

122922

ÇELİKLERİN SERTLEŞEBİLME KABİLİYETİ

ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

BETÜL KATI

Ç.Ü.

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİMDALI

MASTER TEZİ

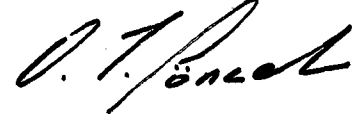
A D A N A

Temmuz - 1984

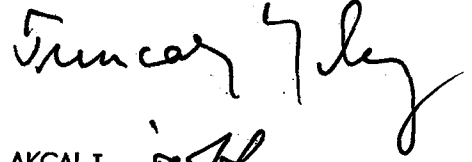
Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

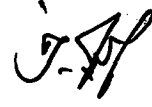
Başkan Doç.Dr.O.Tuğrul GÖNCEL



Üye Prof.Dr.Tuncay YILMAZ




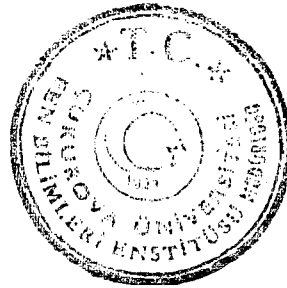
Üye Y.Doç.Dr.İbrahim Deniz AKÇALI



Kod No: //

Yukardaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.


Prof.Dr.Ural DİNÇ
Enstitü Müdürü



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÇİZELGE LİSTESİ	I
ŞEKİL LİSTESİ	II
ÖZ	III
ABSTRACT	IV
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Demir-Karbon Denge Diyagramı	5
2.2. Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm(T.T.T.) Diyagramı	8
2.2.1. Perlit Oluşumu	9
2.2.2. Beynit Oluşumu	9
2.2.3. Martenzit Oluşumu	11
2.3. Isıl İşlemlerin Sınıflandırılması	11
2.3.1. Termal İşlemler	12
2.3.1.1. Tavlama	12
2.3.1.2. Normalizasyon	15
2.3.1.3. Sertleştirme	16
2.3.1.3.1. Isıtma	16
2.3.1.3.2. Su Verme	17
2.3.1.3.3. Temperleme	17
2.3.2. Termokimyasal İşlemler.	18
2.3.2.1. Nitrürleme	19
2.3.2.1.1. Gazlı Ortamda Yapılan Nitrürleme	19
2.3.2.1.2. Tuz Banyolarında Yapılan Nitrürleme	19
2.3.2.2. Karbürleme	20
2.3.2.2.1. Katı Ortamda Karbürleme	20
2.3.2.2.2. Sıvı Ortamda Karbürleme	21
2.3.2.2.3. Gaz Ortamında Karbürleme	21
2.3.2.3. Karbonitrürleme	21
2.3.2.4. Dekarbürleme	22
2.3.2.5. İyon Nitrürleme	23

	<u>Sayfa No</u>
2.4. Jominy Deneyi	25
2.5. Sertleşebilme	27
2.5.1. Alaşım Elementlerinin Sertleşilmeye Etkisi	28
3. MATERYAL VE METOD	30
3.1. Materyal	30
3.1.1. Malzemelerin Secimi	30
3.2. Metod	32
3.2.1. Deneyin Yapılışı	32
3.2.2. Metalografik Muayene	32
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	35
ÖZET	52
SUMMARY	54
KAYNAKLAR	56
TEŞEKKÜR	58
ÖZGEÇMİŞ	59

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>ÇİZELGE NO</u>		<u>SAYFA NO</u>
3.1.	Numunelerin Spektroskopik Analiz Sonuçları	30
4.1.	Su Verilmiş Uçtan İtibaren Sertlik Değerleri	36
4.2.	Çelikteki Alaşım Elementlerinin Sertleşebilme Üzerine Etkileri.	38
4.3.	Malzemelerin (% Ağırlık olarak) Karbon Miktarı, Karbon Eşdeğeri ve Sertlik Değerleri.	40

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
2.1. Demir-Karbon Denge Diyagramı	7
2.2. Perlitin Çekirdekleşmesi ve Büyümesi-Perlit Oluşumu.	10
2.3. İyon Nitrürlenme Cihazının Şematik Gösterilişi	24
3.1. Jominy Test Numunesi.	31
3.2. Jominy Deney Düzeneği.	33
4.1. Karbon Eşdeğerliği ile Sertlik Arasındaki ilişki. -Bu Eğriler, Alaşımli Çelik Hariç, Jominy Numunelerinin Farklı Mesafelerindeki Sertliklere Göre Çizilmiştir.-	39
4.2. Alaşım Elementlerinin Sertleşme Derinliğine etkisinin, Uçtan Su verme Eğrileri ile Açıklanması.	41
4.3. Fe 50 Çeliği İçin Jominy Mesafelerine Karşılık Gelen Soğuma Eğrileri (1, 2, 3 No'lu Eğriler) ile Sürekli-Soğuma-Dönüşüm(CCT) Diyagramı ve Jominy Eğrisi.	43
4.4. Fe 60 Çeliği İçin Jominy Mesafelerine Karşılık Gelen Soğuma Eğrileri (1, 2, 3 No'lu Eğriler) ile Sürekli-Soğuma-Dönüşüm(CCT) Diyagramı ve Jominy Eğrisi.	45
4.5. Fe 70 Çeliği için Jominy Mesafelerine Karşılık Gelen Soğuma Eğrileri (1, 2, 3 No'lu Eğriler) ile Sürekli-Soğuma-Dönüşüm (CCT) Diyagramı ve Jominy Eğrisi.	47
4.6. Karbonlu Çelik İçin Jominy Mesafelerine Karşılık Gelen Soğuma Eğrileri (1, 2, 3 No'lu Eğriler) ile Sürekli-Soğuma -Dönüşüm(CCT) Diyagramı ve Jominy Eğrisi.	48
4.7. Kromlu Çelik İçin Jominy Mesafelerine Karşılık Gelen Soğuma Eğrileri(1,2,3 Nolu Eğriler) ile Sürekli-Soğuma-Dönüşüm(CCT) Diyagramı ve Jominy Eğrisi.	49

ÖZ

Bu çalışmada çeşitli türdeki çeliklerin sertleşebilme (Hardeneability) kabiliyetleri incelenmiştir. Standartlara uygun Fe 50, Fe 60, Fe 70, karbonlu ve kromlu çelikler seçilmiş olup bunların sertleşebilme kabiliyetlerini araştırmak için de Jominy test yöntemi kullanılmıştır.

Sertleşebilme kabiliyetinin tamamen alaşım elementleri ve karbon miktarlarına bağlı olduğu saptanmıştır.



ABSTRACT

In this work, the hardenability of various steels has been studied. In order to find out the hardenability of carbon steels, Fe 50, Fe 60 and Fe 70, and chromium steel, Jominy Test has been carried out.

It is found out that the hardenability depends on the amount of carbon and the alloying elements.



1. GİRİŞ

Günümüz makina endüstrisinde çelikler çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeliklerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için çeşitli ısıtım işlem metodları uygulanmaktadır. Belirli özellikler kazandırmak amacıyla çeliklerin sertleştirilmelerinde sertleştirme sonunda uygulanması gerekli bir seri işlemin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmadaki amaç, makina yapımının temel malzemelerinden biri olan çeliklerin seçimini ve çeliğin ısıtım işlem sonucu erişebileceği yüksek mekanik özelliklerinin tümünün kaynağı olan sertleştirme kabiliyetini tayin etmektir.

Ekonomik olarak, güvenilir kalitede kullanılabilir mamül parçalar geliştirilmesi sürecinde sertleştirme sonuçları, çeliğin seçiminde ve doğru ısıtım işleminin tayininde her bir bölüm için çeliğin davranışını göstermesi bakımından oldukça önemlidir.

Çeliklerin tanınmasında üretici firmanın analiz raporu, markası ve (firma renk vurmak suretiyle çeliklerin tanımlanmasını kabul etmiş ise) çeliklerdeki renkler aranır. Bu bilgiler elde yoksa kimyasal analiz ve spektroskopik analiz raporu çeliklerin tanınmasında en güvenilir yoldur. Su verilecek malzemeyi tanımadan sertleştirme işlemine başlamak büyük yanlışlıklara neden olur.

Çelik satın almada uygulanan genel metod kimyasal bileşime göredir. Fakat bu metod çeliğin karbon ve alaşım miktarında önemli farklılıklar göstermesinden dolayı sakıncalıdır. Kimyasal bileşimlerdeki değişiklikten dolayı kritik soğuma hızı ve ısıtım işlemlerde önemli değişiklikler görülecektir. Bu nedenle çeliğin kimyasal bileşimine göre satın alınmasında tam sertliğin elde edilmesi garantili değildir. Tasarımda en önemli faktörün mukavemet olduğu düşünülürse çeliklerin sertleştirilebilme kabiliyetine göre alınması daha ekonomik olacaktır. Bunun için çeliğin sertleştirilebilme kabiliyetinin tesbiti için test yapılması gereklidir. Pratikte geniş olarak uygulanan metod ise Jominy test denevidir.

Sertleştirme işlemine başlamadan önce kullanılacak çeliğin yapısının incelenmesi gerekir. Başarılı bir sertleştirme için çelik yapısının homojen ve ince taneli olması istenir. İşleme tabi tutulacak çelik daha önceki biçimlendirme işçiliklerinde iç gerginlik kazanmış ve yapıda düzensizlikler olmuşsa normalleştirme tavı uygulanarak gerginlik giderilmeli ve yapı düzeltilmelidir. Çeliklerdeki yapı düzensizlikleri ısıl işlemten sonra çatlama ve çarpılmalara neden olur. Tane iriliğinin büyük olması ise çeliğin kırılma dayanımının düşürülmesine sebep olur.

Sertleşme sonunda mukavemet ve akma sınırı önemli ölçüde artar. Karbonlu çeliklerde su vermekle mukavemeti üç katına çıkarmak mümkündür. Çeliklerin ulaşabilecekleri maksimum sertlik değerini (sertleşebilme kabiliyetine) içindeki karbon oranı ve alaşım elementleri belirler. Özellikle çelikte bulunan alaşım elementlerinin sertleşebilme kabiliyetine ne şekilde etki ettiğinin tam olarak bilinmesi iki yönden büyük önem taşımaktadır. Bunlardan birincisi çelik yapımcısı olarak ülkemizde bol miktarda bulunan alaşım elementlerinden faydalanarak geliştirilecek çelik cinslerinin sınıflandırılıp standartlaştırılması için çalışmalar yapmak; ikincisi de çelik kullanıcısı olarak girişilecek seçim işinde amacı, en ucuz ve doğru bir şekilde gerçekleştirecek tutumu saptayabilmek olanaklarını kazanmaktır. Belirtilen bu iki konunun da memleket ekonomisine ve toplumumuzun temel sorunu olan kalkınmamıza olumlu ve somut katkıları olacağı açıktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bilindiği gibi çelikler binlerce yıldan beri insanlar tarafından kullanılmaktadır. Ancak çeliklerden gereği kadar faydalanma son yıllarda çelikler hakkında bilgilerimizin derinleştirilmesi oranında artmakta ve yaygınlaşmaktadır. İnsanlar çeliğe uzun yıllar üstün özellikler kazandırmak için çeşitli metodlara başvurmuşlardır. Uygulanan temel işlemler oldukça basit olup, önce yeterli miktarda karbon ihtiva eden bir demiri parlak kırmızı renge gelinceye kadar ısıtmak, sonra hızla eli yakmayacak bir sıcaklığa kadar soğutmak, bunu takiben de kuru bir tahta parçasını karartabilecek kadar yeniden ısıtmaktan(menevişlemekten) ibarettir.

Milattan önce 9.yüzyılda yaşadığı zannedilen Homer, Odise isimleri eserinde olayı şu sözlerle anlatmaktadır: "Ve demirci baltayı ya da keseri soğuk suya cazırtıyla daldırınca onu tavlayıp sertleştirir, işte demirin gücü buradan gelmektedir." Isıl işlem görmüş çeliklerin üstünlüğüne ait eski Yunan ve Roma edebiyatında pek çok kayıtlar vardır. -Pliny milattan sonra 77'de bunu incelikleriyle anlatmaktadır.-

Orta çağlarda, çeliğe çeşitli usullerle su verilmiş ve Şam'ın, İspanya'nın, Japonya'nın kılıç ustaları çeliğin tam sertleşmesinin önemini esaslı olarak kavramışlardır.

Çeliğe özellik kazandırmak için uygulanan bu eski metodlar şöyle sıralanabilir:

- a- Çeliği uzun süre kömür içinde tavlamak,
- b- İdrar içinde soğutmak,
- c- Romalılar devrinde çelik kılıçları esirlerin karnında soğutmak,
- d- Kızgın kılıçları dört nala koşan beyaz bir at üzerinde soğutmak,
- e- Çelikleri kaynar suda soğutmak

Bugün bu işlemlerin bazıları ilmen bir yere kadar doğru olmakla beraber, o zaman yapılan işlemlerin ne gibi yapı değişikliği

sonucu özellik kazandırdığı bilinmemekte idi. Bu değişiklikleri yakın zamana kadar anlamamızı engelleyen temel faktörlerden biri bunları inceleyebilecek uygun metodların bulunmayışı idi.

1782'de İsveç'li Bergman, daha sonraları bütün demir çelik ısıtıl işleminin temel çerçevesi olacak bir hipotez ortaya attı; bu teze göre demir allotropik bir elemandı ve çelik demirden içinde karbon bulunmasıyla ayrılmaktaydı. Bergman'ın, karbonun rolü hakkındaki fikirlerinin doğruluğu, ergimiş demir içinde elmas eriterek çelik elde etmeyi başaran Davy tarafından 1815 yılında ispatlanmıştır.

Çeliğin iç yapısı ve su verildikten sonra neden sertleştiği 1868 yılında Rus İmparatorluk Bilimler Akademisinde Tchernoff tarafından ortaya atılmıştır. Tchernoff hazırladığı tezde çeliğin içinde önemli miktarda karbon olmadıkça ve belli bir kritik sıcaklığın (bu sıcaklık, daima kiraz kırmızısıyla parlak kırmızı arasındadır) üstüne çıkmadıkça su verme yoluyla sertleştirilemeyeceğini göstermiştir.

Çeliğin ve diğer alaşımların mikroskopta incelenmesini 1887'lerde İngiltere'de Sorby başarmıştır. Almanya'da da Martens aynı yönde çalışmalar yapmış ve buluşlarını Sorby'den yedi sekiz sene önce Alman Mühendisler Birliği'ne rapor olarak sunmuş, fakat çalışmalarını layık olduğu önem ve dikkati toplayamamıştır. Diğer önemli bir gelişme de Le Chatelier tarafından 1888 yılında platin/platin-rodium termokupullarının bulunmuş olmasıdır. Bu sayede çelikte ve diğer maden alaşımlarındaki dönüşümleri basit ve dakik olarak inceleme olanağı bulunmuştur.

Metalografi ve pirometre sayesinde demir-karbon alaşımlarının ve bunların üzerinde pek çok sayıdaki diğer alaşım elemanlarının ısıtıl işlemlerindeki etkileri ve temel kanunları araştırılmaya başlanmış ve 1890 ile 1920 yılları arasındaki 30 yıl içinde, bu devreden önceki 200 yılda elde edilen gelişmeden daha fazla ilerleme elde edilmiştir. Büyük hacimlerde araştırma eseri hazırlanıp yayınlanmıştır. Bu eserler Amerika'da Howe ve Sauveur, İngiltere'de Roberts, Austen, Resenhains ve Hadfield, Fransa'da Chatelier, Osmond ve Guillet, Almanya'da Martens, Tamman, Heyn, Ruer, Japonya'da da Honda ve daha pek çok araştırmacı tarafından yayınlanıp tartışılmıştır.

Bu çalışmalar bize demir-karbon diyagramını, karbon ve alaşımlı çeliklerin yapılarını ve bunların ısınıp soğumaları esnasındaki temel olayları oldukça kesin bilgiler halinde elde etmemizi sağlamıştır. Yine bu çalışmalar, su verme esnasında neler olduğu hakkında pek çok bilgi vermiş, fakat menevişlenmiş ve kullanılmaya hazır çeliğin mühendislik özellikleriyle, su verilmiş yapı arasındaki ilişkiler konusunda pratik anlamda hiç bir katkıda bulunmamıştır. İşte bu gelişme son 15-20 yılın eseridir.

Temel olarak, pek çok Amerikalı malzemecilerin ve daha az ölçüde Almanya ve İngiltere'deki bazı malzemecilerin çalışmalarıyla bugünkü modern sertleşebilme kavramı geliştirilmiş, karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin mühendislik özelliklerine ait formülasyonlar elde edilmiştir.

Sertleşebilme prensibinin yaygınlaşması II. Dünya Savaşı sırasında üçlü-alaşım çeliklerinin hızla gelişmesine yol açmıştır.

Daha önce bahsedildiği gibi ilk araştırmacılar çeliğin temel özelliklerini tesbit etmişler ve demir-karbon diyagramını geliştirmişlerdir. Bu diyagramın gösterdiği denge konumlarının sertleştirme için yapılan ısıtma da çok büyük pratik önemleri vardır. Özel durumlar dışındaki ısıtma işlemin amacı homojen östenitik yapı elde etmektir. Çünkü sertleşebilmenin temel ve birinci başarısı karbonun östenit içinde tekdüze şekilde ergiyip dağılmış bir eriyik meydana getirmesine bağlıdır. Bu nedenle, çeliklerin sertleştirilmesine geçmeden önce çeliklere uygulanacak ısıtma türlerinin ve bunun da daha iyi anlaşılabilmesi için demir-karbon (Fe-C) denge diyagramının incelenmesinde yarar vardır.

2.1. Demir-Karbon Denge Diyagramı

Bütün ısıtma işlemlerinin amacı, malzemenin özelliklerini istenilen şekilde değiştirmektir. Hazırlanmış veya yarı hazırlanmış parçalar da ısıtma işlemi gördüğü için işlem sonunda parçaların dış şekli değişmemelidir.

Bütün bu mekanik özellik değişmelerine iç yapı değişmeleri sonucunda varılır.

Isıl işlemler çeliğin katı haldeki dönüşümleri sonucu mümkün olmaktadır. Bunu da ancak Fe-C denge diyagramından anlayabiliriz. Dönüşüm sıcaklıkları malzemenin içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Bu nedenle dönüşümler için belirli sıcaklıklar verilmez. Dönüşüm sıcaklıkları ancak demir-karbon denge diyagramındaki eğrilerle belirtilebilir. Diğer bir belirleme şekli ise, dönüşüm noktalarını indislerle göstermektedir. Şekil 2.1 de demir-karbon diyagramında görülen bu indislerin anlamları ise şöyledir:

Ar_3 : Soğumada α Dönüşümü (GSK) eğrisi.

Ac_3 : Isınmada γ Dönüşümü

Ar_1 : Soğutmada perlit oluşumu (PSK) eğrisi

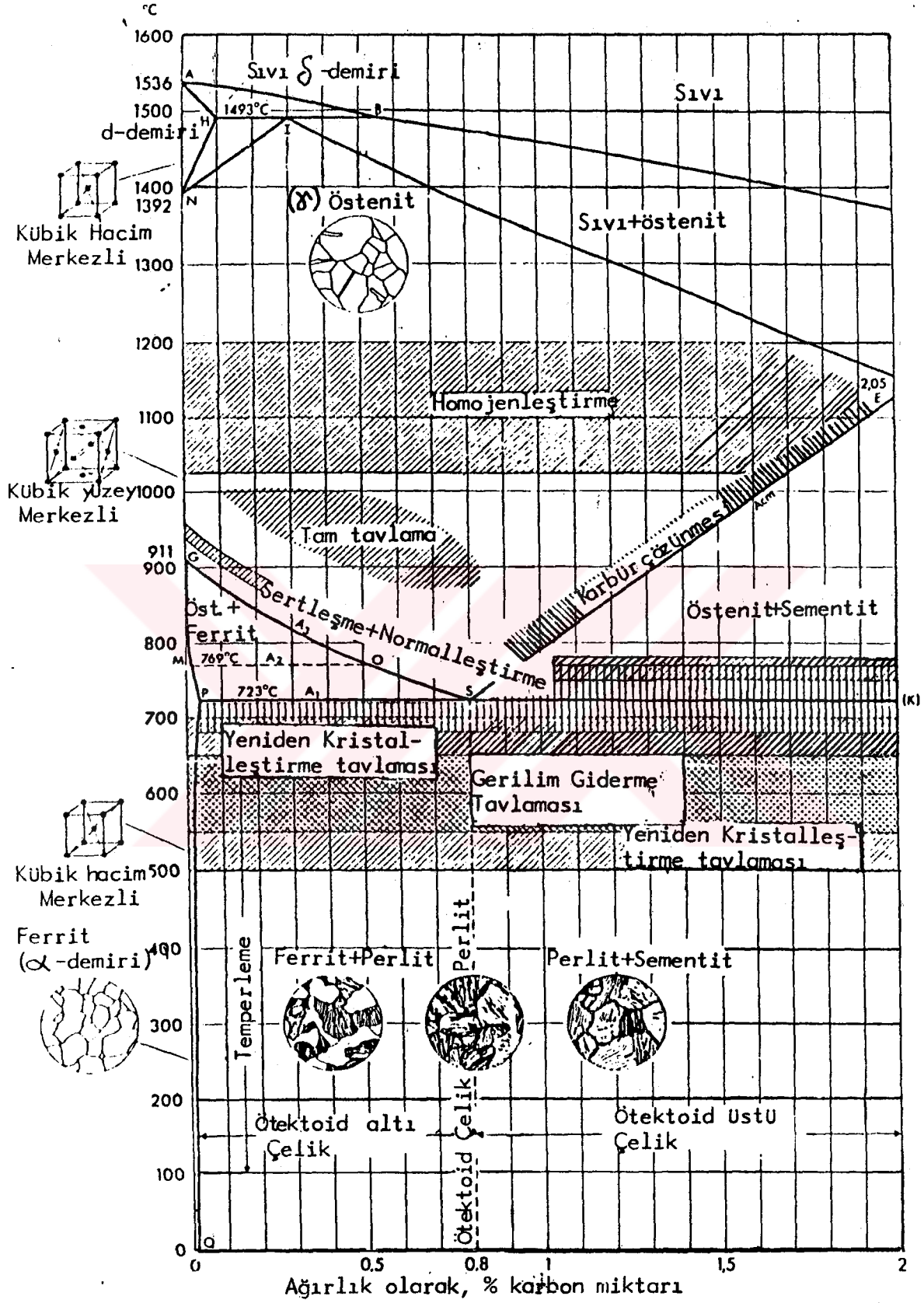
Ac_1 : Isıtmada östenit oluşumu

Ar_{cm} : Soğutmada karbür oluşumu

Ac_{cm} : Isıtmada karbür parçalanması sonu

Çelikteki alaşım elementlerinin en önemlisi karbondur. Karbon çeliğe çeşitli özellikler kazandırır. Oda sıcaklığında α demirindeki karbonun çözünebilirliği çok düşüktür, bu yüzden karbon atomları başlıbaşına demir atomları arasında çok seyrek bulunur. Karbon α demiri içinde demir karbür (Fe_3C) halinde bulunur ve buna "Sementit" denir. % 0.8 C içeren sementit ve ferrit lamellerinin bileşimine "Perlit" denir. Yapıdaki perlit oranı, çelikteki karbon miktarının % 0.8'e kadar çıkması ile artar. Bu miktardaki karbon fazlalığı tane sınırlarında karbür olarak ayrılır. % 0.8 karbon içeren çeliğe ötektoid çelik denir.

Demir karbon ile alaşımlandırıldığı zaman dönüşüm, karbon miktarına bağlı olarak demir karbon denge diyagramında görüldüğü gibi bir sıcaklık alanında yer alacaktır. Karbon östenit fazında, ferrit fazından daha fazla çözünebilir.



α -demiri 911°C ye ısıtıldığında γ demiri, yani östenite dönüşür. Östenit 911°C ile 1392°C arasında dengelidir. 910°C altında α demirin kristal yapısı khm(kübik hacim merkezli)dir. 910°C yi geçince yani östenit halinde yapı kym(kübik yüzey merkezli) haline dönüşür. α kristallerinin aksine γ kristalleri, yani kym yapısı karbon eritme özelliğine sahiptir.

Demir-Karbon denge diyagramında görüldüğü gibi ötektoid çelik (% 0.8 C ihtiva eden) 723°C de östenite dönüşür. Az karbonlu çeliklere ötektoid altı çelikler denir ve bunlarda γ ya dönüşüm (A_{c3} de) GS çizgisi üzerinde başlar, ötektoid üstü çeliklerde ise (A_{cm}) SE çizgisi üzerinde dönüşüm olur. Yani GSE eğrisi üzerindeki sıcaklıklarda sadece östenit oluşur ve karbon östenit içinde çözünür.

Tam östenitleşmiş çeliği 723°C nin altına yavaş sağıtacak olursak γ demiri, α demirine dönüşür ve tekrar perlitik yapı elde edilir, bu esnada karbon da sementit haline dönüşür.

Buradaki dönüşümler çok yavaş bir sıcaklık değişiminde oluşur.

2.2. Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm(Time-Temperature-Transformation-T.T.T.)Diyagramı

Isıl işlem metodları için demir-karbon denge diyagramının anlaşılması çok önemlidir. Denge diyagramında demir ve karbon arasındaki denge durumları açıklanmıştır. Isıl işlemlerin büyük bölümünde, tayin edici faktörlerden biri zaman parametresidir, bunun etkisi zaman-sıcaklık-dönüşüm(T.T.T.) diyagramlarında görülür. Bu diyagramlardan zaman ve sıcaklığın dönüşümün oluşumuna etkisini izlemek mümkündür.

Bu diyagramlara izotermal dönüşüm diyagramları da denir ve sabit sıcaklıkta dönüşüme uğramış çelikler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen verilere göre çizilmiştir.

Diğer tip sürekli-soğuma-dönüşüm (Continuous-Cooling-Transformation-C.C.T.-) diyagramı, sertleştirme işlemi esnasında oluşan da-

ha kapalı dönüşümleri tanımlar. Sürekli-soğuma-dönüşüm diyagramları sertleştirme işlemi sonunda, değişik soğuma hızlarında nasıl yapılar oluşacağını tahmin edebilecek şekilde yapılmıştır.

2.2.1. Perlit Oluşumu

% 2 karbon ihtiva eden alaşımlar kritik sıcaklık üzerinde γ kristallerinden oluşan östenit bir yapıya sahiptir. Bu yapıya karbonun demir içindeki katı eriyiği de denir. Soğuma esnasında 723°C altına inildiğinden östenit parçalanır ve her östenit tanesinden ferrit ve sementit tabakaları oluşur. Karbon % 0.85 ve demir % 99.15 oranında olunca karbon katı eriyik sınırını aşar ve ara yer bileşiği olan sementit (Fe_3C) oluşur. Sementit, ferrit ile bir arada ötektoid bir alaşım yapar. Bu olay Mehl tarafından şu şekilde açıklanmıştır:

Tane sınırlarında sementit nüvesi oluşur, bunun etrafında ferrit, daha sonra sementit oluşur ve böylece meydana gelen yapı perlit meydana getirir. (Şekil 2.2.) Mikroskop altında perlit, taramalı parlak bir görüntü verir (siyah-beyaz olarak). Mehl yaptığı metalografik incelemelerde siyah çizgilerin sementit, beyaz çizgilerin ferrit olduğunu saptamıştır (REED-HILL, 1972).

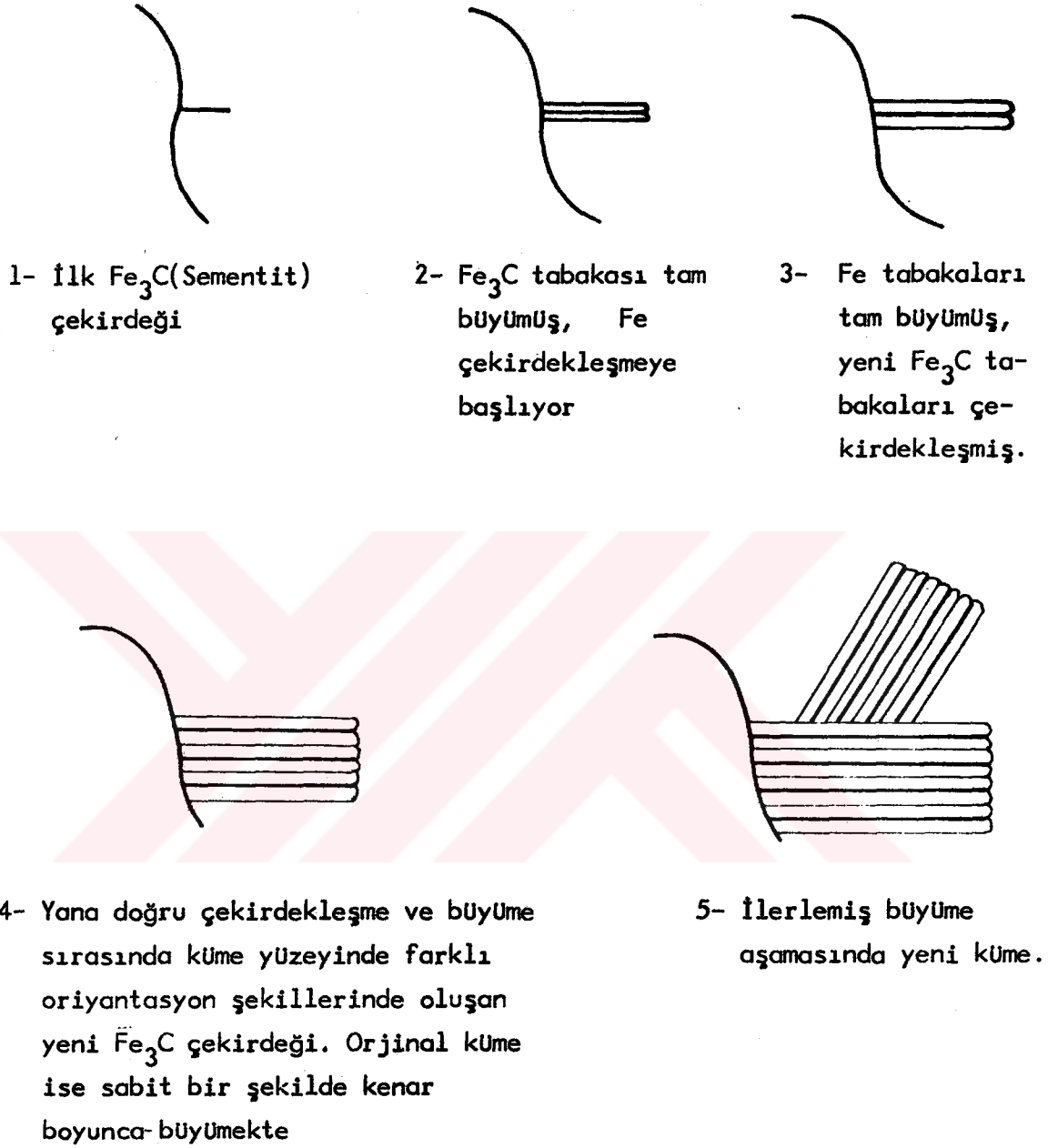
Perlitteki ferrit ve sementit miktarları, kaldıraç bağıntısına göre şu şekilde hesaplanır. (Ferritin % 0.0 karbon ihtiva ettiği kabul edilmiştir) (GÜLEÇ, 1983).

$$\% \text{ Ferrit} = \frac{6.67 - 0.8}{6.67} = \% 87.5 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\% \text{ Sementit} = \frac{0.8}{6.67} = \% 12.5 \dots \dots \dots (2.2)$$

2.2.2. Beynit Oluşumu

550°C altında oluşan yapı beynit, perlit boyunca ayrılmaya başlar. Bu oluşumun ferrit çekirdeklenmesi üzerine, yani tane sınırlarından lamellerin büyümesi ile başladığı kabul edilir. Sementit lamel-



Şekil. 2.2. Perlitin çekirdekleşmesi ve büyümesi (Perlit oluşumu).

leri bir limit sınırdaki ferrit lamelleri ile sıkı bir şekilde oluştuğu zaman östenit etrafındaki karbon miktarı devamlı olarak artar.

Sıcaklık düştükçe taneler içinde beynit oluşmaya başlar, aynı zamanda oluşum şekilleri de değişir. Metalurjik mikroskopta beyniti diğer yapılardan ayırmak zordur. Çeliğin yapısı ve beynitin oluşum sıcaklığına göre beynitin görünüşü değişir.

Beynit oluşumu sıcaklığa bağlı olarak üst ve alt beynit olarak ikiye ayrılır. Beyniti bu farklı oluşumları Pickering tarafından açıklanmıştır (THELNING, 1981). Üst beynit kırılğan, alt beynit ise tokdur.

2.2.3. Martenzit Oluşumu

Hızlı soğuma sonucu γ kristalleri 723°C ın altında α kristallerine dönüşecektir, fakat bu dönüşüm hızlı soğuma etkisi ile 723°C ın çok altında (M_s çizgisinde) meydana gelir. Karbon atomları γ kristallerinden ayrılarak sementit meydana getirmek ister, fakat hızlı soğuma nedeni ile buna zaman bulamayıp çok düşük sıcaklıklarda α kristallerine zoraki dönüşecek γ kristalleri içinde bulunur. Böylece karbon atomları α kristalleri içine hapsedilmiş olur. α kristallerinin ise karbon eritme yeteneği yoktur. Bu suretle meydana gelen anormal α kristalleri çarpılmış, şekli değişmiş ve gerginlik kazanmış olur ki sertliği meydana getiren bu yeni yapı tetragonal kafes şeklindedir ve martenzit adını alır. Karbon miktarının artışı ile martenzit hacmi artar. Martenzit sert, dayanımı, yüksek darbelere karşı düşük bir yapıdır.

2.3. Isıl İşlemlerin Sınıflandırılması

Pratikte yaygın olarak kullanılan yarı işlenmiş ve işlenmiş malzemelerde gerekli mekanik özellikleri sağlamak için malzemenin mikro yapısına farklı olarak etki eden çeşitli ısıl işlem türleri vardır (BELL, 1976).

Isıl işlemler esas olarak iki ana gruba ayrılır:

a- Termal işlemler

b- Termokimyasal işlemler

Termal işlemlerin esası, ısı yoluyla katı haldeki çeliğin yapı değişikliği sonucu bir takım özellikler kazanmasıdır.

Termokimyasal işlemler ise genellikle sertleşebilmesi için yeterli karbonu olmayan çeliklere uygulanır. Bu çeliklerin yapı dönüşüm yoluyla sertleşmesi mümkün değildir. O nedenle yüzeyden ince bir tabakanın sertleşebilmesine yetecek kadar bileşimi değiştirilir.

Bu iki işlem de kendi aralarında sınıflara ayrılır.

2.3.1. Termal İşlemler

Bu tür ısı işlemler, çeliğin katı haldeki dönüşümleri sonucu mümkün olmaktadır. Bu işlemler esas olarak üç ana kısımda yapılmaktadır. Çelik ilk olarak belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta belli bir süre tutulduktan sonra oda sıcaklığına su verme yoluyla soğutulur.

Termal işlemler ise kendi aralarında üç esas gruba ayrılır:

2.3.1.1. Tavlama (Annealing)

Tavlama, çelik yapısının şekil verilme özelliğini, işlenebilmesini, gerekli mekanik özelliklerini geliştirmek, soğumadan ileri gelen ve soğuk veya sıcak işlemin meydana getirdiği gerilmeleri kaldırmak için yapılan bir ısı işlemdir.

Tavlama işlemi bir ısıtma çevrimi, bir tutma periyodu ve kontrollü bir soğutma çevriminden ibarettir. İşlemin her bir bölümü arzu edilen sonucu sağlayacak şekilde değişebilir ve bu tavlama çevrimleri özel işlem veya sonucun karakteristik isimleriyle belirtilir. Buna göre tavlama çeşitleri şu şekilde sıralandırılabilir:

a- Tam tavlama (Full annealing)

Bu tip tavlama genellikle ötektoid altı çelikler kritik

sıcaklığın (A_{c_3}) yaklaşık 30 - 50°C üzerinde bir sıcaklığa ısıtılır, bu sıcaklıkta belli bir süre tutulur ve sonra yavaş yavaş soğutulur. Östenitleştirme sıcaklığı nispeten yüksek olduğundan tam karbür çözünmesi elde edilir. Yavaş soğutma sonucu iri lamelli perlit elde edilir. Böylece iç ve kalıcı gerilmeler giderilir.

Tavlama sonunda yüksek tokluk ve süneklik, ayrıca yüksek mekanik özellikler elde edilir. Yalnız yavaş soğutma gerektirdiğinden zaman alıcıdır. Yüksek sıcaklıkta sarfedilen zaman dolayısıyla gerekli tedbirler alınmazsa tufallaşma (oksitlenme) ve karbon azalması bir problem olabilir.

b- İzotermik Tavlama (Isothermal Annealing)

Bu işlemde genellikle alaşım çelikleri tam tavlamadaki gibi ısıtılır, sonra hızlı olarak soğutulur. Çelik, tam östenitleşme ayrışması için izotermik olarak östenitleşme sıcaklığında tutulur ve sonra havada soğutulur.

Bu tip tavlama, tam tavlama işlemine göre önemli zaman kazancı sağlar, ayrıca izotermik tavlama ile iyi bir homojen yapı elde edilir. Çeliğin işlenebilme özelliği düzeltilebilir. Bu işlemde soğuma hızı, düşük alaşımli çeliklerde fazla, yüksek alaşımli çeliklerde yavaş olmalıdır.

c- Homojenleştirme (Homogenizing) - Difüzyon Tavlaması -

Difüzyon tavlaması ayrışım çökelmelerinin (segregasyonların) yapı içinde dengelenmesi gibi çözünebilir bileşenlerin iç yapıda düzenli bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla yapılır.

Malzeme içindeki karbon miktarına göre 1000 ile 1300°C arasında uzun süre tavlama ve sonra istenilen şekilde soğutulur. Yüksek sıcaklıklardaki çelik birçok maddeleri çözündürme kabiliyeti olan östenitten meydana gelir ve bu sıcaklıklarda atomlar yabancı atomların bulunmadığı bölgelere hareket ederler. Bu difüzyon için zaman gerekir. Bu

sırada gerekli tedbir alınmazsa tane büyümesi, dekarbürizasyon ve oksidasyon sonucu tufal meydana gelebilir. Tedbir olarak koruyucu atmosfer kullanmak veya çeliği talaş içerisine paketlemek gibi usuller uygulanır.

Difüzyon tavlaması yüksek miktarda kükürt ihtiva eden otomat çeliklerine uygulanır. Haddelenmiş yapılar tane sınırlarında sülfür segregasyonları ihtiva ederler, bunlar difüzyon tavlaması ile daha ince ve düzenli bir şekilde yapıya dağılırlar.

d- Yeniden Kristalleşme Tavlaması(Recrystallization Annealing)

Bu tavlama, soğuk sertleşmeyi gidermek ve soğuk şekil değiştirmeden sonra azalan uzama kabiliyetini yeniden kazanmak için uygulanır.

Yeniden kristalleşme tavlaması sıcaklığı, çeliğin bileşimine bağlı olarak 500-650°C arasında veya 650-700°C arasında yapılır. Atomlar, yeniden kristalleşme esnasında pratik olarak yerlerini değiştirmezler, yalnız kendilerini yeniden düzene sokarlar. Bu sırada katettikleri mesafe, kafes parametresinden daha küçüktür. Alaşımli çelikler ve yüksek karbonlu çelikler yüksek bir yeniden kristalleşme sıcaklığı gerektirir. Burada şu noktayı hatırlatmakta yarar vardır; preste kesilmiş, delinmiş, makasla kesilmiş sac ve profillerin her türlü ısıtılması sonucu kaynak yapma ve alevle doğrultma olduğu gibi soğuk şekil değiştirmiş bölgelerde yeniden kristalleşerek tane büyümesinin oluşma tehlikesi vardır. Soğuk şekil değiştirmeden sonra yapıdaki taneler uzar ve daralır. Yeniden kristalleşme tavlamasından sonra yeni taneler normal ve yuvarlak şekilde büyür.

e- Gerilim Giderme Tavlaması (Stress-Relief Annealing)

Düzensiz soğuma sonucu veya plastik şekil değiştirme sonunda meydana gelen iç gerilimlerin giderilmesinde bu işlem uygulanır.

Parçalar 550-650°C arasındaki bölgeye yavaş olarak ısıtılır ve yaklaşık 4 saat tavllanır. Soğutma, parçanın bütün kısımları daima aynı sıcaklıkta kalacak şekilde, yani çok yavaş yapılır. İç yapı gerilme

giderme tavlama sırasında değişmeye uğramaz. Sıcaklık ile çeliğin akma sınırı düşer, iç gerilmeler yüksek ise malzeme kendini bırakır. Çekme gerilmesi etkisindeki lifler uzar; basma gerilmesi altındaki lifler ise kısalır. Bu sırada gerilimler giderek azalır. Gerilim giderme tavlama sıcak dövülmüş ve dökülmüş parçalara talaş kaldırma işlemi uygulanmadan önce, dar aralıklı parçalara ise yüzey temizlenmeden önce ve kaynak yapılmış parçalara uygulanır.

Sıcak dövülmüş ve dökülmüş parçalar genellikle düzensiz soğurlar. Parçadaki sıcaklık farkları nedeniyle çekme ve basma gerilmeleri oluşur ve kullanma sonucu çatlamalara neden olur. Gerilim giderme tavlama ile bu iç gerilmeler alınır. Büyük kaynak konstrüksiyonlarında ise kaynak dikişinin yanındaki bölgeler alevle tavllanır ve hemen arkasından su püskürtülerek gerilmeler giderilir. Bu işlem çok dikkatli yapılmalıdır.

Tavlama ile normalizasyon gerilim giderme tavlama ile bir arada düşünülebilir. Bunun için tavlama ve normalizasyon esnasında 600° C'dan sonra yavaş bir soğutma gerilmeleri gidermeye yeterlidir.

2.3.1.2. Normalizasyon (Normalizing)

Bu işlemde ötektoid altı çelikler kritik sıcaklığın (A_{c3}) 50°C üzerine, ötektoid üstü çelikler ise kritik sıcaklığın (A_{cm}) 50°C üzerine ısıtılır, kısa bir süre (10-20 dak.) bu sıcaklıkta tutulur ve sonra havada soğutulur. Normalizasyon iki amaçla yapılır; tane büyüklüğünü inceltmek ve dövülen veya haddelenen çelik yapısında daha elverişli karbür tane iriliği ve dağılımı elde etmek.

Çeşitli dövme parçalar, dövme esnasında farklı işleme ve plastik deformasyona maruz kalırlar. Son dövme sıcaklıkları parçalara göre değişebilir ve oda sıcaklığına soğutmada farklı soğuma hızları elde edilir. Şu halde çeşitli dövme parçalarında değişik tane büyüklüğü ve mikro yapılar bulunabilir. Normalizasyon ile ince taneli düzgün bir yapı elde edilir.

Normalizasyon, esas olarak az karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanır. Sertlik sonuçları çelik bileşimine ve boyutuna bağlıdır. Soğuma esnasında merkez ile yüzey arasındaki soğuma hızı farklıdır, fakat çok azdır.

Bazı durumlarda çift normalleştirme gerekir. Bu işlemde çelik önce kritik sıcaklığının üzerinde ısıtılır, yapı dönüşümü tamamlanır. İkinci kademedeki çelik düşük bir sıcaklık alanında ısıtılır (600°C civarında) ve sonra soğutulur. Buradaki amaç daha iyi ve ince taneli bir yapı elde etmektir.

2.3.1.3. Sertleştirme (Hardening)

Sertleşmeyi, çeliklerin kontrollü ısıtılıp soğutulması olarak tanımlayabiliriz. Sertleştirmenin amacı yüksek sertlik ve aşınma mukavemeti elde etmektir.

Sertleştirme metodu uç ara işleme ayrılır. Sertleştirmede, çelik bileşimine bağlı olarak 725 ile 870°C ye ısıtılır ve sonra martenzit yapı elde edecek kadar süratle soğutulur. Arzu edilen özellikleri ve mikro yapıyı elde etmek için 150-750°C arasında bir sıcaklığa kadar tekrar ısıtılarak temperleme yapılır.

2.3.1.3.1. Isıtma (Heating)

Sertleştirme için çeliğin önce östenitleşmesi gerekir, yani çeliğin kritik sıcaklığın üzerinde ısıtılması ve perlitin tamamen östenite dönüşmesi lazımdır. Eğer ısıtmada aşırıya kaçılırsa iri östenit taneleri oluşur, bu da yapıyı olumsuz yönde etkiler, iri taneli bir yapı meydana gelir.

Ötektoid üstü çelikler (% 0.8 den fazla C ihtiva eden) tamamen östenit hale getirilemezler. Bunlar için en ideal sıcaklık A_1 sıcaklığının 40°C üzerindedir, yani 760°C dir.

2.3.1.3.2. Su Verme (Quenching)

Su verme ortamı, çeliğin ısısını, parçanın kritik soğuma hızını aşacak şekilde olmalıdır. Ancak bu şekilde östenitten martenzit bir yapı elde edilir. Kritik soğuma hızı çeliğin bileşimine ve kesitine bağlıdır. Alaşım elementleri soğuma hızını düşürür.

Su verme ortamı su, tuzlu su, su-yağ ve bazen de havadır. En hızlı soğutma su ortamında sağlanır. Diğer ortamlarda daha yavaş bir soğutma elde edilir. Yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde gerilmeler fazla olacağından soğutma hızı düşük olmalıdır ve genellikle yağda soğutma yapılır. Su verme sonucu yapıda yüksek iç gerilmeler meydana gelebilir, bunun nedeni soğuma sırasında boyutsal değişikliklerin, yüzey ile merkezdeki sıcaklık farkının ve δ demirinden α demirine geçişteki hacim değişmesidir. Bu gerilmeleri gidermek için parça yaklaşık 300°C ye ısıtılıp havada soğutulur, böylece gerilmeler giderilir.

2.3.1.3.3. Temperleme(Tempering)

Temperleme sertleştirilmiş bir çeliğin kritik sıcaklık altındaki bir sıcaklığa ısıtılmasından ibarettir. Bu sıcaklık alanı 160 ile 650°C arasındadır. Parça, verilen sıcaklıkta belli bir süre tutulup, sonra soğutulur.

Temperleme ısı işlemin son bölümüdür ve bu işlemle çeliğe istenilen mekanik özellikler verilir. Temperleme sonunda iç gerilmeler tamamen veya kısmen kaldırılır, teğetsel ve radyal gerilmeler de aynı derecede azaltılır. Yaklaşık olarak 550°C de ilk 15-30 dakikada gerilmeler kaldırılır. Temperlemeden sonra, soğutma hızı da bu gerilmelere etki eder. Yavaş soğutmada gerilmeler çok azalır. 600°C de, suda hızlı soğutma esnasında yeni termal gerilmeler oluşur. Havada ve yağda soğutmada bu gerilmeler daha azdır. Bu sebeple yüksek sıcaklıkta çarpılmaları önlemek için temperlemeden sonra parça komplike biçimde yavaş soğutulmalıdır. Alaşımlı çeliklerin temper kırılma eğiliminin giderileceği şüphelidir,

bu nedenle 500-650°C de temperlemeden sonra hızlı soğutma yapılmalıdır.

Çeliğin özelliklerine, esas olarak temperleme sıcaklığı etki eder. Bu nedenle temperleme 3 kısma ayrılmaktadır (BELL, 1976).

a- Düşük Sıcaklıkta Temperleme

Bu işlem 250°C de yapılır. Su verme ile elde edilen martenzit yapıdaki iç gerilmeler azalır, kuvvet artar, sertlikte azalma olmaksızın tokluk artar. Düşük alaşımlı ve karbonlu takım çeliklerine, karbürleme veya karbonitrürleme ile yüzeyi sertleştirilmiş parçalara bu işlem uygulanır.

b- Orta Sıcaklıkta Temperleme

Bu işlem genellikle 350-500°C de bobin, haddelenmiş yaylar ve kalıplara uygulanır. Temperlemeden sonra suda soğutma yapılır. Bu işlemin yüksek bir elastik sınırdan yapılması gerekir. İşlem sonucu troostit bir yapı elde edilir.

c- Yüksek Sıcaklıkta Temperleme

500-680°C sıcaklıklarda yapılır. Bu temperleme sonucu çelik sorbit yapıya dönüşür ve tokluğu artar.

2.3.2. Termokimyasal İşlemler (Thermo Chemical Treatments)

Termokimyasal işlemler modern teknolojiye girmiş olup, geniş alanlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemde, çeliğin yüzeyine belirli sıcaklıklarda bazı elementler (karbon, nitrojen vb) atomik difüzyon yoluyla ilave edilerek yüzeyden sertleştirme yapılır. Bu işlem tuz banyolarında veya gazlı ortamlarda yapılır.

Termokimyasal işlemlerde en önemli faktör, işlemin ferritik veya östenitik alanda yapılmış olmasıdır. Buna göre termokimyasal işlemleri şu şekilde sınıflandırabiliriz (GÖNCEL, 1980).

2.3.2.1. Nitrürleme (Nitriding)

Yarım asırlık bir geçmişi olan bu usul Adolf Fry (BAYDUR, 1976) tarafından bulunmuştur. Geniş bir uygulama alanı bulan bu metotta az karbonlu ve az katı (Cr, Mo, Al'lu) çeliklerin yüzey sertleştirilmesi yapılır. Diğer metodlardan farkı yüzeyde sementit yerine azot atomlarının meydana getirdiği nitrür katı oluşmasıdır. Nitrürlemede azot verici madde olarak gazlar ve tuz eriyikleri kullanılır.

Nitrürleme işlemi, daima çelik ferritik yapıda iken uygulanır. Nitrürleme sıcaklığı 450-570°C arasındadır. Çeliğin östenitik yapıya geçmemesi için sıcaklığın daha yüksek olmasına izin verilmez, çünkü azot östenitik yapıda çok fazla çözünür.

2.3.2.1.1. Gazlı Ortamda Yapılan Nitrürleme

Bu işlem 450-540°C arasında sıcaklıktaki bir fırında yapılır. Fırına konan çelikler, fırından geçirilen amonyak gazının parçalanması sonucunda serbest kalan azotun çelik yüzeyinde nitrür meydana getirmesi ile yüzeyden ince bir tabaka sertleşmiş olur.



Konik dişli imalatında, takım tezgahlarının millerinde ve birçok takımlarda gaz nitrürleme yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.2.1.2. Tuz Banyolarında Yapılan Nitrürleme

Bu işlemlerde parçalar 550-570°C daki tuz eriyiklerine batırılırlar. Bu eriyikler siyanür ve siyanat'dan meydana gelen bir karışımdan oluşmuşlardır. İşlem esnasında siyanat parçalanır ve azot malzeme tarafından yapıya alınır. Banyo nitrürleme daha çok periyodik yüklemenin olduğu ve sürtünme ile aşınacak parçalara uygulanır. Örneğin; krank milleri, vites kutuları, pompa dişli çarkları, silindir yuva ve başları vb.

Nitrürleme ile yüzey tabakasının sertliğinin çok fazla artmasıyla parçanın aşınma direnci, atmosfer, su ve buharlı ortamlarda korozyona karşı direnci oldukça artar. Nitrürleme, düşük sıcaklıklarda uygulanan bir işlem olduğu için fazla çarpılma ve gerginlik olmaz, ancak bir miktar boyut büyümesi olabilir, bu da taşlama ile giderilir.

2.3.2.2. Karbürleme (Carburising)

Karbürleme, çeliğin yüzeyine karbon ilavesi ile yapılan bir işlemdir. Bu işlem genellikle düşük karbonlu çeliklere uygulanır. Karbürleme ile çeliğin yüzeyinde 1 - 3 mm lik bir tabakanın karbon oranı % 0.85 - % 1.3 arası bir değere yükseltilir.

Karbürleme, çelik östenitik bölgede iken uygulanır. Çünkü karbon çözünmesi yüksek sıcaklıkta, yani östenitik bölgede meydana gelir ve böylece karbon atomları yüzeye difüzyon yoluyla girerler. Karbonun yapıya nüfus etme derinliğini, tavlama süresi ve sıcaklık etkiler. Yapıdaki karbon miktarını ise karbürleyici madde etkiler.

Karbürleme işlemi iki kademe yapılır. Birinci kademe çelik yüzeyine karbon verilir ve aşınmaya dayanıklı bir kabuk elde edilir. Elde edilen bu tabaka, aslında perlit veya perlit+sementit dokularından ibarettir. İkinci kademe bu doku tabakası su vermeyle sertleştirilir ve martenzit bir yapı elde edilir. Çelik yüzeyine karbon verebilmek için katı, sıvı ve gaz karbon vericiler kullanılır ve karbürleme buna göre adlandırılır.

2.3.2.2.1. Katı Ortamda Karbürleme

Burada karbon verici olarak meşe kömürü, kok, linyit vb. kullanılır. Bu maddelerin daha etkili karbon verebilmesi için baryum karbonatla karıştırılmaları gerekir. Parçalar karbürleyici toz ile karıştırıldıktan sonra hava geçirmeyen kutulara yerleştirilir ve yaklaşık 900°C sıcaklıkta tavllanır. Buradaki tepkime:



şeklindedir. Karbon östenit tarafından yapıya alınır, karbondioksit (CO_2) ise kızgın karbon ile tekrar reaksiyona girer,



Yüzeydeki karbon miktarı başlangıçta artar, daha sonra yavaşlayarak sıcaklık ve CO ile CO_2 oranına bağlı bir değere yaklaşır.

Bu usul sadece bölgesel olarak karburlenecek büyük parçalar için uygundur.

2.3.2.2.2. Sıvı Ortamda Karbürleme

1860'dan beri kullanılan bu usulde, karbon verici olarak NaCN , NaCl_2 , NaCO_3 vb. bileşikler kullanılır. Parçalar, bu tuz eriyikleri içine ($850 - 930^\circ\text{C}$ sıcaklıkta) asılırlar. Tuz eriyikleri ısıyı çabuk ve doğrudan doğruya parçaya verirler. Bu nedenle ısıtma süreleri kısadır (15-45 dak.).

Bu metotta kullanılan maddeler sıvı siyanür tuzları olduğu için bu işleme siyanürize de denir.

2.3.2.2.3. Gaz Ortamında Karbürleme

Metan, etan, asetilen, havagazı ve propan gibi gaz karbon vericilerle yapılan karbürleme işlemi tozkarbürlemeye benzer. İşlem süresi kısadır ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.3.2.3. Karbonitrürleme (Carbonitriding)

Karbonitrürlemede karbürleyici bir gaz ile amonyaktan oluşan bir gaz karışımında parçalar, $850 - 860^\circ\text{C}$ de 2 ile 10 saat arasında tutularak sertleştirme yapılır. Karbonitrürlemede genellikle % 3.5 - 5.5

işlenmiş doğal gaz ile % 2 - 3.5 amonyak (NH₃) karışımı tercih edilir. Bu işlemde, karbon ve nitrojen difüzyonu aynı zamanda olur, karbon daha yüksek bir hızla nüfus eder. Karbonitürleşmiş yüzeyin derinliği genellikle 0.2 - 0.8 mm arasındadır.

Karbonitürleme, çelik ferritik yapıda iken uygulanır. Uygulama sıcaklığı yaklaşık östenitleşme sıcaklığının 100°C kadar altındadır. Çürkü karışımındaki azot östenitleşme sıcaklığını düşürür. Azot aynı zamanda karbonun çözültüye geçmesini kolaylaştırır ve kritik soğuma hızını düşürür.

Karbonitürleşmeyi su verme takip eder ve sonra martemperleme uygulanır (gerilme giderme için).

2.3.2.4. Dekarbürleme (Decarburising)

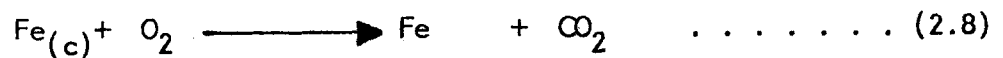
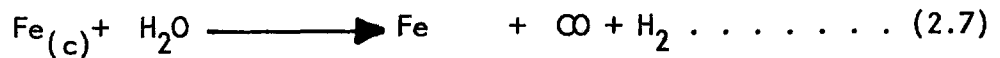
Karbon miktarı çok fazla olan çeliklerde yüzey karbonu, dekarbürleme işlemi ile azaltılır. Yüksek karbonlu ve takım çeliklerinde dekarbürleme önemli bir problemdir.

Karbürlemede verilen denklem:



Eğer, CO₂ ihtiva eden bir atmosferde, ısıtılmış çeliğin yüzey tabakasından karbon alınır ise verilen denklem sola dönebilir.

Diğer dekarbürleme tepkimeleri ise:



şeklindedir.

Yüzeyde maksimum gerilmelerin olduğu uygulamalarda dekarbürleme zararlıdır. Böyle zamanlarda su buharı, CO_2 ve O_2 den çelik yüzeyini korumak için fırında bir endotermik gaz atmosferi kullanarak dekarbürleme önlenir.

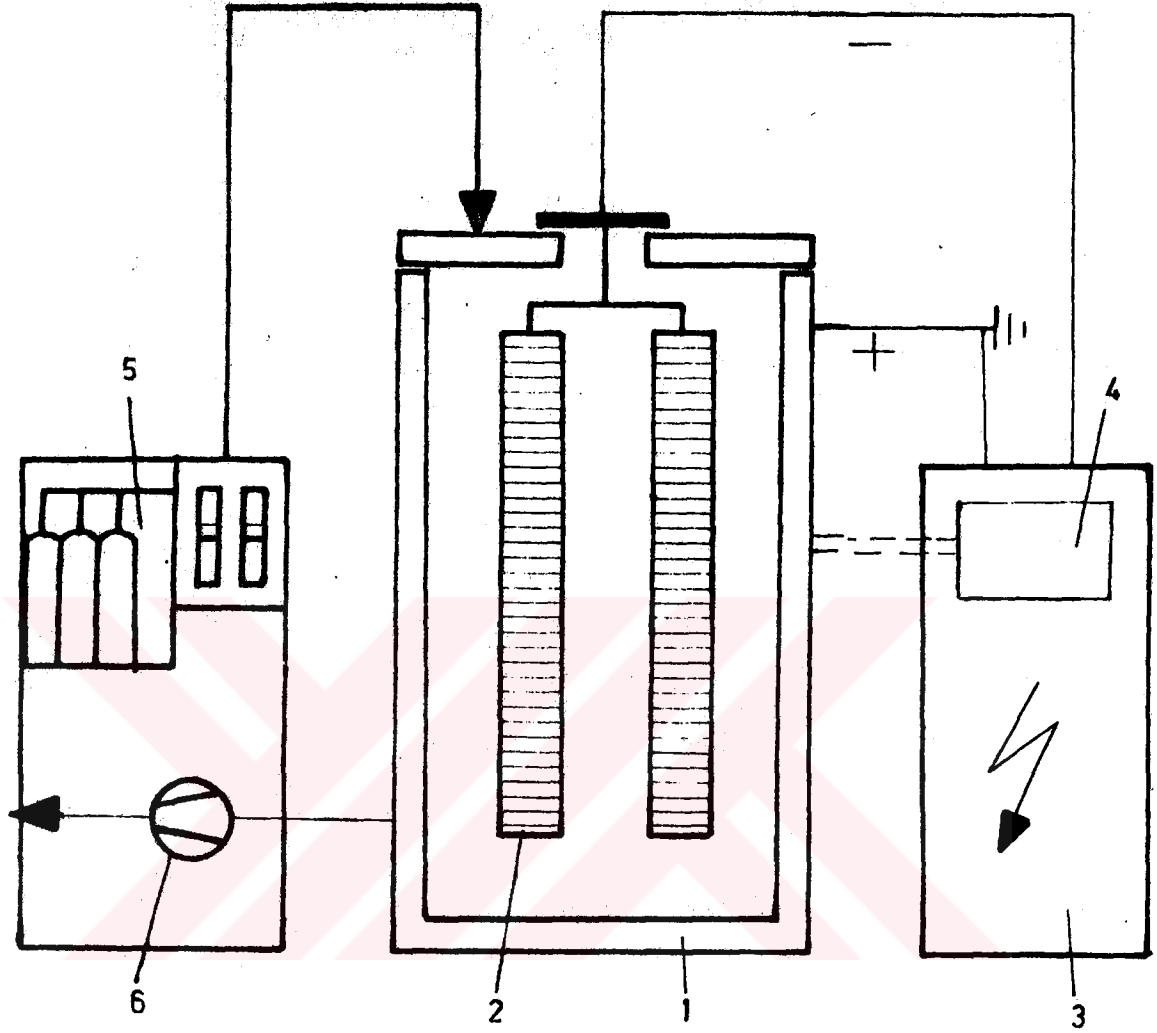
2.3.2.5. İyon Nitrürleme (Ion Nitriding)

İyon nitrürleme metodu ilk defa 1930 yılında Burciyus tarafından ortaya atıldı (THELNING, 1981). İşlemin doğru sonuç vermesi için kullanılan aletlerin çok pahalı olması, değişik sahalarda teknolojik bilgi gerektirdiği için uzun seneler kullanılmamıştır. Ancak, metodun son senelerde getirdiği gelişmeler, iyon nitrürlemeyi çok popüler hale getirmiştir.

İyon nitrürleme, çelik ferritik yapıda iken uygulanır, 580°C nin üstündeki sıcaklıklar kullanılmaz, çünkü demir-nitrojen sisteminin ötektoid sıcaklığı 592°C de yapı değişikliğine neden olur. Fe_4N (demir nitrat)-ferrit ötektoid karışımı, kırılğan olmayan yapıya "bravnite" denir. Bu yapıya yüksek sıcaklıkta nitrürleme yapmak imkansızdır.

Alçak basınç atmosferinin nitrojen potansiyeli pratik olarak büyük bir ısı alanında sıcaklık yüküne bağlı değildir. Bunun sebebi açıktır; iyon nitrürlemede vakum odasındaki gaz atmosferi oda duvarları ile sıcaklık yükü arasındaki alanda yaratılan elektrik alanı vasıtası ile yüksek etkili plazma haline dönüşür. Atmosferdeki nitrojen atomları iyonlara ayrılır ve elektrik alanının etkisi altında işlenecek bütün yüzeylere direkt olarak bombardıman edilir. Bu yüzden voltaj ve akım gibi elektriksel parametreler ile beslenmiş nitrojenin emilmesi ve elde edilmesi düzenlenmiş olur. İşlenecek yüzeyin sıcaklığının etkisi ihmal edilebilir. Bu nedenle iyon nitrürleme işlemleri 400°C hatta bazen 350°C ta kadar düşük sıcaklıklarda uygulanabilir.

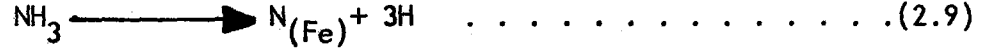
Nitrürlenecek parça bir elektrik güç kaynağına bağlıdır. Vakum odasına ($\text{NH}_3 + \text{H}_2$) gönderilir. Nitrojen atomları iyonlara ayrılır ve yüzeye bombardıman edilir. (Şekil 2.3)



- 1- Vakum Fırını
 2- İş parçası
 3- Elektrik Ünitesi

- 4-Sıcaklık ayarlama cihazı
 5-Gaz Karışımı ($\text{NH}_3 + \text{H}_2$)
 6-Vakum pompası

Şekil. 2.3. İyon Nitrüleme cihazının şematik gösterilişi



Bu metodla yapılan nitrürleme, seyreltilmiş amonyak gazı ile veya hidrojen - nitrojen karışımı ile yapılır. Normal sıcaklık aralığı 510 - 550°C arasındadır. Bu metodla yalnız γ' (Fe₄N) veya Σ (Fe₂₋₃ C_x N_y) yapıları ya da bunların karışımından oluşan bir tabaka elde etmek mümkündür.

Bu metotta sıcaklığın yanı sıra işlem zamanı da önemlidir. Difüzyon kanunlarına göre düşük sıcaklıklarda iyon nitrürleme ile elde edilen derinlik, aynı işlem zamanı için normal sıcaklıklarda elde edilen derinlikten daha düşüktür. 42 Cr Mo 4 çeliği için difüzyon tabakası kalınlığı ile işlem zamanı arasındaki bağıntı:

530°C ta 20 saatlik bir işlemde 0.4 mm derinlik,

450°C ta 40 saatlik bir işlemde de aynı derinlik elde edilecektir. Yani düşük sıcaklıkta daha uzun bir işlem zamanı gerekecektir.

500°C ın altında (350°C ile 500°C arasında) nitrürleme yapmak sadece iyon nitrürleme ile mümkündür. Bu metodun yüksek çekirdek kuvveti, yüksek yüzey sertliği elde edilmesi ve boyutsal değişikliklerin çok az olması gibi avantajlarından dolayı, değişik makina parçaları ve çok sayıda takımlar için düşük sıcaklıkta iyon nitrürleme uygulamaları yapılmaktadır.

2.4. Jominy Deneyi

Jominy deneyi kolay ve ekonomik olarak yapılabilen bir deney olup mühendislik yapım çelikleri için tamamiyle tekrarlanabilir. Yani bir laboratuarda elde edilen Jominy deney değerleri aynı çelikten bir numune üzerinde herhangi bir başka laboratuarda yapılan deneyle çok yakın olarak eşdeğerdir. Bunun yanı sıra, herhangi bir sertleşebilme tayini metodundan daha hassastır ve niceliksel değerler gerekti-

ği zaman mutlaka kullanılmalıdır.

Bu metodun diğeri bir yararı da düşük alaşımlı çeliklerin yapımlarında ergitilmeleri esnasında alaşımın sertleşebilme kontrolünü yapmaya elverişli olmasıdır. Dökme çelikler için Jominy uçtan su verme eğrilerinin, hadde çeliklerinininkiyle hemen tamamen uyduktukları kesin bir şekilde gösterilmiştir (SISKO, 1948; İZAR, 1971'den). Burada üretim esnasında şarjdan alınan dökme numuneden sertleşebilme kabiliyetini belirlemek mümkündür ve bu çeliklerden yapılan ingotlardan haddelemecek bloom, kütük ve yassıların sertleşebilme sonuçları daha önceden tayin edilmiş olacaktır. Bu nedenle Jominy deneyinin hem çelik yapımında hem de çeliğin mühendislik uygulamasındaki kontrollerinde büyük değeri vardır. Böylece düşük alaşımlı mühendislik yapım çeliklerinin yapımcıları ile kullanıcıları için ortak bir sertleşebilme ölçme bazı elde edilmiştir. Hatta daha da ileri gidilerek, çelikler bileşimlerine göre tanımlandıklarından, sertleşebilmeyi çeliğin bileşiminden tayin edebilecek duruma gelinmiştir. Bu da yapım esnasında kontrolü mümkün kılar ve böylece uygun ve ekonomik çeliklerin seçimini kolaylaştırır.

Bir yapıda veya makinede çeşitli gerilmeler altında kullanılan karbonlu veya alaşımlı bir çeliğin seçiminde düşünülecek pekçok faktör vardır. Şüphesiz, bunlardan temel olan faktörler güvenilirlik ve ekonomik olmaktır. Güvenirlik büyük ölçüde servis gereklerini karşılayacak olan mekanik özelliklere dayanmaktadır. Bunlar da sırasıyla kimyasal bileşim, ısıl işlem, sertleşebilme ve diğeri faktörlere bağlıdır. Güvenirlik ayrıca kaliteye dayanmaktadır ki bu faktör de sırasıyla yapıdaki ve ısıl işlemlerdeki değişkenlerin sayısının kontrolüne bağlıdır.

Ekonomiye gelince, kısmen arzu edilen mekanik özelliklerin sağlanması için gerekli ısıl işleme ve çeliğe yapılan ilk masrafa dayanmaktadır. Bu da çeliğin yapısına, ergitilmesine, arıtılmasına ve diğeri işlemlere bağlı olmaktadır. Ayrıca ekonomiklikte önemli bir konuda parçanın talaş kaldırma, fabrikasyon, kaynak veya diğeri bir dizi işlem sırasındaki işleme kolaylık veya zorluğudur.

Eğer bütün faktörler doğru bir şekilde değerlendirilmişse çelik seçimi artık temel olarak fiyatına bağlı olur. Genel olarak en ekonomik çeliğin maliyeti sertleşebilmesi ve içindeki alaşım elementlerinin cins ve miktarlarıyla orantılıdır.

Karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin seçimlerinde, bunlara etkili bir şekilde ısıl işlem uygulanabilmesinde ve su vermenin kontrolü olarak yapılabilmesinde sertleşebilme oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

2.5. Sertleşebilme (Hardenability)

Günümüz malzeme mühendisliğinde, mekanik özelliklerini en iyi şekilde geliştirmek amacıyla ısıl işlem görmüş çeliğin bütün kesiti boyunca martenzit bir yapı oluşması gerekmektedir. Ve pek çok çelik için bu yapının elde edilip edilemeyeceği çeliğin sertleşebilme kabiliyetine bağlıdır.

Sertleşebilme, bir malzemede martenzit oluşumunun sağlanması sonucu çeliğin yüzeyinde veya özüne kadar sertlik alma özelliği olarak tanımlanır. Bu tanımlama en yüksek sertlik değerlerini kazanma, belli şartlar altında sertleştirme işleminin uygulanması ile malzemede erişilen sertlik derinliği ve kesitte elde edilecek sertlik dağılımı gibi özellikleri kapsamaktadır. Bu nedenle "sertleşebilme" çeliklerin sertleştirilmeleri ve islah edilmelerinde erişilecek özelliklerin tesbitinde önemli bir büyüklüktür. Sertleşme derinliği ve kesit-sertlik dağılımı şu faktörlere bağlıdır:

- a- Sertleştirme sıcaklığı,
- b- Sertleştirme sıcaklığında tutma süresi,
- c- Metalurjik üretim yöntemi, özellikle çeliğin deoksidasyon işlemine bağlı olarak oluşan östenit tane büyüklüğü,
- d- Sertleştirme ortamında tutma süresince malzemede soğuma hızının değişimi.

Malzeme soğuma hızı ise, sertleştirme ortamı, soğutma şid-

detine, malzemenin bu ortamda göreceli hareketine, malzeme kesiti, şekli ve yüzeyin özelliklerine, malzemenin ısı geçirgenliği gibi fiziksel büyüklüklerine bağlıdır.

Martenzit oluşumu ile erişilen üst sertlik değeri, uygulanan sertleştirme sıcaklığında çözülmüş karbon miktarına bağlıdır. Bu nedenle az karbonlu çeliklerde en büyük sertlik değerleri yüksek karbonlu çeliklere göre azdır. 60 Rc değeri üzerinde sertlik ancak karbon miktarı % 0.5'ten fazla olan çeliklerde elde edilir.

Sertleştirme sıcaklığında çözünen karbon miktarı sıcaklığın yüksekliğine, bu sıcaklıkta tutma süresine ve alaşım elementlerinin meydana getireceği malzemedeki az veya çok miktarda zor çözünen karbürlerin varoluşuna bağlıdır. Az ve orta karbonlu çeliklerde sertleştirme sıcaklığı yüksek seçilebilir. Fakat karbon miktarı çok fazla olan çeliklerde yüksek sıcaklıklarda çözünen karbür miktarı çok fazla olacağından artık östenit oluşumu artacak ve erişilen sertlik değeri az olacaktır.

2.5.1. Alaşım Elementlerinin Sertleşebilme Etkisi

Çelik genel olarak bir demir-karbon alaşımı olup diğer özellikleri (sertlik, mukavemet vb.) birinci derecede bu alaşım içindeki karbürlerin boyut ve dağılımı tarafından kontrol edilmektedir.

Bir çeliğin sertleşebilmesine karbon miktarı önemli ölçüde etki eder. Karbon miktarının ve karbon eşdeğerliliğinin ($C_{eş}$) artışı ile sertleşebilme artmaktadır. Bir çeliğin karbon eşdeğerliliği şu formülle hesaplanmaktadır:

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \dots \dots \dots (2.10)$$

Alaşımsız adi karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklarda perlit oluşumu bilhassa kalın kesitlerde tamamen önlenemez. Böyle durumlarda soğutma sonucu tam martenzitik yapı elde edilemez. Bu gibi sakın-

caları gidermek için çeliğe Mn, Si, Ni, Cr ve Mo gibi alaşım elementleri ilave etmek gerekir. Böylece karbon eşdeğerliliği de arttırılarak çeliğe optimum mekanik özellikler kazandırılır.

Bir çelikteki alaşım elementlerinin her biri sertleşmeye ayrı ayrı etki eder. Bu alaşım elementleri, demirdeki çözünme miktarına göre, çeliğin sertleşebilmesini çoğaltır. Alaşım elementlerinin demir ve demir-karbon alaşımlarının faz değişimlerine etkileri temel olarak kritik sıcaklığı yükseltip alçaltmak şeklinde olur. Mangan ve nikel kararlı östenit sıcaklık alanını, östenitin ferrite ve karbüre dönüştüğü sıcaklığı bastırarak genişletirler. Alüminyum, vanadyum, molibden, tungsten, krom ve silisyumun etkileri ise kararlı östenit bileşim ve sıcaklığı alanını sınırlamak şeklindedir. Krom bir dereceye kadar özel bir durum teşkil eder. Karbon ihtiva etmeyen alaşımlarda % 7 - 8'e kadar krom miktarı dönüşüm sıcaklığını az ölçüde düşürür.

Çelikteki her elemanın östenitin perlit ve östenitin beynite dönüşümüne karakteristik bir etki yapma eğilimi vardır. Öyle ki her tip çelik kendine has değişik bir T.T.T. diyagram karakteristiği gösterir. Alaşım elemanlarının topluca etkileri, perlit ya da beynit yapıları çekirdeklenme zaman sürelerini arttırma ya da eksiltme eğilimi göstermelidir.

Adi karbonlu çeliklerle alaşımlı çeliklerin vereceği T.T.T. diyagramları faydalı olur. Kobalt hariç tüm alaşım elemanları T.T.T. diyagramındaki dönüşüm eğrilerini (perlit burnunu) sağa kaydırır. Diyagramda perlit burnunun sağa kayması ile çeliklerin sertleştirilmeleri için daha yavaş soğutulmaları yeterli olur. bu nedenle alaşımlı çelikler daha yavaş soğutulularak sertleştirilebilir. Alaşım elementi yüzdesi arttıkça daha fazla sağa kayan perlit burnu bize çeliğin çok yavaş soğutulsa bile yine martenzit meydana getireceğini açıklar.

Bütün alaşım elementleri ferritin mukavemetini karışım kristali oluşturarak yükseltir. Bir çeliğin sertlik derecesi çeliğin bileşimi, kesit boyutu ve su verme ortamının etkisi altındadır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu araştırmada Fe 50, Fe 60, Fe 70, karbonlu ve kromlu çeliklerin sertleşebilme kabiliyeti, Jominy deneyi ile tesbit edilecek, sertleşebilmeye etkiyen alaşım elementleri tesbit edilip, sertleşme mekanizması tartışılacaktır.

3.1. Materyal

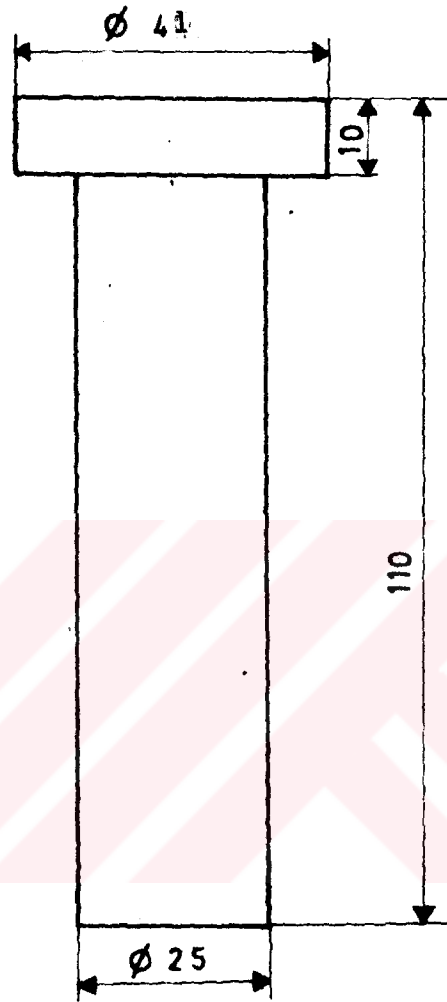
3.1.1. Malzemelerin Seçimi

Bu araştırmada kullanılan malzemeler, günümüz makina endstisinde makina parçaları yapımında çok yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle seğilmiş olup, bunların yapı bileşimlerinin sertleşebilmeye olan etkilerinin arlaşılması için spektroskopik analizleri yapılmıştır. Numunelerin Spektroskopik analizleri izelge 3.1.de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Numunelerin spektroskopik analiz sonuçları.

Malzemeler	% Ağırlık olarak										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	B	V
Fe 50	.25	.63	.23	.01	.004	.95	.08	.19	.21	.0002	.0001
Fe 60	.38	.80	.25	.007	.015	.09	.09	.01	.24	.00032	-
Fe 70	.39	.64	.22	.036	.028	.11	.06	.01	.027	.00028	-
Karbonlu elik	.60	.62	.24	.02	.018	.03	.04	.005	.08	-	-
Kromlu elik	.19	.48	.58	.02	.009	10.77	.48	.15	.07	.001	.01

Spektroskopik analiz sonuçlarından da grldğu gibi seğilen malzemelerin alaşım miktarları birbirlerine göre farklıdır. Sertleşebilmeye etki eden en önemli faktör alaşım elementleri olduğundan, çeşitli makina parçalarının yapımında kullanılan bu malzemelerin sertleşebilme



Şekil.3.1. Jominy Test Numunesi

kabiliyetlerinin tayini, çelik seçiminde önemli bir yer tutmaktadır.

Test çubukları, AISI (the American Iron and Steel Institute) standartlarına göre hazırlanmıştır.

3.2. Metot

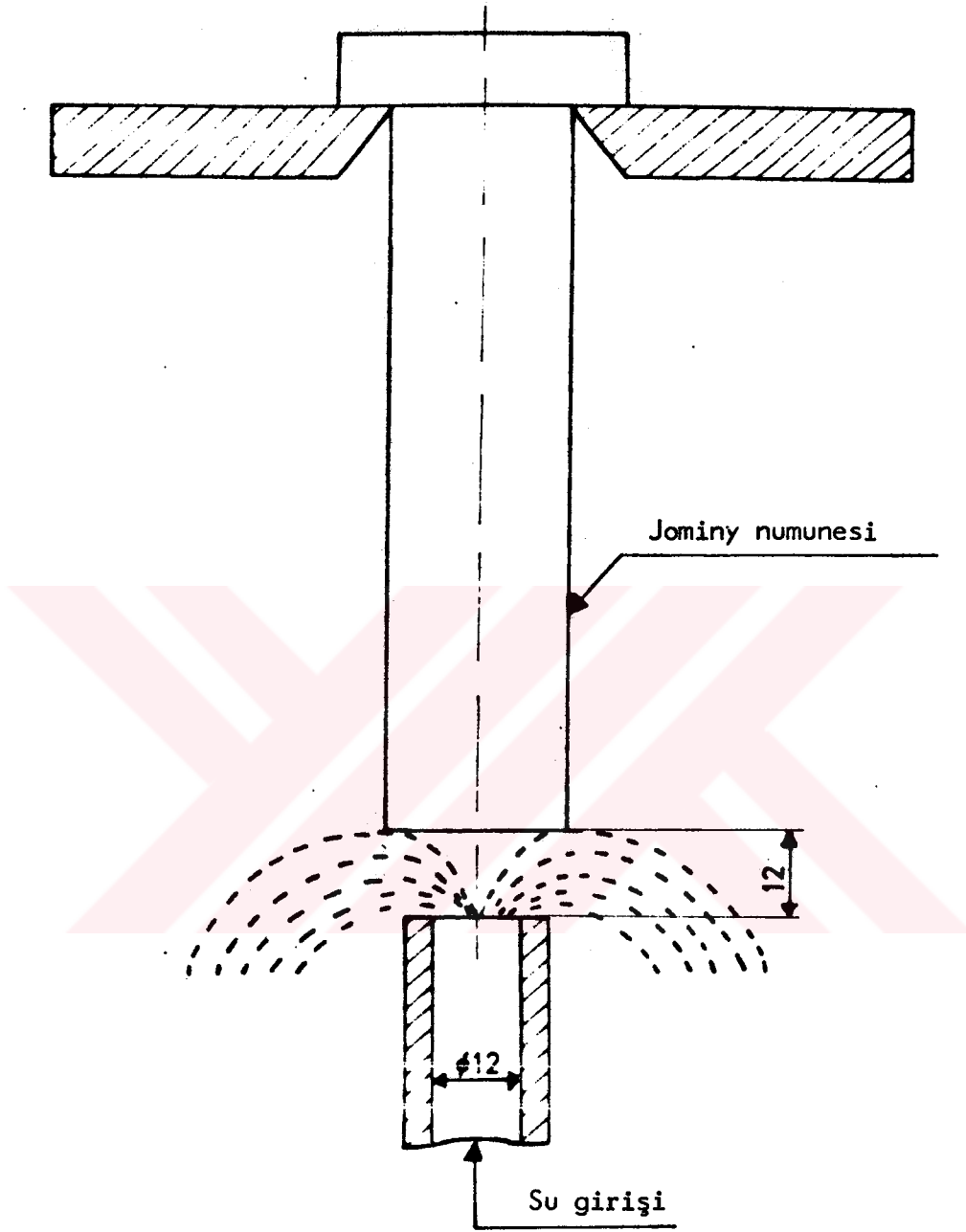
3.2.1. Deneyin Yapılışı

Standart Jominy numunesi şekil 3.1. de gösterilmektedir. Jominy deneyinde ısıtılma işlemi sonunda yapılacak sertlik ölçümleri için numune boyunca paralel iki yüzey elde edilecek şekilde 0.4 mm derinliğinde taşlama yapılır. Bu işlemin ısıtılma işlemi öncesi yapılmasının nedeni, ısıtılma işleminden sonra yapılacak herhangi bir işlemin (kesme, taşlama vb.) malzeme yapısının bozulmasına neden olabileceğidir. Yapı bozulması ise deney sonucunu tamamen değiştirecektir. Jominy deneyinde numune önce direnç kül fırınında 920°C a ısıtılmakta, 20 dakika bu sıcaklıkta bekletildikten sonra fırından alınmaktadır, şekil 3.2 de görülen deney düzeneğine yerleştirilerek alt ucundan su püskürtülmektedir. Suyun sıcaklığı ve debisi standartlaştırılarak numunenin soğuma hızının aynı olması sağlanmaktadır. Numune deney düzeneğinde 20 dakika bekletildikten sonra yüzeyde oluşan tufal temizlenmiştir. Belirli aralıklarla (her 5 mm de) sertlikler Rockwell C sıkalasından ölçülmüştür.

3.2.2. Metalografik Muayene

Metalografik inceleme yapmak için Vanox-M tipi metalurjik mikroskop kullanılmıştır. Numunenin su verilen uçtan itibaren su verme hızına göre yapısının ne şekilde değiştiğini inceleyebilmek için numuneler metalografik hazırlamaya tabi tutulmuştur. Metalografik hazırlama; taşlama, parlatma ve dağlama olmak üzere üç kademede yapılmıştır.

Taşlama işlemi için numuneler sırasıyla 180, 320, 500 ve 800 nolu silikon karbürlü su zımparalarıyla taşlanmış, etil alkolle yıkanmıştır.



Şekil. 3.2. Jominy Deney Düzeneği

İkinci kademe, taşlama sonucu giderilemeyen çizgileri gidermek ve düzgün bir yüzey elde etmek için numuneler sırasıyla 2.5 μ ve 1.5 μ luk elmas pastalar ile, parafinle soğutma yapılarak parlatılmış, karbon-tetraklorür ve etil alkol ile yıkanmıştır.

Son kademe ise nital-4 (% 4 HNO₃ + Etil alkol) dağlama çözeltisi ile dağlama yapılarak etil alkol ile yıkanıp kurutularak mikroskopla hazırlanmıştır. (Kromlu çelik için Cr₂O₃ + HCl dağlama çözeltisi kullanılmıştır).

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Optimum mekanik özellikler elde edilebilmesi için bir çeliğin kesitinin derinliğine sertleşmesi gerekir. Bu da bütün yapının tamamen martenzite dönüşecek şekilde su verilmesi demektir. Su verme hızı ile sertleşebilme arasındaki ilişkilerden yararlanma belirli bir uygulama şekli gerektirir ki, devamlı uygulanan ve değişik kişiler tarafından yapılan ısıtma işlemlerinin sonuçları birbirinin benzeri olsun.

Bu çalışmada başarılı sonuç veren ve genel olarak kabul edilmiş olan Jominy deneyi; sertleşebilmenin tayininde kullanılmış ve normal karbonlu çelikler ile alaşımlı bir çeliğin sertleşebilme grafikleri çizilmiş, kimyasal bileşimlerini veren spektroskopik analiz sonuçlarına göre karbon eşdeğerlilikleri hesaplanarak alınan malzemelerin sertleşebilme kabiliyetleri hakkında bir sonuca ulaşılmıştır.

Çeliğin ısıtılınca ferritten östenite dönüşmesi bütün çelikler için aynı olmayıp içindeki karbon ve alaşım elementlerine yani kimyasal bileşimine ve ısıtma derecesine bağlıdır.

Bu çalışmada incelenen malzemeler : Fe 50, Fe 60, Fe 70, karbonlu çelik ve kromlu martenzitik (alaşımlı) bir çeliktir.

Malzemelerin kimyasal bileşimlerinin yani alaşım elementlerinin sertleşilmeye olan etkilerini araştırmak için Jominy deneyi sonundaki verilmiş uçtan itibaren elde edilen sertlik değerleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Bir çeliğin sertleşebilmesine karbon miktarı ve alaşım elementleri kuvvetli olarak etki etmektedir.

α demiri (ferrit) içinde oda sıcaklığında ağırlık olarak % 0.01 oranında karbon çözünürken, yüksek sıcaklıktaki γ demiri (östenit) içinde çözünen karbon miktarı ağırlık olarak % 1'in üstüne çıkar. Sertleşilmeyi sağlayan, işte, karbonun katı eriyik halindeki bu değişikliğidir. Bununla birlikte karbon miktarı sertleşilmeye başlıbaşına etki etmektedir. Her malzeme - alaşımsız adi karbonlu çelikler de dahil - üretimden dolayı belli oranlarda alaşım elementleri içermektedir. daha

Çizelge 4.1. Su verilmiş uçtan itibaren sertlik değerleri
(Her 5 mm. de)

Su verilmiş Uçtan uzaklık	SERTLİK (R_c)				
	Fe 50	Fe 60	Fe 70	Karbonlu Ç.	Kromlu Ç.
0 mm	49	39	48	62	42
5 mm	47	28	34.5	58.5	39.5
10 mm	42.5	23.5	23	38	37.5
15 mm	32	19	20.5	35	35.5
20 mm	29.5	17.5	17.5	35	34.5
25 mm	26.5	15	16	32.5	33.2
30 mm	25.5	14	14.6	30.5	33.5
35 mm	24.5	13	13.5	30	32
40 mm	23	12	12.3	27	30
45 mm	22.5	11	11.5	25	29.5
50 mm	21.5	10	11	23	29
55 mm	20	10.5	10	22	28.5
60 mm	20	9	9	21.3	27.4
65 mm	17.3	9	8.5	19	26
70 mm	18	8.5	8	18.5	24
75 mm	18	8	7.5	18	21.2
80 mm	17.2	8	5.5	19	22
85 mm	16	8	7.5	17.5	20.4
90 mm	16.5	8	6	16.5	18.5
95 mm	15	7.5	7.5	17.5	18.8
100 mm	15	7.5	7.5	18	16

önce bahsedildiği gibi alaşım elementleri sertleşilmeye ayrı ayrı etki etmektedir. Alaşım elementlerinin bu etkisi çizelge.4.2 de görülmektedir. Bileşimdeki alaşım elementlerinin miktarı aynı şekilde etki eden bir eşdeğer karbon miktarı şeklinde hesaplanır. Bu hesaplama için deneysel yollarla bulunmuş karbon eşdeğeri formülünden faydalanılmaktadır (2.10 no'lu formülde görüldüğü gibi).

Karbon eşdeğeri ($C_{eş}$) bir nevi kabul edilen karbon miktarı gibidir. Alınan malzemelerin karbon eşdeğerleri hesaplandığında:

Fe 50 için : Bileşimi: % 0.25 C; % 0.63 Mn; % 0.23 Si;
% 0.95 Cr; % 0.08 Ni; % 0.19 Mo; % 0.21 Cu; % 0.0001 V

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$$C_{eş} = 0.25 + \frac{0.63}{6} + \frac{0.95+0.19+0.0001}{5} + \frac{0.08+0.21}{15}$$

$$Fe\ 50 \longrightarrow C_{eş} = 0.602 \text{ bulunur.}$$

Diğer malzemeler için de aynı hesaplama yapıldığında:

$$Fe\ 60 \longrightarrow C_{eş} = 0.555$$

$$Fe\ 70 \longrightarrow C_{eş} = 0.542$$

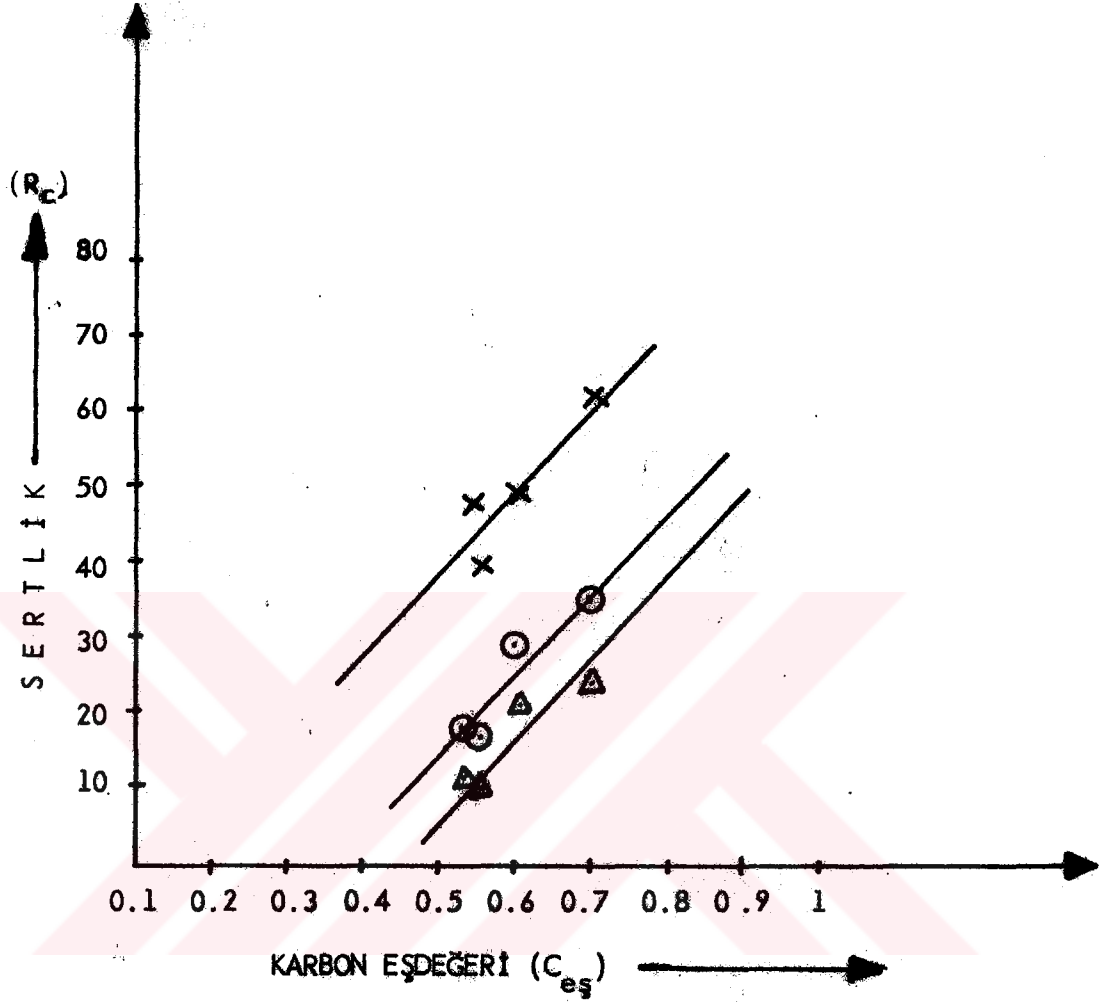
$$\text{Karbonlu çelik} \longrightarrow C_{eş} = 0.705$$

$$\text{Kromlu çelik} \longrightarrow C_{eş} = 2.490 \text{ bulunur.}$$

Bu malzemelerin karbon eşdeğerlikleri ile sertlikleri arasındaki ilişki bir diyagram halinde gösterildiğinde (Şekil 4.1) karbon eşdeğerliğinin artması ile sertliğin de arttığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.2. Çelikteki alaşım elementlerinin sertleşebilme üzerine etkileri

Element	Sertleşebilme Etkisi
Alüminyum	Sertleşebilmeyi orta derecede arttırır (Eğer östenitte çözünürse).
Krom	Sertleşebilmeyi orta derecede arttırır.
Kobalt	Çözünmüş halde sertleşebilmeyi azaltır.
Manganez	Sertleşebilmeyi orta derecede arttırır
Molibden	Sertleşebilmeyi kuvvetli derecede arttırır (Mo Cr)
Nikel	Sertleşebilmeyi orta derecede arttırır, fakat yüksek miktarda karbon içeren östenit oluşmasına neden olur.
Fosfor	Sertleşebilmeyi arttırır.
Silisyum	Sertleşebilmeyi orta derecede arttırır.
Titanyum	Çözünmüş halde muhtemelen sertleşebilmeyi çok kuvvetli olarak arttırır. Karbür etkisi sertleşebilmeyi azaltır.
Tungusten	Az miktarda, sertleşebilmeyi kuvvetli olarak arttırır.
Vanadyum	Çözünmüş halde sertleşebilmeyi çok kuvvetli olarak arttırır.



Şekil. 8.1. Karbon eşdeğerliği ile sertlik arasındaki ilişki.

-Bu eğriler alaşımlı çelik hariç, Jominy numunelerinin farklı mesafelerindeki sertliklere göre çizilmiştir.-

X : 0 mm'de

O : 20 mm'de

Δ : 50 mm'de

Karşılaştırma yapmak için alınan malzemelerin karbon miktarını, karbon eşdeğerliğini ve sertliğini veren bir tablo hazırlandığında; karbon miktarının ve karbon eşdeğerliğinin, dolayısıyla alaşım elementlerinin sertleşebilmeye ne denli etki ettikleri daha açıkça izlenir. (çizelge 4.3)

Çizelge 4.3. Malzemelerin (% ağırlık olarak) karbon miktarı, karbon eşdeğeri ve sertlik değerleri

Malzeme	% Karbon miktarı	Karbon eşdeğeri ($C_{eş}$)	Su verilen uç taki sertlik (R_c)
Fe 50	0.25	0.602	49
Fe 60	0.38	0.555	39
Fe 70	0.39	0.542	48
Karbonlu Çelik	0.60	0.705	62
Kromlu Çelik	0.19	2.490	42

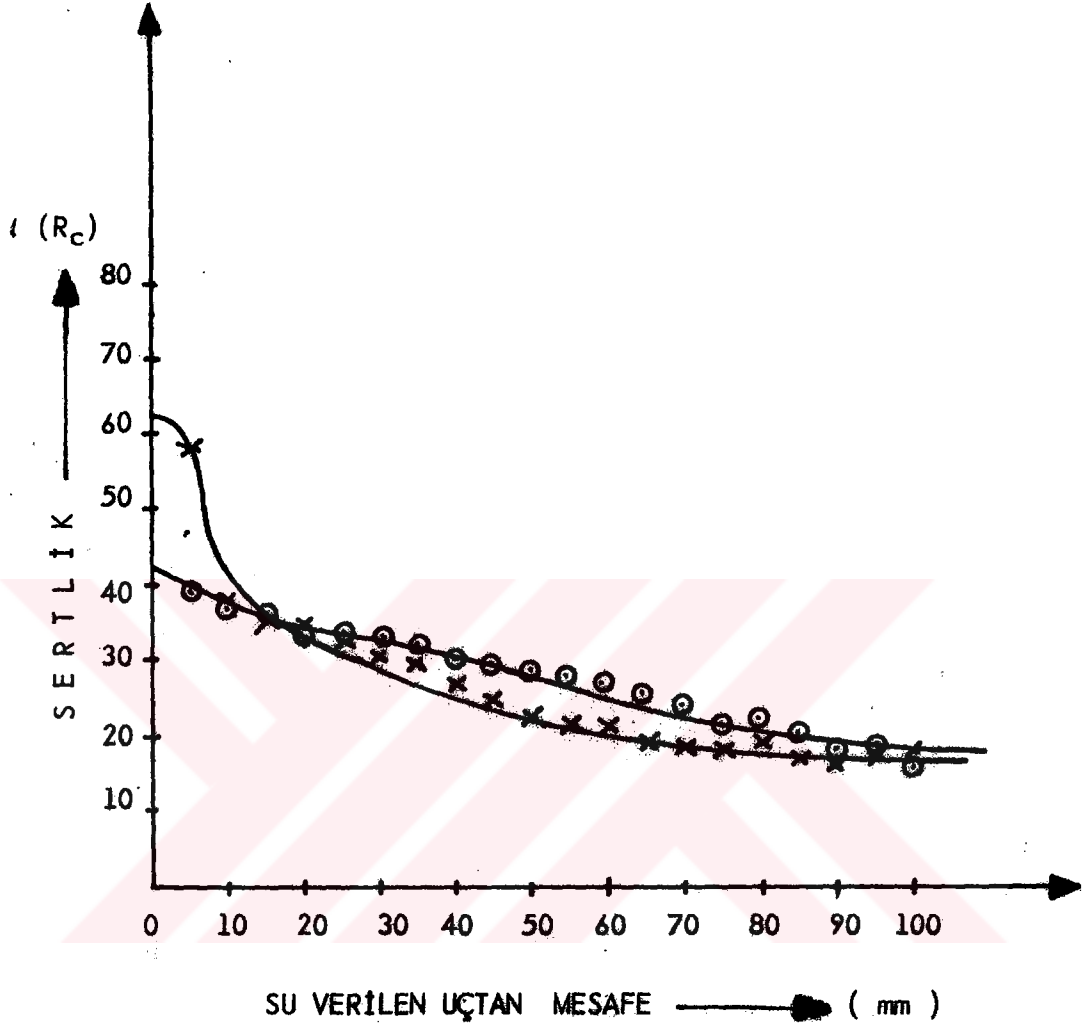
Öncelikle, kromlu (alaşım) çelik hariç diğer malzemeler incelendiğinde (Çizelge 4.3.) karbon miktarı en yüksek olan ve ağırlık olarak % 0.60 karbon içeren çelik, tüm malzemeler içerisinde en yüksek sertliğe sahip olduğu görülmüştür. Karbonlu çelikteki karbon miktarının, diğerlerinden oldukça fazla olması nedeniyle - alaşım elementleri bu çelikte, diğerlerinden az olmasına rağmen - karbon eşdeğerliği en yüksek olan malzemenin bu olduğu görülmektedir ve dolayısıyla sertlik değeri oldukça yüksektir. Buna karşılık sertleşme derinliği düşüktür. Diğer yandan Fe 50 çeliğinin karbon miktarı, Fe 60 ve Fe 70'e göre az olmasına rağmen, karbon eşdeğerliği ve sertliği bu malzemelerden büyük bulunmuştur. Bunun başlıca nedeni ise Fe 50 çeliğinde alaşım elementlerinin oranının fazla olmasıdır. Çizelge 3.1. de görüldüğü gibi spektroanaliz sonuçlarında; Fe 50 çeliğinin krom miktarı % 0.95, molib-

den miktarı ise % 0.19'dur. Fe 60 çeliğinde ise; % 0.09 Cr, % 0.01 Mo, Fe 70 çeliğinde ise; % 0.11 Cr, % 0.01 Mo vardır. Çizelge 4.2 de, alaşım elementlerinin sertleşebilmeye olan etkileri incelendiğinde; krom sertleşebilmeyi orta derecede, molibden ise kuvvetli derecede arttırmaktadır. Molibden perlit oluşumunu geciktirir, bu da sertliğin artması demektir. Krom ve molibdenin Fe 50 çeliğinde diğerlerinden oldukça fazla olması nedeniyle, bu malzemenin karbon eşdeğerliği ve buna bağlı olarak da sertliği yüksek bulunmuştur. Fakat karbonlu çelikte olduğu gibi bu malzemelerin de, yani Fe 50, Fe 60, Fe 70 çeliklerinin de sertleşme derinlikleri düşüktür. Bunun yanısıra, % 0.19 C, % 0.48 Mn, % 10.77 Cr, % 0.48 Ni içeren kromlu (alaşımli) çeliğin su verilen uçtan uzaklaştıkça sertliği çok az miktarda azalır. Yani, sertleşme derinliği daha fazladır. Örnek olarak, karbonlu çelikte kromlu çeliğin sertlik dağılım eğrileri karşılaştırıldığında (şekil 4.2.) alaşımli çeliğin sertleşme derinliğinin karbonlu çelikten daha fazla olduğu görülür.

Yapılan metalografik incelemeler sonunda elde edilen yapılar sertleşebilme hakkında daha geniş bilgiler vermektedir. Burada önemli olan nokta, değişik su verme ortamında, yani numunenin su verilen ucunda, suda hızlı soğutma, son ucunda ise havada çok yavaş soğutma yapılması nedeni ile çeşitli yapılar oluşmasıdır. Bu da ancak sürekli soğuma dönüşüm (CCT) diyagramları ile açıklanabilir. Sürekli soğuma dönüşüm diyagramları, ısıl işlem esnasında çeliklerde oluşacak yapıların tahmininde faydalıdır ve bu diyagramlarda değişik Jominy mesafelerinde, geçerli soğuma hızlarına karşılık gelen soğuma eğrileri belirtilmektedir. Jominy numunesinde her noktadaki soğuma hızı belirli bir soğuma hızına eşdeğerdir, bu nedenle sürekli soğuma dönüşüm diyagramından, çelik çubukta hangi yapının oluşacağını bilmek mümkündür. Fakat, çeşitli çeliklerin farklı ısıl iletkenliğinden dolayı bütün çelik cinslerine aynı soğuma eğrilerini uygulamak tam anlamıyla doğru değildir.

1960'larda Amerika'da "Metal Progress" dergisinde bir seri dönüşüm diyagramları yayınlanmıştır (THELNING, 1981).

Bu çalışmada ele alınan Jominy numuneleri için sertleşebilme eğrileri, yapılan birkaç deneyin ortalaması alınarak çizilmiş olup, su



Şekil. 8.2. Alaşım elementlerinin sertleşme derinliğine etkisinin, Jominy sertleşebilme (uçtan su verme) eğrileri ile açıklanması.

X : Karbonlu Çelik

O : Kromlu Çelik

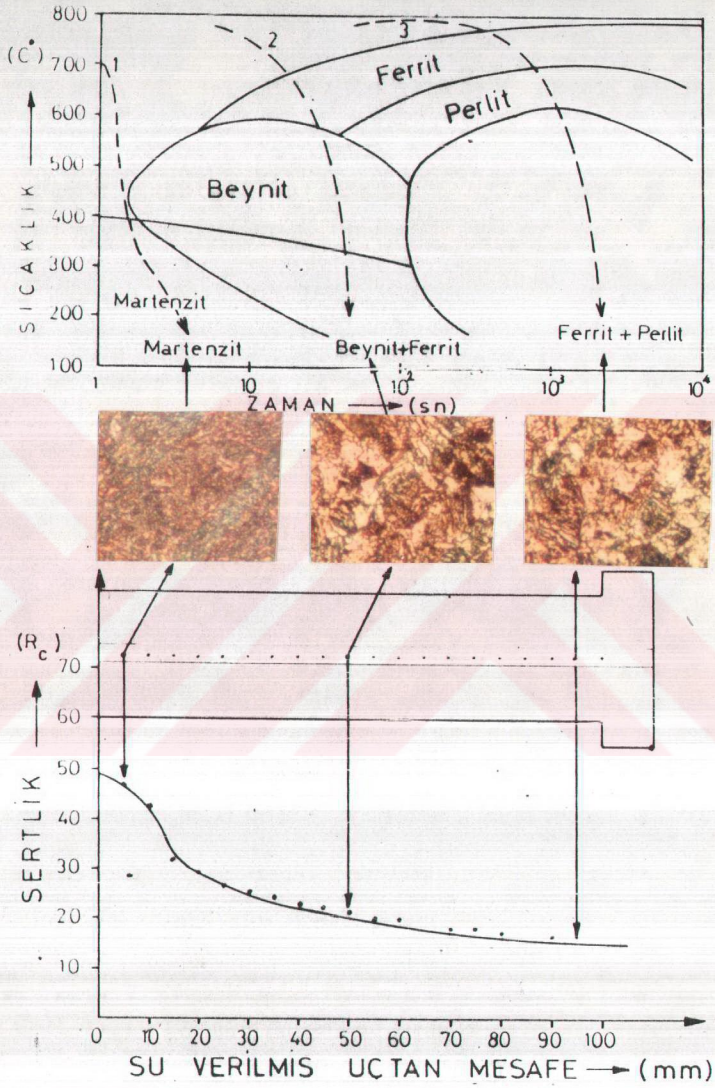
verilen uçtan itibaren belirli noktalardaki soğuma hızlarına karşılık gelen soğuma eğrileri sürekli soğuma dönüşüm diyagramlarında belirtile- rek oluşan yapılar gösterilmiştir. Burada ele alınan her bir çelik nu- munenin spektroskopik analiz sonuçlarına göre, bunlara en yakın olan AISI standartlarındaki çeliklerin sürekli soğuma dönüşüm (CCT) diyagram- ları çizilmiş ve yorumlar buna göre yapılmıştır (SOURCE BOOK ON HEAT TREATING).

Şekil 4.3 de Fe 50 çeliğinin sürekli soğuma dönüşüm diyagra- mı ile Jominy mesafelerine karşılık gelen soğuma eğrileri ve oluşan ya- pılar mikrofotograflarla gösterilmektedir.

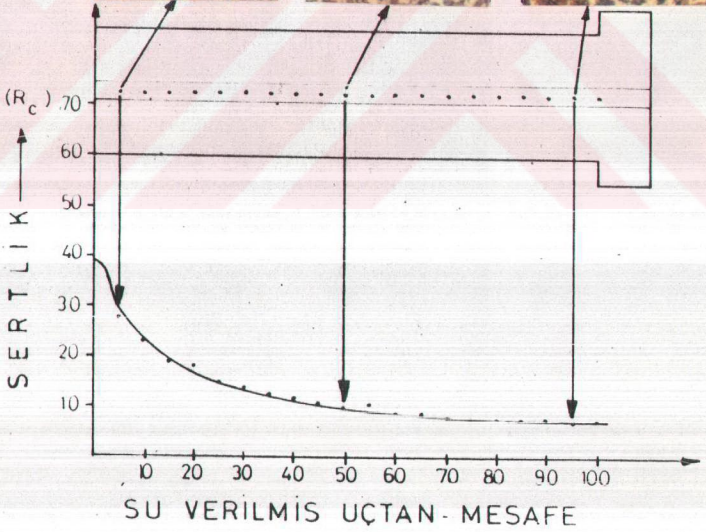
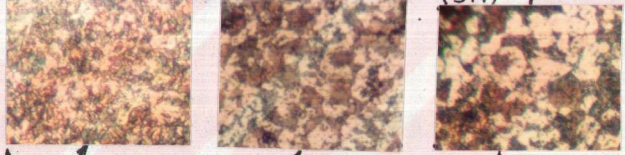
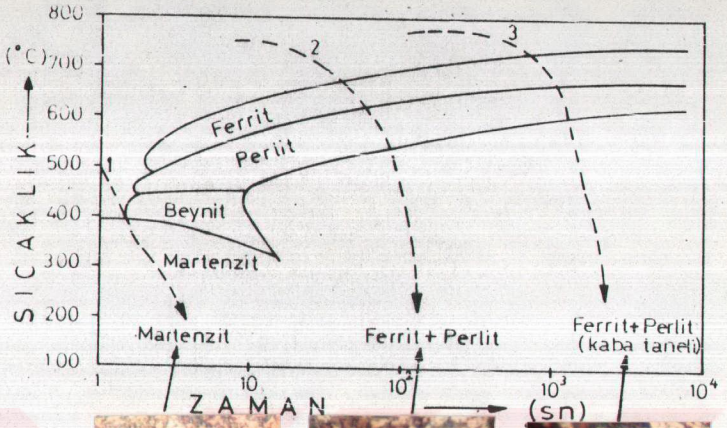
Numunenin uç kısmı suda su verildiğinden en yüksek sertliğe sahiptir ve şekilde de görüldüğü gibi iğneli bir yapı gösteren marten- zit oluşmuştur. Sürekli soğuma dönüşüm diyagramında da hızlı su verme sonucu martenzit oluştuğu görülmektedir. Orta kısımda, suda az hızla su verme sonucu oluşan yapıyı inceleyecek olursak; kaba iğneli ve koyu a- lanların beynit, beyaz alanların ise ferritten oluşan, daha az sert bir yapı oluştuğu gözlenmektedir. Numunenin en son ucunda ise ferrit ve perlitten meydana gelen bir yapı oluşmuştur. Buradaki yapı havada su verme sonucu oluştuğu için sertliği oldukça düşüktür. Diğer bir deyişle, numune boyunca, soğuma hızı değiştiğinden, buna karşılık sertleşmede o denli değişik olacaktır.

Şekil 4.4:de görülen Fe 60 çeliğinin sertleşebilme eğrisini ve soğuma eğrilerine göre oluşan yapılar incelendiğinde; su verilen uçta martenzitik yapı, orta kısımda ise (50 mm. de) suda yavaş hızla su ver- me sonucu ferrit ve perlitten oluşan yumşak bir yapı, sonuçta ise hava- da su verme sonucu kaba ferrit ve perlitten oluşan daha yumşak bir yapı oluşmuştur. Siyah alanlar perlit, beyaz alanlar ise ferriti göstermekte- dir. Fe 70 çeliğinde de hemen hemen aynı yapılar oluşmakta birlikte, bu çelikte ferrit daha erken, perlit ise daha geç oluşmaktadır. (Bu, şekil. 4.5 te gösterilmektedir.) Bunun başlıca nedeni; Fe 60 çeliğinde mangan miktarının fazla, Fe 70 çeliğinde ise krom miktarının fazla olmasıdır. Daha önce de açıklandığı gibi mangan, östenitin ferrite dönüştüğü sıcak-

Şekil. 4.3. Fe 50 çeliği için Jominy mesafelerine karşılık gelen soğuma eğrileri (1, 2, 3 no'lu eğriler) ile sürekli soğuma dönüşüm (CCT) diyagramı ve Jominy eğrisi (Fe 50 çeliğine en yakın olan AISI 1026 çeliği için CCT diyagramı) THELNING, 1981).



Şekil. 4.4. Fe 60 çeliği için Jominy mesafelerine karşılık gelen soğuma eğrileri (1, 2, 3 no'lu eğrileri) ile sürekli soğuma dönüşüm (CCT diyagramı ve Jominy eğrisi Fe 60 çeliğine en yakın olan AISI 1038 çeliği için CCT diyagramı) (SOURCE BOOK ON HEAT TREATING).

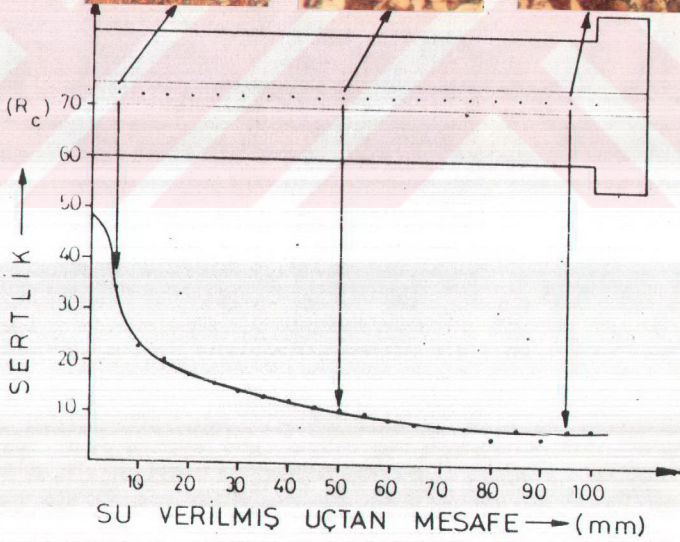
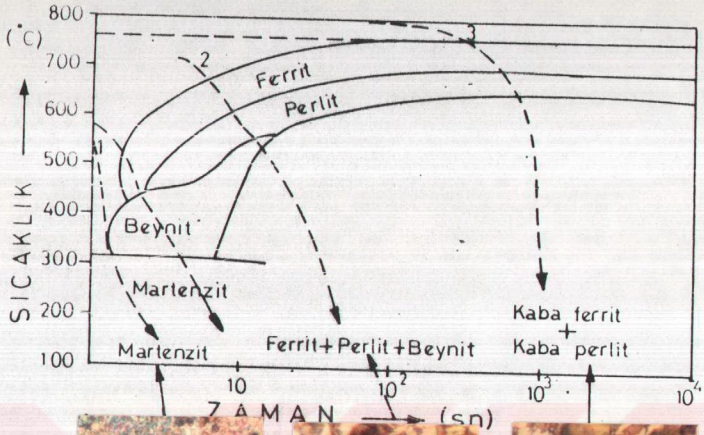


lığı bastırarak genişletmektedir, dolayısıyla Fe 60 çeliğinde ferrit oluşumu gecikmektedir. Kromun etkisi ise östenit sıcaklığı alanını sınırlamak şeklindedir. Bu nedenle, Fe 70 çeliğinde ferrit perlitte göre daha önce oluşmaktadır, yani perlit oluşumu gecikmektedir. Perlit oluşumunun gecikmesi ise sertliği arttırmaktadır. Çizelge 4.3.te Fe 70 çeliğinin Fe 60 çeliğine göre daha sert olduğu görülmektedir.

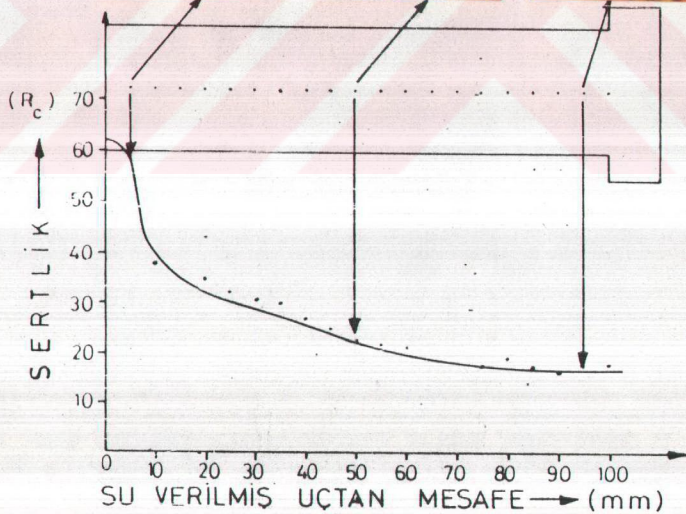
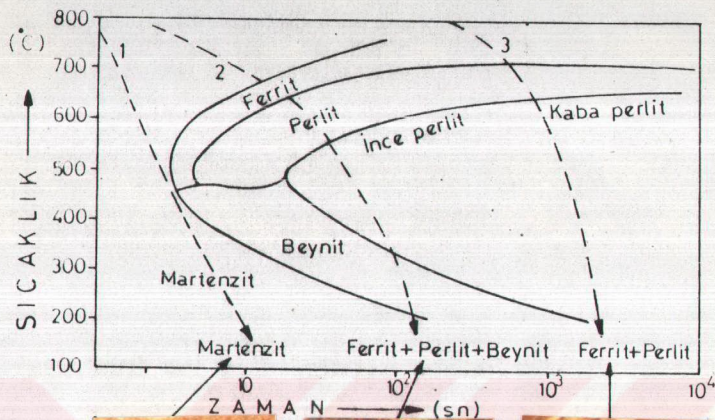
Karbon miktarı en yüksek olan ve diğer malzemeler içinde en fazla sertliğe sahip olan karbonlu çeliğin su verilen ucunda elde edilen martenzitik yapı şekil. 4.6.da gösterilmektedir. Sertlik uçta çok yüksek olmasına karşılık uçtan uzaklaştıkça azalmakta ve ferritik, perlitik, beynitik yapılar oluşmakta, yani sertleşebilme derinliği düşmektedir. Sertleşme derinliğinin düşük olmasının nedeni ise karbonlu çeliğin içindeki alaşım elementlerinin oranlarının diğer malzemelere göre az olmasındandır. Böylece su verme hızı azaldıkça sertlik de azalmaktadır.

Yüksek alaşımlı kromlu martenzitik çelik incelendiğinde, bu malzemenin sertleşme derinliğinin oldukça fazla olduğu görülür. Bu şekil 4.7.de gösterilmektedir. Burada elde edilen yapılar, numune boyunca çok az değişmektedir ve hemen hemen birbirinin aynıdır. Bu ise bize alaşımlı çeliğin havada soğutulması sonucunda dahi martenzitik bir yapı elde edileceğini göstermektedir. Yalnız kromlu çeliğin sertliği diğer karbonlu çeliklere göre daha düşüktür, bunun nedeni ise içindeki karbon miktarının diğerlerinden az olmasıdır. Bununla birlikte daha önce de söylediğimiz gibi sertleşme derinliği karbonlu çeliklerden daha fazladır. Bunun da başlıca nedeni alaşım elemanı olan kromun sürekli soğuma dönüşümü diyagramındaki perlit burnunu sağa kaydırmasındandır. Alaşım elemanı miktarı erttikça daha fazla sağa kayan perlit burnu, çeliğin çok yavaş (havada) soğutulması sonunda dahi martenzitik yapı oluşacağını göstermektedir. Bilindiği gibi alaşım elementleri içinde krom östenitin perlitte dönüşüm sıcaklığını düşürmektedir (ANIK, 1976). Perlit oluşumunun gecikmesi ile alaşım elementi krom karma kristalleri oluşturarak ferritin mukavemetini arttırmaktadır.

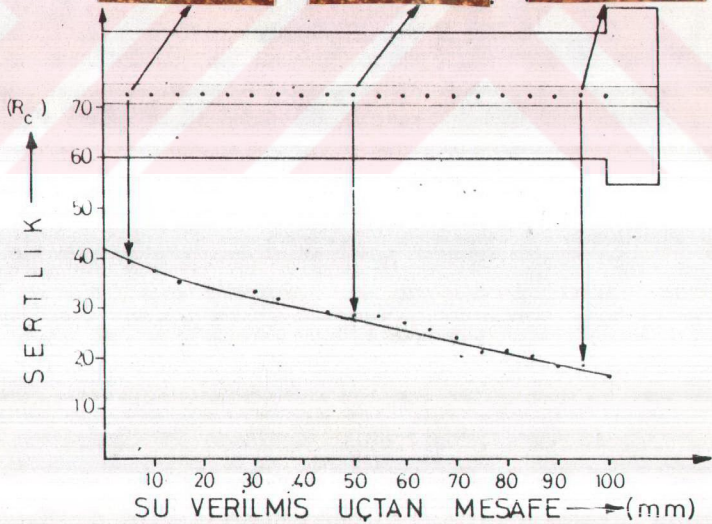
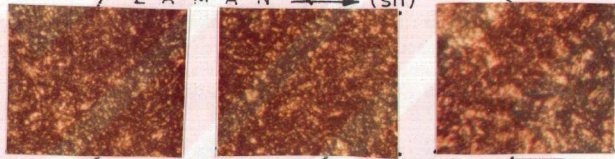
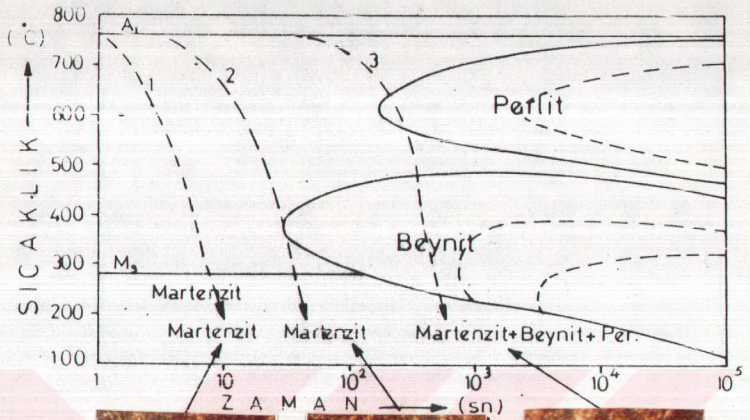
Şekil. 4.5. Fe 70 çeliği için Jominy mesafelerine karşılık gelen soğuma eğrileri (1, 2, 3 no'lu eğriler) ile CCT diyagramı ve Jominy eğrisi (Fe 70 çeliğine en yakın olan AISI 1040 çeliği için CCT diyagramı) (SOURCE BOOK ON HEAT TREATING).



Şekil 4.6. Karbonlu çelik için Jominy mesafelerine karşılık gelen soğuma eğrileri (1, 2, 3 no'lu eğriler) ile CCT diyagramı ve Jominy eğrisi (Karbonlu çeliğe en yakın olan AISI 1040 çeliği için CCT diyagramı) (REED-HILL, 1972).



Şekil 4.7. Kromlu martenzitik çelik için Jominy mesafelerine karşılık gelen soğuma eğrileriyle CCT diyagramı ve Jominy eğrisi (Kromlu martenzitik çeliğe en yakın olan AISI 410 çeliği için CCT diyagramı) (THELNING, 1981).



Yapılan bu çalışma sonunda, ele alınan malzemelerin sertleşebilmelerine etki eden en önemli faktörlerin karbon miktarı ile alaşım elementlerinin miktarları olduğu saptanmıştır. Burada elde edilen en önemli sonuç; normal karbonlu çeliklerde sertlik değişiminin oldukça fazlalığıdır, yani sertleşebilme derinlikleri düşüktür. Alaşımli çelikte ise sertlik değişimi çok azdır. Bundan da anlaşıldığı üzere bir çelikteki alaşım elementi miktarı o çeliğin sertleşebilme kabiliyetini arttırmaktadır. O halde çelik seçiminde dikkate alınacak en önemli konu, çeliğin sertleşebilme kabiliyetini bilmektir. Buna göre, makina endüstrisinde makina elemanlarının yapımında çok geniş bir kullanma alanı olan çelikler, sertleşebilme kabiliyetine göre satın alınmalıdırlar. Bugün Amerika'da çelik şirketleri tarafından, hemen hemen tüm çelikler için sertleşebilme eğrileri ve sürekli soğuma dönüşüm diyagramları hazırlanmış ve çelik seçimleri buna göre yapılmaktadır.

Bu araştırmada sonucu elde edilen bulgular kısaca şu şekilde sıralanabilir.

- 1- Fe 50 çeliğinin su verilen ucundaki sertliği $49 R_c$ olup, sertleşebilme kabiliyeti düşüktür, çünkü içerdiği alaşım elementi miktarı fazla olmasına rağmen karbon miktarı düşüktür.
- 2- Fe 60 çeliğinin su verilen ucundaki sertliği $39 R_c$ olup, sertleşebilme kabiliyeti yani sertleşme derinliği düşüktür, çünkü alaşım elementi miktarı düşüktür.
- 3- Fe 70 çeliğinin su verilen ucundaki sertliği $48 R_c$ olup sertleşebilme kabiliyeti oldukça düşüktür, çünkü, bu malzemeninde alaşım elementi miktarı düşüktür.
- 4- Karbonlu çeliğin su verilen ucundaki sertliği $62 R_c$ olup, sertleşebilme kabiliyeti en düşüktür, çünkü karbon miktarı yüksek olmasına rağmen alaşım elementleri miktarı en düşük olan malzemedir.
- 5- Kromlu (alaşımli) çeliğin su verilen ucundaki sertliği $42 R_c$ olup, sertleşebilme kabiliyeti diğer malzemelerden

oldukça yüksek çıkmıştır, çünkü havada su vermede dahi martenzitik yapıdadır. Burada alaşım elementi krom sağlamaktadır.



ÖZET

Çelikler, günümüzde makina yapımında yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için bunlara çeşitli ısıl işlem metotları uygulanmaktadır. Bu nedenle çeliklerin seçimi ve ısıl işlem sonucu erişebileceği yüksek mekanik özelliklerinin tümünün kaynağı olan sertleşebilme kabiliyetinin tayin edilmesi gerekmektedir.

Sertleşebilme, ısıl işlem çeliğinde geliştirilebilecek özelliklerin pek çoğuna anahtar olabilecek nitelikte kritik bir karakter olup bir kriter olarakta güçlü uygulama alanı olduğunu kanıtlamıştır.

Bu araştırmada, makina ve parçaları yapımında geniş bir kullanma alanı bulan Fe 50, Fe 60, Fe 70, karbonlu ve kromlu çelikler seçilmiş olup bu malzemelerin sertleşebilme kabiliyetleri incelenmiştir. Bu malzemelerin yapı bileşimlerinin sertleşilmeye olan etkilerinin anlaşılması için önce spektroskopik analizleri yapılmış olup, daha sonra sertleşebilme kabiliyetlerinin tayininde mühendislik yapı çelikleri için en kullanışlı laboratuvar deney metodu olan "Jominy uçtan su verme" metodu kullanılmıştır. Bu deney sayesinde aynı anda bir tek numune de bir uçta suda çok hızlı su verilip, diğer uçta ise havada çok yavaş su verilerek değişik soğuma hızları elde edilmiştir. Bu nedenle deneyin, hem çelik yapımında hemde çeliğin mühendislik uygulamasındaki kontrollerde büyük değeri vardır.

Deney sonunda, sertleşebilme özelliği sertlik ölçme ve metalografik yöntemler ile kontrol edilmiş olup, sertleşebilme kabiliyetinin doğrudan doğruya alaşım elementlerine bağlı olduğu saptanmış ve karbon eşdeğerliliğinin de önemli faktörlerden biri olduğu bulunmuştur. Kullanılan malzemelerin karbon miktarının, alaşım elementlerinin yüzde ağırlıklarının farklı olması, karbon eşdeğerliği ve dolayısıyla çeliklerin sertleşebilme kabiliyetlerinin farklı olması sonucunu vermiştir. Sonuç olarak, çelik seçiminde dikkate alınacak en önemli nokta, çeliğin sertleşebilme kabiliyetinin bilinmesidir. Çünkü günümüzde çelikler sertleşebilme kabiliyetlerine göre pazarlanmaktadır. Buna göre, bu araştır-

mada elde edilen sonuçlar ve öneriler şu şekilde sıralanabilir.

Fe 50 çeliğinin su verilen ucundaki sertliği 49 R_c olup, karbon miktarı diğer normal karbonlu çeliklerden az olmasına karşılık içindeki alaşım elementleri miktarı (% ağırlık olarak) fazla olması nedeniyle sertliği yüksek buna karşılık sertleşme derinliği düşüktür. Bu nedenle, Fe 50 çeliği genellikle dingiller, gemi şaftları (uskur mili), civataların vb. yapımında kullanılmaktadır.

Fe 60 çeliğinin su verilen ucundaki sertliği 39 R_c olup, sertleşebilme kabiliyeti oldukça düşüktür. Bu malzeme daha çok, az bir sertleştirme gerektirecek transmisyon milleri, raylar, dişlilerin vb. yapımında kullanılmaktadır.

Fe 70 çeliğinin su verilen ucundaki sertlik 48 R_c olup, sertleşebilme kabiliyeti düşüktür ve genellikle kanca, kazma, dişlilerin vb. yapımında kullanılmaktadır.

Karbon miktarı en yüksek, fakat alaşım elementleri miktarının az olduğu karbonlu çeliğin su verilen ucundaki sertlik 62 R_c olup, sertleşebilme kabiliyeti en düşüktür. Bu nedenle, % 0.6 karbon içeren karbonlu çelik genellikle küçük kesitli makina parçalarının yapımında kullanılmaktadır. Örneğin: civata, somun, perçin vb.

Kromlu çeliğin su verilen ucundaki sertlik 42 R_c dir. Alaşım-
lı çelik olduğundan sertleşebilme kabiliyeti, diğer normal karbonlu çeliklerden yüksek olduğu saptanmıştır. Sertleşebilme kabiliyetini alaşım elementi krom arttırmaktadır. Bu nedenle paslanmaz çelikler sınıfına girer. Kromlu çelik genellikle pompa fanı, vana gibi yüksek mukavemet gerektiren makina parçaları yapımında kullanılmaktadır.

SUMMARY

Steels, today they are widely used as machine construction elements. To improve their mechanical and physical properties, heat treatment methods are used. It is very necessary to find out the maximum mechanical properties of the steel which is going to reach after heat treatment process, in other term, we ought to find out hardenability of steel.

Hardenability has proved it self that it can be a main criteria for the improvement of mechanical properties of the heat treatment steel.

In this work, Fe 50, Fe 60, Fe 70, carbon and chromium steels, which are widely used in manufacturing industry, are selected and their ability to harden (hardenability) has been investigated. In order to find out the effect of the alloying elements on hardenability, first the spectroscopic analysis of the samples have been carried out and secondly to find out the hardenability " Jominy end quench" test has been carried out. In this method, rapid cooling at one end, quenching in water, and slow cooling on the other end, quenching in air, have been obtained. Therefore, this method becomes very important in manufacturing and using of the steel.

At the end of the experiments, hardenability has been controlled by hardness tests and metallography. It is found out that the hardenability has been controlled by alloying elements and the carbon equivalent. The difference in the amount of carbon content, percentage of the alloying elements varies the hardenability value. The most important criteria in selection of steel is to know the hardenability value, because steels, today, are marketed according to their hardenability value. As out come of this research, results and the proposals can be put as follows.

In Fe 50 steel, hardness value at water quenched end is $49 R_c$ and the depth of hardness is very high due to the high value of the

alloying elements. Because of this Fe 50 steel is generally used in propeller shaft, bolts and nuts manufacturing.

In Fe 60 steel, hardness value at water quenched end is $39 R_c$, and it is found that hardenability is very low. Fe 60 steel is used in machine parts that need very low hardening such as shafts, gear parts etc.

In Fe 70 steel, the hardness value at water quench end is $48 R_c$, and the hardenability value is very low, and this material is used in manufacturing of hooks, gear parts etc.

In high carbon alloy, the hardness value at water quenched end is $62 R_c$ and the hardenability value is highly low, and thus the alloy containing 0.6 % C is generally used in machine parts which has small cross section.

In high chromium alloy, the hardness value at water quenched end is $42 R_c$ hardenability value is much higher than the carbon steels, because of the high value of the alloying elements. It is found out that chromium adjust the hardenability value. Chromium steel is use in manufacturing of pump propeller, valves and the other parts that need high strength.

KAYNAKLAR

- 1- Anık, S., 1976 Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Üçer matbaacılık İSTANBUL. 336 S.
- 2- Baydur, G., 1976. Malzeme. Akran Matbaacılık. ANKARA 334 S.
- 3- Bell, T., 1976. Survey of Heat Treatment. Metal Society. LONDRA 109 S.
- 4- Beraha, E., Shpigler, B., 1977. Color Metallography. American Society for Metals, Metals Park. OHIO 160 S.
- 5- Göncel, O.T., 1980 Malzeme Ders Notları Mühendislik Fakültesi, ADANA S.1-14.
- 6- Güleç, Ş., 1983 Malzeme Ders Notları. İ.T.Ü.Makina Fakültesi, İSTANBUL 98 S.
- 7- Haga, L.J., 1974 Heat Treating for Beginners. Volume I.
- 8- İzar, N., 1971. Çelik Seçimi ve Sertleşebilme, Makina Mühendisleri Odası. ANKARA. 310 S.
- 9- İzgiz, S., 1980. Çelik El Kitabı a) Fasikül 1. Şafak Matbaası. ANKARA S. 1-80.
- 10- İzgiz, S., 1980 Çelik El Kitabı b) Fasikül 2. Şafak Matbaası. ANKARA. S. 195-294.
- 11- Lakhtin, Yu. M., 1977. Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment. Mir Publishers. MOSCOW. 424 S.
- 12- Reed - Hill, R.E., 1972. Physical Metallurgy Principles. Van Nostrand Reinhold Company. NEW YORK 630 S.
- 13- Safoğlu, R.A., 1972 Malzeme Bilimine Giriş İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İSTANBUL 448 S.
- 14- Tekin, A., 1981 Çeliklerin Metalurjik Dizaynı, Doyuran Matbaası. İSTANBUL 280 S.

- 15- Thelning, K.E., 1981 Steel and Heat Treatment. Printed in England by Fakenham Press Ltd, Fakenham. NORFOLK. 570 S.
- 16- Wilson, N., 1975 Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steel. Mc Graw-Hill Book Company Limited. BERKSHIRE. 378 S.
- 17- Edenhofer, B., Bewley, T.J., 1976 Low-Temperature Ion Nitriding. Heat Treatment'76. Printed in England by Adlar Son Ltd. BARTHOLOMEW S. 7-13.
- 18- CLIMAX MOLYBDENUM COMPANY, "Phase Transformations"
- 19- ASM, 1977 Source Book on Heat Treatment. Volume II. Production and Engineering Practices. S. 308-348.
- 20- TSE, 1111 1972 Çelikler ve Demir-Karbon Döküm Malzemesi Sınıflar ve İşaretler.

TEŞEKKÜR

Günümüzde makina yapımında geniş bir kullanım sahası olan çeliklerin sertleşebilme kabiliyeti konusunu master tezi vererek araştırmının yönetimini üzerine alan ve değerli fikirleriyle yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç.Dr.O.Tuğrul GÖNCEL'e içtenlikle şükranlarımı sunarım.

Araştırmanın yürütülmesi sırasında numunelerin hazırlanmasında sağladığı büyük alanaklar nedeniyle Sumas Pompa Fabrikası ve spektroskopik analizlerin yapılmasında büyük yardımları olan Çimsataş teknik elemanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmanın daktilo edilmesinde yardımcı olan N. Coşar'a ve Bölüm Personeline teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

1951 yılında İstanbul'da doğdum. İlk, Orta ve Lise öğrenimini çeşitli illerde tamamladıktan sonra 1969 yılında Adana Mühendislik Yüksek Okuluna girdim ve Makina Bölümünden 1973 yılında iyi derece ile mezun oldum. 1974 yılında Adana Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğüne atandım. Bu kuruluştaki 8 ay proje kontrolünde çalıştıktan sonra açılan asistanlık sınavını kazanarak A.İ.T.İ.A. Mühendislik Fakültesinde asistan olarak göreve başladım. 1979 yılında aynı fakülteye öğretim görevlisi olarak atandım. 1982 yılında Fakültelerin, YÖK yasası ile Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesine bağlanmasından sonra, 1982-83 öğretim yılında master çalışmasına başladım ve açılan sınavı kazanarak Araştırma görevlisi olarak atandım. Halen Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım. Evliyim ve 1 çocuğum var.

TÜRDOK TEZ ÖZ FORMU

(ait olduğu bilim dalı)

112av

KEY WORDS**ANAHTAR KELİMELER**

(Konuyu içeren kelimelerin Türkçe ve İngilizce verilmesi)*

Tezin adı

ÇELİKLERİN SERTLEŞEBİLME KABİLİYETİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Tezin adının İngilizce çevirisi

Tezin cinsi (Dr., Doç., Uzmanlık tezi)

Bilim Uz.

Tezin yazarının soyadı ve adı

KATI, Betül

Tezin sunulduğu Üniversite, Fakülte, Akademi ve diğer Kuruluşlar

Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enst., 1984

Tezin kabul tarihi, yayınlanmışsa; basım yeri, yayımlayan, basım tarihi

Tezin yöneticisinin akademik unvanı ve adı

Doç. Dr. O. Tuğrul Göncel

Sayfa sayısı : 59,

Özet dili (Tür., Ing., Fr., v.s.) İngiliz

Yararlanılan kaynak sayısı; kaynakça, bibliyografya veya referans sayısı

: 20 ref.

Seri kaydı

 Yayınlanmış (Kitap olarak) Metin teksirdin Daktilo olarak çoğaltılmıştır.

* Örneğin : Tezin adı Antibiyotikler ise ve kapsamda bu isimle yeterince belirlenemiyorsa yani kapsamda Antibiyotiklerin kullanılması, yan etkileri, pazarlaması ve imalatı varsa, ozaman konunun iyice belirlenebilmesi için Antibiyotikler altında verilecek kelimelerle Antibiyotiklerin kullanımı, yan etkisi, imalatı ve pazarlaması konuyu içeren anahtar kelimeler olarak verilmelidir. Ancak bundan sonradır ki tezin konusunun içeriliğine

DIKKAT : Tezin bir kopyesinin gönderilmesi gereklidir. Gönderilmemesi halinde teze nasıl ulaşılabacağını bildirilmesi; Kuruluş veya kütüphane adı :