır. Molibden içeren çelikler temper gevrekliğine diğer çeliklerden daha az duyarlıdır. Bu element, sıklıkla nikel veya krom yada her ikisi ile beraber kombine halde kullanılır. Karbürleme uygulamalarında kullanıldığında, sementasyon tabakasının aşınma direncini ve göbek kısmının tokluğunu iyileştirir [3].

Sade molibdenli çelikler (4000 ve 4400 serileri) düşük karbon içerikleri ile, genellikle karbürleme uygulamaları için kullanılırlar. Örneğin; kamalı şaftlar, transmisyon dişlileri ve buna benzer ağır koşullarda çalışmayan makine parçalarında kullanılır. Daha yüksek karbonlular, otomotiv bobini ve yaprak yaylar imali için uygundur [3].

Dayanımı ve sertleşebilirliği iyileştirmek için sade karbonlu çeliklere küçük miktarlarda molibden eklenir. Bu çeliklere eklenen molibden miktarı (ve hemen hemen bütün standart alaşımlı çeliklere) yaklaşık %0.25'le sınırlandırılmıştır. Çünkü bu miktarın deneysel olarak iyileştirilmiş tokluk, sertleşebilirlik ve dayanım özellikleri için optimum olduğu bulunmuştur [7].

40xx serilerinin düşük alaşımlı çelikleri öncelikle otomotiv endüstrisinde karbürleme sınıfları olarak kullanılırlar. Bu çelikler genellikle; arka aks dişlileri ve otomatik güç aktarma parçaları için kullanılırlar [7].

4047 alaşımı, en dayanıklı ve sertleşebilir olanıdır. Alaşımsız % 0.40 C çeliği östenitleme sıcaklığından soğutulduğunda normal olarak ferrit ve perlite dönüşür. Sadece hızlı soğuma ile orta (beynitik) yapıları oluşturulabilir. Başlangıçta %0.25

Mo - %0.47 C çeliği difüzyon kontrollü ferrit + perlit dönüşümü sürekli soğuma dönüşüm diyagramında esasen sağa, aşağıya kaydırır. Sonuç olarak arttırılmış beynitik oluşum miktarı üretilir [7].

Havada soğutulmuş 4047 alaşımının (kesit ½ inc) mikro yapısı ötektoid öncesi ferrit ve ince perlitten oluşmuştur . Bu alaşım için östenitleme sıcaklığından soğuma hızı, fırında soğutmada olduğu gibi düşürüldüğünde perlit kabalaşır [7].

% 0.25 molibdenin 1040 karbon çeliğine eklenmesi temperleme sırasında yumuşama işlemini bir miktar engeller. Büyük molibden atomları Fe_3C 'e girer ve difüzyonu engelleyerek Fe_3C 'nin birleşme hızını yavaşlatır. Buna karşın 4047 alaşımındaki molibdenin küçük miktarı temperleme sıcaklığının arttırılmasıyla dayanımda hızlı bir düşüşe neden olmaz. 4047 alaşımının sertleşebilirliği aynı karbon içeriğiyle yalnızca sade karbonlu çeliklerin biraz üzerine yükseltilir [8].

Krom – molibden çelikleri (4100 serisi) nispeten ucuzdur ve derin sertleştirme karakteristikleri, süneklik ve kaynak kabiliyetine sahiptir [3].

41xx alaşım serisinin oluşturmak için küçük miktarda (% 0.13 – 0.20) molibdenin yanı sıra % 0.5 – 0.95 oranında krom eklenir. Krom eklenmesi aynı karbon miktarına sahip sade karbonlu çeliklerin sertleşebilirlik, mukavemet ve aşınma direncini daha da arttırır. Buna karşın düşük alaşımlı yapı çeliklerine kromun ilave edilmesi bu çeliklerin aynı şartlar altında temper kırılgenliğine hassasiyet eğilimini arttırır [8].

Krom ve molibdenli düşük alaşımlı çelikler iyileştirilmiş sertliklerinden dolayı martenzit oluşturmak için suda soğutmanın yerine yağda soğutulabilir. Yağda soğutma yavaş olduğu için sıcaklık gradyanları ve hacimce çekilmeden kaynaklanan iç gerilimler ve su verme sırasındaki genleşme, çarpılma ve çatlak eğilimleri azaltılabilir [6].

4140 alaşımının sürekli soğutma dönüşüm diyagramında, % 0,40 C çeliğinin faz dönüşümünü modifiye etmekte molibdenin etkisi kromun ilavesi ile özellikle de bu miktar % 0,7'yi aştığında genişletilmiştir. Östenitten martenzite ve östenitten beynite

dönüşüm için sıcaklık ve zaman aralığı genişletilmiş ve krom ilavesiyle B_s sıcaklığı düşürülmüştür. Çelik alaşımının sertleşebilirliği de krom ilavesi ile artırılır ve krom molibdenli çelik alaşımlarında östenitten perlitte dönüşümünde büyük bir erteleme vardır [6].

4140 alaşımının mikro yapısı blok ferrit ve kaba perlitli sınırlayan ferritten oluşmuştur. $843\text{ }^\circ\text{C}$ 'de östenitlemeden ve yağda soğutmadan sonra martensitik bir yapı ve $315\text{ }^\circ\text{C}$ 'de müteakip temperleme ince temperlenmiş martensitik yapı oluşturur [6].

Bu çelikler basınçlı kaplar, uçak yapı elemanları, otomobil aksları ve benzer uygulamalar için uygundur [3].

Nikel – molibden çelikleri (4600-4800 serileri), nikelden yüksek mukavemet ve süneklik, molibdenden ise derin sertleşme ve iyi talaş kaldırma özelliklerini kazanırlar. Bu çelikler yüksek yorulma mukavemeti ve aşınma direnci ile iyi tokluğa sahiptirler. Kullanım alanları; transmisyon dişlileri, zincir pimleri, şaftlar, döner yataklar ve dişlilerdir [3].

Nikel – krom –molibden alaşımlı çelikler, (4300 ve 4700 serileri) nikel-krom çeliklerin avantajları ile molibdenin verdiği yüksek sertleşebilirlik özelliğine de sahiptirler. Bu çelikler yaygın olarak yüksek mukavemetli, yüksek elastik limit, darbe dirençli ve yorulma dirençli, uçak endüstrisinde kanat gövdesi, gövde ve iniş takımı gibi yapı parçalarında kullanılırlar [3].

Nikel –krom-molibden çelikleri SAE standartlarında 4300 serileri ile gösterilirler. Bu çeliklerden 4340 çeliği (%0.39 C, % 0.28 Si, %0.72 Mn, % 0.77 Cr, %1.78 Ni, %0.28 Mo) otomobil şartlarında bağlama çubuklarında ve dişlilerde kullanılır. Bu çeliğin daha az karbonlu 4330 çeliği (%0.29 C, % 0.68 Si, %1.02 Mn, % 0.69 Cr, %1.79 Ni, %0.28 Mo) ise kaya delici, kazıcı aletlerin parçalarında ve aşınmaya dayanıklı aletlerde kullanılır [9].

3- Nikelli çelikler (2000 serisi) : Nikel çeliklerde kullanılan en eski ve en temel alaşım elementlerinden birisidir. γ -demirde sınırsız çözünebilirliği vardır ve ferrite de önemli çözünmektedir. Böylece iki fazın mukavemet ve tokluğunun artmasına katkıda bulunmaktadır. Nikel çeliğin kritik sıcaklığını düşürmek sureti ile ısı işlemleri kolaylaştıracak şekilde sıcaklık aralığını genişletir. Ayrıca, ostenitin dekompozisyonunu geciktirir ve ostenitleme sırasında çözünmesi zor olan karbürler oluşturmaz. Nikel, ötektoidin karbon içeriğini düşürür; bu sebeple, sertleştirilmemiş nikelli çeliklerin yapısı benzer işlemleri gören karbon çeliklerinden daha fazla perlit içerir. Perlit, daha düşük sıcaklıkta oluştuğu için, alaşımsız çelikteki perlitten daha ince ve toktur. Bu faktörler daha düşük karbon seviyelerinde daha yüksek mukavemet sağlanmasını kolaylaştırır. Böylece çeliğin plastisitesi, tokluğu ve yorulma direnci artar. Nikel çelikleri haddelenmiş kullanılan yüksek mukavemetli yapı çelikleri veya su vermeye uygun olmayan büyük dövme parçalar için çok uygundur. Düşük karbonlu % 3.5 nikelli çelikler (2300 serisi) sementasyon işlemi gördükten sonra kullanılan çeşitli makine elemanları (cıvatalar, çiviler, dişliler) olarak uygulanmaktadır. % 5 Nikelli çelikler daha yüksek tokluğa sahiptirler ve otobüs – kamyon dişlileri, kamlar ve krankşaftlar gibi ağır görev elemanları olarak kullanılırlar. Nikel sertleşebilirliğe orta düzeyde etki eder; fakat tokluğu, özellikle düşük sıcaklıklarda, çok olumlu yönde etkiler [3].

2000 serisi nikelli çelikleri AISI / SAE alaşımlı çelik klasifikasyonundan silinmektedir. Bu çeliklerin yerini bir çok uygulama alanında daha ucuz olan üçlü kombine 8600 serisi almıştır. Bu seride, sementasyon çeliği (8620), yüksek mukavemetli dövme parçalar (8630), pervane milleri, şaftlar (8640) sayılabilir [3].

4- Nikel-kromlu çelikler (3000 serisi) : Bu çeliklerde yaklaşık %2.5 Nikel, % 1 krom bulunur. Alaşım elementlerinin kompozisyonu, genellikle her birinin karakteristik özelliklerinden bir kısmını çeliğe kazandırır. Tokluğu ve sünekliği arttırmada nikelin etkisi, kromun sertleşebilirlik ve aşınma direncini iyileştirmedeki etkisi ile kombine edilmiştir. Genellikle iki farklı elementin kombine edilmesi ile kazanılan sertleşebilirlik özelliği, bu elementlerin ayrı ayrı kullanılması ile elde edilecek sertleşebilirlik özelliklerinin toplamından daha fazladır [3].

Düşük karbonlu nikel-krom alaşımlı çelikleri, sementasyon için uygundur. Krom sementasyon tabakasına aşınma direnci sağlarken, krom ve nikel beraberce merkez kısmının tokluğunu iyileştirirler. %1.5 Ni ve % 06. Cr içeren çelikler (3100 serisi) helezon dişlileri, şaftlar, piston pimleri, yapımında kullanılırlar. Uçak dişlileri, şaftlar ve kamlar gibi ağır görev uygulamaları için daha yüksek Ni (%3.5) ve daha yüksek krom (%1.5) içeren 3300 serisi kullanılır [3].

Nikelli çelikler durumunda olduğu gibi, bu çelikler de klasifikasyondan silinmektedir. Bazı durumlarda, daha düşük fiyatları sebebi ile üç alaşımlı 8700 ve 8800 serileri bunların yerini almaktadır [3].

5- Kromlu çelikler (5000 serisi) : Krom , nikelden daha ucuz bir alaşım elementidir ve kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Krom karbürler yüksek sertlik ve aşınma direnci gösterirler. Krom γ -demirde yaklaşık %13 ve α -demirde sınırsız katı çözünebilirliğe sahiptir. Düşük karbonlu çeliklerde, krom çözeltiliye girmeye eğilimlidir ve bu şekilde ferritin mukavemet ve tokluğu artar. Krom miktarı %5 'i aştığı zaman, çeliğin yüksek sıcaklık özellikleri ve korozyon direnci önemli ölçüde iyileşir [3].

Sade kromlu 5100 serisi çelikler %0.15-0.64 C ve %0.70 -1.15 Cr içerirler. Bu serideki düşük karbonlu çelikler çoğunlukla karbürleme için kullanılmaktadır. Kromun varlığı tabakanın aşınma direncini artırır; fakat göbek kısmının tokluğu nikelli çeliklerin ki kadar yüksek değildir. Orta karbonlu çelikler yağda sertleştirilirler ve yaylar, cıvatalar, tapalar, akslar olarak kullanılırlar. Yüksek karbonlu %1 ve yüksek kromlu %1.5 alaşımlı çelik (AISI 52100) yüksek sertlik ve aşınma direnci ile karakterize edilmektedir. Bu çelik aşındırıcı küreler, silindirik yataklar ve ezme / kırma makinelerinde kullanılırlar. %1 karbon ve %2-4 krom içeren özel bir tür kromlu çelik mükemmel manyetik özellik gösterir ve kalıcı mıknatıs yapımında kullanılır [3].

Bu çelikler sementasyon çeliği (5130), yay çeliği (5160), sıcak makaslar, sıcak iş kalıpları, deliciler (5330) olarak kullanılır [3] .

% 10 'dan daha çok krom içeren yüksek kromlu çelikler korozyona karşı yüksek direnç gösterirler (paslanmaz çelikler) [3].

6- Vanadyumlu çelikler (6000 serisi) : Vanadyum yaygın alaşım elementlerinin en pahalısıdır. Çok güçlü bir oksijen giderici ve kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Bu özelliğinin etkisi ile tane büyümesini engeller. Yaklaşık %0.05 vanadyum ilavesi ince taneli, üniform bir döküm meydana getirir. Katı eriyikte çözüldüğü zaman, vanadyum sertleşme kabiliyetini çok etkiler ve çelik havada soğutulsa bile yüksek mekanik özellikler kazanır. Bundan dolayı karbon-vanadyumlu çelikler, normalize edilmiş halde ağır lokomotif ve makine sanayi, dövme ürünleri olarak kullanılır [3].

Düşük karbonlu krom-vanadyum çelikleri (6100 serisi), yüzey sertleştirilmiş durumda pim ve krankşaftlar üretiminde kullanılır. Orta karbonlu krom-vanadyum çelikleri yüksek tokluk ve mukavemete sahip olup aks ve yay yapımında kullanılırlar. Yüksek sertlik ve yüksek aşınma dirençli yüksek karbonlu türler, yataklar ve el aletleri yapımında kullanılırlar [3].

7- Tungstenli çelikler (7000 serisi) : Tungsten sertleşebilirliği çok etkileyen bir element olup kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Temperleme esnasında martenzitin yumuşamasını geciktirir. Genelde, tungstenin etkisi molibdenin etkisine benzer; fakat daha yüksek miktarlar gerektirir. Yaklaşık %2-3 wolfram % 1 Mo 'e eşdeğerdir. Nispeten pahalı olması ve belli bir etki için daha çok miktarların kullanılması gerektiği için, genel mühendislik çeliklerinde tungsten yaygın kullanılmaz. Takım çeliklerinde özellikle kullanım alanı bulur [3].

8- Silisyumlu çelikler (9200 serisi) : Mangan gibi silisyum da, her türlü çelikte bulunan bir alaşım elementi olup çeliğe deoksidasyon amacıyla katılan ucuz bir elementtir. Bir çelik %0.6 'dan fazla silisyum ihtiva ediyorsa, o çelik silisyumlu çelik olarak nitelendirilir. Silisyum, nikel gibi, karbür yapıcı değildir ve daha ziyade ferritte çözünerek mukavemet ve tokluğu artırır. %1-2 silisyum içeren çelik donanma çeliği olarak bilinir ve yüksek akma noktası istenen uygulama alanlarında yapı elemanı olarak kullanılır. Hadfield silisyum çeliği %0.01 ' den az karbon ve

yaklaşık %3 Si içerir. Bu çelik mükemmel manyetik özellikleri nedeniyle elektrik makinelerinin göbek ve kutuplarının imalinde kullanılır [3].

İyi ayarlanmış mangan ve silisyum kombinasyonu olağanüstü yüksek mukavemet, iyi süneklik ve tokluk özellikleri sağlar. Silisyum-mangan çeliği (9260 %2 Si ve % 0.9 Mn) geniş ölçüde bobin ve yaprak yaylar ile delici ve zimbalar yapımında kullanılır [3].

BÖLÜM 3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİLERİ

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

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

3.1. Alaşım Elementleri

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

3.1.1. Karbon (C)

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini (%0.25 üzerinde) azaltır [5]. Mukavemet artışının nedeni ise karbon, demirle katı çözeltiler yaparak kuvvetli karbürler oluşturur. Ayrıca bu karbürler nedeni ile aşınma direncinde de artış olur [3]. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır. Karbon değeri % 0.8 'den sonra kırılma artar, ısı işlem sonu sertlik kalıntı ostenit nedeni ile daha fazla artmaz. Yüksek karbonlu çeliklerin ısı işleminde çatlama riski de fazladır. Çeliğin alabileceği max sertlik 67 HRC olup bu değer 0.6 karbon miktarı ile elde edilir [6].

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

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

Mavi Gevreklik; yumuşak çelikler 270-350 °C arasında şekillendirilirse küçük çaplı atomlar hızlı bir şekilde yayılır. Yayınan atomlar dislokasyonları kilitleyerek malzemenin akma sınırı noktasını yükseltir. Dolayısıyla malzeme daha gevrek davranır. Sözü edilen sıcaklıklar arasında çeliğin aldığı renk mavi olduğu için bu olaya mavi gevreklik denir [7].

3.1.2. Mangan (Mn)

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir.(7) Çeliğe ergitme prosesleri sırasında oksijen tutucu (deoxidizer) olarak katılır ve osteniti kararlaştırıcı bir elementtir [3]. Mekanik özellikleri iyileştirmesi dolayısıyla ayrıca da ilave edilir, temel alaşım elementi olarak da kendisini gösterebilir. Genel olarak sünekliği azaltmakla birlikte çeliğin dayanımını artırır özelliğe sahiptir. % 3 Mn miktarına kadar, her % 1 Mn için çekme dayanımı yaklaşık 100 Mpa kadar artar. % 3 - 8 arası artış azalır. % 8 den itibaren düşüş görülür. Çeliğin dövülebilirliği ve sertleşebilirliğini iyileştirici özelliktedir. Kaynak kabiliyetini etkilemez ve kaynaklanabilir malzemeler içinde % 1.6 oranına kadar yükseltilebilir. Manganın iyi yöndeki etkisi karbon oranının artmasıyla birlikte artar [7].

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

3.1.3. Silisyum (Si)

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

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

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

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

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

3.1.4. Kükürt (S)

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

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

Bu sebeplerle çelik için zararlı bir element olarak kabul edilerek, giderilmesi yönünde çalışılır. Ancak otomat çeliklerinde iki katı kadar Mn ilave edilerek

kullanılmak suretiyle, talaşlı işlenebilirlik kabiliyetini artırmak amacıyla kullanılır. Genel olarak kaynak kabiliyeti ve sertleşebilirliği olumsuz etkiler. Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum kükürt miktarı %0.045, asal ıslah çeliklerinde ise %0,035 'dir [7].

3.1.5. Fosfor (P)

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

3.1.6. Krom (Cr)

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

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

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

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

Krom tane büyümesini teşvik eden bir element olduğu için, kromlu çeliklerin yüksek ostenitleme sıcaklıklarında uzun süre tutulmasından kaçınılmalıdır. Tane büyümesi etkisini azaltabilmek için, kromlu çeliklere çok az yüzdelerde vanadyum ilavesi yapılır [3].

Ostenitik paslanmaz çeliklerde, krom miktarı en az %12 olmalı ve karbon miktarı olabildiğince düşük olmalıdır. Kromla karbon $Cr_{23}C_6$ türü bir karbür oluşturup tane sınırlarına çökelir ve malzemenin taneler arası korozyon ile hasara uğramasına neden olur [3].

3.1.7. Nikel (Ni)

Çeliklerde kromla birlikte en çok kullanılan alaşım elementi nikeldir. Nikel çelik yapımı sırasında ilave edilir. Nikel, ostenit faz alanını genişletir (ostenit yapıcı) ve M_s sıcaklığını düşürür. Katı çözümleri sertleşmesi yaparak çeliğin mukavemetini artırır; karbür yapmaz. Kromla birlikte bulduklarında, sertleşme derinliğini artırır ve tufalleşme direncini olumlu yönde etkiler. Düşük sıcaklıklarda, çeliğin çentik direncini artırır [3].

Ostenit yapıcı bir element olduğu için A_3 (ötektoid)sıcaklığını düşürür. Böylece çeliklerin daha düşük sıcaklıklarda ostenitlenmesini sağlar ve tane inceltmesine yardımcı olur. Nikel sertleştirme sıcaklığını düşürdüğü için, takım çeliklerinin çatlama riski düşmesi nedeni ile, hava yerine yağda sertleştirilmesine imkan verir. Nikelli çeliklerin küçük taneli olmaları, bu çeliklerin sementasyon için uygun olmalarının sebebidir. Çünkü sementasyon işlemi 8-10 saat sürdüğü için ostenitleme sıcaklığının yüksek olması halinde, bu uzun süre nedeni ile tane büyümesine neden

olabilecektir. Buna bağlı olarak nikelli çeliklerde ostenitleme sıcaklığı düşük olduğu için uzun süre beklemenin, tane büyümesine yol amadığı bilinmektedir. Bu tür çelikler az karbonlu ve az nikelli olmalıdır. Nikel eliklerde % 37 'ye varan oranlarda kullanılmaktadır [3].

3.1.8. Vanadyum (V)

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

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

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

3.1.9. Tungsten (W)

Wolfram; eliğin dayanımını artıran bir alaşım elementidir. Takım eliklerinde, kesici kenarın sertliğinin muhafazasını, takım ömrünün uzamasını ve yüksek ısıya dayanımını sağlar. Bu sebeple özellikle yüksek hız çeliklerinde, takım çeliklerinde ve ıslah çeliklerinde, alaşım elementi olarak kullanılır. Yüksek alışma sıcaklıklarında, çeliğin menevişlenip sertliğini kaybetmemesini sağladığından, sıcağa dayanımlı çeliklerin yapımında kullanılır [5].

3.1.10. Molibden (Mo)

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

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

3.1.11. Diğer alaşım elementleri

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

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

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

Alüminyum (Al); oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu artırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur [8]. Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır,

nitasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde de nitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır [5].

Bor (B); düşük ve orta karbonlu çeliklerde sertleşebilme özelliğini arttırır. Sakinleştirilen çeliklere 0.0005 - 0.003 kadar düşük oranda katılırlar [5].

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 [5].

Bakır (Cu); akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk ekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden filmaşınlerde ki bakır oranın olabildiğince düşük olması istenir. Sıcak şekillendirmede kırılđanlık yaratan bakır için % 0.5 oranı pek aşılmaz. Korozyon dinencini ve sertliği yükselten etki gösterir [5].

Kurşun (Pb); haddelenebilirliği azaltır. Haddeme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebebiyet verir. Kurşun eliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine arttırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır [5].

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

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

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

Tablo 3.1. Alaşım elementlerinin çelik özelliklerine etkisi [4].

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ															
ALAŞIM ELEMENTİ	SERTLİK	MUKAVEMET	AKMA NOKTASI	UZAMA	KESİT BÜZÜLMESİ	DARBE DİRENCİ	ELASTİSİTE	YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIM	SOĞUMA HIZI	KARBÜR OLUŞUMU	AŞINMA DİRENCİ	DÖVÜLEBİLİRLİK	İŞLEMEBİLİRLİK	OKSİTLENME EĞİLİMİ	KOROZYON DİRENCİ
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↓↓	↑	↓	~	-
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
Ni*	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓↓	-	↓↓	↓	↓	↓	-
Ni**	↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	-	↑↑↑	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑↑
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	~	-	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓	↓↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S	-	-	-	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑

* Perlitik Çeliklerde
 ** Ostenitik Çeliklerde

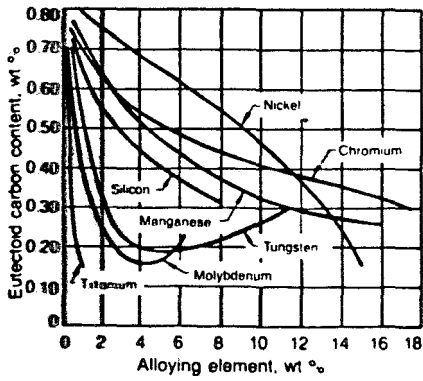
↑ Arttırır
 ↓ Azaltır
 ~ Değişirmez
 - Önemsiz ya da bilinmiyor

3.2. Alaşım Elementlerinin Fe-C Denge Diyagramına Etkileri

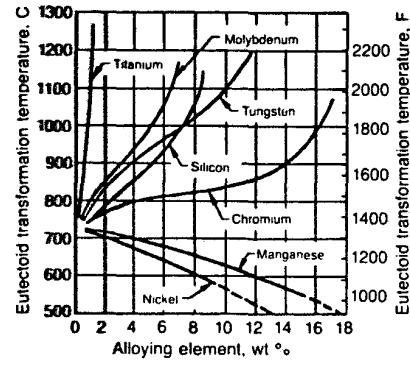
Fe-C ikili denge diyagramına üçüncü bir elementin ilave edilmesi durumunda, ikili sistem mevcut denge durumunu koruyamaz. Alaşım elementlerinin varlığı ötektoid karbon miktarını ve ötektoid dönüşüm sıcaklığını değiştirir. Bu değişme, alaşım elementlerinin ferrit (α), ostenit (γ) faz alanlarını değiştirmesi ile birlikte meydana gelir [3].

Nikel ve mangan ötektoid sıcaklığı ($A_1 - 723^\circ\text{C}$) düşürme yönünde etki ederken, molibden, alüminyum, silisyum, tungsten ve vanadyum etkisi arttırma yönündedir. Kromunda arttırma yönünde etkisi vardır ama diğer elementlere nazaran daha zayıf bir etkisi vardır (Şekil 3.1 a). A_1 sıcaklığındaki değişmeye paralel olarak diğer bütün kritik sıcaklık değerleri de değişir. Kritik sıcaklıklarda meydana gelen bu değişme, alaşımli çeliklerin ısıl işleminde büyük önem taşımaktadır. Bu değişimlerin yönüne göre, sertleştirme sıcaklığının artacağı veya azalacağı göz önüne alınmalıdır [3].

Alaşım elementleri, ötektoid noktanın karbon miktarını da değiştirirler (Şekil 3.1 b). Bütün alaşım elementleri ötektoid noktanın karbon içeriğini düşürür; yani alaşımli çeliklerde % 100 ötektoid (perlitik) yapı %0.8 'den daha düşük karbon miktarlarında meydana gelir [3].



(a)



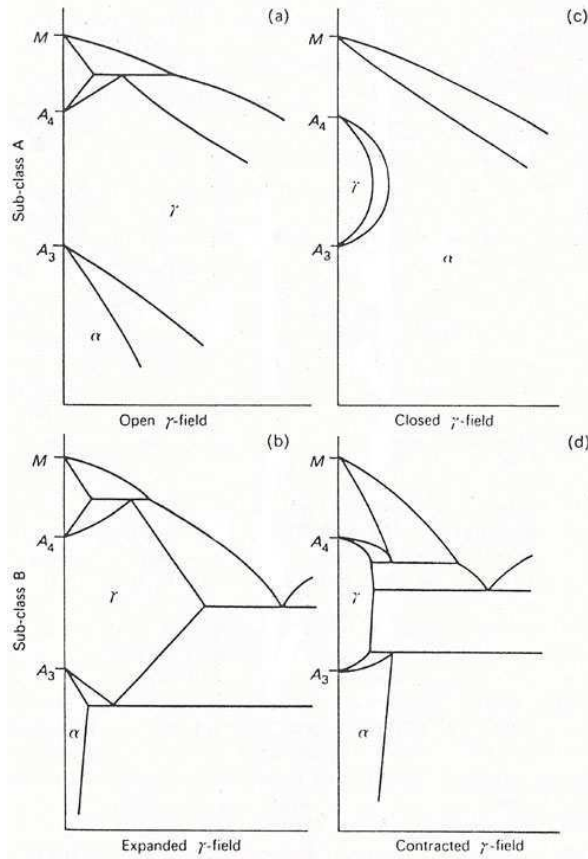
(b)

Şekil 3.1. Alaşım elementlerinin a) ötektoidin karbon miktarına, b) ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkisi [19]

Nikel ve/veya mangan, alaşım bileşiminde yeterli miktarlarda buldukları takdirde, ötektoid sıcaklığını öyle düşürürler ki, ostenitin dönüşümü engellenir (yani ostenit oda sıcaklığında kararlı olur) ve oda sıcaklığında bile tamamen ostenitik yapı çelikler elde edilir. Bu durum, bu elementlerin ostenit faz alanını genişletmelerinin bir sonucudur (Şekil 3.2 a). Bu tür elementlere osteniti kararlı kılan (ostenit yapıcı – gamajen) elementler adı verilir [3].

En iyi bilinen ostenitik yapı çelikler, ostenitik paslanmaz çelikler ile ostenitik manganlı çeliklerdir. Çeliğin ana bileşenlerinden olan karbon da ostenit yapıcı element grubuna girer [3].

Molibden, krom, silisyum, vanadyum ve titanyum gibi elementler ise A_1 kritik sıcaklığını yükseltirler; böylece ostenit faz alanı küçülürken aksine ferrit faz alanı genişler (Şekil 3.2 c) [10].

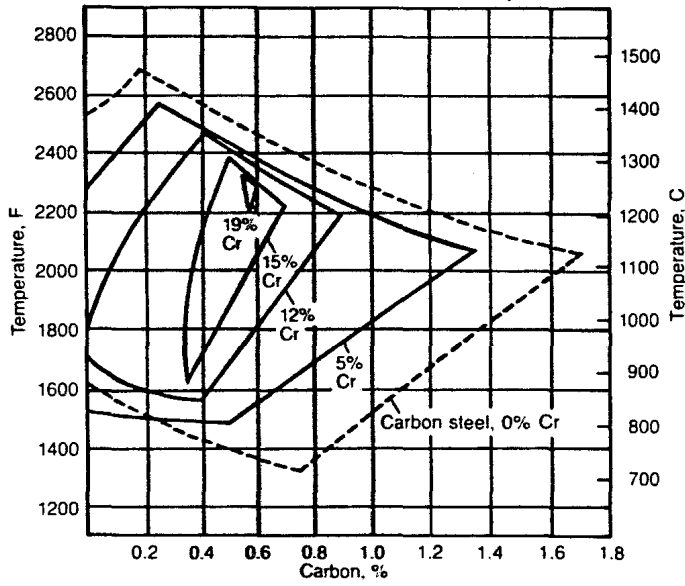


Şekil 3.2. Ostenit faz alanının şeklinin değişimi [10].

C, N, Cu, Zn, Au elementleri γ -faz alanını genişletir (Şekil 3.2 b). Bu alaşım elementleri sayesinde sertleştirme ısıl işlemi için uygun faz dönüşümleri sağlanabilmektedir [10].

Karbür yapıcı B, Ta, Zr ve Nb elementleri ise, γ -faz alanını daraltır (Şekil 3.2 d). Bu grup elementler α ve γ -faz alanlarını sınırlar. α ve γ -katı çözeltileri intermetalik bileşik veya katı çözeltili ile dengededir. Bu alaşım elementleri ayrıca yapıda bileşik oluşumları da gerçekleşir [10].

Çelik bünyesine ilave edilen krom elementi ile ostenit faz alanı değişimi Şekil 3.3'de gösterilmiştir [19].



Şekil 3.3. Ostenit faz alanının krom miktarına bağlı olarak daralması [19]

3.3. Alaşım Elementlerinin Karbür Oluşturma Eğilimleri

Alaşım elementlerinin bir kısmı (Mn, Ni gibi) karbür yapmaz veya zayıf (çok kararlı olmayan) karbürler yaparken bazıları (Cr, Mo, W, Ti, Nb, Si) kararlı karbürler meydana getirirler. Yapılarındaki karbürlerin türü, miktarı, dağılımı ve şekli çeliklerin mekanik özelliklerini etkiler. Çeliklerdeki hemen hemen bütün karbürler sert ve gevrek ve oda sıcaklığındaki çekme mukavemetini artırırlar [3].

Karbür teşkil edici elementlerin varlığı sertleştirme sıcaklığı ve tutma zamanını etkiler. Kararlı karbürler çözünmeye karşı dirençli olup ostenitte çözünmeleri için daha yüksek sıcaklık veya daha uzun zaman gereklidir. Kararlı karbürlerin çözünmeye dirençli olması sebebi ile ostenit katı çözeltilisinde çözülmüş karbon miktarı düşük olur. Çözünmemiş karbürler, aynı zamanda tane büyümesini engelleyici etki yaparlar. Bu iki faktör nedeni ile, çeliğin sertleşme kabiliyeti azalır , yani çelik derin sertleşemez. Ostenitte çözünmesi durumunda karbürleri oluşturan elementler derin sertleşme etkisi gösterirler [3].

3.4. Alaşım Elementlerinin Ferrite Etkileri

Teknolojik olarak, bütün elementlerin ferritte bir miktar çözünürlükleri vardır; fakat bazı elementlerin karbür yapma eğilimleri zayıftır. Nikel, alüminyum, bakır, kobalt ve silisyum ferritte önemli miktarda çözünürler. Alaşım elementleri; bünyede mevcut karbon miktarına göre, ferritte çözünürler yada karbür yapma eğilimleri ön plana çıkar [3].

Ferritte çözünen herhangi bir element, katı çözelti sertleşmesi yolu ile ferritin sertliği ve mukavemetini artırır. Bu etki krom, tungsten, vanadyum, molibden, nikel, mangan ve silisyum şeklinde artış gösterir. Bununla birlikte, ferritte çözünen elementlerin meydana getirdiği sertleşme ve mukavemet artış etkisi, çeliğin toplama mukavemeti içerisinde küçüktür [3].

3.5. Alaşım Elementlerinin Temperlemeye Etkisi

Sertleştirilmiş çelikler tekrar ısıtıldıkları zaman genellikle yumuşarlar. Tekrar ısıtma (temperleme) sıcaklığı arttıkça, sertlikte buna bağlı olarak düşer. Alaşım elementleri genellikle yumuşama hızını düşürürler; hatta alaşım elementleri sertliğin daha yüksek sıcaklıklarda bile korunmasını sağlayabilirler. Temperlenmiş çeliklerin sertliğine nikel, silisyum ve mangan gibi ferritte çözünen elementlerin etkisi daha az olurken , karbür yapıcı olan krom, vanadyum gibi elementlerin etkileri daha çok olur [3].

Kompleks karbür yapıcı krom, tungsten, molibden ve vanadyum yumuşamanın geciktirilmesinde çok daha etkilidir. Bunlar, sadece temperleme sıcaklığını yükseltmekle kalmazlar aynı zamanda yüksek oranlarda bulunmaları sonucunda , çeliklerin temperleme eğrilerinde, temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sertlikte yeni bir artışa da sebep olurlar. Bu karakteristik davranış ikincil sertleşme olarak adlandırılır ve ince alaşım karbürlerinin gecikme ile çökmesi sureti ile meydana geldiği düşünülür [3].

3.6. Alaşım Elementlerinin Sertleşme Kabiliyetine Etkileri

Sertleşme kabiliyeti, sertliğin çeliğin yüzeyinden merkezine doğru ne kadar ilerleyebildiğinin bir ölçüsüdür. Sertleşme kabiliyeti, katı eriyikte çözünen alaşım elementi miktarı arttıkça artar. Çeliğin sertliği içerdiği karbon miktarına bağlı iken, sertliğin yüzeyden içeriye doğru ilerlemesi alaşım elementi miktarına bağlıdır. Buna bağlı olarak karbon çelikleri ile az alaşımlı çeliklerin sertleşme kabiliyeti alaşımlı çeliklerinkinden daha düşüktür [3].

3.7. Alaşım Elementlerinin TTT Diyagramına Etkileri

Alaşım elementleri; TTT eğrilerinin şeklini değiştirirler. Fe-C alaşımlarında TTT eğrilerinde perlit ve beynit bölgeleri birleşmiş halde iken, alaşımlı çeliklerde bu bölgeler birbirlerinden ayrılırlar. Ayrıca alaşım elementleri, TTT eğrilerini sağa doğru öterler. Bu, alaşımlı çelik yavaş soğutulması halinde bile martenzitik yapıya dönüşebilir anlamına gelir. Halbuki, karbon çeliklerinde martenzitik yapı elde edebilmek için daha hızlı soğutma yapılmalıdır (alaşımlı çelikte aynı karbon yüzdesine sahip olması halinde) [3].

3.8. Alaşım Elementlerinin Martenzitik Dönüşüme Etkileri

Alaşım elementleri martenzitik dönüşümün başlama (M_s) ve bitiş (M_f) sıcaklıklarını düşürürler. Böylece, alaşımlı çeliklerin martenzite dönüşmesi için, alaşımsız çeliklere nazaran daha düşük sıcaklıklara soğutulmaları gerekir. Bu sebeple, çoğu alaşımlı çelikler oda sıcaklığına hızlı soğutuldukları takdirde, mikro yapılarında martenzit yanında bir miktarda ostenit dönüşmemiş halde kalır. Kalan osteniti martenzite dönüştürmek için, soğuk işlem veya sıfır altı işlem uygulanması özellikle takım çelikleri için gereklidir [3].

Kobalt ve alüminyum dışındaki bütün elementler M_s sıcaklığını düşürür. Her bir elementin M_s sıcaklığını ne kadar düşürdüğünü belirlemek zor olmakla beraber, karbonun en etkili element olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, alaşımsız çeliklerde bile , karbon miktarı arttıkça (%0.5 'in üzerinde) su verilmiş yapıda kalan ostenit

miktarı artar. Burada ostenitte çözünen karbon miktarı önemlidir. Daha fazla kurbürü çözüp karbonu katı çözeltiliye almak maksadı ile ostenitleme sıcaklığının yükseltilmesi, ostenit katı çözeltilisinin karbonca zenginleşmesine, bundan dolayı da Ms sıcaklığının düşmesine ve kalan ostenit miktarının artmasına neden olur [3].

BÖLÜM 4. ISLAH ÇELİKLERİ

4.1. Islah Çeliği Nedir ?

Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir [4].

Islah işlemi, sonuçta çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı, önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilir. Islah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçalar, çeşitli civata, somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kullanılırlar. Bu sebepten, ıslah çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür [4].

Uygun ıslah çeliğinin seçimi ve doğru ıslah işleminin uygulanması çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen tokluk veya sertlik değerine ulaşılması), kullanılan çeliğin içyapı temizliği ile yakından ilgilidir. İçyapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit, sülfür inklüzyonlarından temizlenmesi işlemidir [4] .

4.2. Islah İşlemi

Islah işlemi, sertleştirme ve bunu takip eden menevişleme işlemi olarak tarif edilmiştir. Aşağıda, çelikler için, sertleştirme ve menevişleme işlemleri genel olarak ayrı ayrı açıklanmıştır [4].

4.2.1. Sertleştirme

Sertleştirme işlemi öncelikle çelik parçanın ostenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Ostenit sıcaklığında tutma süresini çelik parçanın ostenit fazda homojen bir yapıya ulaşması belirler ve bu süre çeliğin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişir [4].

Ötektoid altı çelikler için tavsiye edilen ostenitleştirme sıcaklığı A_3 çizgisinin yaklaşık $10\text{ }^\circ\text{C}$ üzerindedir. Ötektoid üstü çelikler için ise ostenitleştirme sıcaklığı genellikle A_{cm} ile A_1 çizgileri arasındadır. Ötektoid üstü çelikler için bu sınırlar arasındaki sıcaklıktan yapılacak sertleştirme işlemi sonucunda mikro yapıda çözülmemiş karbür taneleri görülür. A_{cm} çizgisi büyük bir açıyla yükseldiği için, ostenit fazda proötektoid sementitin çözülmesi için yüksek sıcaklığa çıkmak gerekir. Bu durum ostenit tane büyümesine sebep olacağından soğutma esnasında parçanın çatlama tehlikesini arttıracaktır [4].

Ostenit faz sıcaklığında homojenliği sağlamak için yeterli süre bekletilmiş çelik parça, yüksek hızla soğutulursa martensite dönüşür. Dönüşüm esnasında çeliğin kristal yapısında yüzey merkezli kübikten hacim merkezli tetragonal kristal yapısına değişiklik olur. Hacim merkezli tetragonal kristalin boyutlarındaki oran (c/a oranı) çeliğin kimyasal bileşimindeki karbon miktarındaki artışa bağlı olarak büyür. Martensit sertliğinin esası çeliğin kristal yapısındaki bu değişikliktir. Ostenitin martensite dönüşümünün birkaç önemli karakteristiği vardır [4].

Bunlar:

— Dönüşüm difüzyonla değil bir kayma hareketi sonucudur.

— Kimyasal bileşimde bir değişiklik olmaz.

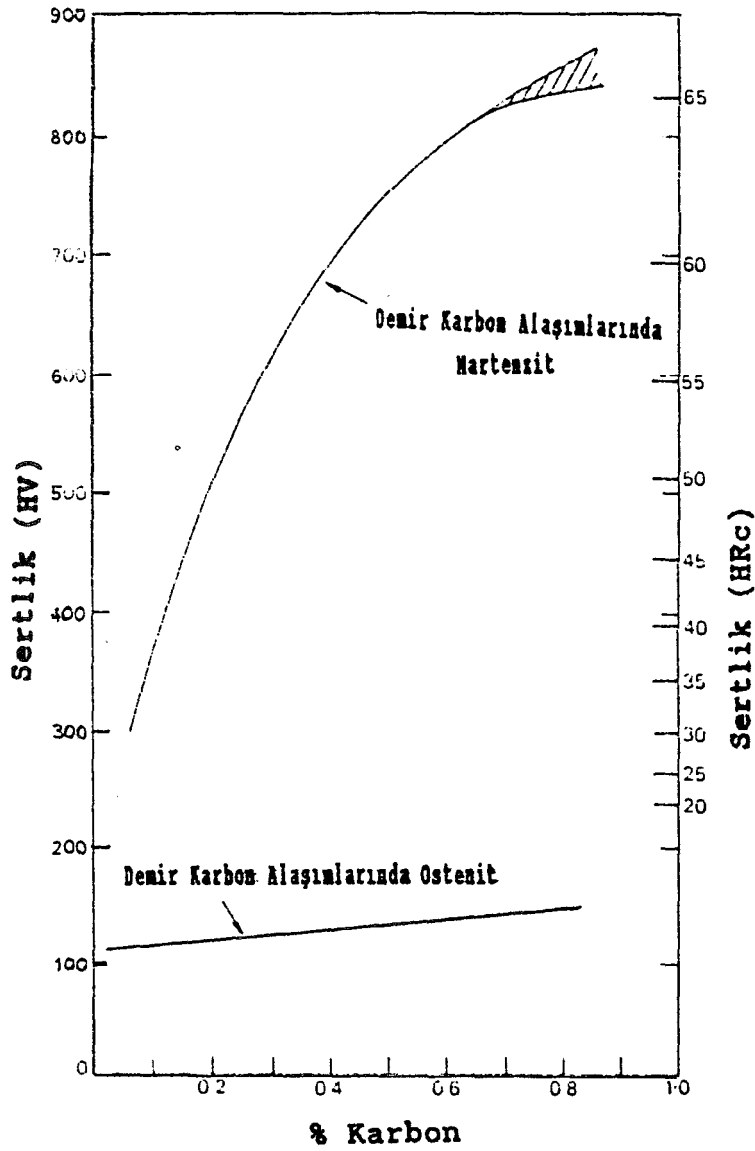
— Dönüşüm sadece sıcaklık azalmasına bağlıdır. Soğutma durursa dönüşüm de durur. Yani dönüşüm zamana bağlı değildir. Martensit dönüşümünün başlama sıcaklığı M_s , sona erme sıcaklığı M_f olarak bilinir. Eğer çelik parça, bu iki sıcaklık değeri arasında bir noktada tutulursa martensit dönüşümü durur ve sıcaklık düşmedikçe dönüşüm ilerlemez.

— M_s değeri her çelik kalitesine göre karakteristiktir ve sadece kimyasal bileşimin bir fonksiyonudur. Parçanın soğuma hızı değiştirilerek M_s sıcaklığı değiştirilemez.

— Çeliğin kimyasal bileşiminden M_s sıcaklığının hesaplanması mümkündür. Bu amaçla çeşitli formüller geliştirilmiştir. Aşağıda bunlardan bir tanesi verilmiştir.

$$M_s (\text{°C}) = 539 - 423 C - 30.4Mn - 12.1 Cr - 17.7 Ni - 7.5 Mo$$

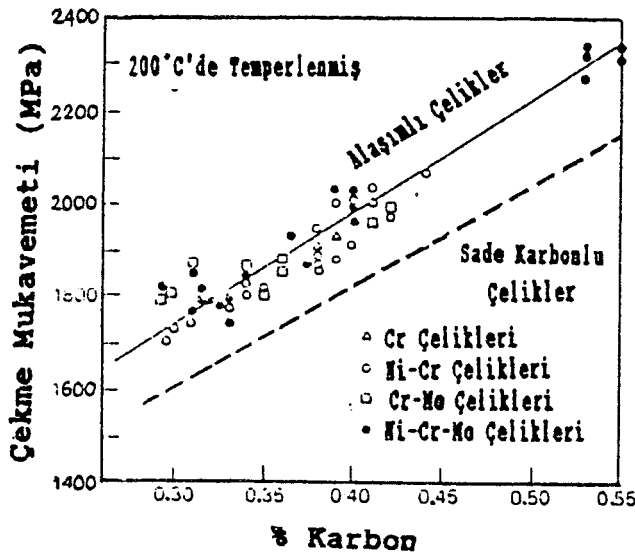
— Martensitin en önemli özelliği çok sert oluşudur [4]. Martensitin sertliği ise karbon yüzdesinin yeteri kadar yüksek olmasına bağlıdır ($\% C \geq 0.2$). Şekil 4.1'de martensitin sertliğine karbonun etkisi gösterilmektedir [12]. Martensit sertliği artan karbon miktarına bağlı olarak yükselir. Ancak karbon miktarının $\% 0.7$ 'yi geçmesinden itibaren martensit yapıda görülebilecek artık ostenit, sertlik azalmasına sebep olacaktır [4].



Şekil 4.1. Martenzitin ve ostenitin sertliğine karbonun etkisi [12].

Mukavemet artarken, çeliğin sünekliliği ve tokluğu artan karbon miktarı ile hızla düşer [11]. Şekil 4.2'de 200°C temperlenmiş martenzitik çeliklerde çekme mukavemetine karbonun etkisi görölmektedir [12].

Optimum mekanik özellikler elde edebilmek için çeliğin karbon miktarının % 0.45 oranında olması istenir [11].



Şekil 4.2. Karbonun, 200°C'de temperlenmiş martenzitik çeliklerin çekme mukavemetine etkisi [12]

Sertleşmenin ana gayesi minimum soğuma hızında tamamen martensit yapı elde etmektir. Tamamen martensit yapı verecek minimum soğuma hızına kritik soğuma hızı (KSH) denir. Kritik soğuma hızı çeliğin kimyasal bileşimine ve ostenit tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Sertleştirme sonunda elde edilecek mikroyapı ile, sertlik ve dayanım değerleri sertleştirme işlemindeki soğutma hızına bağlı olarak değişir [4].

Eğer çelik parça, kritik soğuma hızından daha süratli soğutulursa sonuçta yüksek sertlikte sadece martensit yapı elde edilir. Fakat eğer, parçaya uygulanan soğutma hızı kritik Soğuma hızından daha yavaşsa, ostenitin bir kısmının veya tamamının ferrit ve perlite dönüşmesiyle sonuçta yapıda martensit miktarı azalacak ve sertlik düşecektir. Parçanın soğuma hızı ile kritik soğuma hızı arasındaki fark büyüdükçe ostenitin ferrit ve perlite dönüşüm miktarı artacak ve buna bağlı olarak sertlik de düşecektir [4].

Aşağıdaki Şekil 4.3'de, % 0.8 karbonlu çelik için şematik olarak çizilmiş zaman sıcaklık (ZSD) diyagramı üzerinde çeşitli soğuma eğrileri görülmektedir [4].

1, 2, 3 ve 4 no'lu soğuma eğrilerine göre, ostenit tamamen perlite dönüşmüştür. 5 no'lu eğri, ostenitin yaklaşık % 25 oranında perlite dönüştüğünü geri kalan % 75

ostenitin ise, azalan sıcaklıkla martensite dönüştüğünü göstermektedir. 6 no'lu soğuma eğrisine göre ostenit tamamen martensite dönüşmüştür. 7 no'lu soğuma eğrisi ise, bu çelik için kritik soğuma hızını göstermektedir [4].

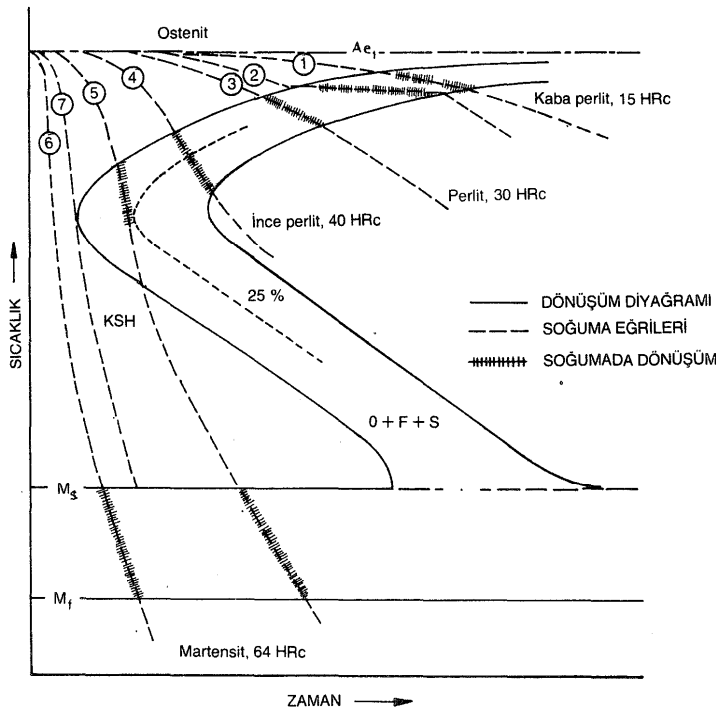
Parçanın soğuma hızına tesir eden çeşitli faktörler vardır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

i) sertleştirme ortamının cinsi

ii) sertleştirme ortamının sıcaklığı

iii) parçanın yüzey şartları

iv) parçanın ebadı [4].



Şekil 4.3. %0.8 Karbonlu çeliğin şematik olarak çizilmiş ZSD diyagramı üzerindeki çeşitli soğuma eğrileri [4]

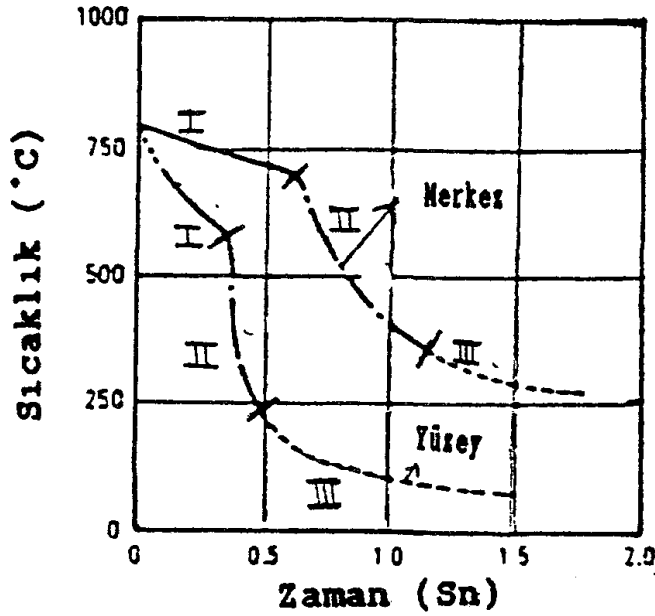
4.2.1.1. Sertleştirme ortamının cinsi

İdeal sertleştirme ortamı, başta çelik parçasını ZSD diyagramının burun bölgesini kesmeyecek şekilde yüksek hızda soğutan ve sonra düşük sıcaklıklarda yavaş soğutma hızı veren ortam olarak tarif edilir. Ancak pratikte böyle ideal soğutma sağlayan ortam mevcut değildir [4]. Çeliğin sıvı bir ortam içerisinde ostenizasyon sıcaklığından itibaren soğutulmasında Şekil 4.4’de görüldüğü gibi üç safha vardır [11].

Birinci safhada, düşük sıcaklıktaki soğutma ortamıyla temas geçen yüksek sıcaklıktaki çelik parçanın yüzeyinde, ince bir buhar tabakası oluşur. Bu tabakanın ısı iletimi çok düşük olduğundan, parça ısısının soğutma ortamına geçişi çok yavaştır. Bu sebepten birinci safha boyunca soğuma hızı oldukça düşüktür [4]. Buna bağlı olarak, su verme ortamının karıştırılması veya banyoya sodyum klorür ve sodyum hidroksit gibi kimyasal maddelerin ilave edilmesi gerekebilir [11].

İkinci safha, parça yüzeyindeki buhar tabakasının bozulmasıyla başlar [4]. Soğumanın ikinci safhasında sıcak metal, hem buhar hem de sıvı ile temastadır ve buhar haneleri gayet etkili bir şekilde ısıyı parçadan sıvının esas kütesine taşırlar [11]. Bu safhada yüzeyde şiddetli kaynama meydana gelerek, çelik parçanın sıcaklığı hızla düşer. Soğumanın en hızlı olduğu bölüm bu safhadır [4].

Üçüncü safha, parça yüzey sıcaklığının soğutma maddesinin kaynama sıcaklığına ulaşmasıyla başlar. Parça yüzeyinde kaynama durmuştur ve soğutma, ısı iletimi şeklinde olur. Bu safhada soğuma hızı tekrar yavaşlamıştır [4]. Bu safhada parçanın yüzeyi tamamen sıvı ile temastadır [11].



Şekil 4.4. Su verme sırasında meydana gelen soğuma safhaları [13]

Azalan soğutma şiddetlerine göre çeşitli soğutma ortamları şöyle sıralanabilir;

1. % 10'luk NaCl_2 çözeltisi
2. Su
3. Tuz banyosu
4. Yağ çözeltileri
5. Yağ
6. Hava [4]

Aşağıda su verme ortamı olarak kullanılan sıvıların özellikleri açıklanmıştır.

a) Su : Soğutma ortamları içinde su, parçanın diğerlerinden daha yüksek soğutma hızında soğumasını sağlar. Bunun yanı sıra ucuz ve kullanışlı olması, sağlık tehlikesine yol açmaması diğer avantajlarıdır. Bu nedenle, demir dışı metallere, ostenitik paslanmaz çeliklere ve diğer metallere de yaygın şekilde uygulanır [13].

Suyun, su verme ortamı olarak kullanılmasının sadece bir dezavantajı vardır. Buda, yüksek soğutma hızının parçada distorsiyona sebep olmasıdır [13].

b) Yağ : Su vermede kullanılan yağlar, üç grupta incelenebilir [13].

- Geleneksel su verme yağları : Mineral yağlar ve bazen anti oksitleyiciler içerirler [13].

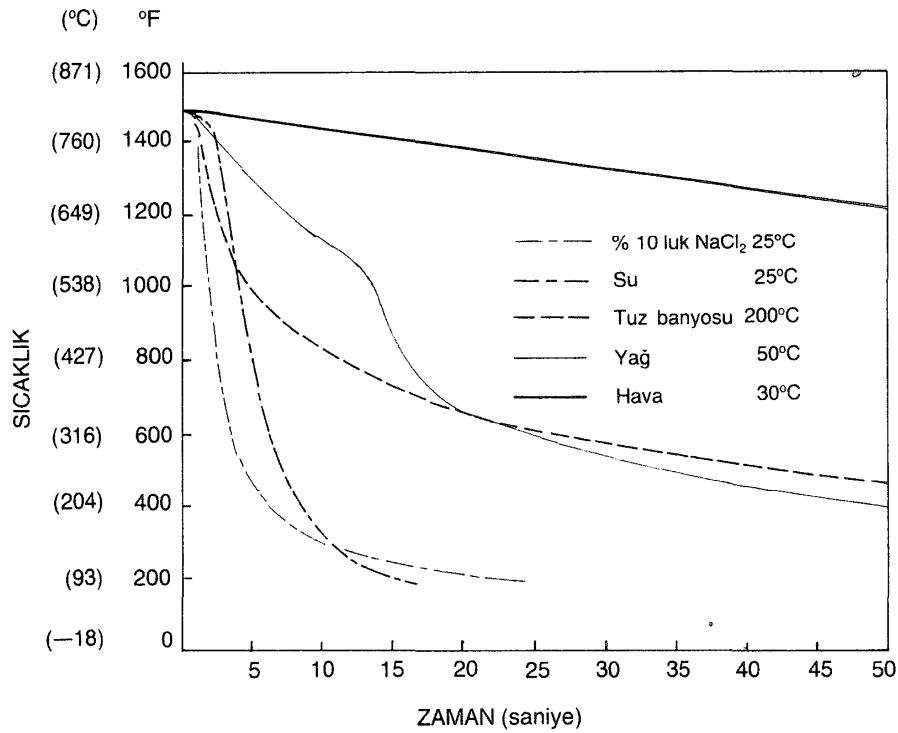
- Hızlı su verme yağları : Mineral yağlarının karışımıdır. Geleneksel ve hızlı su verme yağları 40-95°C arasında ve daha çok 50-70°C arasında kullanılırlar. Daha yüksek sıcaklıklar, dumanlaşmasının artmasına sebep olacaktır. En yüksek kullanılma sıcaklığı, yağın yanma noktasından en az 50°C daha az olmalıdır. Düşük yağ sıcaklıkları ise, hızlı su vermeye sebep olacağından distorsiyona yol açar [13].

- Martemperleme veya sıcak su verme yağları : Çok iyi oksidasyon ve ısıl kararlılığı olan parafin tipi mineral yağlardır. 95-230°C arasındaki sıcaklıklarda demir esaslı metallerin martemperlenmesi için kullanılır [13].

Su verme yağının seçiminde en önemli kriter, sertleşecek parçanın çatlamasına sebep olmayacak şekilde bir soğuma hızı sağlamasıdır. Diğer bir kriterde fiyatıdır [13].

c) Tuzlu çözelti : Bu terim çeşitli oranlarda tuz içeren sulu çözeltiler için kullanılır. Soğutma hızı sudan daha fazladır. Distorsiyon tehlikesi ise suda su vermeden daha azdır. Bu avantajlarının yanı sıra, tuz banyosundan çıkan korozif dumanları uzaklaştırmak ve emniyetli bir çevre sağlamak için çözeltiyi kontrol etmek gerektiğinden maliyeti yüksektir [13].

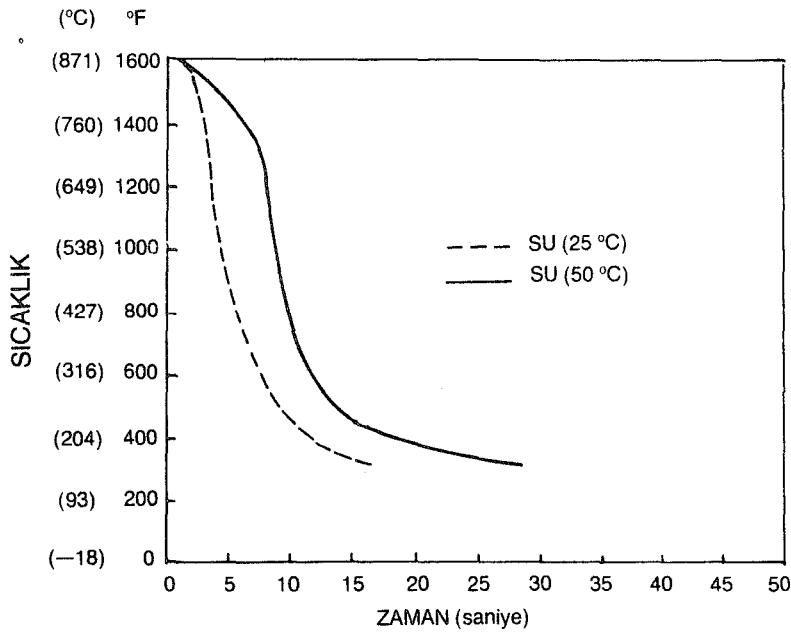
Şekil 4.5'de, yukarıdaki soğutma ortamları kullanılarak 12 mm çapındaki paslanmaz kalitedeki çelik çubuk parçalarının merkezleri için elde edilmiş soğuma eğrileri verilmiştir. Eğrilerin incelenmesinden her soğutma ortamının karakteristik soğutma safhalarına sahip olduğu görülmektedir [4].



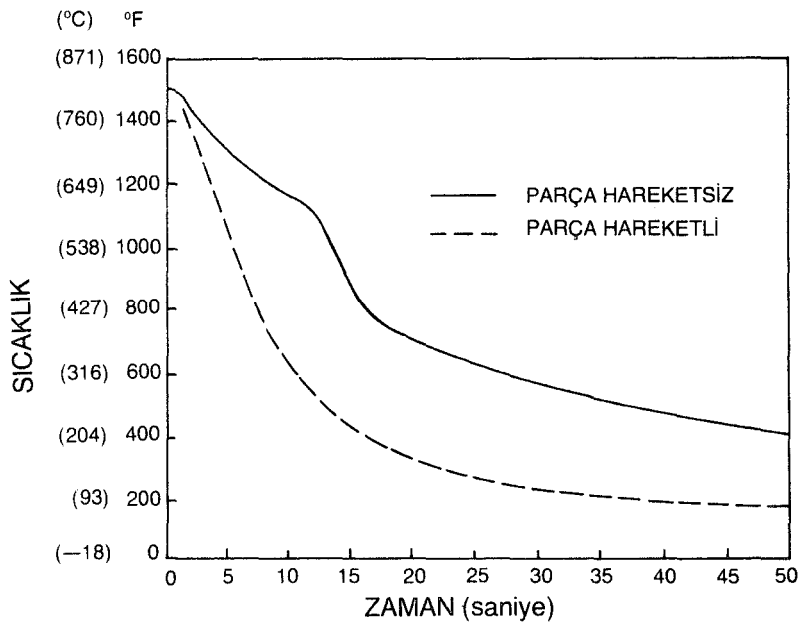
Şekil 4.5. 12 mm çapında, 60 mm boyundaki paslanmaz çelik çubukların merkezleri içi, çeşitli soğutma ortamlarında elde edilmiş soğuma eğrileri. Parçalar belli sıcaklıklardaki soğutma ortamlarında hareketsiz olarak soğutulmuşlardır [4]

4.2.1.2. Sertleştirme ortamının sıcaklığı

Genel olarak sertleştirme ortamının sıcaklığı yükseldikçe soğuma hızı düşer. Sertleştirme sırasında, yüksek sıcaklıktaki çelik parçanın ortam sıcaklığını yükseltmemesi için ortam hacminin yeterli miktarda olması gerekir. Bazı durumlarda soğutma tanklarına eşanjör eklenerek ortam sıcaklığı kontrol edilir. Ayrıca, soğutma hızını arttırmak ve ortam sıcaklığını sabit tutmak için, ortamda çalkantı (sirkülasyon) sağlanabileceği gibi, parçanın ortam içinde hareketi de söz konusu olabilir [4]. Bu işlem, su verme sıvısının ısı iletimi üzerinde son derece büyük bir öneme sahiptir. Özellikle buhar filminin daha erken yırtılmasına neden olur [13]. Yani, soğumanın birinci safhasında parça yüzeyinde oluşan buhar tabakası etkili bir şekilde giderilerek soğuma hızı artırılmış olur. Şekil 4.7'de 50°C deki yağ banyosunda sertleştirilen paslanmaz kalitedeki bir çelik parçasının ortam içinde hareketli olup olmamasına bağlı olarak değişen soğuma eğrileri verilmiştir [4].



Şekil 4.6. 12 mm çapında, 60 mm boyundaki paslanmaz çelik çubukların merkezleri için , 25 ve 50°C sıcaklıklardaki soğuma ortamlarında elde edilen soğuma eğrileri. Parçalar ortamda hareketsizdirler [4]



Şekil 4.7. Soğutma ortamı içinde parça hareketinin soğuma hızına etkisi. Soğutma ortamı 50 °C' de yağdır [4]

Kullanılan sertleştirme ortamının cinsi, ortamda sirkülasyonun olup olmamasına bağlı olarak, bir sertleştirme şiddeti değeri ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 4.1), durgun su için sertleştirme şiddeti değeri 1.0 olarak baz alındığında çeşitli

soğutma metodları için değişik ortamlara ait sertleştirme şiddet değerleri verilmiştir [4].

Tablo 4.1. Durgun su için sertleştirme şiddeti değeri 1.0 olarak baz alındığında, çeşitli soğutma metodları için değişik ortamlara ait sertleştirme şiddet değerleri [4]

Soğutma Metodu	Yağ	Su	% 10'luk NaCl ₂ çözeltisi
Çalkantisız ortam	0.25-0.30	0.9-1.0	2
Az çalkantılı ortam	0.30-0.35	1.0-1.1	2-2.2
Orta çalkantılı ortam	0.35-0.40	1.2-1.3	
İyi çalkantılı ortam	0.40-0.50	1.4-1.5	
Kuvvetli çalkantılı ortam	0.50-0.80	1.6-2.0	
Şiddetli çalkantılı ortam	0.80-1.10	4	5

4.2.1.3. Parça yüzey şartları

Çelik parça ostenit faz sıcaklığına getirilmek için ısıtılırken fırın atmosferindeki su buharı veya oksijenin varlığından dolayı yüzeyinde tufal adı verilen demir oksit tabakası teşekkül eder. Kalın bir tufal tabakasının, parçanın soğuma hızını yavaşlatıcı yönde önemli etkisi vardır. Bu sebepten tufal teşekkülünü azaltmak veya tamamen önlemek için pratikte değişik bazı yöntemler kullanılır. Aşağıda bu yöntemlerden bazıları sıralanmıştır [4].

- Dökme demir talaşı : Çelik parça bir kutuda dökme demir talaşına gömülerek fırına yerleştirilir. Fırın atmosferindeki oksijen öncelikle dökme demir talaşıyla reaksiyona girerek, çelik parçasına ulaşmadan harcanmış olur [4].

- Koruyucu atmosfer : Fırın atmosferinde çelikle reaksiyona girmeyecek gaz karışımı oluşturulur Bu amaçla hidrojen parçalanmış amonyak veya özel jeneratörlerde metan, propan gibi hidrokarbonların kısmen veya tamamen yanması sonucu elde edilmiş gazlar kullanılır [4].

- Nötr Tuz Banyoları : Çelik parçanın ostenit faz sıcaklığına ısıtılması sıvı haldeki nötr tuz banyosu içinde yapılır [4].

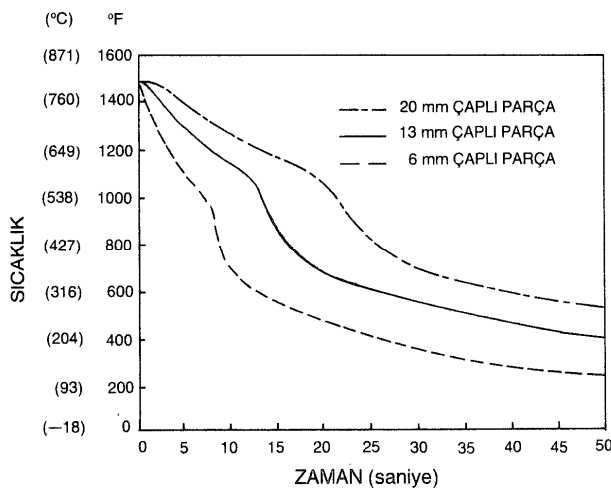
- Bakır Kaplama : Parça yüzeyi çok ince bakır tabakasıyla kaplanarak tufal oluşumu önlenir [4].

4.2.1.4. Parça ebadı

Çelik parçanın sadece yüzeyi sertleştirme (soğutma) ortamıyla temas ettiğinden, parça yüzey alanının kütlesine oranı soğuma hızını belirleyen önemli bir faktördür. Bu oran parçanın geometrik şekline yakından bağlıdır ve oranın büyümesi soğuma hızını artırır. Küresel parçalar için bu oran fazlaca önemli değildir. Silindirik parçalarda ise, oran parça çapına ters orantılı olarak bağlıdır [4].

Tellerde ve ince levhalarda yüzey alanının kütleyle oranı oldukça büyük olduğundan, yüksek soğuma hızı elde edilir. Şöyle bir genelleme yapmak mümkündür. Aynı sertleştirme şartlarında büyük parça küçük parçadan daha yavaş soğuyacaktır [4].

Şekil 4.8' de , üç değişik çaptaki silindirik paslanmaz çelik parçaların merkezleri için elde edilmiş soğuma eğrileri görülmektedir [4].



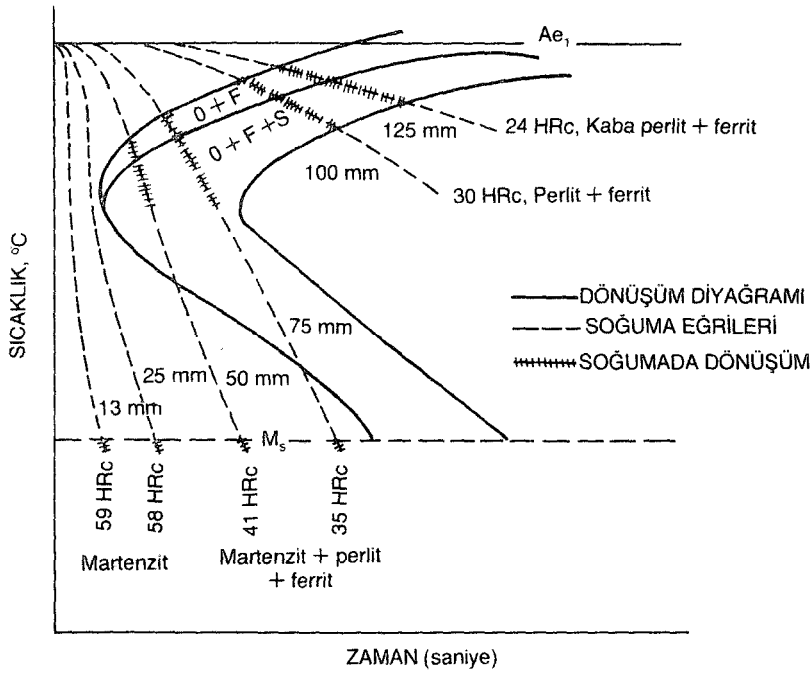
Şekil 4.8. Parça ebadının soğuma hızına etkisi, soğutma ortamı 50°C' de yağdır [4]

Aşağıdaki tabloda (Tablo 4.2), değişik ebatlardaki % 0.45 karbonlu silindirik parçalar için yapılmış sertleştirme işlemi sonrası, yüzey sertlik değerleri verilmiştir. Parçalar suda sertleştirilmişlerdir [4].

Tablo 4.2. %0.45 C'lu çeşitli ebatlardaki parçaların su verme sonrası sertlik ölçümleri [4]

Ebad mm	Yüzey Sertliği HRc
13	59
25	58
50	41
75	35
100	30
125	24

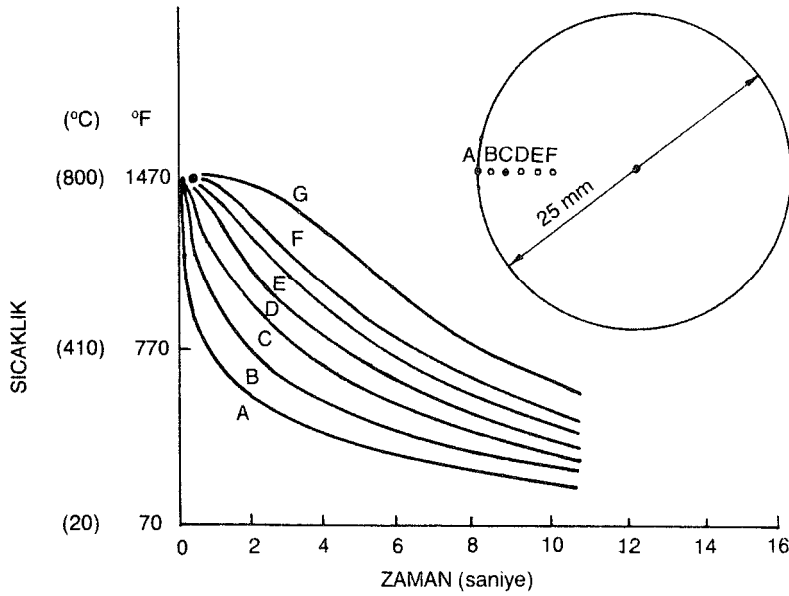
Şekil 4.9'da , % 0.45 karbonlu çeliğin ZSD diyagramı üzerinde Tablo 4.2'deki sertlik değerlerini ve soğutma sonunda elde edilmiş yapı değişikliklerini gösteren yüzey soğuma eğrileri çizilmiştir.



Şekil 4.9. %0.45 karbonlu çeliğin ZSD diyagramı üzerinde çeşitli ebatlar için elde edilmiş soğuma eğrileri ile soğutma sonunda elde edilen mikro yapı ve sertlik değerleri [4]

Yukarıdaki şekilde, 13 ve 25 mm çaplı parçalar için çizilmiş soğuma eğrilerinden anlaşıldığı gibi, bu parçaların yüzey soğuma hızları kritik soğuma hızını geçtiği için sonuçta yüksek sertlikte martensit yapı elde edilmiştir. 50 ve 75 mm çaplı parçaların yüzey soğuma hızları orta derecededir ve sonuçta martensit, perlit ve ferrit karışımı yapı meydana gelmiştir [4].

100 ve 125 mm çaplı parçalar için ise, yüzeydeki soğuma hızı oldukça yavaştır ve sonuçta yapı ostenitin ferrit ve perlite dönüşümünden meydana gelmiştir. Buraya kadar parçanın sadece yüzey soğuma hızları ve sertlikleri incelenmiştir. Halbuki parçanın kesiti boyunca yüzeyden çekirdeğe doğru değişik soğuma hızları oluşur [4]. Aşağıdaki şekilde, 25 mm çapındaki bir çubuğun suda sertleştirildiğinde kesitin çeşitli noktalarında elde edilmiş soğuma eğrileri görülmektedir (Şekil 4.10) [4].

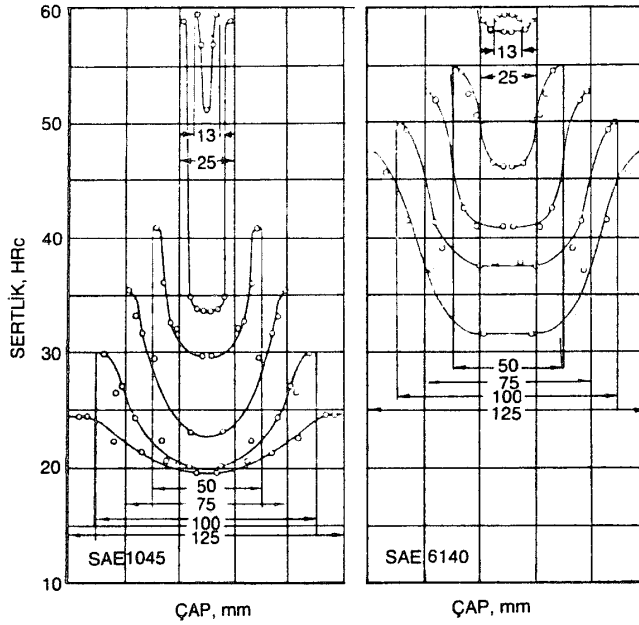


Şekil 4.10. 25 mm çapındaki bir çelik çubuğun, suda hızlı soğutulduğunda kesitin çeşitli noktalarında elde edilen soğuma eğrileri [4]

Kesitte alınan belli bir nokta için elde edilmiş farklı soğuma hızları sonuçta o noktalar için değişik sertlik değerleri verecektir. Aynı kalitedeki çeşitli ebatlarda alınan çelik çubukların çapları boyunca yapılan sertlik taraması sonuçları bir diyagram üzerinde noktalanırsa sertlik ilerleme eğrileri elde edilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 4.11), aynı karbon miktarına sahip fakat iki değişik kalitedeki SAE 1040 ve SAE 6140 çeliklerinin çeşitli ebatlardaki sertlik ilerleme eğrileri çizilmiştir. Soldaki SAE 1040 çeliğini çeliğin sertlik ilerleme eğrileri incelendiğinde 30 HRC sertlik değeri üç değişik ebadda görülür. Fakat bu aynı sertlik değeri, parçaların kesitlerinin farklı noktalarında elde edilmiştir. 30 HRC sertlik değerine, 100 mm lik parçanın yüzeyinde, 75 mm 'lik parçanın yüzeyinden yaklaşık 10 mm içeride ve 50 mm' lik parçanın ise hemen hemen çekildiğinde ulaşır [4].

Sertleştirme esnasında, bu noktaların soğuma hızları aynı olduğundan sonuçta aynı sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu durum çok önemli bir sonuç ortaya çıkarır. Aynı kimyasal bileşim ve aynı ostenit tane büyüklüğündeki çelik parçalar için, parçaların ebadı, şekli ve sertleştirme şartları dikkate alınmaksızın, aynı soğuma hızına sahip noktalarda aynı sertlik değeri elde edilir. Bu cümlelerin tersi doğru olmayabilir. Yani, aynı kimyasal bileşimdeki ve aynı ostenit tane büyüklüğündeki bir çelik parça için,

aynı sertlik değeri elde edilen farklı noktalarının soğuma hızları aynı olmayabilir. Daha açık ifadeyle, bir çelik parçasının sertleştirilmesi işleminde, merkezinin soğuma hızı ZSD diyagramındaki kritik soğuma hızını geçerse, parçanın kesiti boyunca aynı sertlik değeri elde edildiği halde yüzey ve çekirdeği farklı hızlarda soğuyacaktır [4].



Şekil 4.11. Çeşitli ebatlardaki SAE 1045 ve 6140 çeliklerinin suda sertleştirildiklerinde elde edilen sertlik ilerleme eğrileri [4]

4.2.2. Sertleşebilirlik

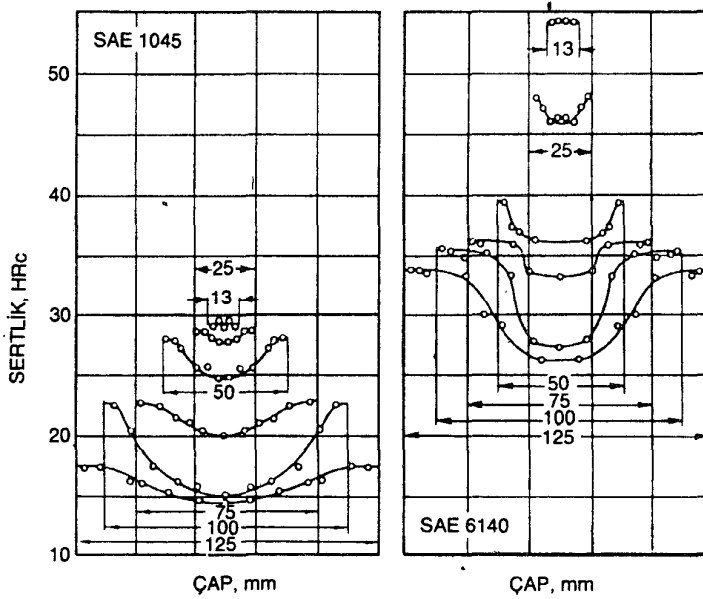
Sertleştirme işlemi sonunda, bir çelik parçasının yüzeyinden çekirdeğine doğru yarıçapı boyunca sertliğinin ne kadar ilerlediği o çeliğin sertleşebilirliğine bağlı olarak değişir. Eğer sertlik derinlemesine ilerlememişse böyle bir çelik için düşük sertleşebilirliği olan çelik ifadesi kullanılır. Çeliğin sertleşebilirliğini veya diğer deyişle sertlik ilerleme derinliğini arttırmak için iki değişik yöntem kullanılır [4].

1- Çeliğin kimyasal bileşimindeki alaşım elementleri miktarları artırılarak veya ostenit tane ebadı büyütülerek, ZSD diyagramındaki dönüşüm eğrileri sağa doğru kaydırılır. Bu, çeliğin kritik soğuma hızının yavaşlatılması demektir. Böylece aynı

sertleştirme şartlarında, daha yüksek sertlikler ve daha fazla sertlik derinlikleri elde edilir. Yukarıdaki Şekil 4.11 ' de aynı karbon değerine sahip, çeşitli ebatlardaki SAE 1045 çeliği ile kimyasal bileşiminde krom (Cr) ve vanadyum (V) ihtiva eden SAE 6140 çeliğinin suda sertleştirildiklerinde kesitlerindeki sertlik değişim eğrileri görülmektedir [4].

2- Çeliğin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişiklik yapılmadan (ZSD diyagramında dönüşüm eğrileri sabit tutularak), sertleştirme ortamının soğutma şiddeti artırılarak veya parçanın ortamda hareketi sağlanarak soğuma hızı artırılır. Böylece daha yüksek sertlikler ve daha fazla sertlik derinlikleri elde edilir [4].

Aşağıdaki Şekil 4.12'nin Şekil 4.11 ile karşılaştırılması bu yönetime açıklık getirmektedir. Şekil 4.12'de sertleştirme ortamı yağ iken, Şekil 4.11'de sertleştirme ortamı olarak su kullanılmıştır [4].

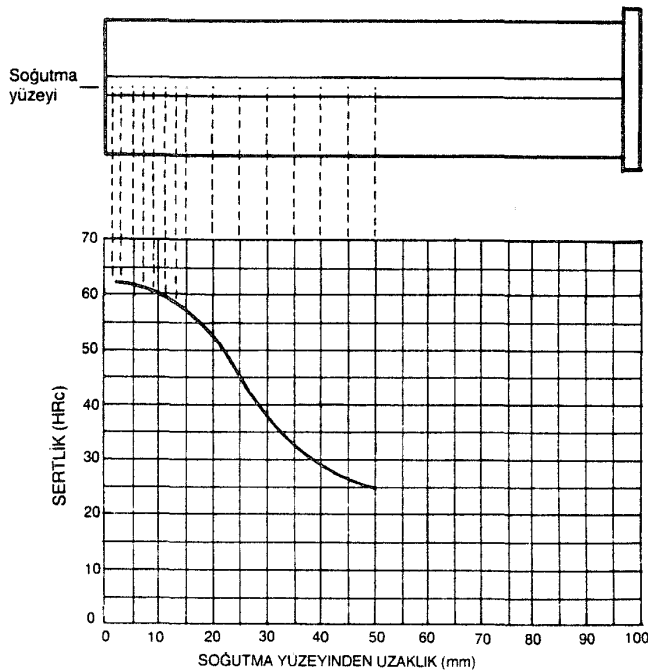


Şekil 4.12. Çeşitli ebatlardaki SAE 1045 ve 6140 çeliklerinin yağda sertleştirildiklerinde elde edilen sertlik ilerleme eğrileri [4]

Yüksek ve derin sertlik sağlamak için, soğuma hızının artırılması, sertleştirme esnasında parçanın çarpılma ve çatlama tehlikesini arttıracığından, daha yaygın olarak alaşımlı çelik kullanılması tavsiye edilir [4].

Çeliğin sertleştirme sonrası kazanacağı sertlik, satın alımındaki tercih faktörlerinden en başta gelenidir. Bu sebepten çeliğin sertleşebilirliğini belirleyen bir deneye ihtiyaç vardır. İşte bu amaçla, bir uçtan soğutulmuş sertleşebilirlik deneyi veya diğer yaygın adıyla Jominy deneyi uygulanır. Bu deney, uluslararası düzeyde standartlaştırılmıştır. Detayları Türk Standartları 1381 de verilen deney için, 25 mm çapında 100 mm boyunda bir deney parçası hazırlanır. Uygun ostenit sıcaklığında homojen olarak 30 dakika ısıtılır ve fırından alınarak en fazla 5 saniye içinde deney cihazına yerleştirilerek alt düzeyine su püskürtülür. Su püskürtme zamanı en az 10 dakikadır. Soğutma suyunun sıcaklığı, deney parçasının alt yüzeyi ile su püskürtme borusunun ucu arasındaki açıklık ve su püskürtme borusunun iç çapı hep belirli değerlerde sabittir [4].

Parça, deney cihazında en az 10 dakika soğutulduktan sonra alınarak, uzunluk eksenini doğrultusunda karşılıklı iki yüzeyi 0.4 mm derinlikte taşlanır ve soğutulmuş uçtan itibaren 1.5-3-5-7-9-11-13-15-20-25-30 mm uzaklıklarda Rockwell C sertlik ölçümleri yapılır. Uzaklıklar yatay ve bunların karşılıkları olan sertlik değerleri dikey eksen üzerinde kolayca okunabilecek bir grafikte gösterilir (Şekil 4.13) [4].

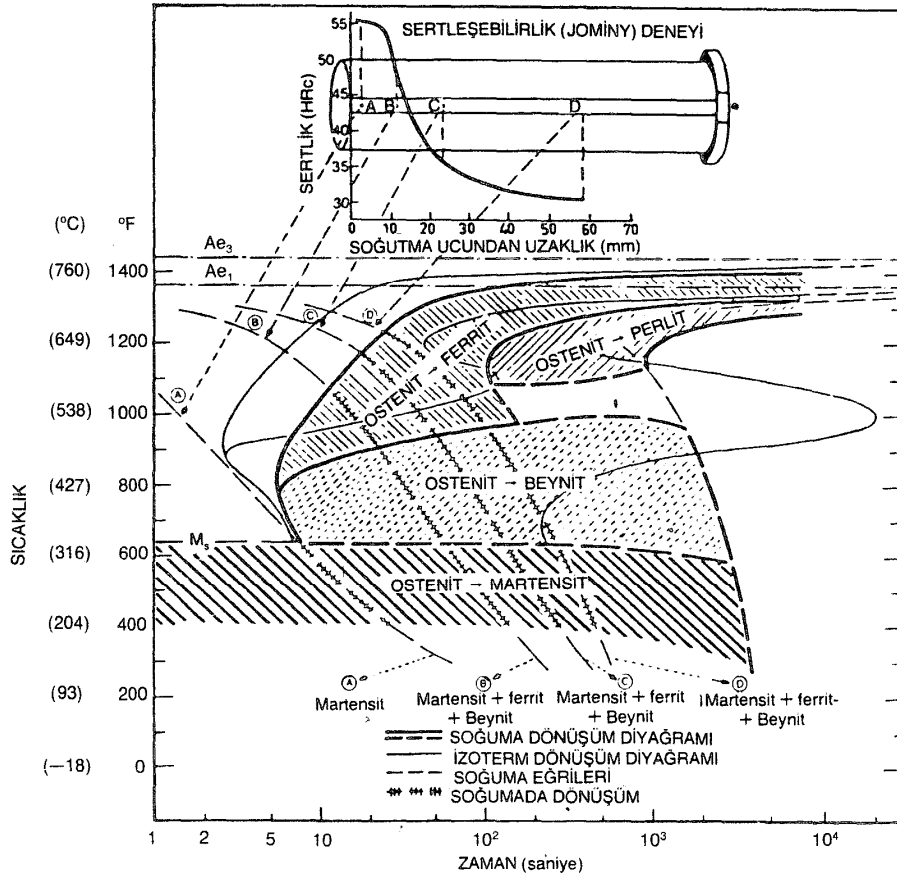


Şekil 4.13. Jominy deney parçası ve sertleşebilirlik [4]

Jominy deney parçasındaki her nokta, belli soğuma hızına sahip olduğundan ve tüm çelikler için ısı iletimi aynı olarak kabul edildiğinden, deney parçasının kimyasal bileşimi dikkate alınmaksızın, parça üzerindeki belli noktalar için aynı soğuma hızları elde edilir [4].

Böylece her deney parçası, su püskürtülen uçtan itibaren havada soğuyan dip kısmına kadar değişen bir seri soğuma hızına sahip olur [4].

Sonuçta değişik soğuma hızlarına bağlı olarak, deney parçasının değişik noktalarında çeşitli yapılar elde edilir. Aşağıdaki Şekil 4.14 'de SAE 4140 çeliğinin ZSD diyagramı üzerine, Jominy deney parçasının çeşitli noktalarındaki soğuma hızlarına ait soğuma eğrileri çizilmiştir. Şekilden, sertleşebilirlik deneyi ile yapı dönüşümleri arasındaki ilişki açıkça görülmektedir [4].



Şekil 4.14. SAE 4140 çeliğinin ZSD diyagramı ve jominy deney parçasının çeşitli noktalarında elde edilen soğuma eğrileri [4]

Değişik soğuma hızlarına bağlı olarak oluşan yapıların analizinden, hangi noktanın daha hızlı soğuduğu anlaşılabilir. A noktasındaki soğuma hızında, yapı tamamen

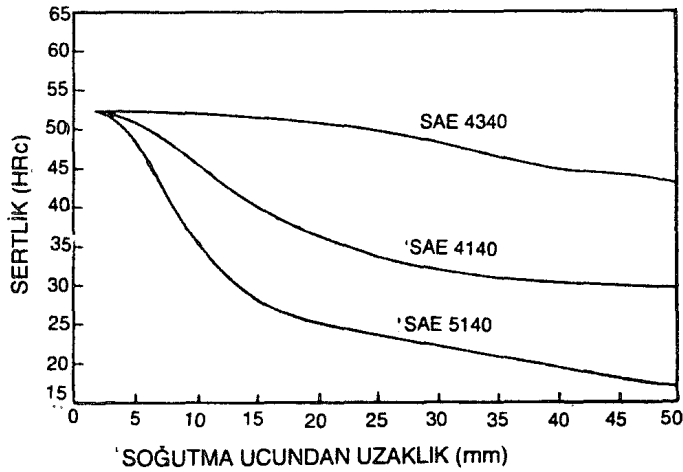
martensite dönüşmüştür. B, C ve D noktalarındaki soğuma hızları sonucu, yapı ferrit, beynit ve martensit karışımından meydana gelmiştir. Soğuma hızının azalması ile meydana gelecek martensit miktarında azalma gözlenir [4].

Sertleşebilirlik genellikle sertlik değişimi cinsinden tarif edildiğinden, çelik cinsine bağlı olarak sertlik değişimi aynı zamanda mikroyapı değişimi olarak da görülebilir. Genel olarak, alaşım elementleri perlit, beynit dönüşümlerini geciktirerek sertleşebilirliği artırır. Böylece daha düşük soğuma hızlarında martensit dönüşümü artar [4].

Aşağıdaki Şekil 4.15’de % 0.40 karbonlu fakat değişik miktarlarda alaşımlandırılmış çeliklerin sertleşebilirlik eğrileri çizilmiştir [4].

Tablo 4.3. %0.40 karbonlu bazı alaşımlı çeliklerin kimyasal kompozisyonları [4]

Alaşım Elementi	5140	4140	4340
C	0.38-0.43	0.38-0.43	0.38-0.43
Si	0.15-0.30	0.15-0.30	0.15-0.30
Mn	0.70-0.90	0.75-1.00	0.60-0.80
P	0.035	0.035	0.035
S	0.040	0.040	0.040
Cr	0.70-0.90	0.80-1.10	0.70-0.90
Ni	-	-	1.65-2.00
Mo	-	0.15-0.25	0.20-0.30



Şekil 4.15. Üç değişik kalite için Jominy deneyinden elde edilen sertleşebilirlik eğrileri [4]

Şekil incelenirse, başta aynı karbon değerinden dolayı aynı sertliklere ulaşılmışken, uçtan uzaklaştıkça alaşımlandırma derecesine bağlı olarak, sertliklerde oldukça farklı değerlerin elde edildiği görülür [4].

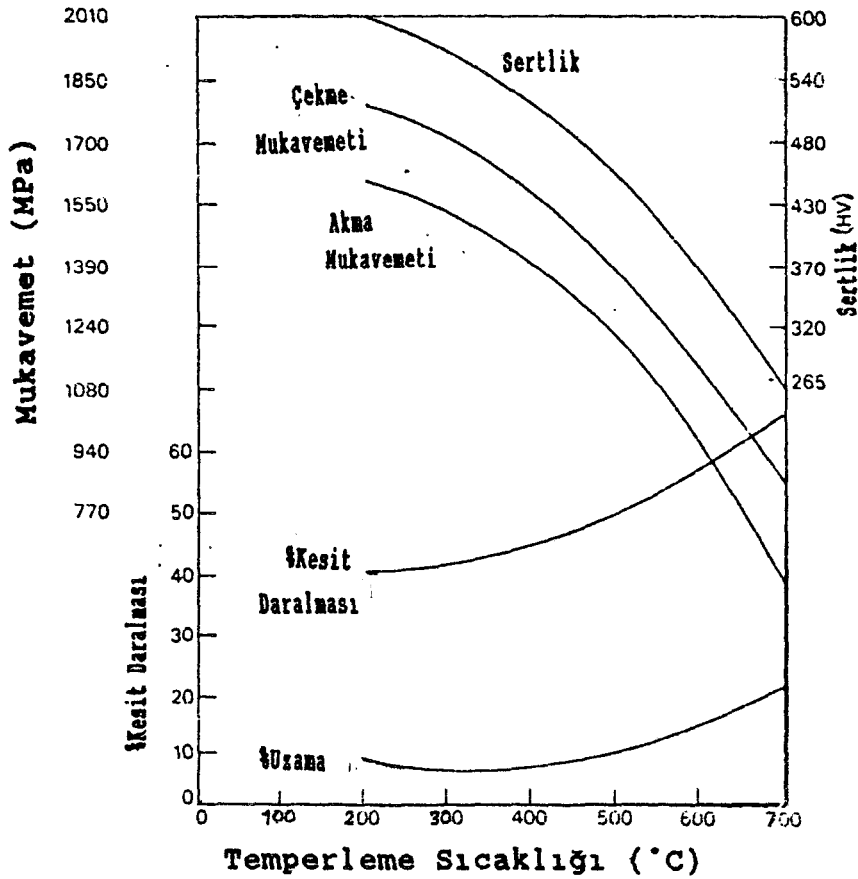
Her çelik cinsi için yapılan yüzlerce deney sonucu sertleşebilirlik eğrilerinin üst ve alt sınırları çıkarılmıştır. Bu sınırların oluşturduğu bölgeye sertleşebilirlik (Jominy) bandı adı verilir [4].

Amerikan Standardlarında çeliğin kısa işaretinin peşine eklenen H harfi, o çeliğin sertleşebilirlik özelliği esas olarak satın alınabileceğini ifade eder. Bu esasa göre yapılan çelik alımlarında, kimyasal bileşim ve ostenit tane büyüklüğü ikinci derecede önemlidir. Bunun manası, alıcı sertleştirme sonrasında istenen mekanik özellikleri (sertliği) sağlayacağından emindir [4].

4.2.3.Menevişleme (Temperleme)

Sertleştirme sonrası elde edilen martensit yapı birçok uygulama için fazlasıyla sert ve gevrek. Aynı zamanda, ostenitin martensite dönüşümü, parçada yüksek gerilimler bırakır. Bu sebeplerden, hem parçanın gevrekliğini gidererek tok bir yapı kazandırmak ve hem de ortaya çıkmış gerilimleri gidermek amacıyla menevişleme adı verilen ısı işlemi uygulanır [4].

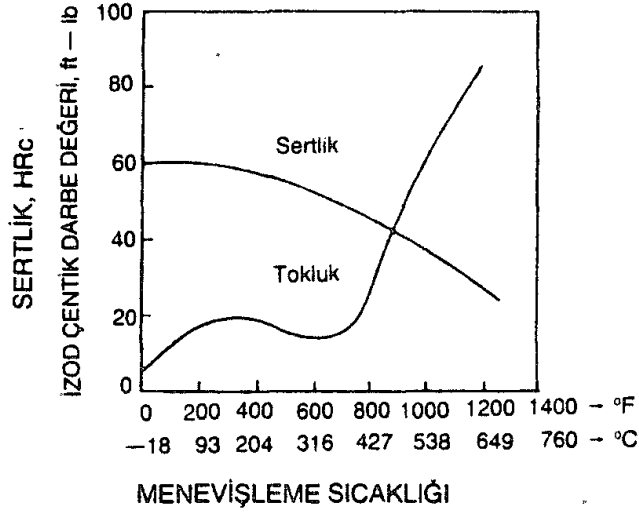
Şekil 4.16' da % 1.5 Ni , % 1Cr, % 0.25 Mo ve % 0.4 C içeren çeliğin temperleme sıcaklığıyla mekanik özelliklerinin değişimi görülmektedir [12].



Şekil 4.16. % 1.5 Ni , % 1Cr, % 0.25 Mo ve % 0.4 C içeren malzemenin mekanik özelliklerinin temperleme sıcaklığı ile değişimi [12]

Menevişleme, çelik parçasının A_1 sıcaklığı altında belli bir süre ısıtılması işlemidir. Bu işlem, A_1 sıcaklığına (723°C) kadar geniş bir sıcaklık alanında yapılabileceğinden, çeliğin mekanik özellikleri ve mikro yapısında bazı değişiklikler söz konusu olacaktır. Menevişleme sıcaklığı alanında, sıcaklık yükselirken genel olarak sertlikte azalma ve toklukta artma gözlenir. Ancak, yükselen sıcaklıkla tokluğun artması, çekme deneyinde kesit daralması veya uzama olarak ölçüldüğünde doğrudur. Fakat eğer tokluk çentik darbe deneyi ile ölçülecek ise, menevişleme işleminde yükselen sıcaklıkla tokluğun artacağı genellemesine gidilemez. Şekil 4.17'de çeşitli

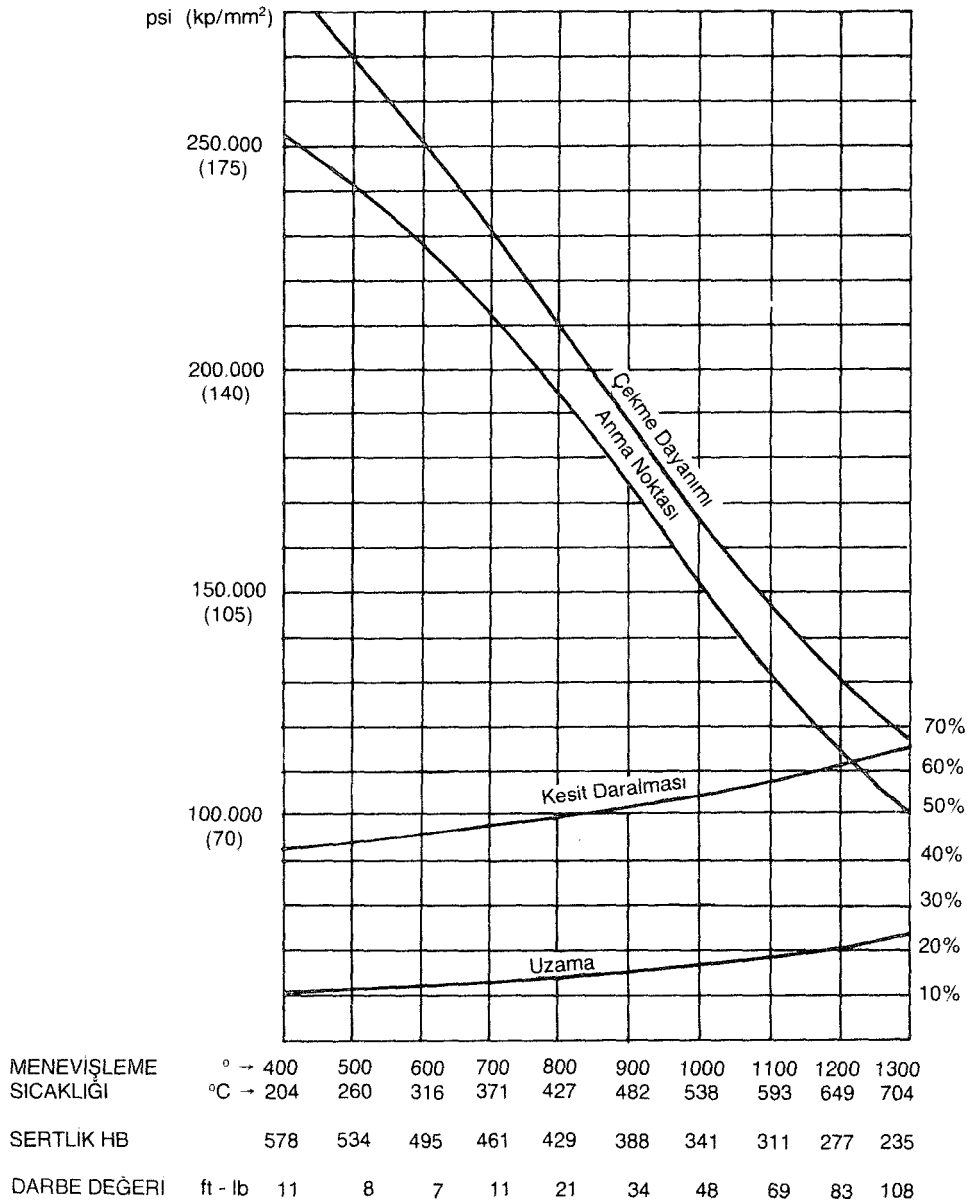
sıcaklıklarda bir saat menevişlenmiş SAE 4140 çeliğinin, sertlik ve izod çentik darbe değerleri görülmektedir [4].



Şekil 4.17. Çeşitli sıcaklıklarda 1 saat menevişlenmiş SAE 4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe değeri eğrileri [4].

Yukarıdaki şekilden görülebileceği gibi, SAE 4140 çeliği için, menevişleme sıcaklığının yaklaşık 200-425 °C sıcaklıkları arasında seçilmesi durumunda , sertlikle beraber çentik darbe tokluğunda da azalma dikkati çekmektedir. Eğer menevişleme sonrası parçada esas olarak sertlik ve aşınma direnci isteniyorsa, 200 °C 'nin altında, yok eğer tokluk esas olarak isteniyorsa, 425 °C' nin üzerindeki menevişleme sıcaklığı seçilmelidir [4].

Aşağıdaki Şekil 4.18'de, yağda sertleştirilmiş SAE 4140 çeliğinin, menevişleme sıcaklığına bağlı olarak değişen mekanik özelliklerine ait değerler görülmektedir.



Şekil 4.18. Menevişleme sıcaklığının SAE 4140 çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi. Parçalar, 870°C’de normalizasyon tavını takiben , tekrar 840°C’ye ısıtılarak yağda su verilmiştir [4]

Menevişleme sıcaklığının yükselmesi ile, çeliğin mikro yapısında da çeşitli değişiklikler meydana gelir. 200 °C ‘ye kadar martensit yapının dağlanmış görünümü koyudur ve siyah martensit adını alır [4].

Bu sıcaklığa kadar yapılan menevişleme işleminde, yüksek sertlikteki martensitin tetragonal kristal yapısı bozularak karbür ve düşük karbonlu martensit meydana gelir.

Bu durumdaki çelik hala yüksek sertlik değerine sahiptir. Ancak gerilimlerin büyük bir kısmı ortadan kalkmıştır [4].

230-400°C aralığındaki menevişleme sonucu, karbür sementite, düşük karbonlu martensit hacim merkezli ferrit yapıya ve eğer sertleştirme sonucu yapıda artık ostenit kalmış ise bu da alt beynite dönüşür. Bu aralıkta çeliğin çekme dayanımında bir düşme görülmekle beraber hala yüksektir. Tokluk, yine düşük değerini korumaktadır. Sertlik ise, 40-60 HRc arasında bir değere kadar düşer [4].

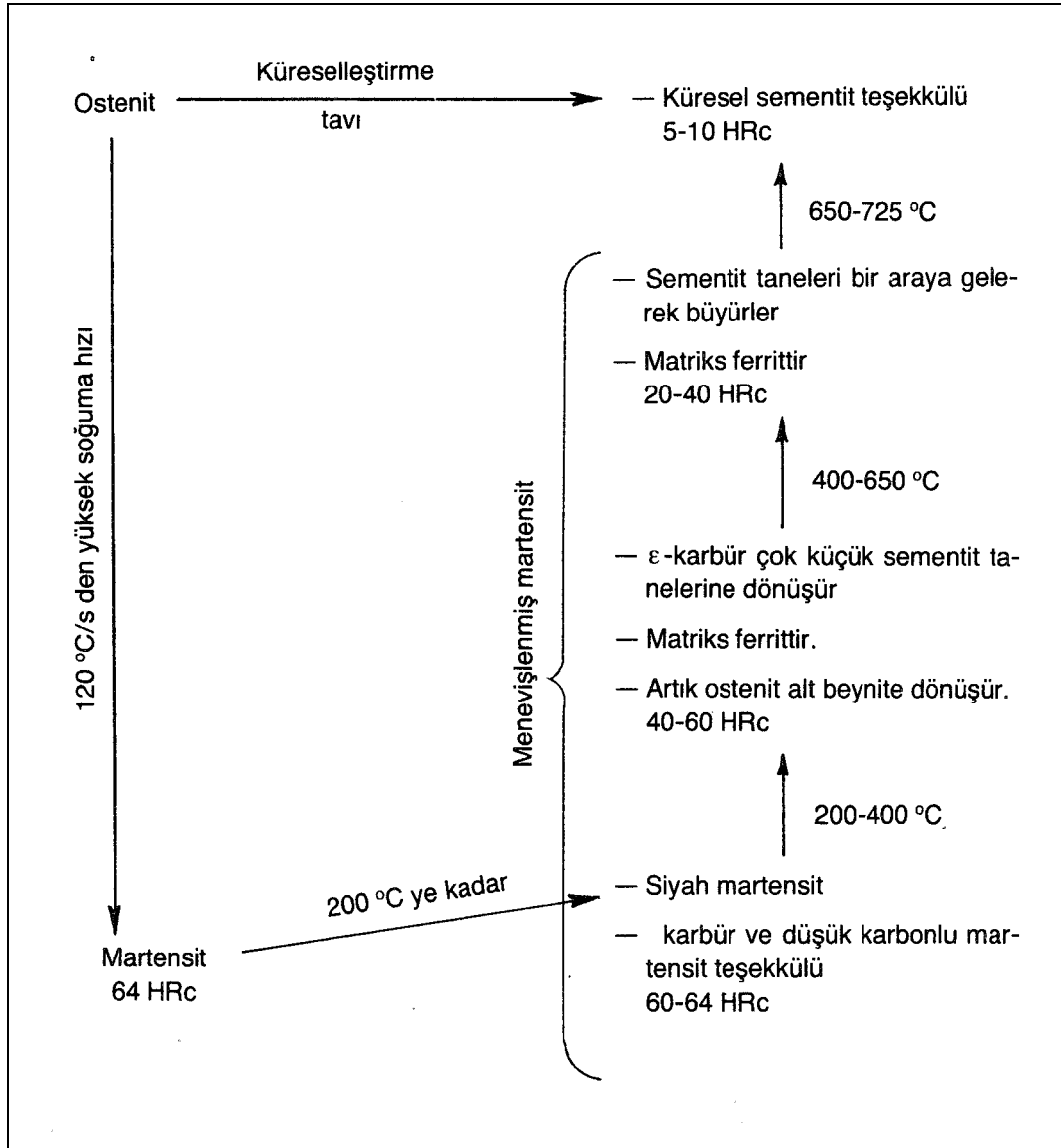
400-650 °C aralığında yapılan menevişleme işleminde, sementit taneleri büyürler. Bu tanelerin birikerek büyümeleri, matriksi oluşturan ferrit yapının daha belirgin olarak görülebilmesini sağlar. Mekanik özelliklerde değişir. Sertlik 20-40 HRc arasında bir değere düşerken, toklukta ise dikkati çekici bir artış gözlenir [4].

Eğer 650 °C nin üzerinde A₁ sıcaklığına kadar ısıtılmaya devam edilir ve yeterli süre beklenirse sementit taneleri küreselleşir. Bu yapı aynen küreselleştirme tavı ile elde edilen küresel sementit yapının benzeridir. Yumuşak ve tok bir özellik gösterir [4].

Menevişleme sonucu elde edilen mikro yapıların hepsine birden menevişlenmiş martensit adı verilir [4].

Menevişleme işleminde sıcaklıkla beraber, menevişleme süresi de önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Yani, işlem sonunda aynı mekanik özelliklere, menevişleme süresini azaltıp sıcaklığı yükselterek veya menevişleme sıcaklığını düşürüp süreyi arttırarak ulaşılabilir [4].

Menevişleme süresi, bir kaide olarak bir inc (2.54cm) parça kalınlığı için 1-2 saattir. Bu sürenin, şarjın fırına yüklenmesinden sonra veya şarjın fırında menevişleme sıcaklığına ısınmasından sonra başlaması, çeliklerin menevişleme özelliklerini önemli mertebede etkilemez [14].

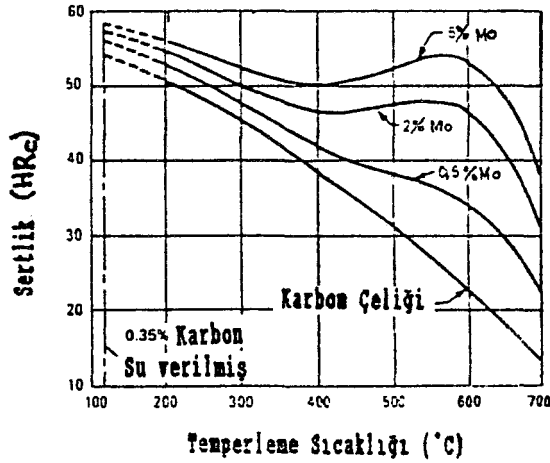


Şekil 4.19. Çeşitli meneviş sıcaklığı aralıklarında meydana gelen dönüşüm yapıları [4]

Alaşım elementlerinin menevişleme üzerindeki genel etkisi çeliğin yumuşama hızını geciktirmesidir. Bu durum genellikle, yüksek menevişleme sıcaklıklarında görülür, Bu nedenle verilen bir süre içinde istenilen sertliği elde etmek için alaşım çelikleri, karbon çeliklerine göre daha yüksek sıcaklıklarda temperlenirler. Alaşım elementleri, karbür oluşturanlar ve oluşturmayanlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Nikel, manganez ve alüminyum gibi elementler ferrit içinde çözünürler [13].

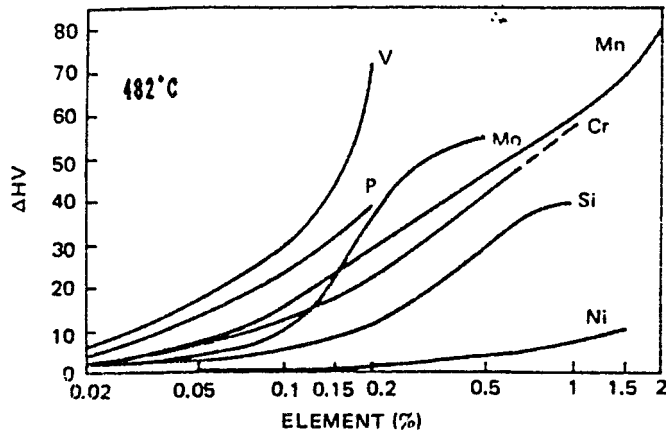
Krom, molibden, vanadyum, titanyum ve tungsten gibi elementler ise, karbür oluşturarak, temperleme sırasında yumuşamayı geciktirirler. Bu elementlerin etkisi,

sementitin (Fe_3C) oluştuğu düşük temperleme sıcaklıklarında minimumdur. Bununla birlikte, karbür oluşturuca alaşım elementleri içeren alaşımli çeliklerde, yüksek sıcaklıklarda karbürler oluşur ve sertlik temperleme sıcaklığı ile birlikte önce yavaşça artar ve sonra azalır. Bu durum ikincil sertleşme olarak adlandırılır. Şekil 4.20' de farklı oranlarda molibden içeren % 0.35 C'lu çeliklerin temperleme davranışları görülmektedir. Alaşım elementi miktarı artarken, ikincil sertleşme miktarı artar. Krom, molibdene göre daha düşük sıcaklıklarda ikincil sertleşmeye neden olan bir elementtir[13]. Şekil 4.21' de ise 1 saat temperlenmiş martenzit sertliği üzerinde alaşım elementlerinin etkisi görülmektedir [15].



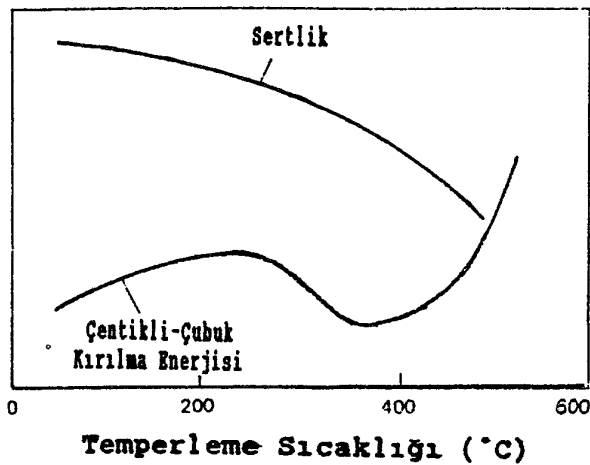
Şekil 4.20. Artan temperleme sıcaklığı ile temperlenen, su verilmiş, %0.35 karbonlu çeliğin yumuşamasına molibdenin etkisi [13]

Bazı çeliklerde belli bir sıcaklık aralığında temperleme sonucu, toklukta büyük bir azalmanın meydana gelmesine temper gevrekliği denir [14]. Uygun olmayan ısıl işlem sonucunda iki çeşit temper gevrekliği ile karşılaşılır. Bunlardan ilki, 300-350°C temper gevrekliği (temperlenmiş martenzit gevrekliği) olarak adlandırılır ve yüksek mukavemetli martenzitik çeliklerin 300-350°C arasında kısa süre temperlenmesi sonucunda meydana gelir. İkinci tip gevreklik, düşük mukavemetli çeliklerin 600°C gibi yüksek sıcaklıklardan, 600-300°C sıcaklık aralığında yavaşça soğutulmasıyla meydana gelir ve iki kademeli temper gevrekliği olarak adlandırılır. Aşağıda bu temper gevreklikleri açıklanmıştır [16].



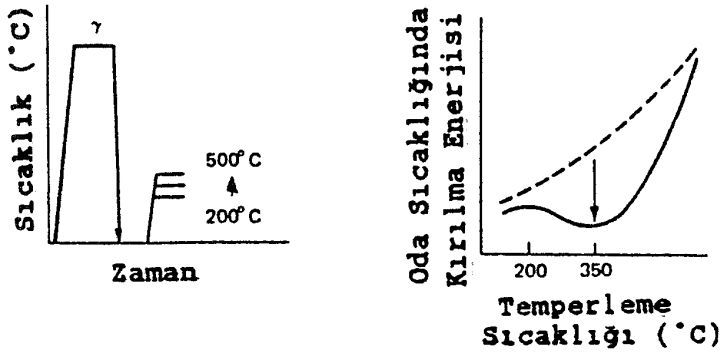
Şekil 4.21. 482°C' de 1 saat menevişlenmiş martenzitin sertliğine alaşım elementlerinin etkisi [14]

i- 300-350°C veya temperlenmiş martenzit gevrekliği : Su verilerek martenzite dönüşmüş ve 300-350°C arasında temperlenmiş düşük alaşımlı çeliğin sertliği, temperleme sıcaklığı yükselirken, düşer. Tokluğu ise, minimum değer alır. Bu durum Şekil 4.22' de görülmektedir [15].



Şekil 4.22. Su verilmiş bir çeliğin temperleme sıcaklığı ile sertlik ve oda sıcaklığındaki darbe enerjisi[15].

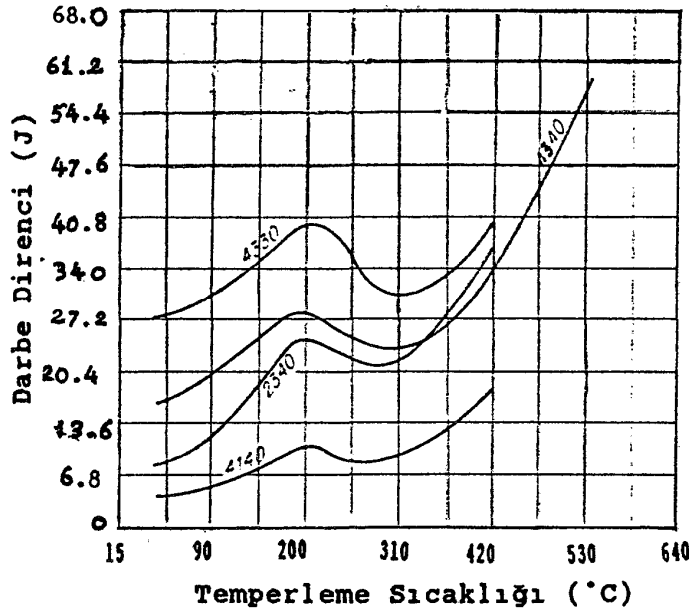
300-350°C arasında meydana gelen gevreklik Şekil 4.23 'de şematik olarak gösterilmiştir [15].



Şekil 4.23. 300-350°C veya temperlenmiş martenzit gevrekliği [15]

Gevrekliğin başlaması sementitin çökmesi ile aynı zamana rastlar. Fosfor, kalay, antimuan, arsen, azot gibi elementlerin varlığı gevrekliğine neden olur. Bu elementler ostenit tane sınırları boyunca toplanarak çeliğin tokluğunu azaltırlar [15].

Şekil 4.24' de su verilerek martenzite dönüştürülmüş bazı alaşımlı çeliklerin temper gevrekliği nedeniyle darbe direncindeki düşme görülmektedir. Bu çeliklerin bileşimleri ise Tablo 4.4'de verilmiştir [17].



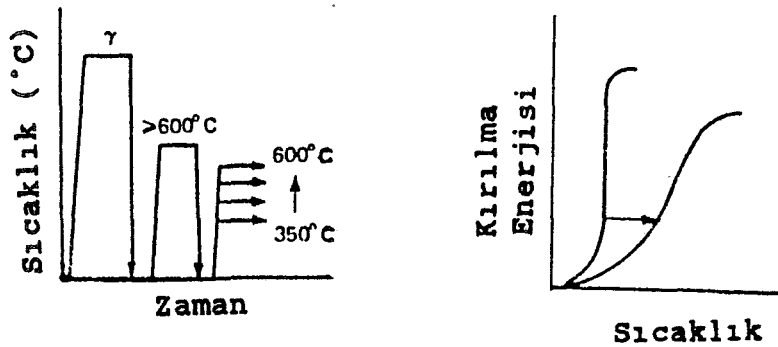
Şekil 4.24. Su verilerek martenzite dönüştürülmüş bazı alaşımlı çeliklerin temperleme sıcaklıkları ile darbe dirençlerinin değişimi [17]

Tablo 4.4. Şekil 4.24'deki alaşımlı çeliklerin bileşimleri [17]

SAE	Bileşim %						
	C	Mn	P _{max}	S _{max}	Ni	Cr	Mo
2340	0.35-0.45	0.60-0.90	0.040	0.050	3.25-3.75	—	—
4140	0.35-0.45	0.60-0.90	0.040	0.050	—	0.80-1.10	0.15-0.25
4330	0.25-0.35	0.50-0.80	0.040	0.050	1.50-2.00	0.50-0.80	0.30-0.40
4340	0.35-0.45	0.50-0.80	0.040	0.050	1.50-2.00	0.50-0.80	0.30-0.40

Oluşan gevrekliği önlemede en etkin yol, bu sıcaklık aralığında (300-350°C) temperlemeden kaçınmak ve çeliğe % 1.5-2 silisyum ilavesi yapmaktır [16].

ii- İki kademeli temper gevrekliği : Şekil 4.25 'de gösterilen temper gevrekliği 600-700°C gibi yüksek sıcaklıklarda temperlenmiş alaşımlı çeliklerin 600-350°C arasında yavaşça soğutulması sonucunda meydana gelir [15]. Nikel-krom içeren çelikler, sadece nikel veya sadece krom içeren çeliklere göre iki kademeli temper gevrekliğine daha hassastırlar [16].



Şekil 4.25. İki kademeli temper gevrekliği [15]

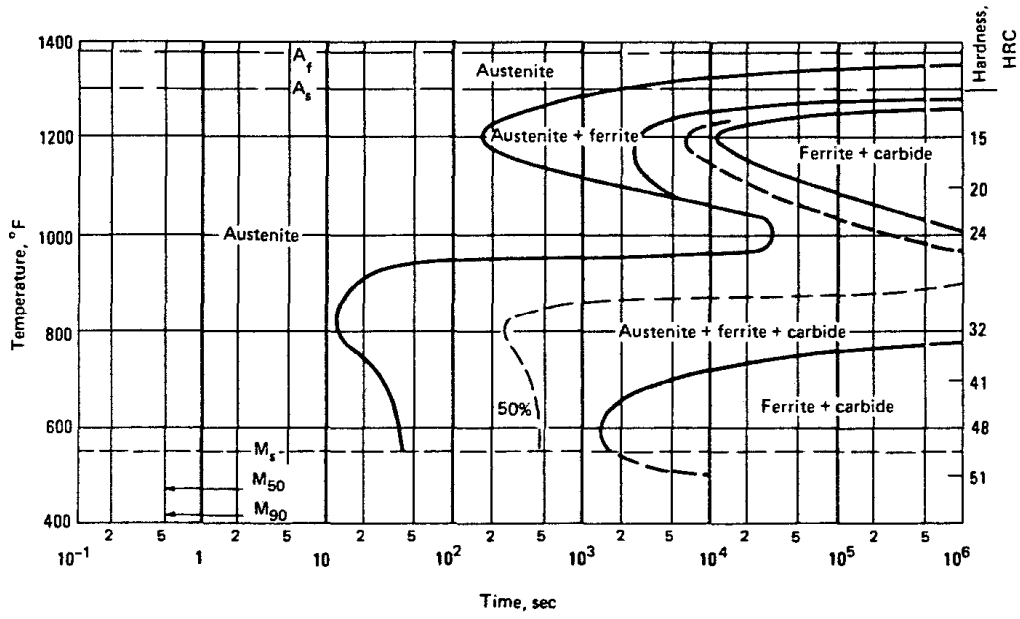
İki kademeli temper gevrekliği, karbon çeliklerinde görülmez. Antimuan, fosfor, kalay ve arsen gibi katkıları ve nikel, manganez, krom, silisyum ilaveleri gevrekliği arttırmaktadır [15]. Yapılan araştırmalar, gevrekliğe neden olan elementlerin tane

sınırlarında toplandıklarını ve 450-500°C arasında gevrekliğe yol açtıklarını ispatlamıştır. 450°C' nin altında bu elementlerin hareketliliği sınırlıdır. 550°C'nin üzerinde ise gevrekliğe sebep olmazlar [18].

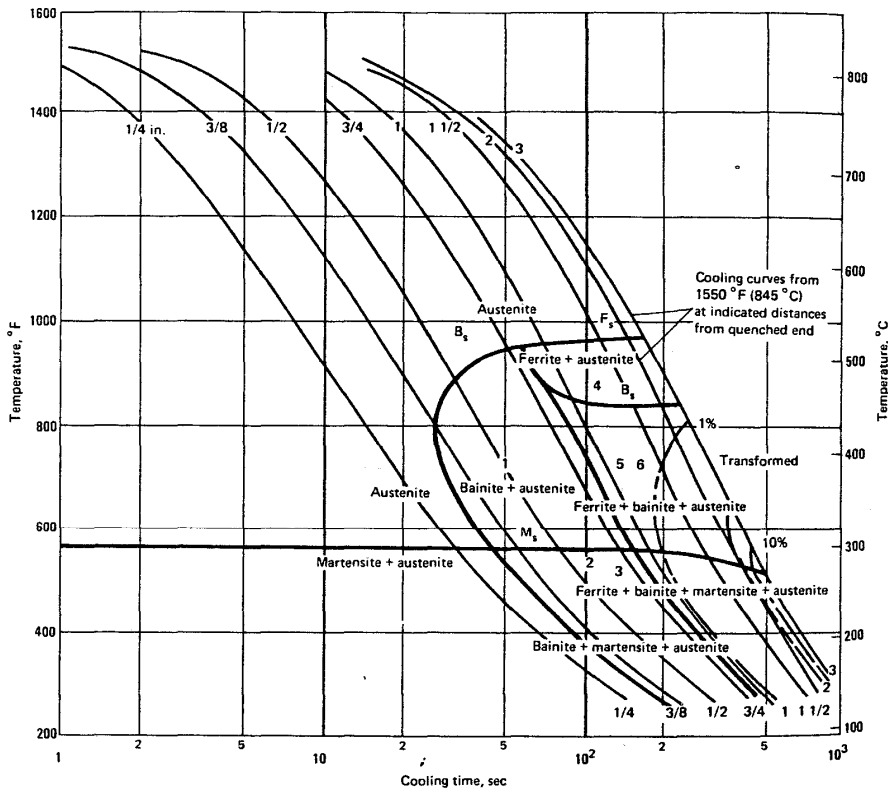
Yüksek sıcaklıkta temperlenen çeliklerin temper gevrekliğine uğramamaları için, gevrekliğe neden olan sıcaklık aralıklarından (450-500°C) hızla soğutulmaları gereklidir [1]. Molibden, titanyum ve zirkonyum gibi elementler, temper gevrekliğine engel olurlar [15]. Ancak çeliğin yüksek sıcaklıkta kullanımı esnasında molibdenin karbür şeklinde çökmesini önlemek gerekir. Bunun için neobyum, vanadyum ilavesi yapılır [18].

4.3. AISI 4340 Çeliği

Kimyasal kompozisyonu; 0.38-0.43 C, 0.60-0.80 Mn, 0.035 P max, 0.040 S max, 0.15-0.30 Si, 1.65-2.00 Ni, 0.70-0.90 Cr, 0.20-0.30 Mo olan çeliklerdir. Karakteristik özellikleri arasında yüksek sertleşebilirliği ön plana çıkmıştır. Örneğin; 54-59 HRC sertlik değerlerine ulaşabilen kombinasyonları vardır (4340H). Bu çelikler, dövülerek mekanik özellikleri artırılabilir (850-1050 °C). Su verme ortamı yağdır ve ostenitleme sıcaklığı 830-860°C'dir [20]. Şekil 4.26 ve 4.27'de tipik 4340 çeliğinin izotermal dönüşüm diyagramları görülmektedir.

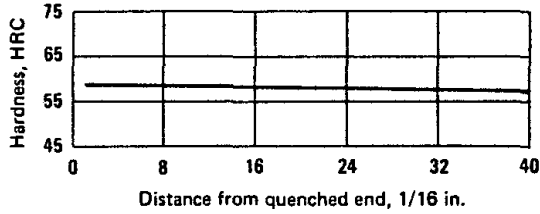


Şekil 4.26. Kimyasal kompozisyonu 0.42C, 0.78Mn, 1.79Ni, 0.80Cr, 0.33Mo olan ve ostenitleme sıcaklığı 845°C olan çeliğin izotermal dönüşüm diyagramı [20]



Şekil 4.27. Kompozisyonu; 0.41C, 0.87Mn, 0.28Si, 1.83Ni, 0.72Cr, 0.20Mo olan ve 845°C'de ostenitlenmiş ve A_{c3} sıcaklığı 755°C, A_{c1} sıcaklığı 720°C olan çeliğin izotermal dönüşüm diyagramı [20]

Şekil 4.28’de östenitlenmiş 4340 çeliğinin sertleşebilirlik eğrisi görülmektedir. Eğriden de anlaşılacağı üzere derinlik artışı ile sertlik değeri çok düşmemektedir. Bu özellikte 4340 çeliklerinin en ayırt edici özelliğidir.

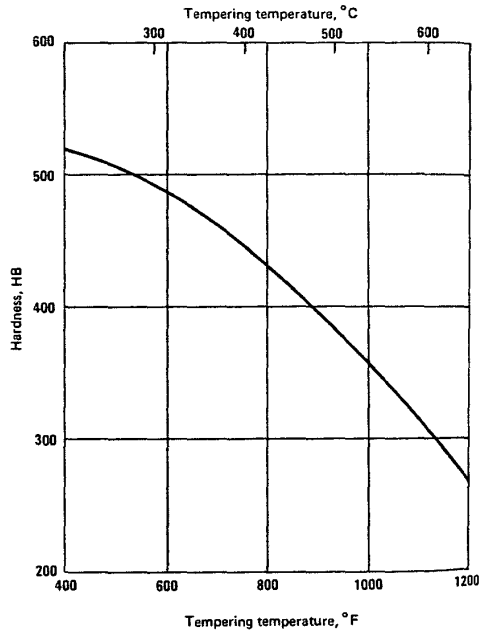


Şekil4.28. Kompozisyonu; 0.42C, 0.83Mn, 1.50Si, 1.85Ni, 0.90Cr, 0.41Mo olan ve 845°C’de östenitlenmiş çeliğin sertleşebilirlik eğrisi [20]

Tablo 4.5. 4340 çeliğinden hazırlanmış üç farklı kesitteki (mm) deney parçalarına üç farklı östenitleme sıcaklığı ve beş farklı temperleme sıcaklığı uygulanmış (temperleme süresi 2 saat) ve şu sertlik değerleri (HRC) alınmıştır (yağda su verilmiştir) [20]

Ostenitleme Sıcaklığı °C	Kesit mm	205°C	315°C	425°C	540°C	650°C
815	12,7	53,5	50,0	44,5	39,0	29,5
	31,8	53,5	50,0	45,5	40,0	28,5
	54,0	51,0	49,0	44,0	37,5	28,0
845	12,7	53,5	49,5	44,0	39,0	29,0
	31,8	53,0	50,0	45,0	39,5	27,0
	54,0	52,0	48,0	43,0	38,0	27,5
870	12,7	53,5	50,0	45,0	40,0	29,5
	31,8	53,5	50,0	45,5	39,5	29,0
	54,0	52,5	48,5	44,0	39,0	28,0

Temperleme sıcaklığı arttıkça çeliğin sertliği değişmektedir. Yukarıdaki Tablo 4.5’den görüleceği üzere farklı temperleme sıcaklıkları ile sertlik değeri düşmektedir. Östenitlenmiş çeliklerin hangi sıcaklıkta temperleneceğine dair grafikler mevcuttur. Şekil 4.29’da AISI 4340 çeliğinin temperleme sıcaklığı ile sertlik değeri arasındaki değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.29. Temperleme sıcaklığı ile sertlik değişimi [20]

KİMYASAL ANALİZ (Ağırlık %)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
	0.30	0.15	0.40	—	—	1.40	0.15	1.40	—
	0.38	0.40	0.70	0.035	0.035	1.70	0.30	1.70	—

ÇEŞİTLİ STANDARDLARDA KARŞILIKLARI	SAE/AISI	BS (En)	AFNOR	UNI
	4340	817 M 40 (110)	35 NCD 6	35 Ni Cr Mo 6 KB

TESLİM DURUMUNA GÖRE SERTLİK DEĞERLERİ, BSD30	Yumuşak Tavlama (G)	İşlenebilirliği Artırmak için Tavlama (B)
	en fazla 235	en fazla 241

ISLAH EDİLMİŞ DURUMDA MEKANİK ÖZELLİKLER	Kesit Çap (mm)	Akma Sınırı (0.2 sınırı) kgl/mm ² en az	Çekme Dayanımı kgl/mm ²	Kopma Uzaması (L ₀ =5d ₀)% en az	Kapma Kesit Daralması % en az	Darbe Dayanımı kgl/cm ² en az
	≤ 16	100	120 - 140	9	40	6
	> 16 - 40	90	110 - 130	10	45	7
	> 40 - 100	80	100 - 120	11	50	7
	> 100 - 160	70	90 - 110	12	55	7
	> 160 - 250	60	80 - 95	13	55	7

İŞLEM SICAKLIKLARI °C	Sıcak İşlem	Yumuşatma	Normalize	Su verme		Meneviş
				Su	Yağ	
	1050 - 850	650 - 700	850 - 880	—	830 - 860	540 - 680

SERTLEŞEBİLİRLİK BANDI	SERTLİK (HRC)														
	Su verilen uçtan uzaklık (mm)														
	1.5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
en fazla	58	58	58	58	57	57	57	56	56	56	56	55	55	55	55
en az	50	50	49	49	48	48	48	47	46	45	44	44	43	42	41

MENEVİŞ SICAKLIĞI SEÇİMİ

ÇEKME DAYANIMI ve AKMA NOKTASI (kg/mm²)
UZAMA ve KESİT DARALMASI (%)

MENEVİŞ SICAKLIĞI (SÜRE 2 SAAT)

SUREKLİ SOĞUMA EĞRİSİ

OSTENİTLEME SICAKLIĞI 830°C

SICAKLIK °C

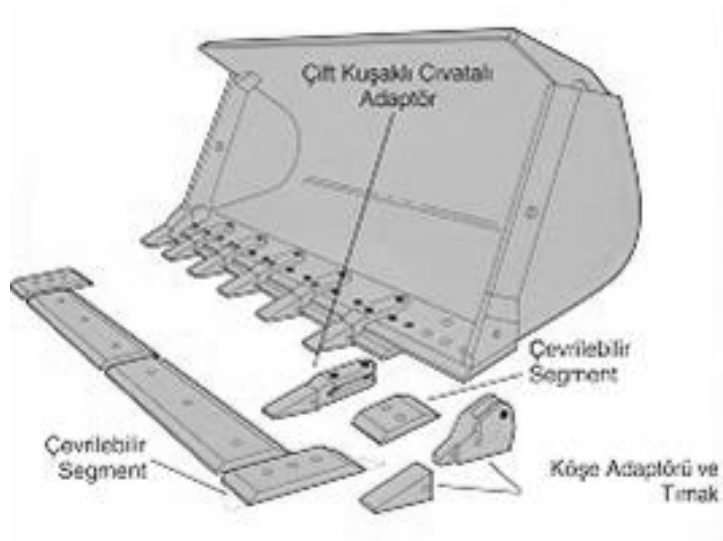
SUREKLİ SOĞUMA EĞRİSİ

Şekil 4.30. Asil çelik firmasının ürettiği 4340 çeliği [4]

4340 çeliği günümüzde bir çok alanda özellikle yüksek sertleşebilirlik istenen uygulamalarda sıklıkla rastlayabildiğimiz çeliklerdir. Bu nedenle bir çok firma bu tür çelikleri üretmektedir. Örneğin Asil Çelik firmasının üretmiş olduğu 4340 çeliğinin tanıtım föyü Şekil 4.30 'da görülmektedir. Uçaklarda, iniş takımları üzerindeki iniş dişlileri, bir çok makine yedek parçasında, aşınmaya ve darbeye maruz kalan kaya delici, kazıcı aletlerin parçalarında, otomotiv endüstrisinde bağlama çubukları ve dişlilerde kullanılmaktadır [9]. Şekil 4.31-35' de iş makinelerinde kullanılan turnaklar görülmektedir.



Şekil 4.31. Kullanılmakta olan iş makinesi turnak görüntüsü [21]



Şekil 4.32. İş makinesi kovası ve turnakların bağlanış şekli [21]



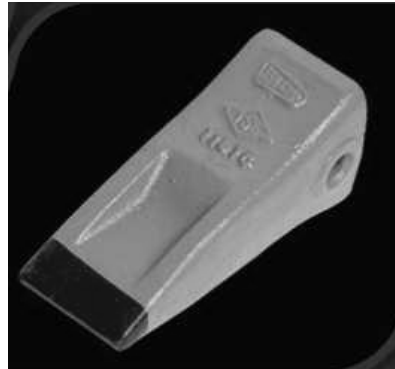
Şekil 4.33. Bekoloder tipi iş makinelerine takılan uç tipleri [22]



Şekil 4.34. Kova ve tırnaklar yerine monte edilmiş [22]



(a)



(b)

Şekil 4.35. İş makinesi tırnakları (a) ara bağlantı olmadan kovaya bağlanır (b) adaptör kullanılarak kovaya bağlanır [22]

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Giriş

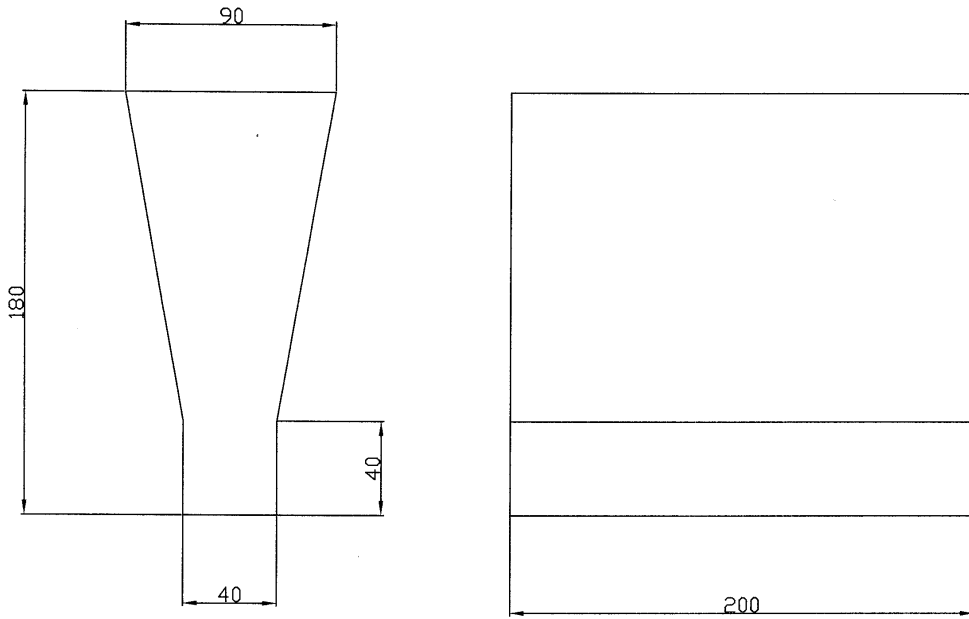
Bu çalışmalarda, döküm yolu ile elde edilmiş SAE/AISI 4340 çeliğinin farklı ısıl işlem koşullarında mekanik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Aynı kimyasal bileşime sahip numunelere, farklı ısıl işlem sıcaklıkları uygulanmıştır. Parçalara çekme, çentik darbe, sertlik, aşınma deneyleri uygulanmış ve ayrıca mikroyapılar incelenmiştir.

5.2. Deneylede Kullanılan Çelikler

Deneylede kullanılan numuneler, EGES marka indüksiyon ocağında Şekil 5.1'de görülen şekilde ve Tablo 5.1'de verilen tablodaki kimyasal bileşimde(% ağırlıkça) dökülmüştür.

Tablo 5.1. Deneylede kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
0.373	0.248	0.114	0.995	1.510	0.188



Şekil 5.1. Numune dökümler

5.3. Isıl İşlem Deneyleri

Çekme deneyi ve çentik darbe deneyinde kullanılacak numuneler iki gruba ayrılmış ve çekme deneyinde kullanılacak numuneler daire kesitli, çentik darbe deneyinde kullanılacak malzemeler kare kesitli (bu kesitler daha sonra her deney adının altında şekille tekrar anlatılacaktır) olarak işlenmiş ve numaralandırılmıştır. Tablo 5.2' de çentik darbe deneyi numunelerinin Tablo 5.3'de ise çekme deneyi numunelerinin ısıl işlem durumları gösterilmiştir. Döküm sonrası ilk ısıl işlemler, Tepsan firmasında bilgisayar kontrollü, elektrik ile ısıtma yapan özel bir tav fırınında yapılmıştır. Daha sonra Tam Çelik firmasında, sertleştirme işlemi Codere marka gaz atmosfer fırınında, 200 ve 450°C' deki meneviş işlemleri kuru hava fırınında ve 550°C' deki meneviş işlemleri de tuz banyosun yapılmıştır. Şekil 5.2' de Codere gaz atmosfer fırını ve Şekil 5.3' de ise tuz banyoları görülmektedir.



Şekil 5.2. Codere gaz atmosfer fırını

Tablo 5.2. Çentik darbe deneyi numuneleri ısıtım işlem durumları

Numune	Isıtım İşlem Durumu Açıklaması
1	870°C' de 2 saat bekleme ve havada soğutma
2	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma
3	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş
4	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 450°C' de ½ saat meneviş
5	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 450°C' de 1 saat meneviş
6	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 450°C' de 1½ saat meneviş
7	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 550°C' de ½ saat meneviş
8	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 550°C' de 1 saat meneviş
9	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 550°C' de 1 ½ saat meneviş



Şekil 5.3. Tuz banyoları

Tablo 5.3. Çekme deneyi numuneleri ısıl işlem durumları

Numune No	Isıl İşlem Durumu Açıklaması
1	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma
2	870°C' de 2 saat bekleme ve havada soğutma
3	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş
4	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 450°C' de ½ saat meneviş
5	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 450°C' de 1 saat meneviş
6	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 450°C' de 1½ saat meneviş
7	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 550°C' de ½ saat meneviş
8	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 550°C' de 1 saat meneviş
9	870°C' de 2 saat bekleme ve fırında soğutma, 850°C' de su verme ve 200°C' de ½ saat meneviş 550°C' de 1½ saat meneviş

5.4. Metalografik İncelemeler

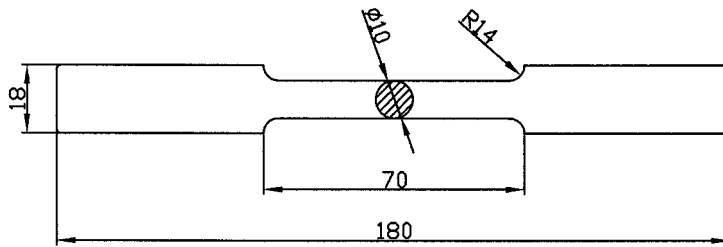
Metalografik incelemeler için numuneler sırası ile 120, 180, 220, 360, 600, 1000 grid' lik zımpara kademelerinden geçirilmiştir. Daha sonra elma pasta kullanılarak parlatma işlemi yapılmış ve %4' lük nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra Olympus GX 51 marka optik mikroskop yardımı ile numuneler incelenmiştir.

5.5. Sertlik Ölçümleri

Bu çalışmada, sertlik deneylerinde Wilson marka dijital Rockwell sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çentik darbe deneylerinde kullanılan numunelerin işlenmiş düz yüzeyleri olması sebebi ile ölçümlerin daha rahat yapılabilmesi için sertlik değerleri çentik darbe deneyi numuneleri üzerinden alınmıştır.

5.6. Çekme Deneyleri

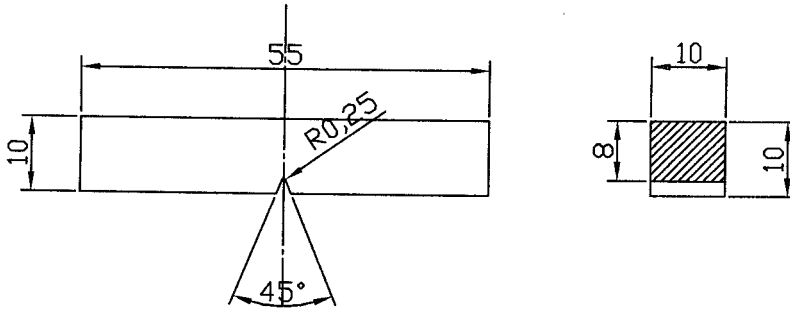
Metal malzemelerde, mukavemet değerlerinin belirlenebilmesi için yapılan en basit deney olan çekme deneyi sonucunda ayrıca ilk ve son boya göre % uzama değerleri de hesaplanır. Çekme deneyleri, Sakarya Üniversitesi bünyesindeki, malzeme laboratuvarında Dartec marka cihazda yapılmıştır. Çekme deneyinde kullanılan numunelerin teknik resmi Şekil 5.4' de verilmiştir.



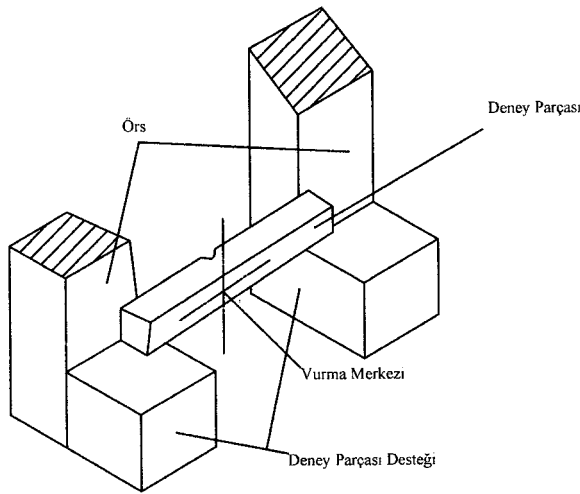
Şekil5.4. Çekme deneyi numunesi[23]

5.7. Çentik Darbe Deneyleri

Ortasına bir çentik yapılmış ve her iki ucundan desteklenmiş bir deney parçasının, bir sarkaç darbesi ile kırılması sonucu, absorplanan enerjinin ölçülmesi olayına çentik darbe yada charpy vurma deneyi olarak adlandırılır. Çentik darbe deneyi Sakarya Üniversitesi bünyesinde bulunan deney cihazı ile yapılmıştır. Çentik darbe deneyi TS EN 10045-1'e göre yapılır. Deneyde kullanılacak numunelerin ölçüleri Şekil 5.5' de, numunelerin deney düzeneğine yerleştirilmesi ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Her ısıl işlem koşulu için 3 adet deney numunesi hazırlanmış ve deney sonucu olarak bu üç numunenin ortalaması alınacaktır.



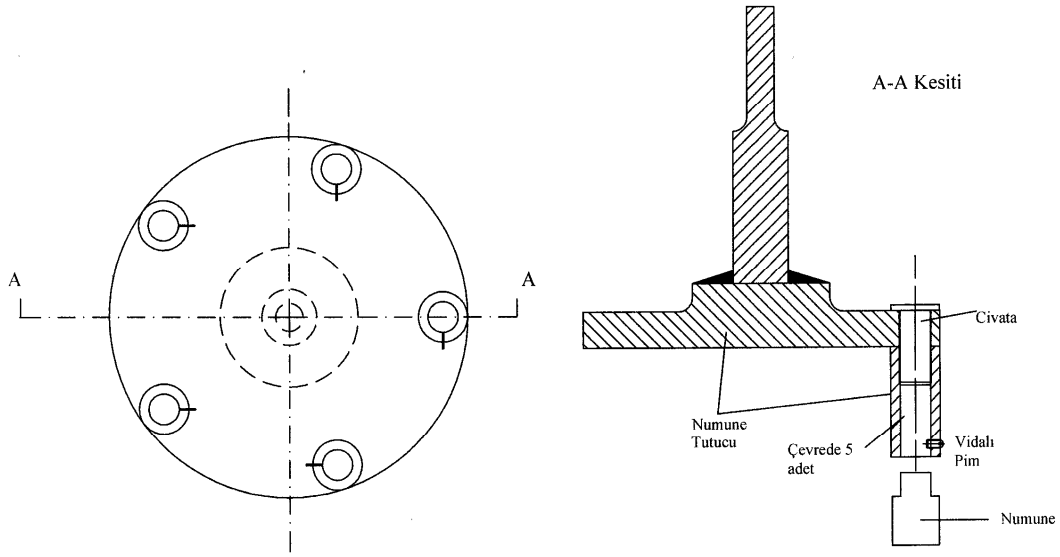
Şekil 5.5. Çentik darbe deneyi numunesi [24]



Şekil 5.6. Deney düzeneğine numune yerleşimi[24]

5.8. Aşınma DeneYleri

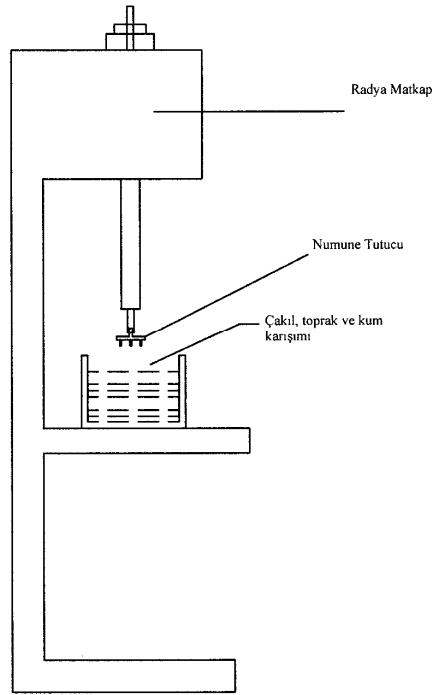
Aşınma deneyleri, hazırlanan bir aparat üzerine numunelerin bağlanması ve bu aparatın kendi ekseninde dönen matkaba bağlanması ile elde edilen deney düzeneğinin, çakıl, kum ve toprak karışımı içerisinde çalışması ile yapılmaktadır. Hazırlanan numune tutucu Şekil 5.7’ de, deney düzeneği ise Şekil 5.8’ de görülmektedir. Matkabın devir sayısı 120 dev/dak ve her numune 15 saat aşınmaya maruz bırakılmıştır. Hazırlanan karışımın içeriği Tablo 5.4’te verilmiştir. Aşınma deneyine başlamadan önce tüm numuneler, Gec Avery marka hassas terazide virgülden sonra dört hassasiyette tartılmıştır. Deney bitiminde tekrar tartılarak yüzde kayıp bulunacaktır.



Şekil 5.7. Aşınma deneyi için hazırlanan numune tutucu

Tablo 5.4. Aşındırıcı ortam içeriği

Aşındırıcı	Çakıl	Toprak	Silis kumu
Ağırlık(kg)	5	2	2.5

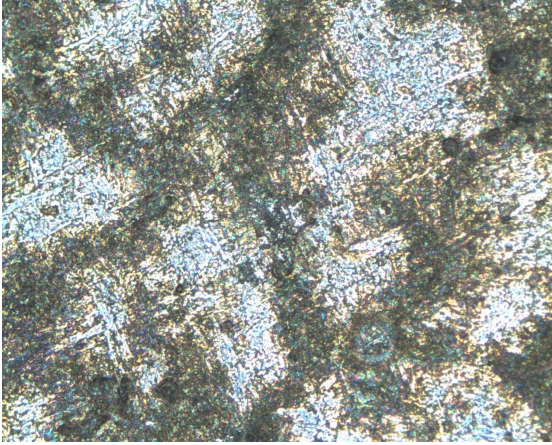


Şekil 5.8. Aşınma deneyi düzeneği

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

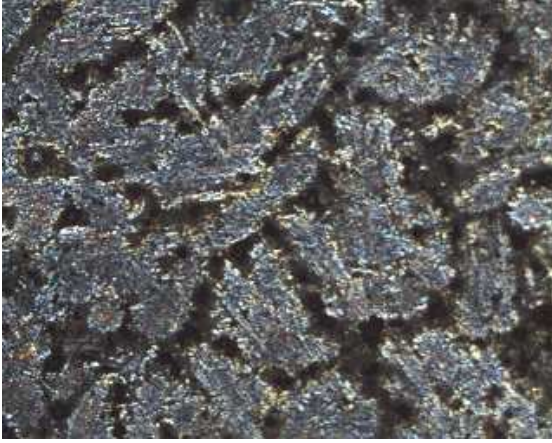
6.1. Metalografik İncelemeler

Deneylerde kullanılan ısıtılmış ve ısıtılmamış numunelerin optik mikroskopta çekilen mikro yapıları Şekil 6.1 – 6.7 'de görülmektedir.

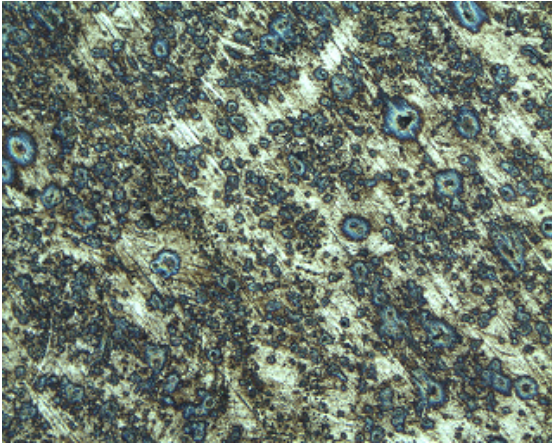


Şekil 6.1. Döküm sonrası tavllanmış yapı (fırında soğutulmuş) X100 büyütme

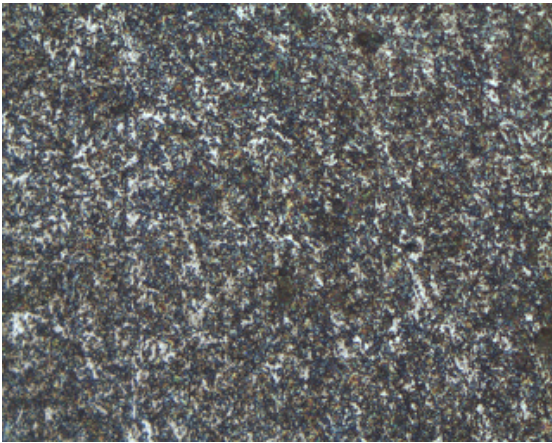
Deneylerde kullanılmış olduğumuz numuneler döküm yöntemi ile elde edilmiş numunelerdir. Bu sebeple mikroyapılar içerisinde görünen siyah oluşumlar, dökümden kaynaklanan döküm kusurlarıdır.



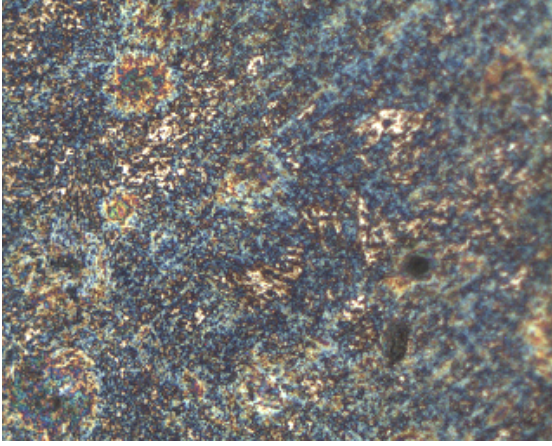
Şekil 6.2. Döküm sonrası normalize yapı (havada soğutulmuş) X50 büyütme



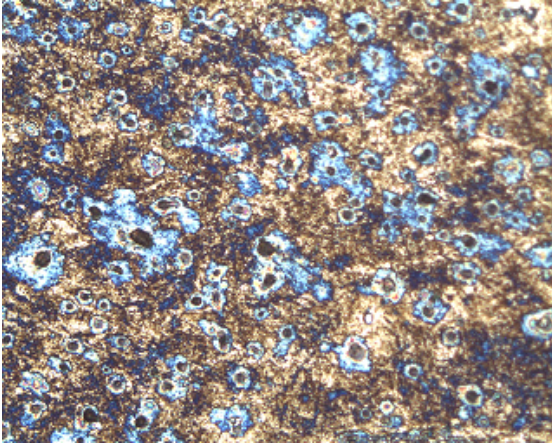
Şekil 6.3. 200°C'de meneviş martenzit (düşük sıcaklık menevişi) X100 büyütme



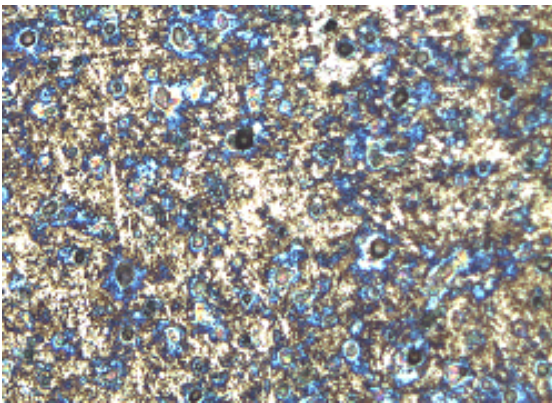
Şekil 6.4. 450°C'de ½ saat temperlenmiş martenzit X500 büyütme



Şekil 6.5. 450°C'de 1 saat temperlenmiş martenzit X500 büyütme



Şekil 6.6. 550°C'de ½ saat temperlenmiş martenzit X200 büyütme



Şekil 6.7. 550°C'de 1 ½ saat temperlenmiş martenzit X200 büyütme

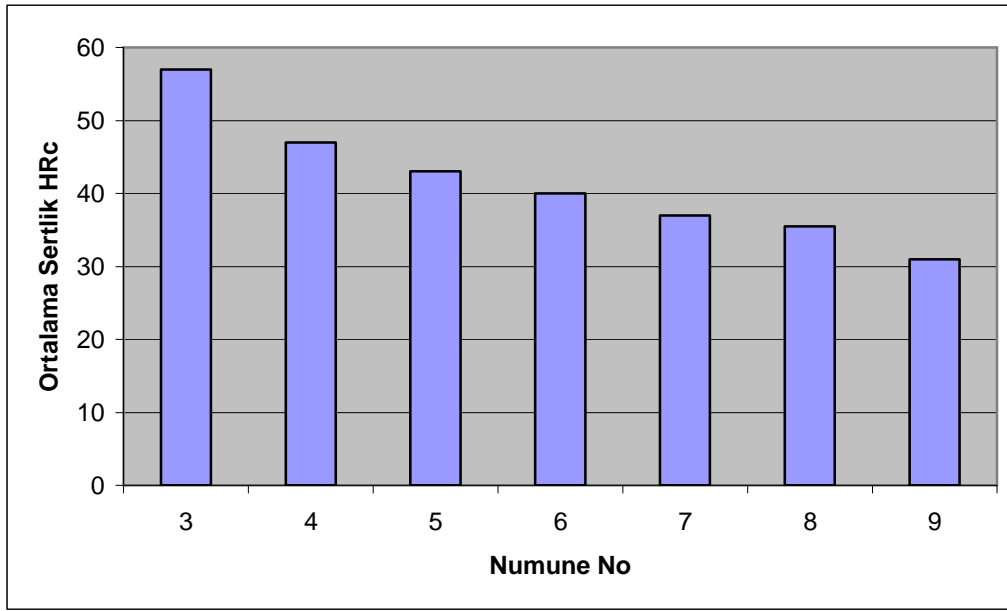
6.2. Sertlik Ölçümleri

Tablo 6.1’ de, numunelerin Rockwell sertlik değerleri verilmiştir. 1 numaralı numuneye, döküm sonrası sadece tavlama, 2 numaralı numuneye de sadece normalize yapıldığı için herhangi bir sertlik almamıştır. Yapmış olduğumuz sertlik deneyinde HR_c olarak ölçüm yapmış olduğumuz için herhangi bir değer okumamıştır. Bu iki numunenin sertliği yaklaşık olarak 20 HR_c ‘nin altında olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.1. Numunelerin sertlik değerleri

Numune No	Ölçüm I (HR _c)	Ölçüm II (HR _c)	Ortalama
1	-----	-----	-----
2	-----	-----	-----
3	57.7	56	57
4	46.1	47.8	47
5	42.7	43.4	43
6	40.1	40.2	40
7	37.4	37.1	37
8	36.2	34.7	35.5
9	29.5	31.5	31

Tablo 6.1’ de görüldüğü üzere en yüksek sertlik değerine düşük sıcaklık menevişi yapılan 5 numaralı numune ulaşmıştır. Artan sıcaklık ve meneviş süresi ile sertlik değeri düşmektedir. Martenzit yapının temperlenmesi ile sertlik değeri değişim göstermektedir. Şekil 6.8’de ise merdiven basamağı gibi azalarak değişen grafikten de bu açıkça görülmektedir.



Şekil 6.8. Isıl işlem şartlarının meydana getirdiği sertlik değişim grafiği

6.3. Çekme Deneyi Sonuçları

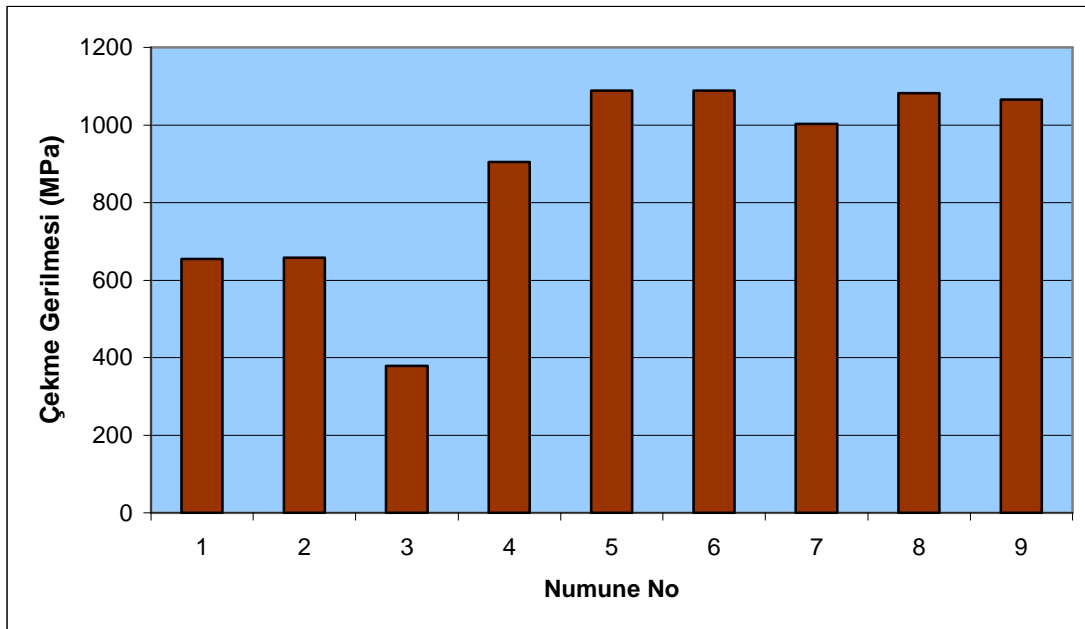
Çekme deneyleri sonunda akma, çekme ve kopma mukavemeti değerleri ile % uzama değerlerini gösteren veriler, Tablo 6.2 'de verilmiştir. Tabloya bakıldığında 1 ve 2 numaralı numunelerin boyun vererek kopma gösterdiği açıkça görülmektedir. Dökümden sonra su verilmemiş olmaları parçaların çekme esnasında kopmadan önce boyun vermesinin nedeni olarak söylenebilir. Diğer numunelere su verilmesi nedeni ile kopmadan önce herhangi bir boyun verme göstermemiş, bu nedenle çekme ve kopma mukavemet değerleri birbiri ile aynı çıkmıştır.

Tablo 6.2. Çekme deneyi sonuçları

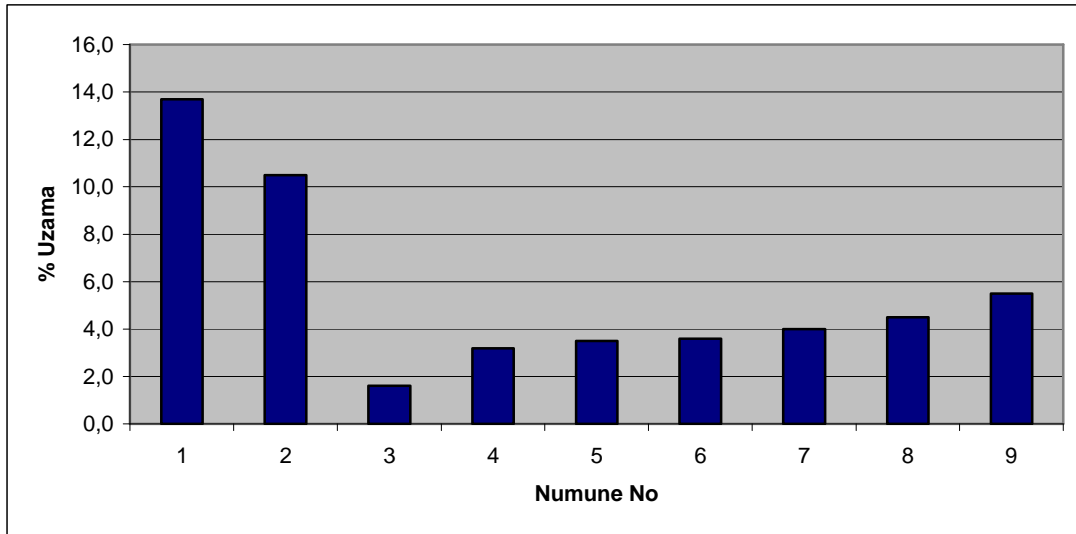
Numune No	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	% Uzama
1	403	655	616	13.7
2	405	658	629	10.5
3	379	379	379	1.6
4	553	905	905	3.2
5	537	1089	1089	3.5

6	726	1089	1089	3.6
7	703	1003	1003	4
8	1018	1082	1078	4.5
9	995	1066	1066	5.5

Yüzde uzama oranlarına bakıldığında herhangi bir sertleştirme yapılmadığı için 1 ve 2 numaralı numuneler uzama göstermiş diğer numunelerde uzama değerleri daha düşük değerlerde kalmıştır. Özellikle en düşük değer düşük sıcaklıkta meneviş olan martenzit yapı nedeni ile 3 numaralı numunede gözlenmiştir. Daha sonra temperlenmiş martenzit yapılar sıcaklık ve zamana göre farklı uzama değerleri göstermişlerdir. Su verilen numuneler içinde en yüksek uzama değerine yüksek sıcaklıkta meneviş yapılan numune ulaşmıştır. Yüksek sıcaklıkta yapılan menevişleme işleminde ise uzama değeri zaman arttıkça artmıştır. Şekil 6.9' da görüldüğü üzere su verilen numunelerin çekme gerilmeleri birbirlerine yakın değerler göstermiştir.



Şekil 6.9. Farklı ısı işlem uygulanan numunelerin çekme gerilmeleri değişim grafiği



Şekil 6.10. Çekme deneyi sonucunda numunelerin göstermiş olduğu % uzama grafiği

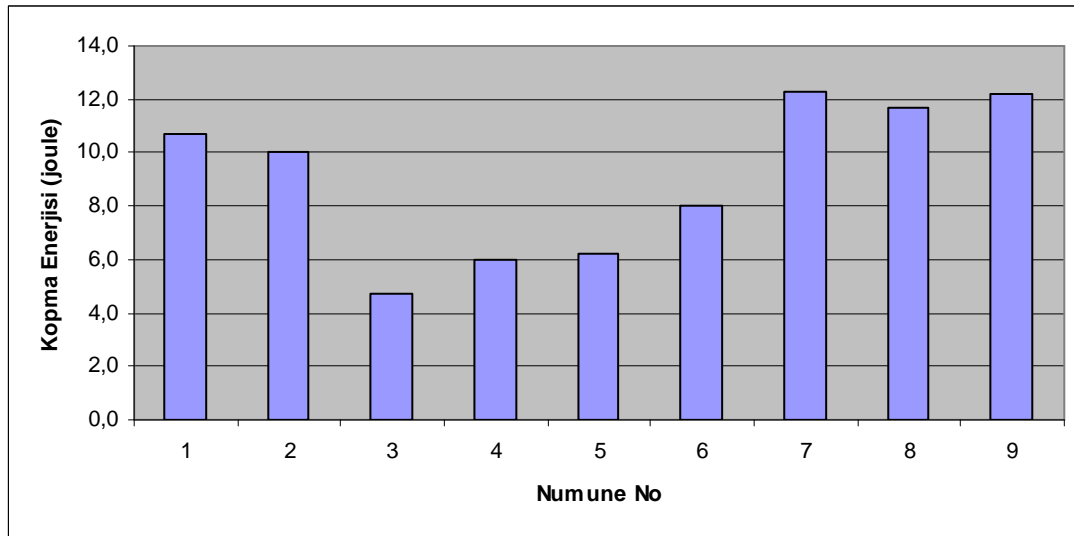
Su verilen numunelerin çekme gerilmeleri birbirine yakın değerler çıkarken Şekil 6.10'daki grafikte yüzde uzamaların farklı olduğu görülmektedir.

6.4. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Çentik darbe deneyi sonucunda her ısıl işlem koşulu için ortaya çıkan ortalama kopma enerjisi Tablo 6.3' de gösterilmiştir. Döküm sonrası normalize edilmiş numune ile gene döküm sonrası tavlanmış yapıların kopma enerjileri birbirine yakın değerler göstermektedir. Düşük sıcaklıkta menevişlenen su verilmiş numune en gevrek yapıya sahip numune olarak görülürken, su verilen numuneler içinde en tok görünen numuneler yüksek sıcaklıkta meneviş olan temperlenmiş martenzit yapısına sahip numuneler olarak görülmektedir. Menevişleme süresinin artması yada azalması durumunda kopma enerjisi değerinde fazla değişim gözlenmemiştir.

Tablo 6.3. Çentik darbe deneyi sonucu ortaya çıkan kopma enerjisi

Numune No	Ortalama Kopma Enerjisi (joule)
1	10.7
2	10
3	4.7
4	6
5	6.2
6	8
7	12.3
8	11.7
9	12.2



Şekil 6.11. Çentik darbe deneyi sonuçlarının grafiksel gösterimi

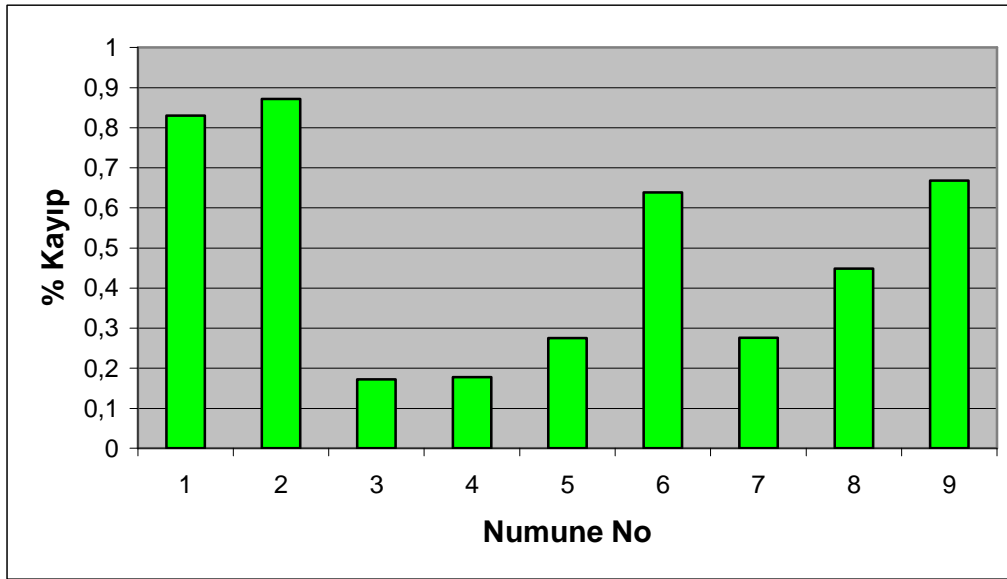
6.5. Aşınma Deneyi Sonuçları

Malzemenin sertliği arttıkça gevrekliğinin de artması gerekir. Yapmış olduğumuz aşınma deneyinde numuneler üzerine kırılma etkisi yapacak yükler meydana gelmemektedir. Tüm numuneler kırılma göstermeden aşınmaktadır. Buna bağlı olarak numuneler içinde en sert olan düşük sıcaklıkta meneviş yapılmış numune en gevrek olmasına karşın aşınma direnci en yüksek olan numune olarak Tablo 6.4' de görülmektedir. Ayrıca tablodan bakıldığında en fazla kayıp döküm sonrası normalizasyon yapılmış numune ile döküm sonrası tavlama yapılmış numunede görülmektedir.

Tablo 6.4. Aşınma deneyi sonucunda numunelerdeki % kayıp

Numune No	İlk Tartım	Son Tartım	% Kayıp
1	42.8184	42.4713	0.830
2	42.0802	41.7132	0.872
3	42.0648	41.9923	0.172
4	41.8537	41.7790	0.178
5	42.0839	41.9679	0.275
6	42.1082	41.8392	0.638
7	41.8573	41.7414	0.276
8	42.2704	42.0802	0.449
9	41.8231	41.5434	0.668

Su verilmiş ve temperlenmiş numunelerde ise aynı sıcaklıkta ama farklı bekleme sürelerinde temperlenmiş numuneler içinde en fazla kayıp daha fazla bekletilen numunede olurken, aynı bekleme sürelerinde fakat farklı sıcaklıklarda temperlenmiş numuneler içinde en fazla kayıp yüksek sıcaklıkta temperlenen yapıda olduğu görülmektedir. Bu da Şekil 6.12' de açıkça görülüyor.



Şekil 6.12. Numunelerin aşınma deneyi sonucunda kayıp yüzdelerinin grafiksel gösterimi

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR

AISI 4340 kalite dökümler ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Döküm sonrası normalizasyon ve tavlama yapılan numunelerin çekme, akma ve kopma dayanımları su verildikten sonra temperlenen yapılara göre daha düşük değerlerdedir. Düşük sıcaklıkta temperlenen numune bünyesindeki iç gerilmeler, çekme deneyindeki tüm sonuçların çok düşük değerler göstermesine neden olmuştur ve yapı gevrek kalmıştır. Su verildikten sonra menevişlenen yapı daha yüksek mukavemet değerleri göstermiştir. Temperleme sıcaklığı ve süresi, mukavemet değerlerinin değişiminde çok fazla etkili olmamıştır.

2. % Uzama değerlerine bakıldığı zaman, ısı işlemsiz numune dökümler sertleştirme olmaması nedeni ile daha fazla uzama gösterirken, su verilmiş numuneler içinde düşük sıcaklıkta temperlenen en düşük uzama değerine sahiptir. Su verilen ve 450°C ve 550°C 'de temperlenen numunelerde ise yüzde uzama değeri artan sıcaklık ve menevişleme süresi ile artmaktadır. Su verilme esnasında gevrekleşen yapı yüksek sıcaklık menevişi ile daha tok bir hale gelmektedir.

3. Döküm sonrası normalizasyon ve tavlama yapılan numunelerde herhangi bir sertlik yokken su verilen numunelerde sertlik değerleri artmıştır. Bu numuneler içinde sertlik değeri menevişleme sıcaklığı ve süresi ile orantılıdır. Meneviş sıcaklığı ve süresi arttıkça sertlik değeri düşmektedir. Buna bağlı olarak aynı sıcaklıkta menevişlenen numuneler içinde bekleme süresi daha az olan numune yüksek sertlik değerine ulaşmıştır. Bekleme süresi aynı olan numunelerde meneviş sıcaklığı arttıkça sertlik değeri düşmektedir.

4. Darbeye maruz kalan numune dökümler içinde, döküm sonrası normalizasyon ve tavlama yapılan numuneler tok bir yapı gibi dururken, su verilmiş ve düşük sıcaklıkta meneviş olan yapı en gevrek yapı durumundadır. Su verilen ve menevişlenen numunelere bakılırsa menevişleme sıcaklığı ve süresi ile tokluk değerleri artmaktadır. 450°C' de yapılan meneviş işleminde süre artışı ile tokluk artarken, 550°C' deki meneviş işleminde süre artışı ile tokluk değeri çok değişmemektedir.

5. Aşınmaya maruz kalan döküm sonrasında sadece tavlama ve normalizasyon yapılan numuneler ağırlık kaybına en fazla uğrayan numuneler olduğu açıkça görülmektedir. Su verildikten sonra düşük sıcaklıkta menevişlenen yapı sertliğinin yüksek olması nedeni ile en az kayba uğramıştır. Su verme sonrası menevişlenen yapılara bakıldığında, artan menevişleme süresi ve sıcaklığı ile kayıp oranları artmaktadır.

Tüm bu sonuçlara göre iş makinelerinde kullanılan AISI 4340 çeliğinin kullanım koşulları göze alınarak bir değerlendirme yapılacak olursa; numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında en fazla sertlik kazanan numune temperlenmemiş martenzit yapıya sahip numune ve aşınma değeri de en az olan aynı numunedir. Fakat bu koşullar altında ısı işlem yapılırsa iş makinesinin çalışma koşulları düşünüldüğünde üzerine gelen yüklerde belki aşınma göstermez ama ani yük değişimlerinde kırılmaya maruz kacaktır. Kırılacağı sonucuna ise çekme ve çentik darbe deneylerindeki düşük değerleri göz önüne alarak rahatlıkla söyleyebiliriz. Buradan su sonuç çıkabilir; sertlik ve aşınma direncinin yanı sıra tokluk değerinin de istenen sonuçları vermiş olması gerekir. Bu da martenzit yapının temperlenmesi ile olabilmektedir. Deney sonuçlarına bakılırsa temperlenmiş martenzit yapılar daha sert yada daha az aşınma göstermişlerdir. Fakat buna karşın daha tok bir yapıdadırlar. İş makinesi tırnaklarının kullanıldığı yerler göz önüne alınarak, yapılan deneysel çalışmaların tümünü bir kombinasyon içine sokarak bir ısı işlem şartı belirlememiz gerekmektedir. Sadece bir yada iki deneyi göz önüne alırsak yanıltıcı olabilir. Bu sebeple yüksek sertlik ve aynı zamanda yüksek mukavemet ve tokluk kazandıran ısı işlem koşulu 550°C'de yapılan temperleme ile edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ASM Metals Handbook, Casting, 9 th Edition, Vol. 15, Ohio, 1988.
- [2] ANIK, S., DİKİCİOĞLU, A., VURAL, M., İmal Usulleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [3] KRAUSS, GEORGE., Steels: Heat Treatment and Processing Principle, ASM İnternational, Ohio, 1990.
- [4] İslah Çelikleri , Asil Çelik Teknik Yayınları, İstanbul, 1987.
- [5] GÜVENTÜRK, F., Çelik El Kitabı, Güvençelik Yayınları, İzmir, 1990.
- [6] TEKİN, A., Çeliklerin Metalurjik Dizaynı pp.40, İstanbul, 1981.
- [7] DİKEÇ, F., Demir Çelik Ders Notları.
- [8] TOPBAŞ, M. A., Endüstri Malzemeleri Cilt 2, Prestij Yayınevi, 1993.
- [9] HOYT, S. L., ASME Handbook Metals Properties, 1 st Edition, Mc Graw Hill Book Company, pp.231, 1954.
- [10] ŞEŞEN, M. K., Özel ve Süper Alaşımli Çelikler, Demir Çelik Dersi Ödevi, İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, 2001.
- [11] GÜCER, D., Fiziksel Metalurjinin Esasları, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, pp.392-404, İstanbul, 1967.
- [12] HONEYCOMBE, R. W. K., Stell Microstructure and Properties, 1 st Publish, Spottiswoode Ballantyne Ltd, pp.99-130, 1980.
- [13] ASM Metals Handbook, Heat Treatment, 9 th Edition Vol. 4, pp31-77, Ohio, 1988.
- [14] TEKİN, A., Çelik ve Isıl İşlemi, İstanbul, 1987.
- [15] LESLIE, W. C., The Physical Metallurgy of Steels, Mc Graw Hill Book Company, pp.236-239, New York, 1981.

- [16] HERTZBERG, R. W., Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, 2 nd Edition, John Wily and Sons Inc., pp.399-401, New York, 1983.
- [17] DIETER, G. E., Metalurgy and Mechanical Engineering Series, Mc Graw Hill Book Company Inc., pp.387, 1961.
- [18] KAYALI, E. S., ÇİMENOĞLU, H., Hasar Analizi Seminer Notları, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.
- [19] AVNER, S. H., Introduction to physical Metallurgy, Mc Graw-Hill book Comp., New York, 1974.
- [20] UNTERWEISER, P. M., BOYER, H.E., KUBBS, J.J., Heat Treater Guide, American Society for Metals, Ohio, 1982.
- [21] Caterpillar İş Makineleri Satış Kataloğu.
- [22] JCB İş Makineleri Satış Kataloğu.
- [23] TS 138 EN 10002-1, Nisan 2004
- [24] TS EN 100045-1, Nisan 1999

ÖZGEÇMİŞ

Serkan GÜLGEN, 05.07.1979'da İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara'da sırası ile önce Bahçelievler Alparslan İlkokulu, orta eğitimini Bahçelievler Deneme Lisesi ve lise eğitimini Yenimahalle Teknik Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Marmara Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü'nde ön lisans eğitimine başladı. 2000 yılında dikey geçiş ile Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitime başladı. 2003'de lisans eğitimini bitirdi ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2003 yılından bu yana Tepsan Makine Döküm ve Model Sanayi Ticaret adlı firmada İşletme Müdürü olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.