

**AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 ÇELİKLERİNİN
SERTLEŞME KABİLİYETLERİNİN JOMİNY
DENEYİ İLE ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELAHATTİN KÖSE

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Galip SAİD**

OCAK 2008

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 ÇELİKLERİNİN SERTLEŞME
KABİLİYETLERİNİN JOMİNY DENEYİ İLE ARAŞTIRILMASI

SELAHATTİN KÖSE

DANIŞMAN
PROF.DR. GALİP SAİD

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

OCAK - 2008

ONAY SAYFASI

..... Prof.Dr. Galip SAİD danışmanlığında
..... Selahattin KÖSE tarafından hazırlanan
AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 ÇELİKLERİNİN SERTLEŞME
KABİLİYETLERİNİN JOMİNY DENEYİ İLE ARAŞTIRILMASI
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
..... / /
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Prof.Dr. Galip SAİD	
Üye	Yard.Doç.Dr. M.Serhat BAŞPINAR	
Üye	Yard.Doç.Dr. Mehmet ÇOLAKOĞLU	
Üye		
Üye		

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... / / tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 ÇELİKLERİNİN SERTLEŞME KABİLİYETLERİNİN JOMİNY DENEYİ İLE ARAŞTIRILMASI

Çeliklerin sertleştirme sonrası kazanacağı sertlik, hiç şüphesiz ki satın almada tercih faktörlerinden en başta gelenidir. Sertleşme derinliği ve sertleşme kabiliyetinin bilinmesi çelik seçimini kolaylaştırır. Sertleşme kabiliyetini tespit etmek için kullanılan metodun ucuz, kolay ve pratik olması onun yaygın olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

Günümüzde en yaygın kullanılan sertleşebilirlik deneyi Jominy tarafından geliştirilen Jominy – Alından su verme deneyidir. Jominy deneyi sonucunda elde edilen Jominy eğrileri aynı sınıf çeliklerin farklı sertleşebilirliklerini karşılaştırmak için kullanılacak ilk akla gelen eğrilerdir. Jominy eğrileri aynı zamanda çeşitli ortamlarda soğutularak sertleştirilmiş farklı boyutlardaki çelik çubuklarda beklenen sertlik dağılımını tahmin etmede de kullanılabilir.

Bu çalışmada SAE/AISI 1040 – 2738 ve 304 çelikleri Jominy – Alından su verme yöntemi ile sertleştirilmiş, Jominy eğrileri çıkarılmış, mikro yapı resimleri çekilerek sertleştirildikten sonraki yapı değişiklikleri gözlenmiştir.

2007, 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jominy, Alından Su Verme, Sertleşebilirlik, Sertlik.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF THE HARDENING ABILITY OF AISI/SAE 1040-2738-304 STEELS WITH JOMINY TEST

The hardness of steels after hardening, is the crowning of the factors in buying, without a shadow of doubt. The knowledge of hardening depth and hardening ability enables the steel selection. Being cheap, easy and practical of the method that is used to determine the capability of hardening will maintain it to be used extensively.

At the present day the most common hardenability test is Jominy-giving water on one side test which is developed by Jominy. Jominy curves obtained after Jominy test are the first remembered curves to compare the hardness of the same class steels. Jominy curves can also be used to anticipate the hardenability dispersal of the different dimensioned steel bars which are hardened by cooling in different media.

In this study, SAE/AISI 1040-2738 and 304 steels are hardened by Jominy- giving water on one side method; Jominy curves are obtained; structure differences are observed after hardening by taking micro structure pictures.

2007, 86 page

Keywords: Jominy, giving water on one side, hardenability, hardness.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
3. ÇELİKLERDE ALAŞIM ELEMENTLERİ	4
3.1 Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementleri	4
3.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri	9
3.2.1 Östenit Oluşturucu Elementler	10
3.2.2 Ferrit Oluşturucu Elementler	11
3.2.3 Nitrür Oluşturucu Elementler	14
3.3 Alaşım Elementlerinin Genel Etkileri	14
3.3.1 Tane Büyümesine Etkileri	14
3.3.2 Ötektoid Noktasına Etkileri	15
3.3.3 Martenzitin Oluştuğu Sıcaklığa (Ms) Etkisi	15
3.3.4 İzotermal Dönüşüm Süresinde Perlit ve Beynit Dönüşümüne Etkileri ...	16
3.3.5 Östenit Dönüşüm Hızına Etkisi	16
3.3.6 Kaynak Edilebilme Kabiliyetine Etkisi	17
3.3.7 Sertleşme Derinliğine Etkisi	18
3.4 Alaşım Elementlerinin Sertleşebilmeye Etkilerinin Bağlı Olarak İncelenmesi .	19
3.4.1 Karbonun Sertleşebilmeye Etkisi	19
3.4.2 Manganın Sertleşebilmeye Etkisi	20
3.4.3 Silisyumun Sertleşebilmeye Etkisi	22
3.4.4 Fosforun Sertleşebilmeye Etkisi	23
3.4.5 Sülfürün Sertleşebilmeye Etkisi	23
3.4.6 Nikelin Sertleşebilmeye Etkisi	25

	Sayfa No
3.4.7 Kromun Sertleştirebilme Etkisi	26
3.4.8 Molibdenin Sertleştirebilme Etkisi	26
3.4.9 Vanadyumun Sertleştirebilme Etkisi	27
3.4.10 Titanyumun Sertleştirebilme Etkisi	28
3.4.11 Zirkonyumun Sertleştirebilme Etkisi	29
3.4.12 Bakırın Sertleştirebilme Etkisi	29
4. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI	31
4.1 Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması	31
4.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler	31
4.1.2 Orta Karbonlu Çelikler	31
4.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler	32
4.1.4 Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri	32
4.2 Çeliklerin Kimyasal Bileşimi Esas Alınarak Sınıflandırılması	32
4.2.1 Alaşımız Çelikler	32
4.2.2 Alaşımılı Çelikler	32
4.2.2.1 Alaşım Miktarına Göre	32
4.2.2.2 Esas Alaşım Elementine Göre	33
5. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER	36
5.1 Yumuşatma Tavı	37
5.2 Normalizasyon Tavı	40
5.3 Küreselleştirme Tavı	41
5.4 Gerilim Giderme Tavı ve Ara Tavı	42
5.5 Menevişleme (Temperleme)	43
5.6 Martemperleme	44
5.7 Östemperleme	44
5.8 Çeliklere Uygulanan Yüzey İşlemleri	44
5.8.1 Sementasyon	44
5.8.2 Nitrürasyon (Nitrürleme)	45
5.8.3 Alevle Yüzey Sertleştirme	45
5.8.4 İndüksiyonla Sertleştirme	47
6. GENEL ANLAMDA SERTLEŞEBİLİRLİK	48

7. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÇELİKLER VE UYGULAMA ALANLARI	53
7.1 SAE/AISI 1040 Çeliği	53
7.2 SAE/AISI 2738 Çeliği	54
7.3 SAE/AISI 304 Çeliği	55
8. JOMİNY SERTLEŞEBİLİRLİK DENEYİ VE UYGULANMASI	57
8.1 Jominy – Uç Su Verme Sertleşebilirlik Deneyi	57
8.2 Jominy Deneyi İçin Gerekli Olan Malzeme ve Teçhizatlar	59
8.3 Jominy Deneyinin Yapılışı	62
8.3.1 I. Aşama – Isıtma İşlemi	62
8.3.2 II. Aşama – Ani Soğutma İşlemi	63
8.3.3 III. Aşama – Ölçme İşlemleri	63
8.3.4 IV. Aşama – Jominy Eğrisinin Çizilmesi	64
9. DENEY SONUÇLARI	65
9.1 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 1040 Çeliğinin Durumu	65
9.2 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 2738 Çeliğinin Durumu	70
9.3 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 304 Çeliğinin Durumu	75
10. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	80
KAYNAKLAR	83
TEŞEKKÜR	85
ÖZGEÇMİŞ	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

A_{C1}	Demir – Sementit faz diyagramında alt kritik sıcaklık sınırı,
A_{C3}	Demir – Sementit faz diyagramında üst kritik sıcaklık sınırı,
M_s	Çeliklerde martensit dönüşümünün başlangıç sıcaklık sınırı,
M_f	Çeliklerde martensit dönüşümünün bitiş sıcaklık sınırı,
$^{\circ}C$	Santigrat derece,
$^{\circ}F$	Fahrenayt derece,
mm	Milimetre,
dk	Dakika,
s	Saniye,
\emptyset	Çap,

2. Kısaltmalar

HMK	Hacim merkezli küp kafes,
TTT	Zaman – Sıcaklık – Dönüşüm (Time Temperature Transformation),
CCT	Sürekli – Soğuma – Dönüşüm (Continuous Cooling Transformation),
A.K.Ü. T.E.F.	Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
TÜLOMSAŞ	Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii Anonim Şirketi,
M	Martensit,
B	Beynit,
F	Ferrit,
P	Perlit,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1	Saf Fe – C Alaşımlarının Sertleşebilirliği	20
Şekil 3.2	% 5 Mn ' lı Çelikte C Miktarının Sertleşebilirliğe Etkisi	21
Şekil 3.3	Çelikte Mn Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	22
Şekil 3.4	Çelikteki Si Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	23
Şekil 3.5	Çelikteki P Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	24
Şekil 3.6	Çelikteki S Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	24
Şekil 3.7	Çelikteki Ni Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	25
Şekil 3.8	Çelikteki Cr Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	26
Şekil 3.9	Çelikteki Mo Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	27
Şekil 3.10	Çelikteki V Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	28
Şekil 3.11	Çelikteki Ti Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	29
Şekil 3.12	Çelikteki Zr Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	30
Şekil 3.13	Çelikteki Si Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi	30
Şekil 5.1	Demir – Sementit (Fe – Fe ₃ C) Denge Diyagramı	38
Şekil 5.2	Alevle Sertleştirme İşleminin Prensip Şeması	46
Şekil 6.1	Martensit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişkinin şematik gösterimi	48
Şekil 6.2	Çeşitli çelikler için sertleşme derinliği	49
Şekil 6.3	AISI 01 çeliğinin yağda su verilmesinden sonra farklı boyutlardaki sertleşme derinliği	50
Şekil 6.4	95 mm. çapında yağda su verilmiş çelik bir çubuğun yüzeyi ve çekirdeği için soğuma eğrilerinin şematik gösterilişi	50
Şekil 8.1	Jominy (Uç su verme) sertleşebilirlik deneyinin şematik gösterimi	57
Şekil 8.2	Jominy sertleşebilirlik deneyinde meydana gelen yapılar	58
Şekil 8.3	Jominy deneyinde kullanılan numune parçaların ölçüleri	59
Şekil 8.4	Sertlik ölçümleri sonucunda çizilen diyagrama bir örnek	64
Şekil 9.1	1040 çeliğinde deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramı	66
Şekil 9.2	1040 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi ..	67
Şekil 9.3	1040 çeliğine ait CCT diyagramı	68
Şekil 9.4	2738 çeliğinde deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramı	71

Şekil 9.5	2738 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi ..	72
Şekil 9.6	2738 çeliğine ait CCT diyagramı	73
Şekil 9.7	304 çeliğinde deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramı	76
Şekil 9.8	304 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi	77
Şekil 9.9	304 çeliğine ait CCT diyagramı	78
Şekil 9.10	AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 çeliklerinin deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramları	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1	Az alaşımlı çeliklerin TSE ' ye göre gösteriminde kullanılan katsayılar	33
Çizelge 7.1	SAE/AISI 1040 (C35) İmalat (Yapı) çeliğinin spektro analiz sonuçları	53
Çizelge 7.2	SAE/AISI 2738 (40 CrMnNiMo 8-6-4) çeliğinin spektro analiz sonuçları	55
Çizelge 7.3	SAE/AISI 304 Paslanmaz çeliğinin spektro analiz sonuçları	56
Çizelge 9.1	1040 çeliği deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri	65
Çizelge 9.2	2738 çeliği deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri	70
Çizelge 9.3	304 çeliği deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri	75

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa No

Resim 6.1 Ferrit/Perlit ve Martenzit yapıların mikroskop altında görünümü	52
Resim 7.1 SAE/AISI 1040 çeliğinin ısıtım işlem öncesi sertliğı ve mikro yapısı	54
Resim 7.2 SAE/AISI 2738 çeliğinin ısıtım işlem öncesi sertliğı ve mikro yapısı	55
Resim 7.3 SAE/AISI 304 çeliğinin ısıtım işlem öncesi sertliğı ve mikro yapısı	56
Resim 8.1 Deneyde kullanılan numune parçalar	60
Resim 8.2 Deneyde kullanılan fırın	60
Resim 8.3 Deneyde kullanılan jominy test cihazı	61
Resim 8.4 Numune parçaların taşlandığı tezgah	61
Resim 8.5 Numune sertliklerinin ölçüldüğü cihaz	62
Resim 8.6 Numune parçaların soğutulması anı	63
Resim 9.1 Jominy deneyi sonrasında 1040 çeliğine ait mikro yapılar	69
Resim 9.2 Jominy deneyi sonrasında 2738 çeliğine ait mikro yapılar	74
Resim 9.3 Jominy deneyi sonrasında 304 çeliğine ait mikro yapılar	79

1. GİRİŞ

Sertleşebilen çeliklerde, tam kesit sertleştirildiğinde (tam sertleştirme), malzeme kesitinde ulaşılan sertliğin dağılımı ve yüzeyde ulaşılabilecek sertliğin bilinmesi istenir. Sertleştirme işlemi sonunda, martenzitik dönüşme ile yüzeyde elde edilebilecek sertlik, yapıda bulunan karbon miktarına bağlıdır. Yaklaşık % 0,8 C miktarına kadar, karbon miktarı arttıkça, sertleştirme işlemi sonunda ulaşılabilecek sertlik artar ve yaklaşık 67 HRC değerine ulaşır. Daha yüksek karbon miktarlarında, yüzeyde ulaşılabilecek sertlik değeri 67 HRC değerinde kalır yada biraz azalma gösterebilir.

Sertliğin yüzeyden itibaren, parçanın merkezine doğru dağılımı ise, çeliğin alaşım durumuna bağlıdır. Alaşimsız çeliklerde, ancak ince kesitlerde çekirdeğe kadar sertleşme sağlanabilir. Kalın kesitlerde ise, yüzeyde ince bir bölge sertleşir, derine doğru büyük sertlik azalması görülür. Alaşımli çeliklerde ise, yüzeyden itibaren sertleşebilen bölge daha büyüktür. Yüzeydeki sertliğe yakın değerlerin bulunabildiği sahanın derinliği, alaşım elementlerinin çeşidine ve miktarına bağlıdır.

Alaşım elementleri katılarak, yüzeyden itibaren sertleşebilen tabaka kalınlığının artırılması, alaşım elementlerinin kritik soğuma hızını düşürmesindedir. Alaşimsız çeliklerde martenzitik dönüşümü sağlayan kritik soğuma hızı oldukça yüksek değerde iken, alaşım elementi katılmakla daha düşük soğuma hızlarında martenzitik dönüşüm sağlanabilmektedir.

Jominy alın sertleştirme deneyi, çeliklerin analizine bağlı olarak, yüzeyde elde edilebilecek sertlik değerini ve ayrıca, soğuma hızının etkisini de belirleyerek, soğutma yüzeyinden itibaren sertlik dağılımını da tespit etmek için yapılır.

Laboratuvar şartlarında yapılması ve kullanılması hem daha kolay hem de daha ekonomik olması (Grossmann sertleştirme deneyi ile kıyaslandığında) açısından en yaygın kullanılan sertleştirme deneyidir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bir çeliğin özelliklerinin en başında hiç şüphesiz sertleşebilirlik özelliği gelir.

Isıl işlem uygulanan çeliklerde amaç belli bir bölge ve derinlikte istenilen sertliği elde etmektir. Bu nedenle ısıtma işlemi uygulanacak çeliklerin seçiminde en önemli etmen sertleşebilirlik özelliğidir (Tekin, 1992).

Sertleşebilirlik, bir çelikte su verme işlemi ile oluşturulan sertliğin yüzeyden içe doğru dağılım özelliğine verilen addır (Tekin, 1992).

Bilindiği üzere sertlik martenzit oluşumu ve oransal varlığı ile alakalı olduğundan sertleşebilirliğin ikinci bir tanımı olarak; “ çeliğin, belli koşullar altında soğutulduğunda ve belirlenmiş bir derinlikte, kısmen yada tamamen, ostenitten belli bir yüzdedeki martenzite dönüşme kapasitesi ” tanımı yapılabilir ki bu tanım sertliğin de altını çizen daha doğru bir tanım olur (Krauss, 1980).

Sertlik ve sertleşebilirlik malzemenin iki ayrı özelliğidir. Bir alaşımın sertliği onun fiziksel sertliğinin gerçek ölçüsüdür. Sertleşebilirliği tarif etmek için en basit yol olarak denebilir ki sertleşebilirlik malzemenin martenzite dönüştüğü en yavaş soğuma hızının bir ölçüsüdür (Richman, 1967).

Her çelik için, maksimum sertliği verecek belirli bir soğuma hızı vardır ki (kritik soğuma hızı) bu hızla en yüksek martenzitik sertliği elde edilir. Eğer soğutma hızı kesitin merkezinde yeter derecede yüksekse, maksimum sertliğe bütün kesit genişliği boyunca erişmek mümkündür. Daha aşağı sulama hızlarında ise merkez sertliğinde bir düşüş olacak ve çubuğun bütün kesit boyundaki sertlik dereceleri kademeli olacaktır (Craft ve Lamont, 1971).

Bir çeliğin sertleşmiş kabul edilmesi için ne sertlikte olması gerekir? Bu sorunun cevabı alaşımın sertleşebilirliğini saptanmada kullanılır. Ve bu soruya cevap sertleştirilmiş olan çelikte mikro yapının martenzit miktarı ile verilebilir. Eğer % 50 ' den daha az martenzit varsa, malzeme sertleşmemiş durumdadır denilir (Richman, 1967).

Detayları ile birlikte T.S. 1381' de verilen, orta dereceli sertleşebilen çelikler için sıkça kullanılan, Jominy ve Boegehold tarafından geliştirilmiş olan Jominy – Uç su verme deneyi; kolay olmasıyla birlikte ucuz olması ve aynı kararlılıkla tekrarlanabilmesi gibi avantajları sayesinde uluslararası düzeyde standartlaştırılmış bir deney olarak karşımıza çıkmakta ve bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır.

Craft ve Lamont (1971), jominy deneyinin orta dereceli sertleşebilme kabiliyetine sahip çelikler için en yararlı ve kullanışlı deney olduğunu ifade etmişler, çalışmalarıyla bunu göstermişlerdir.

Flinn ve Trojan (1986), deney çubuğunda geniş bir soğuma hızı varyasyonlarının meydana geldiğini ve bunun sonucunda çubuk boyunca sertliklerin ölçülerek östenitleme sıcaklığından farklı soğuma hızları ile elde edilen sertliklerin bulunduğunu; bu deney yönteminden elde edilecek en dikkat çekici bilginin, numune üzerinde verilen bir noktadaki sertliğin olmadığını, verilen bir soğuma hızından elde edilecek olan sertlik olduğunu; ve yine jominy çubuğu üzerindeki bir noktanın sertliğinin, aynı soğuma hızıyla yağ veya suda su verilmiş bir parçadaki noktanın sertliğine eşit olacağını ifade ederek çalışmalarında bunlara yer vermişlerdir.

3. ÇELİKLERDE ALAŞIM ELEMENTLERİ

3.1 Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementleri

Bilindiği üzere, çeliklere değişik özellikler kazandırmak veya var olan özelliğini geliştirmek amacıyla çeşitli alaşım elemanları (yeterli miktarlarda) katılmaktadır. İlave edilen bu alaşım elementleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

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 azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır. (www.yenimuhendis.com)

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 yayınmalarından kaynaklanır ve işleme sırasında kırılma meydana getirir. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

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. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Mangan (Mn):

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir. (www.yenimuhendis.com)

Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS bileşiği yapması ve demir kükürt (FeS) bileşiği oluşumunu engellemesidir. FeS sıcak kırılmalığa neden olur.

Silisyum (Si):

Silisyum oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar. (www.yenimuhendis.com)

Silisyum ucuz bir alaşım elementidir, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım kaybını önleyen bir elementtir.

Silisyum miktarı fazla olan filmaşınların çok küçük çaplara indirilmeleri zordur. Çünkü silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur. Filmaşınlerde bu yüzden düşük silisyum tercih edilir. (www.yenimuhendis.com)

Fosfor (P):

Fosfor çeliğin akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılmalık meydana getirir, talaşlı şekillendirme kabiliyetini artırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır.(www.yenimuhendis.com)

Kaliteli ıslah çeliklerinde fosfor maksimum % 0,045, asal ıslah çeliklerinde ise % 0,035 değerinde bulunur.

Kükürt (S):

Akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Fakat malzemenin yüzde uzamasına ve tokluğuna etkisi çok fazladır. Kükürt malzemenin tokluğunu ve sünekliliğini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca kaynaklanabilirliği kötü yönde etkiler.

Kükürt demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılmalığa sebep olur. Bu olumsuz etki kükürdün manganla birleşmesi sağlanarak önlenir. (www.yenimuhendis.com)

Kükürt çelik içinde çeliğin üretiminden kalan bir elementtir ve yukarıda belirtilen istenmeyen özellikleri nedeniyle yapıdan mümkün mertebe uzaklaştırılır. Sadece talaşlı şekillendirilmeye uygun otamat çeliklerinde kükürt miktarı yüksek tutulur.

Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum kükürt miktarı % 0,045, asal ıslah çeliklerinde ise % 0,035 civarındadır.

Krom (Cr):

Krom paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Krom, korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. (www.atacelik.com)

Krom karbon ile tane sınırlarında biriken $Cr_{23}C_6$ bileşiğini oluşturur. Oluşan bu bileşik, paslanmaz çeliklerde tane sınırlarındaki krom miktarını paslanmazlık sınırı olan % 12 ' nin altına çeker. Bu bileşik yüksek sıcaklıklarda karbon yayılımının hızlanması ile kolayca meydana gelir ve kaynaklı paslanmaz çeliklerde, kaynak dikişi yakınlarında kaynak bozulmalarına neden olur. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Nikel (Ni):

Nikel darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır, östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı % 7 - 20 arasındadır. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Nikel östenit kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı KYM 'dir. KYM kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek şekillendirilebilme özelliği kazandırır.

Molibden (Mo):

Molibden tane büyümesini önler, sertleşebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılma hızına neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. (www.atacelik.com)

Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayancına ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımli takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir.

Paslanmaz çeliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır.

Bazı mikro alaşımli çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Kobalt (Co):

Alaşımli takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım çeliklerinin sıcakta sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır. (www.atacelik.com)

Wolfram (W):

Tungsten olarak da bilinen bu element özellikle hız çeliklerinde olmak üzere alaşımli takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılır. Aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. (www.atacelik.com)

Vanadyum (V):

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

Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile, mikro alaşımli çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir.

Mikro alaşımli çeliklerde alaşım elementleri toplamı % 0,25 ' i geçmez. Bu elementler tek, ikili ve üçlü kompozisyonlar halinde mikro yapı içerisinde oluşturdukları karbonitrür çökeltileri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanı sıra çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla dayanımı artırır. (www.yenimuhendis.com – www.atacelik.com)

Titanyum (Ti):

Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturuçu alaşım elementi olarak kullanılır. (www.atacelik.com)

Niyobyum (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. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Alüminyum (Al):

Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur.

Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır, nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde de nitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Kalay (Sn):

Akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez, fakat sıcak haddelemelerde sorunlar meydana getirir. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddeleme sırasında kopmalara neden olur. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Bakır (Cu):

Akma ve çekme dayanımını arttırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden filmaşınlerde ki bakır oranın olabildiğince düşük olması istenir. Korozyon direncini yükselten etki gösterir. (www.atacelik.com)

Kurşun (Pb):

Haddelenebilirliği azaltır. Haddeme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebebiyet verir. Ancak çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetlerini artırdığından otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Azot (N):

İstenmeyen bir elementtir. Azot kırılma hızına neden olur, eğme özelliklerini çok kötüleştirir. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

Hidrojen (H):

Hidrojen gevrekliğine neden olur. Azottan daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır. (www.yenimuhendis.com - www.atacelik.com)

3.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri

Ham demirin içerisinde bulunan % 4 ağırlığındaki karbonun, çeşitli yöntemlerle % 2 ' nin altına düşürülmesiyle çelikler elde edilir. Çelikler, içlerinde % 0,1 < C < % 2 oranında karbon içerirler.

Çelikler, içerisindeki karbon bileşimine göre farklı özellikler gösterirler. Az karbonlu çelikler genel amaçlar için kullanılan en ucuz çelik türüdür. Sünegliği yüksektir, kolay işlenir ve su verme ile sertleşmez. Orta karbonlu çelikler genellikle daha yüksek mukavemetli olup su verme ile sertleşebilirler. Yüksek karbonlu çelikler ise çok sert olup işlenmesi zordur. Genellikle takım ve kalıp üretimine elverişlidir.

Çeliğe karbonun haricinde çeşitli alaşım elementlerinden belirli oranlarda katılarak farklı özellikler kazandırılmaktadır. Örneğin belirli bir karbon bileşiminde çelik göz önüne alındığında; katılan alaşım elementlerinden olan kromun çeliğe sertlik, nikel ve manganezin ise tokluk kazandırdığı bilinmektedir. Ancak bu bilgi bizleri yanlış yorum yapmaya götürmemelidir. (www.hedefcelik.com/tr)

Kromun çeliğe sertlik ve aşınma dayanımı kazandırdığı söylenirken şüphesiz % 2 C ve % 12 Cr ' lu takım çeliği göz önünde tutulmuştur. Çünkü bu çelik sertleştirme işleminden sonra gerçekten sert ve aşınmaya dayanıklı bir yapıdadır. Ancak bununla beraber eğer % 0,10 C ve % 12 Cr ' lu çelik seçilirse elde edilen sertlik çok yüksek olmaz.

Alaşım elementleri, çeliğin farklı bir iç yapıya ulaşmasını sağlayarak pratikte istenilen çekme mukavemeti, akma sınırı, çentik darbe sünekliği gibi mekanik özellikler ile kaynak edilebilme ve sertleşme kabiliyeti gibi işlenebilme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olur.

Bir iç yapı genellikle bir ısıtma işlemi sonucunda elde edilir. Bunun sonucu olarak alaşım çeliklerin hemen hemen tamamının ısıtma işleminden sonra kullanıldığını söylemek mümkündür.

Alaşım elementlerinin en önemli özelliği belli bir fazın oluşumunu geliştirmek veya onu kararlı hale getirmektir. Bu özelliği veren alaşım elementlerini;

- *Östenit oluşturmalar,*
- *Ferrit oluşturmalar,*
- *Nitrit oluşturmalar* olarak 3 grupta incelemek mümkündür.

3.2.1 Östenit Oluşturucu Elementler

Manganez (Mn), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Azot (Na), Çinko (Zn) bu gruba ait olan elementlerdir. Bu elementler yüksek oranlarda bulunurlarsa, östenit alanını genişleterek daha aşağılara indirirler. Böylece oda sıcaklığında bile kübik yüzey merkezli kristal kafesine sahip olan östenitik çelikler meydana gelir.

Büyük oranlarda Ni ve Mn, çeliği oda sıcaklığında bile östenitik halde tutar. Buna en tipik örnek, bileşimi % 1 C, % 13 Mn ve % 1,2 Cr olan Hadfield çeliği verilebilir. Bu çelikte Mn ile C östenitin kararlı hale gelmesinde önemli rol oynarlar.

Diğer bir örnek ise % 18 Cr, % 8 Ni içeren östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik çeliklerin kendine özgü özellikleri vardır. Bunlar;

- Çok iyi şekil değiştirebilme kabiliyeti. Kübik yüzey merkezli kristal kafesi nedeniyle düşük sıcaklıklarda (-200 °C) bile sünekliklerini kaybetmezler.
- Düşük akma sınırı ve daha yüksek çekme mukavemetine sahiptirler.
- Manyetik değildirler ve herhangi bir dönüşüme uğramazlar. Bu nedenle de sertleştirme ve normalizasyon mümkün değildir.
- Korozyona dayanıklıdır.

3.2.2 Ferrit Oluşturucu Elementler

Bu grubun en önemli elementleri; Krom (Cr), Molibden (Mo), Vanadyum (V), Titanyum (Ti), Silisyum (Si) ve Alüminyum (Al) ' dur.

Bu alaşım elementlerinin büyük bir kısmı kübik hacim merkezli sistemde kristalleşir, bu nedenle eğer yüksek oranlarda bulunurlarsa demiri de kübik merkezli olarak kalmaya zorlarlar. Bu çelikler katılaşma sırasında dönüşmeye uğramadan soğudukları için ferritik çelikler olarak adlandırılırlar.

Sadece düşük krom oranlarına sahip çelikler soğuma sırasında kübik yüzey merkezli olabilirler. Östenit alanının altında tekrar kübik hacim merkezli hale dönerek ferritik olurlar.

Ferritik çeliğe bir örnek olarak transformatör saçlarının malzemesini verebiliriz. Bu malzeme % 3 Si içeren düşük karbonlu bir çeliktir. Ferritik çeliklerin kendine özgü özellikleri vardır. Bunlar;

- Manyetiklerdir, kısmen kendilerine özgü manyetik özelliklere sahiptirler.
- Isıya dayanıklıdır, kısmen yüksek sıcaklığa dayanabilirler.
- Korozyona dayanıklıdır. Ancak bunun için saf ferritik olmaları gerekir.
- Soğuk şekil değiştirmeleri zordur, soğukta gevrek bir yapıya sahiptirler.

Krom ve karbon miktarına bağlı olarak oluşturulan diyagramda çelikler beş bölgeye ayrılmıştır;

Bölge 1:

Duşuk karbonlu, korozyona dayanıklı yüksek krom miktarında yüksek sıcaklığa dayanıklı, dönüşüm yapmayan ferritik çeliklerdir.

Kullanım alanları;

DIN normunda X8Cr17 ile ifade edilen 4016 çeliği korozyona dayanıklı olması nedeniyle mutfak aletlerinin yapımında ve kaplama yapmakta kullanılır.

Yine DIN normu X10CrAl24 olan 4762 çeliği, yüksek sıcaklıklara dayanıklı bir elik olması nedeniyle (yaklaşık 1200 C) alevle doğrudan temasta olan fırın ve kazan parçalarının imalinde kullanılır.

Bölge 2:

Daha yüksek karbon miktarlarına sahip olduklarından sertleştirilebilen, ıslah edilebilen ve korozyona dayanıklı çeliklerdir.

Kullanım alanları;

DIN normu X40Cr13, malzeme numarası 4034 olan elik suni reçine pres kalıplarının, hadde merdanelerine ait yatakların ve her çeşit bıçakların yapımında kullanılır.

Bölge 3:

Yüksek aşınma ve kesme (makaslama) mukavemetine sahip olan, sertleştirme ile kendini çok az çeken çeliklerdir. İç yapı ledeburittir.

Kullanım alanları;

DIN normu X210Cr12, malzeme numarası 2080 olan soğuk iş takım çelikleri, hareketli kesme ve delme aletlerinin yapımında kullanılırlar.

Bölge 4:

Düşük krom miktarlı sementasyon ve ıslah çelikleridir. Normalizasyon işlemine tabi tutulmuş durumdaki iç yapı ferritik - perlitiktir.

Kullanım alanları;

DIN normu 41Cr4, malzeme numarası 7035 olan ıslah çelikleridir.

Bölge 5:

Perlit üstü yapıda olan düşük alaşımlı takım çelikleridir. Sertleştirme sonrası krom karbürler martenzitik ana kütle içerisinde yerleşerek çeliğe iyi bir aşınma mukavemeti ve kazandırılırlar.

Kullanım alanları;

DIN normu 100Cr6, malzeme numarası 3505 olan bu çelikler ölçü aletleri, spiral matkaplar (deliciler), raybalar ve hadde yatakları yapımında kullanılmaktadır.

Karbürler

Krom gibi ferrit oluşturan elementler aynı zamanda karbür yapıcıdır. Karbür yapıcıların çoğunluğu da demire bağlı olarak ferrit oluşturucu özelliktedirler. Karbür oluşturan elementlerin karbona olan afiniteleri sırayla (soldan sağa artar) aşağıdaki gibidir.

Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr

Bu elementler takım çelikleri için çok önemlidir, çünkü bu elementler çelik malzemelerde sert karbürler oluşturup talaş kaldırmaya ve aşınmaya karşı dirençlerini yükseltirler.

3.2.3 Nitrür Oluşturucu Elementler

Tüm karbon oluşturucular aynı zamanda nitrür yapıcı elementlerdir. Azot, çeliğin yüzeyine nitrüleme yoluyla sokulabilir.

Farklı alaşım elementlerinin sert nitrürler oluşturarak veya çökeltme sertleşmesi yoluyla çeliğin sertliğini artırma eğilimleri incelendiğinde; Cr, Ti, Mo, Al ve V gibi nitrür oluşturucu elementlerin sertlikte artışa neden olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık Ni gibi nitrür oluşturamayan elementlerin sertlikte önemli bir artışa neden olmadığı görülmüştür.

3.3 Alaşım Elementlerinin Genel Etkileri

3.3.1 Tane Büyümesine Etkileri

Tane büyümesinin sınırlandırılmasında en önemli element vanadyumdur. Vanadyumun çelik içinde çok düşük oranlarda (% 0,1) kullanımı bile sertleştirme işlemi sırasında tane büyümesini durdurmak için yeterlidir. Bunun nedeni vanadyumun sertleştirme sıcaklıklarında homojen dağılmış karbürler ve nitrürler şeklinde bulunmasıdır. Bu tür karbürleri veya nitrürleri katı eriyik içine alabilmek için yüksek sıcaklığa çıkarmak gerekir. Bu nedenle alışlagelmiş sertleşme sıcaklıklarında vanadyum bileşikleri tane büyümesi için bir engel teşkil ederler. Eğer sıcaklık normalinden daha yüksek değere çıkartılırsa vanadyum bileşikleri çözümlenebilir. Ancak bu durumda çeliğin tane boyutunun büyümesi söz konusu olabilir. Böyle bir özellikte çeliğin mekanik özelliklerinde (darbe mukavemeti başta) düşme görülür. Ti ve Nb ' da vanadyuma benzer etkiler gösteren iki elementtir. Yüksek hız çeliklerinde ve diğer alaşımlı takım çeliklerinde W, Mo çift karbürleri de tane büyümesini engeller.

İnce taneli çeliklerin imalinde istenilen etki (sertleştirme) ergimiş metale Al ilavesi ile sağlanır. Bunun için uygulanan pratik yöntem, önce oksijen miktarını belli bir seviyeye indirmek ve sonra çeliğe azot miktarına bağlı olarak Al ilave etmektir. Çelik soğuk iken Al - N partiküllerinin dağılımı sağlanır ve çeliğin normal sertleştirme sıcaklığında tane büyümesi bu partiküller tarafından engellenir.

3.3.2 Ötektoid Noktasına Etkileri

Östenit oluşturuç elementler A_1 sıcaklığını düşürücü, ferrit oluşturuç elementler ise yükseltici etki gösterirler. Örneğin % 12 Cr ve % 0,4 C içeren ötektoid bileşiminde bir krom çeliği için ötektoid karbon sıcaklığından daha yüksek östenitleme sıcaklığı gerekirken % 3 Ni içeren çelik 700 °C ' nin altında östenitik hale geçer. Bu hususların A_1 sıcaklığı civarında kullanılan çelikler için büyük önemi vardır.

Ötektoid nokta, % 0,8 C oranında ve 723 °C sıcaklıkta oluşur. Örneğin % 5 Cr ' lu çeliğin ötektoid noktası % 0,5 C içeriğindedir. Tüm alaşım elementleri bu noktanın karbon konsantrasyonunu düşürür.

3.3.3 Martenzitin oluştuğu sıcaklığa (Ms) etkisi

Co dışındaki tüm alaşım elementleri Ms (martenzit dönüşümünün başladığı sıcaklık) ve Mf (martenzit dönüşümünün bittiği sıcaklık) değerlerini düşürürler.

% 0,5 ' den daha yüksek karbon içeren çeliklerin büyük bir çoğunluğunun Mf ' si oda sıcaklığının altındadır. Bu durum, çeliklerin sertleştirme sonrası pratik olarak bir miktar dönüşmemiş östenit içerdikleri anlamına gelir. Aşağıda verilen bağıntıda her bir alaşım elementinin % konsantrasyonunu kullanarak Ms saptanabilir.

$$Ms = 561 - 474C - 33Mn - 17Ni - 17Cr - 21Mo$$

Bu bağıntı tüm alaşım elementlerinin östenit içerisinde çözünmeleri söz konusu olduğunda geçerlidir.

Stuhlmann, yüksek ve orta alaşımlı çeliklerde Ms için aşağıdaki bağıntıyı önermektedir.

$$M_s (^\circ C) = 550 - 350C - 40Mn - 20Cr - 10Mo - 17Ni - 8W - 35V - 10Cu + 15Co + 30Al$$

Tüm alaşım elementlerinin arasından Ms ' ye en fazla etki eden karbondur.

3.3.4 İzotermal Dönüşüm Süresinde Perlit ve Beynit Dönüşümüne Etkileri

Co dışındaki bütün alaşım elementleri ferrit ve sementit oluşumunu geciktirirler. TTT diyagramlarında eğrileri sola doğru kaydırırlar. Alaşım elementlerinin dönüşümlere etkilerini formüle edecek bir kuralı saptamak oldukça zordur. Ancak bazı elementlerin diğerlerine oranla beynitik dönüşümleri daha fazla etkiledikleri, diğerlerinin de bu konuda ters davrandıkları kesin olarak tespit edilmiştir.

Belli elementler belirli bir orandan fazla kullanıldıklarında dönüşümleri kesin olmamakla beraber arttırabilirler. Ancak bunların ilave miktarları mevcut diğer alaşım elementleriyle sınırlandırılır. Yüzey sertleştirme işlemi uygulanan çelikler ve takım çeliklerinde, karbon miktarı % 1 ' i aştığından perlit - beynit dönüşümünün başlaması için geçen süre azalır. Takım çelikleri ve yapı çeliklerinde Si konsantrasyonu % 1,5 ve daha fazla olduğunda perlit dönüşümü hızlanır.

Sade karbonlu çelikler için C miktarında % 0,30 ' dan % 1 ' e kademeli bir artış, ihmal edilebilir bir etki sağlar. Fazla etkiler ancak alaşım elementlerinin kombinasyonuyla sağlanır.

3.3.5 Östenit Dönüşüm Hızına Etkisi

Demir - karbon denge diyagramında, östenitin 723 °C ' nin altında perlit haline dönüştüğü bilinmektedir. Dönüşüm sıcaklığı ve hızı ile ilgili daha kesin değerlerin verilmesi demir - karbon diyagramında mümkün değildir; çünkü bu denge diyagramı diğer bütün diyagramlar gibi çok yavaş soğuma için geçerlidir.

Östenitin hızlı soğuma sırasındaki dönüşümü, zaman sıcaklık dönüşüm (TTT) diyagramlarından takip edilebilir. Üretilen çeliklerin büyük bir kısmının TTT diyagramı vardır. Bu tip diyagramların çizilmesi için çok geniş kapsamlı seri halde deneyler yapılmaktadır.

TTT diyagramlarından östenitin ne kadar zaman içerisinde ve hangi sıcaklıkta diğer yapı şekline dönüşmeye başladığı ve bu dönüşümün ne zaman tamamlandığı görülebilir. Östenitin dönüştüğü diğer iç yapılar; ferrit, perlit, ara kademe iç yapısı ve martenzittir.

Ayrıca diyagramlar çeliğin bileşen miktarını yüzde oranı olarak ve oluşan iç yapının oda sıcaklığındaki sertliğini vermektedirler.

3.3.6 Kaynak Edilebilme Kabiliyetine Etkisi

Bir çeliğin ergitme kaynağına uygun olması, büyük ölçüde içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Ayrıca alaşım elementleri de mevcut ise kaynak dikişinin soğuması sırasında havanın ve parçanın soğuk kısımlarının etkisi ile kaynak bölgesinde sertleşme, yani kısmen martenzit oluşur. Bundan dolayı gevrekleşen malzeme, soğuma sırasında meydana gelen kendini çekme nedeniyle çatlar.

Bileşimde yer alan bazı alaşım elementleri miktarlarının kullanılmasıyla, etki eden bir eşdeğer karbon miktarı (%) hesaplanır. Bu hesaplama için, deneysel yollarla bulunmuş olan karbon eşdeğeri formülleri kullanılır.

$$Ceş = C + Mn/6 + Cr/5 + Ni/15 + Mo/7$$

Bu formülde hesaplanan değerlere göre, çelikler kaynak edilebilme kabiliyeti bakımından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

$Ceş < \% 0,45$ ise İyi kaynak edilir.

$Ceş < \% 0,60$ ise Şartlı kaynak edilir.

$Ceş > \% 0,60$ ise Zor kaynak edilir.

Şartlı kaynak edilebilmenin anlamı, malzemenin ancak ön ısıtma veya tamamlayıcı bir ısıtma işlemi gibi belirli şartlar altında kaynak edilebilmesidir.

Zor kaynak edilebilir çelikler östenitik elektrotlar (Cr-Ni-Mn Alaşımli Çelik) ile kaynak edilebilir. Kaynak metali bu malzemeden meydana geleceğinden sertleşmez ve akma sınırı düşük olur. Soğuma sırasında oluşan kendini çekmede ise kaynak metali bir miktar plastik değişmeye uğrayarak kendini bırakır. Böylece kaynak bölgesindeki gerilmeler tehlikeli bir büyüklüğe erişmez.

Krom ve silisyum elementleri kaynak işlemi sırasında yanarlar ve yüksek sıcaklıklarda ergiyen oksitler oluştururlar. Bu oksitler kaynak dikişinin kenarlarının akarak birleşmesini önler. Aynı şekilde birlikte yanan Manganezin oluşan oksidi diğer oksitlerin ergime noktalarını düşürür. Böylece Mn diğer elementlerin olumsuz etkilerini telafi eder.

3.3.7 Sertleşme Derinliğine Etkisi

Alaşımli çeliklerin sertleşme derinlikleri, alaşımsız çeliklerinkinden fazladır. Alaşımli çeliklere daha fazla su verilebilir. Sertliğin derecesini karbon miktarı tayin eder ve bu sertlik değeri 65.....66 HRC ' den daha yüksek olamaz.

Uçtan su verme (Jominy) deneyi ile elde edilen eğrilerden, alaşım elementlerinin sertleşme derinliğine etkisi çok iyi takip edilebilmektedir.

Örnek olarak % 0,6 C ' lu çelik yüksek sertliğe sahip olmasına rağmen sertleşme derinliği düşüktür. % 0,3 C içeren 30CrMoV9 alaşımli çeliğinin sertliği daha düşük olmasına rağmen, sertlik uçtan uzaklaştıkça düşük miktarda azalır. Yani sertleşme derinliği daha fazladır.

Bir diğer çelik türü olan 42CrMo4 çeliğinin sertleşme derinliği, daha yüksek alaşımli olan 30CrMoV9 çeliğinin sertleşme derinliğine göre daha düşüktür. Fakat karbon miktarı daha yüksek olduğundan yüzey sertliği daha yüksektir.

3.4 Alaşım Elementlerinin Sertleşebilmeye Etkilerinin Bağlı Olarak İncelenmesi

Yukarıda ifade edildiği gibi, sertleşebilirliğe etki eden elementlerin başında karbon gelmekte; diğer alaşım elementleri ise sertliğe ikinci derecede etki etmektedirler.

Çeliğe katılan alaşım elementleri karbonun difüzyonunu etkilediğinden karbür oluşumu gecikir, bu gecikme sonunda sertleşme çekirdeğe kadar devam eder (Güventürk, F).

Ancak alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe etkilerini anlayabilmenin bir yolu onları tek tek ve çelik içinde belli yüzdeleri ile deneysel olarak incelemek olduğundan aşağıda R.A. Grange tarafından geliştirilen ve hesaplanmış değerleri önceden hesaplanmış değerlerle çok büyük yaklaşım gösteren bir sertleşebilirlik deneyinin verileri elementlerin sertleşebilirliğe bağlı etkileri ile beraber açıklanmaya çalışılmıştır.

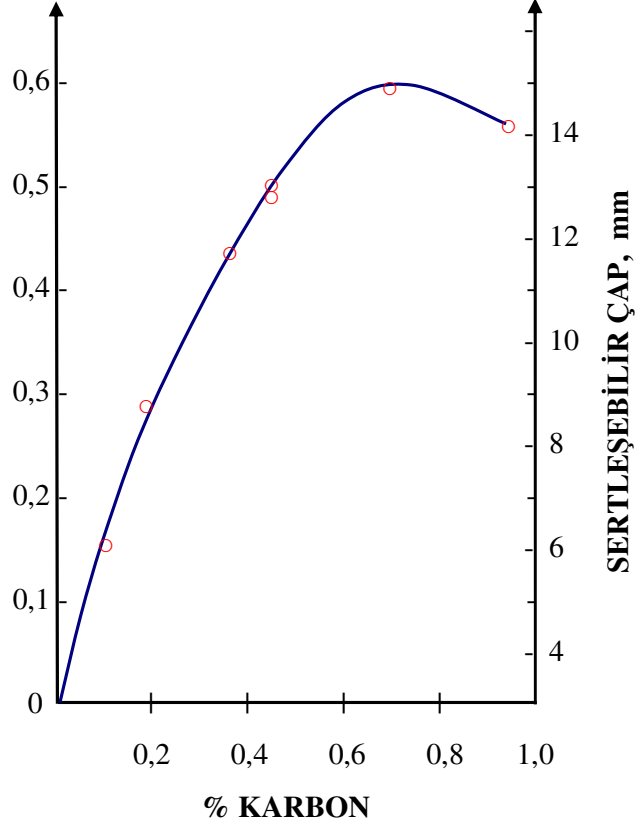
Deneyde amaç, çeliklerin sertleşebilirliklerini kimyasal kompozisyondan ve tane boyutundan yeni ve daha basit bir metotla hesaplanabildiğini ispatlamaktır. Burada bu hesap metodundan çok alaşım elementlerinin sertleşebilirlikle alakası üzerinde durulacaktır. Grange ' nin bu deneyi sığ – sertleşen çeliklere yönelik olup sertlik kriteri olarak suda sertleştirilmiş bir silindirin merkezindeki % 90 ' lık martenzit yüzdesi esas alınmıştır.

3.4.1 Karbonun Sertleştirebilmeye Etkisi

Karbon (C) direkt olarak sertleştirebilmeye etkili olduğundan, diğer elementler göz önüne alınmadan değerlendirilmelidir. Grange ' nin deneylerde kullanmış olduğu yedi Fe – C alaşımının C içeriği % 0,1 ~ % 1,0 arasındadır. Eriyen % 99,9 saflıktaki Fe ' e sadece grafit ilave edildiğinden sertleşebilme üzerine empüritelerin etkilerini kontrol etmek mümkündür (Grange, 1973).

Sertleşebilir çaplar Şekil 3.1 ' de verilmiştir. Düşük C konsantrasyonlarında geniş bir sertleşebilirlik söz konusudur. Ötektoid bileşimde maksimum sertleşme vardır, ötektoid üstü çelikte bir miktar düşme gözükür.

Bu eğri, sertleşilmeyi anlamak için temeldir. Çünkü, çelikler içerisinde empürite ve alaşım elementi bulunan Fe – C alaşımlarıdır (Grange, 1973).



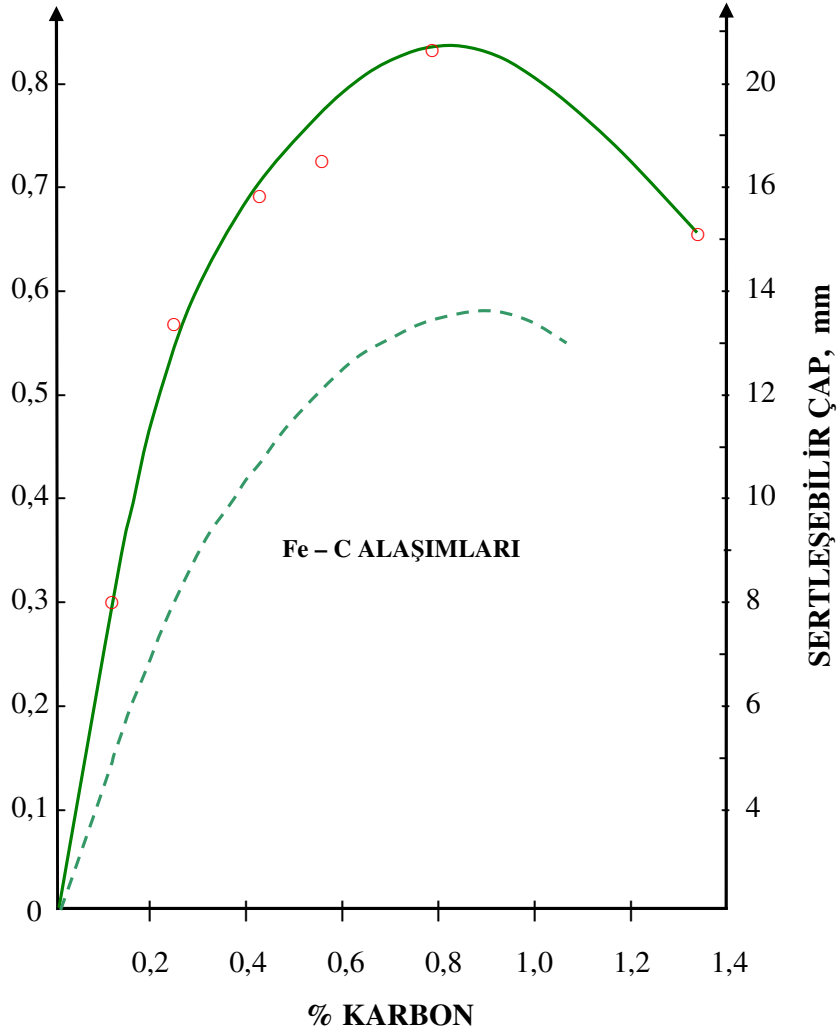
Şekil 3.1 Saf Fe – C Alaşımlarının Sertleşebilirliği (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.2 Manganın Sertleştirilme Etkisi

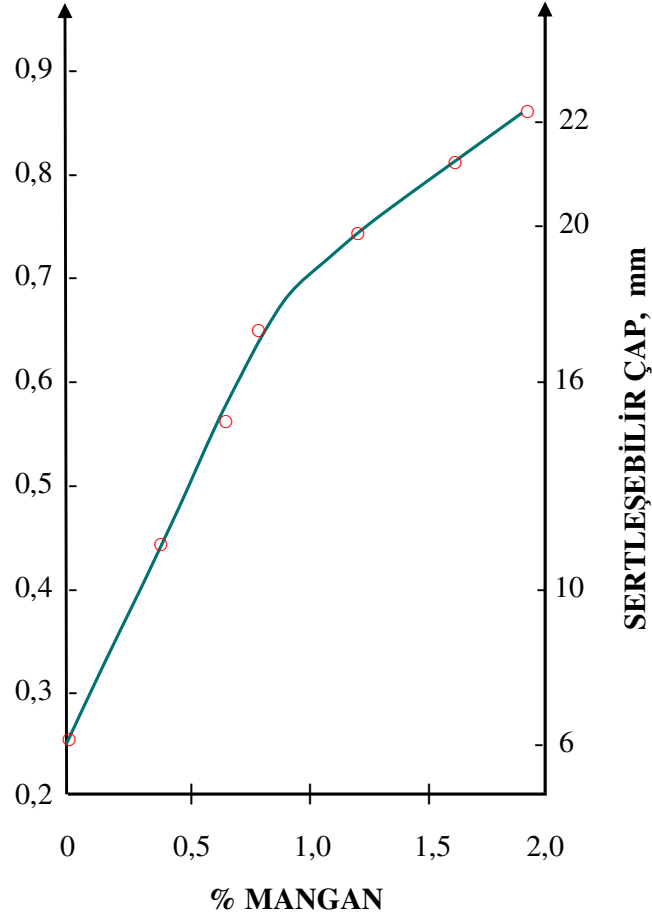
Grange tarafından iki seri alaşımda incelenmiştir. İlk seride C oranı % 0,07 ' den % 1,34 ' e kadar değişirken, Mn % 0,5 ' dir. İkinci seride ise, C oranı % 0,2 iken Mn % 0,35 ~ % 1,93 arasındadır. Tane boyutu ASTM No 4 ' tür. 870 °C ' de yapılan östenitleme ısıl işleminden sonra sertleşebilirlik deney sonuçları Şekil 3.2 ' de gösterilmiştir. Bu eğri şekil itibarıyla Fe – C alaşımına benzer, yalnız % 0,5 Mn ' ın sertleşebilirlik etkisi eğriyi yukarıya kaydırmıştır (Grange, 1973).

Mn ' in sertleşebilirlik etkisi, az C ' lu çeliklerde çok daha büyüktür.

İkinci seri alaşımlar, ince ve iri taneli yapı elde edilmek için iki yönde östenitlenmiştir. Bu işlem hem tane boyutu düzeltilmesine engel olmak, hem de farklı östenit tane boyutuna sahip çeliklerde Mn 'ın sertleşebilirlik etkisine sahip olmadığını belirlemek için yapılır. Mn ' ın tüm tane boyutlarında aynı kantitatif sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu Şekil 3.3 ' de ortaya konmuştur (Grange, 1973).



Şekil 3.2 % 0,5 Mn ' lı Çelikte C Miktarının Sertleşebilirliğe Etkisi (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Saf Fe - C alaşımları karşılaştırılarak) (Grange, 1973)

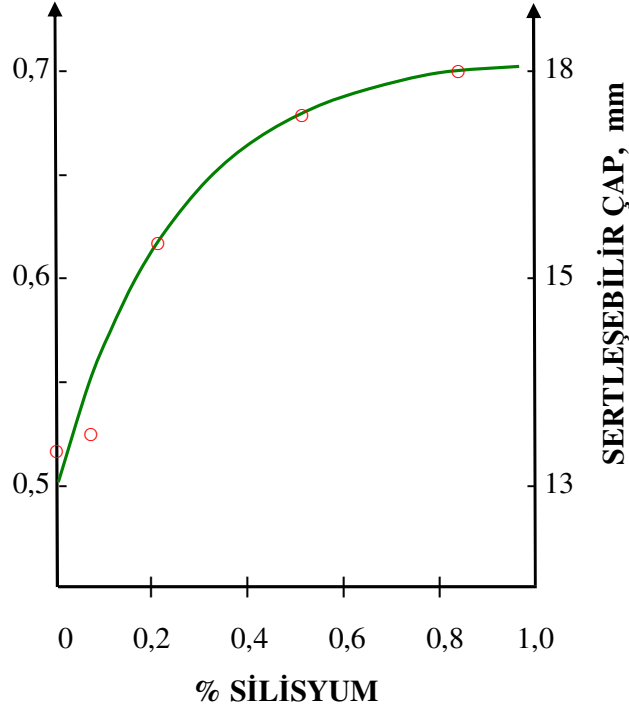


Şekil 3.3 Çelikte Mn Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4, C içeriği % 0,2) (Grange, 1973)

3.4.3 Silisyumun Sertleştirilme Etkisi

Silisyumun sertleştirilme etkisi % 0,09 - % 0,30 - % 0,57 ve % 0,86 Si içeren Fe – C alaşımlarıyla belirlenmiştir. Yüksek silisyumlu Fe – C alaşımının östenitleme sıcaklığını nispeten yüksek tutmak gerekir.

Şekil 3.4 ' de konsantrasyon artışından dolayı, sabit artan ilave başına Si ' un daha az sertleştirilme etkisine sahip olduğu görülür (Grange, 1973).



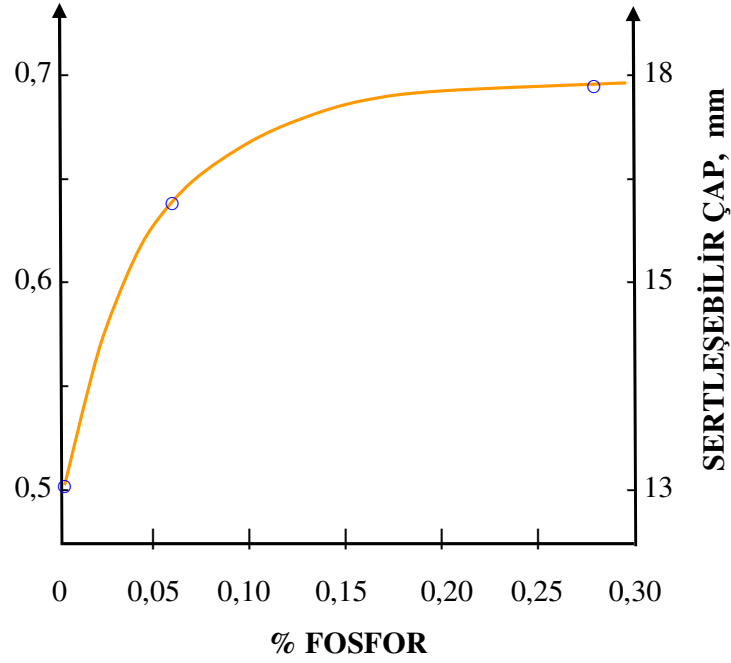
Şekil 3.4 Çelikteki Si Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.4 Fosforun Sertleştirilme Etkisi

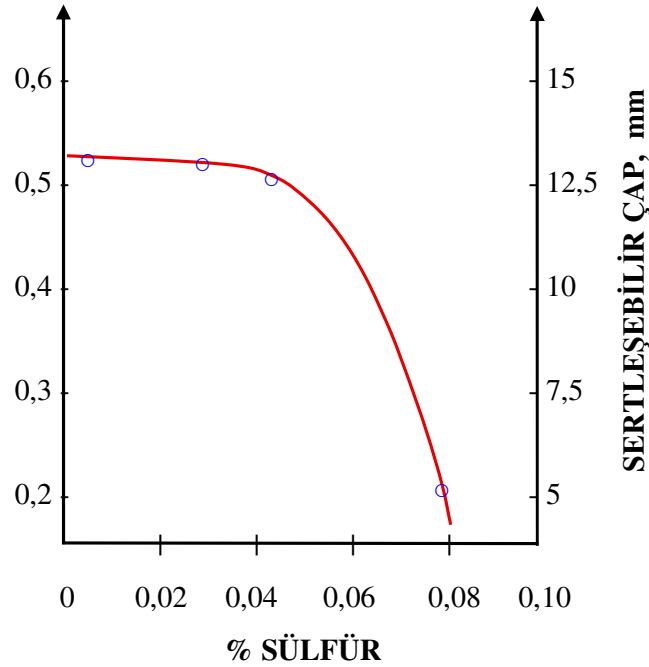
Şekil 3.5 ' de fosforun sertleşebilirlik üzerine etkisi özetlenmiştir. Fosforun (P) küçük yüzdelere, nispeten güçlü bir etkisi vardır. Fakat % 0,1 P ' un üzerindeki seviyede sabit olduğu görülmektedir (Grange, 1973).

3.4.5 Sülfürün Sertleştirilme Etkisi

Sülfürün (S) sertleşebilirlik üzerine etkisini değerlendirmek için çok sayıda numunenin östenitleme sıcaklığını değiştirmek gerekir. Çelikte Mn ile birleşen S inklüzyonları oluşturur. Bundan dolayı S ' ün etkisi negatiftir. Çünkü östenitte çözülmüş olan S ' ün küçük konsantrasyonları bile, pozitif sertleşebilirlik etkisi gösteren östenitte çözülmüş Mn ' ın kaybolmasına neden olduğundan sertleşebilirlikte de kayıp olur. Çelikte S ' ün sertleştirme etkisini tahmin etmek oldukça güçtür (Grange, 1973). (Şekil 3.6)



Şekil 3.5 Çelikteki P Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

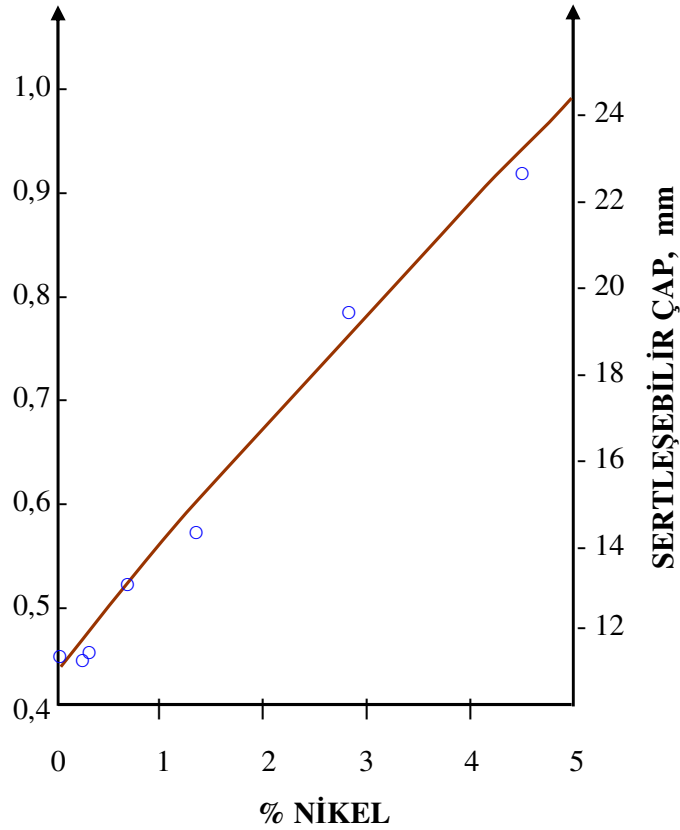


Şekil 3.6 Çelikteki S Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.6 Nikelin Sertleştirebilme Etkisi

% 0,2 C - % 0,3 Mn ' lı Fe alaşımlarında esas bileşimdeki Mn, maksimum sertleşebilir çapı aşmaksızın ilave edilebilen alaşımın miktarını azaltmaktadır. Veriler, C çeliklerinde muhtemelen kalıntı bir element olarak görülen Ni ' in ancak küçük bir sertleşebilirlik etkisi olduğunu göstermiştir (Grange, 1973).

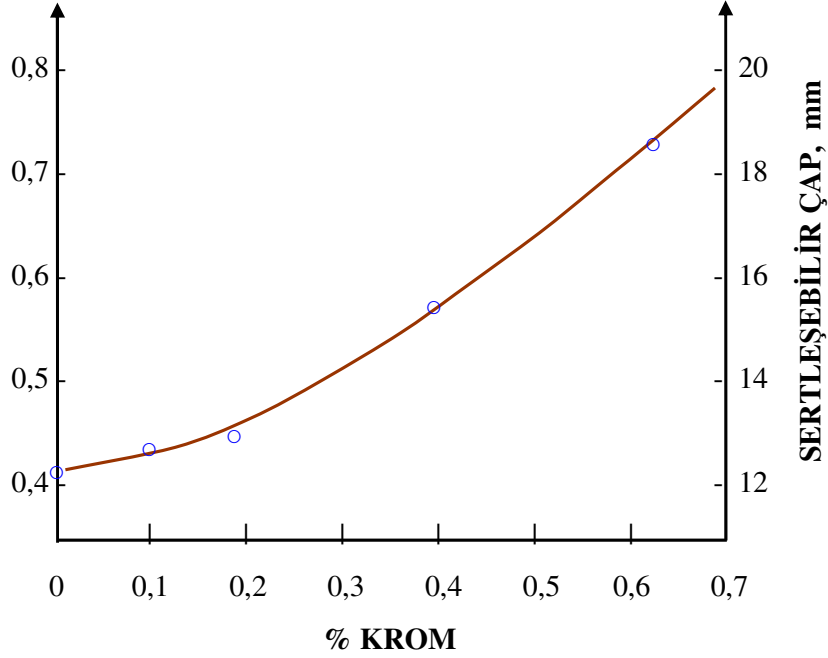
Grange ' ın yaptığı deney sonunda elde edilen veriler Şekil 3.7 ' deki eğri ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Çelikteki Ni Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.7 Kromun Sertleştirilme Etkisi

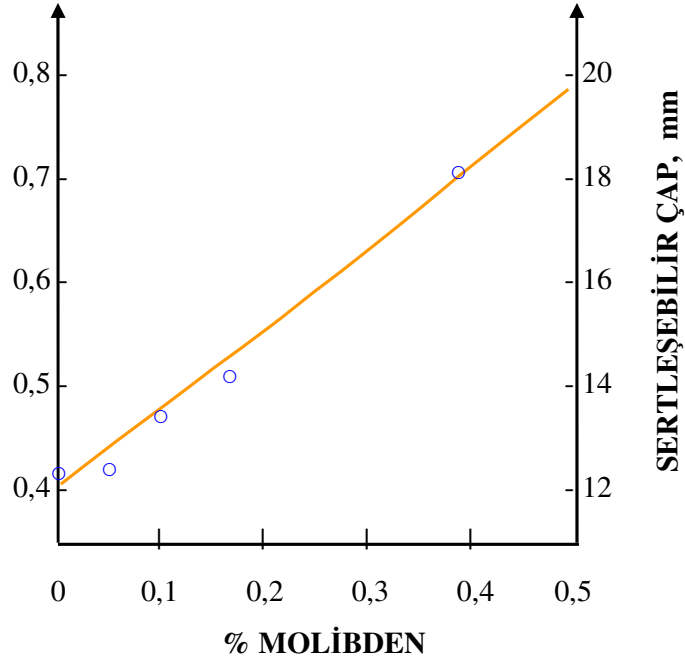
Şekil 3.8 ' de Cr ' un % 1 ' in oldukça altındaki miktarlarda sertleşebilirliği önemli ölçüde arttırdığını gösteren veriler eğri ile belirtilmiştir (Grange, 1973).



Şekil 3.8 Çelikteki Cr Miktarının Sertleşilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.8 Molibdenin Sertleştirilme Etkisi

Şekil 3.9 ' da düşük konsantrasyonlarda nispeten geniş bir sertleşebilirlik etkisine sahip Mo ' in verilerinin düz bir çizgi üzerinde olduğu gözlenmiştir (Grange, 1973).

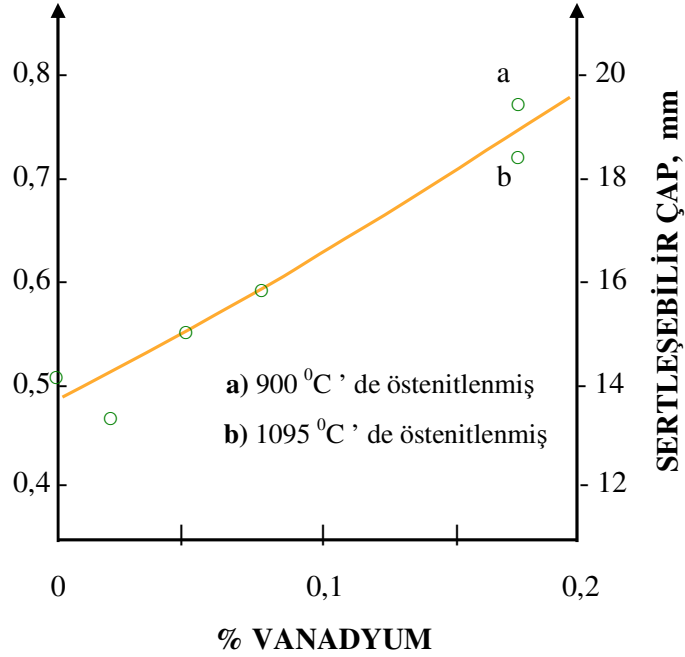


Şekil 3.9 Çelikteki Mo Miktarının Sertleşebilir Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.9 Vanadyumun Sertleştirme Etkisi

% 0,18 V içeren alaşımda tane boyutu ince olduğundan 900 °C ' deki östenitleme tane boyutu açısından uygun değildir. Bu nedenle % 0,18 V ' lu alaşım üniform iri tane geliştirmek için 1095 °C ' de östenitlenmiştir. Östenit sıcaklığını artırma, 900 °C ' de bir çözünme yoksa daha fazla V ' un çözünmesini sağlayacaktır.

Şekil 3.10 ' da % 0,18 V ' da iki nokta vardır. Bunlardan biri çizginin üzerinde, diğeri ise altındadır. Bu sonuç normalden yüksek bir östenitleme sıcaklığının % 0,2 C ' lu çelikte % 0,18 V esaslı tam çözelti için gerekmediğini göstermektedir. Nispeten küçük V yüzdeleri için sertleşebilirlikte önemli bir artış olduğu açıklanmıştır (Grange, 1973).

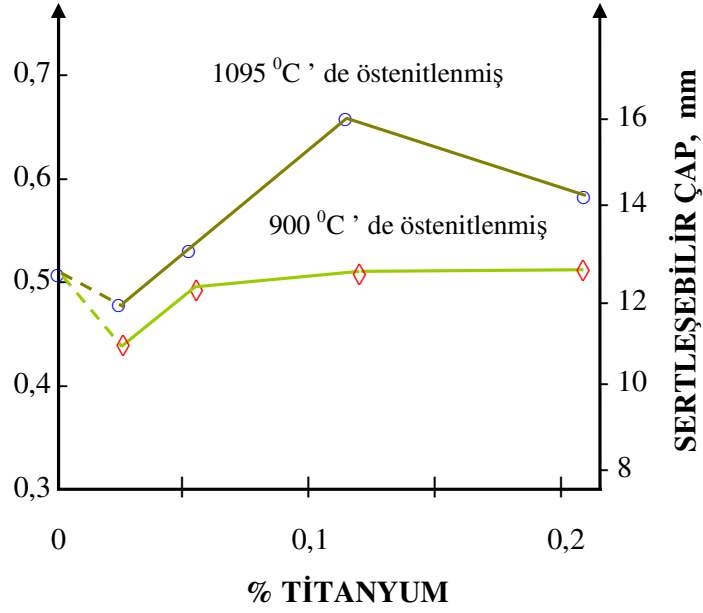


Şekil 3.10 Çelikteki V Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.10 Titanyumun Sertleştirilme Etkisi

Ti ' un sertleşebilirlik etkisini değerlendirmede bazı güçlükler vardır. Ti, çelikte C ve N ile kuvvetli olarak kombine olur ve daha yüksek östenitleme sıcaklıklarından dolayı azar azar çözünen tanecikleri oluşturur. Ti ' un açık olarak negatif sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu söylenebilir. Böylece Ti ' un kantitatif sertleşebilirlik etkisinin, muhtemelen C ve N ile ve de östenitleme sıcaklığı ile değiştiği açıklanmıştır (Grange, 1973).

Grange ' ın ince ve kaba taneli yapılarda ve farklı östenitleme sıcaklıklarında yaptığı deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 3.11 ' de gösterilmiştir. Burada yüksek sıcaklıklarda Ti ' un daha büyük sertleşebilirlik etkisinin olduğu görülmektedir. Her iki östenitleme sıcaklığında en küçük Ti ilavesiyle (% 0,026) sertleşebilirlikte bir azalma görülür (Grange, 1973).



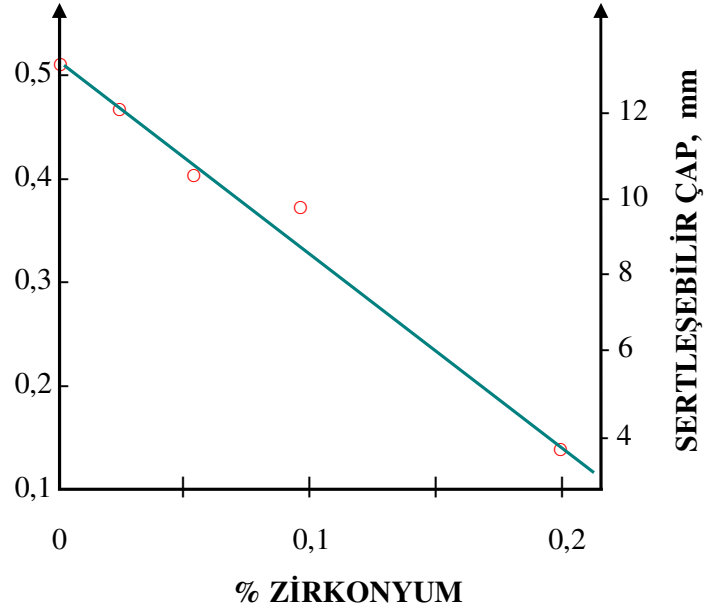
Şekil 3.11 Çelikteki Ti Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)
(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)

3.4.11 Zirkonyumun Sertleştirilme Etkisi

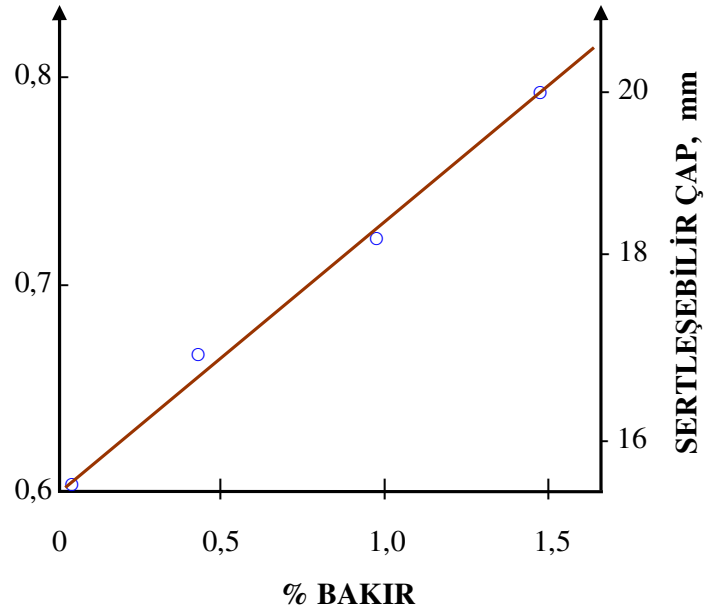
Şekil 3.12 ' den Zr ' un kesin bir negatif sertleşebilirlik etkisi gösterdiği anlaşılmaktadır. Zr güç çözünen karbür ve nitrür teşkil etmede Ti ' a benzer. Zr ' un sertleşme etkisi C ve N ' a bağlıdır. Zr ' un küçük miktarlarının kantitatif sertleşebilirlik etkisi az olduğundan sertleşmeye etkisi ihmal edilebilir (Grange, 1973).

3.4.12 Bakırın Sertleştirilme Etkisi

Ticari C çeliklerinde, küçük kalıntı yüzdelerinde bakırın (Cu) sertleşebilirlik etkisi küçüktür. (Şekil 3.13) Bununla beraber deneysel çalışmalarda bir empürite olarak Cu bulunduran C çeliklerinin sertleşebilirliği tatmin edicidir (Grange, 1973).



Şekil 3.12 Çelikteki Zr Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)
 (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Grange, 1973)



Şekil 3.13 AISI 1045 Çeliğinde Cu ' ın Sertleşebilir Çap Üzerine Etkisi (% 90
 Martenzit, Tuzlu Su Çözeltisinde Su Verilmiş) (Grange, 1973)

4. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

4.1 Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması

4.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler

Bu çelikler, % 0,25 oranına kadar karbon içerirler ve çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. (www.yenimuhendis.com)

a) - *Çok Yumuşak Çelikler:* % 0,07 ile % 0,15 arasında karbon içerirler ve soğuk şekillendirmeye elverişlidirler.

b) - *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.

4.1.2 Orta Karbonlu Çelikler

Bu çelikler, % 0,25 ile % 0,55 oranları arasında karbon içerirler. Isıl işlem için çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemle büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu çelikler, karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılır. (www.yenimuhendis.com)

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.

4.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler

% 0,55 ile % 0,9 arasında karbon içerirler. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım alanına örnek olarak, pres kalıp blokları gösterilebilir. (www.yenimuhendis.com)

4.1.4 Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri

Bu çelikler % 0,9 ile % 1,6 oranları arasında karbon içerirler. Yüksek aşınma direnci ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım yerlerine örnek olarak torna kalemi ve matkap uçları verilebilir. (www.yenimuhendis.com)

4.2 Çeliklerin Kimyasal Bileşim Esas Alınarak Sınıflandırılması

4.2.1 Alaşimsız Çelikler

C harfi 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, 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.

4.2.2 Alaşımli Çelikler

Alaşımli çelikler, alaşım miktarına göre ve esas alaşım elementine göre çelikler olmak üzere iki grupta incelenebilir. (www.yenimuhendis.com)

4.2.2.1 Alaşım Miktarına Göre

a) - *Az Alaşımli 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 Çizelge 4.1 ' deki katsayılarla çarpılarak tam sayıya yuvarlatılmış ortalama yüzde oranları belirtilir. (www.yenimuhendis.com)

Çizelge 4.1 Az alaşımlı çeliklerin TSE ' ye göre gösteriminde kullanılan katsayılar

ALAŞIM ELEMENTİ	KATSAYISI
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 20Mn5, bileşiminde % 0,15 C ve % 0,75 Cr bulunan az alaşımlı asal çelik 15Cr3, bileşiminde % 0,15 C, % 1 Cr ve % 0,40 Mo bulunan az alaşımlı çelik ise 15CrMo44 şeklinde gösterilir.

b) - 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. 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. (www.yenimuhendis.com)

c) - 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, % 18 Cr ve % 8 Ni bulunan yüksek alaşımlı çelik X8Cr18Ni8 şeklinde gösterilir. (www.yenimuhendis.com)

4.2.2.2 Esas Alaşım Elementine Göre

a) - Manganolu Çelikler: Mangan, oksijeni gidermek ve kükürtle karıştırılarak küresel MnS oluşturmak için % 0,25 ' den - % 1 ' e kadar bir dizi şeklinde bütün ticari çeliklere eklenir. Mukavemetteki artışa sağladığı durum göz önünde tutulursa diğer alaşım elementlerine göre en etkili olan mangandır. (www.yenimuhendis.com)

Bu nedenle yumuşak çelikten daha yüksek dayanım ve kaynaklanabilirlik gerektiğinde, % 1,6 - % 1,9 arasında Mn içeren çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Düşük alaşımlı manganlı çeliklerin AISI 13xx serisi % 0,30 ile % 0.45 civarında karbona ve % 1,75 mangana sahiptir. Bu 13xx çelikleri sade karbonlu çelik ile karşılaştırıldıklarında daha yüksek dayanıma ve sertleştirilebilme özelliğine sahiptir. Bu çelikler dingil, şaft, vites, otomobil hareket kolu ve tarım aletleri için kullanılırlar.

13xx alaşımlı çeliklerin sertleşebilme özelliği 13xx sade karbon çeliklerden biraz daha yüksektir. Bu da 13xx alaşımlarında mangan içeriğinin nominal % 1,75 ' e çıkmasının bir sonucudur.

Mangan difüzyon hızını azaltarak, östenitin, ferrite – perlitte dönüşümünü yavaşlatır. Bu nedenle, karbonlu çeliklerin sertleştirilebilme özelliğinde artış olur. Aynı zamanda mangan karbonlu çeliklerdeki perlitte inceltmek dayanımlarını da yükseltir.

Karbonlu çeliklerin mangan miktarı yaklaşık % 2 ' yi aştığında çelik kırılma dayanımı düşer. 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.

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

Mangan östenit ve ferrit içinde eriyebilir ve katı eriyik mukavemetlenmesiyle karbonlu çeliklerde ferriti mukavemetlendirebilir.

b) - Molibden Çelikleri: Molibden, dayanımı ve sertleşebilirliği iyileştirmek için sade karbonlu çeliklere (genelde bütün standart alaşımlı çeliklere) az miktarda eklenir ve eklenen bu miktar yaklaşık % 0,25 ile sınırlandırılmıştır. (www.yenimuhendis.com)

Çünkü, bu miktarın deneysel olarak iyileştirilmiş tokluk, sertleşebilirlik ve dayanım özellikleri için optimum olduğu bulunmuştur.

40xx serilerinin düşük alaşımlı çelikleri öncelikle oto endüstrisinde karbürleme sınıfları olarak kullanılırlar. Bu çelikler yoğunlukla olarak arka aks dişlileri ve otomatik güç aktarma parçaları için kullanılırlar. (www.yenimuhendis.com)

c) - Krom – Molibden Çelikleri: 41xx alaşım serisini oluşturmak için küçük miktarlarda (% 0,13 – 0,20) katılan 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 kırılma eğilimine hassasiyet eğilimini arttırır. (www.yenimuhendis.com)

Krom ve molibdenli düşük alaşımlı çelikler suda soğutmanın yerine yağda soğutulabilir. Yağda soğutma yavaş olduğu için sıcaklık gradyanları ve hacimce çekilmeden kaynaklanan iç gerilmeler, su verme sırasındaki genleşme, çarpılma ve çatlak eğilimleri azaltılabilir. (www.yenimuhendis.com)

d) - Nikel – Krom – Molibdenli Çelikler

e) - Nikel – Silisyum – Krom – Molibden Çelikleri

5. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Genel anlamda ısıl işlem; metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Isıl işlemin Türk Standartlarındaki (TS 1112) tanımı ise; katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak verilmektedir.

Çeliklere uygulanan bütün temel ısıl işlemler östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Çeliğin ısıl işlemine östenitleştirme ile başlanır. Östenitleştirme için çelik malzeme, alt kritik sıcaklık çizgisinin üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılır.

Çoğu durumlarda, çeliğin belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılmasında seçilen ısıtma hızı, ısıl işlem çevrimindeki diğer faktörlere göre daha az önem taşır. Ancak çarpılmanın önlenmesi için soğuk şekil değişimine tabi tutulmuş yani aşırı ölçüde iç gerilme içeren malzemelerin, gerilmesiz malzemelere göre daha yavaş ısıtılması gerekir. Ayrıca, kesit değişikliği gösteren parçaların ısıtılması sırasında ince ve kalın kesitlerdeki ısınma veya sıcaklık artış hızları arasındaki farklar da dikkate alınmalıdır. Sıcaklık etkisiyle parçada meydana gelebilecek çarpılmayı en aza indirmek için, ince kısımların kalın kısımlara göre daha yavaş ısıtılması gerekir. Isıl işlem sırasındaki hasar riskini azaltmak amacıyla çelikler genelde yavaş ısıtılırlar.

Östenitleştirme; çeliğin alt kritik sıcaklık çizgisinin üzerindeki uygun bir sıcaklığa kadar yavaşça ısıtılıp, yapısının tamamen östenite dönüşmesine kadar tavlınması anlamına gelir. (www.yenimuhendis.com)

Ötektoid altı çelikler üst kritik sıcaklık çizgisinin 40 – 60 °C üzerindeki sıcaklıklarda östenitleştirme işlemine tabi tutulurlar. Üst kritik sıcaklık çizgisinin altındaki sıcaklıklarda ise çelik içerisinde ötektoid dışı ferrit bulunur ve bu fazın oranı çeliğin karbon oranına bağlıdır. Ötektoid dışı ferrit su verme işleminden sonra da yapıda aynen kaldığından, çelik içerisinde yumuşak bölgelerin oluşmasına neden olur ve böylece malzemenin sertleşmesi engellenir. (www.yenimuhendis.com)

Ötektoid üstü çelikler ise, alt kritik sıcaklık çizgisi ile bu çeliklere ait üst kritik sıcaklık çizgisi (A_{c_m}) arasındaki sıcaklıklarda östenitleştirilir. (A_{c_m}) çizgisi ani olarak yükseldiğinden, bütün yapıyı östenitleştirmek için çok yüksek sıcaklıklara çıkmak gerekir. Ancak, östenitleştirme işleminin çok yüksek sıcaklıklarda yapılması durumunda çelikte çarpılma, çatlama, oksidasyon, dekarbürizasyon ve tane büyümesi gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Bu nedenle çelikler olabildiğince düşük sıcaklıklarda östenitleştirilirler.

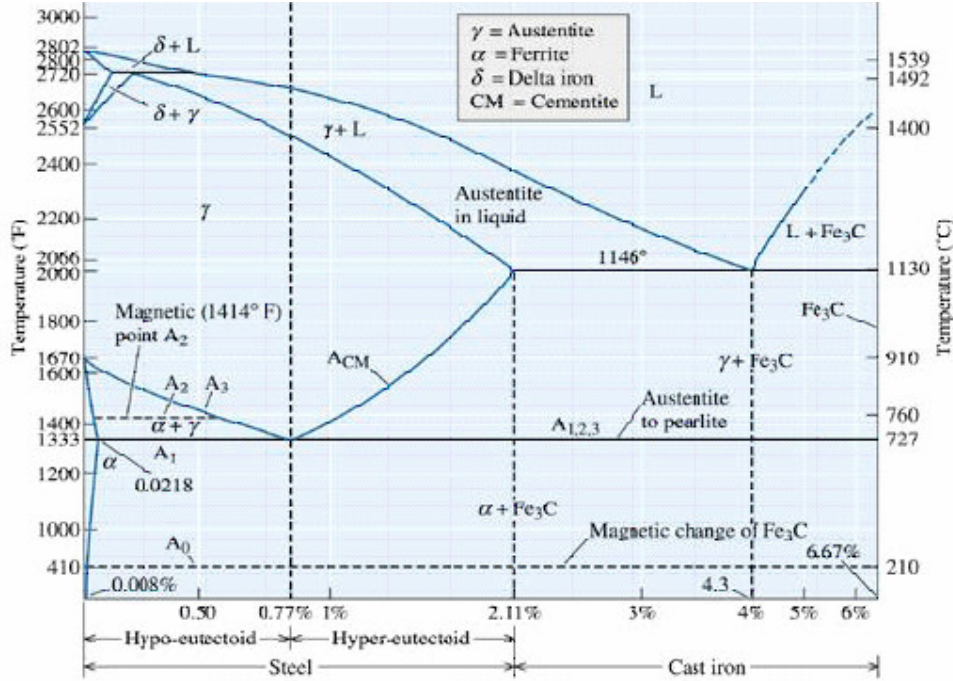
5.1 Yumuşatma Tavı

Genel anlamda, istenilen yapısal, fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek, talaş kaldırmayı veya soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla metal malzemelerin uygun sıcaklıklara kadar ısıtılıp, gerekli değişiklikler sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan yavaş soğutulması işlemine tavlama adı verilir.

Yumuşatma tavı ise sertliği azaltmak, talaş kaldırmayı kolaylaştırmak, döküm veya dövme parçalardaki iç gerilmeleri gidermek amacıyla, ötektoid altı çelikleri (A_{c_3}) ötektoid üstü çelikleri ise (A_{c_1}) çizgilerinin üzerindeki belirli sıcaklıklara kadar ısıtılıp, iç yapılarını östenite dönüştürdükten sonra fırın içerisinde tutarak çok yavaş soğutma işlemidir. Tavlama işlemi, bazı çeliklerde tane küçültmek ve çeliklerin elektrik ve manyetik özelliklerini iyileştirmek amaçları için de uygulanır. Östenitleştirmeden sonraki soğuma işlemi çok yavaş olduğundan, yumuşatma tavı için demir – sementit (Fe - Fe_3C) denge diyagramı kullanılabilir. (Şekil 5.1)

% 0,2 C içeren iri taneli ötektoid altı bir çelik parçanın taneleri tavlama işlemi esnasında inceler, çeliğin iç yapısında değişimler meydana gelir. İşlemin değişik aşamalarında çelik parçada oluşan iç yapılar aşağıda verilmektedir.

- a) - İlk veya orjinal yapı iri ferrit ve perlit tanelerinden oluşmaktadır.
- b) - A_{c_1} çizgisinin hemen üzerindeki bir sıcaklıkta perlit ince taneli östenite dönüşürken, ferrit yapıda aynen kalır.
- c) - A_{c_3} çizgisinin üzerindeki sıcaklıkta yapı tamamen ince taneli östenite dönüşür.
- d) - Parça oda sıcaklığına soğutulduğunda, ince ferrit taneleri ile küçük perlit bölgelerini içeren bir iç yapı oluşur.



Şekil 5.1 Demir – Sementit (Fe - Fe₃C) denge diyagramı (www.ccm.udel.edu)

% 0,2 C içeren iri taneli çelik parçanın Ac₁ sıcaklığına kadar ısıtılması sırasında iç yapıda her hangi bir değişme olmaz. Ac₁ sıcaklığında ise perlit bölgeleri ötektoid reaksiyon sonucunda ince taneli östenite dönüşür. Ancak ferrit taneleri değişmeden yapıda aynen kalır. Çelik bu sıcaklıktan soğutulursa tane boyutunda her hangi bir değişme olmaz. Ac₁ ile Ac₃ sıcaklıkları arasında ısıtmaya devam edildiğinde, iri ferrit taneleri ince östenit tanelerine dönüşür. Ac₃ sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise, çeliğin iç yapısı tamamen ince taneli östenite dönüşür.

Bundan sonra bu çelik fırında soğutulduğunda, ötektoid dışı ince ferrit taneleri kaba lamelli perlit bölgelerinden oluşan bir iç yapı elde edilir. Buradan, ötektoid altı çeliklerin yumuşatma tavına tabi tutulabilmeleri için Ac₃ çizgisinin üzerindeki uygun sıcaklıklarda tavlama tavlanmalarının gerekli olduğu sonucu çıkmaktadır.

Ötektoid üstü çelikler Ac_{3,1} çizgisinin yaklaşık 50 °C üzerindeki sıcaklıklarda östenitleştirme işlemine tabi tutulurlar. Bu sıcaklıklarda tutulan çelikler, östenit ve sementit fazlarını içerir.

Bu sıcaklıklardan çeliklere su verildiğinde sementit parçacıkları yapıda aynen kalır. Yapıdaki sementit fazı sertliği azaltmadığı gibi, çeliklerin aşınma dirençlerini de artırır. Bu nedenle ötektoid üstü çeliklerin tamamen östenitleştirilmesine gerek yoktur.

Mn ve Ni gibi alaşım elementleri A_{c1} sıcaklığını düşürdükleri gibi, denge diyagramının ötektoid noktasını da sola, yani düşük karbon oranına doğru kaydırırlar. Bu alaşım elementleri, ötektoid altı çeliklerin östenitleştirme sıcaklığını da düşürürler. Bazı alaşım elementleri ise A_{c1} sıcaklığını yükseltir. Genelde, alaşım elementleri östenit oluşum hızını azaltırlar.

Ötektoid altı çeliklerin sağlıklı biçimde ısıl işleme tabi tutulabilmeleri için önce homojen bir östenit yapıya sahip olmaları gerekir. Bunun için, östenitleştirme sıcaklığına kadar ısıtılan çelik malzemelerin her 25 mm ' si için bir saatlik bir süre o sıcaklıkta tavlantıları tavsiye edilir.

Ötektoid altı çeliklerin yumuşatılması için tavlama işlemi, A_{c3} çizgisinin en az 10 °C üzerindeki sıcaklıklarda yapılır. Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid altı çelikler ötektoid dışı ferrit ile kaba lamelli perlitten oluşan bir yapı sergilerler.

Ötektoid üstü çelikler ise $A_{c3,1}$ çizgisinin en az 10 °C üzerindeki bir sıcaklıkta tavlantıları. Yumuşatma tavına tabi tutulan ötektoid üstü çeliklerin iç yapıları, kaba lamelli perlit alanları ile bunları çevreleyen ötektoid dışı sementit fazından oluşur. Bu yapıdaki perliti çevreleyen sementit ağı sert ve gevrekçidir.

İç yapıda kalın ve sert tane sınırlarının bulunması, çeliklerin talaşlı yöntemle işlenmelerini zorlaştırır. Bu nedenle yumuşatma tavı, ötektoid üstü çeliklere son işlem olarak uygulanamaz.

Yumuşatma tavına tabi tutulan çeliklerin iç yapılarında bulunan ferrit – perlit veya perlit – sementit oranları metalografik yöntemle belirlendikten sonra bu çeliklerin yüzde karbon oranları yaklaşık olarak bulunabilir.

5.2 Normalizasyon Tavı

Normalizasyon tavı genelde tane küçültmek, homojen iç yapı elde etmek ve çoğunlukla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri (Ac_3) ve ötektoid üstü çelikleri (Ac_m) dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık olarak 40 – 50 °C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, tavladıktan sonra fırın dışındaki sakin havada soğutma işlemidir.

Normalizasyon tavının belli başlı amaçları;

- a) - Tane küçültmek
- b) - Homojen bir yapı elde etmek
- c) - Ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak
- d) - Çeliklerin işleme özelliklerini iyileştirmek
- e) - Mekanik özellikleri iyileştirmek
- f) - Yumuşatma tavına tabi tutulmuş çeliklerin sertlik ve mukavemetlerinin artırmak şeklinde sıralanabilir.

Bu nedenlerle normalizasyon tavı, çeliklere uygulanan son ısı işlem olabilir.

Normalizasyon tavı için soğutma işleminin fırının dışında ve sakin havada yapılması nedeniyle soğutma hızında meydana gelen artış, hem östenitin dönüşümünü, hem de en son elde edilen iç yapıyı bir kaç yönden etkiler. Havada soğutma dengesiz soğutma olduğundan, normalize edilmiş çeliğin iç yapısında bulunan ötektoid dışı sementit ve perlit oranlarını hesaplamak için demir – sementit denge diyagramı kullanılmaz.

Havada soğutma sırasında ötektoid dışı fazların oluşumu için yeterli zaman olmadığından, normalize edilen ötektoid altı çelikler yumuşatma tavına tabi tutulan çeliklere göre daha düşük oranda ötektoid dışı ferrit, ötektoid üstü çelikler ise daha düşük oranda ötektoid dışı sementit içerirler.

Havada soğutma işlemi, ötektoid altı çeliklerde ötektoid noktayı sola, yani düşük karbon oranına doğru, ötektoid üstü çeliklerde ise sağa, yani yüksek karbon oranına doğru kaydırır. Örneğin karbon oranı % 0,5 olan alaşımsız çelik yumuşatma işleminden sonra yaklaşık % 62 oranında perlit ve % 38 oranında ötektoid dışı ferrit içerir. Aynı çelik normalize edildiğinde; ancak % 10 oranında ötektoid dışı ferrit içerdiği görülür.

Normalizasyon işleminden sonra beyaz görünümlü ötektoid dışı ferrit, koyu renkli perlit bölgelerini çevreleyen bir ağ oluşturur.

Yumuşatma tavisine tabi tutulan ötektoid üstü çeliklerin yapısında oluşan sementit ağının, bu çeliklerin mukavemetini düşürdüğü bilinmektedir. Normalizasyon tavisine ötektoid üstü çeliklerdeki sementit ağının parçalanmasını ve bazı durumlarda da büyük ölçüde giderilmesini sağlar. Bu nedenle normalize edilen çeliklerin mukavemetinde artış görülür.

Normalizasyon tavisinde, parçanın havada soğutulması nedeniyle nispeten yüksek soğuma hızı elde edilir. Genelde, soğuma hızı arttıkça östenitin dönüşüm sıcaklığı düşer ve daha ince perlit elde edilir. Dolayısıyla, normalize edilen çelikte yumuşatma tavisine görmüş çeliğe göre daha ince ve yüksek oranda perlit oluşur.

Ferrit çok yumuşak, sementit ise çok sert bir fazdır. Normalize edilen çeliğin yapısında bulunan sementit katmanlarının birbirine yakın veya sık olarak dizilimleri nedeniyle çeliğin sertliği artar. Yumuşatma tavisine ile elde edilen kaba perlitin sertliği 10 HRC civarında iken, normalize edilen perlitin sertliği yaklaşık 20 HRC değerine ulaşır.

Yukarıda belirtildiği gibi, dengesiz soğuma sayılan hızlı soğuma ötektoid noktayı, ötektoid altı çeliklerde düşük karbon oranına doğru (sola), ötektoid üstü çeliklerde ise yüksek karbon oranına doğru (sağa) kaydırır.

Normalize edilen çelikler, yumuşatma tavisine gören çeliklerden daha ince ve daha yüksek oranda perlitik yapı içerirler. Bu nedenle, normalize edilen çeliklerin sertlik ve mukavemeti yumuşatma tavisine tabi tutulan çeliklerin söz konusu değerlerinden önemli ölçüde yüksek olur.

5.3 Küreselleştirme Tavisine

Küreselleştirme tavisine , çelikleri A_{c1} sıcaklık çizgisi civarında uzun süre tuttukten ve bu bölgede salınlı olarak tavladıktan sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem, östenitleştirmeden sonra kontrollü soğutma ile de yapılabilir.

Yumuşatma tavlama işleminde belirtildiği gibi, tavlama işlemi tamamlandıktan sonra çelikler iç yapılarında sert ve gevrek sementit tanelerinin bulunması nedeniyle işlenmeye elverişli değildir. Bu tür çeliklerin işlenmesini kolaylaştırmak ve sünekliğini artırmak amacıyla da küreselleştirme tavlama uygulanır.

Küreselleştirme tavlama aşağıdaki yöntemlerden biri ile gerçekleştirilir;

- a) - Çelik malzeme A_{c1} çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta (örneğin $700\text{ }^{\circ}\text{C}$) uzun süre (15 – 25 saat) tavlama yapılır.
- b) - Çelik malzeme, düşük kritik sıcaklık çizgisinin (A_{c1}) hemen altında ve üstündeki sıcaklıklar arasında ısıtılıp soğutulur, yani salınlı olarak tavlama yapılır.
- c) - Malzeme, A_{c1} kritik sıcaklık çizgisinin üzerindeki bir sıcaklıkta tavlandıktan sonra ya fırında çok yavaş soğutulur, ya da A_{c1} çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta uzunca bir süre tutulur.

Küreselleştirme tavlama, daha çok yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. Düşük karbonlu çelikler nadiren küreselleştirme tavlama tabii tutulurlar. Çünkü; bu tür çelikler küreselleştirme tavlama sonunda çok yumuşarlar ve bu aşırı yumuşama talaşlı işlem sırasında bazı zorluklar doğurur. Orta karbonlu çelikler ise yeterli ölçüde süneklik kazanmaları için plastik şekil verme işleminden önce, bazen küreselleştirme tavlama tabii tutulurlar.

Küreselleştirme tavlama sırasında tavlama süresinin iyi ayarlanması gerekir. Eğer çelik, gereğinden daha uzun süre tavlama yapılırsa sementit parçacıkları birleşerek uzama gösterirler ve bu durum çeliğin işleme kabiliyetini olumsuz etkiler.

5.4 Gerilim Giderme Tavlama ve Ara Tavlama

Gerilim giderme tavlama, $150 - 695\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ısıtılıp işleme tabii tutulmuş parçalarda döküm, kaynak ve soğuk şekil verme işlemlerinden kaynaklanan düzensiz soğuma neticesinde meydana gelen iç gerilmelerin bertaraf edilmesi amacıyla uygulanır. Plastik şekil değiştirme sonunda oluşan bu iç gerilmeler malzemenin kullanıldığı sırada diğer bazı gerilmelerin de etkisi altında kalır.

Üst üste gelen gerilmelerin şiddeti toplanır ve malzemenin çatlamasına neden olur. İşte bu gerilmelerin giderilmesi veya azaltılması amacıyla, metalik malzemeler dönüşüm sıcaklıklarının altındaki uygun bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve daha sonra yavaş yavaş soğutulur.

Bu işlem, bazen dönüşüm sıcaklığı veya kritik sıcaklık altı tavlı olarak da adlandırılır. Sıcak dövülmüş ve dökülmüş malzemelere talaş kaldırma işlemi uygulanmadan önce , dar tolerans aralıklı parçalara yüzey temizlemeden evvel, ve kaynak yapılmış parçalara uygulanabilir.

Gerilim giderme tavına tabi tutulacak olan parçalar, 550... 600 ° C arasındaki bölgeye yavaş erişecek bir şekilde ısıtılır ve burada yaklaşık olarak 4 saat süre ile tavllanır. Soğutma, parçanın bütün kısımları daima aynı sıcaklıkta kalacak şekilde yani çok yavaş olur.

Ara tavlama işlemi de gerilme giderme tavına çok benzeyen bir işlem olup, ötektoid altı çeliklerden sac ve tel yapımında soğuk şekillendirmeye devam edebilmek için, çelik malzemeler A_{c1} dönüşüm sıcaklığının hemen altındaki bir sıcaklığa (550 – 680 °C) kadar ısıtılıp, yeniden kristalleşme sağlandıktan sonra yavaş soğumaya tabi tutulur. Bu işlem ise ara tavlama olarak ifade edilir.

5.5 Menevişleme (Temperleme)

Kırılgan olan martenzitin gerilmelerini alıp rahatlatmak için yapılır. Su verilen malzeme 100 – 600 °C arasında bir sıcaklıkta ısıtılır. Belirli bir süre havada tutulduktan sonra soğutulur.

Soğutma hava, su veya yağda yapılabilir. Fakat çok ince karbürler çökelmeğe başlar. Sertlik az düşer. Meneviş sıcaklığı yükseldikçe, meneviş süresi de uzadıkça karbürler belirginleşir. Ferrit ana doku görünmeye başlar. Daha sonra karbürler yuvarlaklaşırlar ve ferrit ana dokusu hakim olur. Dolayısı ile sertlikte gittikçe düşer, süneklik artar.

5.6 Martemperleme

Sertleştirme işleminin şiddetinden oluşan iç gerilmeler nedeni ile, parçalarda çarpılma riski vardır. Sertleştirme dönüşümü olabilen sıcaklıkta parçaya su vererek, dışarıdan merkeze doğru oluşan iç gerilmeleri minimuma indirmek suretiyle yapılan işleme martemperleme adı verilir.

Parça 150 - 400 °C arasına ısıtılıp, parçanın sıcaklığı uniform oluncaya kadar bu sıcaklıkta tutulur. Çıkarılan parçalar, havada oda sıcaklığına soğutulurlar.

Martemperlenen parçalara, normal sertleştirme işleminden sonraki gibi temperleme işlemi yapılır.

5.7 Östemperleme

Distorsiyonu minimize etmek için, martemperlemeye benzer şekilde yapılan bir işlemdir. Parçalar önceden belirlenen bir zaman içinde 250 – 400 °C arasında ısıtılıp, daha sonra oda sıcaklığına alınarak yapılır. Östemperleme işleminden, malzemedeki daha tok bir yapı elde edilir.

Bu işlem, yüksek karbonlu ve ince kesitli parçalara (yaylar ve benzeri parçalar gibi.) uygulanır. Daha sonra bu parçalara temperleme işlemi uygulanmaz.

5.8 Çeliklere Uygulanan Yüzey İşlemleri

5.8.1 Sementasyon

En eski yüzey sertleştirme işlemlerinden biri olan sementasyon işlemi karbon içeriği düşük olan çelik malzeme yüzeyine katı, sıvı veya gaz ortam içerisinde karbon verilmesi (emdirilmesi) esasına dayanır.

Östenit sıcaklığına ısıtılan (850 – 950 °C) parça istenilen sertlik derinliğine bağlı olarak yüksek sıcaklıkta belirli bir süre tutulur ve daha sonra su, yağ, tuz veya polimer gibi uygun bir sertleştirme ortamında sertleştirilir. Sertleştirme sonrası tüm çeliklere uygulandığı gibi gerilim giderme ve meneviş işlemleri uygulanır.

Bu işlemler sonrası parça yüzeyinde karbonca zengin aşınmaya dirençli bir yapı oluşurken, çekirdekte tok bir yapı meydana gelir.

5.8.2 Nitrürasyon (Nitrüleme)

Malzeme yüzeyinde çok sert bir kabuk oluşturmak için yapılır. Aşınmaya karşı direnci çok artırır. Sementasyon işlemi sonrasında elde edilen sert yüzey 200 – 300 °C ' den yüksek sıcaklıklarda uzun süre dayanmazken, nitrüleme ile elde edilen sert yüzeyin direnci 500 – 600 °C civarındaki yüksek sıcaklıklarda bile uzun süre muhafaza edilir.

Nitrüleme yapılacak çelikler Alüminyum (Al), Krom (Cr), Molibden (Mo), Vanadyum (V) gibi nitrür oluşturabilen elementlere sahip olmalıdırlar. İş parçaları Azot (N) verebilen bir atmosfere yüklenir. Bu, içine amonyak verilen bir ortamda olabilir (Gaz Nitrüleme). Amonyak 500 – 600 °C ' de ayrışarak ortama azot verir. Veya tuz banyosunda olabilir. Eriyen tuz ortama 500 – 600 °C ' de azot bırakır (Sıvı Nitrüleme).

Yüzeye emilen azot, malzemede bulunan Al, Cr, Mo ve V ile nitrürleri oluştururlar. Bu nitrürler ise çok serttir. İş yüzeyinde bu sert kabuk 0,3 – 0,6 mm. kadardır.

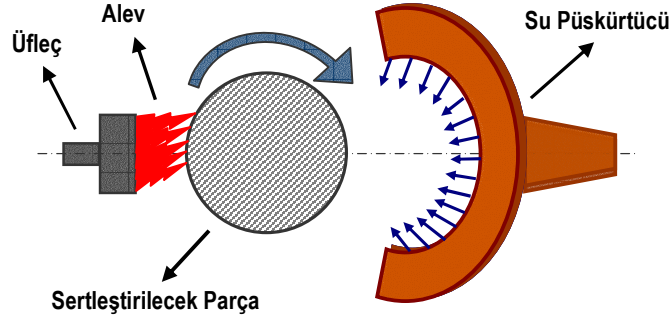
İşlem bitince parçalara ayrıca su vermek gerekmez. Yapısında serpiştirilmiş küçük nitrür parçacıkları vardır. Dış yüzey sementasyonun vereceği sertlikten daha serttir. İç bölgede ise yumuşaktır.

5.8.3 Alevle Yüzey Sertleştirme

Alevle yüzey sertleştirme yönteminde, sertleştirilecek olan yüzey östenitik sıcaklığına kadar hızla ısıtılır ve daha sonra yüzey katmanı üzerinde martenzitik bir yapı oluşturmak için parça hızla soğutulur.

Yüzeyin ısıtılması, örneğin oksit – asetilen veya oksit – hidrojen üflecisi kullanılarak direkt olarak yüksek sıcaklık alevinin temasıyla gerçekleştirilir. Yüzeyi gerekli sıcaklığa kadar ısıtılan parçaya aniden su verilir. Bu işlem, genelde parçaya su püskürtülerek gerçekleştirilir. Bazı durumlarda ise parçaya yağda su verilebilir.

Su verme işleminden sonra parça 180 – 205 °C arasındaki bir sıcaklığa kadar ısıtılıp; havada soğutulmak suretiyle gerilim giderme işlemine tabi tutulur. Alevle sertleştirme çeşitli metotlarla uygulanabilir. Prensipten olarak bunlardan bazıları nokta veya sabit, ilerleyen, dönen veya ilerleyen ve dönen düzeneğin birleştirildiği uygulamalardır. Alevle yüzey sertleştirme işleminin prensip şeması Şekil 5.2 ' de görülmektedir.



Şekil 5.2 Alevle sertleştirme işleminin prensip şeması

Alevle yüzey sertleştirme işlemi sırasında, çeliğin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişim meydana gelmez. Çelik parçanın istenilen bölgesi uygun sıcaklığa kadar ısıtılıp, östenitlendirildikten sonra su verilerek sertleştirilir. Bu nedenle söz konusu işlem, sertleşmeye elverişli ve genelde % 0,3 ile % 0,6 oranları arasında karbon içeren çeliklere uygulanır. Orta karbonlu çeliklere uygulanan bu işlemde, parçanın yalnız yüzeyi alevle ısıtılıp östenitlendirildikten sonra su verilerek sertleştirilir.

Yoğun ısıtma, oksijen – yanıcı gaz (asetilen, propan vb.) alevi yardımıyla sağlanır. Bu işlemde, su verme sıcaklığı normal su verme sertleştirme için gerekli tavlama sıcaklığından daha yüksektir.

Alevle yüzey sertleştirme işlemi, çok büyük dişlilere, kalıp ve mil parçalarının fırında geleneksel şekilde ısıtılmalarının pratik olmadığı durumlardaki valf sapmalarının uçlarına, itme çubuklarına, kamaların aşınmış yüzeylerine, manivelalar gibi parçalara ve yüzey sertleştirme gerektiren küçük kesitlere uygulanabilir. Bu işlem sırasında parça yüzeyinde tufal oluşmadığı gibi, karbon kaybı ve çarpılma sorunlarıyla da karşılaşmaz. Ancak sertleşme derinliğini 1,5 mm.'nin altına indirmek oldukça güçtür.

5.8.4 İndüksiyonla Sertleştirme

İndüksiyonla yüzey sertleştirmenin prensibi, iş parçasının yüzeyini hızlı bir şekilde östenitik şartlara ısıtma ve sert martenzitik katman oluşması için hızla su vermedir. İndüksiyonla yüzey sertleştirme çelikleri genellikle % 0,4 – 0,75 karbon içermelidir.

İndüksiyonla sertleştirmede; çelik parçaların indüksiyonla ısıtılması, sertleştirilecek parçaların yüksek frekanslı alternatif akımın geçtiği su soğutmalı bakır indüksiyon bobini içerisine yerleştirilmesi ile yapılır. İndüksiyon yolu ile parçanın yüzeyinde bir elektrik akımı meydana gelir ve yüzey çok çabuk sertleştirme sıcaklığına ulaşır. Bobinde üretilen hızlı alternatif manyetik alan çeliğin yüzeyinde devamlı akıma neden olur.

İndüksiyon ısıtma ile yüzey sertleştirmenin avantajı yükseltilmiş aşınma direnci ve iyileştirilmiş yorulma dayanımıdır. İndüksiyonla sertleştirilen yüzey tabakası, alevle sertleştirilen yüzey tabakasına benzer. Ancak, indüksiyon yöntemiyle daha düşük sertleşme derinlikleri elde edilebilir.

İndüksiyon yöntemi, alevle sertleşme yönteminde olduğu gibi, orta düzeyde karbon içeren alaşımsız çeliklerin yüzeylerinin sertleştirilmesi için uygulanabilir. Ama genelde çok sayıda simetrik şekilli parçaların yüzeyini sertleştirmek için kullanılan bir usuldür.

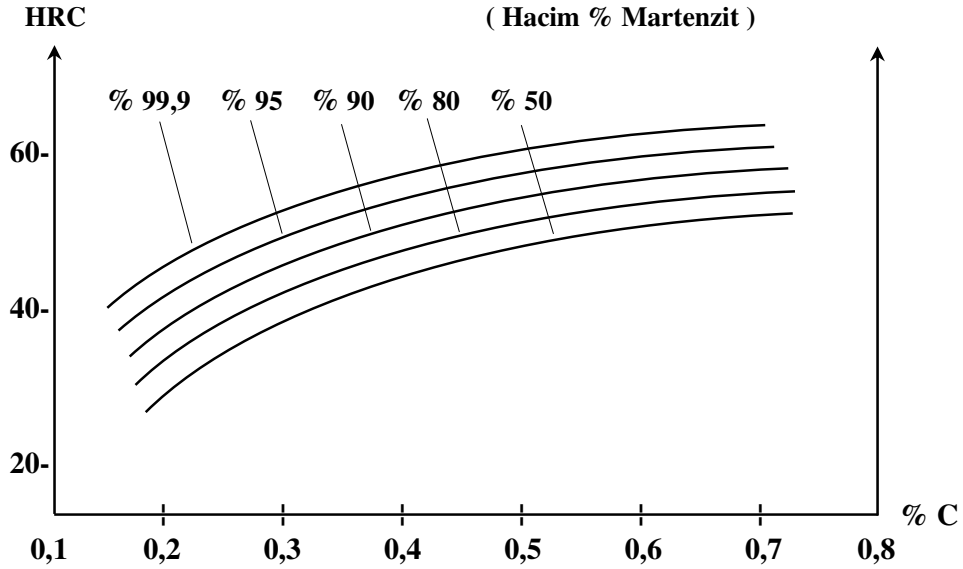
İndüksiyonla ısıtılarak yüzey sertleştirmeye örnek olarak piston kolu, pompa milleri, alın dişlileri, krank milleri, kam milleri, aks milleri, dişliler, kamlar ve valfler genelde indüksiyonla sertleştirilir.

İndüksiyon yöntemiyle sertleştirilen parçalarda çarpılma riski yoktur. Bu usul etrafa gaz yaymaz ve her yerde kurulabilecek küçük tesislere ihtiyaç gösterir. Sürekli bir üretim için kullanılmaya elverişlidir. Üretim hattında uygulanabilir. İndüksiyonla sertleştirme işleminde otomatik cihazlar kullanıldığından kişisel beceriye fazla gereksinim duyulmaz.

Ancak cihazın oldukça pahalı olması, elektrik üretimi ve bakım masrafının oldukça yüksek olması, karmaşık şekilli veya az sayıdaki parçaların sertleştirilmesi için ekonomik olmaması bu yöntemin dezavantajları olarak sayılabilir.

6. GENEL ANLAMDA SERTLEŞEBİLİRLİK

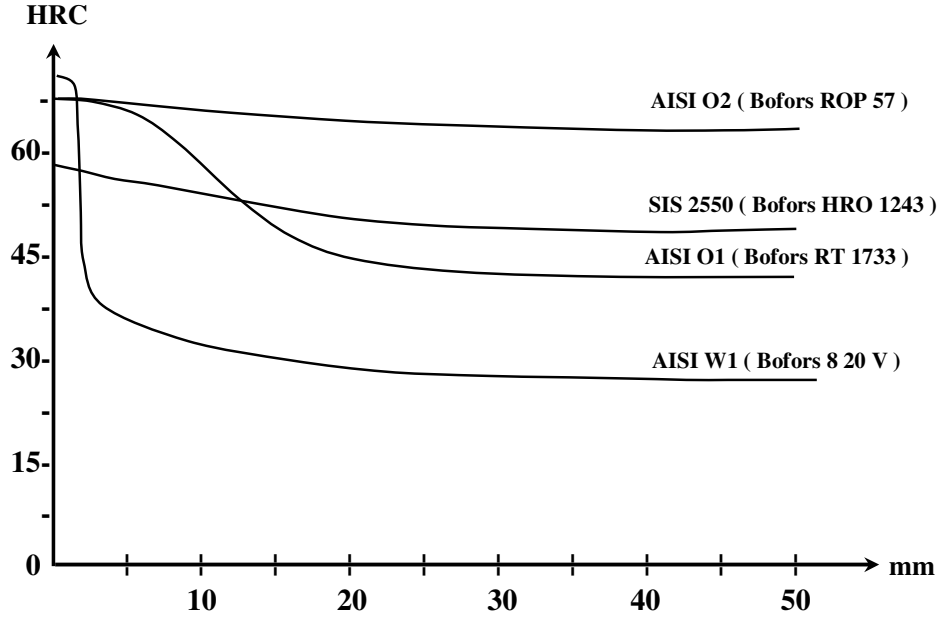
Soğuma hızı, kritik soğuma hızından daha yüksek tutularak (diğ er bir ifadeyle perlit veya beynit dönüşümü tamamen engellenerek), su verme sonucu sağlanan sertlik, prensip olarak çeliğ in karbon miktarına bağlıdır. Eğ er soğuma hızı kritik soğuma hızından daha düşük ise, nihai yapıdaki martenzit miktarı ve buna bağlı olarak sertlik azalır. Bu tür etkilere neden olan, östenit içerisinde erimiş halde bulunan karbonun miktarıdır. Östenitleme işleminden sonra karbür olarak kalan karbon martenzit reaksiyonunda yer almadığı için martenzitin sertliğine hiç etki etmez. Şekil 6.1 ' de martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişki görülmektedir. [6]



Şekil 6.1 Martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişkinin şematik gösterimi

Sertleşebilirlik bir çeliğ in su verme işlemiyle martenzite dönüşümü sonucu sertleşme kabiliyetidir. Sertleşebilirlik su vermeye elde edilen sertliğ in derinliğini saptar. Bu derinlik, martenzitin yüzeyden itibaren yarı miktarına indiğ i veya daha kesin olarak, % 50 martenzit ve beynitin mevcut olduğ u mesafe olarak belirtilir. Yüksek sertleşebilirliğ e sahip bir çeliğ in karakteristik özelliğ i onun büyük bir sertleşme derinliğ i göstermesi veya büyük parçalar halinde tam olarak sertleştirilebilmesidir. [6]

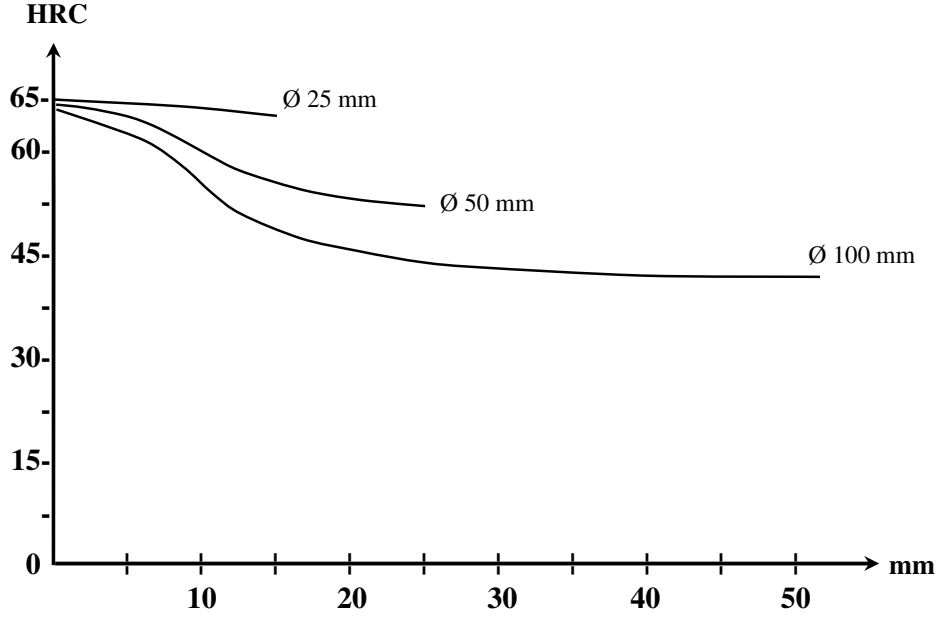
Martenzit ile beynitin elektron mikroskobu olmaksızın ayırt edilebilmesi zor olabilir. Sertleşme derinliği takımlar ve yapı çelikleri için çok önemli olduğundan, bu özellik genellikle Şekil 6. 2 ' de olduğu gibi diyagramlar sayesinde belirtilir.



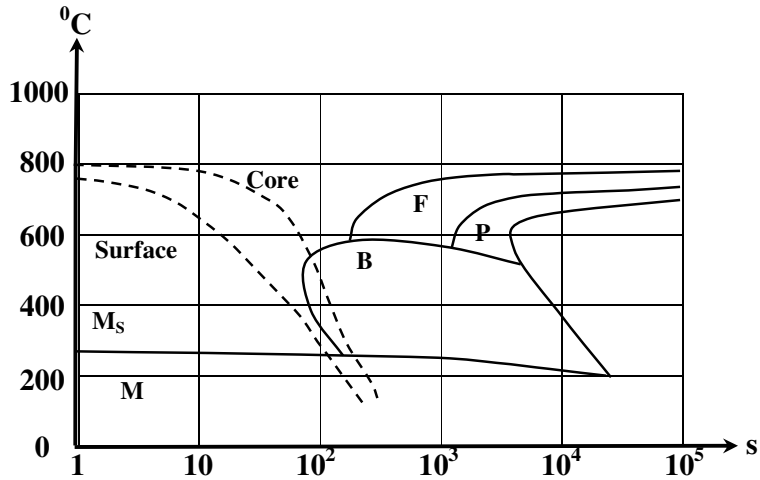
Şekil 6.2 Çeşitli çelikler için sertleşme derinliği (100 mm çapında W1 çeliğinden yapılmış çubuklar) [6]

Sertleşme derinliği bu tarzda ölçüldüğü zaman, soğutma ortamının da mutlaka belirtilmesi gerekir. Şekil 6.2 ' deki örnekte sade karbonlu W1 çeliği suda, diğerleri ise yağda su verilmişlerdir. Şekil 6.3 verilecek parçaların boyutları ne kadar büyük ise, sertleşme derinliğinin ve çekirdekteki sertliğin o kadar az olacağını göstermektedir. Bir çeliğin yüzeyinin merkeze oranla neden daha sert olduğu, sürekli soğuma dönüşüm (CCT) eğrilerinden yararlanılarak açıklanabilir. Şekil 6.4 ' deki CCT diyagramından açık olarak görüldüğü gibi, çeliğin yüzeyi merkezinden daha hızlı soğuduğu için, yüzeyi temsil eden soğuma eğrisi, ferrit ve beynit eğrisinin burun kısmının önünden geçer ve sonuç olarak yalnız martenzit meydana gelir. Merkez daha yavaş soğuduğu için, merkezi temsil eden soğuma eğrisi beynit burnunu keserek geçer. Bu nedenle merkezde soğuma sonucu bir miktar beynit oluşması söz konusudur. Böyle bir durum çekirdekteki sertliğin düşük olmasına neden olur. [6]

Çeliğin boyutları arttığı zaman, soğuma hızı düşer ve çekirdek sertliği ferrit ve perlit oluşumu yüzünden halen daha fazla azalma gösterir.



Şekil 6.3 AISI 01 çeliğinin yağda su verilmesinden sonra farklı boyutlardaki sertleşme derinliği. Deney numunesi 25 mm çapında ve 850°C den yağda su verilmiştir. Deney numunesi 50 mm çapında ve 820 °C den yağda su verilmiştir. Deney numunesi 100 mm çapında ve 840°C den yağda su verilmiştir. [6]



Şekil 6.4 95 mm. çapında yağda su verilmiş çelik bir çubuğun yüzeyi ve çekirdeği (merkezi) için soğuma eğrilerinin şematik gösterilişi [6]

Demir - karbon denge diyagramı , ısıtım proseslerinin zaman boyutunu dikkate almadığı için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden ısıtım süreçlerini daha iyi anlayabilmek için “ Zaman – Sıcaklık – Dönüşüm ” (TTT , Time – Temperature – Transformation) diyagramları geliştirilmiştir.

Sabit sıcaklıkta dönüşümün (izotermal dönüşümün) ilerleyişini gösteren TTT diyagramları; izotermal tavlama östemperleme veya mertemperleme gibi izotermal işlemleri; diyagramlarıyla çeşitli çeliklerin sertleşebilirlikleri tahmini olarak saptayabilmektedir.

CCT şeklinde gösterilen sürekli soğuma dönüşüm eğrileri, ısıtım işlemle uğraşan kişilerin soğuma hızının değişimine bağlı olarak hangi fazın oluşacağını tahmin etmeleri için yapılmışlardır. Jominy numunesi üzerindeki noktaların her biri bir soğuma hızına tekabül ettiğinden, jominy deneyinden sağlanan bilgiler kullanılarak farklı jominy mesafelerindeki soğuma hızlarına uygun soğuma eğrileri üzerlerine süper empoze edilmiş (üst üste getirilmiş) ve bu sayede CCT diyagramlarını oluşturmak mümkün olmuştur.

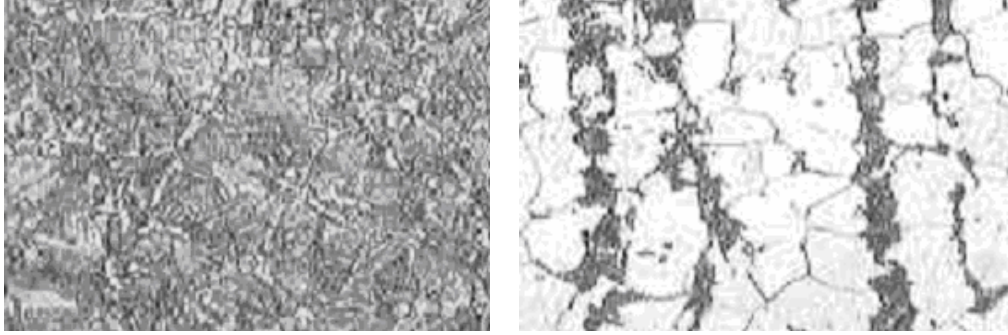
Homojen bir östenitik yapının meydana gelmesinde ilk safha perlit içinde östenitin çekirdeklenmesi ve büyümesidir. Perlit tamamen ortadan kalktığına dahi bazı karbür parçaları ortada kalır ve bu nedenle karbon dağılımında heterojenlik meydana gelir. Bunları önlemek için sıcaklığı yükseltmeli yada başlangıçtaki karbür parçalarını küçültmeliyiz. Su verme için seçilecek sıcaklık , ötektoid altı çeliklerde A_3 , ötektoid üstü çeliklerde A_1 eğrisinin $30 - 50$ °C üzerindedir. Isıtım süresi ise ısıtılan parça kesitinin 25 mm ' si için 1 saattir. Su vermede östenitleme sıcaklığı alçak tutulur. [6]

Böylece ;

- a** - Çatlama ve distorsiyona
- b** - Oksidasyona ve karbürüzyona
- c** - Tane büyümesine eğilim azaltılmış olur.

Çeliklerde östeniti A_1 ' in çok altında olmayan sıcaklıklara soğutursak yüzey merkezli kübik yapı hacim merkezli kübik yapıya dönüşür. Ani soğutma yapılırsa ferrit çökler.

Karbon miktarı az olduğu için dışarı kaçamaz ve karbon birikimi artar. Karbonca zengin HMK kafes distorsiyona uğrayarak tetragonal yapıya dönüşür. Bu yapıya da **martenzit** adı verilir. (Resim 6.1)



Martenzit

Ferit / Perlit

Resim 6.1 Ferrit / Perlit ve Martenzit yapıların mikroskop altında görünümü

Martenzit yarı kararlı bir faz olup sert , dayanıklı ve kırılgandır. Martenzitin sertliği C miktarı arttıkça artar ve martenzitin oluşumu zamana bağlı değildir. Martenzit miktarı , ostenitleme şartlarına ve soğuma hızına bağlıdır.

Sertleşebilirlik , çeliğin su vermede martenzit oluşumu ile sertleşme özelliğidir. Farklı çelik türlerinin sertleşebilirliğinin karşılaştırılması ise , ancak aynı çubuk çapı ve aynı su verme ortamı söz konusu olduğunda mümkün olabilir.

Sertleşebilirlik için 2 tür deney yöntemi mevcuttur. Bunlar ;

- 1 – Grossman sertleşebilirlik deneyi
- 2 – Jominy (Uç su verme) sertleşebilirlik deneyi

Grossman yöntemi en doğru sonucu veren bir yöntem olmasına rağmen yüksek maliyetinden dolayı günümüzde az kullanılan bir yöntem olarak literatürde yerini almıştır.

7. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÇELİKLER VE UYGULAMA ALANLARI

7.1 SAE/AISI 1040 Çeliği

SAE 1040 Çeliği, imalat (yapı) çeliği olarak da bilinen, piyasadan kolaylıkla temin edilebilen ve ısıt işlemler neticesinde büyük sertlik değerlerine ulaşabilen bir çelik türü olarak karşımıza çıkar.

Yapı çelikleri genel olarak ilk planda, çekme dayanımları ve akma sınırı değerleri göz önünde tutulduğundan çelik konstrüksiyon, köprü yapımı, basınçlı kap ve donanımları, taşıt yapımı ve makine konstrüksiyonlarında, levha, sac, bina, gemi yapımında kullanılmakla birlikte; SAE 1040 Çeliği, transmisyon millerinin, rayların ve dişlilerin yapımında çok daha fazla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan çeliklerin Spektro Analizi, Eskişehir' de bulunan TÜLOMSAŞ ' da (Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi Anonim Şirketi) yapılmıştır.

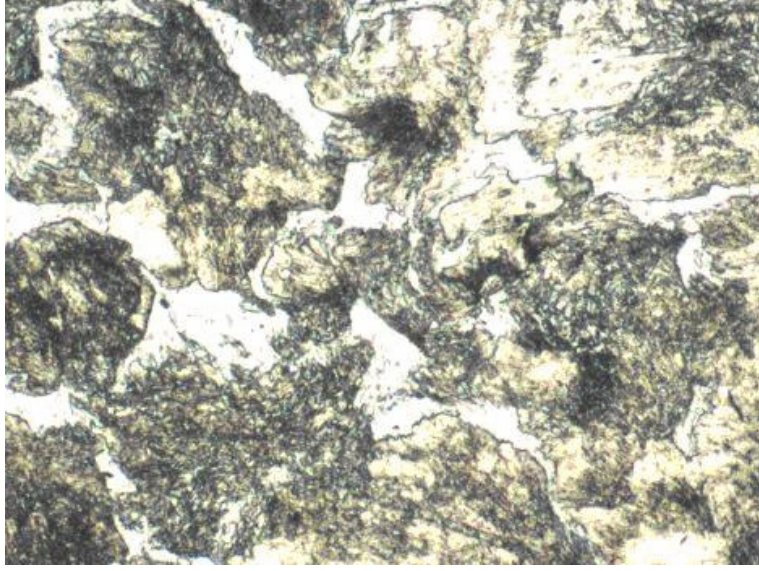
SAE/AISI 1040 İmalat Çeliğinin analiz sonuçları Çizelge 7.1 ' de görülmektedir.

Çizelge 7.1 SAE/AISI 1040 (C35) İmalat (Yapı) Çeliğinin Spektro Analiz Sonuçları
(Eskişehir – TÜLOMSAŞ)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Fe
0.385	0.235	0.732	0.021	0.011	0.185	0.139	0.027	0.158	0.055	98.0

Yine aynı çeliğin ısıt işlemden önceki mikro yapısı ve sertliği Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Metalografi Laboratuvarında incelenmiş ve aşağıda gösterilmiştir. (Resim 7.1)

Sertliği (HRC) : 9,7



Resim 7.1 SAE/AISI 1040 eliğinin ısıl işlem öncesi sertliği ve mikro yapısı (500x)

7.2 SAE/AISI 2738 eliği

En geliştirilmiş plastik kalıp çeliğidir. Taşıt aksesuarları yapımında, büro makine ve araçlarının yapımında ve en önemlisi de büyük basınçla çalışan pres ve kalıplarda kullanılmaktadır. Polisajlama özelliği yüksektir. (www.osmanlıcelik.com.tr)

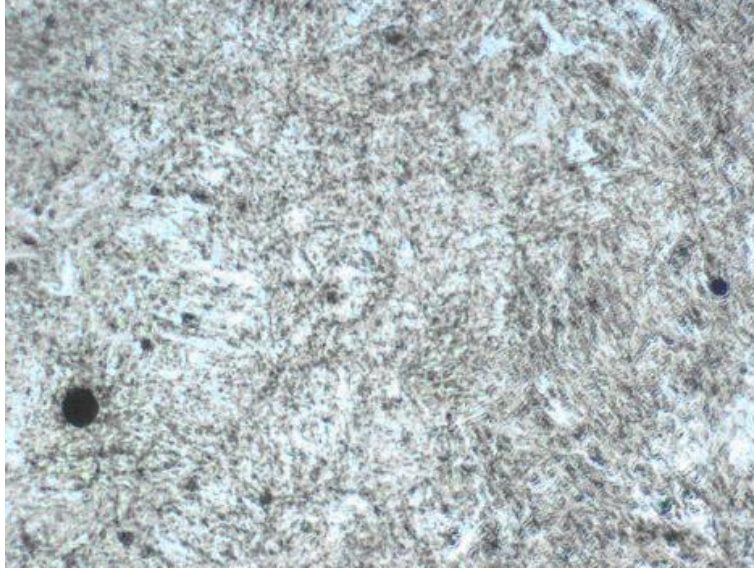
Tüm kesiti boyunca aynı sertliğin elde edildiği, ayna parlaklığı özelliği, işlenilebilirliği nedeniyle plastik kalıplarda geniş kullanım alanı bulmuştur. Nitrasyon, krom kaplama ve desenleme için uygundur. (www.mizancelik.com.tr)

Bu çalışmada kullanılan SAE/AISI 2738 Plastik Kalıp eliğinin spektro analiz sonuçları izelge 7.2 ' de, ısıl işlemden önceki mikro yapısı ve sertliği ise Resim 7.2 ' de görülmektedir.

Çizelge 7.2 SAE/AISI 2738 (40CrMnNiMo8-6-4) Çeliğinin Spektro Analiz Sonuçları
(Eskişehir – TÜLOMSAŞ)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Fe
0.386	0.314	1.230	0.020	0.018	1.890	0.930	0.172	0.017	0.114	94.9

Sertliği (HRC) : 38,4



Resim 7.2 SAE/AISI 2738 Çeliğinin ısıtıl işlem öncesi sertliği ve mikro yapısı (500x)

7.3 SAE/AISI 304 Çeliği

Paslanmaz çeliğin temel çeşididir. 400 °C ' ye kadar yüksek oksidasyon sağlar. Mekanik direnç ve sürtünme mukavemeti yüksektir. Mutfak eşyaları ve ev aletleri yapımında, endüstriyel mutfaklarda, kimya sektöründe, gıda sektöründe, otomotiv sektöründe ve tıp tekniğinde çok geniş kullanım alanı vardır.

Bu çalışmada kullanılan SAE/AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin spektro analiz sonuçları Çizelge 7.3 ' de, ısıtıl işlemden önceki mikro yapısı ve sertliği ise Resim 7.3 'de görülmektedir.

Çizelge 7.3 SAE/AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Spektro Analiz Sonuçları
(Eskişehir – TÜLOMSAŞ)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Co	Sn	Fe
0.240	0.272	1.320	0.013	0.024	18.6	8.16	0.224	0.061	0.081	0.072	70.7

Sertliği (HRC) : 21

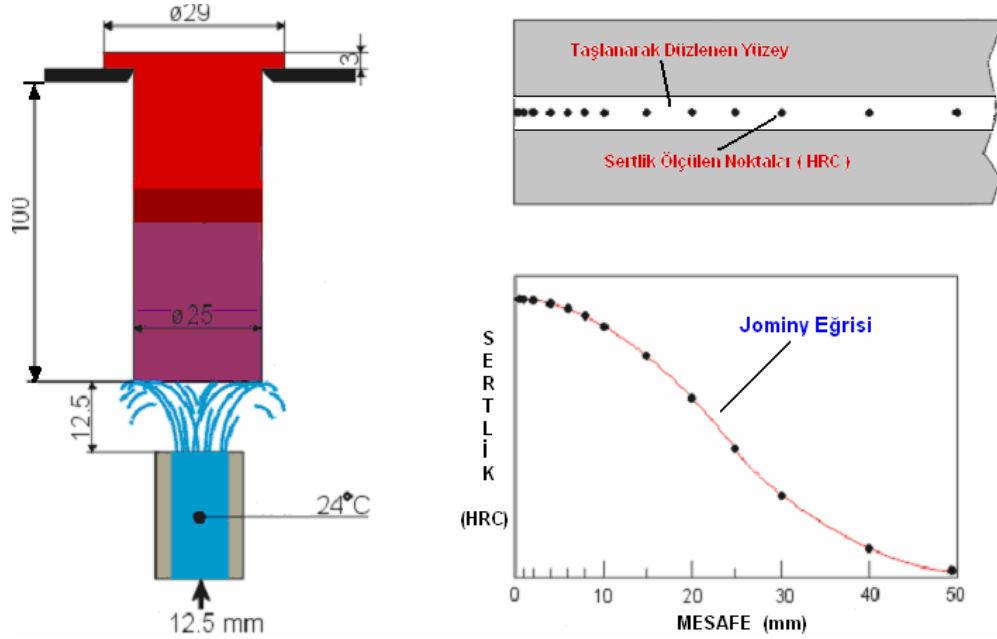


Resim 7.3 SAE/AISI 304 Çeliğinin ısıtım öncesi sertliği ve mikro yapısı (100x)

8. JOMINY SERTLEŞEBİLİRLİK DENEYİ VE UYGULANMASI

8.1 Jominy – Uç Su Verme Sertleşebilirlik Deneyi

Laboratuvar şartlarında yapılması ve kullanılması hem daha kolay hem de daha ekonomik olması açısından en yaygın kullanılan sertleşebilirlik deneyidir. Bu yöntemde 25 mm çapında 100 mm uzunluğunda silindirik bir çubuk kullanılır. Numune su verme sıcaklığına ısıtılır, bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir ve daha sonra bir ucundan su püskürtülerek numune soğutulur. (Şekil 8.1) Su verilen uç , çok çabuk soğuduğundan karbon yüzdesine göre maksimum sertlikte olacak ve yine uçtan uzaklaştıkça soğuma hızı ve sertlik azalacaktır.

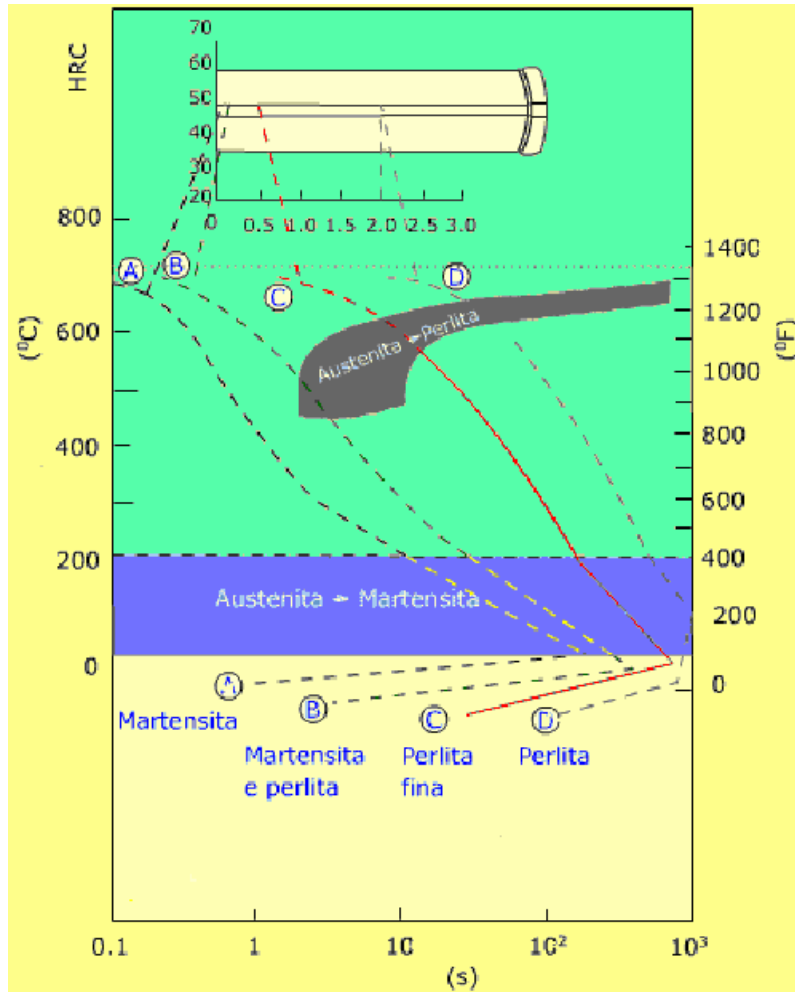


Şekil 8.1 Jominy (Uç su verme) sertleşebilirlik deneyinin şematik gösterimi

Daha sonra çubuğun yüzeyi 0,4 mm derinlikte taşlanarak düzgün yüzey elde edilir. Daha sonra bu yüzey parlatılır ve su verilmiş uçtan başlanılarak çubuk boyunca belirli aralıklarla sertlikleri ölçülür. Bu sertlik değerleri ve su verilmiş uçtan itibaren olan eşdeğer mesafeleri bir diyagram üzerinde belirtilir. Bu eğrilere **Jominy Eğrileri** adı verilir.

Jominy eğrileri, kalite kontrolün en kıymetli yöntemi olarak, aynı sınıf çeliklerin farklı sertleşebilirliklerini mukayese için kullanılabilir. İlk akla gelen eğriler olmasının yanında, çeşitli ortamlarda soğutulmuş farklı boyutlardaki çelik çubuklarda elde edilen beklenen sertlik dağılımını tahmin etmede de kullanılabilirler. Jominy numunesinde farklı mesafelerdeki pratik soğuma hızları, çeşitli ortamlarda soğutulmuş farklı çaplardaki çubuklardaki pratik soğuma hızları ile mukayese edilebilir.

Jominy (Uç su verme) sertleşebilirlik deneyine tabi tutulan bir çelikte malzemede meydana gelen yapı değişimleri Şekil 8.2 ' de görülmektedir.



Şekil 8.2 Jominy deneyinde meydana gelen yapılar (<http://www2.umist.ac.uk>)

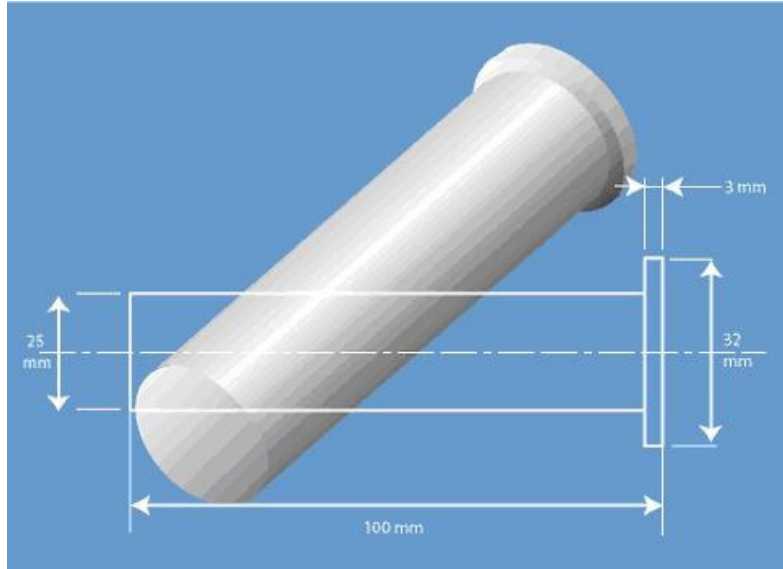
8.2 Jominy Deneyi için Gerekli Olan Malzeme ve Teçhizatlar

Jominy – uç su verme deneyinin yapılabilmesi için gerekli olan başlıca malzeme ve teçhizatlar şu şekilde sayılabilir;

- 1 – Deneyde kullanılacak numune parçalar,
- 2 – Isıtma fırını (Hücre fırın veya tuz banyosu),
- 3 – Jominy test cihazı,
- 4 – Satih taşlama cihazı,
- 5 – Sertlik ölçme cihazı (Rockwel C),
- 6 – Yardımcı malzemeler (Eldiven, Gözlük, Maşa v.s.).

Bu çalışmada kullanılan malzeme ve teçhizatlar aşağıda gösterilmiştir;

- ❖ Bu çalışmada kullanılacak olan numunelerin resimleri aşağıda Resim 8.1’ de görülmektedir. Jominy (Alın su verme) deneyinde kullanılan numunelerin standart ölçüleri Şekil 8.3 ’ de verilmiştir.



Şekil 8.3 Jominy deneyinde kullanılan numune parçaların ölçüleri



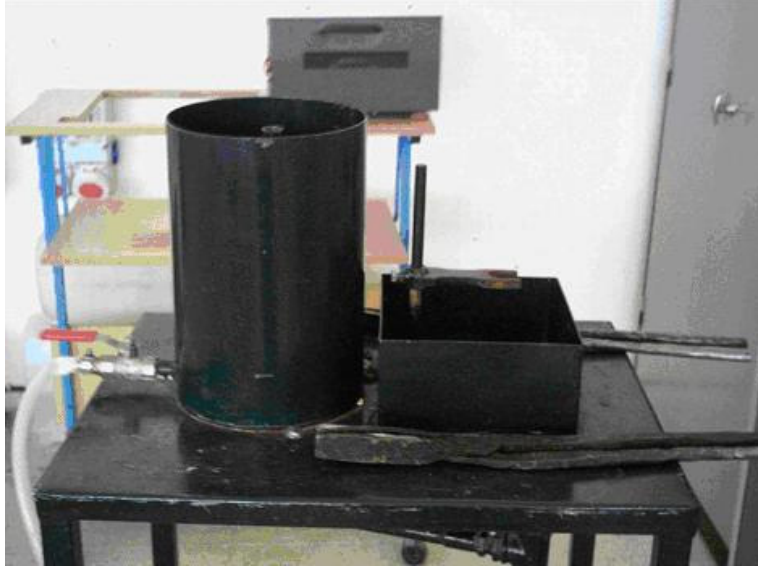
Resim 8.1 Denejde kullanılan numune parçalar

❖ Isıtma fırını (Resim 8.2)



Resim 8.2 Denejde kullanılan fırın (AKÜ.T.E.F - Metal Eğt. Bölümü)

❖ Jominy test cihazı (Resim 8.3)



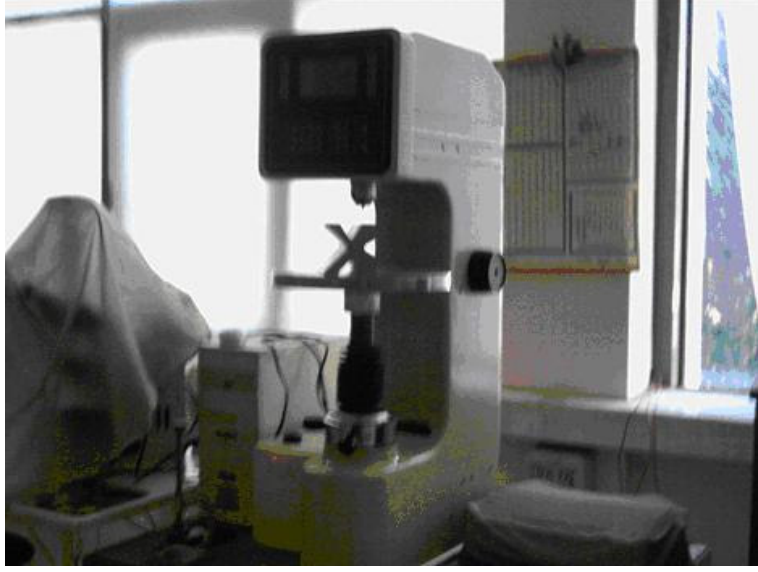
Resim 8.3 Denejde kullanılan jominy test cihazı (AKÜ.T.E.F - Metal Eğt. Bölümü)

❖ Satih taşlama cihazı (Resim 8.4)



Resim 8.4 Numune parçaların taşlandığı tezgah (Ayzen Motor Yenileme – Edremit)

❖ Sertlik ölçme cihazı (Rockwell C) (Resim 8.5)



Resim 8.5 Numune sertliklerinin ölçüldüğü cihaz (AKÜ.T.E.F - Metal Eğitimi)

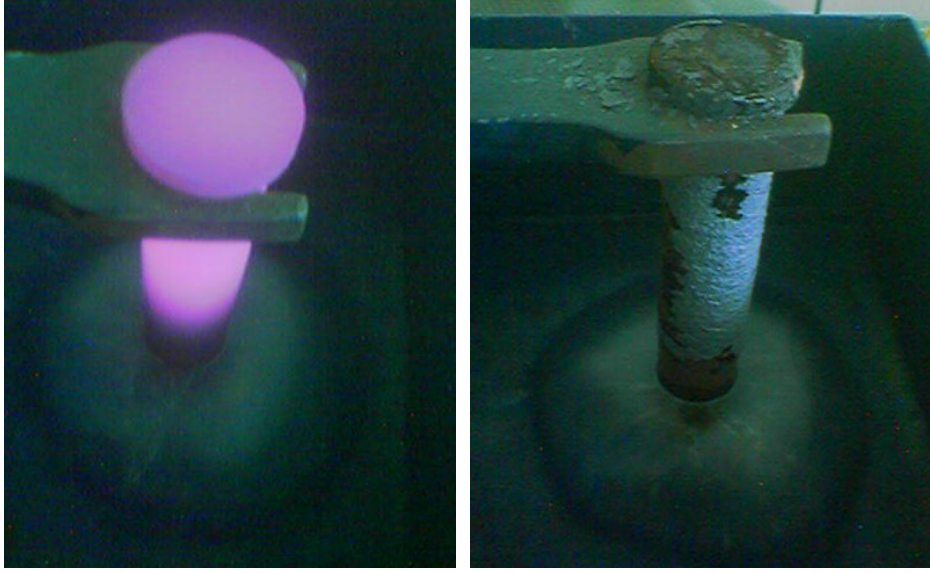
8.3 Jominy Deneyinin Yapılışı

8.3.1 I. Aşama - Isıtma İşlemi

Sertleşebilirliği tespit edilecek malzeme 100 mm boy ve 25 mm çapında hazırlandıktan sonra bu malzemenin sertleştirilmesi için tavsiye edilen sertleştirme sıcaklığa ısıtılır. Parçaların tamamen östenit yapıda olması için kritik sıcaklığın üzerinde ısıtılırlar. Isıtma işlemi, hücre fırında veya tuz banyosunda yapılabilir (Fırının sıcaklık ayarı, tavsiye edilen sıcaklık aralığının üst sınırında olmalı ve ısıtmada parça yüzeyinde konsantrasyon değişmesi olmamalıdır). Parçada homojen sıcaklık dağılımı sağlayabilmek için, parça yüzeyi işlem sıcaklığına ulaştıktan sonra, en az yarım saat beklenmelidir.

8.3.2 II. Aşama - Ani Soğutma İşlemi

Isıtma işlemi tamamlanmış malzeme fırından alınarak, vakit geçirilmeden Jominy test cihazına yerleştirilir. Numune, yalnızca alt yüzeyinden soğutulacak ve parçanın kenarlarına su sıçramayacak şekilde, su ile soğutulur. Soğutma işlemi, numune parça el ile rahat tutulabilecek şekilde soğuyana kadar devam eder. (Resim 8.6)



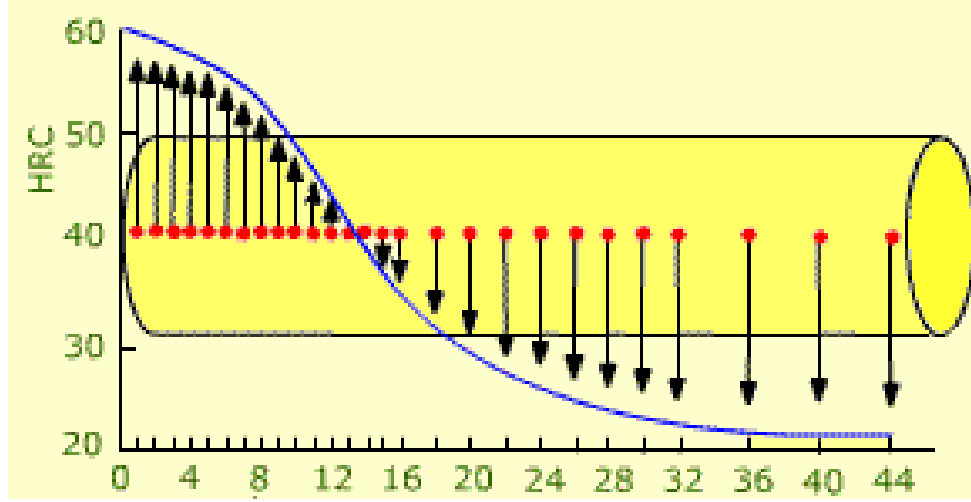
Resim 8.6 Numune parçaların soğutulması anı (AKÜ.T.E.F - Metal Eğt. Bölümü)

8.3.3 III. Aşama - Ölçme İşlemleri

Parça soğutulduktan sonra silindirik yüzeyi boyunca, 3 mm genişliğinde (yaklaşık 0,4 mm derinliğinde) taşlanır ve soğutulan alın yüzeyinden itibaren belirli aralıklarda (1,5, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 70 mm) sertlik değerleri, Rockwell C yöntemine göre ölçülür. Ölçümlerde 20 HRC ' nin altında olan sertlik değerleri dikkate alınmaz.

8.3.4 IV. Aşama - Jominy Eğrisinin Çizilmesi

Jominy alın yüzeyinden itibaren belirli aralıklarla ölçülerek bulunan HRC cinsinden sertlik değerleri ile bu mesafeler arasında, Şekil 8.4 ' e benzer bir diyagram çizilir.



Şekil 8.4 Sertlik ölçümleri sonucunda çizilen diyagrama bir örnek

Deney sonucu bulunan Jominy eğrisinden yararlanmak suretiyle; bu malzemeden yapılan parçaların boyutlarına bağlı olarak sertleştirme sonrası kesitinde meydana gelen sertlik dağılımının ne olacağını tespiti ve çeliğin su verme kabiliyetinin tayini yapılabilmektedir.

Endüstride kullanılan parçalar, ani soğutma ile soğutulduktan sonra çok kırılgan olduğundan (martenzitik yapı), mutlaka menevişleme uygulanır. İstenilen meneviş uygulaması, aynı koşullarda Jominy numunelerine de tatbik edilerek, menevişleme sonrasında, kesitte sertlik dağılımının nasıl olacağı da tespit edilebilir.

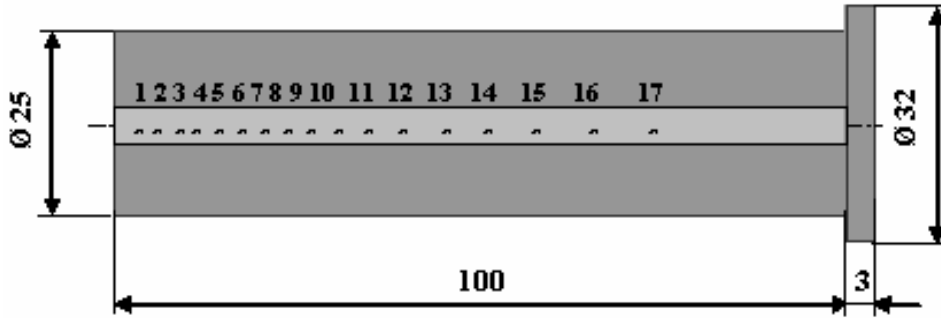
9. DENEY SONUÇLARI

9.1 Jominy – Uç su verme deneyi sonrasında SAE/AISI 1040 çeliğinin durumu

AISI/SAE 1040 çeliğinden hazırlanmış olduğum jominy deney çubuğu Protherm marka ısıtılma fırınında 850 °C sıcaklıkta ısıtılmış ; bu sıcaklıkta 30 dk bekletildikten sonra alınarak hızlı bir şekilde jominy test cihazına yerleştirilmiş ve alından su verilmiştir.

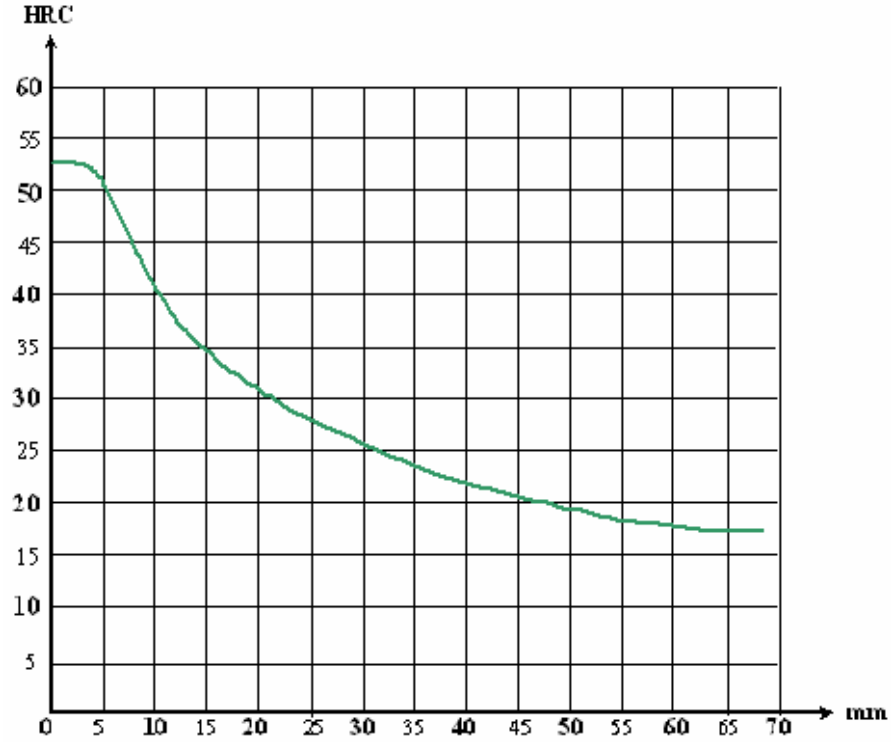
Parça tamamen soğuduğunda alınarak taşlama cihazına bağlanmış, silindirik yüzeyi boydan boya taşlanmış ve taşlanarak düzeltilmiş bu yüzey boyunca belirli noktalardan Rockwell C (HRC) olarak sertlik ölçümleri alınmıştır.

Parçanın alından yukarıya doğru 17 noktadan alınarak oluşturulan sertlik tablosu , neticede meydana gelen grafik ve uçtan itibaren çekilmiş olan mikro yapı resimleri aşağıda görülmektedir.



Çizelge 9.1 1040 çeliği deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu

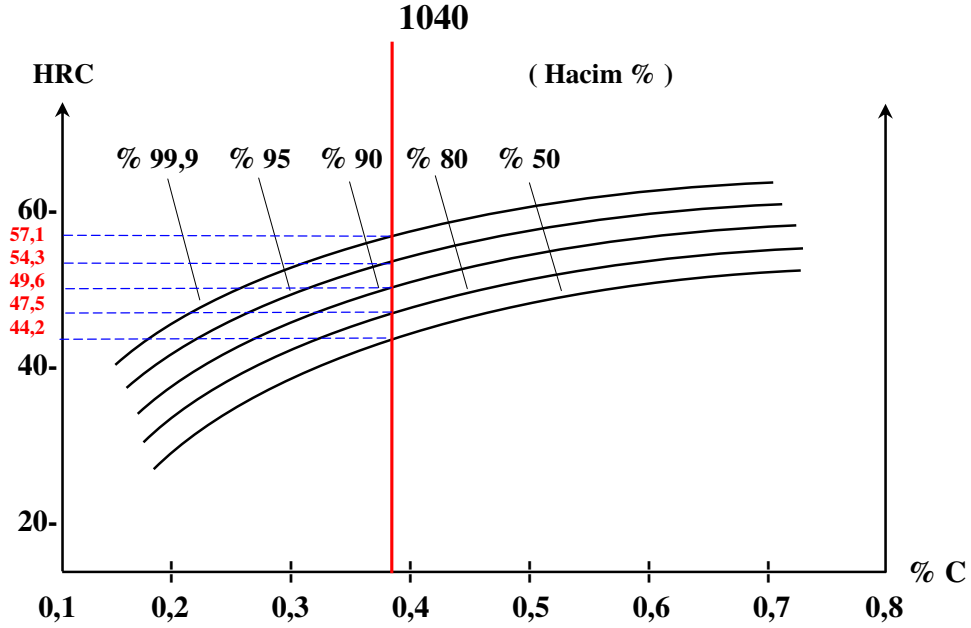
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	5	8	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	63	68
HRC	52,3	51,5	43,6	38,1	36,4	34,7	31,2	29,3	25,8	23,1	22,5	21,4	19,8	19,2	18,7	18,3	18,1



Şekil 9.1 SAE 1040 çeliğinde deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramı

Yukarıda da görüldüğü üzere SAE 1040 çeliği Jominy uç su verme deneyine tabi tutulmadan önce ölçüldüğünde sertliği 9,7 HRC olarak bulunmuştu; su verme işleminden sonra ölçüldüğünde ise su verilen uçtan 2 mm mesafede 52,3 HRC sertlik olduğu görülmüştür. Çok mükemmel bir sertlik artışı elde edilmiştir.

Aşağıda martenzit yapının çeşitli miktarı için çelik sertliği diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda çeliklerin kimyasal analizlerinden elde edilen karbon değeri yerine konularak martenzit hacimlerini kesen noktalar yatay olarak sertlik eksenine aktarılır ve çeliğin karbon miktarına göre sertlik değerleri bulunur.



Şekil 9.2 1040 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi

Bu diyagramdan elde edilen sertlik değerleri sertlik (HRC) su verilen alından uzaklık x (mm) diyagramında yerine konularak x (mm) yatay eksenine dik indirilir ve x (mm) mesafesini kestiği uzunluk birimi su verme derinliği olarak tayin edilir.

Şu halde eğer bu diyagramdan elde edilen sertlik değerleri HRC – mm diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede şu değerlere ulaşılabilir;

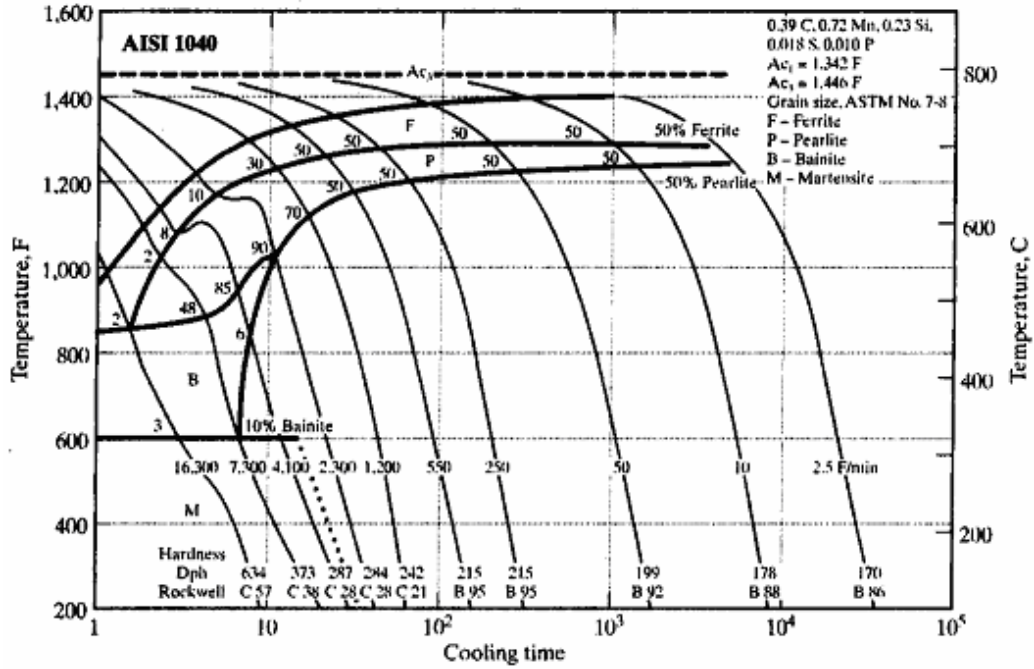
- 6 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 7,5 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 9 mm derinlikte % 50 Martenzit

Sulanarak sertleştirilen çeliklerin sertlik düzeyi karbon oranına bağlıdır. Bileşimindeki % C miktarı arttıkça sertleştirilmiş çeliğin sertlik oranı da artar. Ancak sertleştirilmiş çeliğe sertliği kazandıran, çeliğin iç yapısında hızlı soğuma sonucunda oluşan martenzittir. Martenzit, çeliğin iç yapısında karbür ve nitrürlerden sonra en sert dokudur. Martenzit dokusu aşırı doymuş bir katı çözelti olduğundan, sertliği içinde bulundurduğu karbon oranına bağlıdır. Karbon arttıkça martenzitin sertliği de artar. [13]

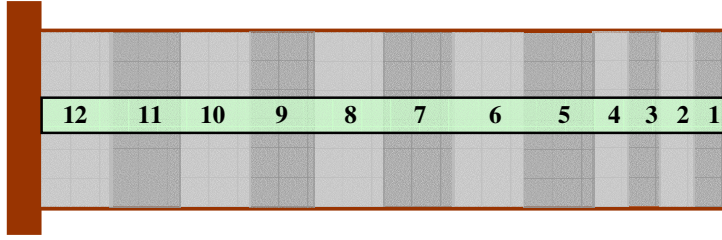
Bir sürekli soğuma diyagramı belirli bir çelikte farklı soğuma hızları boyunca meydana gelen fazları gösterdiğinden, jominy deneyinden elde edilen bilgilerle bu tip diyagramlar arasında bir bağlantı kurmanın mümkün olması gerekir. Jominy çubuğu üzerindeki her noktanın soğuma hızı karakteristikleri bilinir, böylece seçilmiş noktalarla ilişkili eğrileri bir sürekli soğuma diyagramı üzerine çakıştırılabilir.

Sonuç olarak bir jominy deney çubuğu boyunca belli noktalarda beklenen fazları tanımlayabiliriz.

Üstüne basılarak söylenmelidir ki, Jominy deney çubuğu üzerindeki belli noktaların soğuma hızları çeliğin bileşimi değiştikçe daha geniş alanlarda çeşitlenecektir. Çünkü değişimler ısı iletkenlikle olur. Fakat düşük alaşımli çelikler için durum bu kadar önemli değildir (Honeycombe ve Hancock, 1981).

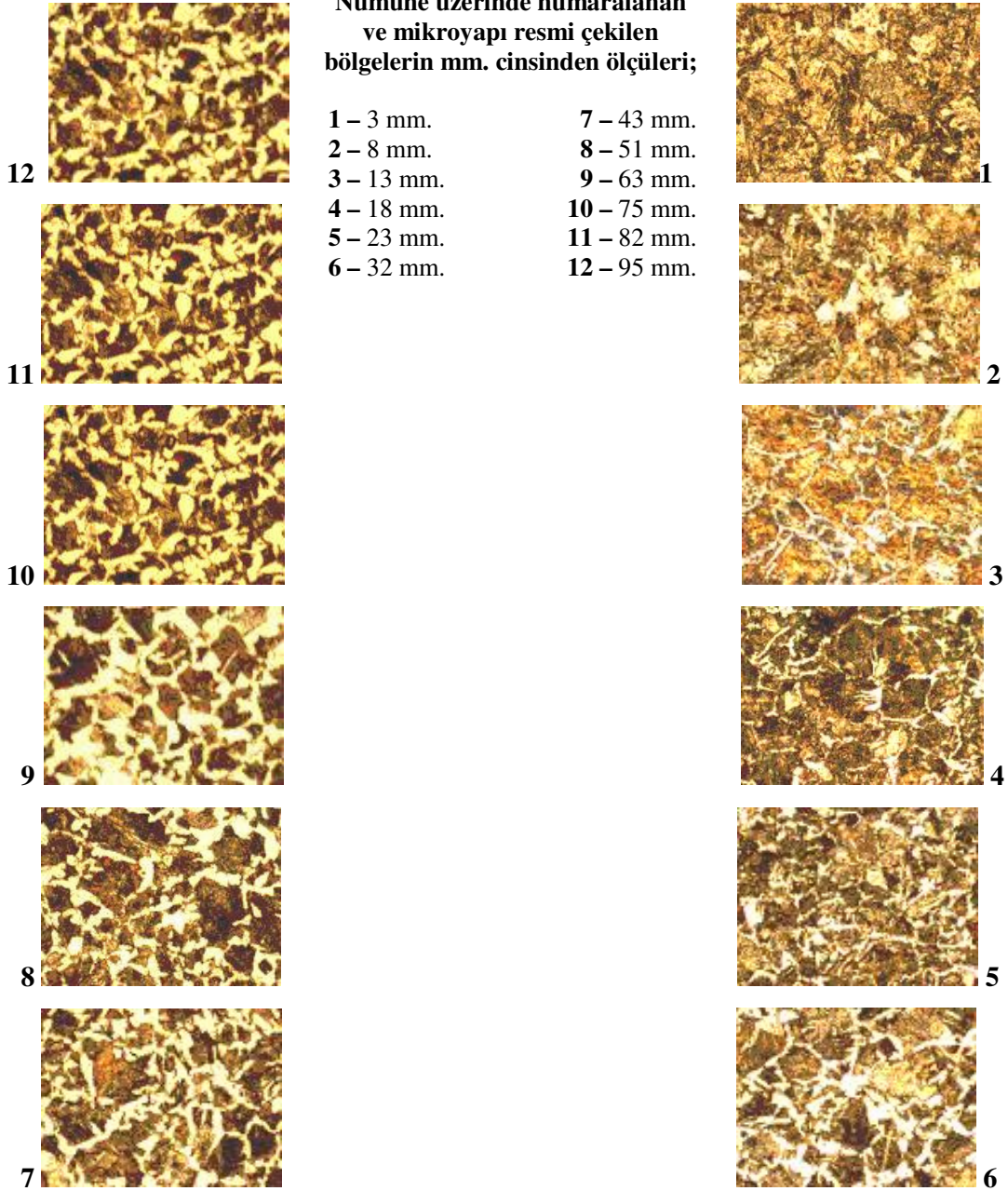


Şekil 9.3 1040 çeliğine ait CCT (Continuous Cooling Transformation) diyagramı



Numune üzerinde numaralanan ve mikroyapı resmi çekilen bölgelerin mm. cinsinden ölçüleri;

1 – 3 mm.	7 – 43 mm.
2 – 8 mm.	8 – 51 mm.
3 – 13 mm.	9 – 63 mm.
4 – 18 mm.	10 – 75 mm.
5 – 23 mm.	11 – 82 mm.
6 – 32 mm.	12 – 95 mm.



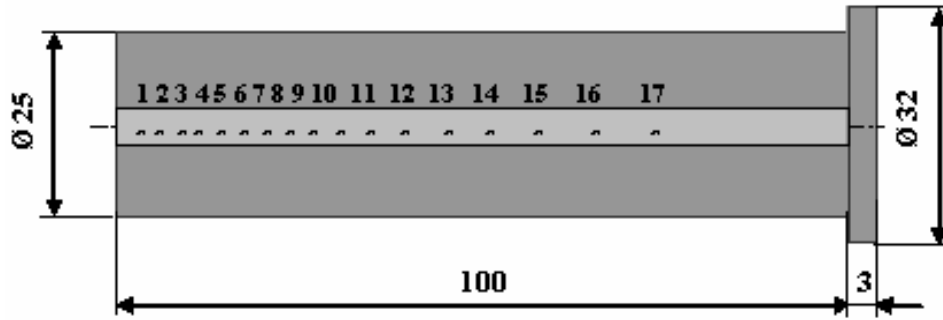
Resim 9.1 Jominy deneyi sonrasında 1040 çeliğine ait mikro yapılar (500x)

9.2 Jominy – Uç su verme deneyi sonrasında SAE/AISI 2738 çeliğinin durumu

AISI/SAE 2738 çeliğinden hazırlanmış olduğum jominy deney çubuğu Protherm marka ısıtıl işlem fırınında 850 °C sıcaklıkta ısıtılmış; bu sıcaklıkta 30 dk bekletildikten sonra alınarak hızlı bir şekilde jominy test cihazına yerleştirilmiş ve alından su verilmiştir.

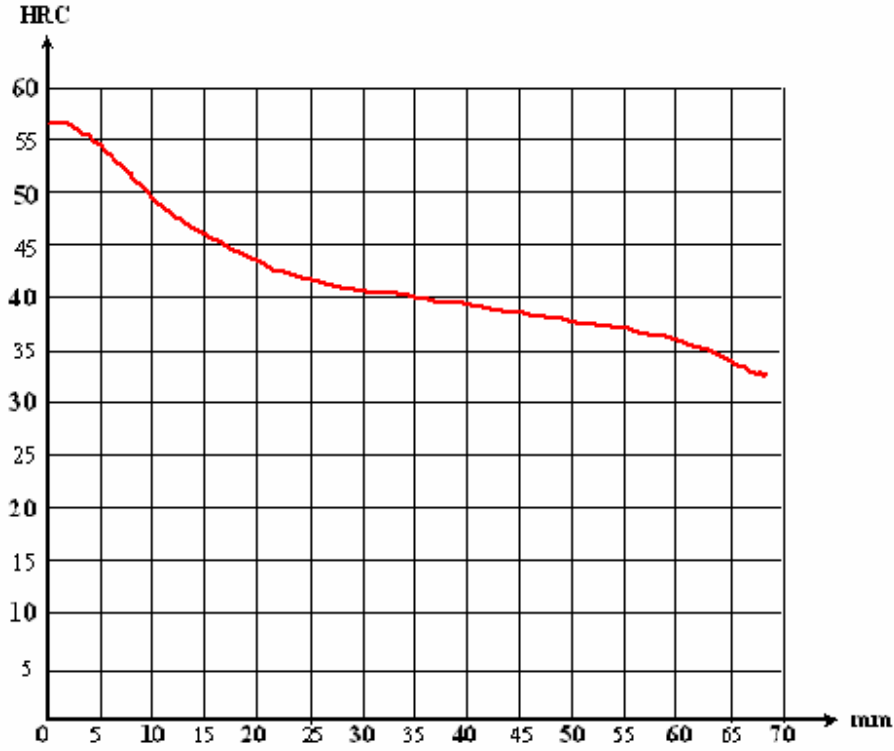
Parça tamamen soğuduğunda alınarak taşlama cihazına bağlanmış, silindirik yüzeyi boydan boya taşlanmış ve taşlanarak düzeltilmiş bu yüzey boyunca belirli noktalardan Rockwell C (HRC) olarak sertlik ölçümleri alınmıştır.

Parçanın alından yukarıya doğru 17 noktadan alınarak oluşturulan sertlik tablosu ve neticede meydana gelen grafik aşağıda görülmektedir.



Çizelge 9.2 2738 çeliği deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu

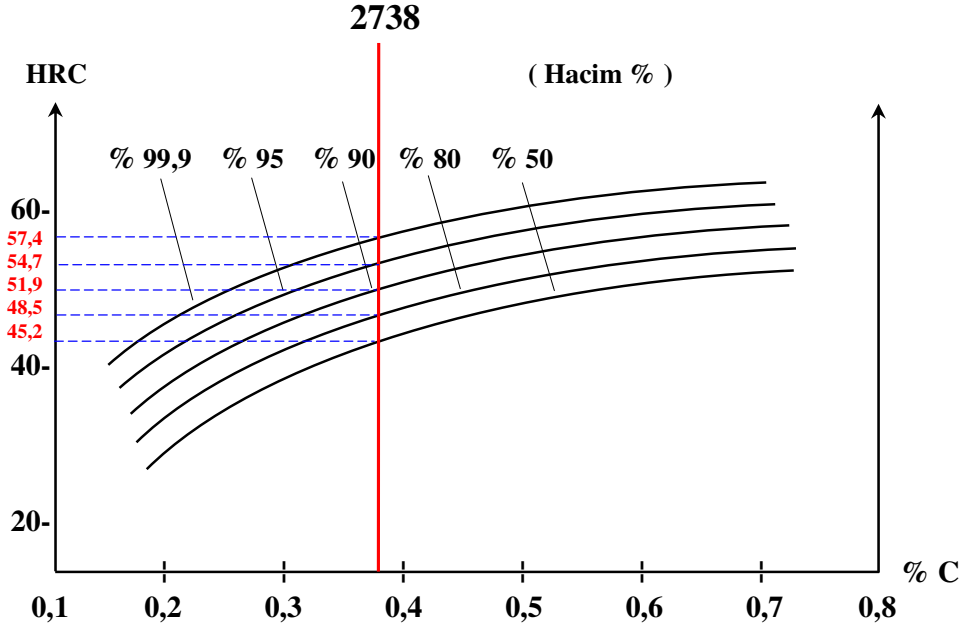
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	1,5	3	5	7	9	11	13	18	23	28	33	38	43	48	55	62	68
HRC	56,8	55,4	54,9	52,1	50,6	48,3	46,4	43,9	43,0	41,2	40,5	39,7	39,1	38,7	36,4	35,3	33,4



Şekil 9.4 SAE 2738 çeliğinde deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramı

SAE 2738 çeliği Jominy uç su verme deneyine tabi tutulmadan önceki sertliği 38,4 HRC tespit edilmişti; su verme işleminden sonra ölçüldüğünde ise su verilen uçtan 1,5 mm mesafede sertliğin 56,8 HRC değerine ulaştığı görülmüştür. Su verilmeden önceki haliyle de sertliği epey yüksek olan bu çelik, deneyden sonra daha da sertlik kazanarak dayanımı yüksek bir malzeme haline gelmiştir.

Aşağıda martenzit yapının çeşitli miktarı için çelik sertliği diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda çeliklerin kimyasal analizlerinden elde edilen karbon değeri yerine konularak martenzit hacimlerini kesen noktalar yatay olarak sertlik eksenine aktarılır ve çeliğin karbon miktarına göre sertlik değerleri bulunur.



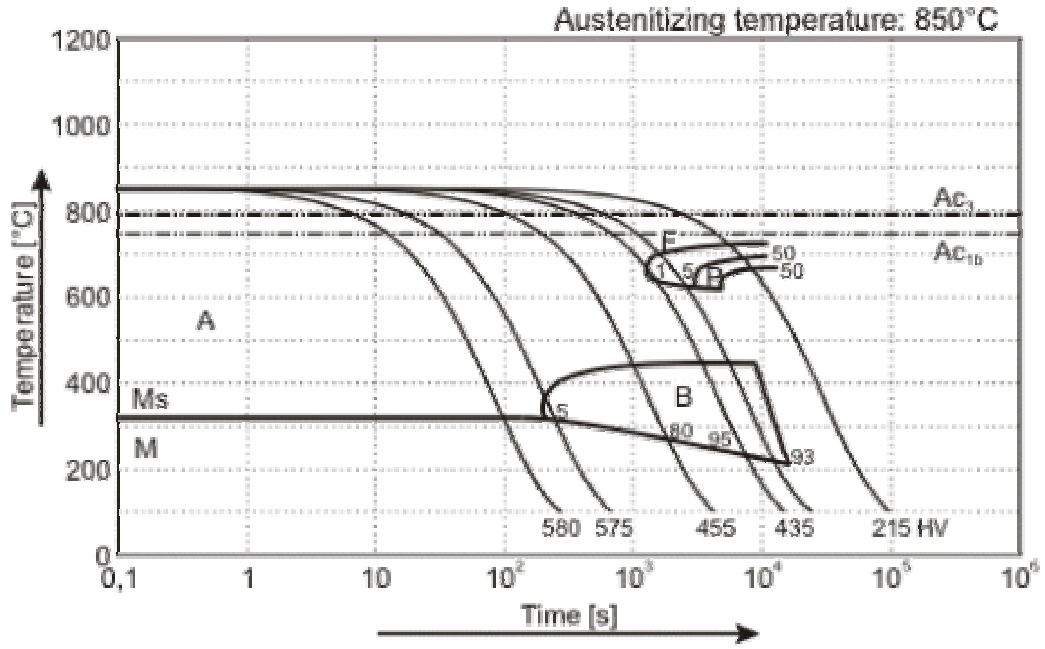
Şekil 9.5 2738 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi

Bu diyagramdan elde edilen sertlik değerleri sertlik (HRC) su verilen alından uzaklık x (mm) diyagramında yerine konularak x (mm) yatay eksenine dik indirilir ve x (mm) mesafesini kestiği uzunluk birimi su verme derinliği olarak tayin edilir.

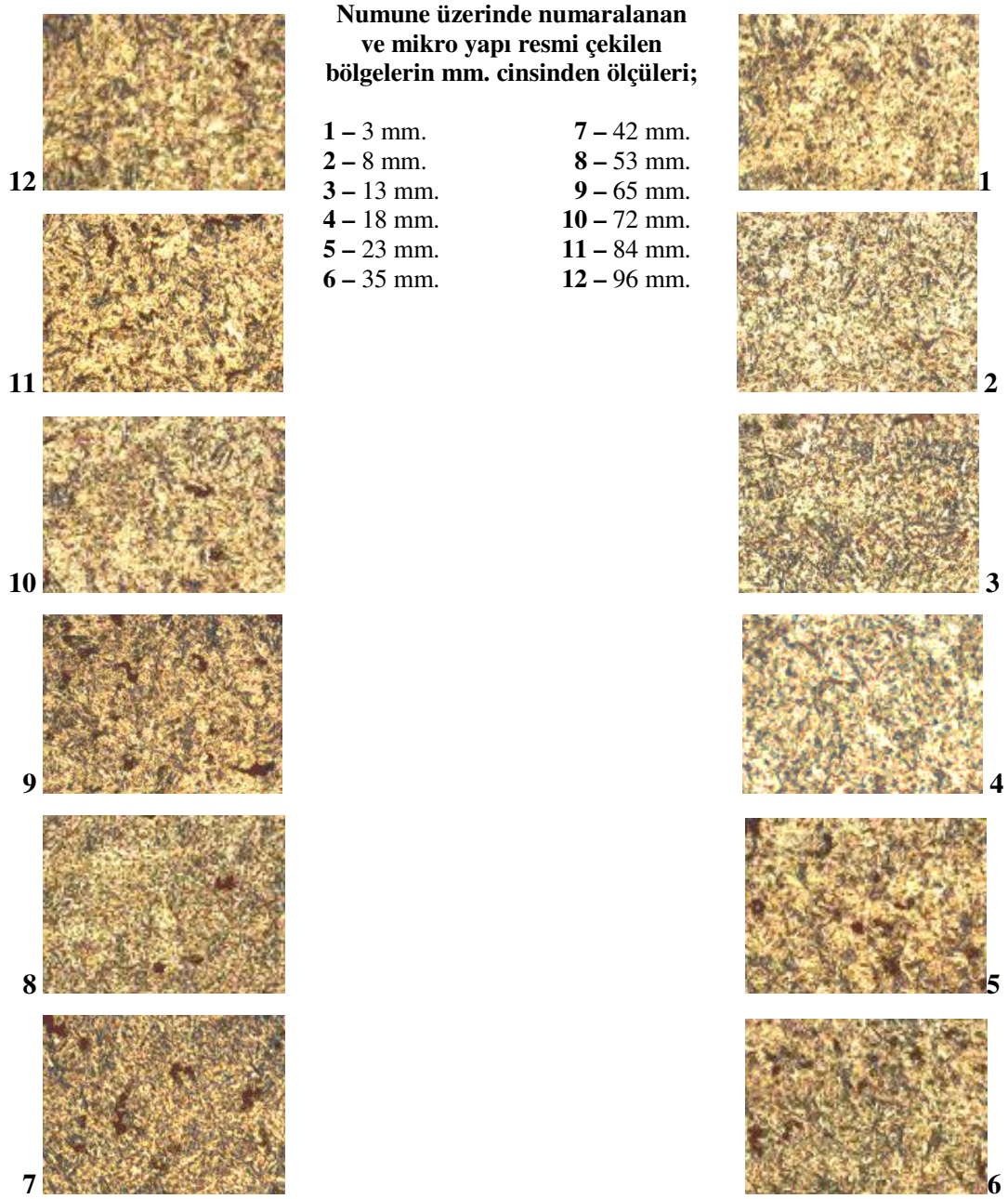
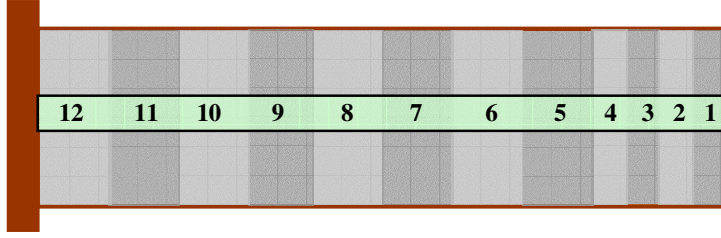
Şekil 9.5 ' de elde edilen sertlik değerleri HRC – mm diyagramında yerine konulduğunda bu çelik malzemede şu değerlere ulaşılabilir;

- 5,5 mm derinlikte % 95 Martenzit
- 7,5 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 12 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 17 mm derinlikte % 50 Martenzit

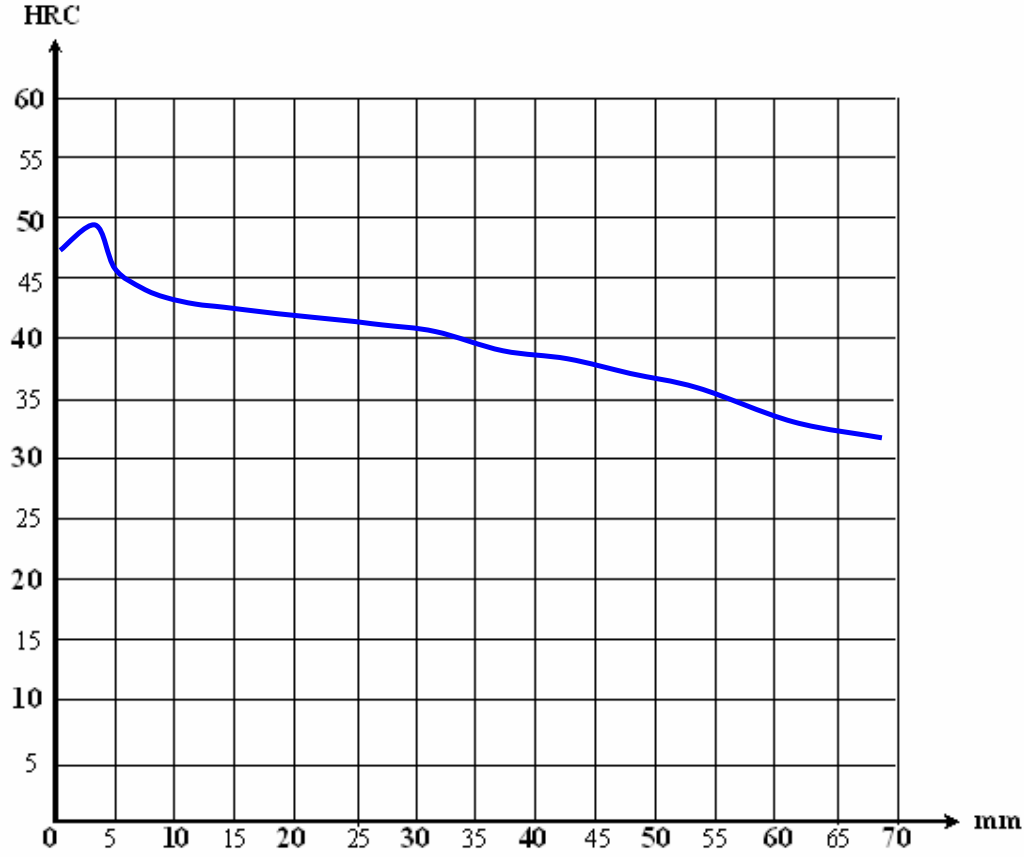
Şekil 9.6 ' da SAE 2738 çeliğine ait CCT (*Continuous Cooling Transformation*) diyagramı görülmektedir.



Şekil 9.6 SAE 2738 çeliğine ait CCT (*Continuous Cooling Transformation*) diyagramı



Resim 9.2 Jominy deneyi sonrasında 2738 çeliğine ait mikro yapılar (100x)

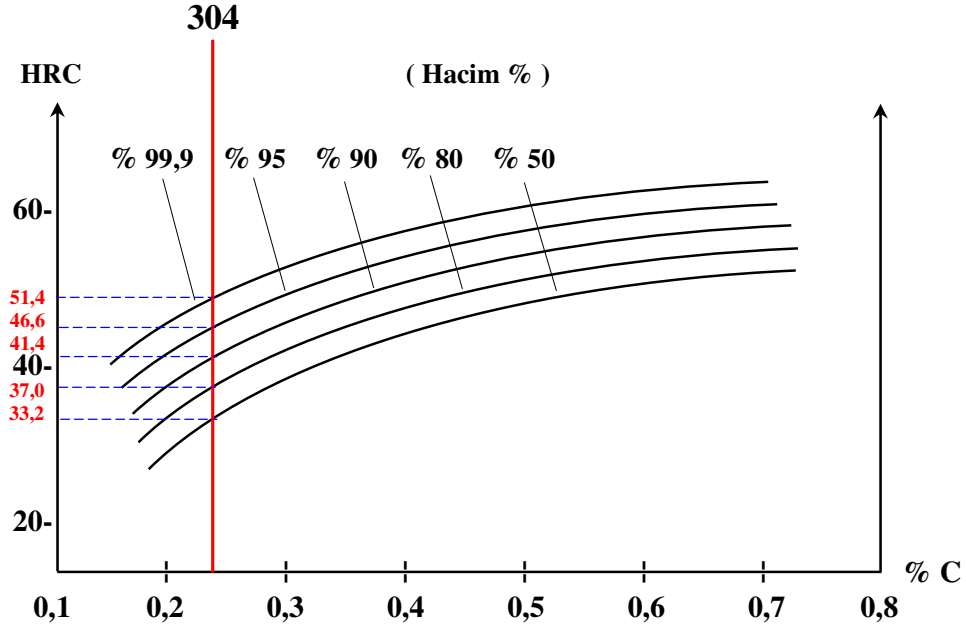


Şekil 9.7 AISI 304 çeliğinde deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramı

AISI 304 paslanmaz çeliği Jominy uç su verme deneyine tabi tutulmadan önceki sertliği 21 HRC tespit edilmişti; su verme işleminden sonra ölçüldüğünde su verilen uçtan itibaren 1,5 mm mesafede sertliğin 47,5 HRC olduğu, 3 mm mesafede 49,3 HRC sertliğe ulaştığı, 5 mm mesafede ise 45,1 HRC sertlik değerine indiği ve sertliğin bundan sonraki mesafelerde de azalarak gittiği görülmektedir.

Bu çelikte bulunan bazı alaşım elemanlarının ve özellikle de karbon miktarının arzu edilen sınırlar içinde olmadığı saptanmıştır.

Aşağıda martenzit yapının çeşitli miktarı için çelik sertliği diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda çeliklerin kimyasal analizlerinden elde edilen karbon değeri yerine konularak martenzit hacimlerini kesen noktalar yatay olarak sertlik eksenine aktarılır ve çeliğin karbon miktarına göre sertlik değerleri bulunur.



Şekil 9.8 AISI 304 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi

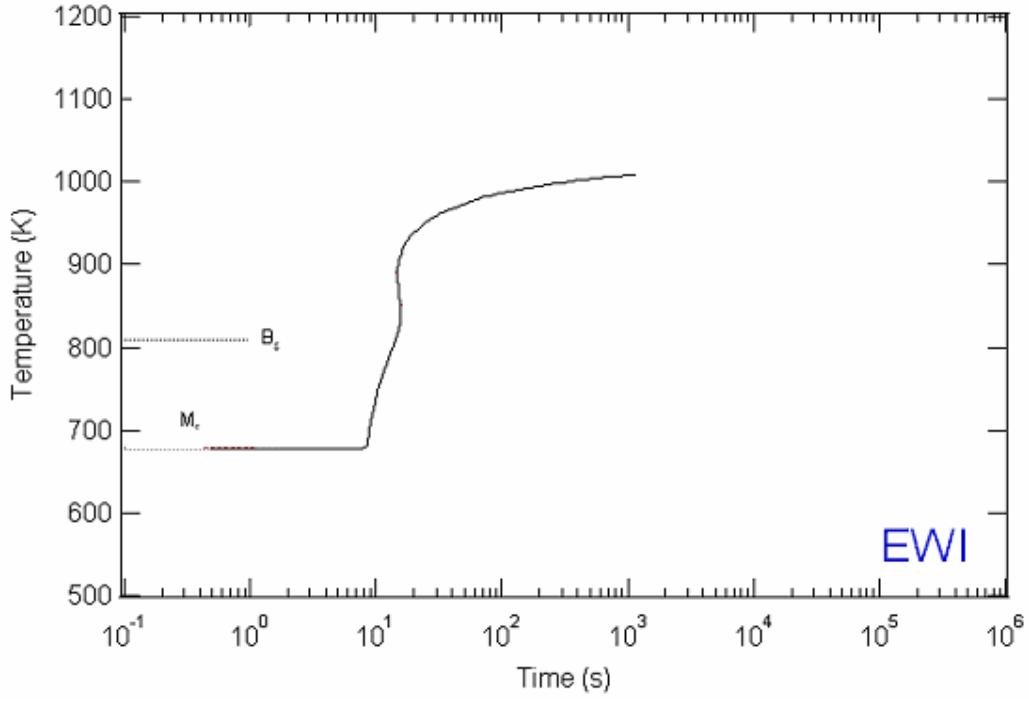
Ancak bizim piyasadan temin etmiş olduğumuz AISI 304 çeliğinin yapısında olması gerekenden çok fazla karbon olduğundan Şekil 9.8 ' de elde edilen sertlik değerleri de bu çeliğe göre yüksek çıkmıştır.

Bu diyagramdan elde edilen sertlik değerleri sertlik (HRC) su verilen alından uzaklık x (mm) diyagramında yerine konularak x (mm) yatay eksenine dik indirilir ve x (mm) mesafesini kestiği uzunluk birimi su verme derinliği olarak tayin edilir.

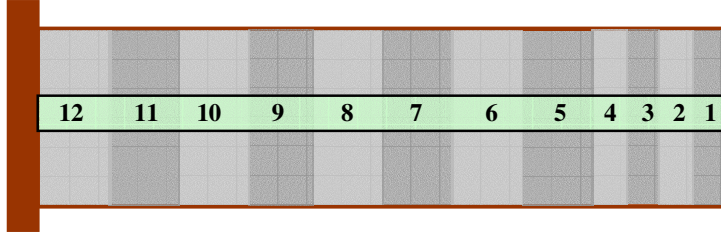
Şekil 9.8 ' de elde edilen sertlik değerleri HRC – mm diyagramında yerine konulduğunda bu çelik malzemede şu değerlere ulaşılabilir;

- 4 mm derinlikte % 95 Martenzit
- 28,5 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 53 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 63 mm derinlikte % 50 Martenzit

Şekil 9.9 ' da AISI 304 çeliğine ait CCT (*Continuous Cooling Transformation*) diyagramı görülmektedir.



Şekil 9.9 AISI 304 çeliğine ait CCT diyagramı



**Numune üzerinde numaralanan
ve mikro yapı resmi çekilen
bölgelerin mm. cinsinden ölçüleri;**

1 – 5 mm.	7 – 43 mm.
2 – 7 mm.	8 – 56 mm.
3 – 13 mm.	9 – 67 mm.
4 – 18 mm.	10 – 75 mm.
5 – 25 mm.	11 – 87 mm.
6 – 37 mm.	12 – 96 mm.



12



11



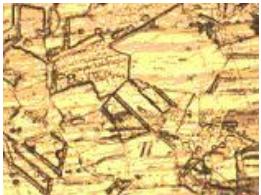
10



9



8



7



1



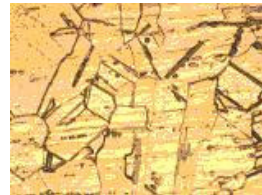
2



3



4



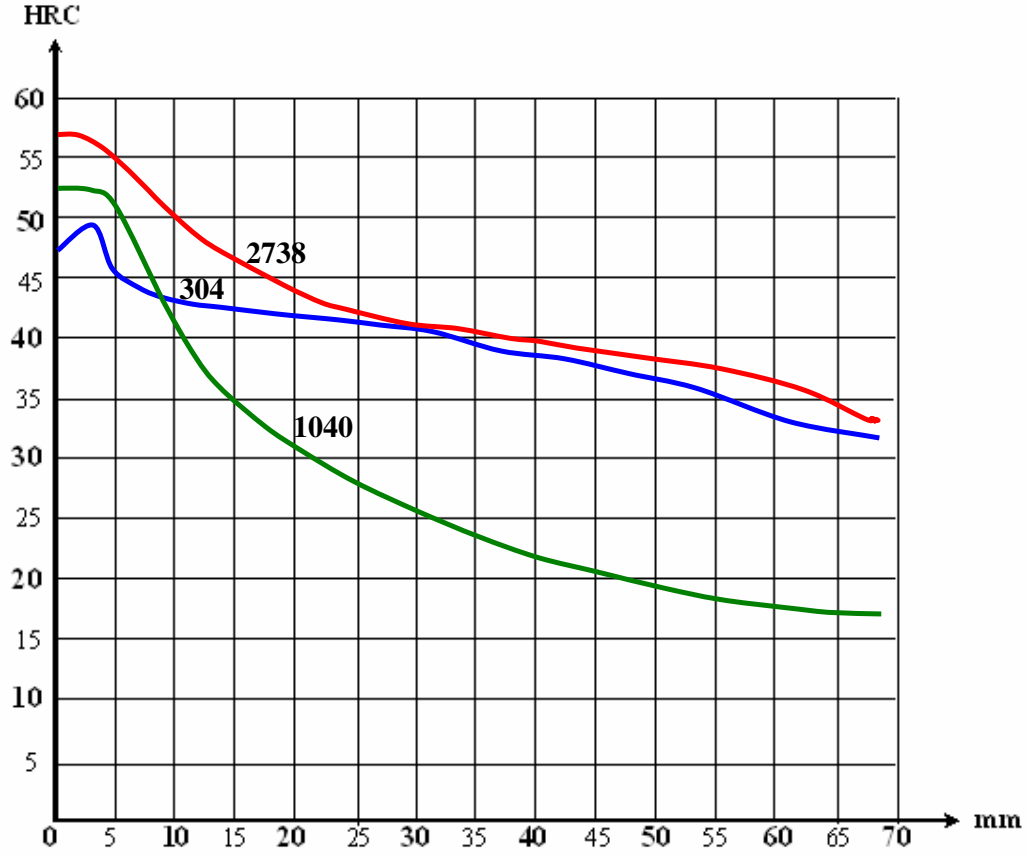
5



6

Resim 9.3 Jominy deneyi sonrasında AISI 304 çeliğine ait mikro yapılar (100x)

Jominy (Alın su verme) deneyine tabi tutularak jominy eğrileri belirlenmiş olan AISI / SAE 1040 – 2738 – 304 çeliklerinin eğrileri Şekil 9.10 ' da bir arada görülmektedir.



Şekil 9.10 AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 çeliklerinin deney sonunda oluşan HRC – mm diyagramları

10. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Makine ve elemanlarının imalatında en çok kullanılan ve bu alanda önemli bir yer tutan malzeme hiç şüphesiz ki çeliktir. Üretimi yapılacak makine elemanı için kullanılacak olan çelik gelişi güzel seçilemez. Kullanılacak olan çeliğin fiziki ve mekanik özellikleri bilinip, kullanılacağı yerde görevini yapıp yapamayacağı belirlenmelidir. Seçimi yapılan çeliğin mekanik ve fiziksel özelliklerinin ihtiyaçları karşılayabilmesinin yanında ekonomik olması da tabii ki istenen bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ancak çelik seçiminde dikkat edilmesi ve bilinmesi gereken bir özellik vardır ki, o da çeliğin sertleşebilme özelliğidir. Çeliğin en önemli özelliklerinden olan sertleşebilme kabiliyeti bilinerek yapılan bir çelik seçimi daha isabetli olacaktır.

İşte çeliklerin sertleşebilme kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan metotlardan en önemlisi ve pratik olanı Jominy uç su verme deneyidir. Çeliklerin sertleşebilirlik deneylerinin yapıldığı Jominy deneyinin ve cihazlarının içeriği T.S. 1381 ' de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmada Jominy uç su verme deneyi hakkında araştırmalar yapıp bilgi edinildikten sonra bir çelik satıcısından SAE/AISI 1040, 2738 ve 304 Paslanmaz çelikleri temin edildi. Jominy uç su verme deneyine tabi tutulmak üzere alınan bu çeliklerin öncelikle spektrometrede kimyasal analizleri yaptırıldı. Deneyden önce ve deneyden sonra mikro yapı resimleri çekilerek, Rockwell C skalasına göre sertlikleri ölçülen çeliklerin HRC – mm diyagramları çizilmiş ve Jominy sertleşebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

Üretimde kalite kontrol yapabilmek için sertleşebilirlik bantlarının bilinmesi gerekir. Bu nedenle çelik üretim kuruluşları ürettikleri çeliklerin sertleşebilirlik bantlarını belirlemeleri gerekmektedir. Sertleşebilirlik eğrisi tespit edilen çeliğin seçimi daha kolay olmaktadır.

Sertleşebilirlik deneylerini yaptığımız SAE/AISI 1040, 2738 ve 304 Paslanmaz çeliğinin deneyleri esnasında: tufal oluşumu, karbonsuzlaşma, homojen olmayan yapı, standartlar dahilinde olmayan alaşım elementleri, östenitlenme farkı, soğutma hızı ve bazı küçük deneysel hatalar gibi sebeplerle sertleşebilirlik eğrilerinde çok küçük sapmalar olmakla birlikte; sonuç olarak sertleşebilirlik eğrilerinin jominy bantları ile uyumlu olduğu, arzu edilen sertliklere ulaşıldığı ve mikro yapısal olarak incelendiğinde ise martenzitin oluştuğu gözlemlendi.

Buda bize gösterdi ki bütün standartlarına uygun olarak yapılan bir Jominy uç su verme deneyinden her zaman doğru ve güvenilir sonuçlar almak mümkündür.

Ancak ne var ki bu çalışmalarımız sırasında, kimyasal analizlerin yapılması neticesinde piyasada standartlara uymayan çeliklerin pazarlandığını üzüntüyle gördük. Bu yanlışın önüne geçilmesi için gerekli tedbirlerin alınması, ülkemiz geleceği açısından da büyük önem taşımaktadır.

7. KAYNAKLAR

- 1 - Timings, R.L. 1995. Malzeme Teknolojisi Seviye 3 (çeviri: R.Gürbüz), Longman London ve New York Yayını, s.134 – 136
- 2 - Güventürk, F. Çeliklerin Tavlanması ve Isıl İşlemi, Kırıkkale, 1973.
- 3 - T.S. 1381. Çeliğin Ucuna Su Vererek Sertleşebilme Deneyi, TSE, 1974.
- 4 - Said, G. Isıl İşlem ve Teorisi Lisans-Yüksek Lisans Ders Notları, 2005, AKÜ, AFYON.
- 5 - Standart Method of End-Quench Test for Hardenability of Steel, ASTM Standart 255, ASTM Headquarters, 1916 Race St, Philadelphia, PA 19103.
- 6 - Gümüşboğa, G. 2006. SAE/AISI 1050, 4140, 2080, 3051 Çeliklerinin Jominy Yöntemi ile Sertleşebilirliklerinin Araştırılması. Lisans tezi. AKÜ, AFYON.
- 7 - Grange, R.A. 1973. Estimating the Hardenability of Carbon Steels, Metallurgical Transactions, 4: 2231 – 2244
- 8 - Metals Handbook 8th Edition Vol. 2 Heat Treating, Cleaning and Finishing 1971.
- 9 - Tekin, A. Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı, E-K. Thelning, 1984.
- 10 - Crafts, W. ve Lamont, J.L. Çelik Seçimi ve Sertleşebilme (çeviri: N.İzar), TMMOB Yayını, Ankara. 1971.
- 11 - ASM Metals Handbook, Materials Selection and Design, Vol. 20, 10th ed., ASM International, Materials Park, OH, 1997.
- 12 - ASM Specialty Handbook, Stainless Steels, ASM International, Materials Park, OH, 1994.
- 13 - Flinn, R.A. ve Trojan, P.K. Engineering Materials and Their Applications, Houghton Mifflin Company, Boston. 1986.
- 14 - Caymaz, T. 1998. Jominy Deney Cihazının Tasarım ve İmalatı. Yüksek lisans tezi. Sakarya Üniversitesi, 77 s., Sakarya.
- 15 - Joseph M.R. Jominy End-Quench Hardenability Test, McNeese State University Lake Charles, LA. 1996.
- 16 - Karaca, S.Ö. 1999. Jominy Deneyi ve Deney Parametrelerinin Deney Üzerindeki Etkileri. Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 165 s., İstanbul.
- 17 - Lawrence H. ve Van V. Elements of Materials Science and Engineering. Literatür Yayıncılık. 1986.

18 – Atkins, M. Atlas of Continuous Cooling Transformation Diagrams for Engineering Steels. 1977.

19 - Tekin, E. Mühendisler için çelik seçimi, Ankara, 1986.

7.1. İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1 - http://www.bayar.edu.tr/~makine/JOMINYALINSERTLESTIRMEDENEYI.doc	14.06.2007
2 - http://www.osmanlıcelik.com.tr	14.06.2007
3 - http://www.mizancelik.com.tr	14.06.2007
4 - http://www2.umist.ac.uk/matsci/research/intmic/features/jominy.htm	15.06.2007
5 - http://mmae.iit.edu/~tpc	15.06.2007
6 - http://www.metallograf.de/start-eng.htm?/jominy-eng/jominy.htm	04.09.2007
7 - http://www.sousacorp.com/hardness.htm	08.09.2007
8 - http://www.calculations.ewi.org/VJP/TTTCCTPlots.HTML	09.09.2007
9 - http://www.kucuklercelik.com/dokumanlar4.htm	12.10.2007
10 - http://www.ccm.udel.edu	12.10.2007
11 - http://www.cemilsenocak.com/bitirmem/bolum3.htm	12.10.2007
12 - http://www.erdemir.com.tr/tr/if_isilislem.asp	13.10.2007
13 - http://www.nilisil.com.tr/DeformasyonKontrol.htm	13.10.2007
14 - http://www.tamcelik.com/Tamcelik-isil-islem-sementasyon.asp	13.10.2007
15 - http://www.makinamuhendisi.com/idx/8/109/Makina-Magazin-Makale	14.10.2007
16 - http://www.coltec.it/jominy.htm	14.10.2007
17 - http://www.yenimuhendis.com	14.10.2007
18 - http://www.atacelik.com	14.10.2007

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin hazırlanması esnasında beni yönlendiren, fikir, bilgi ve tecrübelerinden fazlasıyla istifade ettiğim değerli hocam - danışmanım Prof. Dr. Galip SAİD' e en derin teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında bilgi, tecrübe ve imkanlarını benden esirgemeyen Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş. Döküm ve Kimyasal İşlemler Fabrikası Müdürü Yüksek Metalurji Mühendisi Muzaffer KIR' a, numunelerin hazırlanmasında yardımcı olan Edremit Meslek Lisesi Tesviye Bölüm Şefi Engin ÜNSAL'a , deneylerin yapılması sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Öğr.Gör. Muzaffer ERDOĞAN'a , Araş.Gör. İbrahim GÜNEŞ'e ve Araş.Gör. Yusuf KAYALI ' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmalarım süresince büyük fedakarlık gösteren ve her zaman yanımda olan sevgili eşime de teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selahattin KÖSE

Doğum Yeri : Eskişehir

Doğum Tarihi : 17.10.1974

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Eskişehir Atatürk Tek. ve E.M.L. – Tesviye Bölümü – 1991

Lisans : Fırat Üniversitesi Tek.Eğt.Fak. – Makine Öğretmenliği – 1998

Yüksek Lisans : A.K.Ü. Fen Bilimleri Enst. – Metal Eğitimi A.B.D. –

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl

Yayınları (SCI ve diğer)

- 1 - **KÖSE S.**, ERDOĞAN M., GÜNEŞ İ., “ *21.Yüzyılda Nanoteknoloji Dünyası* ”, Makine İhtisas, Şubat 2007, Sayı 43
- 2 - **KÖSE S.**, ERDOĞAN M., GÜNEŞ İ., “ *Nanoteknoloji Dünyası* ”, Makina Magazin, Nisan 2007, Sayı 2007/04 (No: 129)
- 3 - ERDOĞAN M., GÜNEŞ İ., **KÖSE S.**, “ *Türkiye’de Kaynak Teknolojisi Eğitimi* ”, Makina Magazin, Mayıs 2007, Sayı 2007/05 (No: 130)
- 4 - ERDOĞAN M., GÜNEŞ İ., **KÖSE S.**, “ *Hurda Malzemelerin Değerlendirilmesi* ”, Makina Magazin, Haziran 2007, Sayı 2007/06 (No: 131)
- 5 - **KÖSE S.**, “ *Minyatürleşen Mekatronik ve Mini Robotlar* ”, Makina Magazin, Temmuz 2007, Sayı 2007/07 (No: 132)
- 6 - **KÖSE S.**, ERDOĞAN M., GÜNEŞ İ., “ *Mikrodalga İşleminin Seramik Malzemelerde Kullanımı* ”, MakinaTek, Temmuz 2007/07, Sayı 117
- 7 - **KÖSE S.**, ERDOĞAN M., GÜNEŞ İ., “ *AISI 4140 çeliğinin temperlenmesi ve iç yapı özelliklerinin incelenmesi* ”, Makina Magazin, Ağustos 2007, Sayı 2007/08 (No: 133)
- 8 - GÜNEŞ İ., ERDOĞAN M., **KÖSE S.**, “ *AISI 1040 çeliğinin temperlenmesi ve iç yapı analizi* ”, Makina Magazin, Eylül 2007, Sayı 2007/09 (No: 134)

Diğer konular