

ISIL İŞLEM KOŞULLARININ DÜŞÜK ALAŞIMLI Ni-Cr-Mo ÇELİĞİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Cem ERHAZAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 HAZİRAN 1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 7 TEMMUZ 1992

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Feridun DİKEÇ
Prof.Dr. E.Sabri KAYALI

TEMMUZ 1992

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması sırasında, bana her konuda yardımcı olan Sayın Hocam, Doç.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda beni yönlendiren Sayın Hocam Prof.Dr. Eyüp Sabri KAYALI'ya ve olumlu eleştirilerinden yararlandığım Prof.Dr. Feridun DİKEÇ'e teşekkürü borç bilirim.

Deneyisel çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, teknisyen Mızrap CANIBEYAZ'a, teknisyen Celal ERTEKİN'e, teknisyen Osman ALMA'ya ve sevgili arkadaşlarım, Araş.Gör. Met.Müh. Fuat ÖZEK'e, Met.Müh. Abdullah OTUZBİR'e ve Met. Müh.Selim YILDIRIM'a; Malzemeyi sağladığım SİLVAN A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Tezimin son şekli ile yazılmasında emeği geçen Sayın Zeynep KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN, 1992

Cem ERHAZAR

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİLERİ.....	2
2.1. Alaşım Elementlerinin Etkileri.....	2
2.2. Sade Karbonlu Çelikler.....	5
2.2.1. Düşük Karbonlu Çelikler.....	5
2.2.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	6
2.2.3. Yüksek Karbonlu Çelikler.....	6
2.3. Alaşımlı Çelikler.....	6
2.3.1. Düşük Alaşımlı Çelikler.....	7
2.3.2. Yüksek Alaşımlı Çelikler.....	9
BÖLÜM 3. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ.....	11
3.1. Sertleştirme.....	11
3.2. Temperleme.....	20
BÖLÜM 4. ÇELİKLERİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ.....	30
4.1. Aşınmanın Tanımı ve Aşınma Türleri...	30
4.1.1. Adhesiv Aşınma.....	30
4.1.2. Abrasiv Aşınma.....	31
4.1.3. Yorulma Aşınması.....	32
4.1.4. Yıpranma Aşınması.....	33
4.2. Çeliklerde Aşınmaya Etki Eden Faktörler.....	33
4.2.1. Martenzitik Çeliklerde Aşınma.....	33
4.2.2. Perlitik Çeliklerde Aşınma.....	40
4.2.3. Ostenitik Çeliklerde Aşınma.....	40

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
5.1. Kullanılan Malzemeler.....	41
5.2. Isıl İşlem.....	41
5.3. Metalografik Çalışmalar.....	44
5.4. Sertlik, Çekme ve Darbe Deneyleri.....	44
5.5. Aşınma Deneyleri.....	44
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	47
6.1. Metalografi Sonuçları.....	47
6.2. Sertlik, Çekme ve Darbe Deneyi Sonuçları.....	52
6.3. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	61
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ÖZET

Bu çalışmada, % 0.28 C, % 0.28 Si, % 0.69 Mn, %1.75Ni, % 0.54 Cr, %0.39 Mo, % 0.022 S ve % 0.022 P bileşimindeki düşük alaşımlı nikel-krom-molibden çeliğinin mekanik özelliklerine ve aşınma direncine ısıtıl işlem koşullarının etkisi incelenmiştir.

Yukarıda bileşimi verilen çelik, 900°C'de ostenitlet-nip, yağda ve suda su verilerek ve 900°C'den fırında 750°C'ye kadar kademeli olarak soğutulup, bu sıcaklıkta 1/2 saat bekletildikten sonra, suda ve yağda su verilerek sertleştirilmiştir. Gerek doğrudan, gerekse kademeli su verilmiş numuneler, 300,400,500°C'lerde 1/2 saat temperlenip suda soğutulmuşlardır. Bu ısıtıl işlemlerin uygulandığı numunelerle oda sıcaklığında, sertlik, çekme, darbe ve aşınma deneyleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

i- Doğrudan ve kademeli su verme yöntemlerinin ve temperleme işleminin uygulandığı numunelerin sertlikleri arasında belirgin bir fark bulunmamaktadır.

ii- Su verme ve temperleme işlemlerinden sonra yapılan çekme deneylerinde, suda su verilmiş olan numunelerin, yağda su verilmiş olanlara göre daha düşük mukavemete ve sünekliğe sahip oldukları görülmüştür. Bunun nedeni, soğutma ortamının su olması halinde, numunelerde su verme sırasında mikroçatlakların oluşmasıdır.

iii- Aşınma deneyleri sonucunda ise, temperleme sıcaklığı arttıkça, sertliğin azalmasına bağlı olarak, aşınma direncinde bir miktar azalma gözlenmiştir.

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES AND WEAR RESISTANCE OF LOW ALLOY NI-Cr-Mo STEEL

SUMMARY

Steels are iron-carbon alloys that contain 2% carbon. Although steel is alloy of iron and carbon, term of alloy steel is used to make clear other alloying elements in steel.

Carbon is principal alloying element in steel. It improves hardness and strength. But ductility and weldability decrease with increasing carbon. Manganese is beneficial to surface quality in all carbon ranges. It contributes to strength and hardness, but to a lesser degree than does carbon. Increasing the manganese content decreases ductility and weldability. Nickel is used as an alloying element in constructional steels. In combination with chromium, nickel produces alloy steels with greater hardenability, higher impact strength than are possible with carbon steels. Chromium is added to steel to increase resistance to corrosion, oxidation and hardenability. Molybdenum increases hardness and wear resistance, decreases temper embrittlement. Molybdenum alloy steel castings have found extensive use in the mining industry as ball mill liners, grinding balls where the steel is required to resist the erosive attack of materials. Sulphur is very detrimental to surface quality, particularly in the lower carbon and lower manganese steels. Increasing phosphorus, increases strength and hardness and decreases ductility.

Steels are classified into two groups according to their compositions.

- i - Plain carbon steels
- ii - Alloy steels

Plain carbon steels, contain carbon as the principal alloying element. Other elements are present in small

quantities, including those added for deoxidation carbon steels can be classified according to their carbon content in to three boarding groups:

- i- Low carbon steels $0.20 \leq \%C$
- ii- Medium carbon steels $0.20 \leq \%C < 0.50$
- iii- High carbon steels $0.50 \geq \%C$

Alloy steels that are included this group can be classified two categories.

- i- Low alloy steels
- ii- High alloy steels

Low alloy steels contain less than about 5% alloying elements. Aluminum, titanium and zirconium are used for the deoxidation of low alloy steels. Low alloy steels are applied when strength requirements are higher than those obtainable with carbon steels. also have better toughness and hardenability than carbon steels. Types of low alloy steels are; carbon-manganese steels, manganese-molybdenum steels, manganese-nickel-chromium-molybdenum steels, chromium-molybdenum steels and nickel-chromium-molybdenum steels. Nickel-chromium-molybdenum steels are represented by the 4300 series of steel in SAE. 4340 steel that belong to 4300 series is used automotive, aircraft crankshafts, connecting rods, gears. A lower carbon variety 4330 is used heavy duty parts of rock drills and hollow propeller blades..

High alloy steels contain more than about 5% alloying elements. These steels are widely used for their corrosion resistance in aqueous media and for service in hot gases and liquids at elevated temperatures ($> 650^{\circ}\text{C}$). These steels can be classified into two groups :

- i- Corrosion resistant high alloy steels
- ii- Heat resistant high alloy steels

Corrosion resistant high alloy steels are used as materials of construction for chemical processing equipment involving corrosion service in aqueous at

temperatures normally below 315°C and also used for special services at temperatures to 650°C .

Heat resistant high alloy steel castings are extensively used for applications involving service temperature in excess of 650°C .

Heat treatment that is used to improve mechanical properties of metal is the widest method. In this procedure, steel is rapidly cooled from a suitable elevated temperature. This is called quenching.

In this case, in spite of strength and hardness of steel increase, toughness and ductility of steel decrease. For this reason after quenching, steel is heated to a temperature below the transformation range and cooled at a suitable rate, primarily to increase ductility and toughness. The heating of steel to some temperature either in or above the transformation range, to put the iron in the gamma condition. Carbon and other elements are thus dissolved in the gamma iron, forming the solid solution austenite. The next step is to cool it at the proper rate to develop the desired structure. When during the cooling of a given steel, the austenite transform to an aggregate of ferrite and carbide or to martensite. With a slow rate of cooling, the transformation takes place at a temperature slightly lower than the lower transformation temperature (A_1), and the resulting structure is characterized by coarse lamellar pearlite of low strength and hardness and high ductility. If the speed of cooling is increased as in quenching, the product of the austenite transformation at these low temperatures is not pearlite, but martensite, the characteristic constituent of fully hardened steel.

For quenching, many different media have been used. These are water, oil, brine solutions. As a quenching medium, plain water approaches the maximum cooling rate attainable in a liquid. Its other advantages are that it is inexpensive and readily available, is easily disposed of without attendant problem of pollution. Quenching oils can be divided into several groups. Based on their composition, quenching effect and use temperature, quenching oils are categorized as conventional, fast, martempering or hot quenching. The term "brine" as applied to quenching, refers to aqueous solutions containing various percentages of salt. Brine offers the following advantages compared with plain water. Distorsion is less severe than in water quenching. But brine

quenching has some disadvantages. A hood may be needed to carry off the corrosive fumes emanate from brine baths, cost is higher than for water.

There are five quenching methods that are used for quenching of steels. Direct quenching is the most widely used method of treating steel. Direct quenching practice is relatively simple and economical. Time quenching is used when the cooling rate of the part being quenched has to be changed abruptly at sometime during the cooling cycle. Selective quenching is used when areas of a part are selected to remain relatively unaffected by the quenching medium. Streams of quenching liquid are directed at high pressure to local areas of the workpiece in spray quenching practice. Procedure of fog quenching utilizes a fine fog or mist of liquid droplets and the gas carrier as cooling agents.

Tempering of steel is a process in which previously hardened steel is heated to a temperature below the transformation range and cooled at a suitable rate, primarily to increase ductility and toughness. Steels are tempered by reheating after hardening to obtain specific values of mechanical properties and to relieve quenching stresses.

In alloy steels, the general effect of alloying elements on tempering is a retardation of the rate of softening especially at the higher tempering temperatures. Alloying elements can be characterized as carbide-forming or non-carbide-forming. Elements such as nickel, silicon, aluminum and manganese which have little or no tendency to occur in the carbide phase, remain in solution in the ferrite and have a minor effect on tempered hardness. The carbide-forming elements, chromium, molybdenum, tungsten, vanadium, tantalum, niobium and titanium retard the softening process by formation of alloy carbides. Toughness and ductility of some alloy steels are affected by cooling rate after tempering with this at a certain tempering temperature interval a decrease in toughness and ductility happens. This is called temper embrittlement. Two varieties of embrittlement serve to reduce ductility during tempering. The first has been called 350°C embrittlement. It is a malady afflicting low alloy steels that have been quenched to martensite, then tempered in the range 250-350°C. The problem can be avoided by adding sufficient silicon to the steel to inhibit formation of cementite. The second variety of embrittlement is commonly called temper embrittlement. Temper embrittlement

occurs in alloy steels having much lower yield strengths because of tempering at high temperatures $600-700^{\circ}\text{C}$ followed by slow cooling through the range 600 to 350°C . Molybdenum, titanium, zirconium delay the onset of embrittlement.

Wear generally defined as a progressive loss or displacement of material from a surface as a result of relative motion between that surface and another. Wear is closely related to friction and lubrication. There are many physical wear mechanisms. Adhesive wear occurs when one surface bonds to another with subsequent motion. rupture occurs in one of the materials. Adhesive wear takes place between two metals because of sliding friction and wear pieces breaks from soft metal. If two metals have the same hardness, wear can occur on two surfaces and if lubrication is perfect, adhesiv wear will decrease. Abrasive wear occurs when a hard protuberance on the surface of a material on a hard, loose particle trapped between surfaces plastically deforms or cuts as a surface as a result of motion. Fatigue wear unlike abrasive and adhesive wear which explain loss or displacement of material resulting from a single interaction fatigue requires multiple interaction. In fatigue, a surface experiences repeated stress cycling. Leading to cracking. Fretting wear occurs as a result of corrosion. In this type of wear pits are seen on surface. The microstructure of a steel is a dominant factor influencing its wear resistance. It is necessary to classify the steels according to their microstructure before the true effects of variations in composition, treatment or mechanical properties can be properly evaluated. The results are discussion on the effects of certain variable influencing wear will therefore be divided in to three microstructural classifications,

- i- Martensitic steels
- ii- Pearlitic steels
- iii- Austenitic steels

Abrasion resistance of martensitic steel ($0.7-1.5\%\text{Mn}$, $0.4-0.8\%\text{Si}$, $0.8-1.5\%\text{Cr}$, $0.2-0.5\%\text{Mo}$) improves at a fairly rapid rate up to about 0.7 percent carbon. Further increases in carbon content tend to become less effective.

Usually the wear resistance of steels improves with increase in carbon content due to the formation of carbides. High austenitizing temperatures produce best abrasion resistance. For alloy additions of molybdenum, vanadium, tungsten and chromium to steels, threshold alloy/carbon ratios exist where carbide types other than M_7C_3 form (M_7C_3 , M_6C ve MC) The hardness of these carbides improves wear resistance when tempered. The low alloy martensitic steels do not show any change in their hardness and abrasion resistance up to 200°C . However when the tempering temperature is above 430°C , there is a substantial improvement in toughness but, this is accompanied by a rather serious loss in abrasion resistance.

Pearlitic structures tend to improve in abrasion resistance as their carbon content is increased up to about 1.0 percent and as their hardness is increased. Pearlitic chromium-molybdenum steels show no measurable loss in abrasion resistance when tempered up to about 530°C . When tempered 650°C they show a loss in both hardness and abrasion resistance.

Abrasion resistance and other characteristics of several austenitic steel compositions are discussed. Adequate toughness and better abrasion resistance are obtained from 12 percent manganese steel.

In this study, the effect of heat treatment on mechanical properties and abrasive wear resistance of a low alloy steel which has a chemical composition of; 0.28% C, 0.28% Si, 0.69% Mn, 0.39% Mo, 1.75% Ni, 0.45% Cr, 0.022% S and 0.022% P was investigated.

Two quenching methods (Direct and step quenching) were applied to the steel.

i- Direct Quenching: Quenched in oil and water from 900°C

ii- Step Quenching: Cooled from 900°C to 750°C in furnace and quenched in oil and water.

After quenching steels were tempered between $200-600^{\circ}\text{C}$ and cooled in water. To determine the effect of quenching methods and tempering temperature on mechanical properties and abrasive wear resistance, hardness, tension, impact and wear tests were performed at room temperature. The

following results were obtained from the experiments.

i- In as quenched condition, hardness of the steel is almost the same for all quenching methods. Tempering has similar effects on hardness for all quenching methods.

ii- Direct quenching and step quenching in water, cause formation of microcracks on the tensile specimens. Thus oil and water quenched specimens have similar hardness after tempering, but strength and ductility of the water quenched specimens are lower than those of oil quenched specimens.

iii- Direct quenching in oil causes higher toughness (tensile strength $\times$ strain) than step quenching in oil. However step quenched samples in oil have higher impact resistance at room temperature.

iv- Abrasive wear resistance of the heat treated steels (Direct quenching and step quenching) slightly decreases with increasing tempering temperature due to decrease of hardness.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Çelikler, üstün mekanik özellikleri, talaşlı ve talaşsız imalata yatkınlıkları ve alternatif malzemelere kıyasla daha ucuz olmaları nedeniyle, günümüzde en yaygın kullanılan mühendislik malzemeleridir.

Çelikler temelde bir demir-karbon alaşımı olduklarından, mekanik özellikleri bileşimlerinde bulunan karbon miktarından önemli derecede etkilenmektedir. Ayrıca, çeşitli alaşım elementleri ilavesiyle ve/veya uygun ısıt işlemlerle çeliklere daha üstün mekanik özellikler kazandırılabilir. Çeliklerin mekanik özellikleri genelde, mikroyapılarının bir fonksiyonudur. Gerek bileşimdeki karbon ve diğer alaşım elementleri, gerekse ısıt işlemler, çeliğin mikroyapısını etkileyerek mekanik özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada, çelikler bileşimlerine göre sınıflandırılarak tanıtılmış ve uygulanan ısıt işlemlerin (su verme ve temperleme) mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Ayrıca, mikroyapının çeliklerin aşınma-dirençleri üzerindeki etkisine de değinilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, %0.28C, %0.28 Si, %0.69 Mn, %1.75 Ni, % 0.54Cr, % 0.39 Mo, %0.022S ve % 0.022 P içeren düşük alaşımlı Ni-Cr-Mo çeliğinin mekanik özelliklerine ve aşınma dirençlerine ısıt işlem koşullarının etkisini incelemektir. Bu amaçla çeliklere, yağda ve suda doğrudan ve kademeli olarak su verilip, çeşitli sıcaklıklarda temperleme yapılmıştır.

BÖLÜM 2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI VE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİLERİ

Çelik, genel olarak bileşiminde % 2'ye kadar karbon içeren demir-karbon alaşımı olarak tanımlanır. Özelliklerini geliştirmek amacıyla, çeliklere diğer alaşım elementleri de ilave edilir [1].

Çelikleri bileşimlerine göre, sade karbonlu çelikler ve alaşımlı çelikler olmak üzere iki ana sınıfa ayırmak mümkündür. Bu bölümde alaşım elementlerinin çeliklerin özellikleri üzerindeki etkileri açıklandıktan sonra sade karbonlu ve alaşımlı çelikler tanıtılmıştır [1].

2.1. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Çelik bir demir-karbon alaşımı olmasına karşın, bileşiminde karbondan başka elementlerde bulunur. Bu elementlerin çeliklerin özelliklerine etkisi aşağıda özetlenmiştir [2].

Karbon: Çeliğin en temel alaşım elementidir. Çeliğin mukavemetini ve sertliğini arttırır. Karbon miktarı arttıkça, mikroyapıda perlit oranı da arttığından çeliğin mukavemeti artarken, tokluğu ve sünekliği azalır. Bileşimdeki karbon miktarının artmasıyla birlikte kaynak kabiliyeti azalır ve su vermede çatlama olasılığı artar [2].

Manganez: Çeliğin mukavemetini arttırırken, sünekliğini biraz azaltır. Çeliğin dövülebilirliğini ve sertleşebilirliğini olumlu yönde etkiler, kaynak kabiliyetine önemli bir etkiye bulunmaz. Çeliğin bütün karbon miktarlarında, manganez yüzey niteliğini artırıcı bir etki yapar [2].

Silisyum: Çelik üretiminde oksijen giderici olarak kullanılmaktadır. Silisyum miktarı arttıkça, tane büyüklüğü artmaktadır. Manganez ile kıyaslandığında mukavemeti ve sertliği arttırma özelliği daha düşüktür. Silisyum düşük karbonlu çeliklerde yüzeyi olumsuz yönde etkiler [2].

Alüminyum: En güçlü oksijen gidericidir. Ayrıca tane küçültücü etkisi vardır [2].

Bakır: Çeliğin mukavemetini ve sertliğini arttırırken sünekliğini azaltır. En önemli özelliği atmosfer korozyonuna karşı direnci arttırmasıdır [2].

Krom: Çeliklere korozyon ve oksidasyon direncini, sertleşebilirliği ve yüksek sıcaklık mukavemetini arttırmak için katılır [3]. Krom, karbür oluşturuucu element olduğundan takım çeliklerinde karbon ile birlikte aşınma direncini arttırırken, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan çeliklerde, sürünme direncini arttırır [2].

Nikel: Çeliğin tokluğunu arttırmak için katılır. Krom kadar olmasa da sertleşebilirliği arttırır. Nikel içeren yapı çelikleri özellikle bileşimlerinde krom varsa, yüksek tokluk, yüksek sertleşebilirlik ve yüksek yorulma direnci istenen uygulamalar için seçilirler [2].

Molibden: Mukavemet, sertlik, aşınma direnci ve tokluğu arttırırken, temper gevrekliğini azaltır [4]. Az miktarda molibden ilavesi ile, kalın parçalarda uniform sertlik ve mukavemet artışı sağlanır [5].

Molibden alaşımlı çelikler, kalsit ve kuars gibi malzemelerin aşındırıcı etkilerine dayanması istenen öğütücü topraklar ve dalma dişleri gibi kazı endüstrisi aletlerinde geniş bir kullanıma sahiptirler [5].

Düşük sıcaklık koşullarında avantaj sağlayan molibden, krom ve krom-nikelliçeliklere ilave edildiğinde oyuklanma korozyonuna karşı direnci arttırır [5].

Temperleme sırasında oluşan, temper gevrekliği önlemek için çeliğe % 0.15-0.5 molibden ilavesi etkili bir yoldur [4].

Kükürt: Mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediğinden, çeliklerin bileşiminde istenmeyen bir elementtir. Bu nedenle çeliklerin bileşiminde zararlı bir katkı olarak değerlendirilir. Temiz çelikler maksimum % 0.02 kükürt içermelidirler. Artan kükürt miktarı, kırılma tokluğunu ve kaynaklanabilme özelliklerini azaltır. Yüzey kalitesi açısından da çok zararlıdır [3].

Fosfor: Ferritin mukavemetini en fazla arttıran elementtir [2]. Artan fosfor miktarı, mukavemetin ve sertliğin yükselmesini sağlarken, dövülebilirliği ve haddelenmiş çeliklerin kırılma tokluğunu düşürür [3].

Kolay işlenen fosforlu çeliklerde fosfor, % 0.35 değerine kadar çıkabilir. Fakat genellikle çeliklerin çoğunda en yüksek fosfor oranı, % 0.04 ile kısıtlanmıştır [2].

2.2. Sade Karbonlu Çelikler

Karbon çelikleri olarak da isimlendirilen sade karbonlu çeliklerde, ana alaşım elementi olarak sadece karbon bulunur. Bu çeliklerin bileşimine deoksidasyon amacıyla katılanlar dahil diğer alaşım elementleri az miktarlarda yer almaktadır. Sade karbonlu çeliklerde % 0.25-0.8 mertebesinde silisyum, % 0.5-1 mertebesinde manganez bulunur. Sade karbon çeliklerini içerdikleri karbon mertebelerine göre üç grupta toplanabilir [1]:

- Düşük karbonlu çelikler
- Orta karbonlu çelikler
- Yüksek karbonlu çelikler

2.2.1. Düşük Karbonlu Çelikler

Bu gruba giren çeliklerde % 0-0.2 mertebesinde karbon bulunur. Bunun yanı sıra % 0.5-1 manganez, % 0.25-0.8 silisyum, max % 0.05 kükürt ve max %0.05 fosfor bulunur [1]. Düşük karbonlu çelikler genellikle, sac veya levha halinde imal edilirler. Düşük mertebede karbon içermelerinden dolayı kolayca şekillendirilebilirler[6]. Bu özelliği, haddeme, dövme ve preste şekil verme işlemlerinde büyük fayda sağlar. Isıl işlem ile yeterince sertleştirilmeleri mümkün değildir. Yüzey sertleştirme işlemleri olan sementasyon, nitrürasyon vb. işlemlerle iç tarafları yumuşak , yüzeyleri ise sert parçaların üretiminde kullanılırlar [7]. Düşük karbonlu çelikler, demiryolu, otomobil endüstrilerinde ve manyetik özelliklerinden dolayı elektrik aletleri üretiminde kullanılırlar[1].

2.2.2. Orta Karbonlu Çelikler

Orta karbonlu çelikler % 0.2-0.5 mertebesinde karbon içermelerinin yanı sıra, % 0.6-0.9 manganez, % 0.15-0.3 silisyum, max % 0.04 kükürt ve max % 0.04 fosfor içerirler. Bu çelikler ısıtılma işlemiyle yeteri derecede sertleşebilirler. Kaynak özellikleri ise, düşük karbonlu çelikler kadar iyi değildir [7]. Orta karbonlu çelikler, demiryolu ve diğer ulaşım endüstrilerinde makine ve aletlerde, ayrıca inşaat malzemelerinde tercih edilirler [1].

2.2.3. Yüksek Karbonlu Çelikler

% 0.5 den fazla karbon içeren çeliklerdir. Ayrıca % 0.5-1 manganez, % 0.3-0.8 silisyum ve max %0.05 kükürt, max % 0.05 fosfor içerirler [1].

İşlenme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşüktür [7]. Bu çelikler diğer karbon çeliklerinden daha fazla sertleşebilme özelliğine sahip olduklarından, yüksek mukavemetin gerektiği durumlarda kullanılırlar. Ayrıca metal kesme, işleme ve kalıp gibi takımların yapımında tercih edilirler.

2.3. Alaşımlı Çelikler

Bu çelikler, bileşimlerinde bulunan alaşım elementlerinin miktarına göre düşük alaşımlı çelikler ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir:

2.3.1. Düşük Alaşımlı Çelikler

Düşük alaşımlı çelikler % 0.45'in altında karbon ve toplamı % 5'den az alaşım elementleri içerirler[1]. Bu çelikler, karbon çeliklerine göre daha yüksek mukavemet gerektiren durumlarda kullanılırlar. Fakat korozyona karşı dirençsiz olduklarından , ancak % 0.05 bakır ilavesi ile korozyona dirençleri artırılabilir [1]. Düşük alaşımlı çelikleri bileşimlerinde bulunan alaşım elementlerinin türlerine ve miktarlarına göre sınıflandırmak mümkündür [1].

i)- Karbon-Manganez Çelikleri:

% 1-1.75 manganez ile % 0.2-0.5 karbon içerirler. Bu çelikler SAE standardında 1300 serisi ile gösterilirler [1].

ii)- Manganez-Molibden Çelikleri:

Bu çelikler yüksek sertleşebilirlik, temper gevrekliğine karşı direnç ve oda sıcaklığında yüksek akma mukavemeti/çekme mukavemeti oranı gibi, özelliklerinden dolayı karbon-manganez çeliklerine benzerler. İki türü vardır. Birincisi % 1-1.35 manganez ve % 0.1-0.3 molibden içeren SAE 8000 serisi, ikincisi ise % 1.35-1.75 manganez, % 0.25-0.55 molibden içeren SAE 8400 serisi çeliklerdir [1].

iii)- Manganez-Nikel-Krom-Molibden Çelikleri:

Yüksek sertleşebilirlik özelliklerinden dolayı tercih edilirler. SAE standartlarında 9500 serisi olarak gösterilen bu çelikler % 1,3-1.6manganez, % 0.4-0.7 nikel, % 0.55-0.75 krom ve % 0.3-0.4 molibden içerirler[1].

iv)- Nikel Çelikleri:

Yüksek çekme mukavemeti ile elastik sınır ve darbe-ye karşı mükemmel direnç özellikleri ile tanımlanan bu çelikler, % 2-4 nikel içerirler ve SAE 2300 serisi ile gösterilirler [1].

v)- Krom-Molibden Çelikleri:

% 1 veya daha fazla krom, yüksek sıcaklıktaki özelliklerde iyileşme sağlar. % 0.7-1.1 krom içeren SAE 5100 serisi krom çeliği, krom-molibden çelikleri kadar yaygın olarak kullanılmaz [1].

vi)- Nikel-Krom-Molibden Çelikleri:

Nikel-krom çeliklerine molibden ilavesi sertleşebilirliği arttırırken, çeliği temper gevrekliğine karşı korur [1]. Bu çeliklerin bir özelliğide, yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında, yüksek haddelenebilme özelliklerini koruyabilmesidir [8].

Nikel-krom-molibden çelikleri SAE standartlarında 8600 ve 4300 serileri ile gösterilirler. Bu çeliklerden 4340 çeliği (% 0.39 C, % 0.28 Si, % 0.72 Mn, % 0.77 Cr, % 1.78 Ni, % 0.28 Mo, % 0.14 Cu, % 0.015 S ve % 0.012 P), otomobil şartlarında bağlama çubuklarında ve dişli-lerde kullanılırlar. Bu çeliğin daha az karbonlu bir çeşidi olan 4330 çeliği (% 0.29 C, % 1.79 Ni, % 0.69 Cr, % 0.28 Mo, % 1.02 Mn, % 0.68 Si, % 0.04 S ve % 0.03 P) ise, kaya delici, kazıcı aletlerin parçalarında ve aşınmaya dayanıklı aletlerde kullanılırlar [9].

2.3.2. Yüksek Alaşımlı Çelikler

Alaşımlı elementlerinin toplamı % 5'ten fazla olan çeliklerdir. Bu çelikler, korozyona dirençli olduklarından korozif ortamlarda ve 650°C'nin üzerindeki sıvı ve sıcak gaz ortamlarında kullanılırlar. Yüksek alaşımlı çelikleride, korozyona dayanıklı ve ısıya dayanıklı yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür.

2.3.2.1. Korozyona Dayanıklı Yüksek Alaşımlı Çelikler

Bu çelikler, paslanmaz dökme çelik olarak uzun yıllardır tercih edilmektedir. 650°C ve daha yüksek sıcaklıklardaki servis koşullarında kullanılırlar [1].

% 12 den fazla krom içeren paslanmaz çelikler, oksidasyona ve korozyona dayanıklıdır. Ana alaşım elementi olan krom dışında, bir ya da iki alaşım elementi içerirler. Bu elementler, özel yapı, korozyon direnci ve belirli mekanik özellikler sağlamak amacıyla, nikel, bakır, molibden ve azot olabilir. Bu çelikler, krom(%11.5-30 Cr, % 0.15-0.50C), nikel-krom (% 19-22Cr, % 27,5-30.5 Ni, % 0.07 C) ve krom-nikel (% 11.5-30 Cr, % 3.5-13 Ni, % 0.03-0.30 C) çelikleri olarak üç gruba ayrılırlar [1].

2.3.2.2. Isıya Dayanıklı Yüksek Alaşımlı Çelikler

Isıya dayanıklı yüksek alaşımlı çelikler, 650°C gibi yüksek sıcaklıkları kapsayan servis koşullarında kullanılırlar. Yüksek sıcaklıklardaki mukavemet, malzeme seçimindeki kriterlerden sadece biridir. Çünkü çelik, uygulamalarda aşındırıcı ortamlara maruz kalacağından, aşınmaya da dayanıklı olmalıdır [1].

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

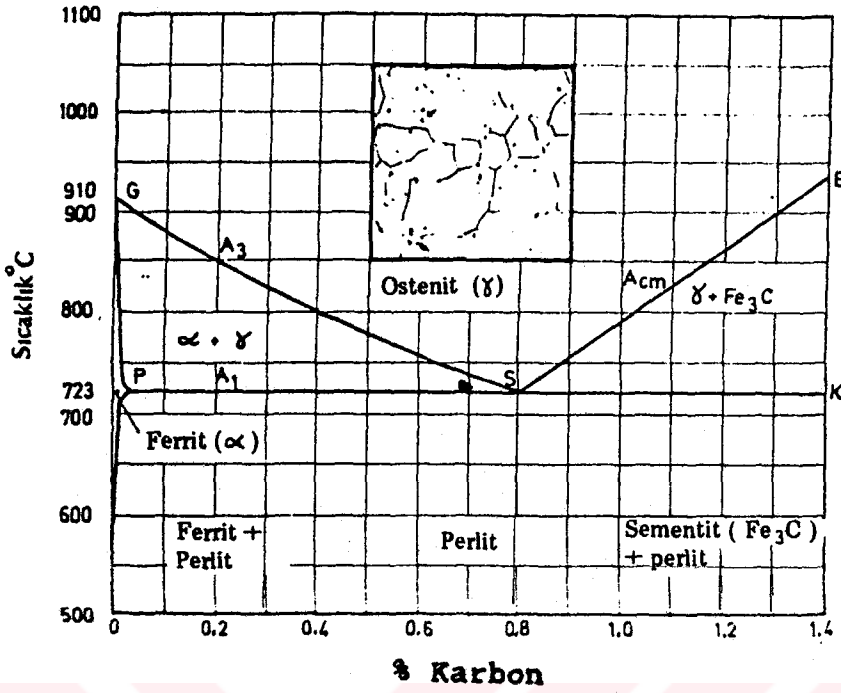
Değişik servis koşullarında kullanmak üzere geliştirilen ısıya dayanıklı çelikleri üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar; demir-krom (% 8-30 Cr, % 0.20-0.50 C) demir-krom-nikel(% 18-32 Cr, % 8-22 Ni, % 0.20-0.60C) demir-nikel-krom (% 10-28 Cr, % 23-68 Ni, % 0.20-0.75C) alaşımlarıdır. Yüksek sıcaklıklarda üstün bir mukavemet sağlayan bu çelikler, yüksek karbon içerikleri hariç, korozyona dayanıklı çeliklere benzerler [1].

BÖLÜM 3. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ

Isıl işlem, çeliklere daha üstün mekanik özellikler kazandırmak amacıyla uygulanan en yaygın yöntemdir. Bu işlemin ilk kademesinde, çelik yüksek sıcaklıktan, (genellikle Fe-C diyagramındaki ostenit bölgesinden) hızla soğutulularak sertleştirilir. Yüksek sıcaklıktan hızla soğutulmuş çeliğin sertliğinde ve mukavemetinde aşırı artış meydana gelirken, sünekliğinde ve tokluğunda önemli azalma olmaktadır. Bu nedenle, hızlı soğutma işleminden sonra tokluğu ve sünekliği arttırıp optimum mekanik özellikler kazandırmak amacıyla çelik, Fe-C denge diyagramında A_1 sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa tekrar ısıtılıp uygun bir hızda soğutulur. Bu ikinci işleme temperleme denilmektedir. Bu bölümde çeliklere uygulanan ısıl işlem kademeleri; sertleştirme ve temperleme olmak üzere aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Sertleştirme

KHM kristal yapıdaki α demiri (ferrit), 911°C 'ye ısıtıldığında YMK kristal yapıdaki γ demirine (ostenit) dönüşmektedir. % 0.80 karbonlu çeliklerde ise dönüşüm 723°C de başlar. % 0.80'den fazla karbon içeren ötektoid üstü çeliklerde ise ostenite dönüşüm, 723°C de başlar ve yapının tamamen ostenit olması için Ac_m hattı üzerine çıkmak gerekmektedir. Bu durum Şekil 3.1'deki Fe-C denge diyagramındanda görülmektedir [10].

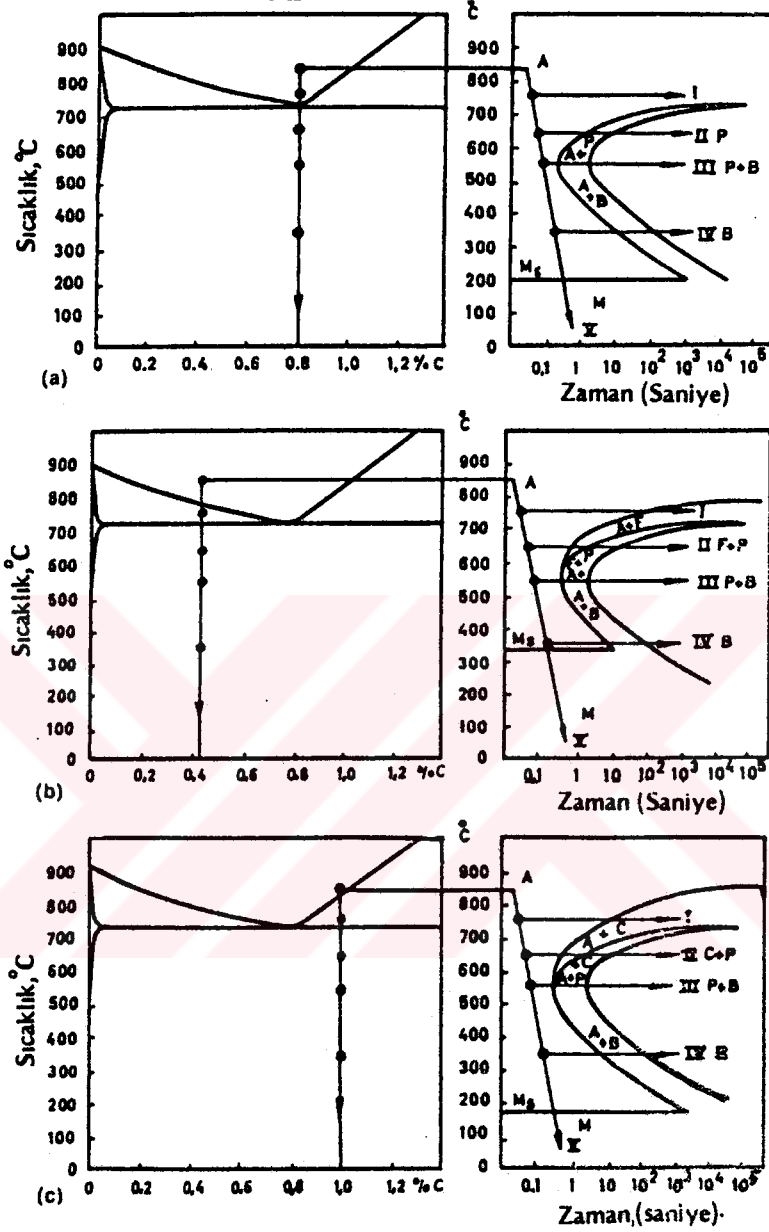


ŞEKİL: 3.1. Fe-C Denge Diyagramı [10]

% 0.8 karbonlu perlitik bir çelik ostenitleme sıcaklığından, örneğin 850°C den 750°C'ye soğutulduğunda Fe-C diyagramında bir dönüşüm meydana gelmez. Sıcaklık 650°C ye düştüğünde Şekil 3.2.a'dan görüleceği gibi perlit oluşur. Eğer çelik % 0.4 karbon içeren ötektoid altı bir çelik ise, 750°C civarında ferrit ayrışır. Dönüşüm 650°C'de gerçekleşirse önce ferrit bunu takiben perlit ayrışır (Şekil 3.2.b). Şekil 3.2.c'de görülen ötektoid üstü çeliklerde ise önce sementit daha sonra ise perlit oluşumu meydana gelir. [10].

Beynitin oluşumu, 550°C 'nin altındaki sıcaklıklarda perlitte birliktedir. Beynitin, plakalar halinde büyüyen ferrit çekirdeklerinin üzerinde oluştuğu varsayılır. Beynitin teşekkülü sırasında ostenitin etrafındaki karbon miktarı sürekli artar. Bu artış belli bir değere ulaştığında ferrit plakaları ile yanyana sementit plakaları oluşmakta, sıcaklığın düşmesiyle birlikte

beynit oluşumu ostenit tanelerinin içinde de başlamaktadır [10].



ŞEKİL: 3.2. a-% 0.8C'lu, b-%0.4C'lu ve c-%1.0C'lu Çeliklerin Çeşitli Soğutma Koşullarında Meydana Gelen Yapısal Dönüşümler [10].

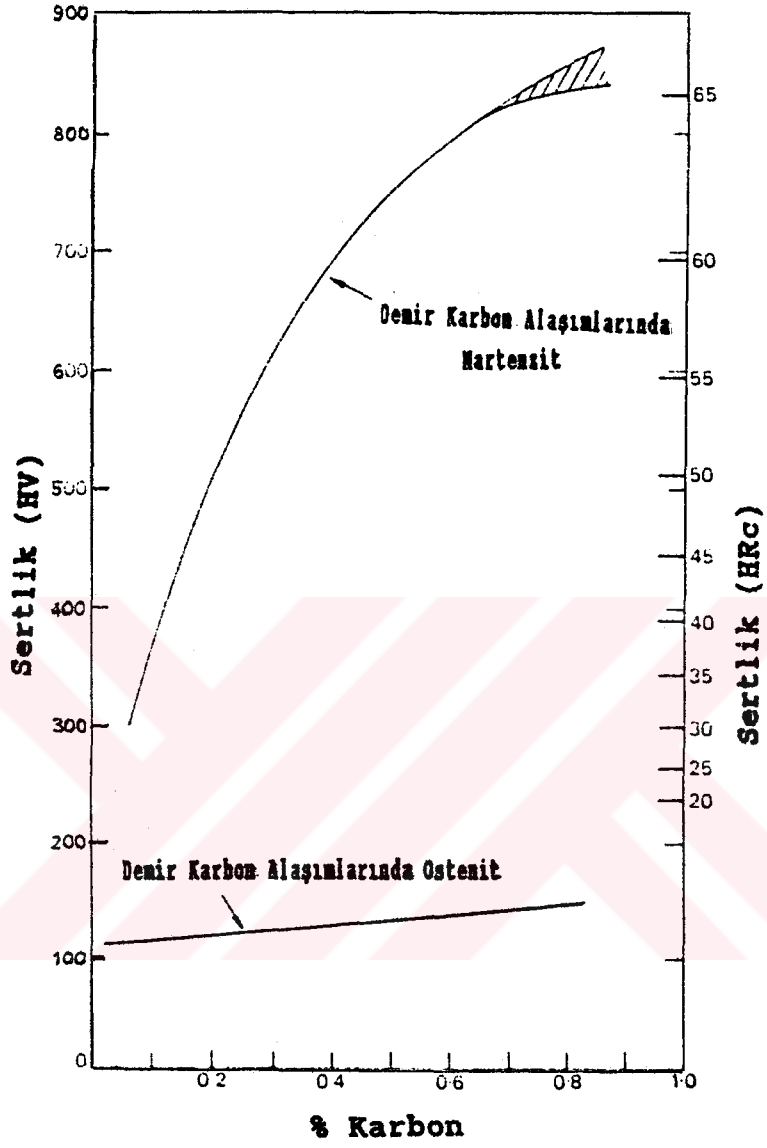
A: Ostenit B: Beynit C: Sementit F: Ferrit P: Perlit
M: Martenzit M_s : Mantenzit Oluşum - Sıcaklığı.

Çeliğin soğutulmasına Şekil 3.2'deki Ms sıcaklığı olarak gösterilen martenzit oluşum sıcaklığının altında devam edilirse, ostenitin dönüşümünde çok az karbon hareketi olur. Böylece karbon atomları α demiri katı eriyiği içinde kalır. Karbon atomlarının yerleşecekleri mevcut boşluklar δ demirine oranla α demirinde daha azdır [10]. Bu nedenle HMK α demiri distorsiyona uğratarak tetragonal bir hal alır. Bu yapıya da martenzit adı verilir. Martenzitin başladığı sıcaklık olan Ms sıcaklığından itibaren martenzit miktarının artmasıyla, tamamen martenzitten ibaret bir yapı elde edilir [11].

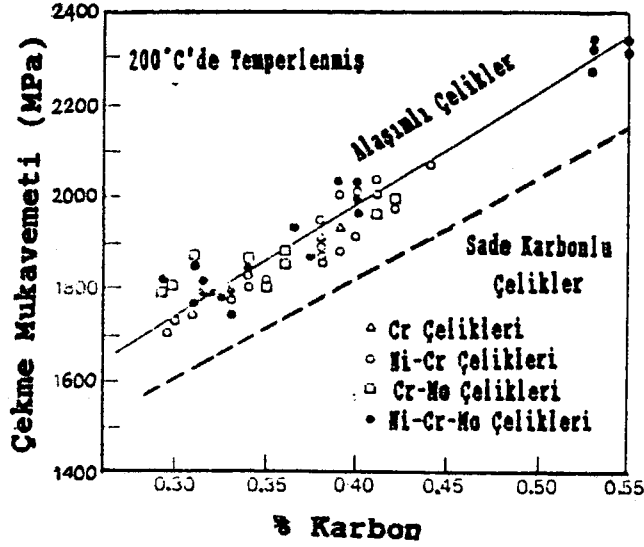
Bir çeliği martenzitik dönüşümle sertleştirilmesinde gerekli olan iki husus vardır. Bunlardan ilki karbon yüzdesinin yeteri kadar yüksek olmasıdır. ($\% C \geq 0.2$) [11] Şekil 3.3 'de martenzitin sertliğine karbonun etkisi gösterilmektedir. Martenzitin sertliği, çelikteki karbon miktarı ile artmaktadır [12]. Fakat mukavemet artarken, çeliğin sünekliği ve tokluğu artan karbon miktarı ile hızla düşer [11] Şekil 3.4'de 200°C temperlenmiş martenzitik çeliklerde çekme mukavemetine karbonun etkisi görülmektedir [12].

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

İkinci husus ise, ostenitin dengesiz ayrışmasıdır. Ostenitin denge halinde ayrışması sonucu oluşan kaba levhalı perlit nispeten yumuşak ise de, ince levhalı perlit beynit ve martenzit yapıları ile gittikçe artan miktarlarda sertlik elde edilir [11].



ŞEKİL: 3.3. Martenzitin ve Ostenitin Sertliğine Karbonun Etkisi [12].

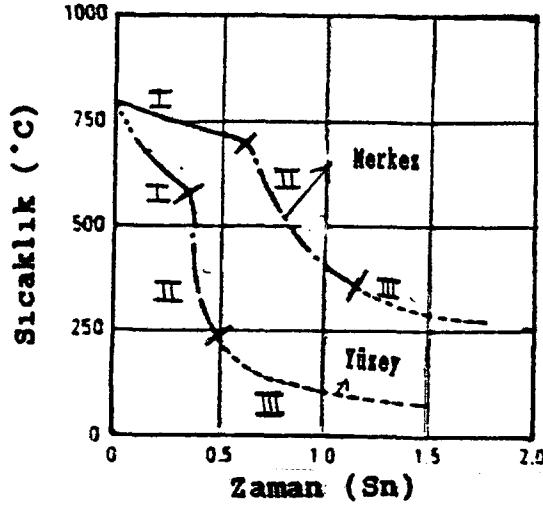


ŞEKİL: 3.4. Karbonun, 200°C'de Temperlennmiş Martenzitik Çeliklerin Çekme Mukavemetine Etkisi [12].

Çeliğe su verme, martenzitik dönüşüm sağlamak amacıyla, uygun ve yüksek bir sıcaklıktan (genellikle Fe-C denge diyagramındaki ostenit bölgesinden) çeliğin hızlı olarak soğutulmasıdır. Bu işlem, çeliğin bileşimine bağlı olarak, suya, yağa, tuzlu çözeltiye daldırılarak veya basınçlı hava kullanılarak gerçekleştirilir [13].

Çeliğin sıvı bir ortam içerisinde ostenizasyon sıcaklığından itibaren soğutulmasında Şekil 3.5'de görüldüğü gibi üç safha vardır [11].

Birinci safhada, yüksek sıcaklıktaki metalin etrafında bir buhar filmi meydana gelir. Bu film perlit oluşumuna engel olduğundan, parçanın hızlı soğuması gerektiği sırada soğuma hızını düşürür. Bu sebeple, su verme ortamının karıştırılması veya banyoya sodyum klorür ve sodyum hidroksit gibi kimyasal maddelerin ilave edilmesi gerekebilir [11].



ŞEKİL: 3.5. Su Verme Sırasında Meydana Gelen Soğuma Safhaları [13].

Sıvının karıştırılması ya da parçanın sıvıda hareket ettirilmesi, su verme sırasında karıştırma işlemini sağlar. Bu işlem, su verme sıvısının ısı iletimi üzerinde son derece büyük bir öneme sahiptir. Özellikle buhar filminin daha erken yırtılmasına neden olur [13].

Soğumanın ikinci safhasında sıcak metal, hem buhar hemde sıvı ile temastadır ve buhar habbeleri gayet etkili bir şekilde ısıyı parçadan sıvının esas kütlesine taşırlar [11].

Üçüncü safha ise, metalin yüzeyi sıvının buharlaşma noktasının altına soğuduğu zaman başlar. Bu safhada, parçanın yüzeyi tamamen sıvı ile temastadır [11].

Su verme sıvısının sıcaklığında çok önemlidir. Örnek olarak suyun soğutma gücü, sıcaklık kaynama noktasına eriştikçe azalır. 15-25°C arasında su, ortalama bir su verme hızı sağlar [13].

Aşağıda su verme ortamı olarak kullanılan sıvıların özellikleri açıklanmıştır.

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

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

ii- Yağ: Su vermede kullanılan yağlar, üç grupta incelenebilir:

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

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

- Martemperleme Veya Sıcak su Verme Yağları: Çok iyi oksidasyon ve ısıl kararlılığı olan parafin tipi mineral yağlardır. 95-230°C arasındaki sıcaklıklarda demir esaslı metallerin martemperlenmesi için kullanılır [13].

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

iii- Tuzlu Çözelti: Bu terim çeşitli oranlarda tuz içeren sulu çözeltiler için kullanılır.

Soğutma hızı sudan daha fazladır. Distorsiyon tehlikesi ise suda su vermeden daha azdır. Bu avantajlarının yanı sıra, tuz banyosundan çıkan korozif dumanları uzaklaştırmak ve emniyetli bir çevre sağlamak için çözeltiliyi kontrol etmek gerektiğinden, maliyeti yüksektir [13].

Çeliklere uygulanan su verme yöntemlerini ise, aşağıdaki gibi beş gruba ayırmak mümkündür:

i- Doğrudan Su Verme: En çok kullanılan basit ve ekonomik bir yöntemdir [13].

ii- Sürekli Su Verme: Soğutma işlemi sırasında, soğutulan parçanın soğuma hızı aniden değiştirilmek zorunda kalınabilir. Örneğin önce parçaya su içinde su verilirken, TTT dönüşüm eğrisinin burnunun altında daha yavaş bir martenzit dönüşümü sağlamak için yağda su verilebilir [13].

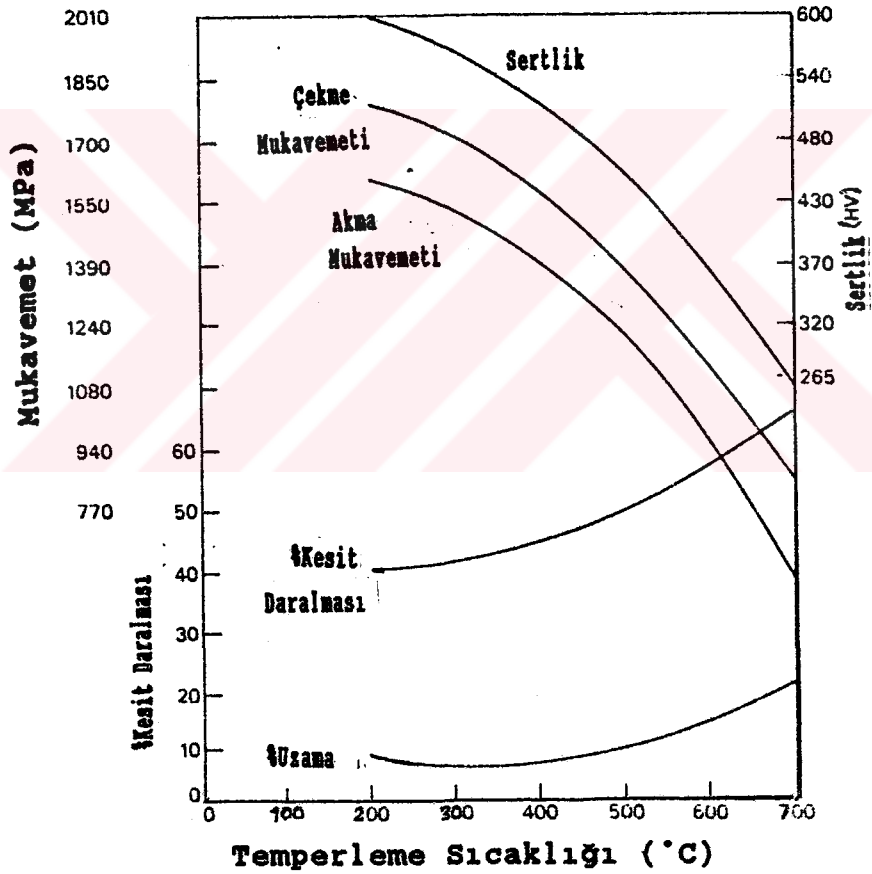
iii- Seçici Su Verme: Bir parçanın kısmen sertleştirilmesi yani, bazı alanlarının su verme işleminden etkilenmemesi için, parçanın sadece su verilmesi istenen kısmının su verme ortamı ile temas etmesi sağlanır [13].

iv- Püskürtmeyle Su Verme: Su verme sıvısının, yüksek basınçta parçaya uygulanmasıyla gerçekleştirilir [13].

v- Buharlı Su Verme (Fog Quenching): İnce sis veya su damlacıklarının buharı, su verme elemanı olarak kullanılır. Püskürtmeyle su vermeye göre daha etkilidir. [13].

3.2. Temperleme

Temperleme, önceden sertleştirilmiş veya normalize edilmiş bir çeliğin, Fe-C denge diyagramındaki A_1 sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa ısıtılarak sertliğinin ve mukavemetinin düşürülüp tokluk ve sünekliğinin arttırılması için uygun bir hızda soğutulmasıdır [13]. Şekil 3.6' da % 1.5 Ni , % 1Cr, % 0.25 Mo ve % 0.4 C içeren çeliğin temperleme sıcaklığıyla mekanik özelliklerinin değişimi görülmektedir [12].



ŞEKİL: 3.6. % 1.5Ni, % 1Cr, % 0.25 Mo, %0.4 C İçeren Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Temperleme Sıcaklığı İle Değişimi [12].

Tablo 3.1'de ise çeşitli sıcaklıklarda temperlenmiş bazı sade karbonlu ve alaşımlı çeliklerin sertlikleri verilmiştir [13].

Temperleme süresi, bir kaide olarak bir inç (2.54cm) parça kalınlığı için 1-2 saattir. Bu sürenin, şarjın fırına yüklenmesinden sonra veya şarjın fırında temperleme sıcaklığına ısınmasından sonra başlaması, çeliklerin temperlenme özelliklerini önemli mertebede etkilemez [10].

Temperleme ile, su verme sırasında oluşan gerilmelerle, martenzit yapının içinde, bu yapının bünyesi icabı mevcut olan gerilmeleri gidermek mümkündür [11].

Karbon çeliklerinin temperlenmesi sırasında dört safha oluşmaktadır. İlk safhada, 250°C ye kadar δ -demir karbürün çökmesi meydana gelir. Martenzitin tetragonallığı ise kısmen bozulur. İkinci safha olan $200-300^{\circ}\text{C}$ arasında kalıntı ostenit, sementite dönüşür. $200-350^{\circ}\text{C}$ arasındaki üçüncü safhada sementit, δ -demir karbürle yer değiştirir. Martenzit tetragonallığını kaybeder ve ferrite dönüşür. 350°C 'nin üzerindeki dördüncü safhada ise, sementit büyüyerek küresel şekil alır ve ferrit yeniden kristalleşir [12].

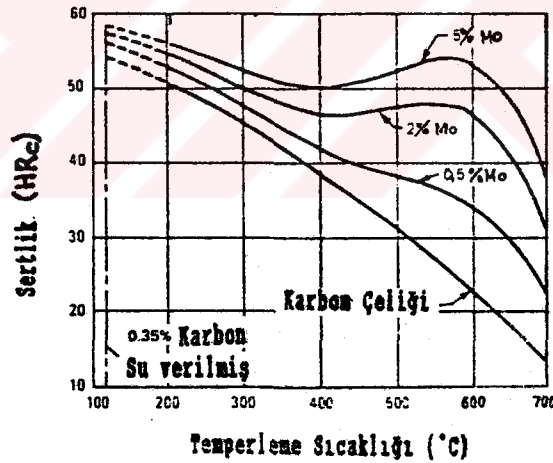
Alaşımlar elementlerinin temperleme üzerindeki genel etkisi çeliğin yumuşama hızını geciktirmesidir. Bu durum genellikle, yüksek temperleme sıcaklıklarında görülür. Bu nedenle verilen bir süre içinde istenilen sertliği elde etmek için alaşımlı çelikleri, karbon çeliklerine göre daha yüksek sıcaklıklarda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

TABLO: 3.1. Temperleme Sonrası Karbon ve Alaşımlı Çeliklerin Sertlikleri [13].

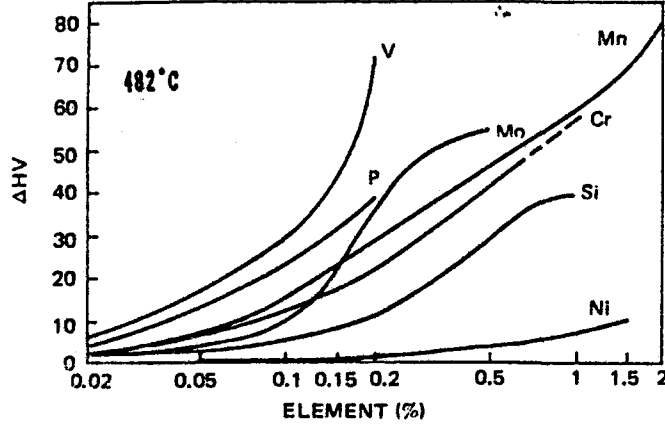
SAE	Karbon Yüzdesi	Temperleme Süresi 2 Saat, Sertlik HRC					Uygulanan Isıl İşlem
		°C=260	370	480	595	650	
Karbon Çelikleri							
1030	0.30	45	39	28	22	95*	900°C'de normalize edilip 830-845°C'den suda su verilmiş
1040	0.40	48	42	30	22	94*	
1050	0.50	50	44	37	29	22	
1060	0.60	55	42	37	33	26	885°C'de normalize edilip 800-815°C'den suda su verilmiş
1080	0.80	55	43	40	38	32	
1095	0.95	57	47	42	40	33	
1137	0.40	42	37	60	21	91*	900°C'de normalize edilip 830-855°C'den suda su verilmiş
1141	0.40	46	41	34	23	94*	
1144	0.40	50	45	32	25	97*	
Alaşımlı Çelikler							
1130	0.30	44	38	32	22	16	900°C'de normalize edilip 800-815°C'den suda su verilmiş
2330	0.30	44	38	32	22	16	
3130	0.30	44	38	32	22	16	
4130	0.30	45	42	34	26	22	885°C'de normalize edilip 800-855°C'den suda su verilmiş
5130	0.30	45	42	34	26	22	
8630	0.30	45	42	34	26	22	
1340	0.40	53	46	41	35	31	870°C'de normalize edilip 830-845°C'den yağda su verilmiş
3140	0.40	52	47	37	30	26	
4140	0.40	53	47	41	33	29	
4340	0.40	52	48	42	34	31	870°C'de normalize edilip 800-855°C'den yağda su verilmiş
4640	0.40	51	47	40	31	27	
8740	0.40	53	47	41	35	22	
4150	0.50	55	51	46	39	35	870°C'de normalize edilip 830-870°C'den yağda su verilmiş
5150	0.50	55	49	39	31	28	
6150	0.50	57	50	42	36	31	
8650	0.50	54	49	41	32	28	870°C'de normalize edilip 815-845°C'den yağda su verilmiş
8750	0.50	55	51	44	34	32	
9850	0.50	53	48	41	33	30	

* : HRb olarak ölçülmüştür.

Krom, molibden, vanadyum, titanyum ve tungsten gibi elementler ise, karbür oluşturarak, temperleme sırasında yumuşamayı geciktirirler. Bu elementlerin etkisi, sementitin (Fe_3C) olduğu düşük temperleme sıcaklıklarında minimumdur. Bununla birlikte, karbür oluşturuşu alaşımlı elementleri içeren alaşımlı çeliklerde, yüksek sıcaklıklarda karbürler oluşur ve sertlik temperleme sıcaklığı ile birlikte önce yavaşça artar ve sonra azalır. Bu durum ikincil sertleşme olarak adlandırılır. Şekil 3.7 de farklı oranlarda molibden içeren % 0.35 C'lu çeliklerin temperleme davranışları görölmektedir. Alaşım elementi miktarı artarken, ikincil sertleşme miktarı artar. Krom, molibdene göre daha düşük sıcaklıklarda ikincil sertleşmeye neden olan bir elementtir [13]. Şekil 3.8 de ise 482°C'de 1 saat temperlenmiş martenzit sertliği üzerinde alaşım elementlerinin etkisi görölmektedir [14].



ŞEKİL: 3.7. Artan Temperleme Sıcaklığı İle Temperlenen, Su Verilmiş, % 0.35 Karbonlu Çeliğin Yumuşamasına Molibdenin Etkisi [13].



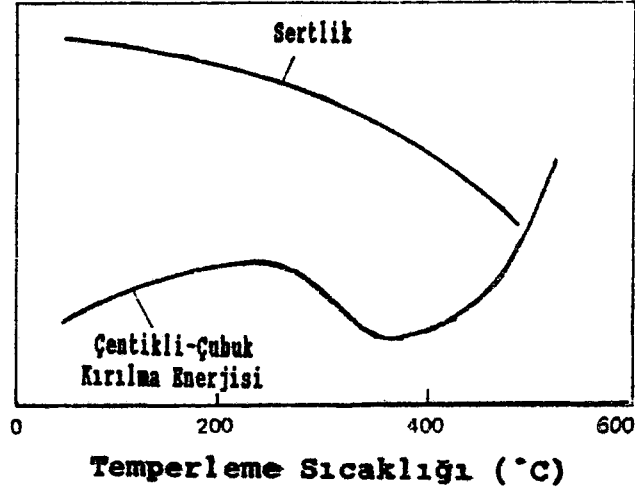
ŞEKİL: 3.8. 482°C'de 1 Saat Temperlenmiş Martenzitin Sertliğine Alaşım Elementlerinin Etkisi [14].

Çeliğin temperlenmesi sadece sertlik ve mukavemeti değil, süneklik ve tokluğu da etkiler. Genelde temperleme sıcaklığı arttıkça çeliğin sünekliği ve tokluğu artar. Bazı çeliklerde belli bir sıcaklık aralığında temperleme sonucu, toklukta büyük bir azalmanın meydana gelmesine temper gevrekliği denir [10]. Uygun olmayan ısıtma işlemi sonucunda iki çeşit temper gevrekliği ile karşılaşılır. Bunlardan ilki, 300-350°C temper gevrekliği (temperlenmiş martenzit gevrekliği) olarak adlandırılır ve yüksek mukavemetli martenzitik çeliklerin 300-350°C arasında kısa süre temperlenmesi sonucunda meydana gelir. İkinci tip gevreklik, düşük mukavemetli çeliklerin 600°C gibi yüksek sıcaklıklardan, 600-300°C sıcaklık aralığında yavaşça soğutulmasıyla meydana gelir ve iki kademeli temper gevrekliği olarak adlandırılır. Aşağıda bu temper gevreklikleri açıklanmıştır [15]:

i- 300-350°C veya Temperlenmiş Martenzit Gevrekliği:

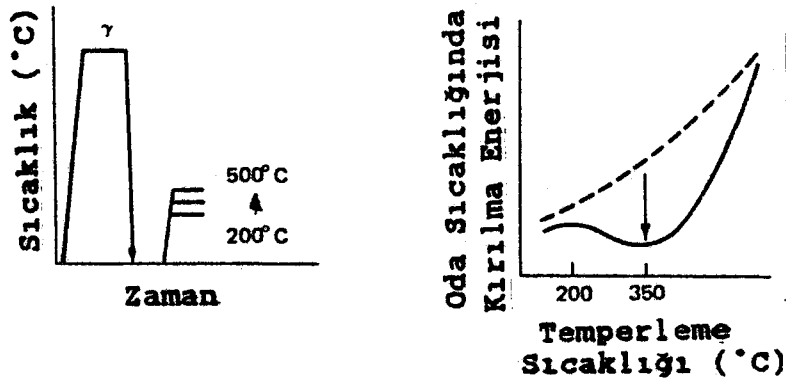
Su verilerek martenzite dönüşmüş ve 300-350°C arasında temperlenmiş düşük alaşımlı çeliğin sertliği, temperleme sıcaklığı yükselirken, düşer. Tokluğu ise,

minimum değeri alır. Bu durum Şekil 3.9.'da görülmektedir [14].



ŞEKİL: 3.9.. Su Verilmiş Bir Çeliğin Temperleme Sıcaklığı İle Sertlik ve Oda Sıcaklığındaki Darbe Enerjisi [14].

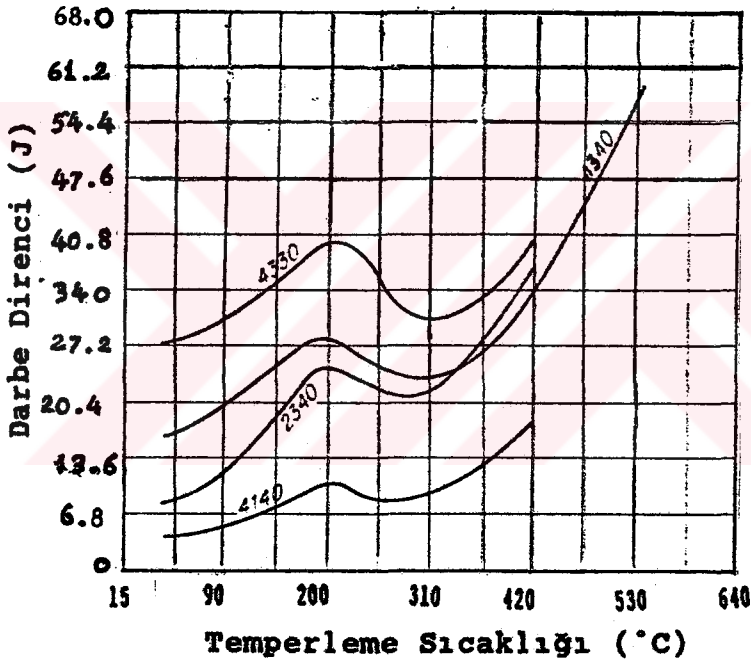
300-350°C arasında meydana gelen gevreklik Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilmiştir.



ŞEKİL: 3.10. 300-350°C veya Temperlenmiş Martenzit Gevrekliği [14].

Gevrekliğin başlaması sementitin çökmesi ile aynı zamana rastlar. Fosfor, kalay, antimuan, arsen, azot gibi elementlerin varlığı gevrekliğine neden olur. Bu elementler ostenit tane sınırları boyunca toplanarak çeliğin tokluğunu azaltırlar [14].

Şekil 3.11'de su verilerek martenzite dönüştürülmüş bazı alaşımlı çeliklerin temper gevrekliği nedeniyle darbe direncindeki düşme görülmektedir [16]. Bu çeliklerin bileşimleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir [8].



ŞEKİL: 3.11.. Su Verilerek Martenzite Dönüştürülmüş Bazı Alaşımlı Çeliklerin Temperleme Sıcaklıkları İle Darbe Dirençlerinin Değişimi [16].

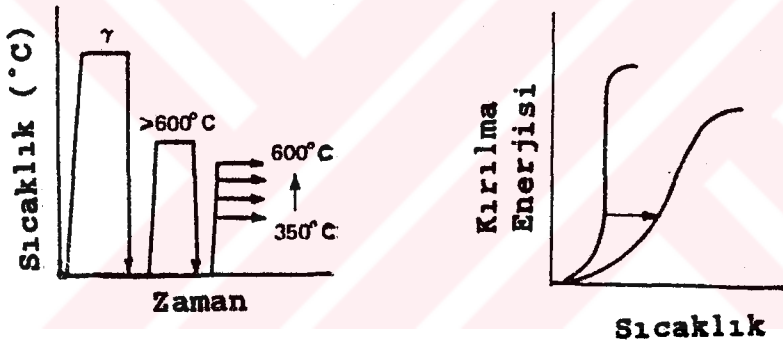
TABLO: 3.2. Şekil 3.11'deki Alaşımılı Çeliklerin Bileşimleri [8]

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

Oluşan gevrekliğı önlemede en etkin yol, bu sıcaklık aralığında ($300-350^{\circ}\text{C}$) temperlemeden kaçınmak ve çeliğe % 1.5-2 silisyum ilavesi yapmaktır [15].

ii- İki Kademeli Temper Gevrekliğı:

Şekil 3.12 'de gösterilen temper gevrekliğı $600-700^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek sıcaklıklarda temperlenmiş alaşımlı çeliklerin $600-350^{\circ}\text{C}$ arasında yavaşça soğutulması sonucunda meydana gelir [14]. Nikel-krom içeren çelikler, sadece nikel veya sadece krom içeren çeliklere göre iki kademeli temper gevrekliğine daha hassastırlar [15].



ŞEKİL: 3.12. İki Kademeli Temper Gevrekliğı [14].

İki kademeli temper gevrekliğı, karbon çeliklerinde görülmez. Antimuan, fosfor, kalay ve arsen gibi katışkılar ve nikel, mangan, krom, silisyum ilaveleri gevrekliğı arttırmaktadır [14]. Yapılan araştırmalar, gevrekliğe neden olan elementlerin tane sınırlarında toplandıklarını ve $450-500^{\circ}\text{C}$ arasında gevrekliğe yol açtıklarını ispatlamıştır. 450°C 'nin altında bu elementlerin hareketliliğı sınırlıdır. 550°C 'nin üzerinde ise gevrekliğe sebep olmazlar [17].

Yüksek sıcaklıkta temperlenen çeliklerin temper gevrekliğine uğramamaları için, gevrekliğe neden olan sıcaklık aralıklarından ($450-550^{\circ}\text{C}$) hızla soğutulmaları gereklidir [1]. Molibden, titanyum ve zirkonyum gibi elementler, temper gevrekliğine engel olurlar [14]. % 0.05 molibden, çeliğin temper gevrekliğini önlemek için yeterlidir. Ancak çeliğin yüksek sıcaklıkta kullanımı esnasında molibdenin karbür şeklinde çökmesini önlemek gerekir. Bunun için niobyum, vanadyum ilavesi yapılır [17].



BÖLÜM 4. AŞINMA

4.1. Aşınmanın Tanımı ve Aşınma Türleri

Aşınma, birbirleri ile temas halinde olan katı yüzeyler, oksit filmler ve sınır yağlayıcılar ile korunsalar bile mekanik yüklemeler altında oksit film tabakasının bozulması ve aktif sınır yağlayıcılarının zayıf olması nedeniyle katı katı teması sonucu meydana gelen, bir malzeme kaybıdır [18]. Aşınma, sürtünme ve yağlama ile yakından ilgilidir. Ayrıca yükleme şartları ile sıcaklık gibi çeşitli faktörlerden etkilenir [19].

Genel olarak aşınma mekanizmaları, adhesiv, abrasiv, yorulma ve yıpranma olarak dört grupta toplanır. Ancak aşınmada birden fazla mekanizma etkin olabilir [19].

4.1.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma, bir metal yüzeyi, diğer bir metal yüzeyine kaynaklandığı (veya yapıştığı) zaman, bunu izleyen hareket sonucu oluşur. Uygulamalarda adhesiv aşınma özellikle metaller arasındaki kayma sürtünmesi nedeniyle meydana gelir ve aşınma parçaları yumuşak metalden koparlar. Eğer iki metal aynı sertlikte ise her iki yüzeyde de aşınma olur [17]. Bu çeşit kayma aşınmasında aşınma miktarı [19]:

$$V = \frac{K(PS)}{Hm} \quad (4.1)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada V ; mm^3 cinsinden aşınma hacmini, S ; mm cinsinden kayma mesafesini, P ; kg cinsinden yükü, H_m ; yumuşak malzemenin sertliğini ve K ise, 10^{-3} ile 10^{-7} arasında değişen aşınma katsayısını göstermektedir. K malzemelerin, yüzey düzgünlüğüne, uygulanan yüke, yağlama ve yüzeyin temizliğine bağlı olarak değişebilir. Genel olarak malzemelerin yüzey temizliği arttıkça, K yüksek değerler alır. Yüksek miktarlardaki yükler, oksit tabakasının kırılmasına ve yağlayıcı maddenin nüfuz etmesine sebep olduklarından dolayı K değeri, yüklerle birlikte artar. Yağlama ise, K değerini azaltır. Bu azalmanın miktarı, yağlayıcı maddenin temas eden yüzeyleri birbirinden ayırma yeteneğine bağlıdır. Kötü bir yağlama geniş ölçüde temas meydana getirirken, iyi bir yağlama hemen hemen hiç temasa izin vermez. [19].

4.1.2. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, bir malzemenin yüzeyi üzerinde sert bir çıkıntı yada sert ve gevşek bağlı bir partikülün bulunması sonucunda diğer malzemeyle temas halindeyken, kayma hareketi sonucu pürüzlü ve sert malzeme yüzeyinin, diğer malzeme yüzeyini kesmesiyle meydana gelir [19].

Abrasiv aşınma, oymalı sürtünme aşınması (gouging abrasion), koparmalı sürtünme aşınması (grinding abrasion) ve erozyon aşınması olarak üç gruba ayrılabilir.

i- Oymalı Sürtünme Aşınması: Yüzeyin, kütleli ve fiziksel deformasyonu sonucu meydana gelir. Ağır çalışma koşullarında çalışan, kazıcı ve kırıcılarındaki aşınma bu tür aşınmaya örnek olarak verilebilir [17].

ii- Koparmalı Sürtünme Aşınması: Bilyalı değirmenlerde görülen, yüksek yükler altında aşınma parçalarının kırılması ve keskin köşeli parçalar oluşturarak yüzeyi delmesi sonucunda malzeme kaybına yol açan, bir abrasiv aşınmadır [17].

iii- Erozyon Aşınması: Gaz ve sıvı gibi akışkan ortamlarda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye teması sonucu meydana gelir [17]:

Abrasiv aşınmayı azaltmak için alınması gereken tedbirler şunlardır [17].

- i- Malzemeye etki eden yükü azaltmak
- ii- Daha sert alaşım kullanmak
- iii- Sertliği arttırmak için ısıtıl işlem uygulamak.

Abrasiv aşınmanın hesaplanmasında da Denklem 4.1 geçerlidir. Ancak abrasiv aşınmadaki "K" değeri, aşındırıcının keskinliği, malzemenin geometrisi ve pürüzlülüğü ile ilgilidir [19].

4.1.3. Yorulma Aşınması

Tek yönlü bir etkileşim sonucu meydana gelen malzeme kaybıyla açıklanan, abrasiv ve adhesiv aşınmadan farklı olarak yorulma aşınmasında çok yönlü etkileşimler gerekir. Bu aşınmada yüzey, tekrarlanan gerilme altındadır [19]. Bu gerilmelerin etkileriyle metal yüzeyinde oyuklar oluşur. Ortam koşulları da yorulmayı önemli derecede etkiler. Oyukların oluşumu, düşük viskoziteli yağlar tarafından hızlandırılır [17].

4.1.4. Yıpranma Aşınması

Korozyon etkisiyle meydana gelen bir aşınma türüdür. Metal yüzeyinde oyuklar şeklinde görülür.

Birbiriyle temas eden iki metal yüzeyi arasındaki aşınma parçacıklarının yüksek sürtünme sıcaklığı ile oksitlenmesi, abrasiv metal oksitler meydana getirerek aşınma hızını arttırır [17].

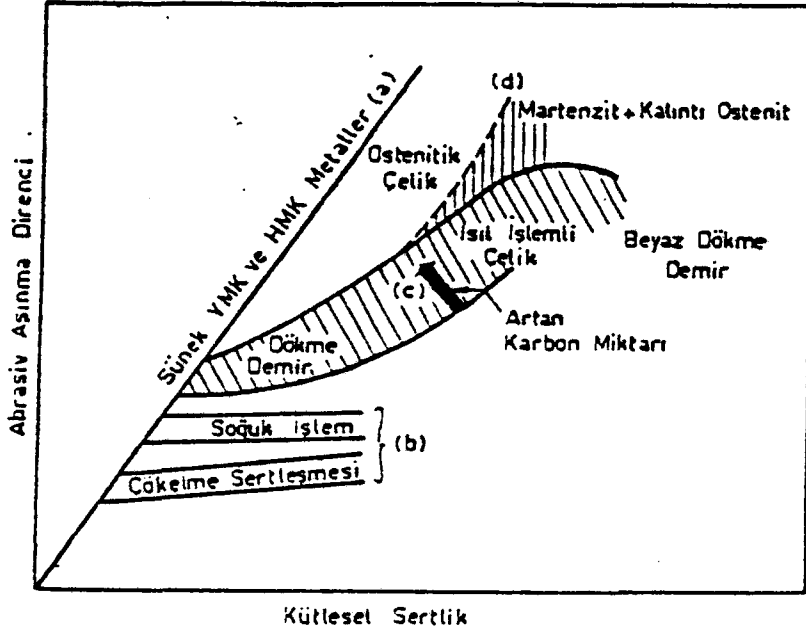
4.2. Çeliklerde Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Çeliklerin aşınma direnci, mikroyapılarına bağlıdır. Bu nedenle bileşimdeki ya da mekanik özelliklerdeki değişkenleri uygun bir şekilde değerlendirmeden önce, çelikler mikro yapılarına göre,

- i)- Martenzitik çelikler
 - ii)- Perlitik çelikler
 - iii)- Ostenitik çelikler
- olmak üzere üç gruba ayrılır. Aşağıda bu çeliklerin aşınma özellikleri incelenmiştir [20].

4.2.1. Martenzitik Çeliklerde Aşınma

Malzemelerin aşınma dirençleri Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, sertliklerine bağlıdır. Isıl işlem uygulanarak, çeliklerin sertliklerinin arttırılması aşınma dirençlerinin de artmasına sebep olur. Bu nedenle, çalışma koşullarında aşınmaya maruz kalacak çeliklerin martenzitik mikroyapıya sahip olmaları istenir [21].

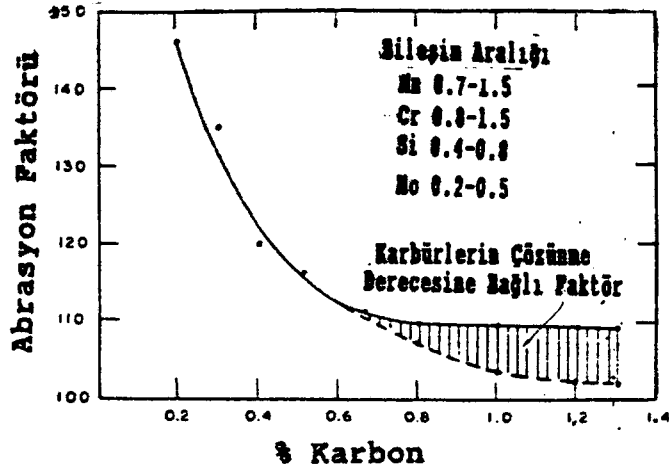


ŞEKİL: 4.1. Farklı Malzemelerin Abrasiv Aşınma Dirençlerinin Sertlikle Değişimi [17].

T.E Norman [20], farklı ortamlarda karbon içeren düşük alaşımli martenzitik çeliklerle (% 0.7-1.5 Mn, % 0.4-0.8Si, % 0.8-1.5Cr, % 0.2-0.5 Mo) yaptıkları çalışmada, martenzitin aşınma direncinin % 0.7 karbon miktarına kadar hızla arttığını tespit etmiştir. Bu durum, Şekil 4.2' de artan karbon miktarı ile abrasyon faktörünün [20];

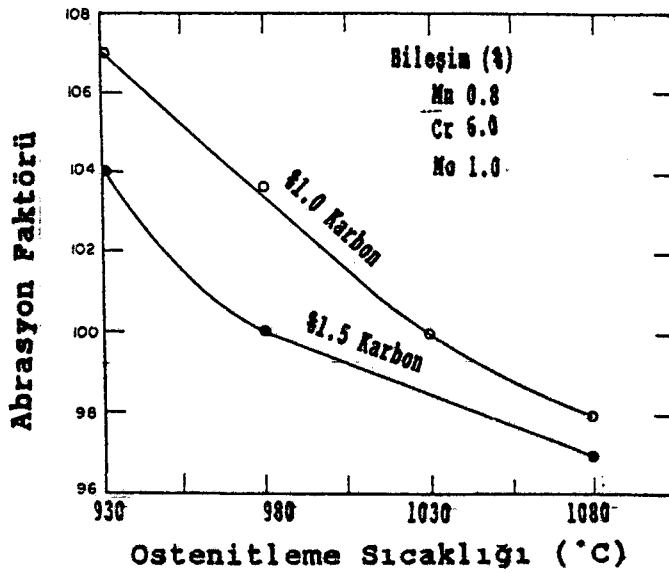
$$\text{Abrasyon Faktörü} = \frac{G_A}{G_S} \times 100 \quad (4.2)$$

azalması şeklinde görülmektedir. Denklem 4.2'de G_A , araştırılan malzemenin aşınmadaki ağırlık kaybı ve G_S ise 1040°C den havada soğutulmuş; % 1.0C, % 0.8 Mn, % 1.0Mo, % 6.0Cr bileşimindeki martenzitik çeliğin aşınmadaki ağırlık kaybıdır [20].



ŞEKİL: 4.2. Martenzitik Çeliklerde Karbon Miktarının Aşınma Faktörüne Etkisi [20].

Yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde, ostenitleme sıcaklığının arttırılmasıyla mikroyapıda bulunan karbürlerin çözünmesi sağlanır ve daha sonraki su verme ile bir miktar kalıntı ostenit içeren martenzitik mikroyapı oluşur [21]. Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi, ostenitleme sıcaklığının artmasıyla abrasiv aşınma direnci artmaktadır [20].



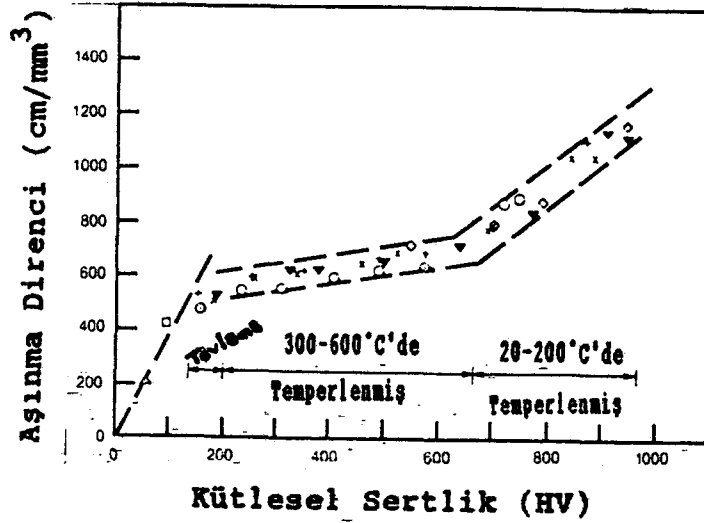
ŞEKİL: 4.3. Martenzitik Çeliklerde Karbonun Abrasyon Faktörüne Etkisi [20].

Bunda, mikroyapıda martenzitin yanı sıra kalıntı ostenitinde bulunması önemli rol oynamaktadır. Kalıntı ostenit, çeliğin aşınma direncini arttırmasına rağmen, mikroyapıda yüksek miktarlarda bulunması, aşınma sırasında kırılğan martenzit oluşturarak çeliğin aşınma direncini azaltabilir [21]. Örneğin Tablo 4.1'den anlaşılabileceği gibi, % 1-1.2 karbon içeren martenzitik çeliklerde manganez miktarı arttırıldığında, mikroyapıda bulunan kalıntı ostenit miktarının artması nedeniyle abrasiv aşınma direnci azalmaktadır [20].

TABLO: 4.1. Çeşitli Oranlarda Manganez İçeren % 1.0-1.2 Karbonlu Martenzit-Ostenit Çeliklerinin Abrasyon Dirençleri [20].

% Bileşim				Ostenitleme sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Abrasyon Faktörü
C	Mn	Cr	Mo		
1.0	0.8	1.8	0.4	955	105
1.0	1.3	3.0	1.0	1040	101
1.0	2.5	1.0	0.5	1040	107
1.0	5.0	-	-	1040	124
1.2	11.6	-	-	1040	138
1.2	13.3	-	-	1040	141

Su verilip temperlenmiş sade karbonlu çeliklerde temperleme sonrasında elde edilen sertliğe bağlı olarak aşınma direncinin değişimi Şekil 4.4.'de görülmektedir.



ŞEKİL: 4.4. Sertleştirilmiş ve Temperlenmiş Karbon Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Dirençlerine Sertliğin Etkisi [21].

□=%0.04C, ○=%0.59C, x=%0.81C

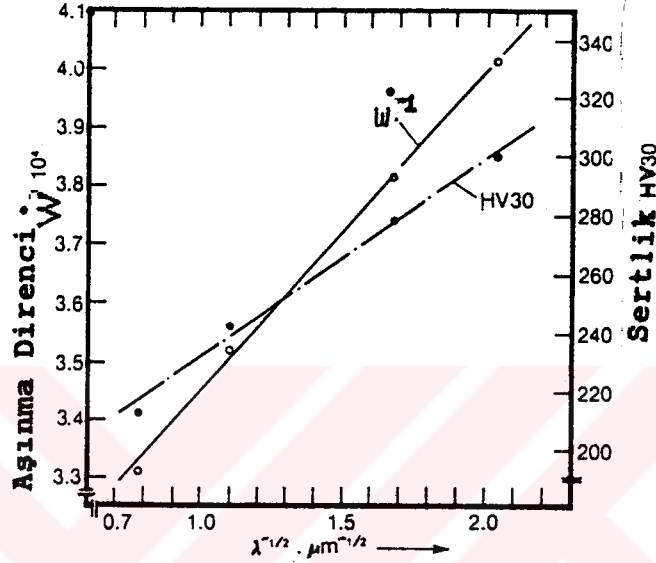
▼=%0.29C, +=%1.00C, ◇=%1.23C

△=Cu

250°C'den daha düşük sıcaklıklarda gelişin temperlenmesi martenzitin karbon içeriğini azaltacak şekilde ϵ karbür çökmesine ve kalıntı ostenitin, beynit ve ϵ karbüre dönüşmesine neden olur. Bu çok fazlı yapıda ağ şeklinde karbür filmlerinin oluşması, aşınma direncini önemli ölçüde azaltır. Daha yüksek temperleme sıcaklıklarında ferrit + sementit karışımı bir yapı oluşur ve artan temperleme sıcaklığı ile karbürler irileşir. Bu da sertliğin ve aşınma direncinin azalmasına neden olur [21]

Molibden, vanadyum, tungsten ve krom gibi alaşım elementleri içeren çeliklerin mikroyapılarındaki alaşım elementi/ karbon oranına bağlı olarak M_3C , M_7C_3 , M_6C ve MC türü karbürler bulunabilir. Bu tür karbürlerin sertliği (1200-1600 HV), sementitin sertliğinden (850-1100HV) daha yüksek olup, çeliklerin aşınma direncini arttırır [21].

Karbürler arasındaki mesafenin azalmasıyla, yani karbürlerin yapıda daha sık ve homojen dağılmaları halinde aşınma dirençlerindeki artış daha etkin olmaktadır. (Şekil 4.5). Ancak matrisin, (örneğin martenzit) tokluğu çok düşükse karbürler, çentik etkisi yaparak çeliğin aşınma direncini azaltabilirler [21].



ŞEKİL: 4.5. % 0.94 C-Cr-V Takım Çeliklerinde, M_3C Karbürleri Arasındaki Mesafenin ve Sertliğin Abrasiv Aşınma Direncine Etkisi [21].

T.E.Norman [20], düşük alaşımlı martenzitik çeliklerde $200^{\circ}C$ 'ye kadar ki temperleme sıcaklıklarında, gerek sertliklerinde, gerekse aşınma dirençlerinde önemli bir değişim gözlememiştir. Ancak bu çeliklerin $430^{\circ}C$ nin üzerindeki sıcaklıklarda temperlenmesi, aşınma dirençlerini önemli ölçüde azaltmış, tokluklarında ise artış sağlamıştır. Tablo 4.2'de 3 ve 4 numaralı Cr-Mo çelikleri, birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, $480^{\circ}C$ de temperlenmiş martenzitik çeliğin yüksek sertliğe fakat, yüksek karbonlu perlitik çelikten, biraz daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu görülür.

TABLO: 4.2. Geçitli Çeliklerin Isıl İşleme Sertliklerinde ve Abrasyon Faktörlerindeki Değişim [20].

No	Isıl İşlem	% Bileşim				Sertlik (HRC)	Abrasyon Faktörü
		C	Mn	Cr	Mo		
1	1040°C den havada su verilip 200°C temperlenmiş % 1C Cr-Mo'li martenzitik çelik	1.0	0.8	6.0	1.0	54-58	100
2	Tuzlu çözeltide mar- temperlenip 260°C de temperlenmiş % 0.7C Cr-Mo'li martenzitik çelik	0.7	1.0	1.5	0.5	56-61	111
3	Tuzlu çözeltide mar- temperlenip 480°C'de temperlenmiş % 0.7C Cr-Mo martenzitik çeliği	0.7	1.0	1.5	0.5	49-52	126
4	980°C'den havada su verilip 540°C'de tem- perlenmiş % 0.8 C Cr-Mo Perlitik çeliği	0.8	0.8	2.5	0.4	38-41	127

4.2.2. Perlitik Çelikler

Bu çeliklerin bileşiminde, ince ve sert bir mikroyapı oluşturacak alaşım elementleri ile % 0.5-1.2 arasında karbon bulunur [20].

Perlitik çeliklerin abrasiv direnci ve sertlikleri karbon miktarı yaklaşık % 1'e doğru yükselirken, artar [20]. Ancak ötektoid üstü çeliklerde karbon miktarındaki artış, sertliği arttırmasına rağmen aşınma direncini azaltır. Buna sebep, mikroyapıda ağ şeklindeki kırılan karbürlerin varlığıdır. [21].

Yüksek karbonlu krom-molibden perlitik çelikleri 480-540°C'de temperlendiklerinde abrasiv dirençlerinde önemli bir azalma görülmez. Fakat 590-650°C de temperlendiklerinde ise hem sertlik, hemde aşınma dirençlerinde azalma görülür. 38-40 HR_C sertliğindeki bir perlitik krom-molibdenli çelik aynı bileşimdeki beyritik çeliğe göre daha yüksek abrasiv dirence sahiptir [20].

4.2.3. Ostenitik Çelikler

Ostenitik çelikler üzerinde yapılan incelemelerde % 12 manganez içeren çeliklerden, uygun tokluk ve iyi bir abrasiv direnç elde edilebileceği görülmüştür [20].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

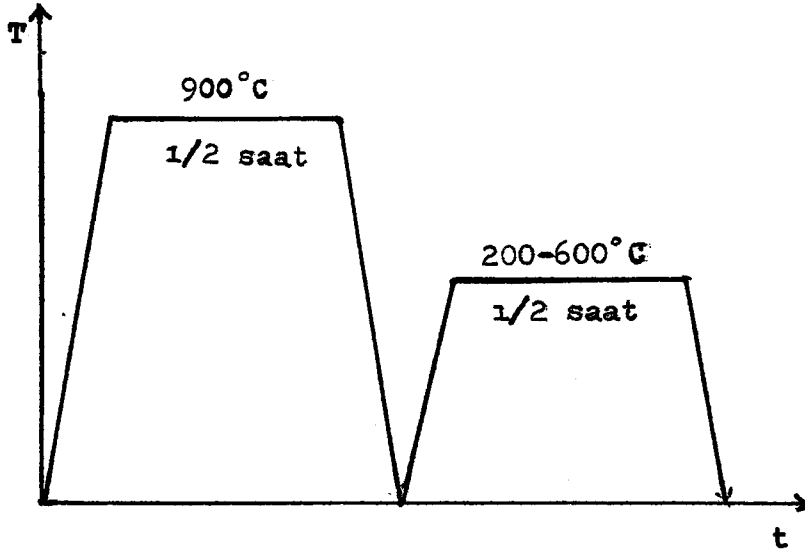
5.1. Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda, kimyasal analizi; % 0.28C, % 0.28 Si, % 0.69Mn, % 1.75Ni, %0.54Cr, % 0.39 Mo,%0.022S ve % 0.022P olan düşük alaşımlı çelik kullanılmıştır. Bu analiz sonucuna göre bileşim, SAE standardında 4330 kalite olarak adlandırılan çeliğe yakın bileşimdedir.

5.2. Isıl İşlem

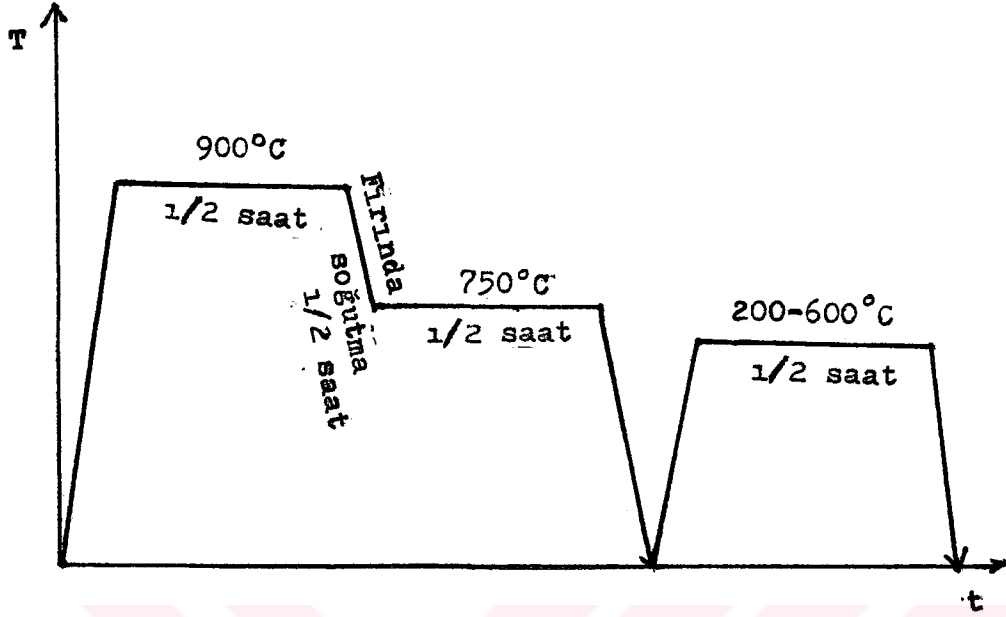
Kimyasal bileşimi Bölüm 5.1'de verilen çeliğe optimum mekanik özellikler kazandırmak amacıyla, Bölüm 3.1 ve 3.2'de açıklanan sertleştirme ve temperleme işlemleri uygulanmıştır.

Çeliklerin sertleştirilmesinde doğrudan ve kademeli olmak üzere iki farklı su verme yöntemi uygulanmıştır. Doğrudan su verme işlemi, numuneler 900°C'de 1/2 saat tutulduktan sonra, yağ ve su ortamında su verilerek gerçekleştirilmiştir. Kademeli su verme işlemi uygulanan numunelerise, 900°C de 1/2 saat tutulduktan sonra fırın içinde 750°C'ye kadar soğutulup, bu sıcaklıkta 1/2 saat bekletildikten sonra, yağda ve suda su verme işlemine tabi tutulmuşlardır. Yağda ve suda doğrudan ve kademeli su verme işlemi uygulanan çelikler, 200,300,400,500 ve 600°C'lerde 1/2 saat temperlenip suda soğutulmuşlardır. Şekil 5.1'de çeliklere uygulanan doğrudan su verme + temperleme, Şekil 5.2'de ise, kademeli su verme + temperleme ısı işlemleri gösterilmiştir.



Ostenitleme Sıcaklığı : 900°C
Ostenitleme Süresi : 1/2 saat
Su Verme Ortamı : Su ve yağ
Temperleme Sıcaklığı : 200-600°C
Temperleme Süresi : 1/2 saat
Temperleme Sıcaklığın-
dan Soğutma Ortamı : Su

ŞEKİL: 5.1. Çeliğe Doğrudan Su Verme + Temperleme
Isıl İşlemleri



Ostenitleme Sıcaklığı : 900°C
Ostenitleme Süresi : 1/2 Saat
Fırında Kademeli
Soğutma Sıcaklığı : 750°C
Fırında 750°C'ye
Soğutma Süresi : 1/2 Saat
Kademeli Soğutma
Sıcaklığında (750°C)
Tutma Süresi : 1/2 Saat
Su Verme Ortamı : Su ve Yağ
Temperleme Sıcaklığı : 200-600°C
Temperleme Süresi : 1/2 Saat
Temperleme Sıcaklığın-
dan Soğutma Ortamı : Su

ŞEKİL: 5.2. Çeliğe Kademeli Su Verme + Temperleme İşlemleri

5.3. Metalografik Çalışmalar

Isıl işlem uygulanan numuneler Struers marka bakalit cihazında bakalite alınarak, 120-1200 numaralı zımparalarla parlatıldıktan sonra çuhaya tutulmuşlar ve % 2'lik nital ile dağlanmışlardır. Daha sonra Zeiss marka mikroskopta 160 ve 320 büyötmelerde numunelerin mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

5.4. Sertlik Çekme ve Darbe Deneyleri

Şekil 5.1 ve 5.2'deki ısıt işlemlerin uygulandığı numuneleri sertlikleri, Hardness Tester Misawa Seiki Seisakusho marka cihazda HR_C cinsinden ölçölmüştür.

İnceltilmiş kısmı 6 mm ve ölçü uzunluğu (lo) 30 mm olan standart çekme numuneleri, Şekil 5.1 ve 5.2'deki su verme ve $300-500^{\circ}C$ 'lerde temperlemeden sonra, Instron 1195 marka çekme cihazında $4,2 \cdot 10^{-4} S^{-1}$ lik deformasyon hızında, oda sıcaklığında çekme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca çekme deneyi numuneleri ile birlikte ısıt işlem uygulanan 55 mm boyunda 10 mm'ye 10 mm kesitinde V çentikli darbe deneyi numuneleriyle oda sıcaklığında Charpy darbe deneyleri yapılmış ve bu numunelerin HR_C cinsinden sertlikleri ölçölmüştür.

5.5. Aşınma Deneyleri

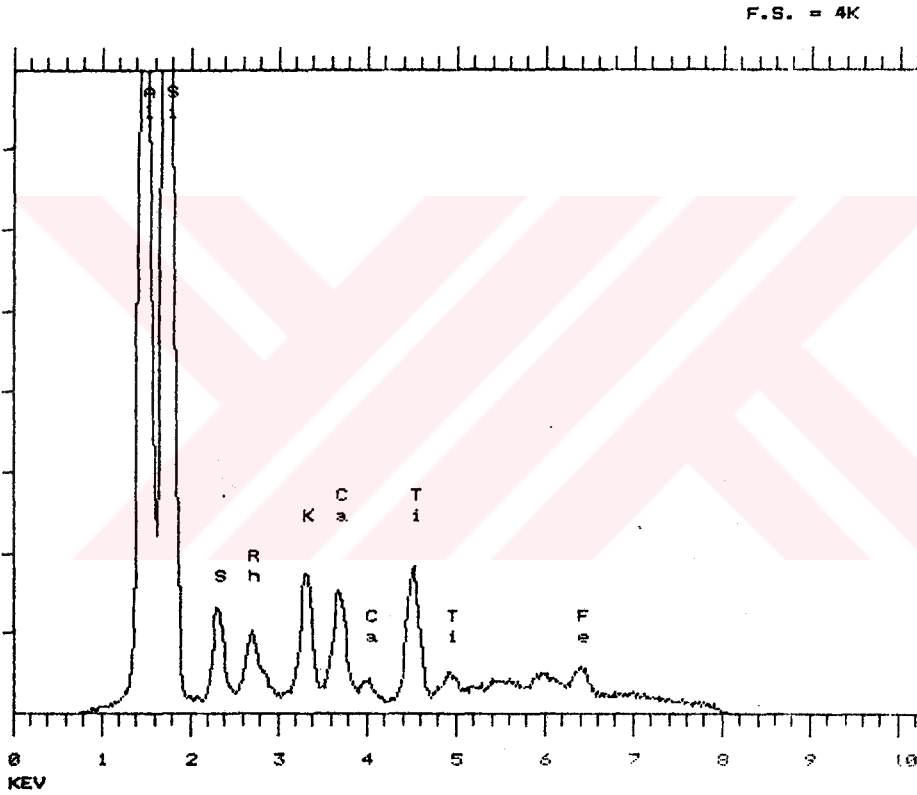
Aşınma deneyleri için, çekme numunelerinin baş kısımlarından çapı 5 mm olan numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerin ilk ağırlıkları ölçöldükten sonra 32.4 N'luk yük altında, dakikada 30 devir hızla dönen disk üzerinde, aynı devire sahip kola tutturularak, 4 m uzunluğundaki yolda abrasiv aşınmaya maruz bırakılmışlardır. Daha sonra ise ağırlıkları ölçölmüştür. Bu deneyde, abrasiv aşındırıcı

olarak Red indian marka 00 numaralı zımpara kağıtları kullanılmıştır. Yapılan spektral analizde Şekil 5.3'de görüldüğü gibi zımparanın, alüminyum, silisyum içeren oksit esaslı aşındırıcı olduğu görülmüştür.

Tüp voltajı: 8 KV

Tüp akımı : 0.06 mA

Atmosfer : Vakum



ŞEKİL: 5.3. Aşınma Deneylerinde Kullanılan
Aşındırıcının Spektral Analizi.

Aşınma deneyinde
ölçüldükten sonra [22];

numunelerin ağırlık kayıpları

$$w_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \quad (5.1)$$

denklemden yararlanılarak, aşınma oranları (w_a) ve aşınma oranlarının tersi alınarak bulunan aşınma dirençleri, (w_r) hesaplanmıştır [22].

$$w_r = \frac{1}{w_a} \quad (5.2)$$

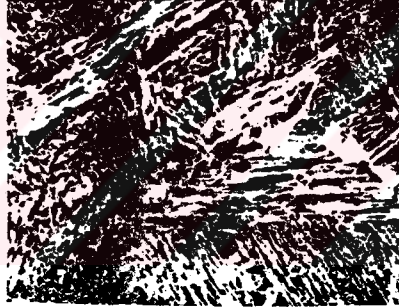
(5.1) numaralı denklemde ΔG = Ağırlık kaybı (mg)

d = Çeliğin yoğunluğu (7.85 g/cm^3), M = Yükleme ağırlığı (32.4N), S = Aşınma yoludur (4m).

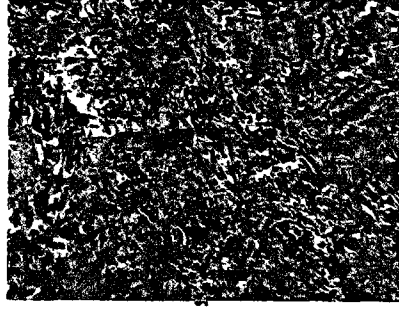
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

6.1. Metalografi Sonuçları

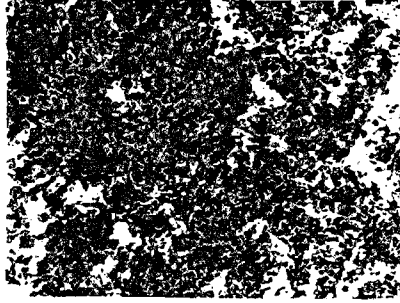
Şekil 6.1'de ısıt işlemler uygulanmamış, döküm halinde-ki çeliğin bakalite alınıp, parlatıldıktan sonra % 2'lik nital ile dağlanması sonucunda elde edilen mikro yapısı görülmektedir. Şekil 6.2, Şekil 6.5'de ise Şekil 5.1-5.2'de görülen ısıt işlemlerin uygulanması sonucunda kazandırılan mikroyapılar verilmiştir.



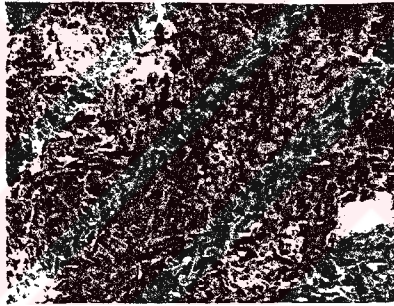
ŞEKİL: 6.1. Döküm Halindeki Çeliğin Mikroyapısı
(320 X)



(a)

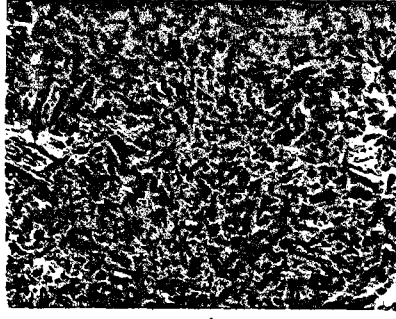


(b)

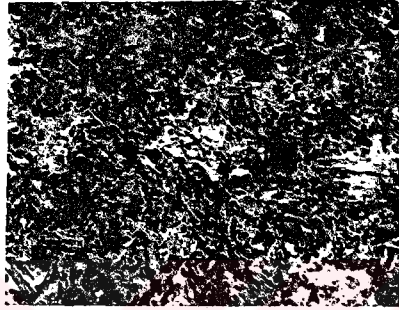


(c)

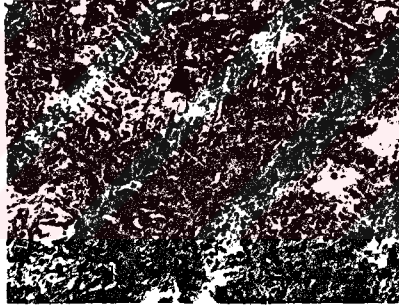
ŞEKİL: 6.2. a)- 900°C'de 1/2 Saat Ostenitlenmiş ve Doğrudan Yağda Su verilmiş,
b)- Yağda Su Verilip 400°C'de,
c)- Yağda Su Verilip 500°C'de Temperlenmiş Numunelerin Mikroyapıları (320 X)



(a)

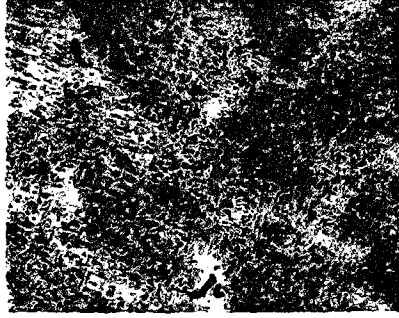


(b)

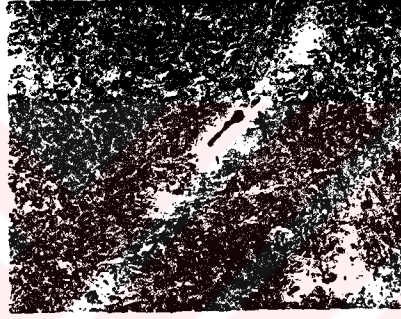


(c)

ŞEKİL: 6.3. a)- 900°C 'de 1/2 Saat Ostenitlenip 750°C ye Fırında Soğutulmuş ve Bu Sıcaklıkta 1/2 Saat Tutulduktan Sonra Yağda Su Verilmiş,
b)- Yağda Su Verilip 400°C 'de,
c)- Yağda Su Verilip 500°C 'de Temperlenmiş,
Numunelerin Mikroyapıları (320 X)



(a)



(b)

ŞEKİL: 6.4. 900°C'de 1/2 Saat Ostenitlenmiş ve
Doğrudan Suda Su Verilmiş,
a)-400°C'de
b)-500'de Temperlenmiş Numunelerin
Mikroyapıları (160 X)



(a)



(b)

ŞEKİL: 6.5. 900°C'de 1/2 Saat Ostenitlenip, 750°C'ye Fırında Soğutulmuş ve Bu sıcaklıkta 1/2 Saat Tutulduktan Sonra Suda Su Verilmiş
a)- 400°C'de
b)- 500°C'de Temperlenmiş Numunelerin Mikro yapıları (160 X)

Su verilip temperlenmiş, %1.45 Ni, % 0.71 Cr, %0.35Mo içeren çelik ile yapılmış mikroskobik çalışmalarda, dendritler arasındaki segregasyonlar dolayısıyla mikroyapının her zaman tamamıyla martenzitik yapıda olamayacağı, martenzitin yanısıra ferrit alanlarının da bulunabileceği tespit edilmiştir [23].

6.2. Sertlik Çekme ve Darbe Deneyi Sonuçları

Şekil 5.1 ve 5.2'deki ısıt işlemlerle yağ ve su ortamlarında doğrudan ve kademeli olarak sertleştirilen çeliklerin 200,300,400,500 ve 600^oC'lerde temperlenmesiyle elde edilen sertlik değerleri Tablo 6.1'de görülmektedir.

TABLO 6.1. Su verilmiş ve Çeşitli Sıcaklıklarda 1/2 Saat Temperlenmiş Çeliklerin Sertlikleri

Isıl işlem	Oda Sıcaklığı (^o C)	Temperleme Sıcaklıkları (^o C)				
		200	300	400	500	600
DYS	53	51	45	43	39	35
DSS	54	50	46	43	39	35
KYS	52	50	44	42	39	34
KSS	54	50	46	43	39	35

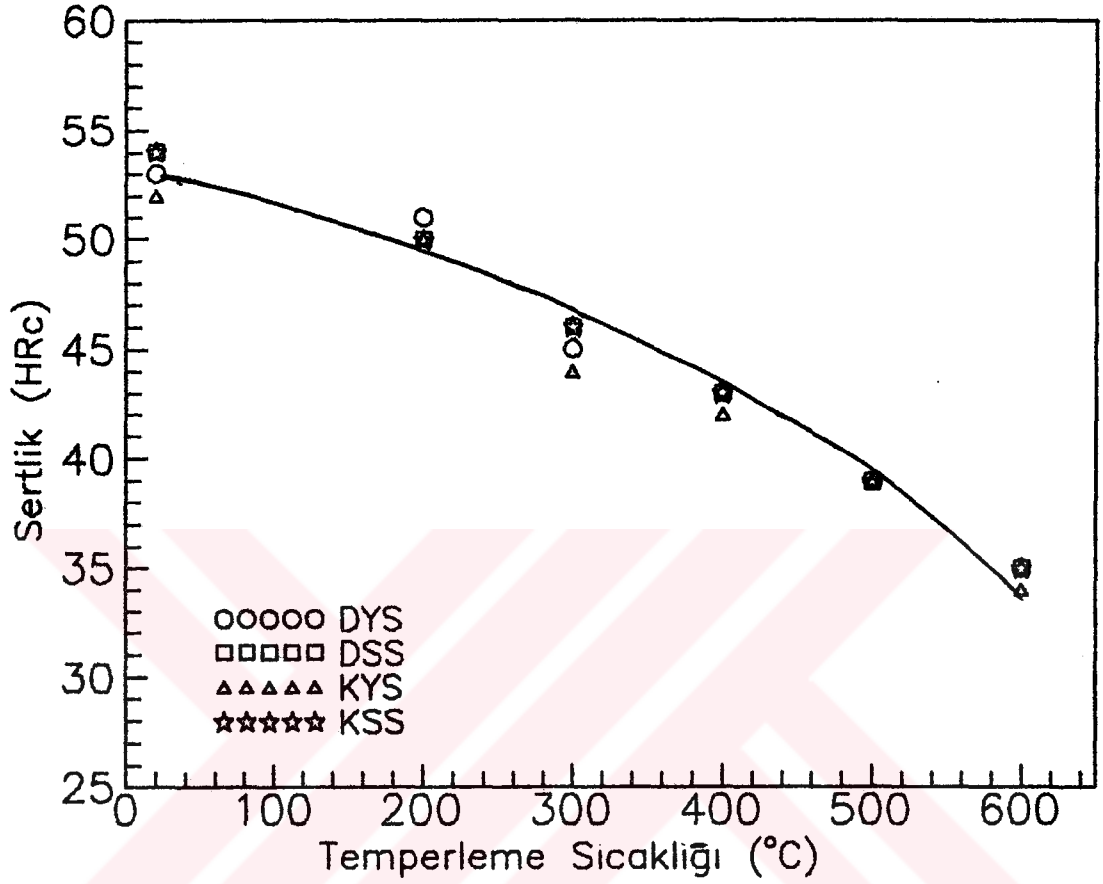
DYS-900^oC'de 1/2 saat tutulup yağda su verilmiş numune

DSS - 900^oC'de 1/2 saat tutulup suda su verilmiş numune

KYS - 900^oC'de 1/2 saat tutulup fırında 750^oC'ye soğutulmuş ve yağda su verilmiş numune

KSS - 900^oC'de 1/2 saat tutulup, fırında 750^oC'ye soğutulmuş ve yağda su verilmiş numune

Tablo 6.1'deki değerlere göre çizilmiş olan ve temperleme sıcaklığının sertlik üzerindeki etkisini gösteren Şekil 6.1'e göre temperleme sıcaklığı arttıkça, beklenildiği gibi sertlik azalmaktadır.



ŞEKİL: 6.1. Temperleme Sıcaklığı İle Sertliğin Değişimi.

Şekil 5.1 ve 5.2'deki doğrudan ve kademeli su verme yöntemleri ve farklı su verme ortamları sertlik değerleri üzerinde bariz bir farka neden olmamaktadır. Bölüm 5.1'de bileşimi verilen ve bu çalışmada kullanılan çelikten hazırlanan çekme ve darbe deneyi numuneleri Şekil 5.1'de görüldüğü gibi 900°C'den doğrudan yağda ve suda su verilip 300,400,500°C'de 1/2 saat temperlenmişlerdir. Tablo 6.2'de, doğrudan yağda su verilmiş (DYS), Tablo 6.3'de, doğrudan suda su verilmiş (DSS) numunelerin temperleme sonrası mekanik özellikleri ve darbe deney numunelerinden ölçülen sertlik değerleri bulunmaktadır.

TABLO: 6.2. 900°C'den Doğrudan Yağda Su Verilmiş (DYS) ve Çeşitli Sıcaklıklarda
Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özellikleri

Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR _C)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Tokluk (J/m ³)	Darbe Direnci (J)	% Kesit Daralması
300	45	1368	1593	9.0	143.4x10 ⁶	9.8	13.3
400	43	1222	1396	9.3	130.0x10 ⁶	9.8	16.8
500	39	1113	1200	10.0	120.0x10 ⁶	18.8	16.5

TABLO: 6.3 900°C'den Doğrudan Suda Su Verilmiş (DSS) ve Çeşitli Sıcaklıklarda
Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özellikleri

Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR _C)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Tokluk (J/m ³)	Darbe Direnci (J)	% Kesit Daralması
300	46	1242	1504	2.7	40.6x10 ⁶	7.9	3.0
400	43	1149	1213	3.3	40.0x10 ⁶	9.8	3.4
500	39	967	1022	4.3	43.9x10 ⁶	17.7	5.1

Deneylerde kullanılan çeliğe Şekil 5.2'deki gibi yağda ve suda kademeli su verme ve 300,400,500°C'lerde temperleme işlemleri de uygulanmıştır. Tablo 6.4 kademeli yağda su verme (KYS) ve Tablo 6.5'da kademeli suda su verme(KSS) işlemleri uygulanan çeliklerin temperleme sonrasındaki mekanik özellikleri ve darbe deney numunelerinden ölçülen sertlik değerleri bulunmaktadır.

Şekil 6.2- Şekil 6.5'de gerek doğrudan, gerekse kademeli su verme koşullarında temperleme sıcaklığı arttıkça sertliğin, akma ve çekme mukavemetlerinin azaldığı, % uzama ve darbe dirençlerinin arttığı görülmektedir. Tablo 6.2 - Tablo 6.5 karşılaştırıldığında, sertlik değerleri açısından büyük bir farkla karşılaşılmamaktadır.

Gerek doğrudan, gerekse kademeli su verme şartlarında soğutma ortamının su olması halinde, yağda su verilen numunelere göre, çekme deneylerinden hem daha düşük mukavemet hemde daha düşük süneklik elde edilmektedir. Suda su verilmiş çekme deneyi numunelerinin çekme deneyleri sonrasındaki kırık yüzeyleri incelendiğinde, numunelerin kırık kenarlarında mikroçatlakların mevcut olduğu görülmüştür. Bu çatlaklar, suda su verme sırasında oluşmuş olup, yağda su verilenlere göre suda su verilen çeliklerin daha düşük süneklik göstermesine neden olmaktadır.

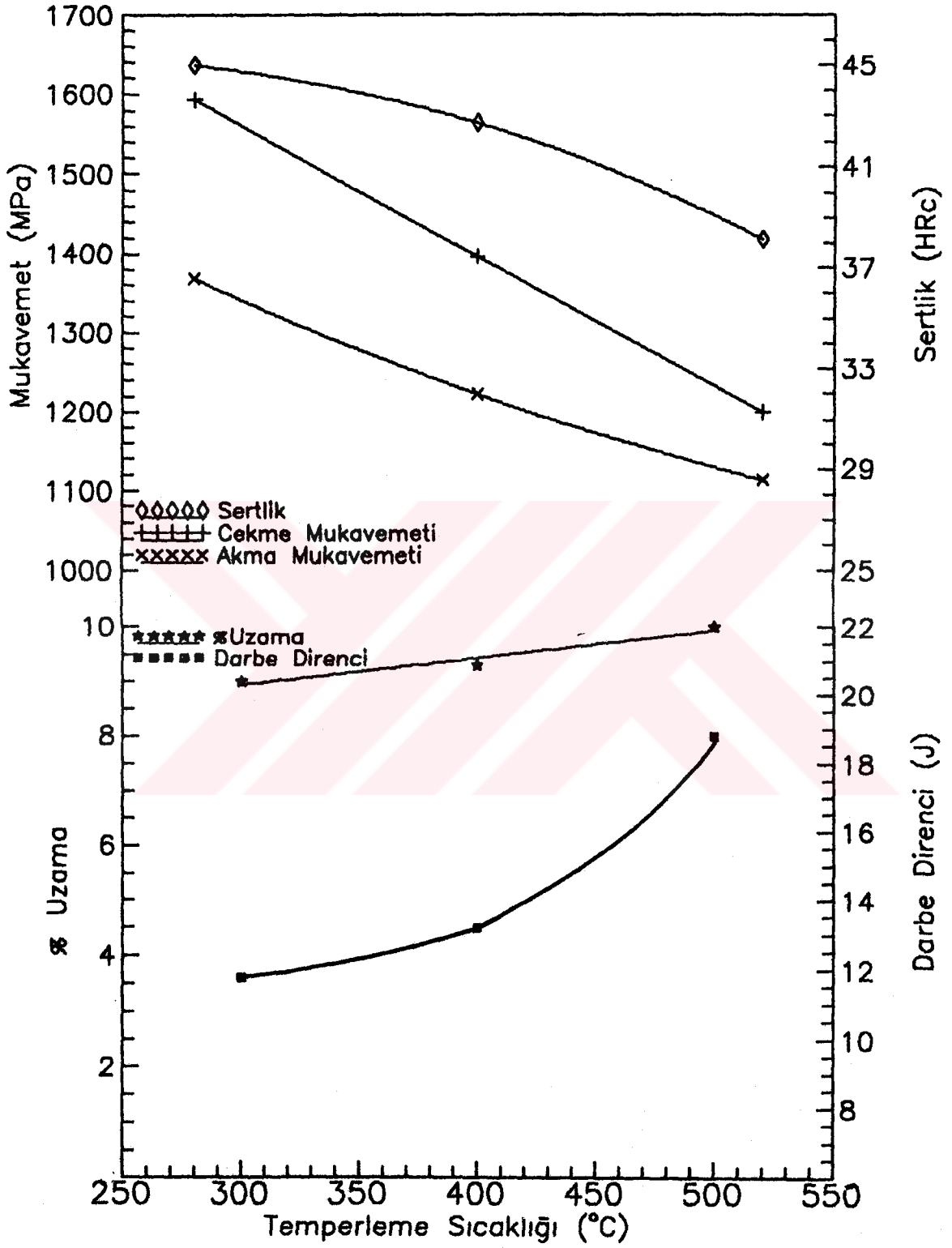
Bu çalışmada kullanılan çelikle daha yüksek karbon içermesi dışında yakın bileşimde olan yuvarlak kesitli 4340 kalite çeliğin sertleştirilmesinde su verme ortamı olarak 75 mm çapa kadar yağın, daha kalın kesitler içinse suyun kullanılması önerilmektedir. 75 mm çapındaki 4330 kalite çeliğe yağda ve suda su verilip temperlendiğinde bu çalışmadaki gibi suda su verilmiş olanın, yağda su verilmiş olana göre daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmüştür [24]. Orta karbonlu ve alaşımlı,

TABLO: 6.4. 900°C'den 750°C'ye Kadar Fırında Soğutulup, Yağda Su Verilmiş (KYS) ve Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özellikleri

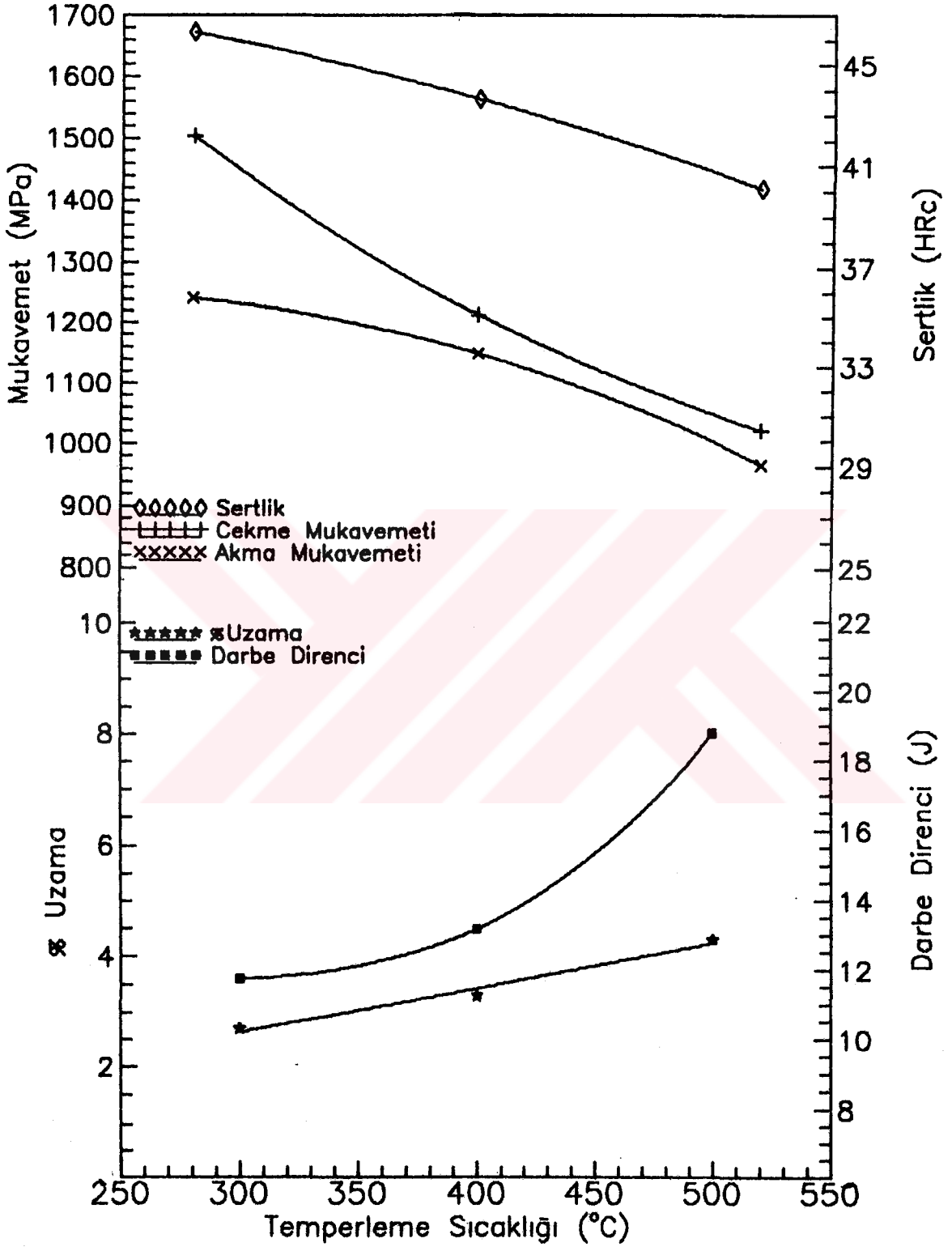
Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR) _C	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Tokluk (J/ m ³)	Darbe Direnci (J)	% Kesit Daralması
300	44	1293	1556	6.9	107.4x10 ⁶	9.8	11.6
400	42	1191	1350	8.0	108.0x10 ⁶	11.2	16.1
500	39	1076	1172	9.4	110.2x10 ⁶	21.6	19.0

TABLO: 6.5. 900°C'den 750°C'ye Kadar Fırında Soğutulup Suda Su Verilmiş (KSS) ve Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özellikleri

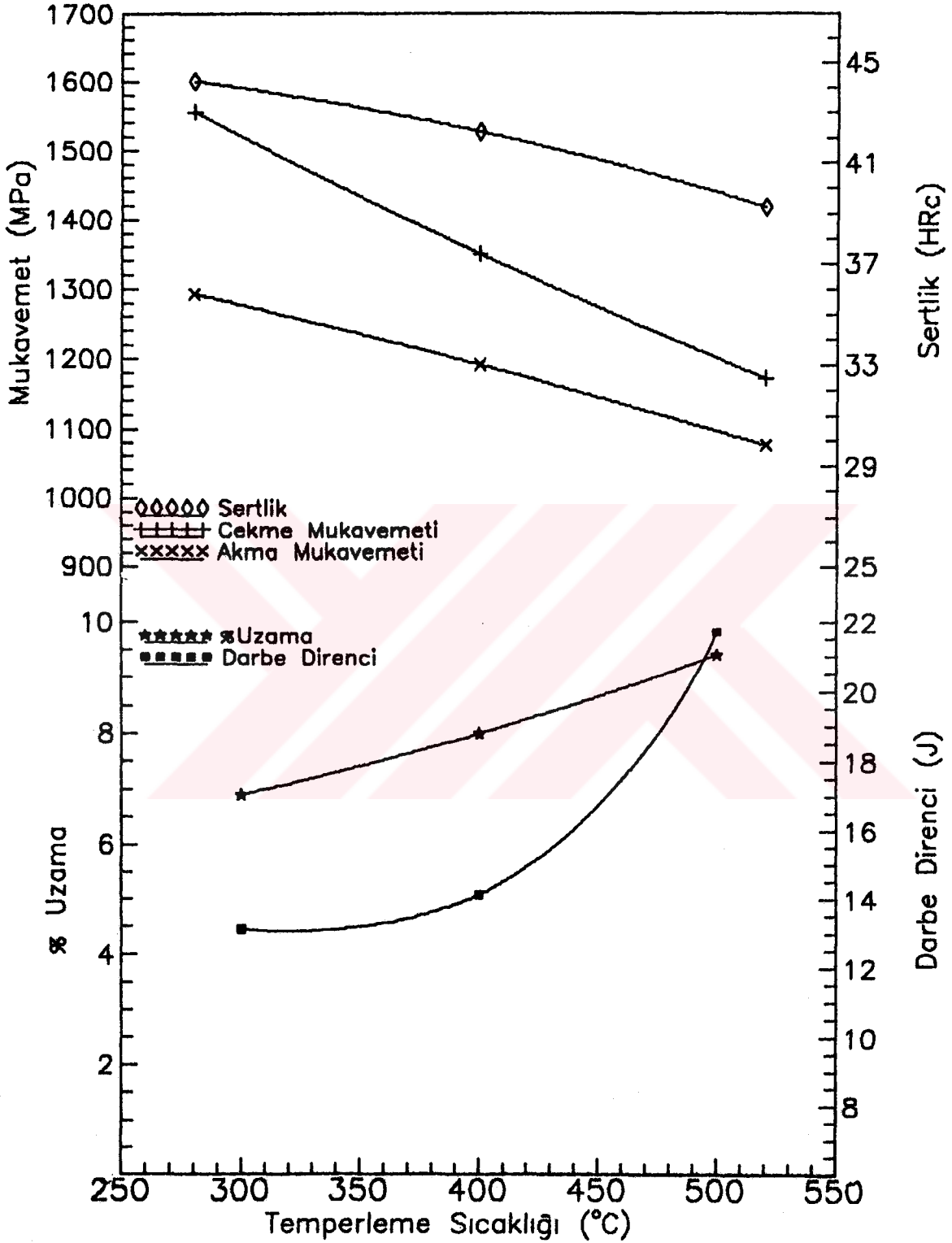
Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR) _C	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Tokluk (J/m ³)	Darbe Direnci (J)	% Kesit Daralması
300	46	1226	1482	2.7	40.0x10 ⁶	6.9	6.6
400	43	1209	1378	5.3	73.0x10 ⁶	9.8	8.5
500	39	1077	1185	6.4	75.8x10 ⁶	19.6	9.9



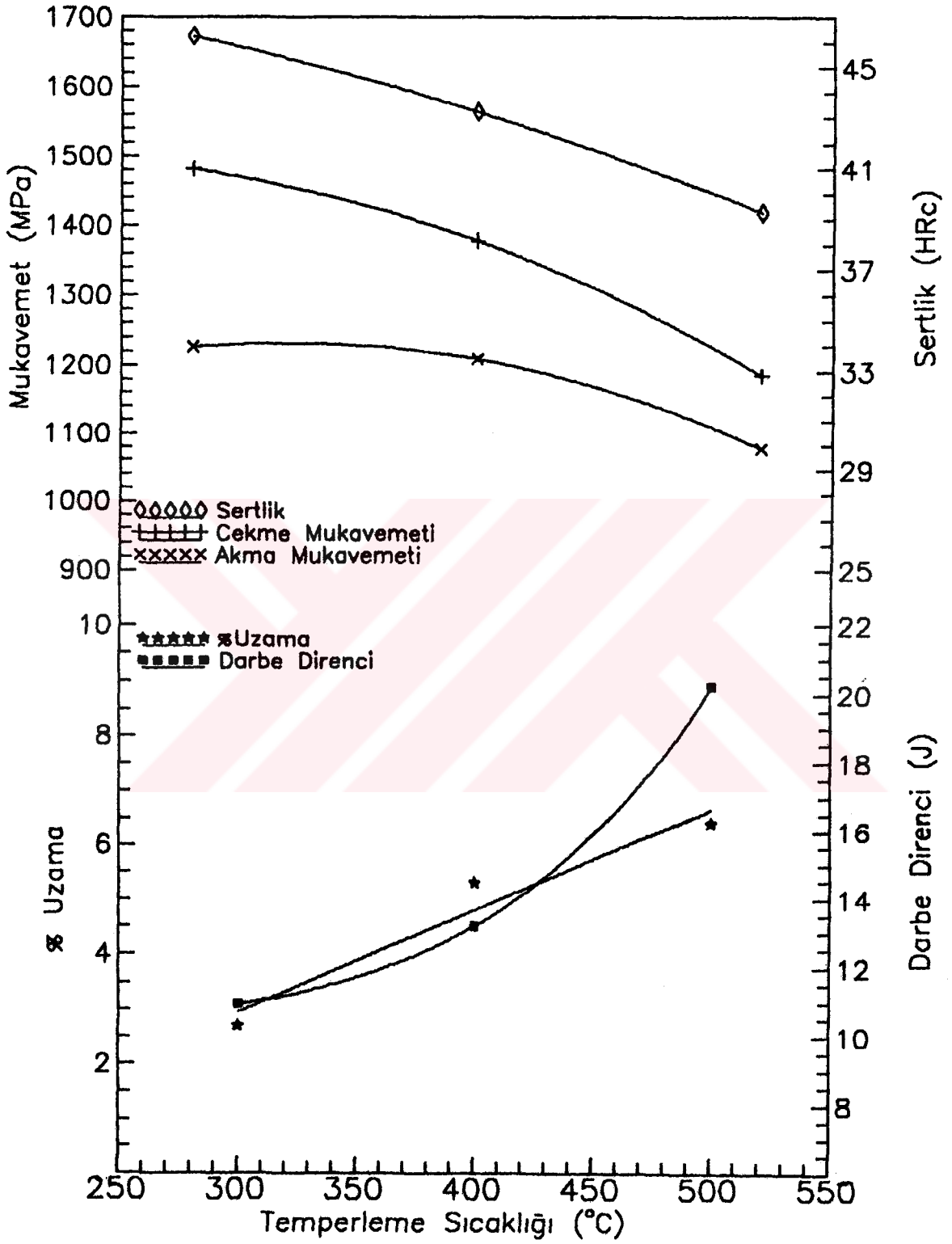
ŞEKİL: 6.2. 900°C den Doğrudan Yağda Su Verilip (DYS) Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Temperleme Sıcaklıkları ile İlişkisi



ŞEKİL: 6.3. 900°C'den Doğrudan Suda Su Verilip (DSS) Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Temperleme Sıcaklıkları İle İlişkisi



ŞEKİL: 6.4. 900°C'den 750°C'ye Kadar Fırında Soğutulup Yağda Su Verilmiş(KYS) ve Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Temperleme Sıcaklıkları İle İlişkisi



ŞEKİL: 6.5. 900°C'den 750°C'ye Kadar Fırında Soğutulup Suda Su Verilmiş (KSS) ve Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Temperleme Sıcaklıkları İle İlişkisi

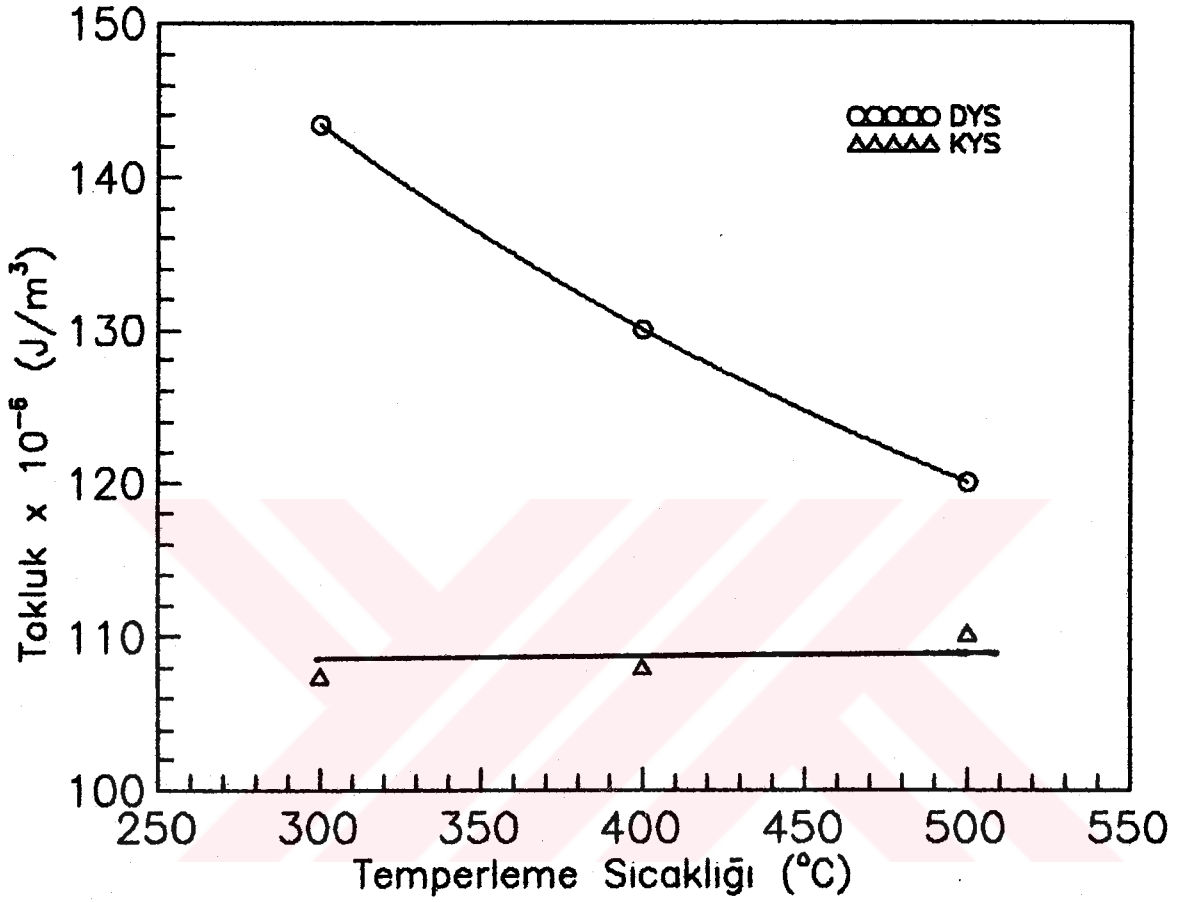
eliklerde, ... soğutma ortamı olarak yağın önerilmesinin nedeni; suda su verilmesi halinde yüksek sıcaklık farkından ötürü meydana gelen hacimsel genleşmenin eliğın distorsiyonuna ve/veya çatlamasına sebep olabileceğidir[25].

Bu açıklamaların ışığında, gerek doğrudan gerekse kademeli olarak yağda su verilen çeliklerin, suda su verilenele göre daha üstün mekanik özelliklere sahip oldukları söylenebilir. Doğrudan yağda su verilen çeliklerde, kademeli yağda su verilenlerden daha yüksek mukavemet ve sünelik elde edilmektedir. Doğrudan yağda su verilen eliklerin Tablo 6.2 - Tablo 6.5'deki tokluk olarak isimlendirilen çekme mukavemeti $\times$ uzama değeri temperleme sıcaklığının etkisini gösteren Şekil 6.6'da doğrudan yağda su verilen eliğın kademeli yağda su verilen çelikten daha yüksek tokluğa sahip olduğu görölmektedir.

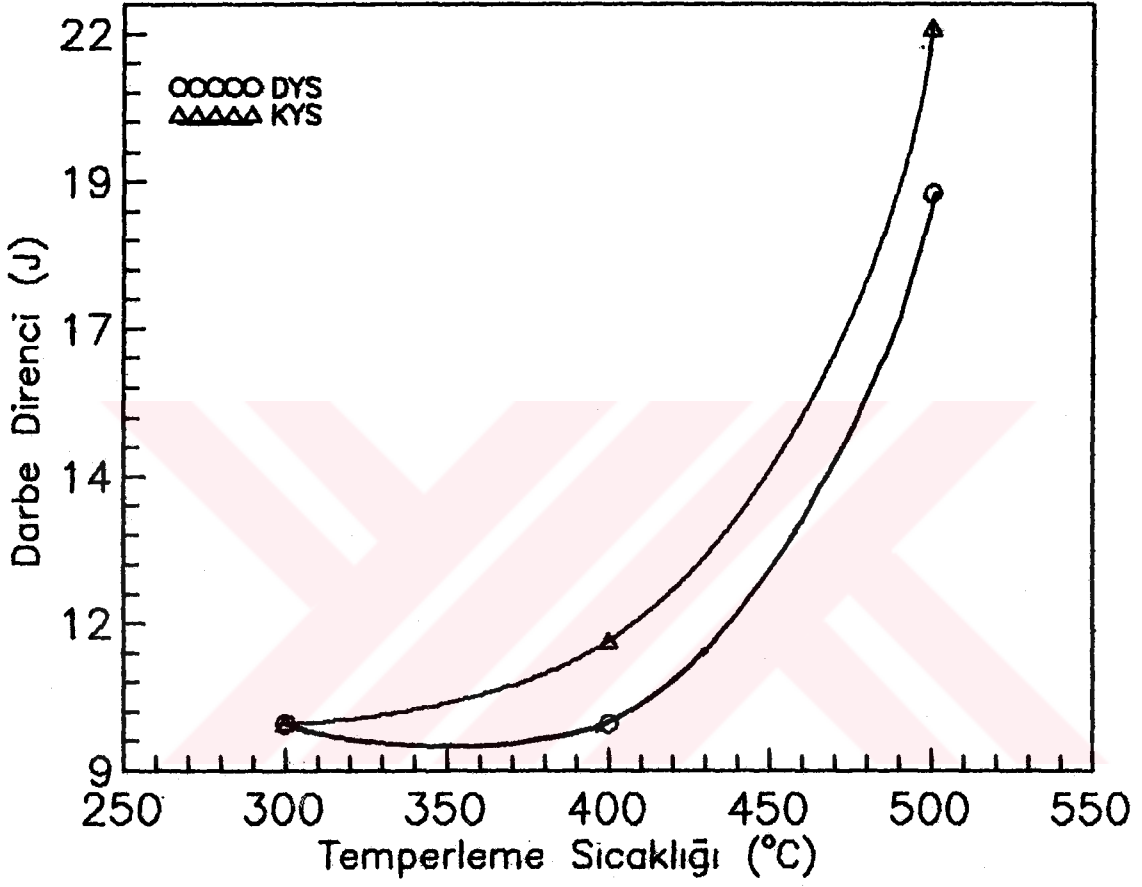
Darbe direnci açısından ise kademeli yağda su verilen çeliklerin doğrudan yağda su verilen çeliklerden biraz daha yüksek darbe dirençlerine sahip oldukları Şekil 6.7'den görölmektedir.

6.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Doğrudan ve kademeli olarak yağda ve suda su verilip temperlenen çeliklerin denklem 5.1'den hesaplanan aşınma oranları (W_g) ve denklem 5.2'den hesaplanan aşınma dirençleri (W_T) Tablo 6.6 - Tablo 6.9'da gösterilmiştir.



ŞEKİL: 6.6. Doğrudan Yağda Su Verilen Çelikler İle
Kademeli Yağda Su Verilen Çeliklerin
Temperleme Sıcaklıkları İle Tokluklarının
Değişimi



ŞEKİL: 6.7. Doğrudan Yağda Su Verilen Çelikler İle
Kademeli Yağda su Verilen Çeliklerin
Temperleme Sıcaklıklarıyla Darbe
Dirençlerinin Değişimi

TABLO: 6.6. 900°C'den Doğrudan Yağda Su Verilmiş Ve Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Çeliğin Aşınma Oranları(w_a) ve Aşınma Dirençleri (w_r) ve Sertlik Değerleri

Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR _C)	Aşınma Oranı (w_a) (mm ³ /Nm)	Aşınma Direnci (w_r) (Nm/mm ³)
300	45	12.8x10 ⁻³	78
400	43	11.5x10 ⁻³	87
500	39	14.3x10 ⁻³	70

TABLO: 6.7. 900°C'den doğrudan Suda Su Verilmiş Ve Çeşitli Sıcaklıklarda Temperlenmiş Çeliğin Aşınma Oranları (w_a) ve Aşınma Dirençleri (w_r) ve Sertlik Değerleri

Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR _C)	Aşınma Oranı (w_a) (mm ³ /Nm)	Aşınma Direnci (w_r) (Nm/mm ³)
300	46	12.4x10 ⁻³	81
400	43	10.7x10 ⁻³	93
500	39	11.8x10 ⁻³	85

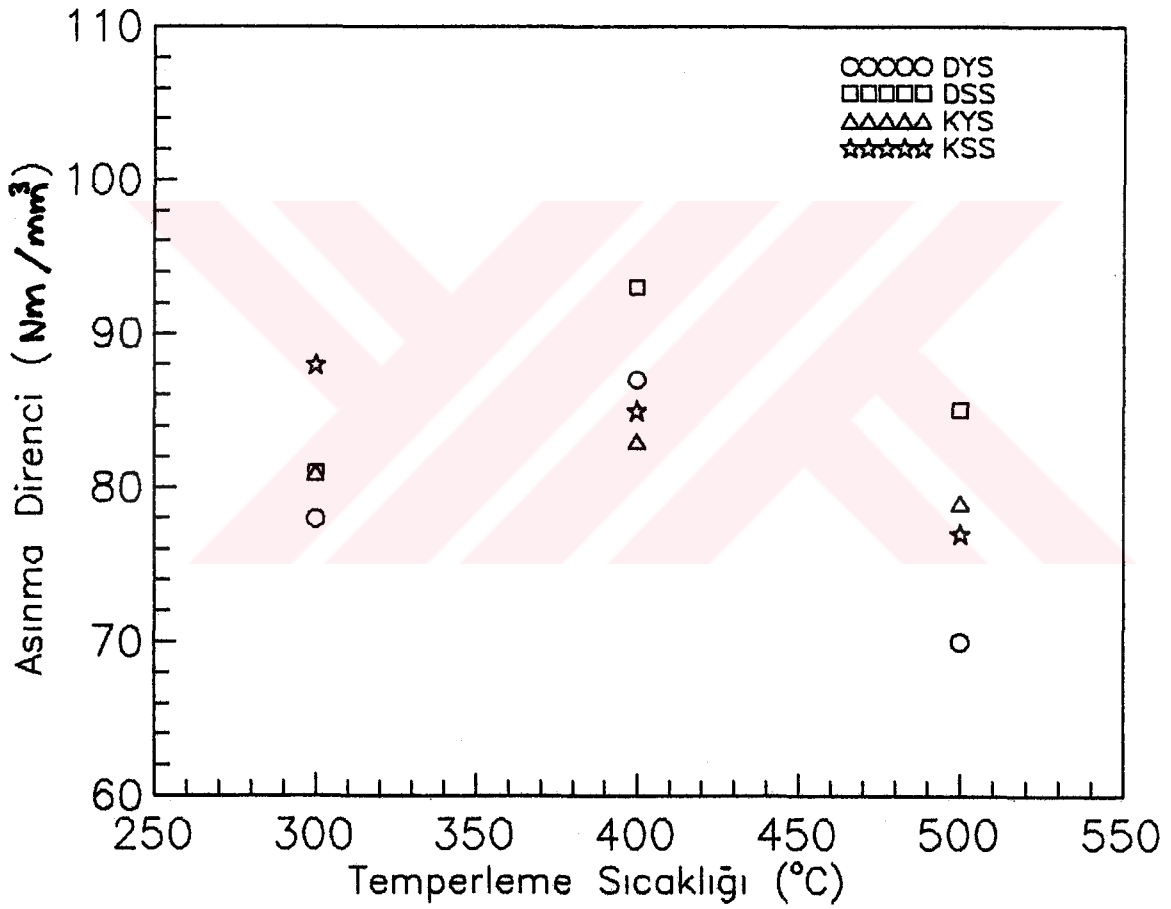
TABLO: 6.8. 900°C'den 750°C'ye Kadar Fırında Soğutulup
Yağda Su Verilmiş ve Çeşitli Sıcaklıklarda
Temperlenmiş Çeliğin Aşınma Oranları (w_a)
Aşınma Dirençleri (w_r) ve Sertlik Değerleri

Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR _C)	Aşınma Oranları (w_a) (mm ³ /Nm)	Aşınma Dirençleri (w_r) (Nm/mm ³)
300	44	12.4×10^{-3}	81
400	42	12.0×10^{-3}	83
500	39	12.7×10^{-3}	79

TABLO: 6.9. 900°C'den 750°C'ye Kadar Fırında Soğutulup
Suda su Verilmiş ve Çeşitli Sıcaklıklarda
Temperlenmiş Çeliğin Aşınma Oranları (w_a),
Aşınma Dirençleri (w_r) ve Sertlik Değerleri

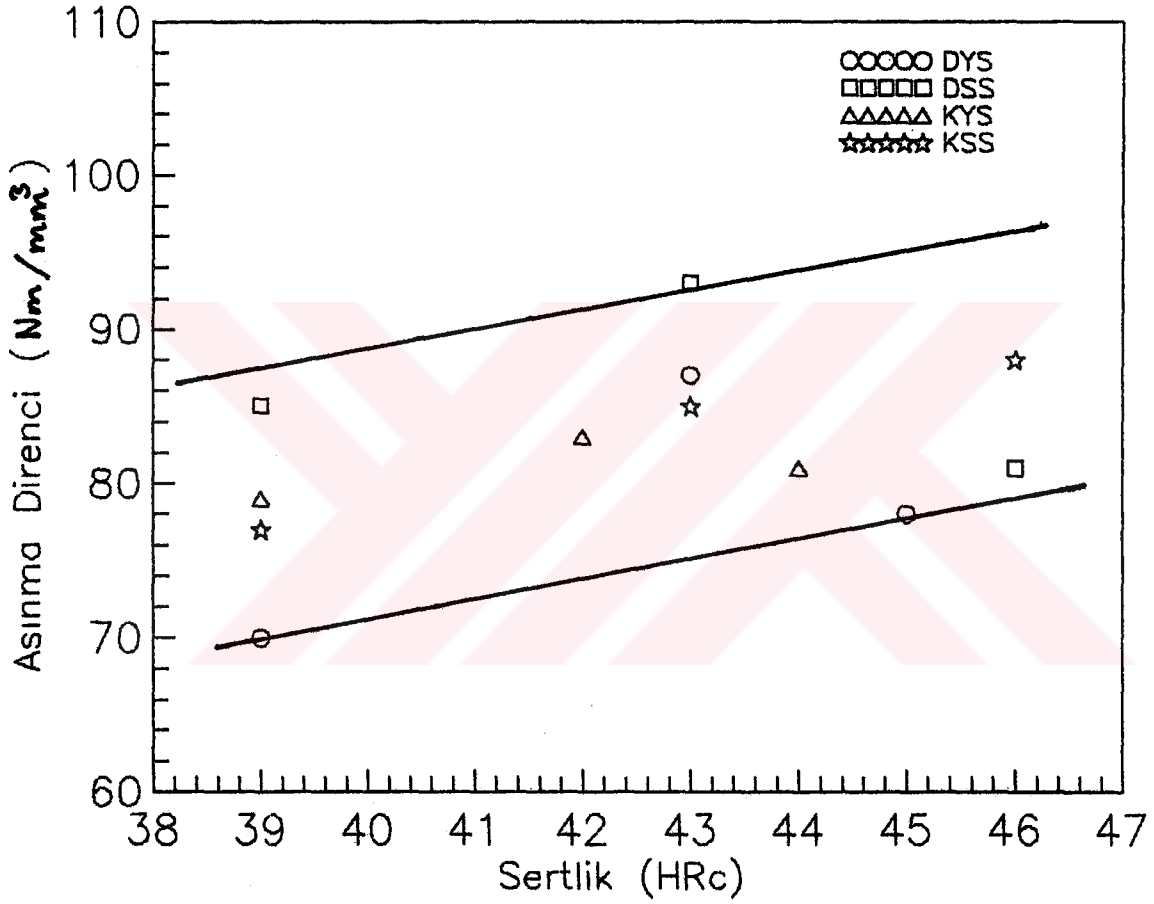
Temperleme Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HR _C)	Aşınma Oranları (w_a) (mm ³ /Nm)	Aşınma Dirençleri (w_r) (Nm/mm ³)
300	46	11.4×10^{-3}	88
400	43	11.8×10^{-3}	85
500	39	13.0×10^{-3}	77

Doğrudan ve kademeli olarak yağda ve suda su verilmiş çelikler için Tablo 6.6-Tablo 6.9'daki verilerle çizilmiş olan ve aşınma direncine temperleme sıcaklığının etkisini gösteren Şekil 6.8'e göre, temperleme sıcaklığı arttıkça, aşınma direnci çok fazla değişmemekle birlikte azalma eğilimi göstermektedir.



ŞEKİL: 6.8. Aşınma Direncine Temperleme Sıcaklığının Etkisi

Şekil 6.9'da ise temperleme sonrasında elde edilen sertliğin çeliklerin aşınma direnci üzerindeki etkisi görülmektedir.



ŞEKİL: 6.9. Temperleme Sonrasında Elde Edilen Sertliğin Çeliklerin Aşınma Direncine Etkisi

Sertliğin artmasıyla beraber aşınma direncinde, bir miktar artış olmaktadır. Bu durum Bölüm 4.2.1'de artan temperleme sıcaklığıyla birlikte, karbürlerin irileştiği ve bundan dolayı sertliğin ve aşınma direncinin azaldığı şeklinde açıklanmıştır. Şekil 4.4 de de, temperleme sonrasındaki sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi gösterilmiştir.

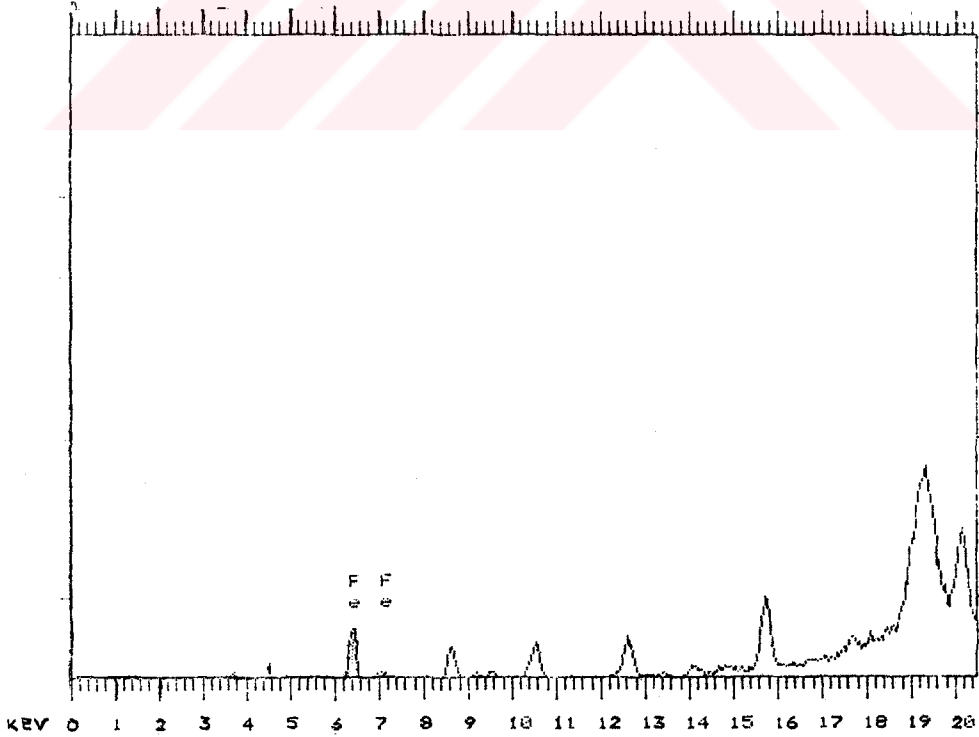
Aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında zımpara kağıdının üzerinde bulunan demir miktarını belirlemek amacıyla yapılan spektral analiz aşınma deneyleri sırasında numuneden kopan demirin zımparaya geçtiğini göstermiştir. Bu durum üzerinde aşınma yapılmamış zımpara kağıdındaki demir piki ile (Şekil 6.10 a) üzerinde aşınma yapılmış zımparadaki demir piklerinin (Şekil 6.10 b) karşılaştırılması ile ortaya çıkmıştır.

Tüp voltajı : 35 Kv

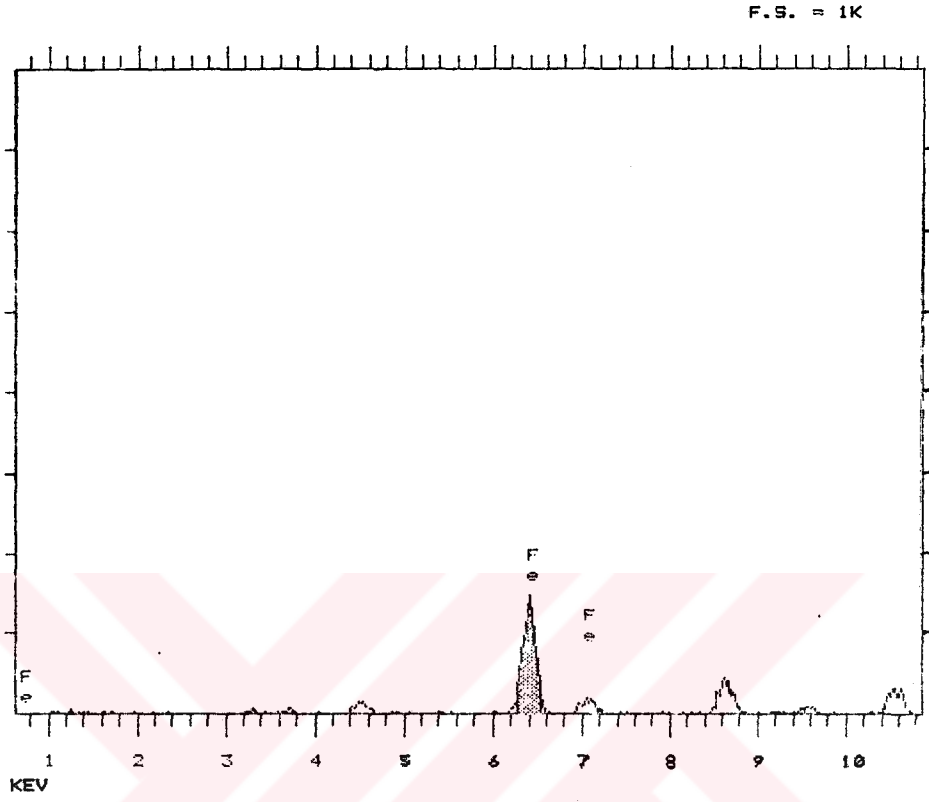
Tüp akımı : 0.02mA

Atmosfer : Hava

F.S. = 1K



ŞEKİL: 6.10 a. Üzerinde Aşınma Yapılmamış Zımparadaki
Demir Piki



ŞEKİL: 6.10b. Üzerinde Aşınma Yapılmış Zımparadaki
Demir Piki

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

%0.28 C, %0.28Si, %0.69Mn, %1.75Ni, %0.54Cr, %0.39Mo, %0.022S ve %0.022 P bileşimindeki çelik, 900°C'de 1/2 saat ostenitlendikten sonra, doğrudan yağda ve suda su verilmiştir. Ayrıca çelik, 900°C'de 1/2 saat ostenitlendikten sonra, fırında 750°C'ye kadar soğutulmuş ve 750°C de 1/2 saat bekletildikten sonra, kademeli yağda ve suda su verilmiştir. Doğrudan ve kademeli su verilen çeliklerin temperleme sonrasında elde edilen mekanik özelliklerine ve aşınma dirençlerine ısıtıl işlem koşullarının etkileri aşağıda belirtilmiştir.

1)- Doğrudan ve kademeli yağda ve suda su verme yöntemleri , çeliğin sertliği üzerinde belirgin bir farklılığa sebep olmamaktadır. Su verme sonrasında yapılan temperleme ile de her ısıtıl işlem yöntemleri için hemen hemen aynı sertlik değerleri bulunmaktadır.

2)- Gerek doğrudan, gerekse kademeli olarak suda su verilip, 300-500°C'lerde temperlenmiş çelikler, yağda su verilip temperlenmiş çelikler ile aynı sertlikte olmalarına rağmen, daha düşük mukavemete ve sünekliğe sahiptirler. Bunun nedeni, soğutma ortamının su olması halinde, çekme deney numunelerinde mikroçatlakların oluşmasıdır.

3)- Doğrudan yağda su verilip, temperlenmiş çeliklerin çekme mukavemeti X uzama olarak tanımlanan tokluk değerleri kademeli yağda su verilip, temperlenmiş çeliklerden daha yüksektir. Ancak doğrudan yağda su verilip temperlenmiş çelikler, kademeli yağda su verilip temperlenmiş çeliklerden bir miktar daha düşük darbe direncine sahiptirler.

4)- Doğrudan ve kademeli yağda ve suda su verilen çeliklerde aşınma dirençİ, temperleme sıcaklığı arttıkça azalma eğilimi göstermektedir. Bu durum artan temperleme sıcaklığı ile sertliğin azalmasından kaynaklanmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] ASM Metals Handbook, Casting, 9 th Edition, Vol.15, pp.714-724 , Ohio, 1988.
- [2] TEKİN, E., Mühendisler İçin Çelik Seçimi, Makine Mühendisleri Odası Yayını, Yayın no:119, pp.108-111, Ankara, 1986.
- [3] SAE Handbook, Part 1, Society of Automotive Engineers, pp.303, 1982.
- [4] WALLACE, J., The Role of Molybdenum in Steel Castings for Industrial Equipment, Climax Molybdenum Company, pp.1-9, New York, 1958.
- [5] ARCHER, R.S., BRIGGS, J.Z., LOEB, C.M., Molybdenum Steels-Irons-Alloys, 4 th Edition, Climax Molybdenum Company pp.14, New York, 1965
- [6] TEKİN, A., Çeliklerin Metalurjik Dizaynı, pp.40, İstanbul, 1981.
- [7] DİKEÇ, F., Demir Çelik Ders Notları, pp.4-9,
- [8] HEYER, R. H., Engineering Physical Metallurgy, 10.th Printing, D.Van Nostrand Company Inc., pp.300 New York, 1946.
- [9] HOYT, S.L., ASME Handbook Metals Properties, 1 st Edition, Mc Graw Hill Book Company, pp.231, 1954.
- [10] TEKİN, A., Çelik ve Isıl İşlemi, pp.4-244, İstanbul. 1987.
- [11] GÜCER, D., Fiziksel Metalurjinin Esasları, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, pp.392-404, İstanbul, 1967.
- [12] HONEYCOMBE, R.W.K., Steel Microstructure and Properties, 1 st Publish, Spottiswoode Ballantyne Ltd, pp.99-163, 1980.

- [13] ASM Metals Handbook, Heat Treatment, 9 th Edition
Vol. 4, pp.31-77, Ohio, 1988.
- [14] LESLIE, W.C., The Physical Metallurgy of Steels
Mc Graw Hill Book Company, pp.236-239,
New York, 1981.
- [15] HERTZBERG, R.W., Deformation and Fracture Mechanics
of Engineering Metarials, 2 nd Edition,
John Wiley and Sons Inc, pp 399-402, New
York, 1983.
- [16] DIETER, G.E., Metallurgy and Mechanical Engineering
Series, Mc Graw Hill Book Company Inc.,
pp. 387, 1961.
- [17] KAYALI , E.S., ÇİMENÖĞLU, H.,Hasar Analizi Seminer
Notları, TMMOB Metalurji Mühendisleri
Odası, pp.44-104.
- [18] KAYALI, E.S., ÇİMENÖĞLU, H., Malzemelerin Yapısı
ve Mekanik Davranışları, İ.T.Ü. Kimya-Meta-
lurji Fakültesi Ofset Atölyesi, pp.244-245,
İstanbul, 1986.
- [19] ASM Metals Handbook, Mechanical Testing, . 9.th
Edition, Vol.8, pp.56-59, Ohio, 1985.
- [20] NORMAN, T.E., Factors Influencing The Resistance
of Steel Casting to High Stress Abrasion,
Climax Molybdenum Company, pp.56-59, New
York, 1958.
- [21] MILLER, A.E., "Wear in Steels", Journal of Metals,
Publication of the Metallurgical Society
of Aime, pp.56-59, 1983.
- [22] ÇELİK, H., "Kaynak Edilebilen Kobalt ve Demir Esaslı
Alaşımların Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma
Davranışları", İ.T.Ü. Doktora Tezi, Ağustos
1991.
- [23] Typical Microstructures of Cast Metals, The Institute
of British Foundrymen, pp.200-201, 1981.
- [24] ASM Metals Handbook, Properties and Selection Iron
and Steel, 9 th Edition, Vol. 1, Ohio, 1978.
- [25] BRICK, R.M., DENSE, A.W., GORDON, R.B., Structure and
Properties of Engineering Materials, Mc
Graw Hill Kagakusha Ltd., 1977.

ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini 1979 yılında Bakırköy Pilot Cengiz Topel İlkokulunda yaptı. Orta ve lise öğrenimini 1985 yılında Bakırköy Yahya Kemal Beyatlı Lisesi'nde tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliğine girdi. 1989 yılında Üniversite tahsilini tamamladıktan sonra, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Metalurjisi Programında yüksek lisans öğrenimine başladı.